



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ANNA ELIS PAZ SOARES

**POTENCIAL DE REÚSO DE EFLUENTES SANITÁRIOS E SUA INTERFACE COM
A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
IPOJUCA - PERNAMBUCO**

Recife
2023

ANNA ELIS PAZ SOARES

**POTENCIAL DE REÚSO DE EFLUENTES SANITÁRIOS E SUA INTERFACE COM
A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
IPOJUCA - PERNAMBUCO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de doutora em Engenharia Civil. Área de concentração: Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos.

Orientadora: Suzana Maria Gico Lima Montenegro

Coorientadora: Simone Rosa da Silva

Recife

2023

Catálogo na fonte:
Bibliotecário Carlos Moura, CRB-4/1502

S676p Soares, Anna Elis Paz.

Potencial de reúso de efluentes sanitários e sua interface com a gestão de recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio Ipojuca - Pernambuco. / Anna Elis Paz Soares. – 2023.

115 f.: il.

Orientadora: Profa. Dra. Suzana Maria Gico Lima Montenegro.

Coorientadora: Profa. Dra. Simone Rosa da Silva.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Recife, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia civil. 2. Esgotos domésticos. 3. Reúso não potável. 4. Segurança hídrica. 5. Fonte alternativa. I. Montenegro, Suzana Maria Gico Lima (orientadora). II. Silva, Simone Rosa da (coorientadora). III. Título.

624 CDD (22. ed.)

UFPE
BCTG/2024-35

ANNA ELIS PAZ SOARES

**POTENCIAL DE REÚSO DE EFLUENTES SANITÁRIOS E SUA INTERFACE COM
A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
IPOJUCA - PERNAMBUCO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para obtenção do título de doutora em Engenharia Civil. Área de concentração: Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos.

Aprovada em: 07/12/2023.

BANCA EXAMINADORA

Participação por videoconferência
Profa. Dra. Maria do Carmo Martins Sobral (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Participação por videoconferência
Profa. Dra. Ana Silvia Pereira Santos (Examinadora Externa)
Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Participação por videoconferência
Profa. Dra. Yvonilde Dantas Pinto Medeiros (Examinadora Externa)
Universidade Federal da Bahia

Participação por videoconferência
Profa. Dra. Elizabeth Amaral Pastich Gonçalves (Examinadora Externa)
Universidade Federal de Pernambuco

Participação por videoconferência
Prof. Dr. José Almir Cirilo (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Ao meu filho, Miguel, que chegou ao nosso mundo no meio desse processo e se tornou a razão maior para concluí-lo. À minha mãe, Maria de Lourdes, minha maior incentivadora e apoiadora, além de inspiração para buscar sempre superar nossos limites e evoluir. Ao meu marido, José Gomes Neto, que esteve literalmente do meu lado nas várias etapas que me conduziram até aqui.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus e a espiritualidade amiga que ouviram nossas preces (e aqui incluo minha mãe, que sempre me encorajou e me inspirou a fortalecer a minha fé), me enviaram as inspirações tão solicitadas e colocaram pessoas iluminadas no meu caminho que contribuíram direta e indiretamente para conclusão desta Tese.

Ao meu marido, meus pais, meus irmãos, minha sogra e toda minha rede de apoio, os quais se revezaram para cuidar de Miguel nos horários noturnos, finais de semana e feriados para que eu pudesse “finalizar a tese” sabendo que ele estaria cercado de amor e cuidado.

Aos colegas da COMPESA, da APAC, da extinta Secretaria Executiva de Recursos Hídricos e da atual Secretaria de Recursos Hídricos e de Saneamento, pelo fornecimento de dados e pelas discussões técnicas, tão relevantes para o desenvolvimento dessa pesquisa.

Às minhas orientadoras, pela paciência e por acreditarem no meu potencial. À coordenação e secretaria do PPGE/UFPE pelos esclarecimentos e apoio prestados. Aos amigos e colegas de profissão que a academia me deu.

A todos aqueles que cruzaram meu caminho durante essa jornada (que incluiu uma pandemia, dois testes positivos de covid e uma gestação) e de maneira direta ou indireta contribuíram para que eu não desistisse e pudesse chegar até aqui.

RESUMO

Em regiões que enfrentam déficit hídrico, como o semiárido nordestino, o reúso de efluentes provenientes de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) doméstico se apresenta como uma alternativa para aliviar as pressões e diminuir a contaminação dos mananciais. A prática está diretamente relacionada com a Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável, mais especificamente dentro do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6 – água potável e saneamento, sendo uma das ferramentas para atingimento das metas propostas. Nesse contexto, esta tese tem como objetivo principal avaliar o potencial do reúso de efluentes oriundos de tratamento de esgotos domésticos como estratégia para melhoria da segurança hídrica em Pernambuco, através do estudo de caso da bacia hidrográfica do rio Ipojuca. A metodologia adotada possui abordagem qualitativa e quantitativa, consistiu na análise documental e de campo para avaliação dos instrumentos de gestão de recursos hídricos em implementação na bacia; análise quantitativa e qualitativa da oferta de água de reúso; caracterização e mapeamento das demandas (indústria e irrigação); elaboração de matriz SWOT para identificação das oportunidades e desafios à prática do reúso na bacia. Como resultado, foram identificadas 12 ETEs em 10 municípios com potencial para produção de 76.188 m³/dia de água de reúso. Em termos de qualidade da água, para os parâmetros analisados, as estações demonstraram bom desempenho, onde o efluente poderia ser usado para usos restritos sem a necessidade de tratamento adicional. No entanto, exceto em Ipojuca e Gravatá, as demandas para irrigação e indústria identificadas até 20 km de distância das ETEs são menores que a produção de efluente nos respectivos municípios. Pontua-se ainda o baixo grau de implantação dos instrumentos de enquadramento e cobrança, e recomenda-se a criação da outorga para produtor de água de reúso. Por fim, os maiores desafios identificados para consolidação da prática do reúso de efluentes na bacia foram a ausência de regulamentação que considere as características regionais, capacidade limitada de investimentos e baixa demanda em alguns municípios. Os resultados obtidos através de análise inédita na bacia servem de referência para os formuladores e executores das políticas de gestão de recursos hídricos, além de incentivo aos potenciais produtores e consumidores da água de reúso no Estado.

Palavras-chave: esgotos domésticos; reúso não potável; segurança hídrica; fonte alternativa.

ABSTRACT

In regions facing a water deficit, such as the Brazilian northeast, the reuse of effluents from domestic Wastewater Treatment Plants (WWTP) presents itself as an alternative to alleviate pressures and reduce contamination of water sources. The practice is directly related to the 2030 Agenda for sustainable development, more specifically within Sustainable Development Goal (SDG) 6 – drinking water and sanitation, being one of the tools for achieving the proposed goals. In this context, this thesis' main objective is to evaluate the potential for wastewater reuse from domestic sewage as a strategy for improving water security in Pernambuco, through a case study of the Ipojuca river basin. The methodology adopted has a qualitative and quantitative approach, consisting of documentary and field analysis to evaluate water resources management instruments being implemented in the basin; quantitative and qualitative analysis of the supply of reused water; characterization and mapping of demands (industry and supervision); preparation of a SWOT matrix to identify opportunities and challenges to the practice of reuse in the basin. As a result, 12 WWTPs were identified in 10 municipalities with the potential to produce 76,188 m³/day of reused water. In terms of water quality, for the analyzed parameters, the stations demonstrated good performance, where the effluent could be used for restricted uses without the need for additional treatment. However, except in Ipojuca and Gravatá, the demands for irrigation and industry identified up to 20 km away from the ETEs are lower than the effluent production in the respective municipalities. The low level of implementation of water management instruments such as system of classification and water charges is also highlighted, and it is recommended that a water permit be created for producers of reclaimed water in the basin. Finally, the biggest challenges identified for consolidating the practice of effluent reuse in the basin were the lack of regulations that consider regional characteristics, limited investment capacity and low demand in some municipalities. The results obtained through an unprecedented analysis in the basin serve as a reference for those formulating and executing water resource management policies, as well as providing incentives for potential producers and consumers of reused water in the State.

Keywords: domestic sewage; non-potable reuse; water security; alternative source.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH)	20
Figura 2 –	Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável	49
Figura 3 –	Fluxograma metodológico da pesquisa	52
Figura 4 –	Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Ipojuca	53
Figura 5 –	Efeitos diretos e indiretos do reúso de efluentes no balanço hídrico da bacia	72
Figura 6 –	Interfaces dos SIRH de Pernambuco dos anos de 1997 e 2023	77
Figura 7 –	Localização das ETEs potenciais geradoras de água de reúso	79
Figura 8 –	ETE Caruaru-Rendeiras: tanques de armazenamento e canteiro irrigado com água de reúso	80
Figura 9 –	Relação entre os usos consuntivos (agricultura irrigada) e a produção de efluente tratado na BHRI	83
Figura 10 –	Relação entre os usos consuntivos (indústria de transformação) e a produção de efluente tratado na BHRI	84
Figura 11 –	Estimativa de demanda hídrica da indústria de transformação nos municípios de Ipojuca, Escada, Caruaru e Belo Jardim	85
Figura 12 –	Relação entre os usos mapeados e a produção de efluente tratado na BHRI	87
Figura 13 –	Mapeamento dos geradores e potenciais consumidores de água de reúso da BHRI (10 km)	90
Figura 14 –	Mapeamento dos geradores e potenciais consumidores de água de reúso da BHRI (20 km)	91

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 –	Parâmetros físico-químicos e microbiológicos para enquadramento e lançamento de efluentes	23
Quadro 2 –	Caracterização do esgoto doméstico	30
Quadro 3 –	Etapas de tratamento do esgoto doméstico	31
Quadro 4 –	Modalidades de reúso direto não potável	33
Quadro 5 –	Parâmetros para reúso de efluentes em vigor da União Europeia	36
Quadro 6 –	Classes e parâmetros para reúso segundo a NBR 13.969/1997	37
Quadro 7 –	Comparativo de parâmetros de qualidade da água de reúso para fins agrícolas e florestais	42
Quadro 8 –	Comparativo de parâmetros de qualidade da água de reúso para fins urbanos	43
Quadro 9 –	Comparativo de parâmetros de qualidade da água de reúso para fins ambientais	44
Quadro 10 –	Correlação entre o reúso de água e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável	50
Quadro 11 –	Indicadores de saneamento por município	55
Quadro 12 –	Escala para definição do grau de implementação dos instrumentos de gestão	59
Quadro 13 –	Critérios de qualidade para a água de reúso	62
Quadro 14 –	Grau de implementação dos instrumentos de gestão na BHRI	67
Quadro 15 –	Ações para promoção do reúso de efluentes previstas no PERH/PE	70
Quadro 16 –	Comparativo entre os parâmetros para lançamento de efluentes no rio Ipojuca	74
Quadro 17 –	Características das ETEs potenciais geradoras de água de reúso na BHRI	78
Quadro 18 –	Parâmetros de qualidade do efluente tratado nas ETEs	81
Quadro 19 –	Matriz SWOT interinstitucional – reúso de efluentes na BHRI	93
Quadro 20 –	Ações necessárias para promoção da prática do reúso de efluentes na bacia	99

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APAC	Agência Pernambucana de Águas e Clima
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
ARPE	Agência de Regulação de Pernambuco
BHRI	Bacia Hidrográfica do Rio Ipojuca
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento
CONSEMA	Conselho de Meio Ambiente
CPRH	Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco
CRH	Conselho de Recursos Hídricos
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
GIRH	Gestão Integrada dos Recursos Hídricos
ODS	Objetivo de Desenvolvimento Sustentável
PMI	Procedimento de Manifestação de Interesse
PNSH	Plano Nacional de Segurança Hídrica
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PSA	Programa de Saneamento Ambiental
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SES	Sistema de Esgotamento Sanitário
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SIRH	Sistema de Informações de Recursos Hídricos
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação e Cultura
WHO	<i>World Health Organization</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	JUSTIFICATIVA, MOTIVAÇÃO E RELEVÂNCIA	16
1.2	HIPÓTESE	18
1.3	OBJETIVOS	18
1.3.1	Objetivo geral	18
1.3.2	Objetivos específicos	18
1.4	ESTRUTURA DA TESE	19
2	REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1	A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL	20
2.1.1	Lançamento de efluentes em corpos hídricos	21
2.1.2	Cobrança do uso de recursos hídricos	25
2.1.3	Experiências nacionais com reúso de efluentes sanitários	27
2.2	CARACTERIZAÇÃO E TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO VISANDO O REÚSO	29
2.3	MODALIDADES DE REÚSO DE EFLUENTES	32
2.4	PARÂMETROS PARA REÚSO DIRETO NÃO POTÁVEL DE EFLUENTES	34
2.4.1	Parâmetros de referência internacionais para o reúso de efluentes	34
2.4.2	Parâmetros de referência nacionais para o reúso de efluentes	36
2.4.3	Comparativo entre parâmetros para reúso direto não potável	41
2.5	REÚSO DE EFLUENTES SANITÁRIOS E A REVITALIZAÇÃO DE BACIAS NO SEMIÁRIDO	45
2.6	O REÚSO DE ÁGUA E OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	49
3	METODOLOGIA	52
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IPOJUCA	52
3.2	ANÁLISE DOCUMENTAL E DE CAMPO	57
3.2.1	Análise documental	57
3.2.2	Análise de campo	58
3.2.3	Definição do grau de implementação dos instrumentos de gestão	59

3.3	CARACTERIZAÇÃO DA OFERTA E DEMANDA POTENCIAIS PARA O REÚSO DE EFLUENTES	60
3.3.1	Levantamento de dados junto à concessionária de saneamento	60
3.3.2	Avaliação quali-quantitativa da oferta de água de reúso	62
3.3.3	Avaliação da demanda potencial para irrigação e indústria	63
3.3.4	Elaboração de mapas georreferenciados	64
3.4	AVALIAÇÃO DAS OPORTUNIDADES E DESAFIOS PARA A CONSOLIDAÇÃO DO REÚSO DE EFLUENTES NA BHRI	65
4	RESULTADOS	67
4.1	REÚSO DE EFLUENTES E SUAS INTERFACES COM A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS	67
4.1.1	Planos de recursos hídricos	68
4.1.2	Outorga dos direitos de uso de recursos hídricos	70
4.1.3	Enquadramento dos corpos de água em classes	73
4.1.4	Cobrança pelo uso de recursos hídricos	75
4.1.5	Sistema de Informações de Recursos Hídricos	76
4.2	CARACTERIZAÇÃO DA OFERTA POTENCIAL DE ÁGUA DE REÚSO NA BHRI	77
4.3	CARACTERIZAÇÃO DA DEMANDA POTENCIAL PARA A ÁGUA DE REÚSO NA BHRI	82
4.4	ANÁLISE ESPACIAL DO POTENCIAL DE REÚSO NA BACIA	89
4.5	OPORTUNIDADES E DESAFIOS PARA A CONSOLIDAÇÃO DO REÚSO DE EFLUENTES NA BACIA	92
4.5.1	Ambiente interno: forças	94
4.5.2	Ambiente interno: fraquezas	95
4.5.3	Ambiente externo: oportunidades	96
4.5.4	Ambiente externo: ameaças	98
4.5.5	Diretrizes para consolidação do reúso de efluentes na BHRI	99
5	CONCLUSÕES	101
5.1	LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS	102
	REFERÊNCIAS	103

1 INTRODUÇÃO

O uso global da água doce cresce a uma taxa de cerca de 1% ao ano, ao mesmo tempo em que o estresse hídrico, relação de desequilíbrio entre a demanda e a oferta de água, afeta diversas partes do mundo. Enquanto quatro bilhões de pessoas vivem em regiões que enfrentam a escassez física da água, cerca de 1,6 bilhões de pessoas enfrentam a escassez hídrica econômica, ou seja, quando há água fisicamente disponível, mas não existe infraestrutura para que ela seja utilizada (UNESCO, 2021).

Em paralelo, a mudança climática é apontada como uma das causas para o aumento da frequência e da severidade de eventos extremos, tanto de cheias como de secas. Eventos estes que, além de afetar mais de 200 milhões de pessoas e causar US\$86,8 bilhões em perdas econômicas globalmente, entre 2009 e 2019 (UNESCO, 2021), potencializam o desafio da gestão de recursos hídricos em garantir a segurança hídrica para a população.

A Organização das Nações Unidas para a Educação e Cultura (UNESCO) define segurança hídrica como a capacidade de uma população de salvaguardar o acesso sustentável à água em quantidade e qualidade aceitáveis para sustentar a subsistência e o bem-estar humano, o desenvolvimento socioeconômico, para garantir proteção contra a poluição e desastres relacionados à água e para preservar os ecossistemas, num clima de paz e estabilidade política (UNESCO, 2019).

Os princípios deste mesmo conceito foram adotados pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) quando da elaboração do Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH) para o Brasil, lançado em 2019. O referido Plano destaca que as dimensões humana, econômica, ecossistêmica e de resiliência devem ser consideradas como balizadoras do planejamento da oferta e do uso da água em um país (ANA, 2019a).

Embora o conceito de segurança hídrica varie em diferentes escalas espaciais de acordo com o contexto em que é estudado (Gerlak *et al.*, 2018), Tucci e Chagas (2017) ressaltam que a segurança estará relacionada com a gestão do risco associado à escassez ou ao excesso de água. Na primeira condição, tem-se a falta do recurso para atendimento das necessidades. Na segunda, observa-se os graves impactos sociais e econômicos devido ao seu excesso, quando por exemplo da ocorrência de cheias.

Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos é o sexto Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS), dentre os 17 objetivos estabelecidos pela União das Nações Unidas em 2015. Para que essa meta seja alcançada, é apontado que os recursos hídricos devem ser administrados com sabedoria, tornando os serviços de água

confiáveis e acessíveis, juntamente com a evolução da infraestrutura e tecnologias relacionadas (UNESCO, 2019).

Nesse contexto, a garantia da segurança hídrica está diretamente relacionada com o desenvolvimento das inovações na gestão de recursos hídricos e na prestação de serviços de água e esgoto, valorizando uma abordagem de gestão integrada dos recursos hídricos (GIRH). Essa abordagem vem sendo mundialmente chamada de “*One Water*”, ou “Uma Água”, e enfatiza a colaboração e coordenação entre as partes interessadas da água e os tomadores de decisão, para que as cidades gerenciem de forma sustentável seus recursos hídricos limitados (Santos *et al.*, 2022; Wolfand *et al.*, 2022)

Fukasawa e Mierzwa (2020) apontam a diversificação da matriz de oferta de água como uma das alternativas para a garantia de atendimento às diferentes demandas dos setores consumidores como, por exemplo, ganhos de eficiência no tratamento e uso da água, redução de perdas, reutilização de águas residuais e dessalinização. Nesse cenário, o reúso de água proveniente do efluente de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) doméstico se apresenta como uma importante alternativa a ser explorada. Além de aliviar as pressões nos mananciais, o reúso contribui para garantir água em quantidade e em qualidade para os diversos usos, reduzir conflitos pelo uso da água e contribuir para o desenvolvimento socioeconômico regional, principalmente em regiões que enfrentam déficit hídrico (IWA, 2018; Santos *et al.*, 2021).

Várias localidades ao redor do mundo como, por exemplo, em Beijing (China), Chennai (Índia), Durban (África do Sul), Kampala (Uganda), Lima (Perú), Califórnia (Estados Unidos da América), Austrália e Israel, já vem explorando o reúso de efluente tratado para fins agrícolas, industriais, urbanos, recarga de aquífero e manutenção de vazão em cursos d’água (IWA, 2018; WHO, 2018).

Para os países com déficit nos serviços de coleta e tratamento de esgoto, com proporções significativas de águas residuais não tratadas, a Organização Mundial da Saúde chama a atenção para o reúso de efluentes como uma oportunidade para aumentar o tratamento de esgoto e o uso produtivo desse efluente para diversos fins, dentre eles a irrigação (WHO, 2018).

Além da escassez de recursos hídricos, notadamente em regiões áridas e semiáridas, que tem impulsionado o reúso como um suprimento alternativo de água, a necessidade de reduzir a descarga de efluentes nas águas superficiais e os rigorosos e dispendiosos requisitos para remoção de nutrientes, principalmente nitrogênio (N) e fósforo (P), antes do descarte final, também tem incentivado muitos programas de reutilização de efluentes tratados ao redor do mundo (ANA, 2017a). Esses mesmos nutrientes são essenciais ao desenvolvimento das plantas, sendo uma das vantagens do reúso agrícola (Amorim, 2023; Bonfim, 2019).

Segundo a USEPA (2012), as preocupações ambientais com os impactos negativos do aumento das descargas de nutrientes nas águas costeiras estão resultando em reduções obrigatórias no número de descargas oceânicas na Flórida e na Califórnia. Ao eliminar ou reduzir descargas de efluentes através da prática do reúso, pode-se evitar a necessidade de processos dispendiosos de tratamento para remoção de nutrientes.

Posto isto, é notável que as práticas de reutilização continuem a aumentar à medida que a população mundial se torne cada vez mais urbanizada e concentrada onde o suprimento local de água doce é limitado ou está disponível mediante grandes gastos de capital (USEPA, 2012). Dessa forma, o reúso de efluentes como alternativa para diminuir a pressão de demanda sobre os mananciais deve ser inserido nos primeiros estágios do planejamento de recursos hídricos (Cunha *et al.*, 2012; Hespanhol *et al.*, 2019).

Ademais, a reutilização da água deve levar em conta toda a bacia hidrográfica, pois as águas residuais de uma parte de uma bacia podem representar o abastecimento de outras comunidades e usos a jusante. É necessário um ambiente político coordenado e pragmático que reúna indústria, serviços públicos, saúde, agricultura e meio ambiente para promover a reutilização de águas residuais de forma segura e inovadora (UNESCO, 2017).

Segundo Garcia e Pargament (2015a), adotar os princípios da Gestão Integrada de Recursos Hídricos garante que a implementação de projetos de reutilização de águas residuais leve em consideração os múltiplos interesses de todas as partes envolvidas e afetadas, contabilizando também os custos e benefícios, diretos e indiretos, derivados da decisão de reutilização.

Cirilo *et al.* (2017) pontuam que no contexto de escassez hídrica, principalmente em regiões semiáridas, reúso e conservação são palavras-chave em termos de gestão. Sobral (2011) também destaca a implantação de sistemas de reúso de efluentes em atividades agrícolas como uma estratégia de gestão dos recursos hídricos no semiárido. No entanto, o reúso de efluentes sanitários no nordeste do Brasil ainda está em seu estágio inicial, sendo visto principalmente em projetos pilotos em atividades agropecuárias (Cirilo *et al.*, 2017).

Diante do exposto, esta tese aborda o potencial do reúso de efluentes como estratégia para mitigação da escassez hídrica, através do estudo de caso da Bacia Hidrográfica do Rio Ipojuca, estado de Pernambuco-Brasil. Propõe-se um modelo de avaliação para identificação das potencialidades regionais quanto à produção e consumo da água de reúso, e dos desafios ao desenvolvimento da prática sob a ótica da gestão integrada de recursos hídricos. Como perguntas norteadoras da pesquisa, têm-se: I) Qual o papel da gestão de recursos hídricos e seus

instrumentos na viabilização do reúso de efluentes na bacia? II) Qual o potencial de geração e consumo de água de reúso da bacia hidrográfica do Rio Ipojuca?

1.1 JUSTIFICATIVA, MOTIVAÇÃO E RELEVÂNCIA

Para o Estado de Pernambuco, a dificuldade em garantir água potável para o abastecimento humano é uma constante. Detentor de uma das menores disponibilidades hídricas per capita do Brasil, Pernambuco, assim como outros estados do nordeste brasileiro, enfrentou uma das maiores estiagens dos últimos anos, no período 2012-2017, verificando-se eventos de seca com tempos de retorno maiores que 100 anos (ANA, 2015; ANA, 2017b).

Por sua vez, a escassez hídrica provoca conflitos pelo uso da água entre os diferentes setores de usuários, potencializados pelo lançamento de cargas poluidoras contínuas e seu impacto nos corpos hídricos receptores. Esse cenário aumenta os desafios para a gestão de recursos hídricos e a garantia da segurança hídrica em regiões semiáridas (ANA, 2020).

No Estado de Pernambuco, 137 dentre os 184 municípios (74,45%) estão localizados na região semiárida. Na bacia hidrográfica do rio Ipojuca, apenas quatro (Escada, Ipojuca, Primavera e Amaraji), dos 25 municípios inseridos na bacia, não fazem parte do Semiárido brasileiro (SUDENE, 2021).

Ademais, o Estado ainda é cortado por rios intermitentes, a exemplo do Rio Ipojuca que é intermitente desde sua nascente, no município de Arcoverde, até as proximidades do município de Gravatá, a partir de onde se torna perene (SRH/PE, 2010). Nesses casos, as condições e padrões de lançamento de efluentes tendem a ser mais restritivos, uma vez que não há capacidade de autodepuração do corpo hídrico ao receber os efluentes. Segundo Moraes e Santos (2019), Pernambuco está entre os três estados do Brasil considerados muito restritivos com relação a concentração dos parâmetros nos efluentes lançados em corpos hídricos.

A bacia hidrográfica do Rio Ipojuca, por sua vez, tem uma posição estratégica no espaço estadual, servindo de grande calha hídrica de ligação entre a região do Sertão e a Região Metropolitana do Recife (RMR), devido à sua conformação alongada no sentido oeste-leste. O rio Ipojuca perpassa espaços territoriais de quatro regiões de desenvolvimento: Sertão do Moxotó, Agreste Central, Mata Sul e Metropolitana, abrangendo municípios que atuam como polos de desenvolvimento regionais e locais como, por exemplo, Caruaru, Vitória de Santo Antão e Ipojuca (Pernambuco, 2005a).

Apesar de sua importância, a qualidade da água do rio Ipojuca está bastante comprometida. De acordo com os dados dos Indicadores de Desenvolvimento Sustentável

(IDS) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Rio Ipojuca foi classificado como o terceiro mais poluído do Brasil (IBGE, 2015). De acordo com Barros (2008), o lançamento de esgotos domésticos não tratados representa a maior fonte geradora de nutrientes na bacia. Outros fatores que contribuem para essa situação são a falta de planejamento e ordenamento que marcaram o desenvolvimento urbano e a poluição advinda do lixo urbano e industrial, que se inicia no solo atingindo as águas superficiais e infiltra-se, contaminando também as águas subterrâneas (Pernambuco, 2022; SRH/PE, 2010).

Perante a realidade de escassez hídrica e poluição do rio, diversos estudos e ações têm sido desenvolvidos na bacia hidrográfica do rio Ipojuca visando à melhoria da segurança hídrica na região. Destaca-se o Programa de Saneamento Ambiental em execução na bacia, o PSA Ipojuca, com investimentos na ordem de 330 milhões de dólares, sendo cerca de 200 milhões financiados pelo Banco Interamericano para o Desenvolvimento (BID); e o desenvolvimento de estudos para implementação e consolidação dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos como, por exemplo, a proposta de implantação de outorga de lançamento de efluentes (APAC, 2017) e a proposta de enquadramento dos cursos de água da bacia hidrográfica do rio Ipojuca (APAC, 2019a).

Através do PSA Ipojuca, foram implantados novos Sistemas de Esgotamento Sanitário (SES) nas cidades de Tacaimbó e Gravatá. Outros SES estão em execução nas cidades de Sanharó, Belo Jardim, Bezerros e Escada, além do SES do município de Caruaru que está sendo melhorado e ampliado (COMPESA, 2022a). Essas ações representam um incremento na produção de efluente doméstico tratado na bacia, que pode ser enxergado como uma nova fonte para minimização do estresse hídrico e melhoria da qualidade ambiental da região.

Sendo assim, a BHRI foi escolhida pela disponibilidade de dados para realização das etapas metodológicas propostas na pesquisa e pela representatividade da realidade Pernambucana, uma vez que está totalmente inserida no estado e parcialmente na região semiárida, cujos municípios integrantes estão suscetíveis à escassez hídrica e a poluição dos mananciais.

Diante desse cenário, verifica-se a importância do desenvolvimento de estudo direcionado para as potencialidades do reúso de efluentes domésticos na bacia hidrográfica do rio Ipojuca, observando sua relação com os instrumentos de regulação e gestão de recursos hídricos, e seu potencial como instrumento para melhoria da segurança hídrica na região.

1.2 HIPÓTESE

A bacia hidrográfica do rio Ipojuca, parcialmente inserida na região semiárida, apresenta potencial para o desenvolvimento da prática do reúso de efluentes, sendo esta uma alternativa para garantia da segurança hídrica na região.

1.3 OBJETIVOS

Conforme delineado abaixo, os objetivos do trabalho foram divididos em geral e específicos.

1.3.1 Objetivo geral

Esta tese tem como objetivo principal avaliar o potencial do reúso de efluentes oriundos de tratamento de esgotos domésticos, a partir dos sistemas públicos de saneamento, como estratégia para melhoria da segurança hídrica, através do estudo de caso da bacia hidrográfica do rio Ipojuca.

1.3.2 Objetivos específicos

- a) Traçar o diagnóstico da implementação dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos e suas interfaces com o reúso de efluentes domésticos na bacia hidrográfica do rio Ipojuca;
- b) Estimar a oferta potencial de água de reúso na bacia hidrográfica do rio Ipojuca, em termos de quantidade e qualidade;
- c) Estimar o potencial de consumo da água de reúso para irrigação e indústria na bacia hidrográfica do rio Ipojuca através de uma abordagem georreferenciada;
- d) Identificar as oportunidades e desafios institucionais e de planejamento para a consolidação do reúso de efluentes sanitários na bacia e contribuir para o fomento à prática no Estado de Pernambuco.

1.4 ESTRUTURA DA TESE

A tese está estruturada em cinco capítulos. O primeiro deles trouxe a introdução ao tema abordado, estabelecendo a justificativa, motivação e relevância para o desenvolvimento da pesquisa. Foram apontadas as perguntas norteadoras da tese, a hipótese principal, o objetivo geral e os específicos, assim como a estrutura da tese.

O Capítulo 2 é composto pela revisão de literatura, onde os tópicos iniciais abordam conceitos relativos à gestão de recursos hídricos e sua interação com o reúso de efluentes. Nos tópicos seguintes, aprofunda-se a compreensão sobre o tratamento de esgotos sanitários, as possibilidades de reúso para o esgoto tratado e os normativos vigentes que regulamentam a prática no Brasil e no mundo. Por fim, foram abordados os impactos do lançamento de efluentes na revitalização de rios e seus ecossistemas, localizados em áreas de clima semiárido.

No Capítulo 3, as etapas metodológicas para o desenvolvimento da pesquisa foram detalhadas, iniciando com a caracterização da bacia hidrográfica do rio Ipojuca. Na sequência, o Capítulo 4 traz a discussão dos resultados obtidos em cada etapa da pesquisa, abordando as interfaces da gestão de recursos hídricos com o reúso de efluentes, a caracterização da oferta e demanda potenciais de água de reúso na bacia e o planejamento para consolidação da prática.

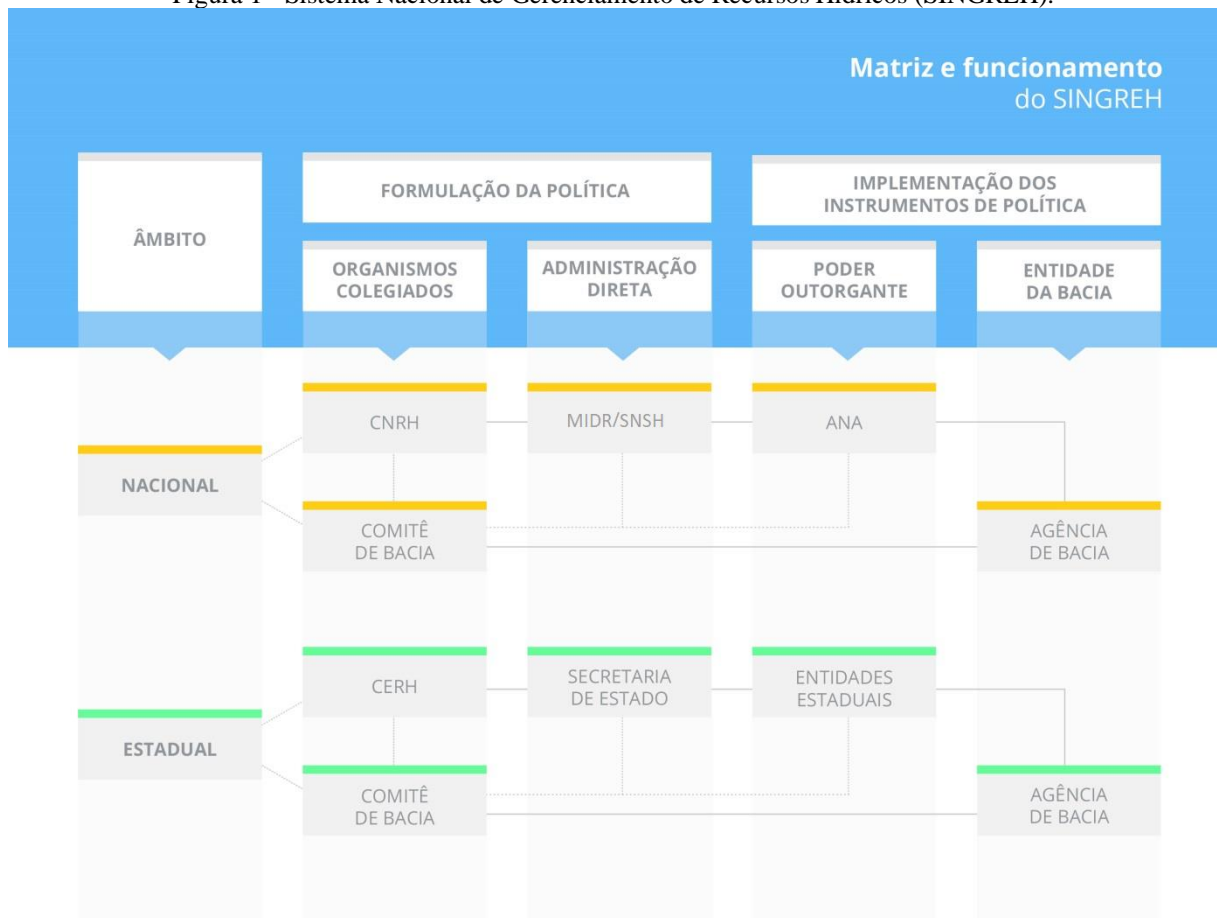
Por fim, no Capítulo 5, são apresentadas as considerações finais da tese englobando as respostas às questões norteadoras e a confirmação ou não da hipótese. Ademais, pontuam-se as principais limitações encontradas para o desenvolvimento da pesquisa e as recomendações para estudos futuros.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL

No Brasil, a Lei nº 9.433/1997 (Brasil, 1997) instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), representado na Figura 1.

Figura 1 - Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH).



Fonte: Adaptado de ANA (2022).

O SINGREH é o conjunto de órgãos e colegiados que concebe e implementa a PNRH, tem como objetivo principal coordenar a gestão integrada das águas; planejar, regular e controlar o uso e a recuperação de corpos hídricos, arbitrar conflitos e promover a cobrança pelo uso da água (Brasil, 1997). O CNRH (2005) atribuiu aos órgãos integrantes do SINGREH avaliar os efeitos sobre os corpos hídricos decorrentes da prática do reúso e estabelecer instrumentos regulatórios e de incentivo para suas diversas modalidades, observando suas interfaces com os instrumentos da PNRH.

Por sua vez, a Lei nº 14.026 (Brasil, 2020), publicada em 15 de julho de 2020, que atualiza o marco legal do saneamento básico, atribuiu a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, além da finalidade de implementar a PNRH, no âmbito de suas competências, instituir normas de referência para a regulação dos serviços públicos de saneamento básico.

Ademais, as atualizações promovidas pela referida lei estimulam a prática do reúso estabelecendo que os contratos relativos à prestação dos serviços públicos de saneamento básico deverão conter metas para expansão e eficiência do reúso de efluente sanitário. Além disso, o uso de efluentes sanitários para a produção de água de reúso é apontado como possível fonte de receita alternativa, com possibilidade de as receitas serem compartilhadas entre o contratante e o contratado, caso aplicável (Brasil, 2020).

Em Pernambuco, o Conselho de Recursos Hídricos (CRH/PE) foi instalado em 1998. Já a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) foi criada em 2010 através da Lei nº 14.028/2010 (Pernambuco, 2010). Ainda não há Agências de Bacia no Estado. No que diz respeito às secretarias de estado, durante o período de 2019 a 2022, a pasta de recursos hídricos esteve integrada a de infraestrutura, sendo comandada pela Secretaria Executiva de Recursos Hídricos (SERH) da Secretaria de Infraestrutura e Recursos Hídricos de Pernambuco (SEINFRA). A partir de 2023, quando da reforma administrativa instituída pela Lei nº 18.139, de 18 de janeiro de 2023 (Pernambuco, 2023), a qual dispôs sobre a estrutura e o funcionamento do Poder Executivo do Estado, foi criada a Secretaria de Recursos Hídricos e de Saneamento (SRHS).

A Política Estadual de Recursos Hídricos (Pernambuco, 2005), assim como a PNRH, traz como instrumentos de gestão os planos diretores de Recursos Hídricos; o enquadramento dos corpos de água em classes, a outorga do direito de uso de recursos hídricos, a cobrança pelo uso de recursos hídricos, além do sistema de informações, da fiscalização e do monitoramento dos recursos hídricos (Brasil, 1997; Pernambuco, 2005).

2.1.1 Lançamento de efluentes em corpos hídricos

A Resolução CONAMA nº 357/2005, posteriormente complementada e alterada pela Resolução CONAMA nº 430/2011, é o principal normativo quanto à classificação dos corpos de água e seu enquadramento, bem como quanto às condições e padrões de lançamento de efluentes no Brasil. O Conselho Nacional de Recursos Hídricos, por sua vez, apresenta a Resolução CNRH nº 91/2008, que dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento

dos corpos de água superficiais e subterrâneos, pontuando que a proposta de enquadramento deve conter: diagnóstico, prognóstico, propostas de metas relativas às alternativas de enquadramento e programa para efetivação (CNRH, 2008; CONAMA, 2005, 2011).

O enquadramento do corpo hídrico é dividido em classes, de acordo com os usos preponderantes mais restritivos da água, atuais ou pretendidos. Quando a qualidade da água está em desacordo com esses usos, devem ser estabelecidas metas obrigatórias, intermediárias e final, de melhoria da qualidade da água para efetivação dos respectivos enquadramentos. Os efluentes, por sua vez, não podem conferir ao corpo receptor características de qualidade em desacordo com essas metas, cabendo ao órgão ambiental competente estabelecer a carga poluidora máxima de determinado poluente que o corpo hídrico pode receber (CONAMA, 2005, 2011).

Nesse contexto, a Resolução CNRH n° 140, de 21 de março de 2012, que estabelece critérios gerais para outorga de lançamento de efluentes com fins de diluição em corpos de águas superficiais, estabelece que o pedido de outorga de lançamento de efluentes deve considerar: as características quantitativas e qualitativas dos usos dos recursos hídricos e do corpo receptor para avaliação da disponibilidade hídrica; as condições e padrões de qualidade, relativos aos parâmetros outorgáveis, referentes à classe em que o corpo de água estiver enquadrado ou às metas intermediárias formalmente instituídas; as vazões de referência ($Q_{7,10}$, Q_{95} , Q_{90} , entre outras); A capacidade de suporte do corpo de água receptor quanto aos parâmetros adotados (CNRH, 2012a).

A capacidade de suporte é dada através da vazão de diluição, definida como a “vazão do corpo de água necessária para diluição da carga de determinado parâmetro adotado contido no efluente, de modo que o corpo de água, após a mistura com o efluente, atenda ao enquadramento estabelecido ou à meta intermediária” (CNRH, 2012a, Art. 3°). Ainda de acordo com a referida Resolução, a Vazão de Diluição (Q_{dil}) é calculada pela Equação 1, derivada da equação de balanço de massa:

$$Q_{dil} = Q_{ef} \times \frac{(C_{ef} - C_{perm})}{(C_{perm} - C_{nat})} \quad (1)$$

Onde:

- Q_{dil} = vazão de diluição para determinado parâmetro de qualidade;
- Q_{ef} = vazão do efluente que contém o parâmetro de qualidade analisado;
- C_{ef} = concentração do parâmetro de qualidade no efluente;

- Cperm = concentração permitida para o parâmetro de qualidade no manancial onde é realizado o lançamento;
- Cnat = concentração natural do parâmetro de qualidade no manancial onde é realizado o lançamento.

O Quadro 1, abaixo, apresenta a comparação dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos entre as Resoluções CONAMA para enquadramento e lançamento de efluentes. Traz ainda parâmetros da Instrução Normativa CPRH nº 003/2018, que dispõe sobre o benefício da progressividade dos sistemas públicos de esgotamento sanitários existentes, e estabelece os parâmetros para lançamento de efluentes das ETEs do Estado.

Quadro 1- Parâmetros físico-químicos e microbiológicos para enquadramento e lançamento de efluentes.

Parâmetros	Enquadramento Cursos D'água				Lançamento de efluentes	
	CONAMA nº 357/2005 (água doce)				CONAMA nº 430/2011	IN CPRH nº 03/2018
	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4		
DBO (mg/L)	≤ 3	≤ 5	≤ 10	Não possui limite	≤ 120	≤ 60
Fósforo (mg/L)	≤ 0,1 (Lótico)	≤ 0,05 (Lótico)	≤ 0,15 (Lótico)	Não possui limite	Não possui limite	Não possui limite
Nitrogênio (mg/L)	≤ 3,7	≤ 3,7	≤ 13,3	Não possui limite	Não possui limite	Não possui limite
Coliformes Termotolerantes (CT/100 ml)	≤ 200	≤ 1.000	≤ 2.500	Não possui limite	Não possui limite	≤ 1.000
Oxigênio Dissolvido (OD mg/L)	≥ 6	≥ 5	≥ 4	≥ 2	Não possui limite	Não possui limite

Fonte: elaborado pela autora a partir de CONAMA (2005, 2011), CPRH (2018).

Em seu Artigo 5º, a IN CPRH nº 03/2018 estabelece como padrões a serem obedecidos para o lançamento de efluente a eficiência de remoção mínima de 90% de DBO ou lançamento com concentração máxima de 60 mg/L, sendo mais restritiva que a CONAMA nº 430/2011, que exige remoção mínima de 60% de DBO .

Em se tratando de lançamento em rios intermitentes, como é o caso de vários trechos do Rio Ipojuca, a IN CPRH nº 03/2018 determina apresentar justificativa quanto ao não atendimento desses parâmetros. Ademais, recomenda buscar alternativas de reúso para evitar o lançamento de efluente em leito seco (CPRH, 2018).

Quando a bacia hidrográfica apresenta variação sazonal das vazões ou tem caráter intermitente em parte ou na totalidade de seus rios, as vazões de referência são muito baixas ou até nulas. Nesses casos, têm-se as condições mais críticas para o lançamento de efluentes e seus efeitos sobre a qualidade de água, uma vez que a indisponibilidade periódica de água não permite a diluição ou o transporte do efluente, sendo este, muitas vezes, a única vazão do corpo receptor (Pinheiro *et al.*, 2013).

No que diz respeito ao lançamento de efluentes e enquadramento em rios intermitentes, as Resoluções CONAMA n° 357/2005 e 430/2011, e a Resolução CNRH n° 140/2012 trazem:

Art. 15. Para o lançamento de efluentes tratados em leito seco de corpos receptores intermitentes, o órgão ambiental competente poderá definir condições especiais, ouvido o órgão gestor de recursos hídricos (CONAMA, 2011, Capítulo II, Seção I).

Art. 38° § 5° Em corpos de água intermitentes ou com regime de vazão que apresente diferença sazonal significativa, as metas progressivas obrigatórias poderão variar ao longo do ano (CONAMA, 2005, Capítulo V).

Art. 12 No caso de corpos de água intermitentes ou com regime de vazão que apresente variação sazonal significativa, caberá às autoridades outorgantes adotar critérios e procedimentos específicos (CNRH, 2012a).

Quando se trata de enquadramento em rios intermitentes e efêmeros, o CNRH apresenta a Resolução n° 141/2012 (CNRH, 2012b), que trata dos critérios e diretrizes para implementação dos instrumentos de outorga de direito de uso de recursos hídricos e de enquadramento dos corpos de água em classes em rios intermitentes e efêmeros. A referida resolução não traz parâmetros físico-químicos e microbiológicos para o corpo hídrico ou efluente a ser lançado. No entanto, estabelece que o enquadramento somente será considerado no período em que o corpo hídrico apresentar escoamento superficial. Ademais, para rios intermitentes:

Art. 8° Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente terão a outorga de lançamento em rios intermitentes ou efêmeros após o devido tratamento, levando em consideração estudos específicos que avaliem possíveis impactos em seus leitos, em reservatórios a jusante ou em aquíferos, a critério da autoridade outorgante.

§ 1° No processo de regularização de lançamento de efluentes, a autoridade outorgante poderá estabelecer metas de remoção de carga de parâmetros adotados ou de implantação de prática de reúso de água, observadas as características hídricas, sociais e econômicas da bacia hidrográfica.

[...]

Art. 9º Na regulação dos usos de recursos hídricos em rios intermitentes e efêmeros, o reúso poderá ser indicado como prática de racionalização, de conservação de recursos hídricos e minimização da geração de efluentes (CNRH, 2012b).

A Resolução ANA nº 1.163/2016, que trata de critério para decisão quanto ao deferimento de pedidos de outorga para diluição de efluentes tratados situados em rios de domínio da União intermitentes ou efêmeros, determina:

Art. 1º O critério para decisão quanto ao deferimento de pedidos de outorga para diluição de efluentes tratados situados em rios de domínio da União intermitentes ou efêmeros, passa a ser unicamente a verificação quanto ao devido tratamento do efluente, não sendo realizada a análise de disponibilidade hídrica do corpo receptor.

Parágrafo Único: por devido tratamento do efluente, entende-se a remoção mínima de 60% da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) do efluente bruto, em consonância com a Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011, do Conselho Nacional de Meio Ambiente (ANA, 2016).

Assim como a CPRH (2018) e o CNRH (2012b), o CONAMA (2011) também pontua a reutilização como uma alternativa ao lançamento de efluentes, sempre que possível e adequado, tendo em vista a dificuldade em alcançar os parâmetros de qualidade para o lançamento de efluentes em leito seco de rios intermitentes e efêmeros, uma vez que não há capacidade de autodepuração.

2.1.2 Cobrança do uso de recursos hídricos

Além da outorga de direitos de uso dos recursos hídricos, outro importante instrumento da PNRH capaz de promover as condições de equilíbrio entre a oferta e a demanda de água, visando à promoção da racionalização do uso, é a cobrança pelo uso da água. Enquanto a outorga visa assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água, a cobrança pelo uso de recursos hídricos tem como objetivo reconhecer o valor econômico da água, incentivar a racionalização e obter recursos para serem reinvestidos na bacia. Para tanto, devem ser cobrados os usos sujeitos à outorga, abrangendo captações de água e lançamento de esgotos (Brasil, 1997).

Até 2022, a cobrança estava implementada em seis bacias interestaduais: Paraíba do Sul, PCJ (Piracicaba, Capivari e Jundiá), São Francisco, Doce, Verde Grande e Paranaíba. Já nos corpos hídricos estaduais, seis Estados implementaram a cobrança: Ceará, Rio de Janeiro e

Paraíba, nos quais a cobrança se dá em todo o Estado; e São Paulo, Minas Gerais e Paraná, nos quais ela ocorre em apenas algumas unidades hídricas (ANA, 2023). Como pode ser visto, Pernambuco ainda não implantou esse importante instrumento.

Na bacia hidrográfica do Rio São Francisco (CBHSF), por exemplo, o cálculo do valor anual de cobrança pela captação de água considera um coeficiente que leva em conta a eficiência do uso da água ($K_{\text{eficiência}}$). Este coeficiente assume valores específicos para os usuários de indústria e mineração de acordo com o reúso de água interno e externo aos processos de produção, dado pela Equação 2 (CBHSF, 2017).

$$K_{\text{eficiência}} = K_{\text{int}} \times K_{\text{ext}} \quad (2)$$

Onde:

- K_{int} = é o índice de reutilização, sendo a quantidade de água reutilizada dividida pela quantidade total de água utilizada no processo; e
- K_{ext} = é o índice de água de reúso, sendo a quantidade de água de reúso adquirida de empresa externa dividida pela quantidade total de água utilizada/necessária no processo (CBHSF, 2017).

No que diz respeito a sua relação com o reúso de efluentes, diversos autores defendem que a cobrança é mais um impulsionador da prática do reúso, especialmente quando o valor da água de reúso é inferior aos valores cobrados pela água doce e salobra, tornando essa fonte mais atrativa economicamente (ANA, 2023; Araújo *et al.*, 2018; INTERÁGUAS, 2018a; Demajorovic *et al.*, 2015).

Esse é o caso de Israel, onde os valores adotados para a água de reúso são inferiores aos adotados para água doce e salobra, incentivando a priorização dessa fonte no país (Araújo *et al.*, 2018). No Brasil, segundo Demajorovic *et al.* (2015), a tendência é de um preço reduzido na cobrança pelo uso da água, o que, não estimula mudanças profundas na gestão de recursos hídricos e gera recursos financeiros pouco significativos para a preservação da qualidade da água na bacia.

Nesse contexto, tem-se o caso da bacia PCJ. Em 2022, o valor do Preço Unitário Básico (PUB) para consumo de água bruta era 0,0255 R\$/m³ e para lançamento de carga orgânica (DBO) era 0,1274 R\$/KgDBO (AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2022). Na SANASA, empresa de saneamento do município de Campinas, o custo da água de reúso produzida com alta tecnologia de membranas de ultrafiltração é de 2,50 R\$/m³ para retirada. A água também pode

ser entregue no município de Campinas por caminhões pipa de 7 m³, ao custo de R\$ 321,37, ou 14 m³ ao custo de R\$ 409,02. Em comparação, a água tratada para indústria tem o custo mínimo de 7,92 R\$/m³, aumentando à medida que a faixa de consumo cresce (ARES-PCJ, 2021).

Observa-se que os valores da cobrança pelo uso dos recursos hídricos são muito inferiores aos valores praticados para água de reúso na SANASA. Dessa forma, não há um incentivo financeiro direto para que as indústrias substituam as captações de água bruta por água de reúso. No entanto, em comparação com o valor da água tratada, a água de reúso se mostra mais atrativa.

Outra forma de estimular o reúso através da cobrança é oferecendo bonificações e incentivos quando o usuário prioriza essa fonte. Por exemplo, na bacia hidrográfica do rio Paranaíba, o valor de cobrança pelo uso de recursos hídricos na indústria, mineração e agroindústria é menor quanto maior a adoção de boas práticas de uso e conservação da água, o que inclui a utilização de água de reúso (CBH PARANAÍBA, 2016).

2.1.3 Experiências nacionais com reúso de efluentes sanitários

No Brasil, os usos preponderantes da água são a agricultura irrigada, o abastecimento urbano e a indústria. Tendência que se repete no Estado de Pernambuco (ANA, 2019b). Segundo a ANA (2022), nos últimos vinte anos, a retirada para fins de irrigação cresceu de 640 para 965 m³/s, o que equivale a aproximadamente 50% do total retirado para usos consuntivos setoriais em 2020. Este setor apresenta um considerável potencial de expansão e provavelmente continuará liderando o aumento nas retiradas.

A indústria e a agricultura irrigada são também os usos preponderantes para a água de reúso em diversas localidades ao redor do mundo (INTERÁGUAS, 2017). Segundo a UNESCO (2017) a irrigação é responsável pela maior parte do reúso de águas residuais tratadas, não tratadas e parcialmente tratadas em todo o mundo.

O Interáguas estimou o potencial para reúso planejado de efluente sanitário no Brasil entre 10 e 15 m³/s no médio prazo (5 a 10 anos), enquanto a capacidade instalada em 2017 foi estimada em 2 m³/s, com uma vazão média de aproximadamente 1,6 m³/s. O total de investimentos para atingir 10 m³/s de água reutilizada até 2030 foi estimado entre quatro e seis bilhões de reais, que corresponderia a algo entre R\$ 300 e 500 milhões por ano, em média, de 2018 a 2030. No longo prazo, espera-se que o Brasil possa alcançar uma vazão de reúso em torno de 175 m³/s, valor que será de grande importância para o incremento das fontes de abastecimento no país (INTERÁGUAS, 2018b).

As companhias de saneamento e as prefeituras, através dos Serviços Autônomos de Água e Esgoto (SAAEs), vêm mostrando o desejo de implantar o reúso para diversos fins aplicáveis às distintas realidades locais. No entanto, entraves burocráticos e a falta de regulamentação tem impedido o avanço da produção e comercialização da água de reúso no país (IDS, 2019; ÁGUAS DO BRASIL, 2020).

Atualmente, o mercado brasileiro de produção de água de reúso ainda é incipiente. O PNSH (ANA, 2019a), por exemplo, identifica as obras prioritárias e estruturantes para garantir segurança hídrica à população brasileira no futuro. As intervenções recomendadas incluem estudos, projetos e obras de barragens, canais, eixos de integração e sistemas adutores de água, ou seja, obras estruturantes para aumento da oferta de água potável. No entanto, o Plano carece de ações voltadas para o controle e redução da demanda. Apenas recomenda a elaboração de estudos de aproveitamento de recursos hídricos para as regiões metropolitanas mais preocupantes quanto ao grau de segurança hídrica, citando o reúso de água como uma tecnologia alternativa complementar a ser utilizada em períodos de escassez hídrica.

O incentivo à comercialização de esgotos tratados como água de reúso é a principal proposta da Confederação Nacional da Indústria (CNI) para aperfeiçoamento da regulação do uso de fontes alternativas de abastecimento de água (CNI, 2019). Segundo a Confederação, em 2019 tramitavam no Congresso Nacional 15 projetos de lei que tratavam da regulação do reúso de água, envolvendo reúso de efluentes, dessalinização e captação de água de chuva (CNI, 2019).

O maior exemplo nacional de produção e comercialização de água de reúso para indústria é o AQUAPOLO, resultado da parceria entre a SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo) e a BRK Ambiental. Seu cliente é o Polo Petroquímico de Capuava e indústrias da região do ABC Paulista, onde a água de reúso atende nove clientes e 14 plantas industriais (IDS, 2019).

O AQUAPOLO, que tem capacidade de tratar até 1.000 L/s, funciona como uma Estação de Produção de Água de Reúso (EPAR), onde o esgoto tratado a nível secundário pela ETE ABC da SABESP passa por outros processos avançados de tratamento e polimento, atingindo os parâmetros de qualidade determinados em conjunto com o cliente, que utiliza a água de reúso em diversos processos industriais como torres de resfriamento e caldeiras (AQUAPOLO, 2022).

A água de reúso produzida é conduzida por uma adutora de 17 km de extensão, indo de São Paulo ao município de Mauá, onde está estabelecido o Polo Petroquímico de Capuava. A

partir dela, uma rede de distribuição de 3,6 km entrega a água para cada um dos clientes do Polo Petroquímico de Capuava (AQUAPOLO, 2022).

Além do projeto AQUAPOLO, a SABESP produz, em média, 502 L/s de água de reúso nas estações Jesus Netto, Barueri, Parque Novo Mundo e São Miguel para uso interno ou fornecimento externo. A Empresa possui 7,8 km de redes exclusivas para fornecimento de água de reúso, além da adutora e rede de distribuição do AQUAPOLO (SABESP, 2022).

Ainda no Estado de São Paulo, a SANASA Campinas possui duas Estações Produtoras de Água de Reúso, a EPAR CAPIVARI II, em operação desde 2011, com capacidade de tratamento de 360 L/s e eficiência de 99,71%; e a EPAR BOA VISTA, em fase de pré-operação, com capacidade de tratamento de 180 L/s. Ambas tem tecnologia de tratamento terciário por meio de membranas capilares ultrafiltrantes (SANASA, 2022).

Obraczka *et al.* (2019) reportam que das 26 ETEs em operação no município do Rio de Janeiro, apenas três geram água para reúso: Penha, Alegria e Deodoro. A destinação das águas regeneradas é basicamente para fins menos nobres e não potáveis, como lavagem de ruas, feiras e afins, 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.

A própria concessionária dos serviços de saneamento em Pernambuco tem desenvolvido alguns projetos pilotos de reúso em conjunto com outros órgãos oficiais. A água de reúso produzida nas ETEs de Caruaru, Parnamirim e Afogados da Ingazeira tem como destinação principal a irrigação de áreas verdes, campo de futebol, lavagem de equipamentos nas próprias Estações de Tratamento, produção de espécies vegetais típicas da caatinga, oleaginosas e forragem animal (COMPESA, 2020a).

2.2 CARACTERIZAÇÃO E TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO VISANDO O REÚSO

Denomina-se de águas servidas, ou esgoto, a água que passou pelo ciclo de uso em diversas atividades humanas, incorporando substâncias que alteram suas características, passando a conter matéria orgânica e mineral, em solução e em suspensão, bem como alta quantidade de bactérias e outros organismos patogênicos e não patogênicos. De acordo com sua origem, os esgotos podem ser classificados em dois grupos principais: domésticos e industriais (FUNASA, 2019; Sperling, 2011).

Os esgotos domésticos compreendem as águas servidas provenientes das instalações sanitárias, contendo fezes e urina (águas negras), e a parcela de água proveniente de banhos, lavagens e demais usos domésticos (águas cinzas). Já os esgotos industriais são originados dos mais diversos processos da indústria e sua composição pode variar de orgânica a mineral, geralmente mais rica em sólidos dissolvidos minerais do que os esgotos domésticos (FUNASA, 2019). O Quadro 2 a seguir traz um descritivo das principais características qualitativas dos esgotos domésticos.

Quadro 2 – Caracterização do esgoto doméstico.

Características físicas	<ul style="list-style-type: none"> - Teor de matéria sólida; - Temperatura – no geral é superior à da água tratado e à do ar; - Odor - gases formados no processo de decomposição; - Cor e turbidez - indicam de imediato o estado de decomposição do esgoto.
Características químicas	<ul style="list-style-type: none"> - Matéria orgânica - proteínas, carboidratos, gorduras e óleo, ureia, surfactantes, fenóis e outros; - Nitrogênio - indicativo importante para a manutenção da atividade biológica nos processos de tratamento e no controle da poluição das águas. - Fósforo - em corpos de água o fósforo em excesso poderá conduzir a crescimento exagerado de algas e ocasionar o fenômeno de eutrofização de lagos e represas. - Matéria inorgânica - formada principalmente pela presença de componentes minerais, não incineráveis (areia e outros), dos sólidos em suspensão e de substâncias minerais dissolvidas.
Características biológicas	<ul style="list-style-type: none"> - Bactéria aeróbia e anaeróbia - responsáveis pela decomposição e estabilização da matéria orgânica, tanto na natureza quanto nas estações de tratamento. Indicadores de poluição - bactérias coliformes, típicas do intestino do homem e de outros animais de sangue quente, são adotadas como referência para indicar e medir a grandeza da contaminação por matéria fecal. Os coliformes fecais (coliformes termotolerantes). são usados como indicadores da eficiência de remoção de organismos patogênicos (principalmente bactérias e vírus) no tratamento dos esgotos

Fonte: elaborado pela autora a partir de FUNASA (2019) e Sperling (2011).

O teor de matéria orgânica presente no esgoto é medido através de métodos diretos, como o Carbono orgânico total (COT); e indiretos, como a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e a demanda química de oxigênio (DQO). Quanto maior o grau de poluição orgânica, maior será a DBO. Há também o oxigênio dissolvido (OD), que é a determinação usual para aferir a qualidade dos cursos de água. É um fator limitante para manutenção da vida aquática e de processos de autodepuração em sistemas aquáticos naturais e estações de tratamento de esgotos (FUNASA, 2019).

Antes do lançamento do esgoto nos corpos hídricos, faz-se necessário a remoção dos seus principais poluentes. Desse modo, o esgoto passa por um processo de tratamento que altera novamente a qualidade da água. O efluente do tratamento, ao atingir o corpo receptor, tem suas características alteradas mais uma vez em função da diluição e mecanismos de autodepuração (Sperling, 2011).

Nas cidades, os esgotos de origem doméstica devem ser coletados e encaminhados para o tratamento através da rede coletora pública. No entanto, no Brasil, ainda há municípios cujos serviços de coleta e tratamento de esgotos não são oferecidos à população. Segundo a ANA (2017a, p. 14), “o déficit de coleta e tratamento de esgotos nas cidades brasileiras tem resultado em uma parcela significativa de carga poluidora chegando aos corpos d’água, causando implicações negativas aos usos múltiplos dos recursos hídricos”.

O processo de tratamento do esgoto doméstico, realizado nas Estações de Tratamento de Esgoto, pode ser dividido em até quatro etapas de acordo com o grau de remoção de poluentes que se deseja atingir, sendo elas: tratamento preliminar, tratamento primário, tratamento secundário e por fim, o terciário ou avançado, cujas principais características estão expostas no Quadro 3, a seguir.

Quadro 3 - Etapas de tratamento do esgoto doméstico (continua).

Etapas do tratamento	Principais mecanismos/características	Eficiência de remoção esperada (%)
Preliminar	- Remoção de sólidos grosseiros e areia; - Mecanismos de remoção de ordem física: peneiramento e sedimentação.	DBO: 0 - 5 SS: 5 - 20 Nutrientes: não remove Coliformes: não remove
Primário	- Remoção de sólidos em suspensão e sólidos flutuantes: matéria orgânica em suspensão, graxas e óleos; - Mecanismos de remoção de ordem física: sedimentação.	DBO: 25 - 40 SS: 50 - 65 Nutrientes: 10 - 25 Coliformes: 30 - 40
Secundário	- Remoção de matéria orgânica dissolvida e em suspensão (DBO solúvel e suspensa); - Mecanismo de remoção de ordem biológica: reações bioquímicas realizadas por microrganismos. - Métodos mais comuns: lagoas de estabilização e variantes, lodos ativados e variantes, filtro biológico e variantes, tratamento anaeróbio e disposição sobre o solo.	DBO: 60 - 95 SS: 70 - 95 Nutrientes: 10 - 60 Coliformes: 60 - 99

Quadro 3 - Etapas de tratamento do esgoto doméstico (conclusão).

Etapa do tratamento	Principais mecanismos/características	Eficiência de remoção esperada (%)
Terciário ou avançado	- Remoção de poluentes específicos: nutrientes como nitrogênio (N) e fósforo (P), patógenos, compostos não biodegradáveis, metais pesados, sólidos inorgânicos dissolvidos, sólidos em suspensão remanescentes das etapas anteriores. - Métodos mais comuns: lagoas de maturação, desinfecção, processos de remoção de nutrientes e filtração final.	DBO: 75 - 99 SS: 70 - 98 Nutrientes: até 99 Coliformes: até 99,99
Onde: SS – Sólidos em suspensão		

Fonte: elaborado pela autora a partir de FUNASA (2019), Sperling (2011) e WHO (2018).

O tipo de tratamento é definido em função das características iniciais do esgoto e da adequação do efluente a uma qualidade desejada para uso pré-determinado ou disposição final. Existe uma grande variedade de métodos de tratamento a nível secundário e terciário, que podem ser usados separadamente ou combinado, a depender da eficiência de remoção esperada no projeto da estação de tratamento (FUNASA, 2019; Sperling, 2011).

O efluente produzido na ETE pode ser lançado em corpo hídrico, retornando à natureza, ou ser derivado para usos específicos, como irrigação, atividades de manutenção e limpeza urbana, processos industriais, entre outros. Neste caso, o efluente passa a ser denominado de água de reúso, definida como o produto de um esgoto tratado e polido para reutilização (Moura *et al.*, 2020).

Os níveis de tratamento exigidos para produção de água de reúso correspondem à finalidade do uso da água e ao nível de risco à saúde humana e ao meio ambiente para cada tipo de reutilização. Caso não seja tratada e manejada adequadamente, a água de reúso pode ser perigosa para as pessoas e para o meio ambiente, razão pela qual os regulamentos baseiam-se em garantir a saúde e a segurança dos usuários. Em contrapartida, desde que sejam aplicadas medidas de controle apropriadas, incluindo o tratamento adequado, é possível produzir água segura a partir de efluentes sanitários, mesmo para o reúso direto potável, que já é praticado em países como Austrália e Estados Unidos (Hespanhol *et al.*, 2019), por exemplo.

2.3 MODALIDADES DE REÚSO DE EFLUENTES

Quanto à finalidade de uso, o reúso é classificado em potável ou não potável. No Brasil, a Portaria de Consolidação nº 5/2017 (Brasil, 2017), do Ministério da Saúde, define os padrões

de potabilidade da água para consumo humano em seu Anexo XX, o qual foi atualizado em 2021 através da Portaria GM/MS nº 888/2021 (Brasil, 2021).

O grau de tratamento para uso múltiplo de efluente é definido, regra geral, pelo uso mais restritivo quanto à qualidade de esgoto tratado, ou seja, para usos que exigem água potável, o esgoto deve ser tratado até atingir os padrões de potabilidade exigidos pelo Ministério da Saúde. Os usos não potáveis exigem níveis de tratamento menos elevados, o que implica em menor custo e facilidade de execução. Sendo assim, o reúso não potável pode ser aplicado para fins industriais, agrícolas e paisagísticos, para recarga de aquífero, manutenção de vazão em cursos d'água, manutenção da própria rede coletora de esgotos, entre outros (WHO, 2017).

Segundo a Resolução nº 54/2005 do CNRH (CNRH, 2005), o reúso pode ser classificado quanto ao método conforme é realizado em direto ou indireto. O reúso é dito indireto quando as águas residuais são descartadas nos corpos hídricos superficiais ou subterrâneos, diluídas e depois captadas (e tratadas) para novo uso. O reúso direto consiste no uso planejado de água de reúso, conduzida ao local de utilização, sem lançamento ou diluição.

O Quadro 4 apresenta as principais modalidades de reúso não potável de acordo com a demanda, baseado nas definições da Resolução CNRH nº 54/2005 (CNRH, 2005), nas diretrizes para reúso de água da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, 2012), assim como nos trabalhos de Santos *et al.* (2021) e INTERÁGUAS (2017).

Quadro 4 - Modalidades de reúso direto não potável.

Modalidade	Conceito e aplicações
Agrícola	Aplicação de água de reúso para produção agrícola e cultivo de florestas plantadas, através da irrigação de diferentes culturas com diferentes tipos de equipamentos.
Urbano	Utilização de água de reúso em ambientes urbanos para fins de irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos diversos, desobstrução de tubulações de águas pluviais ou de esgotos sanitários, construção civil, edificações, combate a incêndio, descarga de bacia sanitária em sistemas descentralizados, entre outros.
Industrial	Utilização de água de reúso em processos, atividades e operações industriais, em que a água pode ser proveniente de um reúso interno ou externo, e de um sistema centralizado ou descentralizado.
Ambiental	Utilização de água de reúso para implantação de projetos de recuperação do meio ambiente, como por exemplo, recuperação de áreas degradadas, recarga de aquífero, manutenção de vazão em corpos hídricos, entre outros.
Piscicultura/aquicultura	Utilização de água de reúso para a criação de animais ou cultivo de vegetais aquáticos.
Recarga de Aquífero	Recarga gerenciada de aquíferos para aumento da disponibilidade hídrica de água subterrânea e fins não potáveis.

Fonte: elaborado pela autora a partir de CNRH (2005), INTERÁGUAS (2017), Santos *et al.* (2021) e USEPA (2012).

As modalidades de reúso não são mutuamente excludentes, podendo mais de uma delas ser empregada simultaneamente em uma mesma área. As diretrizes, critérios e parâmetros específicos para cada modalidade de reúso são estabelecidos por órgãos competentes a nível municipal, estadual ou federal.

Santos *et al.* (2021) trazem, ainda, a classificação quanto ao grau de restrição ao usuário: no reúso restrito o acesso do público à água de reúso é limitado, no reúso irrestrito esse acesso é liberado. Conseqüentemente, o segundo caso requer um maior controle e exigência quanto à qualidade e segurança do efluente. Ainda, é possível classificar o reúso quanto ao local de utilização: se utilizado dentro das próprias instalações onde ele foi produzido, refere-se ao reúso interno; se o efluente tratado for encaminhado para reúso em ambientes externos àquele onde ele foi produzido, refere-se ao reúso externo.

2.4 PARÂMETROS PARA REÚSO DIRETO NÃO POTÁVEL DE EFLUENTES

Para que a prática de reúso seja desenvolvida de forma adequada é necessária a criação de um arcabouço legal que defina as modalidades de reúso permitidas, estabeleça os padrões de qualidade da água de reúso para cada uma delas e respectivos códigos de prática. Ademais, defina os critérios para licenciamento, os mecanismos de controle e sistema de informações tomando a proteção à saúde pública e ao meio ambiente como a base para os critérios estabelecidos para a prática do reúso (Araújo *et al.*, 2017; Cunha *et al.*, 2012; Hespanhol, 2019). Nesse sentido, os tópicos seguintes abordam os aspectos gerais da regulamentação para reúso direto não potável de água nas esferas internacional e nacional, assim como um comparativo das principais diretrizes para a prática.

2.4.1 Parâmetros de referência internacionais para o reúso de efluentes

Na esfera internacional, destacam-se as diretrizes da Organização Mundial de Saúde (OMS) para o uso seguro de águas residuais, excretas e águas cinzentas, com foco na segurança para o uso de águas residuais na agricultura e aquicultura (WHO, 2006); e as diretrizes para reúso de água da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, abordando parâmetros para as diferentes modalidades de reúso (USEPA, 2012).

Os Estados Unidos da América (EUA) reutilizam cerca de 8% do esgoto tratado (Siege, 2015). A Califórnia é o estado líder em reutilização de águas residuais, seguida pela Flórida,

Arizona e Texas. Esses quatro estados foram responsáveis por 95% do reúso de efluentes para irrigação no país no ano de 2015 (Ritter, 2021).

Na Califórnia, por exemplo, aproximadamente 898 milhões de metros cúbicos por ano são reutilizados através do reúso não potável e potável indireto. Isto representa 11% do uso total do sistema público de água e equivale a menos de um quarto das águas residuais produzidas no estado. Com isso, o governo estadual tem a meta de dobrar o volume de água de reúso até 2040 (Reinhart, 2023).

Além do reúso não potável, Santos *et al.* (2022) pontuam que a Califórnia também desenvolveu padrões para reutilização potável, destacando os projetos de recarga de aquífero em *Montebello Forebay* e *Orange County* (reúso potável indireto). O único projeto de reúso potável direto em operação nos Estados Unidos é o *The Big Spring Water Reclamation Plant* (BSWRP), localizado no Texas, onde a água de reúso é misturada com água bruta e encaminhada para tratamento convencional de água, numa proporção de 20% de água reutilizada para 80% de água bruta.

Outro país de destaque no aproveitamento da água de reúso para irrigação é Israel, que trata cerca de 95% do esgoto e reutiliza mais de 85% desse efluente tratado, fazendo da água de reúso uma prioridade nacional. O esgoto tratado representa cerca de um terço da água nacional usada na agricultura, ou cerca de 20% de toda a água usada para todos os fins no país (Siege, 2015). Para que isso fosse possível, o governo de Israel decidiu, ainda em 2005, elevar seu tratamento de efluentes para padrões avançados, permitindo irrigação irrestrita de acordo com a sensibilidade do solo e sem risco para a saúde humana, flora, solo e fontes de água (Inbar, 2007).

A União Europeia também avançou em sua política de reúso. Com o objetivo de facilitar e incentivar a reutilização de água entre os países membros, foi aprovado o Regulamento (EU) n° 2020/741 sobre os requisitos mínimos para a reutilização segura de efluente urbano tratado para irrigação agrícola. Além disso, o referido regulamento estabelece requisitos mínimos de monitoramento e licenciamento, soluções para gestão de risco e disposições sobre transparência, para que o público tenha acesso às principais informações sobre cada projeto de reúso. As novas são aplicáveis aos Estados-Membros desde 26 de junho de 2023 (EU, 2020).

O Regulamento estabelece quatro classes de qualidade da água, conforme Quadro 5 abaixo.

Quadro 5 - Parâmetros para reúso de efluentes em vigor da União Europeia.

Classe	Descrição	E. coli (n°/100 ml)	DBO ₅ (mg/L)	Sólidos Suspensos Totais - SST (mg/L)	Turbidez
A	Todas as culturas alimentares consumidas cruas onde a parte comestível está em contato direto com a água recuperada e as raízes consumidas cruas. Todos os métodos de irrigação.	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 5
B	Culturas alimentares consumidas cruas em que a parte comestível é produzida acima do solo e não está em contato direto com água recuperada, processadas e culturas não alimentares, incluindo as utilizadas para alimentar animais produtores de leite ou carne. Todos os métodos de irrigação.	$\leq 10^2$	De acordo com o Anexo I - Tabela I da Diretiva 91/271/EEC: 25 mg/L ou redução de 70% a 90%	De acordo com o Anexo I - Tabela I da Diretiva 91/271/EEC: 35 a 60 mg/L ou redução de 70% a 90%	
C	Culturas alimentares, processadas e não alimentares. Irrigação por gotejamento ou outro método de irrigação que evite o contato direto com a parte comestível da cultura	$\leq 10^3$			
D	Culturas industriais, energéticas e sementeiras. Todos os métodos de irrigação.	$\leq 10^4$			

Fonte: elaborado pela autora a partir de EU (2020).

2.4.2 Parâmetros de referência nacionais para o reúso de efluentes

No Brasil, o primeiro instrumento normativo utilizado para a prática do reúso de efluentes foi a NBR 13.969/1997 (ABNT, 1997), ainda em vigor, que tem por objetivo oferecer alternativas de procedimentos técnicos para o projeto, construção e operação de unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos de tanques sépticos.

O item 5.6 da referida Norma recomenda que o esgoto tratado de origem essencialmente doméstica ou com características similares deve ser reutilizado para fins que exigem qualidade de água não potável, mas sanitariamente segura (ABNT, 1997). Os possíveis usos foram então divididos em quatro classes, para as quais foram apontados os parâmetros turbidez, coliforme

fecal, sólidos dissolvidos, pH e cloro residual, recomendados para o efluente conforme o uso, como pode ser visto no Quadro 6.

Quadro 6 - Classes e parâmetros para reúso segundo a NBR 13.969/1997.

Classe	Principais usos	Parâmetros do efluente
Classe 1	Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes.	Turbidez < 5; Coliforme fecal < 200 NMP/100 mL; Sólidos dissolvidos totais < 200 mg/L; pH entre 6,0 e 8,0; Cloro residual: 0,5mg/L a 1,5 mg/L.
Classe 2	Lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes.	Turbidez < 5; Coliforme fecal < 500 NMP/100 mL; Cloro residual superior a 0,5 mg/L
Classe 3	Descargas dos vasos sanitários.	Turbidez < 10; Coliforme fecal < 500 NMP/100 mL;
Classe 4	Irrigação de pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual. As aplicações devem ser interrompidas pelo menos 10 dias antes da colheita.	Coliforme fecal < 5.000 NMP/100 mL; Oxigênio dissolvido (OD) > 2,0 mg/L.

Fonte: elaborado pela autora a partir de ABNT (1997).

Apesar de sua grande relevância para a discussão sobre o reúso de água no cenário nacional no final dos anos 90, atualmente, a NBR 13.969/1997 se encontra desatualizada. Segundo Santos *et al.* (2021), isso se deve ao fato da exigência de níveis extremamente avançados de tratamento para soluções localizadas, como tratamento aeróbio seguido de filtração convencional e cloração, ou a utilização de tecnologia de membranas. Na prática atual, a maioria das ETEs descentralizadas no país é composta por sistemas simplificados de fossa séptica ou fossa séptica seguida de filtro anaeróbio.

Em 2005, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) implementou a Resolução nº 54/2005 (CNRH, 2005), a qual estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, porém não apresenta parâmetros de qualidade de água. Em 2010, este normativo foi complementado pela Resolução nº 121/2010 (CNRH, 2010) que estabeleceu diretrizes e critérios para a prática de reúso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal. Todavia, também não foram apresentados parâmetros de qualidade e segurança para o uso do efluente.

Através do Programa de Desenvolvimento do Setor Água – Interáguas¹, foi desenvolvido o projeto para elaboração de uma proposta do plano de ações para instituir uma política de reúso de efluente sanitário tratado no Brasil. O referido projeto contou com financiamento do Banco Mundial, através do Acordo de Empréstimo nº 8.074-BR, sendo dividido em seis produtos: Plano de Trabalho Ajustado, Relatório de Experiências com Reúso, Relatório de Critérios de Qualidade, Relatório de Potencialidades de Reúso, Relatório de Modelos de Financiamento e, por fim, Relatório de Plano de Ações/Política de Reúso (RF) (INTERÁGUAS, 2017).

As recomendações quanto aos critérios de qualidade do efluente para reúso são apresentados no Produto III. Para tanto, foram analisados documentos da USEPA, Organização Mundial de Saúde, Resoluções do Estado do Ceará, entre outros documentos nacionais. Santos *et al.* (2021) ressaltam que apesar da proposta não possuir força legal, trouxe diretrizes e orientações para o reúso de efluentes tratados no Brasil, com a definição de parâmetros de qualidade para as diferentes modalidades de reúso. No entanto, segundo Santos *et al.* (2022), o programa não alcançou os resultados esperados.

O novo marco do saneamento atribuiu à ANA a incumbência de estabelecer normas de referência sobre o reúso dos efluentes sanitários tratados, em conformidade com as normas ambientais e de saúde pública (Brasil, 2020). A pauta está em discussão sob o comando da Câmara Técnica de Educação, Informação e Ciência e Tecnologia (CTECT/CNRH) do CNRH, através do grupo de trabalho sobre reúso criado em 2021.

Atualmente, a CTECT/CNRH está trabalhando na atualização das Resoluções nº 54/2005 e 121/2010, visando o estabelecimento de modalidades, diretrizes e critérios gerais que regulamentem e estimulem a prática de reúso direto não potável de água em todo o território nacional, com recomendações de parâmetros mínimos de qualidade (CTECT/CNRH, 2022). Em outubro de 2022, o CNRH abriu consulta pública com uma proposta de resolução e definição de critérios de qualidade para a água de reúso (MIDR, 2022). Após a consulta, até outubro de 2023 não haviam sido publicadas novas informações a respeito da resolução.

Em paralelo, o CONAMA publicou a Resolução nº 503/2021, que define critérios e procedimentos para o reúso em sistemas de fertirrigação de efluentes provenientes de indústrias de alimentos, bebidas, laticínios, frigoríficos e graxarias. Apesar de não tratar de efluentes

¹ O Interáguas foi um programa federal que teve por objetivo contribuir para o fortalecimento da capacidade de planejamento e gestão no setor água, especialmente nas regiões menos desenvolvidas do País, visando a aumentar a eficiência no uso da água e na prestação de serviços; aumentar a oferta sustentável de água em quantidade e qualidade adequadas aos usos múltiplos; e melhorar a aplicação de recursos públicos no setor água, reduzindo deseconomias causadas por deficiências na articulação e coordenação intersetoriais (MDR, 2020).

domésticos, mas sim industriais, representa um avanço quanto à existência de normativos nacionais que tratem sobre reúso de efluentes e, mais especificamente, para fertirrigação. A referida resolução traz parâmetros de qualidade e monitoramento para o efluente e o solo (CONAMA, 2021).

Para diversos autores, regulamentar o reúso significa sanear e regulamentar uma prática que já existe no Brasil (Santos *et al.*, 2021; Barbosa *et al.*, 2014). Enquanto não há um normativo único a nível federal, alguns órgãos a nível estadual propuseram critérios para o reúso direto não potável, legalizando a prática em seus territórios. Nesse âmbito destacam-se os Estados da Bahia (2010), Ceará (2017), São Paulo (2017 e 2020), Minas Gerais (2020), Rio Grande do Sul (2020) e Paraná (2023).

O Conselho Estadual de Recursos Hídricos da Bahia (CONERH/BA), através da Resolução n° 75/2010 (CONERH/BA, 2010), que estabelece procedimentos para disciplinar a prática de reúso direto não potável de água na modalidade agrícola e/ou florestal, traz recomendações de valores quanto às características físicas, químicas e biológicas para a água de reúso, baseados nos parâmetros da Organização Mundial de Saúde. Destaca-se os limites para coliformes termotolerantes, ovos de helmintos, Razão de Adsorção de Sódio (RAS) e condutividade elétrica.

No Estado de São Paulo, a Resolução Conjunta SES/SIMA/SP n° 01/2020 (SES/SIMA/SP, 2020) disciplina o reúso direto não potável de água, para fins urbanos, proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário e dá providências correlatas. O referido documento moderniza a Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH n° 01/2017 (SES/SMA/SSRH, 2017), atualizando alguns padrões de qualidade, frequência de análise, categoria e o formato dos adesivos para sinalização. É permitida a comercialização da água de reúso produzida nas ETEs operadas por empresas públicas ou privadas, exceto as ETEs implantadas por estabelecimentos comerciais e industriais.

Para efeito desta Resolução, a água de reúso para fins urbanos abrange exclusivamente as seguintes modalidades: irrigação paisagística, lavagem de logradouros e outros espaços públicos e privados, construção civil, desobstrução de galerias de água pluvial e rede de esgotos, lavagem de veículos e combate a incêndio. A Resolução define os parâmetros de qualidade e de monitoramento da água de reúso, como por exemplo: DBO, turbidez, SST, cloro residual, cloreto, boro e RAS, além das atribuições do produtor e cuidados no manuseio do recurso.

No município de São Paulo, destaca-se a Lei n° 16.174/2015 (São Paulo, 2015) que estabelece regramento e medidas para fomento ao reúso de água para aplicações não potáveis, oriundas do polimento do efluente final do tratamento de esgoto, de recuperação de água de

chuva, da drenagem de recintos subterrâneos e de rebaixamento de lençol freático. Fica determinado que a Prefeitura estabelecerá em seus editais, cláusulas relativas ao uso preferencial de água de reúso nas aplicações não potáveis, podendo até conceder mecanismos de incentivo financeiro ou maior pontuação na seleção de propostas, desde que estas considerem o preço da água de reúso igual ou inferior ao da água potável, disponibilidade e qualidade do recurso.

Ainda na esfera estadual, tem-se a Lei nº 16.033/2016 (Ceará, 2016) do Estado do Ceará, que dispõe sobre a política de reúso de água não potável no âmbito do Estado. Em seu artigo sexto, estabelece que o Plano Estadual dos Recursos Hídricos e os Planos de Gerenciamento das águas de Bacias Hidrográficas devem incluir diretrizes para o reúso de água, bem como instituir metas a serem cumpridas pelo Estado no que se refere ao reúso. Já no artigo nono, é estabelecido que a atividade de reúso de água não potável está condicionada à outorga, devendo todos os equipamentos ou sistemas ser hidrometrados.

A Resolução COEMA/CE nº 02/2017 (COEMA/CE, 2017), do Conselho Estadual do Meio Ambiente do Ceará, dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. Em seu capítulo terceiro, estabelece as modalidades de reúso direto de água não potável e os parâmetros específicos de qualidade para cada uso. Ainda permite o reúso externo de efluentes não sanitários como, por exemplo, as águas residuais de processos industriais, mediante a apresentação de projeto ao órgão ambiental competente.

Em 2020, o estado de Minas Gerais também passou a regulamentar o reúso de água não potável através da publicação da Deliberação Normativa nº 65/2020 (CERH/MG, 2020), que regulamenta o reúso direto de água não potável proveniente de Estações de Tratamento de Esgotos de sistemas públicos e privados. A norma permite o reúso em diversas atividades, tais como: cultivos agrícolas, pastagens e silvicultura, incluindo a fertirrigação de culturas não ingeridas cruas; usos urbanos como na lavagem de equipamentos públicos, veículos comuns e especiais (caminhões de coleta e transporte de resíduos sólidos domésticos, por exemplo), além do uso predial comercial ou industrial (restrito a descargas sanitárias). Ademais, a água para reúso é passível de utilização para fins ambientais, como em projetos de recuperação florística ou de áreas degradadas, desde que o acesso a estas áreas seja controlado; e em usos industriais como na construção civil e mineração.

Para cada modalidade de reúso, a referida norma traz padrões de qualidade do efluente e determina uma frequência mínima de monitoramento da água de acordo com a vazão produzida. Além disso, determina o desenvolvimento de um banco de dados público para o

cadastro de produtores de água de reúso, catalogação de informações relacionadas às condições da água de reúso produzida e registro de fornecimento para os usuários.

Também em 2020, o estado do Rio Grande Sul avançou na política para promoção do reúso de efluentes através da Resolução CONSEMA/RS nº 419/2020, que estabelece critérios e procedimentos para a utilização não potável de água de reúso proveniente de efluentes líquidos tratados de origem industrial ou sanitário, para fins urbanos, industriais, agrícolas e florestais (CONSEMA/RS, 2020).

Para fins urbanos, a água foi dividida em duas classes de qualidade: classe A, destinada à irrigação paisagística em locais de acesso irrestrito, lavagem de logradouros públicos e lavagem de veículos; e classe B, destinada à irrigação paisagística em locais de acesso limitado ou restrito, ao abatimento de poeira, aos usos na construção civil, em ETEs, e na desobstrução de redes de esgoto ou pluvial. A primeira limita o parâmetro de Coliformes Termotolerantes a 200 NMP/100 mL, na segunda o limite é 10^3 NMP/100 mL. Para fins agrícolas e florestais são apresentados 28 parâmetros. A qualidade e quantidade da água de reúso para fins industriais deverão obedecer às especificações técnicas de acordo com a finalidade e tecnologia do processo industrial a que se destina (CONSEMA/RS, 2020).

Por último, através da Resolução CERH/PR nº 122, de 19 de junho de 2023, o Paraná estabeleceu diretrizes e critérios para o reúso de água proveniente de efluentes tratados de origem sanitária ou industrial para fins urbanos, agrícolas, florestais, ambientais e industriais no Estado. Da mesma forma que no Rio Grande do Sul, os usos urbanos são divididos nas classes A e B, para fins agrícolas e florestais apresenta parâmetros únicos, sem distinção entre restrito e irrestrito. No entanto, o reúso é proibido na produção de frutos, hortaliças, raízes e tubérculos quando o produto estiver em contato direto com o solo para consumo humano na forma crua (CERH/PR, 2023).

Os normativos estaduais variam quanto as modalidades de reúso direto não potável permitidas e também quanto ao grau de restrição dos parâmetros. Os Estados do Ceará, São Paulo, Minas Gerais e Rio Grande do Sul representam também um estímulo para outras Unidades da Federação adotarem padrões próprios para o reúso, uma vez que ainda não há um normativo a nível federal que sirva de referência.

2.4.3 Comparativo entre parâmetros para reúso direto não potável

O Quadro 7, a seguir, traz um comparativo entre alguns parâmetros estabelecidos para reúso não potável nos estados brasileiros e os parâmetros internacionais da USEPA, da OMS e

de Israel, para as modalidades de reúso agrícola irrestrito (I) e restrito (R), ou amplo (A) e limitado (L), no caso de Mina Gerais.

Quadro 7 – Comparativo de parâmetros de qualidade da água de reúso para fins agrícolas e florestais.

Referência	Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	Ovos de helmintos (ovo/L)	pH	DBO (mg/L)	Turbidez (UNT)	Cloro Residual (mg/L)
USEPA (2012)	ND (I) < 200 (R)	-	6,0 - 9,0	≤ 10 (I) ≤ 30 (R)	≤ 2	1
WHO (2006)	10 ⁰ a 10 ⁵ (I) 10 ⁴ a 10 ⁶ (R)	< 1	-	-	-	-
Israel (INBAR, 2007)	≤ 10	-	6,5 - 8,5	10	-	1
COEMA/CE (2017)	ND (I) < 10 ³ (R)	ND (I) < 1 (R)	6,0 - 8,5	-	-	-
CERH/MG (2020) Agrossilvi-pastoril	≤ 10 ⁴ (A) ≤ 10 ⁶ (L)	≤ 1	6,0 - 9,0	-	-	-
CONSEMA/RS (2020)	≤ 10 ⁴	≤ 1	6,0 - 9,0	-	-	-
CERH/PR (2023)	≤ 10 ³	≤ 1	5,0 - 9,0	≤ 60	-	-
Minuta Resolução CNRH	< 10 (I) < 10 ³ (R)	< 1	6,0 - 9,0	≤ 15 (I) ≤ 30 (R)	≤ 5	1

Onde: NA – Não aplicável; ND – Não detectável; (I) – Irrestrito; (R) – Restrito; (A) – Amplo; (L) – Limitado.

Fonte: elaborado pela autora a partir de USEPA (2012), WHO (2006), Inbar (2007), COEMA/CE (2017), CERH/MG (2020), CONSEMA/RS (2020), CERH/PR (2023) e MIDR (2022).

Santos *et al.* (2020) pontuam a diferença entre os conceitos de “amplo” e “limitado” na legislação mineira, que se referem às múltiplas possibilidades de utilização da água de reúso, e “irrestrito” e “restrito”, que estão associados ao nível de contato com a água de reúso e aos riscos de contaminação microbiológica. Dessa forma, os valores mais conservadores são indicados para a irrigação irrestrita, e os valores menos restritivos às atividades de irrigação restrita.

Nota-se que a legislação cearense e da USEPA são mais restritivas com relação à presença de coliformes termotolerantes, único indicador presente em todos os normativos

analisados, na categoria agrícola irrestrita, até mais do que Israel. Essa tendência permanece na categoria restrita. A legislação mineira, por sua vez, se aproxima dos parâmetros da Organização Mundial da Saúde, sendo mais abrangentes. A minuta de resolução o CNRH ainda indica valores de referência para os parâmetros DBO, turbidez e cloro residual.

O Quadro 8, a seguir, apresenta o comparativo dos parâmetros para água de reúso estabelecidos nas resoluções do Estados do Ceará, Minas Gerais, São Paulo, Rio Grande do Sul e Paraná, com os parâmetros internacionais da USEPA da minuta de resolução do CNRH, para as modalidades de reúso urbano.

Na categoria de reúso urbano, a norma do estado de São Paulo e da USEPA são as mais restritivas para a presença de coliformes, demonstrando maior preocupação com os riscos de exposição e contaminação. De acordo com Santos *et al.* (2020), também não há uniformidade entre os normativos quanto a definição das atividades que seriam de uso restrito ou irrestrito, exceto em relação a desobstrução de redes e construção civil, classificadas em todos os normativos como de uso restrito.

Quadro 8 - Comparativo de parâmetros de qualidade da água de reúso para fins urbanos (continua).

Referência	Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	Ovos de helmintos (ovo/L)	pH	DBO (mg/L)	Turbidez (UNT)	Cloro Residual (mg/L)
USEPA (2012)	ND (I) < 200 (R)	-	6,0 - 9,0	≤ 10 (I) ≤ 30 (R)	≤ 2 (I)	1 (mín)
COEMA/CE (2017)	< 10 ³ (irrigação paisagística) < 5 x 10 ³	< 1	6,0 - 8,5	-	-	-
SES/SIMA/SP (2020)	ND (I) ≤ 200 (R)	< 1	6,0 - 9,0	≤ 10 (I) ≤ 30 (R)	≤ 2 ≤ 0,2 (filtração por membrana) (I) NA (R)	≥ 1 ≥ 0,5 (filtração por membrana)
CERH/MG (2020)	≤ 10 ³ (A) ≤ 10 ⁴ (L) ≤ 10 ⁷ (desobstrução de galerias de águas pluviais e de redes de esgoto)	≤ 1	6,0 - 9,0	-	-	-
CONSEMA/RS (2020)	< 200 (Classe A) < 10 ³ (Classe B)	< 1 (Classe A) NA (Classe B)	-	-	-	< 1

Quadro 8 - Comparativo de parâmetros de qualidade da água de reúso para fins urbanos (conclusão).

Referência	Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	Ovos de helmintos (ovo/L)	pH	DBO (mg/L)	Turbidez (UNT)	Cloro Residual (mg/L)
CERH/PR (2023)	200 (Classe A) 10 ³ (Classe B)	< 1	6,0 - 9,0	-	-	0,5 < CRT < 2
Minuta Resolução CNRH	< 10 (I) ≤ 10 ³ (R)	< 1	6,0 - 9,0	≤ 10 (I) ≤ 30 (R)	≤ 2 (I) ≤ 5 (R)	1

Onde: NA – Não aplicável; ND – Não detectável; (I) – Irrestrito; (R) – Restrito; (A) – Amplo; (L) – Limitado.

Fonte: elaborado pela autora a partir de USEPA (2012), COEMA/CE (2017), CERH/MG (2020), SES/SIMA/SP (2020), CONSEMA/RS (2020), CERH/PR (2023) e MIDR (2022).

Quanto ao reúso na categoria ambiental, há definição de parâmetros pela USEPA, nos Estados do Ceará e Minas Gerais, e na minuta de resolução do CNRH, como pode ser visto no Quadro 9. Nesta categoria, a legislação mineira permanece com os parâmetros menos restritivos em comparação com as demais. A mesma também estabelece que o acesso às áreas de aplicação da água de reúso seja controlado.

Quadro 9 - Comparativo de parâmetros de qualidade da água de reúso para fins ambientais.

Referência	Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	Ovos de helmintos (ovo/L)	pH	DBO (mg/L)	Cloro Residual (mg/L)
USEPA (2012)	< 200	-	-	≤ 30	1 (mín)
COEMA/CE (2017)	< 10 ⁴	< 1	6,0 - 8,5	-	-
CERH/MG (2020)	≤ 10 ⁶	≤ 1	6,0 - 9,0	-	-
Minuta Resolução CNRH	< 10 ³	-	6,0 - 9,0	≤ 60	1

Fonte: elaborado pela autora a partir de USEPA (2012), COEMA/CE (2017), CERH/MG (2020) e MIDR (2022).

Enquanto a definição de reúso para fins ambientais do normativo cearense é bastante superficial, se referindo apenas a projetos de recuperação do meio ambiente, a definição proposta na minuta do CNRH (MIDR, 2022) traz exemplos de projetos de recuperação, tais como manutenção de vazões dos rios, criação ou melhoria de *wetlands* e revitalização de áreas degradadas.

De um modo geral, é possível observar nos normativos estaduais que alguns são elaborados pelos conselhos de meio ambiente e outros pelos conselhos de recursos hídricos.

Também é notável que os mesmos apresentam parâmetros diversos para as mesmas modalidades de reúso, alguns mais restritivos, se assemelhando aos critérios internacionais, e outros menos exigentes. Em todas as modalidades, percebe-se que a norma mineira traz critérios mais abrangentes.

Morais e Santos (2019) e Santos *et al.* (2020) ressaltam que parâmetros muito restritivos podem inviabilizar a prática do reúso de efluentes, uma vez que o custo do tratamento pode ser muito elevado e a capacidade de investimento no setor de saneamento no Brasil é reconhecidamente limitada. Neste caso, para um melhor controle dos riscos associados à qualidade microbiológica das águas de reúso, os autores recomendam o emprego de Análise Quantitativa de Risco Microbiológico, a qual não é prevista em nenhuma legislação nacional.

Santos e Lima (2022) pontuam que devido às dimensões continentais do Brasil e sua grande diversidade social, cultural, econômica e ambiental, é necessário aplicar conceitos específicos para cada região, “o que não deve acontecer é a adoção simplista de padrões internacionais que não condizem com a realidade regional” (Santos e Lima, 2022, p. 19).

Ainda, de acordo com Santos e Vieira (2020) é possível adotar parâmetros mais flexíveis no início, que permitam o desenvolvimento da prática do reúso e o consequente ganho de experiência para, posteriormente, promover a atualização das normas e exigir parâmetros mais restritivos.

2.5 REÚSO DE EFLUENTES SANITÁRIOS E A REVITALIZAÇÃO DE BACIAS NO SEMIÁRIDO

Garcia e Pargament (2015a, 2015b) reportam que as principais estratégias para promover a reabilitação de rios em Israel, principalmente aqueles localizados em bacias intensamente urbanizadas com alto comprometimento da qualidade da água, têm sido a redução da poluição das águas residuais, promovendo a reutilização de parte desta água para fins agrícolas ou industriais, e outra parte para reestabelecer a vazão de rios, neste caso utilizando efluentes derivados de tratamento avançado.

Para atender esses usos, o governo israelense aprimorou suas regulações para reúso de efluentes. Foram propostos 36 novos parâmetros químicos e biológicos para efluentes usados em irrigação irrestrita e lançamento em rios, que levaram em consideração a proteção das culturas, a qualidade do solo, a saúde pública e a proteção da qualidade da água. Os padrões propostos tornaram-se lei com a aprovação do Regulamento de Saúde Pública (padrões para qualidade de efluentes e regras para purificação de águas residuais) em 2010 (Garcia e Pargament, 2015b; Inbar, 2007).

Ao garantir maiores níveis de tratamento e segurança quanto ao efluente final a partir da implementação de melhoria das estações de tratamento, o foco dos gestores de água nessas áreas passa a ser o papel que o reúso de efluentes pode desempenhar na restauração dos corpos hídricos, ao invés de preocupação com a poluição e suas consequências (Luthy *et al.*, 2015).

Em Israel, o rio Yarqon é um exemplo de como a priorização do tratamento e reúso de efluentes sanitários é essencial para a revitalização do corpo hídrico. Passando por áreas densamente urbanizadas de Tel Aviv, Yarqon era explorado para atender demandas industriais, domésticas e de irrigação, que comprometiam sua vazão. Garcia e Pargament (2015b) pontuam que na estação seca, com a capacidade de diluição diminuída, a qualidade da água do rio era muito ruim. No entanto, sem a entrada de efluentes, o Yarqon teria se tornado um rio intermitente. Quanto aos aspectos ambientais, os urbanistas dos municípios circunvizinhos tratavam a área como inferior em termos de uso do solo, designando-a para a indústria e infraestrutura de transporte.

Uma das medidas adotadas para mudar essa situação foi investir na melhoria das Estações de Tratamento de Esgoto localizadas na área da bacia hidrográfica, elevando a qualidade do efluente a um nível terciário e garantindo que o mesmo atendesse os padrões de qualidade do Regulamento de Saúde Pública, tanto para atendimento da demanda de irrigação quanto para lançamento no rio. Essa ação provocou também a reabilitação ecológica da flora e fauna ribeirinha e aquática. Como consequência, as margens do rio se transformaram num “pulmão verde”, onde os usos para atividades recreativas e econômicas como passeios de barco, pesca e ciclismo ao longo do Yarqon passaram a ser estimulados (Garcia e Pargament, 2015b).

Garcia e Pargament (2015a) pontuam que a água de reúso utilizada diretamente para abastecimento e para fins de irrigação, por exemplo, pode ser considerada um bem privado com valor de mercado. No entanto, quando a água de reúso é destinada para fins ambientais, o efluente recuperado é um bem público ausente de valor de mercado, cujo valor ambiental, em termos de provisão de serviços ecossistêmicos, torna-se difícil de quantificar.

Segundo Flausino e Gallardo (2021), os bens e serviços que a natureza proporciona são a base para o desenvolvimento socioeconômico, são úteis para os seres humanos e para a manutenção da vida no planeta, direta ou indiretamente. Os serviços ecossistêmicos (SE), por sua vez, podem ser definidos como os benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas. Estes incluem:

[...] serviços de provisão como comida e água; serviços de regulação, como regulação de enchentes, secas, degradação da terra e doenças; serviços de suporte, como formação do solo e ciclagem de nutrientes; e serviços culturais, como benefícios

recreativos, espirituais, religiosos e outros benefícios não materiais (MEA, 2005, p. 27, *tradução nossa*).

Os SE associados à água incluem o fornecimento de água para atendimento aos diversos usos; mitigação de danos causados pela água, como danos causados por inundações, sedimentação de corpos d'água e melhoria da qualidade de água; serviços culturais como apreciação estética, usos espirituais e outros usos não materiais; serviços de suporte, como a criação de habitats aquáticos ou ribeirinhos. Para fornecer esses diferentes serviços hidrológicos aos diferentes usuários, os ecossistemas aquáticos precisam de água em quantidade, qualidade, localização e vazão adequados (Garcia e Pargament, 2015b).

Considerando a dificuldade em quantificar os serviços ecossistêmicos relacionados ao emprego da água de reúso na revitalização de rios, Garcia *et al.* (2016) conduziram uma análise de custo-benefício integrando custos e benefícios diretos e indiretos para avaliar a viabilidade econômica do projeto de reabilitação do rio Yarqon.

Neste caso, foram incluídos tanto os custos de capital da implementação de medidas de reabilitação (incluindo custos de manutenção) como os custos de oportunidade da alocação de água (a exemplo do abastecimento de água para a agricultura). Ademais, os autores quantificaram os benefícios dos serviços ecossistêmicos culturais, em escala local e em escala regional, além dos serviços de proteção do habitat. Os autores concluíram que a reabilitação do rio Yarqon forneceu valores presentes líquidos positivos de aproximadamente US\$ 139 milhões em um período de 30 anos em decorrência da prestação de serviços ecossistêmicos (Garcia *et al.*, 2016).

Bischel *et al.* (2013) trazem o estudo de caso de revitalização do riacho urbano Calera Creek (Cidade de Pacifica, Califórnia, Estados Unidos). A revitalização do riacho através da liberação de água de reúso para benefícios ecossistêmicos começou em 2002. Na época, duas opções para o lançamento de efluentes no riacho foram analisadas: tratamento secundário e emissário oceânico ou tratamento terciário com emissário interior juntamente com um sistema para revitalização do Calera Creek.

Inicialmente, a seleção do nível terciário de tratamento representou um aumento nos custos das instalações de tratamento em relação ao descarte oceânico. No entanto, os custos de manutenção evitados com um emissário oceânico foram reconhecidos como economias importantes. A escolha pelo tratamento terciário, com remoção de nutrientes e desinfecção com ultravioleta, e a revitalização do riacho evitaram gastos elevados com manutenção e desempenho incerto em relação ao emissário. Ademais, Bischel *et al.* (2013) pontuam que os serviços ecossistêmicos obtidos com as melhorias no córrego não foram explicitamente

considerados em termos econômicos para o projeto, o que poderia representar um custo-benefício ainda maior.

Os autores ressaltam que Calera Creek foi convertido de um córrego intermitente para perene, sendo dominado por efluentes nos meses de verão. A fauna e a flora se beneficiaram com o uso de água reciclada, sendo observado o crescimento denso de árvores e da mata ciliar nativos ao longo das margens, que por sua vez também atuam na proteção da fauna. Ademais, uma trilha pavimentada para caminhada/bicicleta, usada ativamente, corre ao longo do riacho e fornece um valor recreativo adicional significativo para a comunidade local (Bischel *et al.*, 2013).

Wolfand *et al.* (2022) trazem uma reflexão sobre o papel do lançamento de efluentes na manutenção das funções ecológicas dos cursos d'água, configurando o reúso indireto planejado, especialmente nos rios cuja vazão consiste principalmente em águas residuais tratadas despejadas. Os autores apresentam estudo de caso realizado no Rio Los Angeles (Los Angeles County, Califórnia, EUA), que assim como muitos rios urbanos, é dominado por efluentes, principalmente durante o período de estiagem.

Alguns trechos do Rio Los Angeles são importantes no suporte à migração de peixes e como habitat para peixes de águas quentes e aves limícolas. Outros trechos são utilizados para uma variedade de usos recreativos, como passeios a pé, caiaque, passeios a cavalo e pesca dentro do canal, bem como atividades como ciclismo, observação de pássaros, observação da vida selvagem, caminhada, corrida e eventos comunitários e educacionais adjacentes ao canal.

No referido estudo, foram simulados cenários de redução da descarga de efluentes tratados no rio para aumentar o reúso direto em três estações de tratamento de esgoto dentro da bacia hidrográfica. Os resultados mostraram que uma redução de 4% na descarga atual de águas residuais pode impactar negativamente o habitat para determinadas espécies durante a estação seca. A utilização do efluente para outros usos seria mais recomendado durante a estação chuvosa, quando a descarga atual de águas residuais poderia ser reduzida em 24% com impactos mínimos para a ecologia e recreação (Wolfand *et al.*, 2022).

Apesar de todos os impactos positivos apresentados nos casos estudados com a atualização da água de reúso para a revitalização de rios, os potenciais impactos negativos também devem ser explorados. Luthy *et al.* (2015) pontuam que, dependendo se os lançamentos de efluentes são contínuos ou pulsados, a qualidade do habitat pode ser melhorada ou afetada negativamente com consequências variadas para flora e fauna. Por exemplo, a temperatura da água pode aumentar substancialmente, o que pode afetar as proporções de sexo em algumas

espécies de animais, taxas de parasitismo, taxas de crescimento e uma variedade de outros fatores em nível populacional.

A perenização dos rios pode alterar a composição da fauna e da flora e pode facilitar o estabelecimento de espécies invasoras, o que altera ainda mais o sistema ecológico. Para combater possíveis efeitos negativos, faz-se necessário o desenvolvimento de estudos aprofundados na fase de projeto, a implantação de rigorosos sistemas de monitoramento e a avaliação em comparação aos diversos fatores positivos alcançados com a revitalização dos rios (Luthy *et al.*, 2015).

No entanto, quando a água de reúso é destinada para fins ambientais, torna-se um bem público ausente de valor de mercado, cujo valor ambiental, em termos de provisão de serviços ecossistêmicos, torna-se difícil de quantificar. Nesse ponto, os estudos apontam a importância da apropriação dos serviços ecossistêmicos e dos benefícios indiretos obtidos com a revitalização dos rios para demonstrar a melhoria da relação custo benefício ao adotar essa alternativa.

2.6 O REÚSO DE ÁGUA E OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

A Agenda 2030 é um plano de ação global composto por 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (Figura 2) com 169 metas associadas, integradas e indivisíveis, que estabelecem as diretrizes para enfrentar os desafios globais, promover o desenvolvimento sustentável e melhorar a qualidade de vida das pessoas em todo o mundo até o ano de 2030 (UN, 2015).

Figura 2 – Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável



Fonte: ONU (2023).

Esse plano foi adotado por 193 países-membros das Nações Unidas em setembro de 2015, estando entre eles o Brasil. O reúso de efluentes sanitários está diretamente relacionado com a Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável. Mais especificamente dentro do ODS 6 – água potável e saneamento, sendo uma das ferramentas para atingimento das metas de melhoria da qualidade e disponibilidade de água, aumento da reciclagem e reutilização seguras, aumento da eficiência no uso da água, proteção e restauração de ecossistemas, fortalecimento e participação das comunidades locais para melhorar a gestão da água e do saneamento (UNESCO, 2019).

Além disso, o reúso de efluentes também está indiretamente relacionado aos demais Objetivos de Desenvolvimento Sustentável conforme exposto no Quadro 10, abaixo, baseado nas relações estabelecidas pelo Instituto Reúso de Água (2022).

Quadro 10 – Correlação entre o reúso de água e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (continua).

ODS	Relação com o reúso de efluentes
ODS 1 – Erradicação da pobreza	Auxilia no fortalecimento da economia e, conseqüentemente, influencia na erradicação da pobreza. Além disso, o acesso a água contribui para o aumento da resiliência e redução da vulnerabilidade.
ODS 2 – Fome zero e agricultura sustentável	Contribui para a garantia da segurança alimentar e, conseqüentemente, acabar com a fome. Também colabora com a construção de sistemas sustentáveis de produção de alimentos.
ODS 3 – Saúde e bem-estar	Contribui para o acesso a água em qualidade e quantidade adequadas. Ainda, colabora com a redução da ocorrência de doenças causadas pela água contaminada.
ODS 4 – Educação de qualidade	Colabora com a proteção do meio ambiente e da saúde, os quais, por sua vez, relacionam-se com diversos fatores do meio em que se vive e do bem-estar da população, como: educação, respeito, redução das desigualdades, inclusão, sustentabilidade e produção mais limpa, dentre outros.
ODS 5 – Igualdade de gênero	
ODS 7 – Energia limpa e acessível	
ODS 10 – Redução das desigualdades	
ODS 11 – Cidades e comunidades sustentáveis	
ODS 16 – Paz, justiça e instituições eficazes	
ODS 8 – Trabalho decente e crescimento econômico	Contribui para a garantia da disponibilidade de água em qualidade e quantidade adequadas aos processos produtivos. Uma forte produção industrial gera aumento de empregos e desenvolvimento da economia, além de colaborar com o uso eficiente da água, minimizando a degradação ambiental.
ODS 9 – Indústria, inovação e infraestrutura	

Quadro 10 – Correlação entre o reúso de água e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (conclusão).

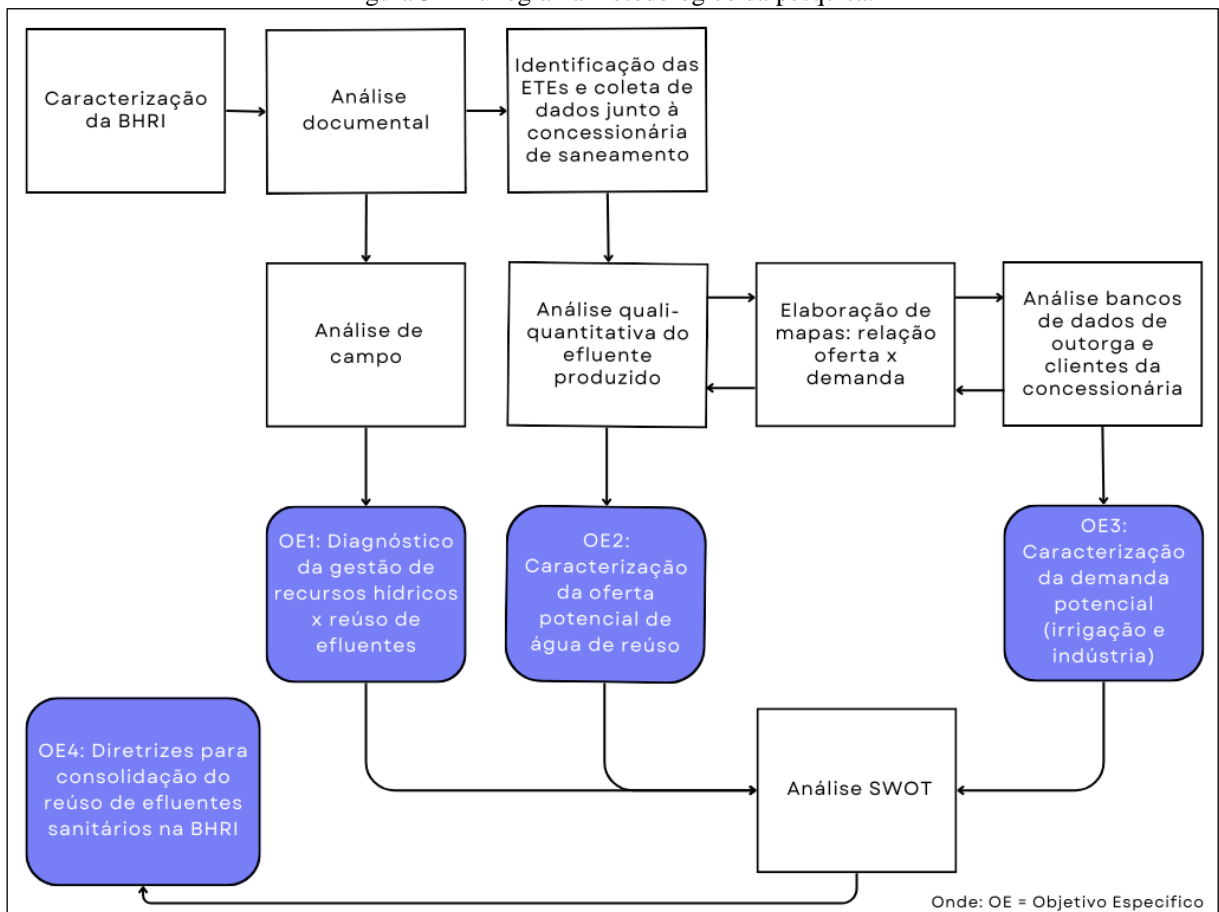
ODS	Relação com o reúso de efluentes
ODS 12 – Consumo e produção sustentáveis	Colabora no uso racional da água, minimizando a geração de resíduos e a degradação ambiental. Nesse cenário, o reúso caracteriza-se como uma prática sustentável.
ODS 13 – Ação contra a mudança global do clima	Contribui na resiliência e capacidade de adaptação aos riscos advindos das mudanças climáticas, como a escassez hídrica.
ODS 14 – Vida na água	Contribui na redução da poluição marinha, cuidando da qualidade da água nos rios e oceanos.
ODS 15 – Vida terrestre	Colabora no uso racional da água, garantindo disponibilidade de água para irrigação em períodos de seca e, conseqüentemente, cuidando também do solo.

Fonte: elaborado pela autora a partir de Instituto Reúso de Água (2022).

3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento da tese, adotou-se como método de pesquisa o estudo de caso da bacia hidrográfica do rio Ipojuca, localizada no Estado de Pernambuco, Brasil. O estudo de natureza aplicada tem objetivo descritivo-exploratório e abordagem qualitativa e quantitativa. A seguir, a Figura 3 apresenta, em forma de fluxograma, as etapas metodológicas necessárias para atingir os objetivos propostos deste trabalho. A metodologia teve início com a caracterização da bacia hidrográfica do rio Ipojuca. As etapas posteriores foram delineadas visando atingir cada um dos objetivos específicos propostos e serão detalhadas nos tópicos seguintes do presente capítulo.

Figura 3 - Fluxograma metodológico da pesquisa.



Fonte: elaborada pela autora.

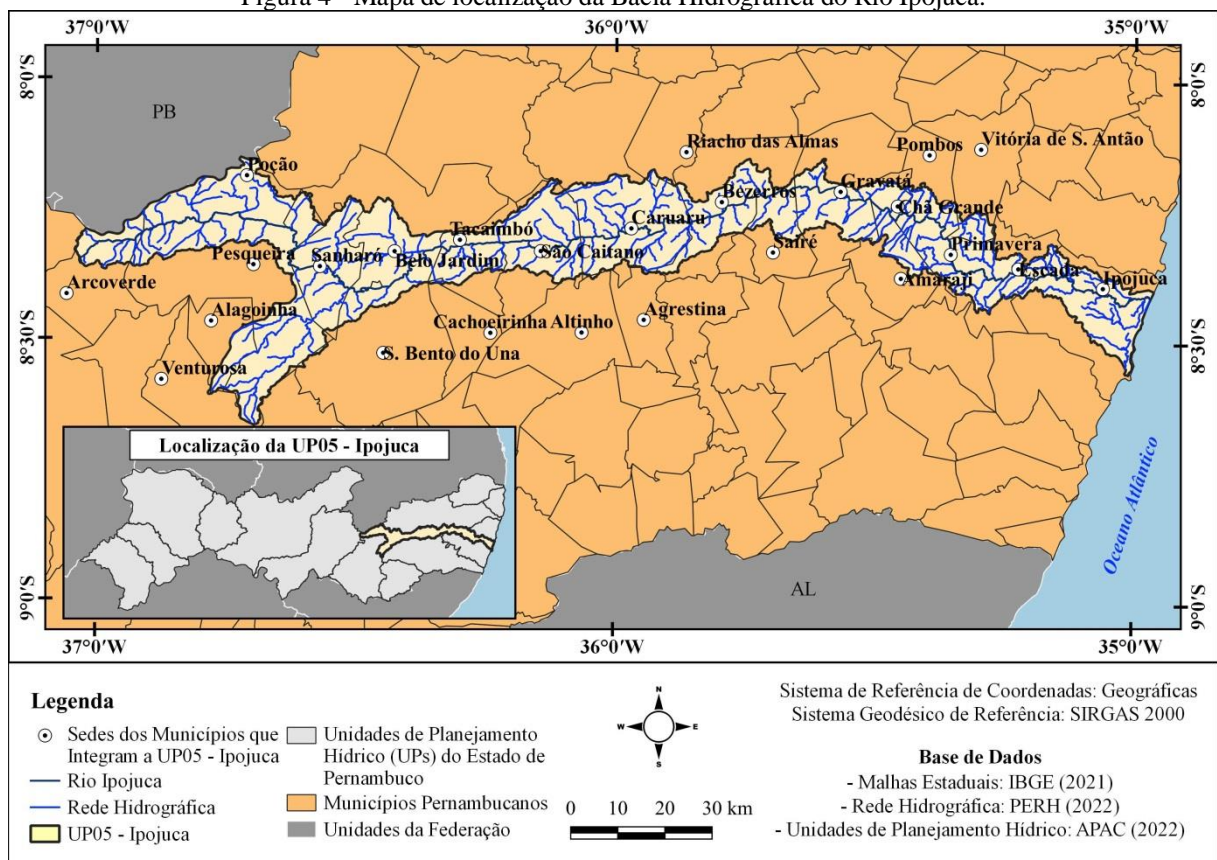
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IPOJUCA

A bacia hidrográfica do rio Ipojuca (Unidade de Planejamento 05 – UP05), representada na Figura 4, está totalmente inserida no estado de Pernambuco, abrangendo territórios parciais

de 25 municípios, dos quais 12 possuem sede dentro da bacia, cobrindo uma área superficial de 3.435,34 km², que equivale a 3,49% do território de Pernambuco (Pernambuco, 2005a, 2022).

O rio Ipojuca tem suas nascentes na Serra do Pau D'arco, município de Arcoverde, e apresenta extensão de cerca de 320 km, cortando as regiões fisiográficas do sertão, agreste, mata sul e metropolitana de Pernambuco (Pernambuco, 2005a). De acordo com Pernambuco (2022), a BHRI tem essa característica singular, dentre as demais Unidades de Planejamento do Estado, por ser considerada a única UP presente nas três grandes regiões de desenvolvimento mais a RMR.

Figura 4 - Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Ipojuca.



Fonte: elaborada pela autora.

O rio Ipojuca é intermitente desde sua nascente, passando pelos municípios de Poção, Sanharó, Belo jardim, Tacaimbó, São Caitano, Caruaru e Bezerros até as proximidades do município de Gravatá, a partir de onde se torna perene (SRH/PE, 2010). Todos esses municípios apresentam lançamento de efluentes, principalmente domésticos, captação de água em áreas de lançamento de efluentes e disposição de lixo no leito seco do rio (APAC, 2017).

Estando presente nas quatro regiões fisiográficas do Estado, a bacia apresenta grande variação com relação aos totais anuais precipitados. Nas nascentes a precipitação gira em torno

dos 640 mm, passando para uma média de 794,73 mm no seu curso médio, chegando a 2267,05mm próximo ao litoral, apresentando uma média geral de 1133,59 mm (SRH/PE, 2010). A bacia apresenta regiões com baixa segurança hídrica em sua parte alta e média, no Sertão e Agreste, tendendo a melhorar a medida que se aproxima da zona da mata e do litoral (Pernambuco, 2022).

Os principais usos do solo na bacia são as áreas cultivadas com cana-de-açúcar, ocupação urbana e industrial, policultura, pecuária e áreas de mata atlântica e manguezal. (SRH/PE, 2010). Foram estimados cerca de 3,5 mil hectares irrigados na bacia, com 34% destinados à cana-de-açúcar e 66% às outras culturas e métodos de irrigação. No entanto, em termos de produção agrícola, o cultivo de cana tem um peso de 99% dentre as demais culturas, a exemplo da banana (0,42%), mandioca (0,41%), tomate (0,29%) e outras (0,41%) (Pernambuco, 2022).

As atividades industriais de destaque na bacia são: produtos alimentícios, minerais não metálicos, sucroalcooleira, química, têxtil, metalúrgica, vestuário, artefatos, tecidos, couros, bebidas, produto farmacêutico e veterinário, perfumes, sabões, velas, material elétrico e de comunicação, calçados, matéria plástica, agropecuária e borracha. Os municípios onde se observa uma crescente participação dos setores industrial e de serviços são: Caruaru, Vitória de Santo Antão, Gravatá, Belo Jardim e Ipojuca (CPRH, 2020; SRH/PE, 2010).

A população urbana tem crescido de forma acelerada na bacia, com taxa de 1,2% ao ano, entre 2015 e 2019, alcançando uma taxa de urbanização de 88% em 2019. Em contrapartida, no mesmo período, a população rural decresceu com taxa de -1,2% ao ano. Este decréscimo da população rural mais acelerado em anos recentes pode ter sido motivado pela seca dos últimos anos, que causou o processo de êxodo rural (Pernambuco, 2022).

O Quadro 11, a seguir, apresenta indicadores de saneamento dos 25 municípios que fazem parte da bacia, extraídos do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2021) referente ao ano de 2020, através dos quais é possível perceber os baixos índices de saneamento, tanto de água como de esgoto nos municípios. Ressalta-se que a meta do Novo Marco Legal do Saneamento é alcançar a universalização até 2033, garantindo que 99% da população brasileira tenha acesso à água potável e 90% ao tratamento e coleta de esgoto (Brasil, 2020).

Quadro 11 - Indicadores de saneamento por município.

Município	Possui sede na bacia	Área na bacia (%) (SRH/PE, 2010)	Consumo médio per capita L/hab/dia (SNIS, 2021)	Índice de atendimento total de água (%) (SNIS, 2021)	Índice de coleta de esgoto (%) (SNIS, 2021)	Índice de tratamento de esgoto (%) (SNIS, 2021)
Belo Jardim	Sim	6,83	103,48	81,68	23,85	0
Bezerros	Sim	6,02	84,73	93,86	32,17	0
Caruaru	Sim	11,31	100,67	100	47,99	100
Chã Grande	Sim	1,79	75,69	66,25	43,11	35,29
Escada	Sim	5,68	75,67	79,72	NI	NI
Gravatá	Sim	5,55	136,72	100	2,15	100
Ipojuca	Sim	4,45	81,76	65,65	20,59	100
Poção	Sim	5,34	39,48	59,11	100	0
Primavera	Sim	2,60	82,37	45,93	NI	NI
Sanharó	Sim	7,12	77,36	79,35	NI	NI
São Caitano	Sim	7,49	85,84	82,16	NI	NI
Tacaimbó	Sim	4,10	87,62	78,91	46,36	100
Arcoverde	Não	2,80	83,46	100	6,61	100
Agrestina	Não	0,04	78,6	100	100	0
Alagoinha	Não	1,77	105,1	50,45	71,27	0
Altinho	Não	0,08	82,6	90	NI	NI
Amaraji	Não	1,76	NI	NI	NI	NI
Cachoeirinha	Não	0,05	76,8	100	87,21	0
Pesqueira	Não	17,42	108,3	66,32	89,87	0
Pombos	Não	1,95	91,8	81,88	NI	NI
Riacho das Almas	Não	0,24	97,9	59,62	100	0
Sairé	Não	2,25	63,1	100	NI	NI
São Bento do Una	Não	2,06	90,3	49,76	NI	NI
Venturosa	Não	0,05	83,41	58,84	59,68	100
Vitória de Santo Antão	Não	1,14	116,81	79,66	30,3	100

Fonte: elaborado pela autora a partir de SRH/PE (2010) e SNIS (2021).

De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2021), o consumo médio per capita de água em Pernambuco, no ano de 2020, foi de 103,48 L/hab./dia, enquanto na região nordeste e no Brasil esses valores foram 120,31 e 152,13 L/hab./dia, respectivamente. Observa-se que apenas cinco municípios possuem um consumo médio per capita de água igual ou superior ao do Estado. Considerando os 24 municípios da bacia, para os quais essa informação está disponível, o consumo médio de água na bacia é de 87,90 L/hab./dia.

Importante ressaltar que as informações são fornecidas pelas próprias prefeituras ou pelas concessionárias de água e esgoto que atuam em cada localidade, podendo haver discrepâncias da realidade. Ressalta-se também que o Índice de Tratamento de Esgoto corresponde ao percentual do esgoto coletado que é tratado. Dos 16 municípios que reportaram algum nível de coleta de esgoto, apenas oito indicaram que o esgoto passa por processo de tratamento, parcialmente ou em sua totalidade. O município de Poção, por exemplo, indica que 100% do esgoto é coletado, no entanto o índice de tratamento é zero.

Dos 25 municípios que tem parte de seus territórios inseridos na bacia hidrográfica do Rio Ipojuca, somente Amaraji não tem contrato de concessão com a Compesa para prestação de serviços de saneamento (ANA, 2017a). Os baixos índices de cobertura de saneamento básico na bacia têm reflexo na qualidade da água do Rio Ipojuca. De acordo com os dados dos Indicadores de Desenvolvimento Sustentável (IDS) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Rio Ipojuca foi classificado como o terceiro mais poluído do Brasil (IBGE, 2015). Outros fatores que contribuem para essa situação são a falta de planejamento e ordenamento que marcaram o desenvolvimento urbano e a poluição advinda do lixo urbano e industrial, que se inicia no solo, atingindo as águas superficiais, e infiltra-se, contaminando também as águas subterrâneas (Pernambuco, 2022; SRH/PE, 2010).

Os principais usos da água na BHRI estão associados ao abastecimento público, recepção de efluentes domésticos e recepção de efluentes agroindustrial e industrial (Pernambuco, 2022; SRH/PE, 2010). O monitoramento da qualidade da água na bacia é realizado pela CPRH. São 14 estações de amostragem monitoradas numa frequência trimestral. São medidos parâmetros como temperatura, pH, Oxigênio Dissolvido, DBO, Turbidez, Fósforo Total, Amônia, Coliformes Termotolerantes, Condutividade Elétrica, Salinidade, Sólidos Totais e Daphnia (CPRH, 2020).

Segundo a CPRH, a estação de monitoramento localizada em Caruaru (IP-49) foi a que registrou um maior comprometimento na qualidade da água, em 2019, com resultados críticos de Coliformes Termotolerantes, OD, DBO, Fósforo Total e Amônia (CPRH, 2020). Essa estação está localizada a jusante da cidade de Caruaru, na Vila do Cedro, COHAB III, sendo ponto no qual o rio é intermitente, recebe contribuições de efluentes industriais e sanitários dos municípios a montante, em especial da cidade de Caruaru (Pernambuco, 2022).

Outro ponto de monitoramento que requer atenção é o IP-90 que está situado na ponte PE-60, a jusante da Usina Ipojuca, no município de Ipojuca. Em época de safra, além dos efluentes sanitários das cidades à montante e outros efluentes industriais, o rio recebe a contribuição das usinas, em especial da usina Ipojuca. Neste ponto, observa-se que os meses do

período chuvoso apresentam valores menores de DBO por diluir os efluentes, indicando que a qualidade da água está fortemente condicionada às condições climáticas e às cargas poluidoras lançadas ao rio (CPRH, 2020; Pernambuco, 2022).

Visando melhorar a qualidade da água do rio Ipojuca e tomando como base o Plano Hidroambiental da bacia (SRH/PE, 2010), o Programa de Saneamento Ambiental da bacia hidrográfica do rio Ipojuca (PSA Ipojuca) foi lançado em 2013 pelo governo do estado de Pernambuco e o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), agente financiador, no valor de US\$ 330 milhões, sendo US\$ 200 milhões oriundos do BID e US\$ 130 milhões de contrapartida estadual (COMPESA, 2016).

Os municípios com sede na bacia foram priorizados para o desenvolvimento das ações, incluindo elaboração de projetos de sistema de esgotamento sanitário e execução dos serviços. Atualmente, foram concluídos os SES dos municípios de Tacaimbó e Gravatá (1ª etapa). Estão em andamento as obras dos SES de Belo Jardim, Bezerros, Escada, Sanharó e melhorias no SES Caruaru (COMPESA, 2016, 2022a). Todas essas ações resultarão num incremento de efluentes tratados na bacia, cujo potencial para produção e distribuição de água de reúso foram considerados no desenvolvimento da pesquisa.

3.2 ANÁLISE DOCUMENTAL E DE CAMPO

Para traçar o diagnóstico da implementação dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos e suas interfaces com o reúso de efluentes domésticos na bacia hidrográfica do rio Ipojuca, considerando a natureza aplicada e abordagem qualitativa desta etapa, foram adotados como métodos de coleta e análise de dados: a análise documental e a análise de campo, descritas nos tópicos seguintes.

3.2.1 Análise documental

Nesta fase, procurou-se listar e avaliar os documentos relacionados ao tema central da pesquisa: gestão de recursos hídricos e o reúso de efluentes domésticos oriundos de estações de tratamento de esgoto do sistema público. Além da revisão de literatura e estudos acadêmicos, foram examinados documentos legais (resoluções, normas, decretos e leis vigentes nas esferas nacional, estadual e municipais), notas técnicas, estudos preliminares contratados e documentos internos, como regulamentos, apresentações, planilhas e similares.

Uma etapa relevante desse processo compreendeu a análise dos instrumentos das Políticas Nacional e Estadual de Recursos Hídricos aplicados à bacia do rio Ipojuca, e suas interfaces com o reúso de efluentes, a saber: plano de recursos hídricos, enquadramento dos corpos de água em classes, a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos e a cobrança pelo uso de recursos hídricos (Brasil, 1997; Pernambuco, 2005b).

Neste sentido, foram identificados junto a APAC os seguintes documentos e estudos pertinentes à bacia hidrográfica do rio Ipojuca:

- Plano Hidroambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Ipojuca - PHA Ipojuca (SRH/PE, 2010);
- Proposta de Implantação de Outorga de Lançamento de Efluentes na Bacia do Rio Ipojuca (APAC, 2017);
- Proposta de Enquadramento dos Cursos de Água da Bacia Hidrográfica do Rio Ipojuca (APAC, 2019a);
- Resolução CBH-Ipojuca n° 01/2019, de 11 de dezembro de 2019 (COBH-IPOJUCA, 2019);
- Relatório Final de atividades do Grupo de Trabalho Intercâmara GTI n° 01/2021 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (GTI/CRH/PE, 2021);
- Estudo para cobrança pelo uso da água bruta no Estado (APAC, 2019b);
- Planos Estaduais de Recursos Hídricos (Pernambuco, 1998, 2022).

3.2.2 Análise de campo

Esta etapa da pesquisa foi realizada por meio da técnica de observação participante. Segundo Yin (2001, p. 116), esta “é uma modalidade especial de observação na qual você não é apenas um observador passivo. Em vez disso, você pode assumir uma variedade de funções dentro de um estudo de caso e pode, de fato, participar dos eventos que estão sendo estudados”. As observações foram realizadas no período de 2019 a 2022, durante o qual a pesquisadora (observadora) esteve inserida nos ambientes institucionais da então Secretaria Executiva de Recursos Hídricos, COMPESA e APAC, de maneira a incluir sua participação no processo.

Destaca-se a participação nas seguintes atividades/processos: oficinas temáticas durante o processo de elaboração de Proposta de Enquadramento dos Cursos de Água da Bacia Hidrográfica do Rio Ipojuca; atualização do Plano Estadual de Recursos Hídricos, como integrante da equipe técnica; apoio ao projeto “Gestão de recursos hídricos e reúso

hidroagrícola de efluentes domésticos no semiárido de Pernambuco” (Processo FACEPE SIN-0212-5.03/20); coordenação da Unidade de Gestão do PSA Ipojuca; reuniões/plenárias do Conselho Estadual de Recursos Hídricos, da Câmara Técnica de Assuntos Legais (CTALI) e do COBH-Ipojuca.

3.2.3 Definição do grau de implementação dos instrumentos de gestão

A partir das análises, inicialmente, traçou-se o panorama da gestão de recursos hídricos na bacia do rio Ipojuca segundo a definição do grau de implementação dos instrumentos de gestão com base nas escalas propostas por Assis *et al.* (2020) e Moura (2020). Essa avaliação usa uma escala de cinco níveis, do muito baixo ao muito alto, e um sistema de semáforos (cores) que tomou como base o quadro de indicadores para a governança da água da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) (OECD, 2018), resultando no Quadro 12 abaixo.

Quadro 12 - Escala para definição do grau de implementação dos instrumentos de gestão (continua).

Instrumento	Grau de Implementação	Descrição
Planos de Recursos Hídricos	Muito Alto	Plano existente - horizontes de planejamento alcançados e atualizados.
	Alto	Plano existente - permanecem em seus horizontes de planejamento.
	Médio	Plano existente - horizontes de planejamento alcançados sem atualizações.
	Baixo	Proposta de elaboração de Plano em andamento.
	Muito Baixo	Nenhuma ação referente à implantação.
Outorga dos direitos de uso de recursos hídricos	Muito Alto	Outorga implantada - com alta fiscalização.
	Alto	Outorga implantada - fiscalização parcial.
	Médio	Outorga implantada - pouca ou nenhuma fiscalização.
	Baixo	Outorga em processo de implantação – em fase de estudos ou proposta em lei.
	Muito Baixo	Nenhuma ação referente à implantação.
Enquadramento dos corpos de água em classes	Muito Alto	Existente - horizontes de planejamento alcançados e atualizados.
	Alto	Existente - permanecem em seus horizontes de planejamento.
	Médio	Existente - horizontes de planejamento alcançados sem atualizações.
	Baixo	Proposição/elaboração/discussão em andamento.
	Muito Baixo	Nenhuma ação referente à implantação.

Quadro 12 - Escala para definição do grau de implementação dos instrumentos de gestão (conclusão).

Cobrança pelo uso de recursos hídricos	Muito Alto	Cobrança implantada - tarifas de água estabilizadas com atualizações/padrões inferiores a 10%.
	Alto	Cobrança implantada - em fase de adaptação/estabilizada, sem atualizações/inadimplências superiores a 10%.
	Médio	Cobrança implantada há menos de 5 anos - inferior a 50%.
	Baixo	Cobrança em processo de implantação – em fase de estudos ou proposta em lei.
	Muito Baixo	Nenhuma ação referente à implantação.
Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos	Muito Alto	Sistema implantado - monitoramento e divulgação de informações atualizadas.
	Alto	Sistema implantado - monitoramento e divulgação de informações não são atualizados com frequência.
	Médio	Sistema implantado - poucas informações.
	Baixo	Sistema em processo de implantação – em fase de estudos ou proposta em lei.
	Muito Baixo	Nenhuma ação referente à implantação.

Fonte: elaborado pela autora a partir de Assis *et al.* (2020), Moura (2020) e OECD (2018).

Posteriormente, foi realizada a análise de cada instrumento sob o viés da promoção ao reúso de efluentes domésticos na bacia. Por fim, mediante o cenário analisado, foram elencadas as ações necessárias para consolidação da prática do reúso de efluentes na bacia.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DA OFERTA E DEMANDA POTENCIAIS PARA O REÚSO DE EFLUENTES

Essa etapa da pesquisa compreendeu a avaliação do potencial do reúso de efluentes oriundos de estações de tratamento de esgoto doméstico na Bacia Hidrográfica do Rio Ipojuca, considerando a disponibilidade e qualidade dos esgotos sanitários tratados nos sistemas públicos para atendimento das possíveis demandas identificadas e mapeadas na área de estudo.

3.3.1 Levantamento de dados junto à concessionária de saneamento

Com foco na geração de água de reúso a partir de efluentes sanitários de origem doméstica, buscou-se informações junto a Companhia Pernambucana de Saneamento. A COMPESA, criada sob a Lei nº 6.307, de 29 de julho de 1971 (Pernambuco, 1971), é uma sociedade anônima de economia mista, com fins de utilidade pública, vinculada ao Governo do Estado de Pernambuco. A concessionária é responsável pelos serviços de abastecimento de

água e esgotamento sanitário de 172 dos 184 municípios do Estado, mais o distrito de Fernando de Noronha (ANA, 2017a; COMPESA, 2022b).

Portanto, as principais Estações de Tratamento de Esgoto doméstico localizadas na bacia estão sob a operação da Companhia. Posto isto, foi feito levantamento junto a mesma para identificar as ETEs em operação e suas principais características, de modo a permitir a construção da base de dados para as demais etapas da pesquisa. Também buscou-se identificar os SES em fase de projeto ou com obras em execução, para que fosse possível avaliar um cenário futuro de geração de água de reúso na bacia.

Ressalta-se que a Compesa já demonstrava interesse em desenvolver projetos para viabilizar a produção e comercialização da água de reúso em suas principais unidades. Em 2020, por exemplo, foi lançado o Edital Chamamento Público Compesa nº 004/2020 para Procedimento de Manifestação de Interesse – PMI, cujo objeto era a apresentação de estudos técnicos, econômico-financeiros e jurídicos, com intuito de subsidiar investimentos em celebração de parceria para fins de apresentação de modelo de negócio envolvendo água de reúso, lodo e biogás gerados pelas ETEs da Compesa (COMPESA, 2020a).

De acordo com o referido edital, a Companhia operava, naquele ano, 32 ETEs mapeadas no interior do Estado como detentoras de potencial para reúso de efluentes, lodos e biogás, que juntas tinham capacidade de tratar 5,9 milhões de m³/mês (COMPESA, 2020a). Dentro da bacia hidrográfica do rio Ipojuca, objeto deste estudo, foram identificadas cinco ETEs como potenciais produtoras de água de reúso: três localizadas no município de Caruaru, uma em Tacaimbó e a quinta em Gravatá. Ademais, destacam-se as ETEs Arcoverde e Venturosa, embora estejam localizadas fora da área de contribuição da Bacia Hidrográfica.

Cabe destacar que a referida PMI abrangia as áreas do interior, uma vez que a operação do Sistema de Esgotamento Sanitário de Recife e Região Metropolitana foi concessionada à BRK Ambiental por meio de Parceria Público-Privada (PPP), no ano de 2013 (COMPESA, 2020b). Portanto, o município de Ipojuca, localizado na RMR, não fez parte da referida PMI. Além das ETEs em operação, foram identificados junto a Compesa sistemas de esgotamento sanitário em fase de execução de obras nas cidades de Belo Jardim, Bezerros, Escada e Sanharó.

Para as ETEs em operação ou em fase de construção na bacia, foram levantados os seguintes dados junto à companhia: localização, concepção e tipo de tratamento, vazão de tratamento nominal e operacional, eficiência da concepção, parâmetros físico-químicos e biológicos medidos nas ETEs, corpo hídrico receptor do efluente tratado.

3.3.2 Avaliação quali-quantitativa da oferta de água de reúso

Para definição das ETEs com potencial de geração de água de reúso, foram considerados os seguintes critérios: nível mínimo de tratamento secundário, o que possibilita uma maior probabilidade de atendimento aos parâmetros qualitativos (INTERÁGUAS, 2017; Santos *et al.*, 2023; Santos *et al.*, 2021; USEPA, 2012); ETEs que já possuíssem projeto para reúso; ETEs em fase de construção, para análise de cenário futuro. Após definição das estações de tratamento, a oferta de efluente doméstico tratado disponível para reutilização foi quantificada adotando a capacidade nominal de tratamento das estações que estavam operando e das que se encontravam em obras.

A avaliação qualitativa, por sua vez, foi realizada em função do nível de tratamento e diagnóstico da eficiência das operações. Para tanto, a Compesa forneceu os parâmetros físico-químicos e biológicos medidos nas ETEs em determinados meses, no período de 2020 a 2022. Os dados de qualidade foram tratados estatisticamente, onde os valores médios dos resultados analíticos foram comparados com os estabelecidos pelas legislações pertinentes.

Nesse âmbito, tanto o Brasil quanto o Estado de Pernambuco ainda não possuem legislação regulamentando o reúso direto não potável de água, com definição de parâmetros de qualidade por modalidade. Cabe ressaltar que, em outubro de 2022, foi lançada consulta pública pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) com uma proposta de resolução e definição de critérios de qualidade para a água de reúso (MIDR, 2022).

No entanto, como a resolução ainda estava em debate no momento de desenvolvimento da pesquisa, optou-se por utilizar como referência os valores adotados pela United States Environmental Protection Agency (USEPA, 2012), referência internacional para o reúso de água, e pela Deliberação Normativa CERH/MG nº 65/2020, do estado de Minas Gerais (CERH/MG, 2020), por trazer parâmetros e intervalos de referência mais condizentes com a realidade nacional, os quais estão descritos no Quadro 13.

Quadro 13 - Critérios de qualidade para a água de reúso (continua).

Finalidade	Referências	Coliformes Termotolerantes (NMP/100 ml)	pH	DBO (mg O₂/L)	Ovos de helmintos/L
Uso Agrícola	USEPA (2012)	ND (irrestrito) < 200 (restrito)	6,0 - 9,0	≤ 10 (irrestrito) ≤ 30 (restrito)	-
	CERH/MG (2020)	≤ 1x10 ⁴ (irrestrito) ≤ 1x10 ⁶ (restrito)	6,0 - 9,0	≤ 15 (irrestrito) ≤ 30 (restrito)	≤ 1

Quadro 13 - Critérios de qualidade para a água de reúso (conclusão).

Finalidade	Referências	Coliformes Termotolerantes (NMP/100 ml)	pH	DBO (mg O₂/L)	Ovos de helmintos/L
Uso Urbano	USEPA (2012)	ND (irrestrito) < 200 (restrito)	6,0 - 9,0	≤ 10 (irrestrito) ≤ 30 (restrito)	-
	CERH/MG (2020)	≤ 1x10 ⁴	6,0 - 9,0	-	≤ 1

Fonte: elaborada pela autora a partir de USEPA (2012) e CERH/MG (2020).

Dos critérios avaliados nesses normativos, a Compesa disponibilizou os dados de algumas campanhas de medição dentro do período 2020 a 2022. Foram obtidos dados para coliformes termotolerantes, ovos de helmintos, pH e demanda bioquímica de oxigênio (DBO), para os quais Quadro 13 traz os valores de referência de acordo com USEPA (2012) e CERH/MG (2020). Não foram identificados dados de turbidez, RAS, cloro residual e condutividade nos dados disponibilizados para análise.

3.3.3 Avaliação da demanda potencial para irrigação e indústria

Após a seleção das estações de tratamento de esgoto, procedeu-se a caracterização dos potenciais usuários de água de reúso, identificando-se as demandas de água situadas nos respectivos municípios de cada uma das 12 ETEs, especificamente para os setores da indústria e agricultura. Para quantificar essas demandas por município, inicialmente, foi feita uma análise global a partir dos dados de consumo na agricultura irrigada e na indústria de transformação obtidos nas bases de dados disponibilizadas pela Agência Nacional de Água e Saneamento Básico, a saber: Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil (ANA, 2019b), Atlas Irrigação (ANA, 2021) e Água na Indústria (ANA, 2017c).

Para análise espacial do potencial de consumo da água de reúso, foram utilizados os bancos de dados de outorga superficial e subterrânea da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC, 2023) e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, além do cadastro de grandes clientes obtido junto à Concessionária de saneamento, todos com ano base de 2020. Esses bancos de dados possuem, além das vazões de consumo de água, as coordenadas e endereço dos usuários, o que permitiu criar mapas georreferenciados para análise espacial da oferta e demanda pela água de reúso.

Nos cadastros de outorga de água superficial foram feitos os seguintes filtros: município, finalidade de uso (indústria e irrigação), vencimento da outorga (a partir de 2019), vazão outorgada (maior que zero). Ademais, foram obtidas as coordenadas de localização do

requerente. Cabe ressaltar que nem todo uso depende de outorga, existem também os usos considerados insignificantes, que independem de outorga pelo poder público. Os tipos de usos da água a serem outorgados e os que podem ser dispensados variam conforme o corpo hídrico e o órgão gestor.

No caso da BHRI, derivações e captações em águas superficiais com vazão menor ou igual a 43,2 m³/dia ou barramentos de rios intermitentes com volume de acumulação de até 200.000 m³ são isentos de outorga pela Apac. Da mesma forma, também são isentas as captações de águas subterrâneas destinadas exclusivamente ao usuário doméstico ou rural, com poço tubular ou amazonas de profundidade inferior a 20 m ou com vazão de até 5 m³/dia (APAC, 2021). Conseqüentemente, o mapeamento dos pequenos produtores rurais e demais usos difusos na bacia não foram contemplados nessa análise.

A Compesa classifica como grandes clientes imóveis com consumo médio mensal de água e/ou coleta de esgoto maior que 150 m³ (COMPESA, 2019). No cadastro disponibilizado pela concessionária havia quatro categorias de usuários: residencial, público, comercial e industrial, sendo esta última a categoria utilizada para filtrar os possíveis usuários da água de reúso. Foram selecionadas indústrias que poderiam consumir tanto água bruta quanto tratada, com a ressalva de que parte desse consumo poderia ser substituído por água de reúso em seus processos. A partir dos endereços fornecidos, as coordenadas foram obtidas utilizando o *software Google Earth*.

3.3.4 Elaboração de mapas georreferenciados

A análise da demanda potencial a partir dos cadastros de outorga e de clientes da concessionária permitiu criar uma base de dados georreferenciada com dados de localização e demanda de água para irrigação e indústria por município. A partir das principais informações das ETEs geradoras de água de reúso identificadas na bacia e dos potenciais consumidores elencados nas etapas anteriores, foram criados mapas utilizando a ferramenta QGIS, versão 3.10.9.

O QGIS, projeto oficial da Open Source Geospatial Foundation (OSGeo), é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) de código aberto licenciado sob a Licença Pública Geral (GNU) (Cruvinel *et al.*, 2021). Segundo Silva Junior (2021, p. 50), “essa possibilidade de organizar as informações coletadas no diagnóstico e analisá-las espacialmente é uma potente ferramenta de apoio à gestão”.

Considerando que há duas formas principais de levar a água de reúso até seus consumidores: condução através de caminhão pipa e através de adutoras, a análise foi realizada contemplando os limites municipais e os consumidores num raio de distância a partir das ETEs. A distribuição por carro pipa pode ser viável para distâncias e vazões menores. Para atendimento de grandes áreas e transporte por longos trechos, faz-se necessário a construção de adutoras com as respectivas unidades de recalque e reservatórios de distribuição, o que pode onerar os custos da água de reúso (Costa, 2018; EMBASA, 2021).

Diversos estudos apontam distâncias economicamente viáveis para transporte da água de reúso variando entre 5 km e 100 km, dependendo das condições locais (Araújo *et al.*, 2017; CNI, 2019; Cruvinel *et al.*, 2021; EMBASA, 2021; Faria, 2020, Obraczka *et al.*, 2019). No presente estudo, considerando as características de forma da bacia e as distâncias entre os limites municipais, foram produzidos mapas com raios de 10 km e 20 km a partir das ETEs para facilitar a avaliação espacial de produção e demanda para a água de reúso.

3.4 AVALIAÇÃO DAS OPORTUNIDADES E DESAFIOS PARA A CONSOLIDAÇÃO DO REÚSO DE EFLUENTES NA BHRI

Visando consolidar os resultados alcançados nas etapas anteriores, foi realizada uma avaliação geral identificando as oportunidades e os obstáculos à materialização do reúso de efluentes como estratégia para melhoria da segurança hídrica na bacia hidrográfica do rio Ipojuca. Para tanto, optou-se por utilizar a técnica da matriz SWOT como ferramenta de análise crítica e consolidação das informações.

A matriz SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats*), ou matriz FOFA (Forças, Oportunidades, Fraquezas, Ameaças), foi desenvolvida por professores da Universidade de Harvard, nos Estados Unidos, na década de 1960, como uma técnica para análise de gestão e planejamento de empresas. Ao longo dos anos tem sido bastante utilizada no planejamento estratégico de organizações através da análise de seus ambientes interno e externo, identificação de pontos fortes e fracos, e estabelecimento de cenários visando alcançar um objetivo (Barbosa, 2019; Bozzini, 2019).

A finalidade da análise SWOT é permitir que a instituição atue de maneira a aproveitar as oportunidades existentes e evitar ou reduzir as ameaças derivadas do ambiente externo. Nesse sentido, a análise se torna valiosa ao revelar os pontos fortes subutilizados e identificar áreas de fraqueza que podem ser aprimoradas no ambiente interno da instituição (Bozzini, 2019; Phadermrod *et al.*, 2016).

Devido a sua versatilidade e simplicidade, podendo se adequar para diferentes objetos, é utilizada em vários campos da ciência. Especificamente no campo de recursos hídricos, tem sido aplicada como ferramenta de planejamento e para a avaliação de estruturas de gestão hídrica (Monteiro e Cabral, 2018; Moura, 2020; Pinto Filho e Cunha, 2022).

Para exemplificar, menciona-se o projeto do Plano das Bacias Hidrográficas das Ribeiras do Oeste (Portugal) (PBH Oeste), no qual a matriz SWOT foi aplicada para apresentar os resultados da análise da situação atual na avaliação ambiental e de sustentabilidade do referido projeto (APA/ARH DO TEJO, 2012). Barbosa (2019) destaca o uso da metodologia de análise SWOT para contribuir com o processo participativo nas atividades voltadas à elaboração ou atualização de planos de bacia hidrográfica no Brasil, destacando os exemplos das bacias do rio Paranapanema e rio Grande (interestaduais). Nestes casos, a matriz foi construída com o envolvimento e contribuição do público.

Em paralelo, a matriz SWOT também tem sido utilizada em trabalhos científicos, como uma ferramenta para análise crítica de políticas, programas e projetos, fundamentada em levantamentos bibliográficos, pesquisas documentais (dados secundários) e de campo. Facilita a organização mais eficaz de análises qualitativas sobre questões preestabelecidas, com a capacidade de detectar mudanças que têm o potencial de aprimorar as políticas analisadas (Bozzini, 2019; Monteiro e Cabral, 2018; Moura, 2020; Ottoni *et al.*, 2011; Pinto Filho e Cunha, 2022; Santos, 2020).

Quando realizadas por um grupo de pessoas através de debates, Phadermrod *et al.* (2016) pontuam que a análise SWOT pode conter traços de subjetividade afetando a priorização das ações pela sua importância. Nesses casos, os autores sugerem o emprego de outras técnicas associadas para garantir a eficiência e acurácia do planejamento estratégico. No caso das matrizes elaboradas a partir de dados secundários e análises de campo, Santos (2020) reforça que a análise SWOT funciona como um diagnóstico prévio servindo como ponto de partida para os tomadores de decisão, podendo ser complementada posteriormente com a contribuição de grupos de trabalho.

No presente trabalho, a matriz SWOT foi formulada visando apresentar as forças, oportunidades, fraquezas e ameaças ao desenvolvimento da prática do reúso de efluentes na bacia hidrográfica do rio Ipojuca, identificadas através do desenvolvimento das etapas anteriores da pesquisa. Para tanto, foi considerado um ambiente interinstitucional envolvendo os componentes do Sistema Integrado de Gerenciamento dos Recursos Hídricos de Pernambuco (SIGRH/PE): APAC, COBH-Ipojuca e CRH/PE, além da COMPESA.

4 RESULTADOS

4.1 REÚSO DE EFLUENTES E SUAS INTERFACES COM A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

O Quadro 14, a seguir, apresenta uma síntese do panorama da gestão de recursos hídricos na bacia do rio Ipojuca considerando o grau de implementação dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, conforme adaptação das classificações propostas por Assis *et al.* (2020) e Moura (2020).

Quadro 14 - Grau de implementação dos instrumentos de gestão na BHRI.

Instrumento da PNRH	Grau de Implementação	
Planos de Recursos Hídricos	ALTO	Plano existente cujo horizonte de planejamento ainda não foi atingido (2025).
Enquadramento dos corpos de água em classes	BAIXO	Estudos realizados na bacia. Enquadramento em discussão no âmbito do CRH.
Outorga dos direitos de uso de recursos hídricos	MÉDIO	Outorga implantada no Estado, porém com a necessidade de melhorias na fiscalização.
Cobrança pelo uso de recursos hídricos	BAIXO	Cobrança em processo de implantação, com estudo realizado e aprovado, havendo necessidade de regulamentação por lei específica.
Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos	MÉDIO	Sistema em processo de atualização para otimização.

Fonte: elaborado pela autora.

Observa-se que os instrumentos ainda estão em fase de implementação na bacia ou no Estado, alguns em estágio mais avançado, como a outorga de captação, e outros em fase inicial de implantação, como a cobrança. Nos tópicos seguintes, apresenta-se a análise de cada instrumento do Quadro 14 sob o viés da promoção ao reúso de efluentes domésticos na bacia.

Importante ressaltar a existência do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Ipojuca (COBH-Ipojuca), que teve sua criação homologada pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CRH/PE) no ano de 2002, através da Resolução CRH nº 02/2002. Os COBHs fazem parte do Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SIGRH). São órgãos colegiados, consultivos e deliberativos que têm como atribuição participar da elaboração e acompanhar a execução dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos na Bacia.

Em Pernambuco, há também os chamados Conselhos Gestores (CONSU), que são colegiados que atuam em áreas de influência de determinada microbacia ou reservatório, geralmente naqueles em que se tem registro de conflitos pelo uso da água. Por este motivo, são mais comuns nas regiões do Agreste e do Sertão, cuja disponibilidade hídrica é menor. Na bacia hidrográfica do rio Ipojuca, existe o Conselho Gestor do Açude Bitury, reservatório de dominialidade federal, que foi formado em 1998 e participa de maneira ativa na governança do açude (Almeida, 2021; Pernambuco, 2022).

4.1.1 Planos de recursos hídricos

O Plano Hidroambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Ipojuca (PHA Ipojuca) foi concluído em 2010. O mesmo foi dividido em três eixos: socioambiental, infraestrutura hídrica e gestão de recursos hídricos, apontando um conjunto de ações que deveriam ser realizadas na bacia com a finalidade de reduzir o passivo ambiental e propiciar a sua sustentabilidade. Para tanto, foi proposto um plano de investimentos cujo custo total previsto para implantação das ações dos três eixos temáticos ficou em R\$ 172.265.651,77, com prazo de execução de 14 anos, de 2011 a 2025 (SRH/PE, 2010).

No que diz respeito ao reúso de efluentes, o tema foi pouco abordado no plano, aparecendo como recomendações para um cenário sustentável na área ambiental: o estímulo a programas de uso racional das águas em indústrias, inserindo-se a cultura do reúso de efluente; e ao reúso dos esgotos domésticos na agricultura familiar, em escala compatível com a produção dos efluentes (SRH/PE, 2010).

No plano de investimento, foi prevista apenas uma ação para estruturar um programa de uso racional das águas em indústrias, visando à reutilização do efluente industrial para redução do consumo de água potável e do lançamento de efluentes industriais no rio. O valor estimado da ação era de R\$ 556.838,13.

Em pesquisa realizada junto aos órgãos governamentais: Secretaria Executiva de Recursos Hídricos², APAC e CPRH, não foram identificadas contratações na esfera pública com o objetivo específico de estruturar ações de reúso de efluentes industriais ou domésticos na bacia, no período de 2010 a 2022. No entanto, cabe destacar que o PHA Ipojuca foi o precursor do Programa de Saneamento Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Ipojuca, que

² A partir de 2023, a SERH foi extinta e foi criada a Secretaria de Recursos Hídricos e de Saneamento (SRHS), quando da reforma administrativa instituída pela Lei nº 18.139, de 18 de janeiro de 2023 (Pernambuco, 2023), a qual dispôs sobre a estrutura e o funcionamento do Poder Executivo do Estado.

tem contribuído para a melhoria dos serviços de saneamento nos municípios integrantes da bacia.

Verifica-se na esfera nacional que os planos de bacias que passaram por revisão nos últimos anos já apresentam algum componente voltado para a promoção do reúso de efluentes. Soares e Santos (2021) destacam o caso das bacias do Rio Grande e do rio Piancó-Piranhas-Açu, cujos planos foram atualizados em 2018. O primeiro previu estudo para estabelecer o grupo de possíveis usuários e suas intenções em relação à utilização de água de reúso, além de conduzir uma análise da viabilidade econômica e financeira dos projetos.

Já na bacia do rio Piancó-Piranhas-Açu foram previstas duas ações: realização de estudo sobre potencial de reúso na bacia e implantação de projeto-piloto de reúso de água para agricultura, no qual quatro cidades foram contempladas (Itaporanga, na Paraíba; Jucurutu, São Fernando e Serra Negra, no Rio Grande do Norte). Os autores ressaltam que a abordagem de conduzir estudos específicos em determinadas cidades se torna imperativa para a formulação do modelo de negócio que possa tornar o reúso de água viável na região (Soares e Santos, 2021).

Por sua vez, o Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERH/PE, que abrange todo território de Pernambuco, foi atualizado em 2022 e aponta o reúso de águas (potável, de chuva e servidas) como medida de compatibilização das demandas com as disponibilidades hídricas, sendo uma excelente ferramenta para a implementação do uso sustentável dos recursos hídricos. O primeiro Plano, de 1998, não abordou a temática do reúso de efluentes sanitários (Pernambuco, 1998).

Reconhecendo os esforços iniciais da Compesa para realização de estudos preliminares para identificação do potencial de reúso na Região Metropolitana de Recife (através da BRK Ambiental), o Plano recomendou a formação de um grupo de trabalho composto pela Secretaria de Estado, APAC, Compesa, BRK Ambiental e representantes das indústrias interessadas em intensificar as discussões e articulações sobre o tema (Pernambuco, 2022).

Além do uso para a indústria, o PERH ainda indica a recarga gerenciada de aquíferos na RMR como uma possibilidade a ser considerada, beneficiando os grandes usuários de água subterrânea (cervejeiras, shopping, etc), além de garantir as reservas hídricas subterrâneas (Pernambuco, 2022). O Quadro 15 traz as informações das duas ações previstas no plano de investimentos da atualização do PERH/PE que fomentam a prática do reúso de efluentes em todo o Estado.

Quadro 15 - Ações para promoção do reúso de efluentes previstas no PERH/PE.

Programa:	B.6. Outorga de direitos de uso de água	C.4. Proposta de soluções alternativas para o abastecimento humano
Objetivo:	Apropriar e controlar as águas de domínio de Pernambuco em termos de quantidade e qualidade	Assegurar o abastecimento de água para as populações urbanas e rurais por meio de soluções alternativas
Ação:	B.6.5. Contratação de estudo para desenvolver procedimentos administrativos e critérios de outorga para casos de reúso de água entre usuários.	Subprograma C.4.2 – Soluções alternativas para abastecimento da área urbana C.4.2.B. Contratação de projeto técnico de reúso em larga escala
Órgãos envolvidos:	APAC, com participação da ANA e CPRH.	Compesa, com a participação da BRK Ambiental e de representantes da Federação das Indústrias do estado de Pernambuco – FIEPE.
Prazo de execução:	Curto prazo (5 anos)	Curto prazo (5 anos)
Custos:	R\$ 591.386,00	R\$ 1.861.356,00

Fonte: elaborado pela autora a partir de Pernambuco (2022).

A ação B.6.5., na esfera da gestão de recursos hídricos, visa o desenvolvimento de estudos para estabelecer critérios de outorga para o reúso de efluentes, assunto que também está sendo tratado na esfera nacional e é de suma importância para a segurança jurídica da prática do reúso (CTEC/CNRH, 2022; Pernambuco, 2022)

Já a ação C.4.2.B, para contratação de projeto que viabilize o reúso de efluentes para fins industriais, tem seu foco na RMR e nas ETEs operadas pela BRK Ambiental, não tendo sido previstas ações específicas para as bacias do interior do Estado, principalmente nas regiões do agreste e sertão, que mais sofrem com a escassez física da água. No entanto, cabe ressaltar que a realização desse estudo na RMR poderá abranger o município de Ipojuca, cujo território está parcialmente inserido na BHRI, podendo ser o início da prática na bacia.

4.1.2 Outorga dos direitos de uso de recursos hídricos

A outorga dos direitos de uso de recursos hídricos já está implantada no Estado, porém foi classificada com grau médio pela necessidade de melhorias na fiscalização e na implantação de tipologias de interferência, como por exemplo, o lançamento de efluentes, que ainda está em estágio inicial de implantação, e a outorga para produtor de água de reúso, que ainda não está em discussão no âmbito da BHRI.

Segundo a ANA (2022), há uma certa dependência entre os instrumentos de enquadramento e outorga, onde a concessão de outorga de direito de uso dos recursos hídricos requer a observação da classe de enquadramento do corpo d'água antes de ser emitida. No caso de outorga de lançamento de efluentes, observa-se essa relação vinculada ao conceito de vazão de diluição, uma vez que a concentração permitida para o parâmetro de qualidade, no manancial onde é realizado o lançamento, corresponde à concentração estabelecida como padrão da classe de enquadramento do trecho do curso d'água onde se localiza o ponto objeto de outorga.

De acordo com Morais e Santos (2019), a prática do reúso e o estabelecimento de um padrão de qualidade para o efluente final estão interligados com o padrão de lançamento de efluentes em corpos hídricos e com o padrão de qualidade dos corpos receptores. No caso do rio Ipojuca, por apresentar vários trechos intermitentes e um alto grau de poluição das águas, tem-se o desafio de implantar os instrumentos de enquadramento e outorga de lançamento de efluentes.

Nesse contexto, foram desenvolvidas duas propostas para implantação desses instrumentos na bacia: Proposta de Enquadramento dos corpos hídricos da bacia hidrográfica do Rio Ipojuca (APAC, 2019a) e Proposta de Implantação de Outorga de Lançamento de Efluentes na Bacia do Rio Ipojuca (APAC, 2017).

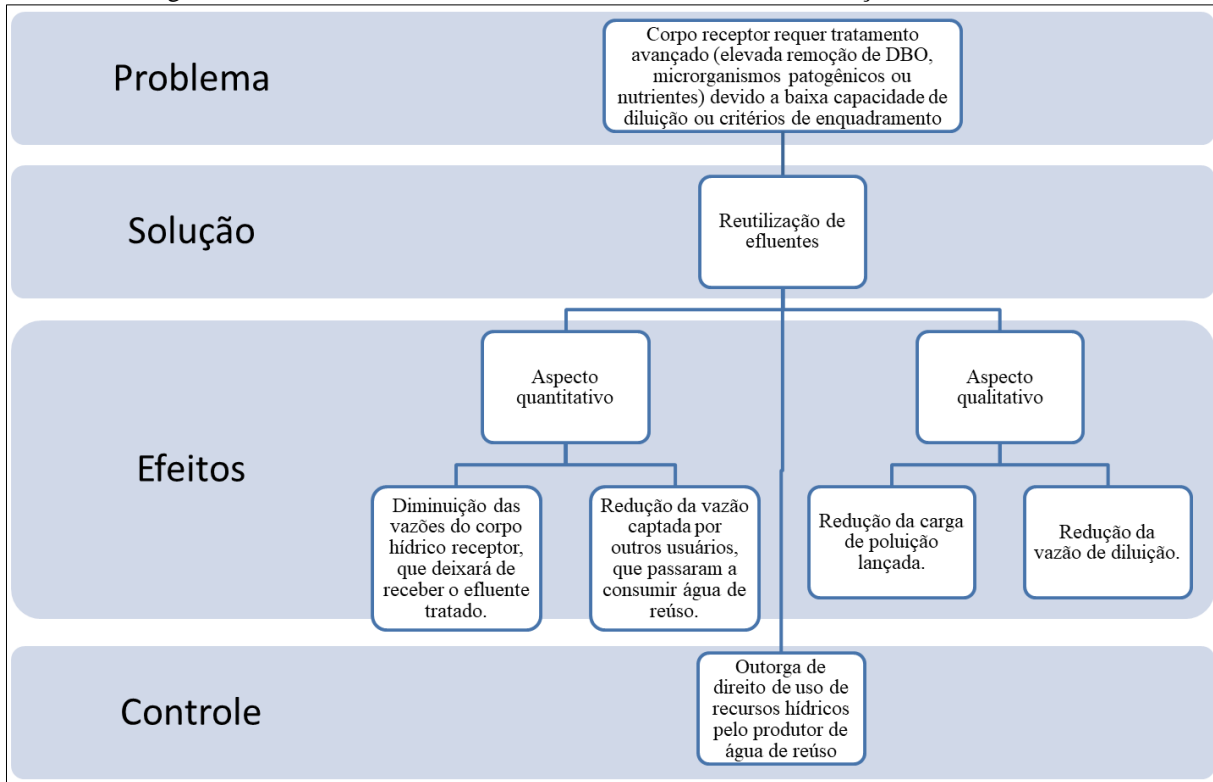
Em resumo, de acordo com a Proposta de Implantação de Outorga, o lançamento de efluentes na bacia seguiria o limite de emissão da Resolução nº 1163/2016 da ANA (ANA, 2016), em que é exigido o mínimo de 60% de remoção da DBO, devendo o efluente estar de acordo com o enquadramento do corpo hídrico, não alterando os padrões de qualidade de água do corpo receptor.

Por sua vez, a hierarquia da gestão de resíduos compreenderia o uso de tecnologias para o reúso, reciclagem e tratamento de efluentes provenientes das estações de tratamento de esgoto prioritariamente ao lançamento do efluente no corpo receptor. Embora mencione o reúso como opção preferencial ao lançamento de efluentes no leito do rio, o estudo não retratou a necessidade de criação de outorga para o produtor da água de reúso. Ocorre que quando há a reutilização direta do efluente, vários efeitos são gerados direta e indiretamente na bacia, conforme apresentado na Figura 5.

A transferência da água de reúso para outro usuário gera uma redução das vazões de lançamento de efluente no corpo hídrico por parte do produtor, como também pode gerar uma redução na captação pelo usuário que adquiriu a água de reúso. Do ponto de vista qualitativo, há a redução da carga de poluição lançada no rio, mas também pode haver uma redução da capacidade de depuração do mesmo em função da diminuição de sua vazão. Todos esses

aspectos precisam ser considerados no balanço hídrico da bacia. A outorga de água de reúso pode ser um instrumento para controlar e regularizar esses impactos.

Figura 5 - Efeitos diretos e indiretos do reúso de efluentes no balanço hídrico da bacia.



Fonte: elaborada pela autora.

Tal instrumento já vem sendo aplicado em outros Estados do Brasil. Por exemplo, o Estado de São Paulo, através da Instrução Técnica DPO nº 13/2017, já possui procedimentos estabelecidos para obtenção de Declaração sobre Viabilidade Implantação de Empreendimento (DVI) e Outorga de Direito de Uso para produtor de água de reúso direto, não potável, proveniente de estações de tratamento de esgoto sanitário de sistemas públicos (SSRH/SP, 2017).

No estado de Minas Gerais, os produtores de água para reúso provenientes de ETEs devem obedecer a frequência de monitoramento e parâmetros estabelecidos na Deliberação Normativa CERH/MG nº 65/2020 e realizar um cadastramento junto ao Instituto Mineiro de Gestão das Águas (Igam) (CERH/MG, 2020). Já no Ceará, a Lei Estadual nº 16.033/2016, estabelece em seu Art. 9º e 10º que a atividade de reúso não potável exige a obtenção de outorga e hidrometração dos equipamentos/sistema, além da necessidade de licenciamento ambiental e cumprimento das obrigações legais relevantes, tanto para o produtor quanto para o usuário da água de reúso não potável (Ceará, 2016).

Em Pernambuco, a Resolução Apac nº 02/2021, que normatiza as tipologias de serviço, interferência e finalidade de uso relacionados com a regularização de uso dos recursos hídricos para emissão de outorga (APAC, 2021), não menciona o reúso. Portanto, recomenda-se a inclusão dessa finalidade de uso para obtenção de outorga ou a revisão de outorga vigente quando a atividade de reúso gere alteração das condições iniciais como, por exemplo, a diminuição substantiva nas vazões de captação ou de lançamento de efluentes.

4.1.3 Enquadramento dos corpos de água em classes

Na esfera estadual, apenas a bacia do rio Ipojuca possui proposta de enquadramento dos cursos de água aprovada pelo comitê (COBH-Ipojuca, 2019). Para consolidação da mesma, aprovada em reunião extraordinária do COBH que ocorreu em dezembro de 2019, foram considerados os seguintes critérios:

- Os corpos de águas doces e de águas salobras são determinados com critérios de salinidade (Resolução CONAMA nº 357/2005);
- Os parâmetros de qualidade da água para o enquadramento dos cursos de água e proposição das metas são: demanda bioquímica de oxigênio (DBO), fósforo e coliformes termotolerantes;
- A vazão de referência para os estudos de qualidade da água é diferente nos trechos perenes e nos trechos intermitentes: para os trechos perenes a vazão corresponde a 80% da curva de permanência (Q80), enquanto para trechos intermitentes e efêmeros corresponde a 60% da curva de permanência (Q60).
- Estabelecimento de metas progressivas para o alcance dos objetivos de qualidade de água: médio prazo, metas intermediárias a alcançar até o Ano 08 do enquadramento; longo prazo, metas finais e alcance do enquadramento proposto até o Ano 15 do enquadramento (APAC, 2019a).

Inicialmente, 10 das 11 ETEs instaladas na bacia precisariam atender aos parâmetros estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para Classe 3 e uma delas deveria atender aos padrões da Classe 2, ao final do Enquadramento (15 anos). No entanto, a concessionária dos serviços de saneamento alegou a impossibilidade de atingimento das metas devido ao alto custo para adequação do tratamento ao nível terciário (adição de etapas para remoção de nitrogênio e fósforo, associadas a sistemas de ultrafiltração com osmose reversa).

Ressalta-se que as ETEs dos sistemas públicos operadas pela concessionária em Pernambuco foram projetadas para atender aos parâmetros da Resolução CONAMA n° 430/2011 e da Instrução Normativa CPRH n° 03/2018. Uma vez que os padrões das Classes 3 e 2 são mais restritivos e o rio Ipojuca possui trechos intermitentes, não havendo vazão de diluição, haveria a necessidade de investimentos na readequação das ETEs para o tratamento avançado.

Após várias rodadas de discussões no âmbito das Câmaras Técnicas e Grupo de Trabalho do Conselho Estadual de Recursos Hídricos, uma nova proposta de parâmetros para lançamento de efluentes foi apresentada. O Quadro 16, a seguir, apresenta a comparação dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos para lançamento de efluentes do CONAMA e CPRH, da proposta do COBH-Ipojuca e da proposta discutida no âmbito do CRH.

Quadro 16 – Comparativo entre os parâmetros para lançamento de efluentes no rio Ipojuca.

Parâmetros	CONAMA n° 430/2011	IN CPRH n° 03/2018	Resolução COBH- Ipojuca n° 01/2019		Proposta discutida no CRH
			Classe 2	Classe 3	
DBO (mg/L)	≤ 120	≤ 60	≤3	≤5	≤ 20
Fósforo (mg/L)	Não possui limite	Não possui limite	≤0,1 (lótico)	≤0,05	≤ 1,0
Nitrogênio (mg/L)	Não possui limite	Não possui limite	Não possui limite	Não possui limite	Não possui limite
Coliformes termotolerantes (CT/100 mL)	Não possui limite	≤ 1.000	≤1000	≤2500	≤ 1.000
Oxigênio Dissolvido (OD mg/L)	Não possui limite	Não possui limite	Não possui limite	Não possui limite	Não possui limite

Fonte: elaborado pela autora a partir de CONAMA (2011), CPRH (2018) e COBH-Ipojuca (2019).

O plano de investimentos da proposta de enquadramento foi dividido em três programas, sendo eles: plano de saneamento ambiental, aprofundamento do conhecimento da bacia e proteção e recuperação da qualidade das águas. Dentro do programa de saneamento ambiental foi previsto investimento de cerca de 1,8 bilhão de reais para ampliação da coleta e tratamento de esgotos na bacia. Ademais, foram previstas duas alternativas de obras complementares para a compatibilização das estações de tratamento com o enquadramento de cursos de água:

- a) construção de sistemas para reúso do esgoto tratado: R\$ 55,12 milhões

b) construção de sistemas de tratamento terciário, com remoção de fósforo: R\$ 80,850 milhões (APAC, 2019a).

Especificamente em relação às ações da concessionária para compatibilização de suas ETEs com os parâmetros exigidos para o enquadramento, o reúso é apontado como alternativa, apresentando uma economia de R\$ 25,73 milhões (-31,84%) em relação à adequação dos sistemas de tratamento existentes. No entanto, faz-se necessário aprofundar os estudos para verificar se há demanda suficiente para a água de reúso na bacia e a viabilidade econômica e financeira dos projetos de reúso. Além disso, cabe ressaltar que ainda não há regulamentação para a prática do reúso de efluentes no estado de Pernambuco.

4.1.4 Cobrança pelo uso de recursos hídricos

A cobrança pelo uso de recursos hídricos ainda não foi implementada no Estado de Pernambuco, tampouco na bacia hidrográfica do Rio Ipojuca. Embora a APAC já tenha realizado estudo para cobrança pelo uso da água bruta no Estado com definição de valores, a mesma precisa ser instituída por lei e regulamentada por decreto. Por isso, sua implantação fica condicionada a decisões da esfera política.

O estudo da cobrança prevê um estímulo à eficiência no uso da água para o setor industrial através de um coeficiente de eficiência na indústria, calculado em função de faixas de reúso e de uso de águas servidas. Para o setor da agricultura, também é previsto um coeficiente de eficiência para a irrigação, porém este não considera a utilização de água de reúso, apenas os métodos de irrigação e manejo do solo (APAC, 2019b).

A Resolução CNRH n° 54/2005, em seu artigo oitavo, prevê que a criação de incentivos para a prática de reúso deve ser considerada na proposição dos mecanismos de cobrança e aplicação dos seus recursos. Além disso, deve-se integrar a prática de reúso com as ações de saneamento ambiental e de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica (CNRH, 2005).

Dessa forma, além do estímulo à eficiência no uso da água na indústria, a cobrança na bacia hidrográfica do rio Ipojuca poderia impulsionar a prática do reúso de outras formas: diretamente, utilizando as receitas para financiamento de projetos pilotos de reúso na bacia, cabendo ao COBH a aprovação da alocação dos valores resultantes da cobrança; e indiretamente, caso o custo da água de reúso seja inferior ao da água bruta, tornando-a mais atrativa para os consumidores.

De acordo com a Política Estadual de Recursos Hídricos, a aplicação dos recursos arrecadados da cobrança deve ocorrer prioritariamente na bacia hidrográfica que os originou

com aprovação do respectivo COBH (Pernambuco, 2005). Sendo assim, destaca-se a importância de promover o debate sobre saneamento e reúso de efluentes no comitê, para que os representantes estejam aptos a tomar decisões quanto à alocação dos recursos priorizando a prática do reúso na bacia.

4.1.5 Sistema de Informações de Recursos Hídricos

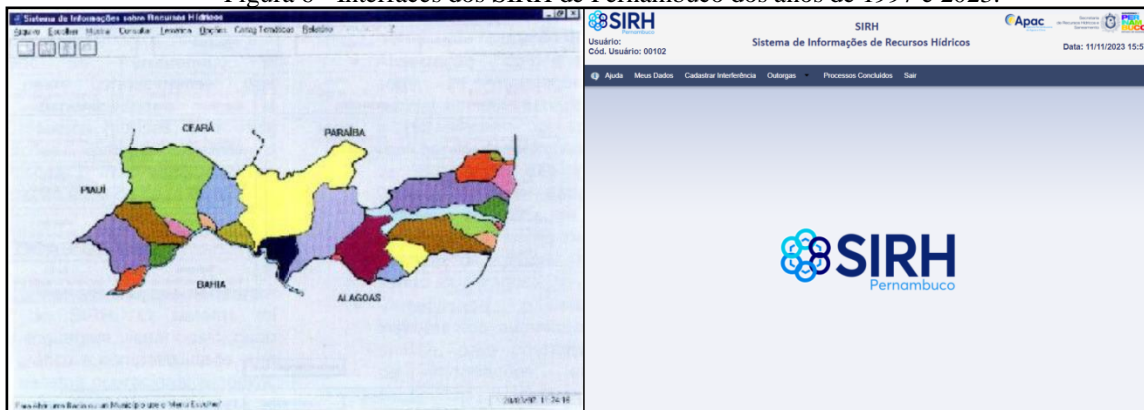
O primeiro Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos de Pernambuco (SIRH-PE) foi estabelecido em 1996. O mesmo incluía recursos de Sistema de Informação Geográfica (SIG) e a capacidade de acesso pela internet através de uma interface gráfica amigável. O SIRH-PE desempenhou um papel fundamental no apoio às decisões do governo e na elaboração do primeiro Plano de Recursos Hídricos do estado. No entanto, o sistema foi descontinuado por falta de estruturas de suporte que garantissem sua atualização contínua (Moura, 2020).

Atualmente, no site oficial da APAC é possível encontrar bancos de dados e informações produzidas pela agência. No entanto, a mesma vem trabalhando no desenvolvimento de um SIRH específico, visando integrar processos internos e torná-los mais eficientes através da automatização de tarefas cotidianas e garantia da qualidade dos dados, com investimento da ordem de 1,6 milhão de reais.

Além de atender às necessidades dos usuários internos da APAC, o novo SIRH permitirá publicar produtos para a sociedade, na forma de formulários de consulta e um portal de geoinformações de recursos hídricos, onde as informações serão apresentadas de forma clara e de fácil acesso para os interessados. A primeira etapa foi lançada em novembro de 2023, compreendendo o módulo de outorga (SIRH/PE, 2023).

A Figura 6, a seguir, traz um comparativo entre as interfaces do primeiro SIRH/PE (Cirilo *et al.*, 1997) e do atual. Dessa forma, considerando que o SIRH está implantado, mas ainda incompleto, e que o mesmo abrange não só a bacia hidrográfica do rio Ipojuca, mas todo o Estado, de acordo com a escala proposta na metodologia, o grau de implementação desse instrumento foi classificado como médio.

Figura 6 - Interfaces dos SIRH de Pernambuco dos anos de 1997 e 2023.



Fonte: Cirilo *et al.* (1997) e SIRH/PE (2023).

Atualmente, não há qualquer menção ao reúso de efluentes no sistema. No entanto, o mesmo representa uma importante ferramenta para cadastro dos futuros produtores e possíveis usuários da água de reúso da BHRI, bem como poderá fornecer informações úteis e atualizadas sobre o reúso de efluentes para o público.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA OFERTA POTENCIAL DE ÁGUA DE REÚSO NA BHRI

O Quadro 17 e a Figura 7, a seguir, apresentam as Estações de Tratamento selecionadas como potenciais geradoras de água de reúso, seguindo os critérios pré-estabelecidos no tópico 3.3.2, e suas localizações na BHRI, respectivamente.

No ano de 2020 estavam sendo gerados 159,23 L/s, equivalente a 573 m³/h e ao volume diário de 13.757 m³, de efluentes nas ETEs em operação na bacia. Considerando a capacidade nominal das ETEs em operação e a conclusão das que estão em obras, a capacidade de produção de efluente tratado na bacia pode chegar a 2.986 m³/h, o que equivale a 71.661m³/dia. Portanto, há a expectativa de aumento do volume de esgoto tratado em mais de cinco vezes e, conseqüentemente, do potencial de produção de água de reúso.

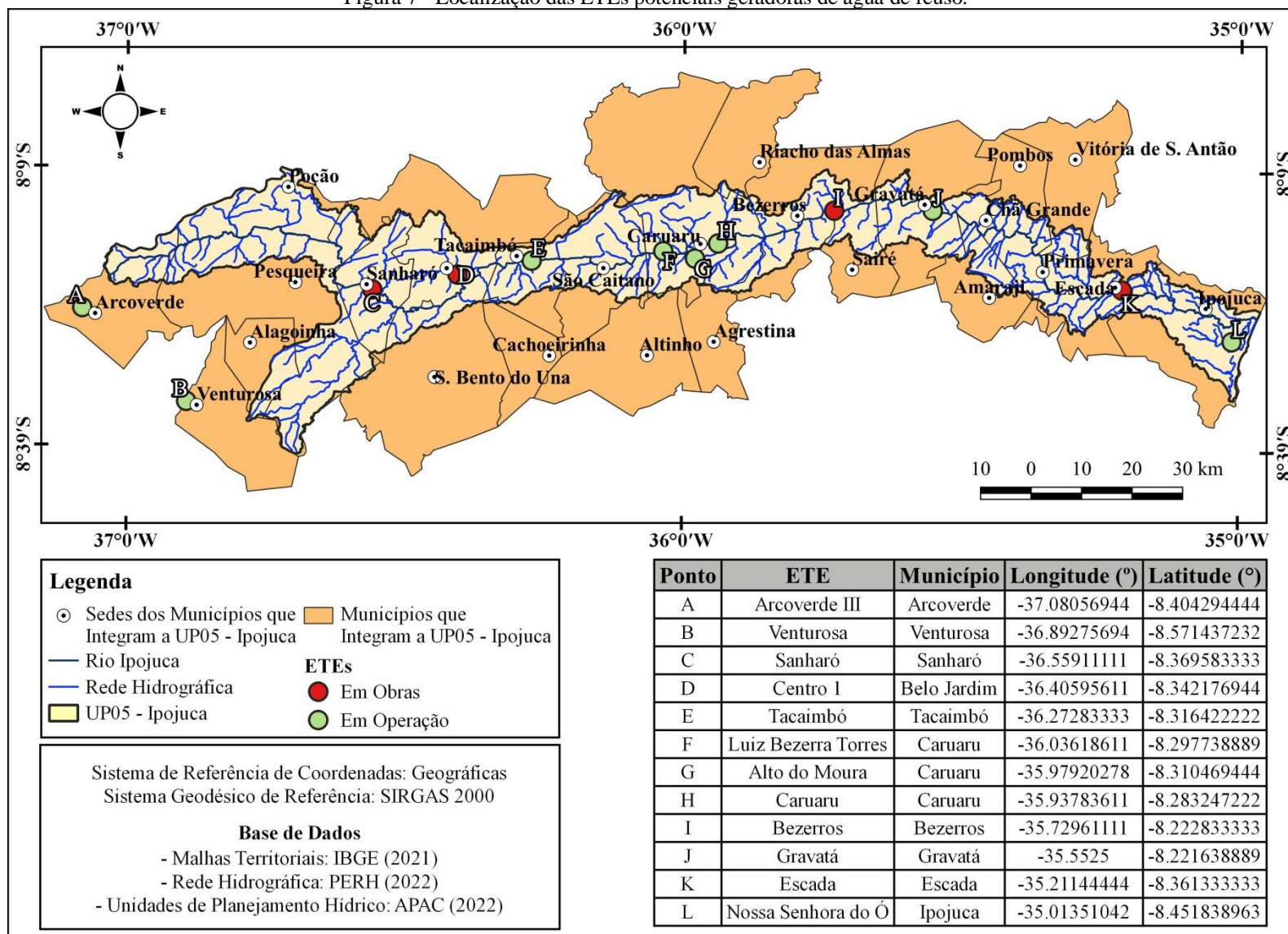
As ETEs Nossa Senhora do Ó e Centro 1 tem como corpo receptor do efluente tratado o rio Merepe e o rio Bitury (afluente do Ipojuca), respectivamente. As demais estações despejam o efluente diretamente no rio Ipojuca, o qual é perene apenas no trecho do município de Escada. Nos demais trechos a situação é de intermitência das suas vazões, conseqüentemente, tem-se as condições mais restritivas para lançamento final do efluente.

Quadro 17 - Características das ETEs potenciais geradoras de água de reúso na BHRI.

ETE	Município	Concepção da Unidade	Capacidade Nominal de Tratamento (L/s)	Vazão de Tratamento em 2020 (L/s)
Nossa senhora do Ó	Ipojuca	Lagoas Facultativas	32	28,77
Gravatá	Gravatá	4 RAFA + 4 Tanques de Lodo Ativado + Decantadores Secundários + Desinfecção (ultravioleta)	120	35
Luiz Bezerra Torres	Caruaru	Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (RAFA) + Filtro Submerso Aerado + Desinfecção final (cloro)	17	9
Alto do Moura	Caruaru	RAFA + Filtro Submerso Aerado + Desinfecção final (cloro)	9	7
Rendeiras	Caruaru	RAFA + Lagoa Aerada + Lagoa Decantação	253	65
Tacaimbó	Tacaimbó	2 RAFA + 2 Tanques de Lodo Ativado + Decantadores Secundários + Desinfecção final (cloro)	33,03	10
Venturosa	Venturosa	RAFA + Filtro Biológico Percolador + Floculador + Decantador + Adensador de Lodo + Leito de Secagem + Tanque de Contato	19,81	1,18
Arcoverde III	Arcoverde	2 Lagoas Facultativas + 1 Lagoa Maturação	7,15	1,72
Centro 1 (em obras)	Belo Jardim	Lodos Ativados com câmara pré-anóxica (remoção de matéria orgânica e nitrogênio) + Desinfecção final (cloro)	140	-
Bezerros (em obras)	Bezerros		90	-
Escada (em obras)	Escada		120,81	-
Sanharó (em obras)	Sanharó	ETE pré-fabricada: Reator Anóxico + Reator Biológico de Leito Móvel + Decantador Secundário + Físico-químico para desfosfatação + Decantador Secundário + Desinfecção final (cloro)	40	-
Vazão Total			881,80	159,23

Fonte: elaborado pelos autores a partir de COMPESA (2020a, 2022a).

Figura 7 - Localização das ETEs potenciais geradoras de água de reúso.



Fonte: elaborada pela autora.

Na proposta de enquadramento dos cursos de água da BHRI (APAC, 2019a; COBH Ipojuca, 2019), os trechos de recepção do efluente tratado em todas as ETEs, exceto o rio Merepe, foram enquadrados na Classe 4. Como meta intermediária (até 2028) deveriam chegar na Classe 3. Como meta final (até 2035), o único trecho onde seria esperado uma melhora da qualidade, subindo para a Classe 2, seria o Bitury, afluente que recebe o esgoto do município de Belo Jardim.

Quanto à localização das estações, percebe-se que as ETEs Venturosa e Arcoverde III não estão localizadas dentro da área de delimitação da BHRI. No entanto, optou-se por mantê-las no estudo, uma vez que parte dos seus territórios municipais faz parte da bacia. Todas as outras ETEs estão localizadas dentro dos limites da bacia e próximas das sedes municipais.

O município de Caruaru é o único que possui mais de uma ETE classificada como possível geradora de água de reúso. Municípios como Ipojuca, Arcoverde e Vitória de Santo Antão possuem outras estações, porém durante o período de desenvolvimento da pesquisa não foram obtidos dados de vazão e qualidade que permitissem incluí-las no estudo.

Em Caruaru também está localizada a ETE Rendeiras, a qual possui sistema piloto para produção de água de reúso, em fase de testes, capaz de tratar 240 m³/dia, ou 2,78 L/s, o que equivale a 4,27% da vazão de tratamento e 1,10% da capacidade nominal de tratamento da ETE. O sistema é formado por estação elevatória de esgoto tratado, linha de recalque, torre de carga, dois filtros de polimento (areia), sistema de aplicação de cloro, seis tanques de armazenamento com capacidade total de 60 m³ e sistema de distribuição e irrigação de canteiros, conforme Figura 8 (COMPESA, 2020a).

Figura 8 – ETE Caruaru-Rendeiras: tanques de armazenamento e canteiro irrigado com água de reúso.



Fonte: COMPESA (2020).

A água de reúso produzida estava sendo utilizada de forma experimental em dois projetos: um deles, em parceria com a Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE),

pesquisa a irrigação do plantio de palma; o outro, em parceria com uma empresa local, produz mudas ornamentais e florestais. Além desses projetos, a água de reúso é utilizada na própria unidade para irrigação de áreas verdes, incluindo um campinho de futebol, e limpeza em geral.

Em termos de qualidade do efluente tratado, a maioria das ETEs já possui uma etapa de desinfecção final, importante para a remoção de patógenos. O método mais utilizado é a desinfecção com cloro. Apenas a ETE Gravatá possui sistema de desinfecção ultravioleta. Quanto ao nível de tratamento, a ETE Sanharó é a única que atinge o nível terciário através de processo biológico e físico-químico com remoção de nutrientes (N e F). De acordo com Compesa (2022a), está prevista uma segunda etapa para a ETE Escada na qual será construída a fase físico-química para retirada do fósforo.

No Quadro 18 são discriminados os valores médios calculados e a quantidade de amostras fornecidas pela empresa de saneamento, no período 2020 a 2022, para os parâmetros: coliformes termotolerantes, pH, DBO e ovos de helmintos.

Quadro 18 - Parâmetros de qualidade do efluente tratado nas ETEs.

ETEs	Coliformes Termotolerantes (NMP/100 ml)		pH		DBO (mg/L)		Ovos de Helmintos (ovo/L)	
	Nº Amostras	Valor médio	Nº Amostras	Valor médio	Nº Amostras	Valor médio	Nº Amostras	Valor médio
Nossa Senhora do Ó	29	9,16 x 10 ²	32	8,2	33	18	NI	-
Luiz Bezerra Torres	6	8,35 x 10 ³	29	7,4	27	110	NI	-
Alto Do Moura	10	7,66 x 10 ³	30	7,3	28	106	NI	-
Caruaru	21	2,71 x 10 ³	32	8,6	33	17	6	< 1
Arcoverde III	21	3,45 x 10 ³	31	8,9	30	23	NI	-
Venturosa	14	7,76 x 10 ³	26	7,8	24	28	5	< 1
Tacaimbó	10	5,52 x 10 ³	33	7,2	33	47	2	< 1
Gravatá	14	3,50 x 10 ³	32	7,4	32	38	4	< 1

Onde: NI = Não informado

Fonte: elaborado pela autora a partir dos dados fornecidos pela Compesa.

Considerando a USEPA como referência, nenhuma ETE atinge os intervalos do parâmetro coliformes termotolerantes, o que já era esperado, tendo em vista se tratar de valores bastante restritivos. No entanto, tomando como base os valores do CERH/MG, mais adequados à realidade local, o uso agrícola restrito e o uso urbano são possíveis para todas as ETEs, sem que o efluente precise passar por outras etapas de tratamento para sua adequação.

De acordo com os dados que foram fornecidos pela Companhia, quanto ao critério de DBO, o efluente das ETEs Nossa Senhora do Ó, Caruaru, Arcoverde III e Venturosa também se mostra apto para os usos restritos, sendo menor que 30 mg/L. Quanto ao pH, todas as ETEs se enquadram no intervalo de referência de 6,0 a 9,0. Para o parâmetro ovos de helmintos, havia dados para as ETEs Caruaru, Venturosa, Tacaimbó e Gravatá, que também se enquadram no limite adotado pelo CERH/MG.

Embora outros critérios precisem ser avaliados, o fato de algumas das ETEs já produzirem efluentes com valores médios dentro dos intervalos recomendados é um indício positivo para a viabilidade do reúso. Ademais, etapas adicionais podem ser implantadas nas plantas de tratamento para polimento do efluente e produção de água de reúso com parâmetros mais restritos, possibilitando um universo maior de finalidades de uso.

Como pontuam Obraczka *et al.* (2019), os custos com o tratamento de esgoto já fazem parte da rotina das empresas de saneamento para atendimento das legislações ambientais quanto ao lançamento dos efluentes em corpo hídricos, onde as melhorias necessárias para produção de água de reúso podem ser financiadas através da cobrança pelo fornecimento do recurso.

Nesse contexto, a Organização Mundial da Saúde chama a atenção para o reúso como uma oportunidade para aumentar o tratamento de esgoto e o uso produtivo desse efluente para diversos fins, especialmente em localidades com déficit nos serviços de coleta e tratamento de esgoto, com proporções significativas de águas residuais não tratadas, como é o caso da BHRI (WHO, 2018).

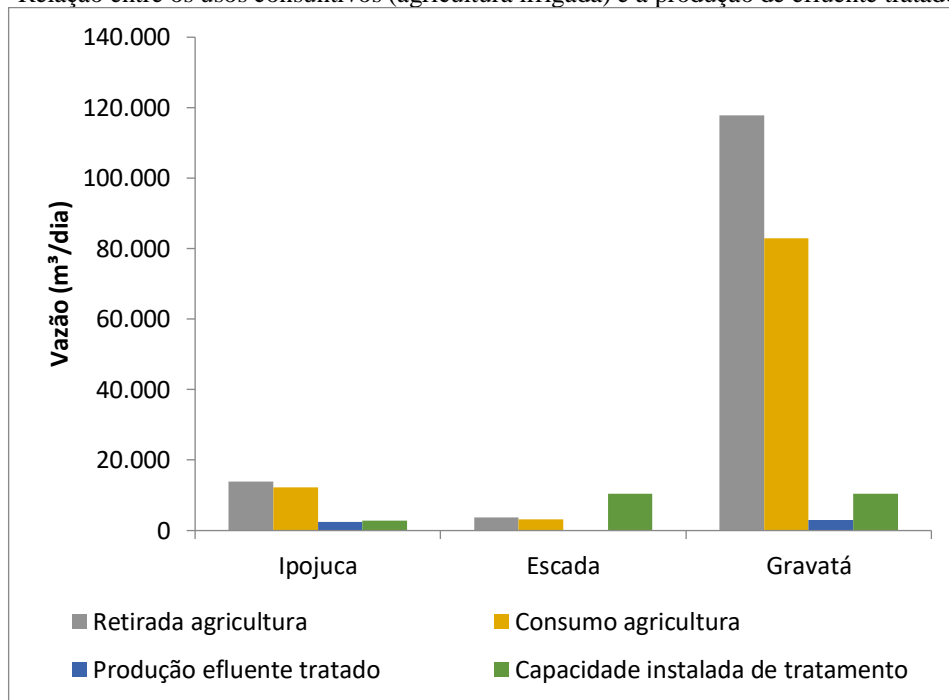
4.3 CARACTERIZAÇÃO DA DEMANDA POTENCIAL PARA A ÁGUA DE REÚSO NA BHRI

Na Figura 9, a seguir, são apresentadas as vazões de retirada e consumo da agricultura irrigada para o ano de 2020, de acordo com a projeção do Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil (ANA, 2019b), e a vazão atual (2020) e potencial de efluente tratado, que considera a capacidade nominal das ETEs. Como pode ser observado, apenas os municípios de Ipojuca, Escada e Gravatá apresentaram dados quanto a esse uso.

Segundo o Plano Hidroambiental da BHRI, no baixo curso do Ipojuca, onde estão localizados os municípios de Ipojuca e Escada, existe uma grande demanda para irrigação de cana-de-açúcar (SRH/PE, 2010). Igualmente, o Atlas Irrigação (ANA, 2021) indica que a área total irrigada desses dois municípios, no ano de 2019, foi para o cultivo de cana-de-açúcar, sendo de 4.630 hectares em Ipojuca e 1.210 hectares em Escada.

Freitas *et al.* (2013) pontuam que a expansão do cultivo da cana-de-açúcar no Brasil tem impulsionado o desenvolvimento de pesquisas direcionadas à viabilidade do uso de efluentes de esgoto doméstico tratado para irrigação e fertirrigação, técnica para aplicação de fertilizantes via água de irrigação, desta cultura. Nesse âmbito, Deon (2010) demonstrou que a irrigação com efluente não alterou a qualidade industrial da cana-de-açúcar, causando aumento do desempenho vegetativo e ganho de produtividade. Barbosa (2017) e De Paula *et al.* (2010) também reportam aumento de produtividade através da irrigação da cana com água de reúso proveniente de esgotos sanitários.

Figura 9 - Relação entre os usos consuntivos (agricultura irrigada) e a produção de efluente tratado na BHRI.



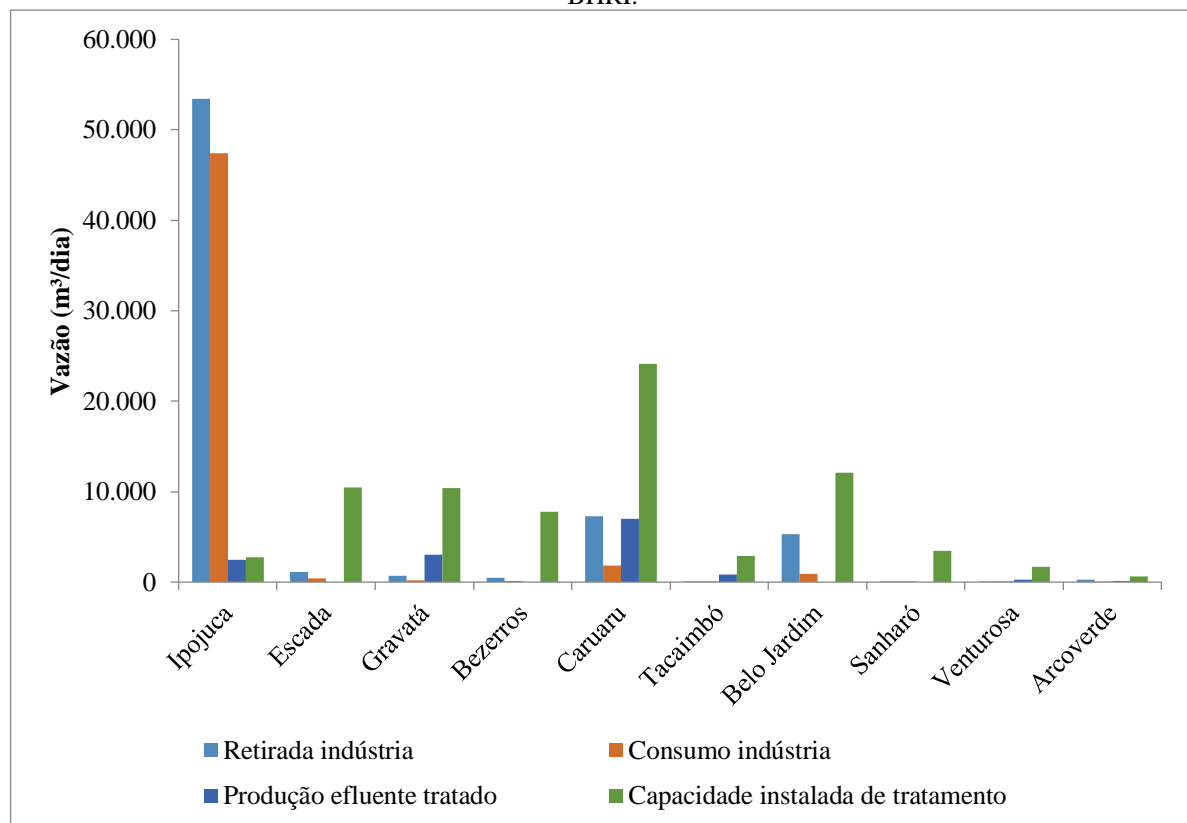
Fonte: elaborada pela autora.

Cabe ressaltar que o reúso de efluentes industriais já é praticado pelo setor sucroenergético no Brasil através da fertirrigação utilizando efluentes gerados no processamento da cana para produção de açúcar e etanol. Segundo a ANA (2023), para cada litro de etanol produzido são gerados, em média, 12 litros de vinhaça. Esse efluente industrial tem como destinação principal o reúso agroindustrial na fertirrigação dos canaviais.

Por outro lado, de acordo com dados da ANA (2021), no município de Gravatá a área total irrigada em 2019, equivalente a 3.397 hectares, foi ocupada com “outras culturas e sistemas”. Nesse âmbito, de acordo com o Plano Hidroambiental da BHRI, a agricultura irrigada em Gravatá se destaca para as atividades de floricultura, fruticultura e horticultura (SRH/PE, 2010). Observa-se que, embora a área irrigada no município de Gravatá seja menor que a dos demais municípios, os volumes de retirada e consumo são consideravelmente maiores. Possivelmente, isso se deve ao fato do cultivo de cana ser considerado como baixo consumidor de água por unidade de área, porém de grande relevância, uma vez que ocorre em larga extensão (ANA, 2019b).

Na Figura 10, a seguir, são discriminadas as vazões diárias de tratamento de esgoto, real e potencial, e as vazões de retirada e consumo requeridas pela indústria de transformação no ano de 2020 (ANA, 2019b).

Figura 10 - Relação entre os usos consuntivos (indústria de transformação) e a produção de efluente tratado na BHRI.



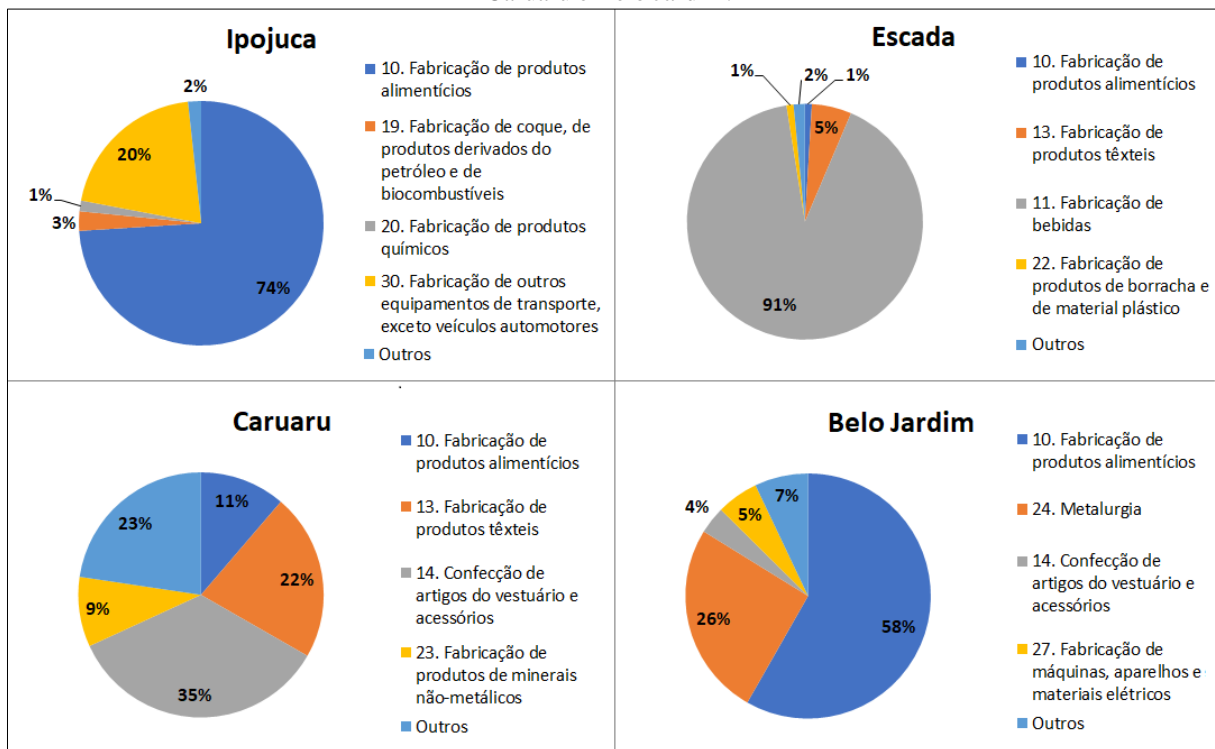
Fonte: elaborada pela autora.

Observa-se que entre os municípios estudados, Ipojuca, localizado na Região Metropolitana do Recife, também se destaca na indústria de transformação, com uma vazão média de retirada de 53.460 m³/dia. No entanto, cabe ressaltar que o maior volume de retirada

do município é para geração termelétrica, 284.338 m³/dia, dos quais aproximadamente 99% retornam para o manancial, uma vez que nas Usinas Termelétricas (UTES) grande parte da demanda é para atender sistemas de resfriamento de circulação aberta, onde quase toda a água retorna ao corpo hídrico (ANA, 2019b).

Nessa categoria, destacam-se ainda os municípios de Caruaru, Belo Jardim e Escada, com vazões médias de retirada de 7.284 m³/dia, 5.310 m³/dia e 1.142 m³/dia, respectivamente. A Figura 11 ilustra a configuração da demanda hídrica da indústria de transformação nesses quatro municípios, de acordo com a Divisão CNAE 2.0³ e as vazões de retirada estimadas para o ano de 2015 segundo a ANA (2017c).

Figura 11 - Estimativa de demanda hídrica da indústria de transformação nos municípios de Ipojuca, Escada, Caruaru e Belo Jardim.



Fonte: elaborada pela autora a partir de ANA (2017c).

É possível perceber que a fabricação de produtos alimentícios tem um maior peso nos municípios de Ipojuca e Belo Jardim, enquanto a fabricação de bebidas é a principal divisão em Escada. Já em Caruaru, percebe-se uma maior diversificação da indústria de transformação, embora 57% da demanda de água seja destinada para fabricação de produtos têxteis e confecção

³ A CNAE é a classificação oficialmente adotada pelo Sistema Estatístico Nacional na produção de estatísticas por tipo de atividade econômica. É ordenada de forma hierarquizada em cinco níveis: seção (21), divisão (87), grupo (285), classe (673) e subclasse (1.301). A seção C - Indústrias de Transformação é composta por 24 divisões (códigos 10 a 33), e respectivas subdivisões hierárquicas (IBGE, 2023).

de artigos de vestuário e acessórios. Nesse âmbito, Silva; Xavier; Sobral. (2022) pontuam a importância das lavanderias industriais que processam peças de jeans na região e utilizam a água como matéria-prima principal.

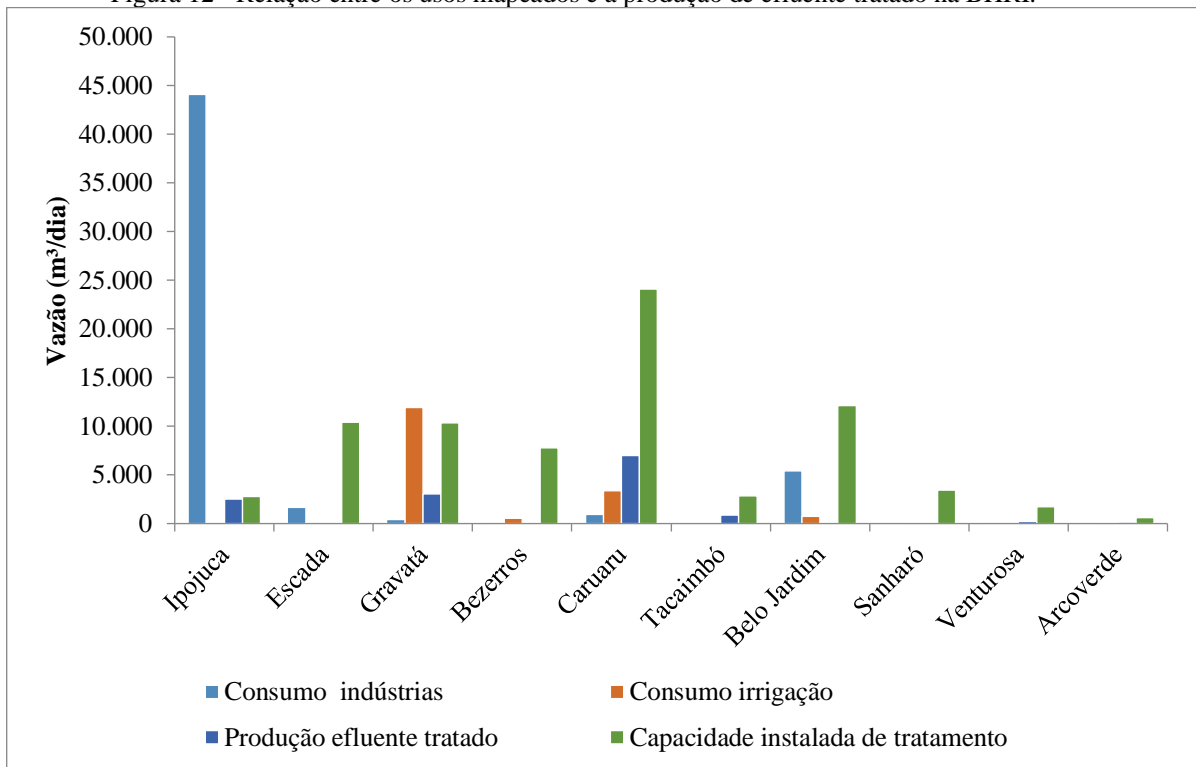
Os municípios de Gravatá e Arcoverde apresentaram vazões de retirada menores que 1.000 m³/dia. Sanharó, Tacaimbó e Venturosa apresentaram vazões de retirada industrial inferiores a 100 m³/dia, cada. A vazão média de retirada da indústria de transformação nos dez municípios totaliza 68.761 m³/dia, sendo que 77,75% dessa vazão está concentrada no município de Ipojuca. Para a agricultura irrigada, os municípios de Ipojuca, Escada e Gravatá totalizam a vazão de retirada de 135.461 m³/dia, uma vez que as demais localidades não apresentaram vazões de retirada e consumo para esse uso.

A capacidade instalada de tratamento da ETE Nossa Senhora do Ó corresponde a 4,10% da demanda total no município de Ipojuca. Em paralelo, considerando a ETE Gravatá operando com capacidade nominal, a produção de efluente tratado corresponde a 8,74% da demanda. Nos demais municípios, a disponibilidade do efluente se apresenta maior que os volumes de retirada para os usos consuntivos em análise.

Em uma segunda abordagem, considerando os bancos de dados de outorga da APAC e da ANA, assim como o cadastro de clientes da Compesa, a Figura 12 traz a relação entre as demandas mapeadas e a oferta potencial de efluente tratado, considerando a capacidade nominal das ETEs em operação e em construção.

Neste caso, o consumo industrial nos 10 municípios equivale a 52.495 m³/dia e o da irrigação, a 16.625 m³/dia. Juntos, representam 90,72% do efluente gerado nas estações. Observa-se que as tendências quanto às demandas industriais e de irrigação nos municípios permanecem, porém com diferenças significativas com relação aos valores gerais, com destaque para as demandas de irrigação nos municípios de Ipojuca, Escada e Gravatá, que aparecem com maior expressividade nos dados do Manual de Usos Consuntivos. Uma das hipóteses levantadas para justificar essa diferença seria a falta de atualização do banco de dados de outorga da APAC, que está passando por uma reestruturação, conforme informado no próprio site da instituição (APAC, 2023). Ademais, pontua-se a necessidade de atividades constantes de fiscalização, cadastramento e regularização dos usuários.

Figura 12 - Relação entre os usos mapeados e a produção de efluente tratado na BHRI.



Fonte: elaborada pela autora.

Quanto ao uso para irrigação, o município de Gravatá, seguido por Caruaru e Belo Jardim, se destaca dos demais. No entanto, o cadastro de outorga disponibilizado não traz informações detalhadas sobre o tipo de cultura ou método de irrigação adotado. O município de Ipojuca, por exemplo, não apresentou outorgas vigentes para a finalidade de uso de irrigação, assim como Tacaimbó, Sanharó e Arcoverde. Escada, Belo Jardim e Venturosa possuíam apenas uma outorga válida.

Ipojuca possui a maior concentração de indústrias, porém apenas duas delas, do ramo de fabricação de produtos químicos (código CNAE 20) e fabricação de produtos derivados do petróleo e de biocombustíveis (código CNAE 19), correspondem a aproximadamente 91% do consumo diário estimado para a categoria industrial, registradas no cadastro de clientes da COMPESA.

Já em Belo Jardim, três indústrias são responsáveis pelo consumo nesta categoria: Notaro e ASA (setor alimentício), e Acumuladores Moura (baterias automotivas). Esse grupo tem outorga de captação no sistema hídrico Bitury/Belo Jardim, formado pelo açude Bitury (Engenheiro Severino Guerra), localizado no rio Bitury, afluente à margem esquerda do rio Ipojuca, e pelo reservatório Belo Jardim (Pedro Moura), construído pela Compesa.

O Bitury foi construído pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), em 1961, passando a ser utilizado para abastecimento público em meados da década

de 1970. Nesta região, há registro de conflitos pelo uso da água devido ao esgotamento da disponibilidade hídrica do reservatório. Além de usos para abastecimento público e indústrias, o Marco Regulatório do sistema hídrico Bitury/Belo Jardim, Resolução ANA/APAC n°55/2018, aponta uma vazão média anual de 36 L/s (3.110 m³/dia) para usos diversos no entorno dos dois reservatórios, incluindo os que independem de outorga de direito de uso. Desse total, 26 L/s seria para atender o uso de pequenos irrigantes, onde um estudo preliminar realizado pela Apac havia mapeado aproximadamente 40 ha de área irrigada no entorno do açude Bitury e cerca de 20 ha no reservatório Belo Jardim (ANA, 2018; ANA/APAC, 2018).

Nesse cenário, o efluente tratado na ETE Belo Jardim teria um importante papel no fornecimento de água de reúso na região, auxiliando no aumento da oferta de água e no equilíbrio do balanço hídrico, dirimindo os conflitos pelo uso da água entre os usuários dos reservatórios. Importante ressaltar que durante períodos de estiagem e escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais (BRASIL, 1997) seguido pelo abastecimento urbano (ANA, 2018). Consequentemente, nessas situações, a alocação de água para indústrias, irrigantes e outros usuários é anulada ou reduzida.

Os usos para indústria encontrados no município de Escada derivam do cadastro de outorga subterrânea, que não possui dados detalhados relativos ao requerente. No entanto, tendo em vista as divisões da Figura 11, possivelmente se trata de fabricação de bebidas. Tacaimbó não possui usuário nessa categoria. Sanharó, Arcoverde e Venturosa apresentaram apenas um usuário cada. Essas duas últimas localidades são também as que registraram as menores vazões de efluente tratado em 2020. Para esses municípios, a água de reúso fornecida pelas ETEs pode representar um atrativo para o desenvolvimento da agricultura irrigada e da indústria.

Por fim, ressaltam-se as diferenças encontradas na caracterização da demanda a partir da análise dos usos consuntivos e da análise pelos bancos de dados de outorga e clientes da concessionária. É possível inferir que os cadastros de outorga na bacia poderiam ser adaptados para incluir informações mais detalhadas sobre as finalidades de usos da água, além da necessidade de aumento da fiscalização para detectar irregularidades. Por outro lado, verificou-se que a concessionária de saneamento atende indústrias também com o fornecimento de água bruta.

De um modo geral, os municípios que apresentaram um maior potencial de demanda para a água de reúso foram Ipojuca, Gravatá, Caruaru e Belo Jardim. Considerando a baixa disponibilidade hídrica nos municípios que fizeram parte do estudo, especialmente os localizados na região semiárida, a água de reúso pode ser percebida como uma oportunidade de incentivo ao desenvolvimento de atividades econômicas, sendo uma fonte de água constante.

Por outro lado, considerando os baixos índices de saneamento, a transformação do efluente tratado em um produto comercializável pode aumentar a receita da companhia de saneamento e os investimentos para melhoria dos serviços em busca da universalização.

Além das demandas para irrigação e indústria, cabe destacar a possibilidade de outros usos diretos não potáveis, como os usos urbanos: irrigação paisagística, lavagem de carros de serviço e vias públicas, desobstrução de redes de esgoto e drenagem pluvial, usos na construção, como a compactação do solo e o abatimento de poeira, ente outros.

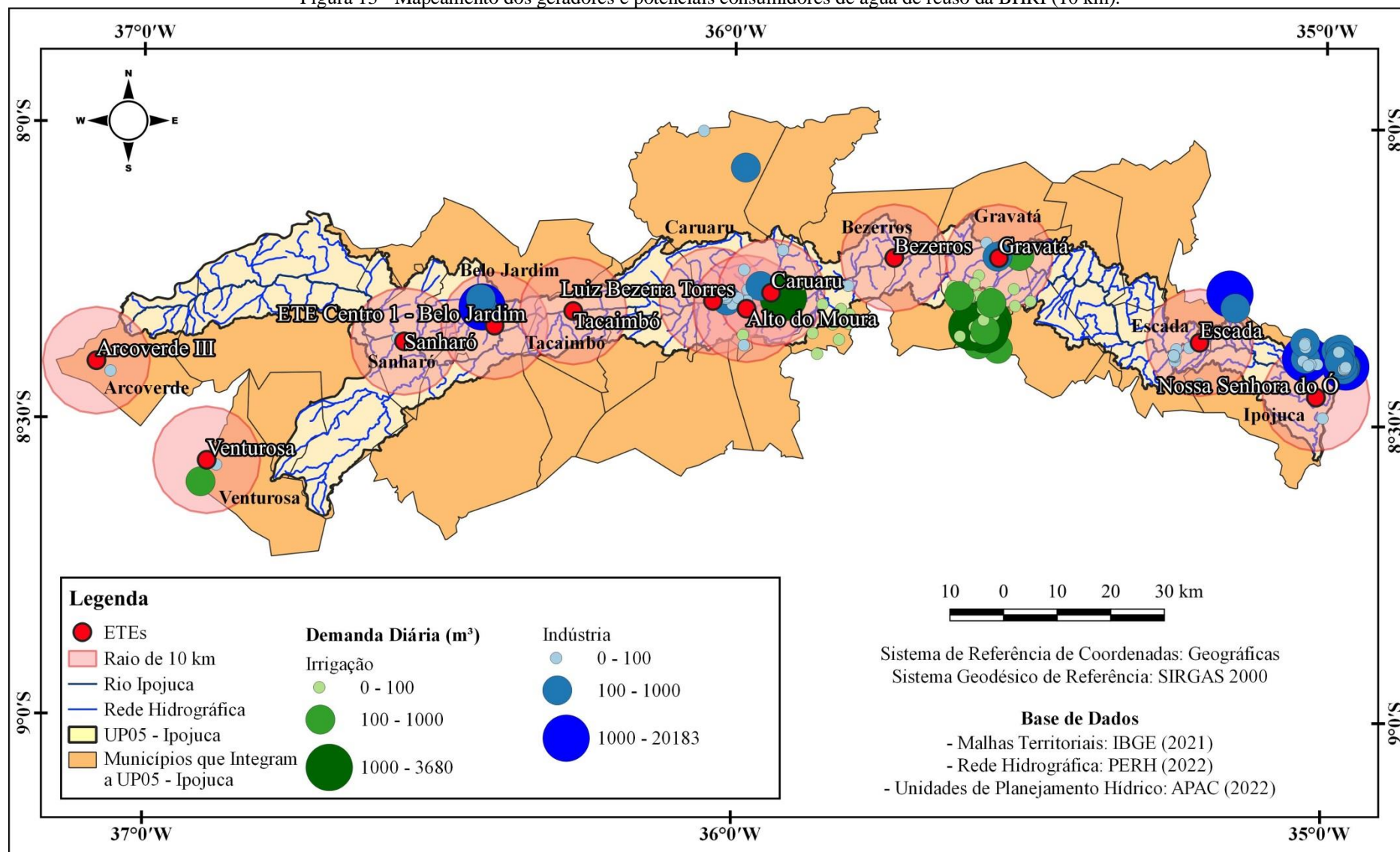
4.4 ANÁLISE ESPACIAL DO POTENCIAL DE REÚSO NA BACIA

Com base nas demandas explicitadas na Figura 12, procedeu-se à elaboração dos mapas que delimitam os potenciais geradores e consumidores de água de reúso nos 10 municípios da BHRI, conforme representado nas Figuras 13 e 14, a seguir. Através desta representação geoespacial, é perceptível a concentração das demandas da indústria no município de Ipojuca, localizadas no limite da delimitação da BHRI, as quais poderiam ser supridas em um raio de 10 km a partir da ETE Nossa Senhora do Ó.

Da mesma forma, o município de Escada apresenta demandas industriais até 100 m³/dia mais próximas da ETE Escada e demandas maiores nas proximidades dos limites territoriais do município, mas que também se situam no raio de 10 km. Os cadastros de outorga não indicaram consumo para agricultura nessas duas localidades, diferentemente do que aparece no manual de usos consultivos da ANA. Portanto, registra-se também a possibilidade de distribuição de água de reúso para irrigação, a exemplo da cana-de-açúcar. Considerando um raio de 20 km a partir das ETES, é possível atender todo território municipal, havendo ainda sobreposição de áreas que poderiam ser beneficiadas por água de reúso derivada de ambas as ETES.

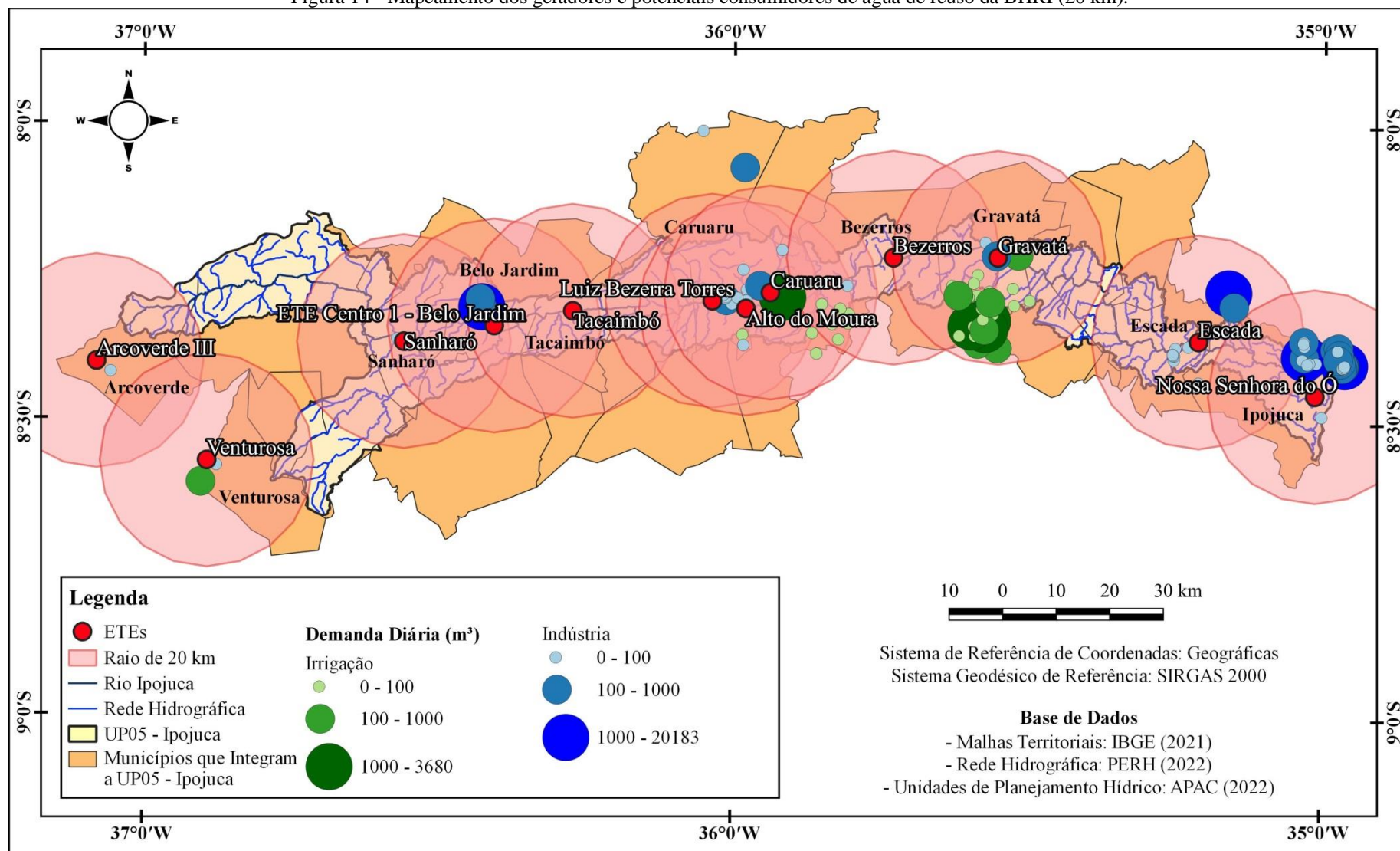
No caso de Gravatá, parte das demandas mapeadas encontra-se fora dos limites da bacia e do alcance de 10 km. O que era esperado, por se tratarem de atividades agrícolas que ocorrem na zona rural, mais afastadas do centro da cidade. No entanto, foi constatada a viabilidade de atendimento ao considerar um raio de 20 km, algumas delas podendo ser supridas também pela ETE Bezerras.

Figura 13 - Mapeamento dos geradores e potenciais consumidores de água de reúso da BHRI (10 km).



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 14 - Mapeamento dos geradores e potenciais consumidores de água de reúso da BHRI (20 km).



Fonte: elaborada pela autora.

Nesse município, as outorgas para irrigação estão localizadas mais ao sul e a oeste da cidade, com distâncias entre 10 e 20 km. Em Caruaru, a maioria dos usuários mapeados encontra-se nas proximidades das três estações até 10 km. Pontuam-se dois usuários da indústria localizados mais a norte, próximos dos limites municipais, que distam mais de 20 km das ETEs.

Como discutido anteriormente, não foram identificados registros de possíveis usuários em Tacaimbó. Já em Belo Jardim se destacam três indústrias, as quais estão posicionadas a menos de 10 km da ETE Centro 1. No município de Sanharó, destaca-se uma indústria do ramo da engenharia a partir do cadastro de usuários da Compesa, com vazão menor que 10 m³/dia, situada próxima ao local onde está sendo instalada a estação de tratamento.

Por último, tanto em Arcoverde quanto em Venturosa, as demandas localizam-se fora da área da bacia, porém próximas das ETEs, facilitando a distribuição da água de reúso por caminhão pipa. Ademais, cada ETE produz efluentes com características distintas e que poderão ser melhoradas para atendimento de demandas e padrões de qualidade específicos.

De modo geral, considerando todos os usuários mapeados e o raio de 10 km de distância das ETEs, dos 83 pontos de indústria, 75 são contemplados (90,36%); dos 45 pontos de irrigação, 18 são contemplados (40,00%). Para o raio de 20 km, 100% das demandas identificadas para irrigação e 97,59% das demandas industriais estão dentro da área delimitada.

Salienta-se que esta análise considerou as distâncias médias e as vazões de consumo das atividades industriais e agrícolas, para uma avaliação potencial do balanço hídrico entre oferta e demanda de água de reúso. As características morfométricas da bacia, que é mais alongada e achatada, tendo o seu rio principal, o Ipojuca, como o “único relevante em termos hidrológicos” (Pernambuco, 2022, p. 179), favorecem o encurtamento das distâncias e o desenvolvimento das cidades e atividades econômicas mais próximas ao rio.

Essa concentração de usuários pode ser um fator de fomento a produção e distribuição de água de reúso na bacia, à medida que reduz custos com a distribuição. Dessa forma, depreende-se que a análise espacial das demandas também pode ser um balizador para a definição dos locais onde novas ETEs podem ser instaladas nos municípios, a fim de estarem mais próximas dos potenciais usuários da água de reúso.

4.5 OPORTUNIDADES E DESAFIOS PARA A CONSOLIDAÇÃO DO REÚSO DE EFLUENTES NA BACIA

Considerando todo o exposto nos tópicos anteriores, o Quadro 19 mostra o resultado da análise SWOT interinstitucional (APAC/COBH-IPOJUCA/CRH/COMPESA) para o

desenvolvimento da prática do reúso de efluentes na bacia hidrográfica do rio Ipojuca. Espera-se que a matriz possa ser utilizada pelas instituições para guiar e priorizar as ações estratégicas no tocante a promoção do reúso de efluentes na bacia.

Quadro 19 - Matriz SWOT interinstitucional – reúso de efluentes na BHRI (continua).

		Forças	Fraquezas
		Ambiente Interno	Interesse da COMPESA em produzir e comercializar água de reúso em suas ETEs: estudos preliminares e projetos piloto em execução na BHRI.
Possibilidade de comercialização de água de reúso para cobrir os custos com o tratamento avançado.	Estudos para definição de possível tarifa para a água de reúso ainda não foram iniciados.		
Qualificação do corpo técnico da COMPESA e APAC	As ações voltadas para melhoria do abastecimento de água são priorizadas nos municípios da BHRI.		
Parcerias com as universidades e comunidade acadêmica.	O reúso de efluentes ainda é pouco discutido no COBH-Ipojuca e CRH/PE.		
A Outorga dos direitos de uso de recursos hídricos está implementada na BHRI.	A outorga para lançamento de efluentes ainda está em estágio de implementação na BHRI, sendo necessário também a inclusão de categoria para o produtor de reúso.		
Os estudos para implementação da cobrança pelo uso dos recursos hídricos e do enquadramento já foram realizados pela APAC.	Cadastro de usuários da BHRI inexistente ou desatualizado.		
O novo Plano Diretor de recursos hídricos da bacia poderá incluir ações mais direcionadas para viabilizar a prática do reúso de efluentes.	Necessidade de reforço no quadro de pessoal da APAC e criação de escritórios regionais para reforço da fiscalização.		
Ambiente Externo	Oportunidades		Ameaças
	Baixa disponibilidade hídrica na bacia: necessidade de incluir fontes alternativas de água no balanço hídrico.	Falta de regulação à prática do reúso direto não potável com definição de padrões de qualidade e segurança, que considerem a realidade nacional e regional.	
	Fatores climáticos como a ocorrência de seca (El Niño), restringindo ainda mais o uso da água na bacia.	Baixa demanda para os usos industriais e agricultura irrigada, principalmente nos municípios do Agreste e Sertão.	

Quadro 19 - Matriz SWOT interinstitucional – reúso de efluentes na BHRI (conclusão).

Ambiente Externo	Oportunidades	Ameaças
	Restrições quanto ao lançamento de efluentes em trechos intermitentes do rio Ipojuca, colocando o reúso como solução.	Falta de interesse do consumidor final (indústria, irrigação e outros) em utilizar e pagar pela água de reúso.
	Com a conclusão das adutoras do Agreste e de Serro Azul haverá o aumento da oferta de água nos municípios do agreste, gerando um incremento na produção de esgoto.	A tarifa para comercialização da água de reúso depende de aprovação da ARPE (Agência de Regulação de Pernambuco).
	Adequação ao novo marco legal do saneamento (Brasil/2020).	De um modo geral, os indicadores de coleta e tratamento de esgoto são baixos nos municípios que fazem parte da BHRI.
	Adequação à Agenda 2030 e aos ODS, especialmente o ODS 6.	Dependência de repasse orçamentário federal ou estadual para execução de obras.
	Atendimento à Política Nacional do Meio Ambiente (Brasil/1981).	Alternância política e a descontinuidade de projetos na bacia.

Fonte: elaborado pela autora.

4.5.1 Ambiente interno: forças

No ambiente interno da COMPESA, enquanto potencial produtora de água de reúso, destaca-se o interesse da empresa sobre o tema e as ações que já vem sendo desenvolvidas nesse âmbito em parcerias com a comunidade acadêmica e outros órgãos de pesquisa. O projeto de reúso em desenvolvimento da ETE Rendeiras, Caruaru, pode agregar experiência e fornecer subsídios para sua expansão para outras estações de tratamento no Estado (COMPESA, 2020a).

Outro ponto de força é a qualificação das equipes técnicas da APAC e COMPESA e a parceria que as duas instituições têm desenvolvido com as universidades e a comunidade acadêmica, o que favorece o desenvolvimento de novas técnicas e soluções inovadoras para lidar com os desafios institucionais.

Embora a BHRI ainda possua baixos indicadores de saneamento, o PSA Ipojuca contribuiu para a expansão da coleta e tratamento adequados de esgoto nos municípios de Tacaimbó, Gravatá e Caruaru, que estão com ETEs em operação; Escada, Bezerros, Belo Jardim e Sanharó, que estão com obras em execução. A companhia também dispõe de projetos

de sistema de esgotamento sanitário para os municípios de Poção, Chã Grande e Primavera, aguardando alocação de recursos para execução das obras (COMPESA, 2022a).

A comercialização da água de reúso pode ser considerada como uma estratégia para aumentar a resiliência do sistema, permitindo que o prestador do serviço garanta recursos fundamentais de forma sustentável (IDS, 2019). A SANASA, por exemplo, cobra 2,50 R\$/m³ para retirada da água de reúso pelo solicitante na EPAR com caminhão próprio, o equivalente a aproximadamente 60% da menor tarifa de água tratada (4,213 R\$/m³, consumo até 10 m³) (ARES-PCJ, 2021). Em cidades como Sydney (Austrália) e Paris (França) a venda de água de reúso faz parte do negócio dos prestadores de serviços. Em Sydney, o valor da água de reúso é equivalente a 90% da tarifa de água potável; em Paris, a tarifa da água de reúso é equivalente à metade do valor da tarifa para água potável (IDS, 2019).

Em face da possibilidade de concessão dos serviços de coleta e tratamento de esgoto à iniciativa privada, a partir das mudanças propostas pela Lei nº 14.026/2020 (Brasil/2020), a água de reúso, enquanto produto, também pode representar um atrativo para investidores do setor privado, assim como o reúso do lodo e a geração de biogás produzidos em estações de tratamento de esgoto (COMPESA/2020).

No entanto, cabe ressaltar que a COMPESA ainda não iniciou estudos para definição de uma tarifa de água de reúso, o que foi considerado uma fraqueza. Ademais, a tarifa para comercialização da água de reúso depende de aprovação da ARPE (Agência de Regulação de Pernambuco), dessa forma representando uma ameaça.

Quanto aos instrumentos de gestão, a outorga de uso de recursos está implementada na bacia. Embora outros instrumentos como cobrança e enquadramento ainda não estejam funcionando na BHRI, considerou-se uma força a realização e conclusão dos respectivos estudos para viabilizar essa implementação. Da mesma forma, a atualização do Plano Diretor de recursos hídricos da bacia, que deve ocorrer até 2025, foi considerada uma força no sentido de que o reúso poderá ser mais discutido e incluído com um peso maior no planejamento das ações futuras.

4.5.2 Ambiente interno: fraquezas

A avaliação dos instrumentos de enquadramento e outorga na bacia mostraram que os custos para requalificação das estações de tratamento de esgoto para alcançar o nível de tratamento terciário, assim como os custos de adequação das ETEs para produção e fornecimento de água de reúso são elevados (APAC, 2019a). A COMPESA depende de

investimentos do Estado e financiamentos externos para execução das obras de saneamento. Ademais, tendo em vista também a baixa disponibilidade hídrica na bacia, as ações voltadas para melhoria do abastecimento de água são priorizadas na região. Como exemplo, cita-se a inclusão da Adutora de Serro Azul no escopo do PSA Ipojuca, cujos recursos deveriam ser empregados prioritariamente em obras de saneamento (COMPESA, 2022a).

Pela observação das discussões nas esferas do COBH-Ipojuca e do CRH/PE, percebeu-se que o reúso de efluentes ainda é pouco discutido nessas esferas, merecendo uma maior atenção das instituições. Embora a outorga de uso dos recursos hídricos esteja implementada na bacia, a outorga para lançamento de efluentes ainda está em estágio de implantação e as discussões para inclusão de outorga para o produtor de água de reúso ainda não foram iniciadas. Ademais, verifica-se a falta de cadastro atualizado dos usuários da bacia, bem como de ações de fiscalização, dificultadas pela centralização da APAC em sua sede na capital, Recife, não havendo escritórios regionais.

4.5.3 Ambiente externo: oportunidades

Enquanto a possibilidade de comercialização da água de reúso e captação de investimentos do setor privado se apresentou como um aspecto interno de força, a integração da prática do reúso com as políticas ambientais e de saneamento, além dos planos de gestão de recursos hídricos, se apresenta como uma oportunidade a ser explorada.

A Política Nacional do Meio Ambiente, instituída pela Lei nº 6.938/1981 (Brasil, 1981), traz entre seus instrumentos o estabelecimento de padrões de qualidade ambiental; a avaliação de impactos ambientais; o licenciamento e a revisão de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras; entre outros. O reúso de efluentes está alinhado aos princípios da política ambiental ao contribuir para a conservação dos recursos hídricos e a redução da poluição hídrica.

A baixa disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica do rio Ipojuca, as restrições quanto ao lançamento de efluentes no rio, especialmente em seus trechos intermitentes, e a implementação do instrumento de enquadramento são fatores que favorecem o reúso de efluentes como uma fonte alternativa de água. Como discutido nos capítulos anteriores, o tratamento de esgoto avançado possibilita a reutilização do efluente de diversas formas, seja através do reúso indireto, no qual a água tratada retorna para o corpo hídrico promovendo sua revitalização e todos os benefícios diretos e indiretos que esta traz; seja nos usos diretos, atendendo às demandas do setor de agricultura, indústria, usos urbanos, entre outros.

Conforme tratado no tópico 2.6, o reúso de efluentes está diretamente ligado ao ODS 6 – água potável e saneamento, portanto o desenvolvimento da prática na bacia e no Estado contribuirá para o atingimento das metas firmadas. Em paralelo, os municípios e os prestadores dos serviços de saneamento também devem se adequar ao que propõe o Novo Marco Legal (Brasil/2020) quanto às metas de universalização e de expansão e eficiência do reúso de efluente sanitário.

A universalização do saneamento busca assegurar que todas as comunidades, independentemente de sua localização ou condição socioeconômica, tenham acesso a serviços básicos de saneamento, incluindo abastecimento de água e tratamento de esgoto. Nesse âmbito, o tópico 3.1 demonstrou que os municípios que fazem parte da BHRI ainda estão distantes das metas propostas na Lei nº 14.026/2020 (Brasil, 2020), especialmente quanto ao percentual de 90% da população com acesso a coleta e tratamento de esgoto.

O reúso de efluentes pode desempenhar um papel importante na expansão do acesso ao saneamento, sobretudo em localidades onde a escassez de água é um desafio. Como pontuam Obraczka *et al.* (2019), em regiões em que grande parte da população não possui acesso ao saneamento básico, é prudente direcionar os investimentos para a expansão e universalização desses serviços. No entanto, é crucial também priorizar o reúso como uma alternativa estratégica para suprimento de água. Isso, por sua vez, diminui as crescentes pressões sobre os mananciais e sistemas existentes, adiando a necessidade de investimentos destinados à expansão dos sistemas convencionais de abastecimento de água.

A integração do reúso de efluentes com as políticas ambiental e de saneamento se alinha com princípios de sustentabilidade, permitindo o ciclo fechado da água, contribuindo para a conservação de ecossistemas aquáticos e preservando a biodiversidade. Ao incorporar a prática do reúso em políticas públicas, os municípios podem avançar em direção a uma gestão mais responsável e eficiente dos recursos hídricos.

Ainda como fatores externos que representam oportunidades para o desenvolvimento da prática do reúso na bacia, destaca-se a conclusão das Adutoras do Agreste e de Serro Azul. Esses sistemas, quando concluídos, levarão mais água para os municípios da bacia que estão situados na região Agreste, a exemplo de Caruaru, Bezerros e Gravatá, sendo o abastecimento humano o uso prioritário (COMPESA, 2022c). Consequentemente, espera-se a redução da intermitência no fornecimento de água e o incremento no volume de esgoto que chega até as estações de tratamento. Em contrapartida, fatores climáticos como o fenômeno El Niño podem agravar o cenário de escassez (INPE/INMET/ANA/CENAD, 2023), aumentando os conflitos pelo uso da água e a busca por fontes alternativas desse recurso.

4.5.4. Ambiente externo: ameaças

Enquanto a comercialização da água de reúso pode ser vista como uma força, a falta de interesse do consumidor em utilizar e pagar pela água de reúso é percebida como uma ameaça, visto que durante a realização do Procedimento de Manifestação de Interesse pela COMPESA, uma das maiores dificuldades relatadas pelas empresas participantes foi a identificação e captação de possíveis clientes (COMPESA, 2020a).

Uma estratégia adotada foi a elaboração de formulário para pesquisa de intenção das empresas em conhecer o projeto que visava a comercialização de água de reúso da COMPESA e divulgação junto às empresas da Federação das Indústrias do Estado de Pernambuco (FIEPE). No entanto, apenas 12 empresas se mostraram interessadas, nenhuma delas dentro da bacia hidrográfica do rio Ipojuca, sendo três de outros Estados e o restante da RMR.

De acordo com as atas acostadas ao processo, a PMI resultou em procedimento fracassado, em que as empresas participantes alegaram que a estratégia só lograria êxito na RMR, onde a concentração de indústrias é maior (COMPESA, 2020a). Corroborando com esse resultado, o levantamento dos possíveis usuários para a água de reúso na bacia, descrito nos tópicos 4.3 e 4.4 desta tese, indicou demandas para indústria e agricultura irrigada abaixo da capacidade nominal das ETEs, exceto nos municípios de Ipojuca (RMR) e Gravatá (Agreste).

Embora a concessionária esteja realizando projetos com água de reúso da BHRI e em outras bacias, ainda não há regulação para o reúso direto não potável na esfera estadual ou federal. Destarte, não há como exigir ou recomendar que o reúso seja adotado em larga escala na BHRI antes que a discussão para regulação, considerando as especificidades regionais, avance. Nesse âmbito, a participação do COBH e do CRH/PE é fundamental, inserindo a pauta do reúso de efluentes domésticos em suas agendas.

Pontuam-se, ainda, os baixos indicadores de saneamento (água e esgoto) nos municípios e a dependência do meio político para alocação de recursos e priorização na execução de ações visando à melhoria desses indicadores. Para que reúso de efluentes seja efetivado como ação estratégica de combate a escassez hídrica e revitalização de bacias, torna-se essencial que os poderes públicos municipal, estadual e federal, tratem como prioridade a melhoria da cobertura dos serviços de saneamento e do tratamento das águas residuais na bacia. Dessa forma, aumenta-se a vazão e a qualidade do efluente tratado, contribuindo para a produção e fornecimento seguros da água de reúso.

4.5.5 Diretrizes para consolidação do reúso de efluentes na BHRI

Por fim, o Quadro 20 traz uma síntese das principais ações a serem desenvolvidas na bacia hidrográfica do rio Ipojuca e no estado de Pernambuco para que a prática do reúso de efluentes sanitários possa ser consolidada.

Quadro 20 - Ações necessárias para promoção da prática do reúso de efluentes na bacia (continua).

Ação	Partes interessadas	Desdobramentos
Promoção do debate e educação sobre o reúso de efluentes na bacia	<ul style="list-style-type: none"> - Atores políticos e estratégicos: secretarias de governo e agências reguladoras (APAC, CPRH, ARPE, outros); - Concessionária de saneamento e demais prestadores de serviços; - Consumidores: industrial, irrigação, urbano, outros; - Grupos de influência/interesse: universidades, sociedade civil, associações, outros. 	Enquanto o reúso é apontado como alternativa ao lançamento de efluentes no rio Ipojuca, devido ao seu caráter intermitente, notou-se a carência de estudos específicos sobre o tema na bacia. Faz-se necessário a promoção do debate específico sobre o tema visando o nivelamento de informações, a educação e a formação de todos os entes envolvidos nos processos de regulamentação, produção, comercialização, distribuição e consumo da água de reúso com segurança e eficiência.
Atualização do Plano Hidroambiental da bacia	<ul style="list-style-type: none"> - APAC: conduzir a elaboração; - COBH-Ipojuca: envolvimento e aprovação; - Municípios e sociedade civil organizada têm assegurada a efetiva participação no processo. 	Considerando a abrangência temporal do PHA vigente até 2025, deve-se iniciar o processo para atualização do mesmo. Recomenda-se abordagem específica sobre o reúso de efluentes oriundos dos sistemas públicos nos estudos.
Efetivação do enquadramento	<ul style="list-style-type: none"> - APAC (na ausência da Agência de Bacia): realizar os estudos e propor ao COBH o enquadramento de corpos de água em classes segundo os usos preponderantes – já realizado; - COBH-Ipojuca: envolvimento e aprovação – já realizado; - CRH/PE – homologar; - CPRH – monitorar. 	Retomar as discussões sobre o enquadramento no âmbito do CRH, com envolvimento da concessionária e da agência de meio ambiente, visando buscar solução factível para o lançamento de efluentes no rio Ipojuca considerando a realidade da bacia, uma vez que a alternativa de reutilizar 100% o efluente não se mostra factível no momento.

Quadro 20 - Ações necessárias para promoção da prática do reúso de efluentes na bacia (conclusão).

Ação	Partes interessadas	Desdobramentos
Estudo e implantação da outorga de direito de uso de recursos hídricos para o produtor de água de reúso na bacia	- APAC: realizar estudos e expedir outorgas; - CRH: definir os critérios e quantitativos quanto aos usos que dependem ou independe de outorga, devendo ser ouvido o COBH-Ipojuca.	Considerando a promoção da prática do reúso de efluentes na BHRI, faz-se necessário que a APAC esteja preparada para instituir a outorga ao produtor de água de reúso e incluir essa variável nas análises do balanço hídrico da bacia.
Instituir e regulamentar a cobrança pelo uso dos recursos hídricos	- APAC: realizar os estudos e implantar a cobrança pelo uso da água – estudos já realizados; - CRH: homologar – já realizado; - Governo Estadual: instituir a cobrança por lei e regulamentá-la por decreto. - COBH/Ipojuca: propor os valores a serem cobrados e aprovar a alocação dos recursos resultantes da cobrança.	Uma vez que os estudos foram concluídos, cabe a regulamentação por lei e início da cobrança na bacia. Ao COBH caberá direcionar os recursos arrecadados para promoção do reúso de efluentes na bacia.
Regulamentar o reúso direto não potável de água proveniente de estações de tratamento de esgoto sanitário	- CRH/PE e/ou Conselho Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco (CONSEMA/PE): definição de critérios e parâmetros para regulamentar o reúso direto não potável na BHRI ou Estado, através de resolução.	Enquanto não se tem legislação específica a nível federal, o Estado de Pernambuco pode avançar nas tratativas para regulamentação do reúso direto não potável, seguindo o exemplo de outros estados como Minas Gerais, São Paulo e Ceará.
Investimentos para requalificação das ETES existentes e novos sistemas de coleta e tratamento de esgoto	- Financiamento: cobrança pelo uso da água, poder público, concessionária, entidades financiadoras internacionais (BID, BIRD, entre outros), <i>stakeholders</i> . - Planejamento e execução dos projetos e obras: prestador dos serviços de saneamento nos municípios.	Inclusão de etapas adicionais de tratamento às ETES existentes para polimento do efluente e produção de água de reúso. Complementação dos sistemas de esgotamento sanitário municipais e construção de novas ETES, tendo em vista que a maioria dos municípios da BHRI ainda está distante da meta de universalização do saneamento.
Definição da tarifa para comercialização da água de reúso	- Concessionária: realizar estudos e propor tarifa; - ARPE (Agência de Regulação de Pernambuco): aprovar.	A tarifa cobrada pela água de reúso deve ser atrativa ao consumidor, que também deverá adaptar suas instalações e processos para incluir essa nova fonte em suas atividades.

Fonte: elaborado pela autora.

5 CONCLUSÕES

Diante dos resultados alcançados, depreende-se que os instrumentos da PNRH têm papel, direto e indireto, na promoção e regulação do reúso de efluentes na bacia. No entanto, para que a prática seja consolidada na BHRI, faz-se necessário o avanço na implantação dos mesmos, especialmente o enquadramento e a cobrança, que foram classificados com baixo grau de implantação, e a outorga para produtor de água de reúso, para qual ainda não há ações referentes à implantação. Ademais, para além da regulação, os instrumentos de gestão de recursos hídricos devem fornecer maiores incentivos à prática do reúso de efluentes sanitários na bacia e no Estado.

Embora a BHRI apresente baixos indicadores de saneamento, foram identificadas 12 ETEs em 10 municípios com potencial para produção de 76.188 m³/dia de água de reúso, das quais quatro ainda se encontravam em obras. Em termos de qualidade, para os parâmetros analisados, as estações em operação demonstraram bom desempenho, onde o efluente poderia ser usado para usos restritos sem a necessidade de tratamento adicional.

Verificou-se que a maior concentração de usuários nos setores da indústria e agricultura irrigada está nos municípios de Ipojuca e Gravatá, com capacidade para consumir todo efluente produzido nas ETEs. Nos municípios de Belo Jardim, Caruaru e Escada a oferta supera a demanda, porém ainda em menor proporção do que no restante dos municípios. Espacialmente, constatou-se que as características da bacia favorecem a concentração das demandas no entorno das ETEs, o que facilitaria a distribuição da água de reúso.

Para além da quantificação da oferta e demanda potenciais da água de reúso, a metodologia empregada permitiu identificar as forças internas e as oportunidades para o desenvolvimento da prática do reúso na BHRI, ao mesmo tempo em que aponta fragilidades e ameaças para serem corrigidas e neutralizadas, podendo ser replicada para outras unidades de planejamento. Nesse âmbito, os maiores desafios identificados para que o potencial de produção e consumo de água de reúso se tornem reais foram a ausência de regulamentação que considere as características regionais, capacidade limitada de investimentos e baixa demanda em alguns municípios.

Por fim, confirma-se a hipótese de que a BHRI tem alto potencial para o reúso de efluentes provenientes dos sistemas públicos de saneamento, como uma alternativa para melhoria da disponibilidade hídrica e redução do lançamento de efluentes no rio Ipojuca.

Por fim, espera-se que os resultados obtidos através de análise inédita na bacia hidrográfica do rio Ipojuca sirvam de referência para os formuladores e executores das políticas de gestão integrada de recursos hídricos em Pernambuco, além de incentivo aos potenciais produtores e consumidores da água de reúso, nesta e nas demais bacias hidrográficas do Estado.

5.1 LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Durante a realização do levantamento de informações para caracterização da demanda foi possível perceber a dificuldade na obtenção de dados mais específicos e mapeamento dos usuários. Sendo assim, cabe salientar a necessidade de realização e/ou atualização do cadastro de usuários da bacia. Ademais, o cálculo da demanda potencial considerou os setores da indústria e da agricultura, porém há ainda outros usos diretos possíveis, para os quais se recomenda o desenvolvimento de estudos futuros direcionados que permitam mapear e quantificar essas demandas específicas.

Outrossim, recomenda-se o aprofundamento das análises quanto à qualidade operacional das estações de tratamento de esgoto e do efluente gerado, através de avaliação dos demais parâmetros requeridos nas normas de referência, possibilitando a avaliação quanto a necessidade de adequação das ETEs para inclusão de novas etapas de tratamento.

O presente estudo teve como foco a avaliação do balanço hídrico entre a oferta e a demanda potencial para a água de reúso na BHRI. A partir dos mapas produzidos, recomenda-se a análise de viabilidade econômica quanto ao sistema de distribuição mais adequado para a água de reúso, considerando a distribuição por carro pipa ou por adutora, a depender das distâncias e vazões a serem atendidas.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.969**: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. 30 p.

AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ. **Cobrança pelo uso dos recursos hídricos nas Bacias PCJ – 2022**. 2022. Disponível em: <https://agencia.baciaspcj.org.br/instrumento-de-gesto/cobranca-pelo-uso-da-agua/>. Acesso em: 10 set. 2022.

ÁGUAS DO BRASIL. **Reuso**: instrumento de um novo modelo de gestão das águas. 2020. Disponível em: <https://aguasdobrasil.org/artigo/reuso/>. Acesso em: 01 set. 2022.

ALMEIDA, J. de A. **Governança da água do açude do Bitury na bacia hidrográfica do rio Ipojuca – Pernambuco**. 2021. 135 f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2021.

AMORIM, A. P. A. F. de. **Uso de efluente doméstico tratado no cultivo de pimenta de cheiro (*capsicum chinense*)**. 2023. 82 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, 2023.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Água na indústria**: uso e coeficientes técnicos. Brasília: ANA, 2017c. 37p.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Atlas esgotos**: despoluição de bacias hidrográficas. Brasília: ANA, 2017a. 88p.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Atlas irrigação**: uso da água na agricultura irrigada. 2. ed. Brasília: ANA, 2021. 130 p.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017**: relatório pleno. Brasília: ANA, 2017b. 169 p.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2021**: relatório pleno. Brasília: ANA, 2022. 132 p.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2022**: informe anual. Brasília: ANA, 2023. 105 p.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Encarte especial sobre a crise hídrica**. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil – informe 2014. Brasília: ANA, 2015. 31 p.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Enquadramento dos corpos d'água em classes**. Brasília: ANA, 2020. 57p.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil**. Brasília: ANA, 2019b. 75 p.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Nota Técnica nº 14/2018/COMAR/SER**, de 27 de março de 2018. 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/regulacao-e-fiscalizacao/allocacao-de-agua-e-marcos-regulatorios/marcos-regulatorios/marcos-regulatorios-pe>. Acesso em: 18 nov. 2022.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Plano Nacional de Segurança Hídrica**. Brasília: ANA, 2019a. 112 p.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Resolução N° 1.163**, de 26 de setembro de 2016. 2016. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&legislacao=136733>. Acesso em: 11 ago. 2022.

ANA/APAC. **Resolução Conjunta ANA/APAC-PE nº 55**, de 06 de agosto de 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/regulacao-e-fiscalizacao/allocacao-de-agua-e-marcos-regulatorios/marcos-regulatorios/marcos-regulatorios-pe>. Acesso em: 18 nov. 2022.

APA/ARH DO TEJO. AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE. ADMINISTRAÇÃO DA REGIÃO HIDROGRÁFICA DO TEJO I.P. **Plano das Bacias Hidrográficas das Ribeiras do Oeste**: parte complementar a relatório ambiental. 2012. Disponível em: https://apambiente.pt/sites/default/files/SNIAMB_Agua/DRH/PlaneamentoOrdenamento/AE_PGRH_PGRI/2010-2015/PGRH_1_RH4_RO_RelatorioAmbiental.pdf. Acesso em: 20 set. 2023

APAC - AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. **Proposta de Implantação de Outorga de Lançamento de Efluentes na Bacia do Rio Ipojuca**: Produto 7- Relatório Final. Recife: APAC, 2017.

APAC - AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. **Proposta de Enquadramento dos Cursos de Água da Bacia Hidrográfica do Rio Ipojuca**: Produto 15 - Relatório Final. Recife: Apac, 2019a.

APAC - AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. **A cobrança pelo uso da água bruta no estado de Pernambuco**. 2019b. Apresentação realizada na Reunião do CRH/PE Acesso em: 15/08/2019.

APAC - AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. **Resolução nº 02/2021 – DC, de 16 de abril de 2021**. 2021. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/outorga>. Acesso em: 30 abr. 2023.

APAC - AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. **Bacia do Rio Ipojuca**. 2021. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/165-bacias-hidrograficas-rio-ipojuca/196-bacia-do-rio-ipojuca>. Acesso em: 10 ago. 2022.

APAC - AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA **Planilhas de relação de recursos hídricos superficiais ou subterrâneos com outorgas vigentes**. 2023. Disponível em: https://www.apac.pe.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=133. Acesso em: 29 abr. 2023.

AQUAPOLO. **História**. 2022. Disponível em: <http://www.aquapolo.com.br/historia/>. Acesso em: 01 set. 2022.

ARAÚJO, B. M.; SANTOS, A. S. P.; SOARES, S. R. A.; MELO, M. C.; OHNUMA, A.A. Aspectos econômicos para o reúso na agricultura na bacia do rio Paraíba do Sul e comparação com o modelo da gestão de cobrança em Israel. *In: Simpósio de Recursos Hídricos da Bacia Paraíba do Sul*, 3., 2018, Juiz de Fora/MG. **Anais [...]**. Juiz de Fora: UFJF, 2018.

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: ciências exatas e engenharia**, v. 17, n. 07, p. 51-61, 2017.

ARES-PCJ - AGÊNCIA REGULADORA DOS SERVIÇOS DE SANEAMENTO DAS BACIAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ. **Resolução ARES-PCJ n° 409, de 29 de dezembro de 2021**. Diário Oficial do Município de Campinas: Campinas, SP, p. 50-52, 2021.

ASSIS, W. D.; RIBEIRO, M. M. R.; SILVA, S. R. Multi-level governance application to a shared river basin. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 25, e44, 2020.

BARBOSA, E. A. A.; MATSURA, E. E.; SANTOS, L. N. S.; GONÇALVES, I. Z.; NAZÁRIO, A. A.; FEITOSA, D. R. C. Water footprint of sugarcane irrigated with treated sewage and freshwater under subsurface drip irrigation, in Southeast Brazil. **Journal of Cleaner Production**, n. 153, p. 448-456, 2017.

BARBOSA, F. D. **Comitês de Bacias Hidrográficas, representação e participação: desafios e possibilidades à gestão da água e dos recursos hídricos no Brasil**. 2019. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais), Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2019.

BARBOSA, M. S.; SANTOS, M. E. P.; MEDEIROS, Y. D. P. Viabilidade do reúso de água como elemento mitigador dos efeitos da seca no semiárido da bahia. **Ambiente & Sociedade**, v. 17, n. 2, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2014000200003>

BARROS, A. M. de L. **Modelagem da poluição pontual e difusa: aplicação do modelo Moneris à Bacia hidrográfica do rio Ipojuca, Pernambuco**. 2008. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

BISCHEL, H. N.; LAWRENCE, J. E.; HALABURKA, B. J.; PLUMLEE, M. H.; BAWAZIR, A. S.; KING, P.; McCRAY, J. E.; RESH, V. H.; LUTHY, R.G. Renewing Urban Streams with Recycled Water for Streamflow Augmentation: Hydrologic, Water Quality, and Ecosystem Services Management. **Environmental Engineering Science**, v. 30, n. 8, p. 455-479, 2013. doi: 10.1089/ees.2012.0201

BOMFIM, N. F. **Avaliação quantitativa e qualitativa de óleo essencial extraído do *Coriandrum sativum* cultivado com água de reúso**. 2019. 65f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil,

Recife, 2019.

BOZZINI, A. C. **A matriz SWOT como ferramenta para subsidiar a criação de consórcio intermunicipal na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos urbanos na microrregião da baixa Mogiana, MG.** 2019. Tese (Doutorado). Universidade de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 2019.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981.** 1981. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 21 out. 2022.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.** 1997. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm. Acesso em: 15 mar. 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria de Consolidação Nº 5, de 28 de setembro de 2017.** Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. 2017. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017.html. Acesso em: 02 jun. 2021.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020.** Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ed. 135, p. 1, 16 jul. 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021.** Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ed. 85, p. 127, 7 maio 2021.

CBH-IPOJUCA - COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IPOJUCA. **Resolução nº 01/2019, de 11 de dezembro de 2019.** 2019

CBH-PARANAÍBA - COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARANAÍBA. **Deliberação nº 61, de 10 de março de 2016.** 2016. Disponível em: <https://cbhparanaiba.org.br/atos-legais/deliberacoes>. Acesso em: 24 ago. 2022.

CBHSF - COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO. **Deliberação nº 94, de 25 de agosto de 2017.** 2017. Disponível em: <https://cbhsaofrancisco.org.br/documentacao/deliberacoes/>. Acesso em: 11 out 2022.

CEARÁ. **Lei N.º 16.033, de 20 de junho de 2016.** 2016. Disponível em: <http://www2.al.ce.gov.br/legislativo/legislacao5/leis2016/16033.htm>. Acesso em: 08 ago. 2022.

CERH/MG - CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DE MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa nº 65, de 18 de junho de 2020.** 2020. Disponível em: www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=52040. Acesso em: 28 ago. 2022.

CERH/PR - CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DE MINAS GERAIS. **Resolução CERH nº 122, de 19 de junho de 2023.** 2023. Disponível em: https://www.aen.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2023-07/1007resolucaoreuso_2.pdf. Acesso em: 20 ago. 2023.

CIRILO, J. A.; SAMPAIO JÚNIOR, R. A.; AGRA, M. C. M.; CUNHA, F.A .G. C.; TORRES, C. O. Sistema de Informações de Recursos Hídricos do estado de Pernambuco: subsistema de informações ao usuário. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, n.2, p. 21-44, 1997.

CIRILO, J. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; CAMPOS, J. N. B. The issue of water in the Brazilian semi-arid region. *In*: BICUDO, C. E. M.; TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTUHL, C. B. **Waters of Brazil**. Suíça: Springer International Publishing, 2017. 191p.

CNI - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Reúso de efluentes para abastecimento industrial**: avaliação da oferta e da demanda no estado de Pernambuco. 2019. Brasília: CNI, 2018. 117 p.

CNRH - CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ed. 85, p. 91, 9 mar. 2006.

CNRH - CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Resolução nº 91, de 05 de novembro de 2008**. 2008. Disponível em: <https://sigrh.sp.gov.br/resolucoesfederais>. Acesso em: 09 ago. 2022.

CNRH - CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Resolução N° 121, de 16 de dezembro de 2010**. 2010. Disponível em: <https://www.ceivap.org.br/legislacao/Resolucoes-CNRH/Resolucao-CNRH%20121.pdf> Acesso em: 09 ago. 2022.

CNRH - CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Resolução nº 140, de 21 de março de 2012**. 2012a. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&legislacao=127766>. Acesso em: 10 ago. 2022.

CNRH - CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Resolução nº 141, de 10 de julho de 2012**. 2012b. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&force=1&legislacao=127789>. Acesso em: 10 ago. 2022.

COEMA/CE - CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE DO CEARÁ. **Resolução nº 02, de 21 de fevereiro de 2017**. Diário Oficial do Estado do Ceará: Série 3, Ano IX, nº037, 21 fev. 2017.

COMPESA. **Plano de comunicação do Programa de Saneamento Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Ipojuca**. Volume I Mapeamento, análises das áreas e dos Públicos. 2016. Disponível em: https://servicos.compesa.com.br/wp-content/uploads/2016/02/volume1_plano_executivo-ilovepdf-compressed.pdf. Acesso em: 10 out. 2022.

COMPESA. **Relatório de Sustentabilidade 2019**: Ano Base 2018. 2019. Disponível em: <https://servicos.compesa.com.br/wp-content/uploads/2019/08/Relat%C3%B3rio-de-sustentabilidade.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2023

COMPESA. **Edital Chamamento Público Compesa nº 004/2020**. 2020a. Disponível em: <https://servicos.compesa.com.br/portal-de-parcerias/reuso-para-etes/>. Acesso em: 15 abr. 2022.

COMPESA. **Compesa celebra sete anos da maior PPP do país do saneamento com atendimento a 1,3 milhão de pernambucanos**. 2020b. Disponível em: <https://servicos.compesa.com.br/compesa-celebra-sete-anos-da-maior-ppp-do-pais-do-saneamento-com-atendimento-a-13-milhao-de-pernambucanos/>. Acesso em: 23 set. 2022.

COMPESA. **Relatório Semestral PSA Ipojuca: janeiro a junho de 2022**. Recife: COMPESA, 2022a. 167p.

COMPESA. **História**. 2022b. Disponível em: <https://servicos.compesa.com.br/historia-e-perfil/> Acesso em: 22 out. 2022.

COMPESA. **Obras das Adutoras de Serro Azul e do Agreste são vistoriadas pela diretoria da Compesa**. 2022c. Disponível em: <https://servicos.compesa.com.br/obras-das-adutoras-de-serro-azul-e-do-agreste-sao-vistoriadas-pela-diretoria-da-compesa/> Acesso em: 10 set. 2023.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005**. 2005. Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/atos-normativos-sistema>. Acesso em: 08 ago. 2022.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Nº 430, de 13 de maio de 2011**. 2011. Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/atos-normativos-sistema>. Acesso em: 08 ago. 2022.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Nº 503, de 14 de dezembro de 2021**. 2021. Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/atos-normativos-sistema>. Acesso em: 08 ago. 2022.

CONERH/BA - CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DA BAHIA. **Resolução Nº 75, de 29 de julho de 2010**. 2010. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=121578>. Acesso em: 25 jul. 2022.

CONSEMA/RS - CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Resolução Nº 419, de 13 de fevereiro de 2020**. Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Sul: Caderno do Governo, p. 274, 21 fev. 2020.

COSTA, A. J. M. da. **Contribuição para o desenvolvimento de um modelo de estrutura tarifária aplicada ao reúso de efluentes tratados de ETE – Estações de Tratamento de Esgotos Domésticos em Maceió – Alagoas**. 2018. 122 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia, Maceió, 2023.

CPRH - AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE. **Instrução normativa Nº 003, de 12 de novembro de 2018**. 2018. Disponível em: <http://www2.cprh.pe.gov.br/publicacoes-e-transparencia/legislacoes-e-instrucoes-normativas/instrucoes-normativas/>. Acesso em: 03 mar. 2022.

CPRH - AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE. **Relatório de monitoramento da qualidade da água de bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco - 2019**. Recife: CPRH, 2020. 200p.

CRUVINEL, K. A. da S.; MACIEL, L. A.; MACIEL, H. A.; SILVA JÚNIOR, K. J.; GONÇALVES, R. F. Reúso de água a partir de efluentes de Estações de Tratamento de Esgotos para irrigação de pastagens na bacia hidrográfica do rio Meia Ponte. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**, v. 9, n. 2, p. 126 – 140, 2021. DOI: <https://doi.org/10.9771/gesta.v9i2.43856>

CTEC/CNRH - Câmara Técnica de Educação, Informação e Ciência e Tecnologia . Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Ministério do Desenvolvimento Regional. **13ª reunião da CTEC – Pauta e Arquivos**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/cnrh/camaras-tecnicas/ctect>. Acesso em: 14 out. 2022.

CUNHA, I. N.; CORTEZ, T. B.; COSTA E SILVA, S. M.; CUNHA, A. H. N. Aspectos regulatórios para reúso de água no Brasil. *In*: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 3., 2012, Goiânia/GO. **Anais [...]**. Goiânia: PUC/Goiás, 2012.

DE PAULA, A. M.; NOGUEIRA, S. F.; SANTIN, R.; GOMES, T. M.; DEON, M. D. I.; MOPNTES, C. R. Reuso de efluentes nos estoques de carbono e nitrogênio no solo e na produtividade da cana sem despalha a fogo. *In*: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 33., 2010, Uberlândia/MG. **Anais [...]**. Uberlândia: ICIAG/UFU.

DEMAJOROVIC, J.; CARUSO, C.; JACOBI, P. R. Cobrança do uso da água e comportamento dos usuários industriais na bacia hidrográfica do Piracicaba, Capivari e Jundiá. **Rev. Adm. Pública**, Rio de Janeiro, v. 49, n. 5, p.:1193-1214, 2015.

DEON, M. D. **Reciclagem de água e nutrientes pela irrigação da cana-de-açúcar com efluente de estação de tratamento de esgoto**. 2010. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

EMBASA - EMPRESA BAIANA DE ÁGUAS E SANEAMENTO. **Estudo de Avaliação das Potencialidades de Reúso de Efluente Sanitário Tratado no Estado da Bahia**. Salvador: Embasa, 2021. 99 p.

EU - EUROPEAN UNION. Regulation (EU) 2020/741 of the European Parliament and of the Council, of 25 may 2020. **Official Journal of the European Union**, L 177, p.32-55, 2020.

FARIA, A. A. **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. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

FLAUSINO, F. R.; GALLARDO, A. L. C. F. Oferta de serviços ecossistêmicos culturais na despoluição de rios urbanos em São Paulo. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v.13, e20200155, 2021.

FREITAS, C. A. S. de. Efluente de esgoto doméstico tratado e reutilizado como fonte hídrica alternativa para a produção de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 7, p. 727–734, 2013.

FUKASAWA, B. N.; MIERZWA, J. C. Modelo de suporte à decisão para implantação de programas de reúso não potável como ferramenta de planejamento. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 3, p. 14604-14641, 2020.

FUNASA - FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual de saneamento**. 5.ed. Brasília: Funasa, 2019. 545 p.

GARCIA, X.; COROMINAS, L.; PARGAMENT, D.; ACUÑA, V. Is river rehabilitation economically viable in water-scarce basins? **Environmental Science & Policy**, v. 61, p.154-164, 2016.

GARCIA, X.; PARGAMENT, D. Reusing wastewater to cope with water scarcity: Economic, social and environmental considerations for decision-making. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 101, p. 154–166, 2015a.

GARCIA, X.; PARGAMENT, D. Rehabilitating rivers and enhancing ecosystem services in a water-scarcity context: the Yarqon River. **International Journal of Water Resources Development**, v. 31, n.1, p. 73-87, 2015b.

GERLAK, A. K.; HOUSE-PETERS, L; VARADY, R. G. ALBRECHT, T.; ZÚÑIGA-TERÁN, A.; GRENADE, R. R.; COOK, C.; SCOTT, C. A. Water security: A review of place-based research. **Environmental Science and Policy**, v. 82, p. 79–89, 2018.

GTI/CRH/PE - GRUPO DE TRABALHO INTERCÂMARA DO CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Relatório Final de atividades do GTI/CRH/PR n° 01/2021**.

HESPANHOL, I.; RODRIGUES, R.; MIERZWA, J. C. Reúso potável direto - estudo de viabilidade técnica em unidade piloto. **Revista DAE**, v. 67, n. 217, p. 103-115, 2019.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Indicadores de desenvolvimento sustentável: Brasil 2015**. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. 351p.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. CONCLA – Comissão Nacional de Classificação. **Classificação nacional de atividades econômicas**. 2023. Disponível em: <https://concla.ibge.gov.br/classificacoes/por-tema/atividades-economicas/classificacao-nacional-de-atividades-economicas.html>. Acesso em: 19 ago. 2023.

IDS - INSTITUTO DEMOCRACIA E SUSTENTABILIDADE. **Recomendações para o aprimoramento da tarifa da Sabesp**. São Paulo/SP: IDS, 2019. 67p.

INBAR, Y. New Standards for Treated Wastewater Reuse in Israel. In: Zaidi, M.K. (eds) **Wastewater Reuse –Risk Assessment, Decision-Making and Environmental Security**. NATO Science for Peace and Security Series. Dordrecht: Springer, 2007.
https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6027-4_28

INPE/INMET/ANA/CENAD. Painel El Niño 2023-2024. **Boletim Mensal n.º. 01, 20 de setembro de 2023**. 2023. Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/uploads/notastecnicas/El-Ni%C3%B1o-2023_boletim-setembro.pdf. Acesso em: 06 out. 2023.

INSTITUTO REÚSO DE ÁGUA. **Correlação entre todos os ODS**. YouTube, 19 de agosto de 2022. 2022. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=5krkqVgQ5hs&t=181s>. Acesso em: 11 jun. 2023.

INTERÁGUAS. Elaboração de Proposta do Plano de Ações para Instituir uma Política de Reúso de Efluente Sanitário Tratado no Brasil. **Produto III** - critérios de qualidade de água (RP01B). Brasília: Ministério das Cidades e IICA, 2017. 574 p.

INTERÁGUAS. Elaboração de Proposta do Plano de Ações para Instituir uma Política de Reúso de Efluente Sanitário Tratado no Brasil. **Produto VI** – plano de ações / política de reúso (RF). Brasília: Ministério das Cidades e IICA, 2018a. 132p.

INTERÁGUAS. Elaboração de Proposta do Plano de Ações para Instituir uma Política de Reúso de Efluente Sanitário Tratado no Brasil, **Produto VII** – Resumo Executivo. Brasília: Ministério das Cidades e IICA, 2018b. 31p.

IWA - INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION. **Wastewater report 2018: the reuse opportunity**. Londres: IWA, 2018. 24 p.

LUTHY, R. G.; SEDLAK, D. L.; PLUMLEE, M.H.; AUSTIN, D.; RESH, V. H. Wastewater-effluent-dominated streams as ecosystem-management tools in a drier climate. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 13, n. 9, p. 477-485, 2015. doi:10.1890/150038

MDR - MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Projeto Interáguas**. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/projeto-interaguas>. Acesso em: 05 fev. 2021.

MEA - MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and human well-being: Current State and Trends**. Washington: Island Press, 2005. Disponível em: <https://www.millenniumassessment.org/en/index.html>. Acesso em: 03 ago. 2022.

MIDR - MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO E DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Consulta pública n.º 3/2022**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/participamaisbrasil/resolucao-do-cnrh-reuso-nao-potavel>. Acesso em: 08 dez. 2022

MONTEIRO, P. B. C. L.; CABRAL, J. J. da S. P. Análise SWOT da gestão de águas subterrâneas no Piauí. **REGA**, Porto Alegre, v. 15, e5, 2018. doi: 10.21168/rega.v15e5

MORAIS, N. W. S.; SANTOS, A. B. Análise dos padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos e de reúso de águas residuárias de diversos estados do Brasil. **Revista DAE**, v. 67, n. 215, p. 40-55, 2019.

MOURA, M. R. F. **Gestão integrada e desafios à segurança dos recursos hídricos: proposta de índice de vulnerabilidade hídrica (IVH) na bacia do rio Capibaribe**. 2020. Tese

(Doutorado em Engenharia Civil.). Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2020.

MOURA, P. G.; ARANHA, F. N.; HANDAM, N. B.; MARTIN, L. E.; SALLES, M. J.; CARVAJAL, E.; JARDIM, R.; SOTERO-MARTINS, A. Água de reúso: uma alternativa sustentável para o Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 25, n. 6, p. 791-808, 2020.

OBRACZKA, M.; SILVA, D. R.; CAMPOS, A. S.; MURICY, B. Reuso de efluentes de tratamento secundário como alternativa de fonte de abastecimento de água no município do Rio de Janeiro. **Sistemas & Gestão**, v. 14, p. 291-309, 2019.

OECD - ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Implementing the OECD Principles on Water Governance: Indicator Framework and Evolving Practices**, OECD Studies on Water. Paris: OECD Publishing, 2018. doi: <https://doi.org/10.1787/9789264292659-en>.

ONU - Nações Unidas Brasil. **Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil** – figura. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 29 jun. 2023.

OTTONI, B. M. P.; COUCEIRO, S. R. M.; CASTRO, V. L. L.; PEREIRA, R. A Outorga do Direito de Uso dos Recursos Hídricos no Rio Grande do Norte. **HOLOS**, v. 1, p. 57-71, 2011.

PERNAMBUCO. **Lei Nº 6.307, de 29 de julho de 1971**. 1971. Disponível em: <https://legis.alepe.pe.gov.br/>. Acesso em: 26 set. 2022.

PERNAMBUCO. Secretaria de Planejamento – SEPLAN. Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco - CONDEPE/FIDEM. **Bacia Hidrográfica Do Rio Ipojuca: Série Bacias Hidrográficas de Pernambuco Nº 1**. Recife: CONDEPE/FIDEM, 2005a. 63 p.

PERNAMBUCO. **Lei nº 12.984, de 30 de dezembro de 2005**. 2005b. Disponível em: <https://legis.alepe.pe.gov.br/texto.aspx?tiponorma=1&numero=12984&complemento=0&ano=2005&tipo=&url=>. Acesso em: 22 jul. 2022.

PERNAMBUCO. **Lei nº 14.090, de 17 de junho de 2010**. 2010. Disponível em: <https://legis.alepe.pe.gov.br/texto.aspx?tiponorma=1&numero=14090&complemento=0&ano=2010&tipo=&url=>. Acesso em: 10 jul. 2022.

PERNAMBUCO. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. **Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco: síntese**. Recife: SECTMA, 1998. 212 p.

PERNAMBUCO. Secretaria de Infraestrutura e Recursos Hídricos. **Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco: tomo I: diagnósticos**. Recife: SEINFRA, 2022. 367 p.

PERNAMBUCO. **Lei nº 18.139, de 18 de janeiro de 2023**. 2023. Disponível em: <https://legis.alepe.pe.gov.br/texto.aspx?tiponorma=1&numero=18139&complemento=0&ano=2023&tipo=&url=>. Acesso em: 21 jun. 2023.

PHADERMROD, B.; CROWDER, R. M.; WILLS, G. B. Importance-Performance Analysis based SWOT analysis. **International Journal of Information Management**, v. 44, 2019, p. 194-203, 2019.

PINHEIRO, R. B.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SILVA, S. R.; MEDEIROS, Y. D. P.; AURELINO, J. T. Outorga para Lançamento de Efluentes — Uma Metodologia de Apoio à Gestão de Recursos Hídricos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n.4, p. 55-65, 2013.

PINTO FILHO, J. L. de O.; CUNHA, L. Gestão dos recursos hídricos: diretrizes de aperfeiçoamento para o Conselho da Região Hidrográfica do Centro de Portugal e para o Comitê da Bacia Hidrográfica do rio Apodi-Mossoró/RN no Brasil. **Agua y Territorio / Water and Landscape**, n. 20, p. e5607, 2022. doi: 10.17561/at.20.5607.

REINHART, C. M. In times of scarcity, California's best new source of water? Reuse. 2023. Disponível em: <https://andthewest.stanford.edu/2023/in-times-of-scarcity-californias-best-new-source-of-water-reuse/>. Acesso em: 8 jul. 2023.

RITTER, W. State Regulations and Guidelines for Wastewater Reuse for Irrigation in the U.S. **Water**, v. 13, 2818, 2021.

SABESP. **Institucional**. 2022. Disponível em: <https://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=569>. Acesso em: 01 set. 2022.

SANASA. **Serviços**. 2022. Disponível em: <https://www.sanasa.com.br/conteudo/servicos.aspx?f=A>. Acesso em: 01 set. 2022.

SANTOS, A. S. P.; GONÇALVES, R. F.; MELO, M. C.; LIMA, M. A. M.; ARAÚJO, B. M. Uma análise crítica sobre os padrões de qualidade de água de uso e de reúso no Brasil. **Revista SUSTINERE**, v.8, n.2, p. 437-462, 2020.

SANTOS, A. S. P.; LIMA, M. A. M. Nota Técnica 2 - Aspectos legais relacionados ao reúso de águas como diretriz de institucionalização da prática no Brasil. **Cadernos Técnicos Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 2, n. 3, p. 15-27, 2022.

SANTOS, A. S. P.; LIMA, M. A. M.; SILVA JÚNIOR, L. C. S.; AVELAR, P. S.; ARAUJO, B. M.; GONÇALVES, R. F.; VIEIRA, J. M. P. Proposição de uma metodologia estruturada de avaliação do potencial regional de reúso de água: 01 – terminologia e conceitos de base. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v. 9, n. 2, p. 1-17, 2021.

SANTOS, A. S. P.; PACHAWO, V.; MELO, M.C.; VIEIRA, J. M. P. Progress on legal and practical aspects on water reuse with emphasis on drinking water – an overview. **Water Supply**, v. 22, n. 3, 2022. doi: 10.2166/ws.2021.412

SANTOS, F. A. M. **Programa Piloto de Pagamento por Serviços Ambientais com foco em recursos hídricos do Comitê e Integração da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul: impacto, dimensões e perspectivas**. 2020. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais e Florestais), Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2020.

SANTOS, J. S.; UTSUMI, A. G.; SANTOS, C. E. D. Potencial de Utilização de Água de Reúso em Polo Nacional de Agricultura irrigada. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 03, 2023, p. 1175-1185.

SANTOS, A. S. P.; VIEIRA, J. M. P. Reúso de água para o desenvolvimento sustentável: Aspectos de regulamentação no Brasil e em Portugal. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v. 8, p. 50-68, 2020.

SÃO PAULO. **Lei nº 16.174, de 22 de abril de 2015**. Diário Oficial [do] Município de São Paulo, São Paulo, SP, 23 abr. 2015.

SES/SIMA/SP -SECRETARIAS DE ESTADO DA SAÚDE E DE INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Resolução Conjunta Nº 01, de 13 de fevereiro de 2020**. Diário Oficial do Estado de São Paulo: seção I, p. 47-48, 14 fev. 2020.

SES/SMA/SSRH - SECRETARIA DE ESTADO DA SAÚDE, DO MEIO AMBIENTE E DE SANEAMENTO E RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Resolução Conjunta nº 01, de 28 de junho de 2017**. Diário Oficial do Estado de São Paulo: seção I, p. 41-42, 29 jun. 2017.

SIEGE, S. M. **Let There Be Water: Israel's solution for a water-starved world**. New York City: St. Martin's Publishing Group, 2015.

SILVA JUNIOR, L. C. S.; LIMA, M. A. M.; AVELAR, P. S.; SANTOS, A. S. P.; SOARES, S. R. A.; GONÇALVES, R. F.; VIEIRA, J. M. P. Proposição de uma metodologia estruturada de avaliação do potencial regional de reúso de água: 03 – metodologia de potencialidades (demandas e ofertas) e análise espacial. **Gesta**, v. 9, n. 2, p. 36 - 54, 2021.

SILVA, B. L.; XAVIER, M. G. P.; SOBRAL, M. F. F. Jeans processing and water reuse systems in a brazilian semiarid region. **RGSA**, v. 16, n. 12, p. 1-13, e03027, 2022.

SIRH/PE - SISTEMA DE INFORMAÇÕES DE RECURSOS HÍDRICOS DE PERNAMBUCO. Disponível em: https://sirh.apac.pe.gov.br/outorga/segout_Login/. Acesso em: 15 nov. 2023.

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto** - ano de referência 2020. Brasília: SNS/MDR, 2021.

SOARES, S. R. A.; SANTOS, A. S. P. Priorização da água de reúso em bacias hidrográficas com base no planejamento de recursos hídricos: proposta metodológica e exemplos das bacias do rio Grande e do Piancó-Piranhas-Açu. **Gesta**, v. 9, n. 2, p. 111-125, 2021.

SOBRAL, M. do. C. M. Estratégia de gestão dos recursos hídricos no semiárido brasileiro. **Revista Eletrônica do Prodepa**, Fortaleza, v. 7, n.2, p. 76-82, 2011.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos** - vol. 1: princípios do tratamento de biológico de águas residuárias. 4 ed. Belo Horizonte: UFMG, 2011.

SRH/PE - SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS DE PERNAMBUCO. **Plano Hidroambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Ipojuca**. Tomo IV: Resumo Executivo / Projetos Técnicos. Recife, 2010. 92p.

SSRH/SP - SECRETARIA DE ESTADO DE SANEAMENTO E RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Instrução técnica DPO n° 13, de 30 de maio de 2017.** 2017. Disponível em: <http://www.daee.sp.gov.br/site/instrucoestecnicas/>. Acesso em: 03 jun. 2022.

SUDENE - SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. **Resolução N°150, de 13 de dezembro de 2021.** 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/sudene/pt-br/aceso-a-informacao/legislacao/hierarquia/resolucoes-condel/resolucao-condel-sudene-no-150-de-13-de-dezembro-de-2021>. Acesso em: 20 jun. 2022.

TUCCI, C. E. M.; CHAGAS, M. de F. Segurança hídrica: conceitos e estratégia para Minas Gerais. **REGA**, Porto Alegre, v. 14, n. 12, 2017.

UN - UNITED NATIONS. **Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development.** 2015. Disponível em: <https://sdgs.un.org/2030agenda>. Acesso em: 13 out 2022.

UNESCO - UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION. World Water Assessment Programme. **The United Nations World Water Development Report 2017: wastewater the untapped resource.** Paris: UNESCO, 2017.

UNESCO - UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION. **Water Security and the Sustainable Development Goals (Series 1).** Global Water Security Issues (GWSI) Series. Paris: UNESCO, 2019.

UNESCO - UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION. World Water Assessment Programme. **The United Nations World Water Development Report 2021: Valuing Water.** Paris: UNESCO, 2021. 187 p.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Guidelines for Water Reuse.** Washington: USEPA, 2012.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater.** World Health Organization. Geneva: WHO, 2006.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Potable Reuse: Guidance for Producing Safe Drinking-Water.** Geneva: WHO, 2017. 151 p.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Progress on safe treatment and use of wastewater: piloting the monitoring methodology and initial findings for SDG indicator 6.3.1.** Geneva: World Health Organization and UNHABITAT, 2018.

WOLFAND, J. M.; TANIGUCHI-QUAN, K. T.; ABDI, R.; GALLO, E.; IRVING, K.; PHILIPPUS, D.; ROGERS, J. R.; STEIN E. D.; HOGUE, T. S. Balancing water reuse and ecological support goals in an effluent dominated river. **Journal of Hydrology X**, v. 15, 2022.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos.** 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.