



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SEMIÁRIDO
UNIDADE ACADÊMICA DE TECNOLOGIA DO DESENVOLVIMENTO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE
RECURSOS HÍDRICOS**

LIBIANE MARINHO BERNARDINO

**POTENCIAL DE REÚSO DE EFLUENTES TRATADOS PARA IRRIGAÇÃO
NA AGRICULTURA PERIURBANA NO SEMIÁRIDO PARAIBANO**

**SUMÉ - PB
2022**

LIBIANE MARINHO BERNARDINO

**POTENCIAL DE REÚSO DE EFLUENTES TRATADOS PARA IRRIGAÇÃO
NA AGRICULTURA PERIURBANA NO SEMIÁRIDO PARAIBANO**

Dissertação apresentada Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, no Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Mestra em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

Área de Concentração: Regulação e Governança de Recursos Hídricos.

Linha de Pesquisa: Segurança hídrica e usos Múltiplos das Águas.

Orientador: Professor Dr. Rener Luciano de Souza Ferraz.

Coorientadora: Professora Dra. Vera Lúcia Antunes de Lima.

SUMÉ - PB

2022



B523p Bernardino, Libiane Marinho.
Potencial de reúso de efluentes tratados para irrigação na agricultura periurbana no Semiárido Paraibano. / Libiane Marinho Bernardino. - 2022.

93 f.

Orientador: Professor Dr. Rener Luciano de Souza Ferraz; Coorientadora: Professora Dra. Vera Lúcia Antunes de Lima.

Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido; Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - PROFÁGUA.

1. Agricultura periurbana. 2. Irrigação com água de reúso. 3. Reúso de água - agricultura. 4. Esgoto tratado. 5. Efluentes na agricultura. 6. Resiliência hídrica. 7. Sustentabilidade ambiental. 8. Resíduos líquidos tratados - agricultura. 9. Companhia de Água e Esgotos da Paraíba. I. Ferraz, Rener Luciano de Souza. II. Lima, Vera Lúcia Antunes de. III. Título.

CDU: 628.32:631.67(043.2)

LIBIANE MARINHO BERNARDINO

**POTENCIAL DE REÚSO DE EFLUENTES TRATADOS PARA IRRIGAÇÃO
NA AGRICULTURA PERIURBANA NO SEMIÁRIDO PARAIBANO**

Dissertação apresentada Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, no Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Mestra em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

BANCA EXAMINADORA:

**Professor Dr. Rener Luciano de Souza Ferraz
Orientador – UATEC/CDSA/UFCG**

**Professora Dra. Vera Lúcia Antunes de Lima.
Examinador I – CTRN/UFCG**

**Professor Dr. José Dantas Neto.
Examinador Externo – CTRN/UFCG**

**Professor Dr. José Irivaldo Alves de Oliveira Silva.
Examinador Interno – UAGESP/CDSA/UFCG**

Trabalho aprovado em: 25 de julho de 2022.

SUMÉ - PB

Dedico este trabalho aos meus pais, que com esforço e dedicação me deram o melhor dessa vida.

AGRADECIMENTOS

Ao autor da minha vida, Criador do Universo, de onde provém minha sabedoria e perseverança para chegar até aqui. Obrigada meu Deus por cuidar de mim.

Aos meus pais Maria Manolita e José Bernardino pela educação, sustento e apoio em todas as minhas decisões, amo vocês.

Ao meu querido esposo Walderee que com sua paciência e oração ficou ao meu lado, colaborando com tudo que estava ao seu alcance.

As minhas irmãs, meu irmão, meus sobrinhos e cunhados, pelo apoio familiar fundamental e indispensável em todos os momentos deste trabalho.

A CAGEPA pela oportunidade em me permitir cursar este mestrado e apoiar a pesquisa fornecendo todos os dados necessários. Agradeço em particular aos amigos Márcio Cordeiro e a Dra. Ana Carolina que não mediram esforços em me ajudar com seus conhecimentos técnicos e operacionais a frente do setor de qualidade de água da empresa.

Ao meu orientador Dr. Rener Ferraz, um grande homem! Não há palavras para agradecer tudo que ele fez por mim, que seus esforços e dedicações sejam honrados com muito sucesso e grandes oportunidades, você merece!

Ao professor Dr. Hugo no qual agradeço a todos os docentes deste curso, e aos colegas e amigos que encontramos neste mestrado, em especial as minhas amigas Emanuelle e Karina que dividiram tantas coisas boas comigo, gratidão a todos vocês.

Aos professores Vera Antunes, Salomão Medeiros e George Lambais pela importante colaboração nesta pesquisa.

Ao apoio para realização deste trabalho por meio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Ao Programa de Pós-Graduação em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - Profágua, em nível de Mestrado, na Categoria Profissional, Projeto CAPES/ANA AUXPE Nº. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

Louvado Sejas, meu Senhor, pela irmã água, que
é mui útil preciosa e castra.

(São Francisco de Assis)

RESUMO

A água é um recurso finito que se encontra escasso, o que justifica a busca por gestão e inovação de práticas que a preserve. O objetivo da pesquisa é quantificar o potencial de reúso de efluentes tratados pelas ETEs da CAGEPA para irrigação na agricultura periurbana no Semiárido Paraibano. Foram levantados dados das 17 Estações de Tratamento de Esgotos (ETE), localizadas no Semiárido Paraibano, e operadas pela Companhia de Água e Esgotos do Estado da Paraíba (CAGEPA), durante o período de janeiro a dezembro de 2019. Foram analisados os seguintes parâmetros físico-químicos e bacteriológicos: Potencial Hidrogeniônico (pH), Condutividade Elétrica (CE), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sólidos Totais (ST), Oxigênio Dissolvido (OD), Nitrogênio Amoniacal, Fósforo Total, e Coliformes Termotolerantes. Os dados foram submetidos à análise descritiva e expresso em valores mínimos, máximos e médios. O potencial de reúso foi avaliado com base na qualidade dos efluentes tratados para uma irrigação agrícola conforme as recomendações estabelecidas pelo Programa de Pesquisas em Saneamento Básico - PROSAB. Os indicadores variaram em cada ETE em função do mês de coleta, onde foi possível identificar efluentes com qualidade para irrigação irrestrita, embora a maioria apresentou qualidade para irrigação restrita, com a necessidade de tratamento complementar em alguns meses para determinados cultivos, por exemplo, para as culturas de tomate e hortaliças. Quanto ao volume de efluentes tratados gerados nas ETEs, há potencial de reúso na irrigação periurbana no Semiárido Paraibano, sobretudo considerando lavouras permanentes onde os efluentes tratados podem beneficiar uma área de 2.387,83 ha para uma demanda de irrigação de $12.000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, o que demonstra ser um recurso sustentável e que precisa ser regulamentado no Brasil.

Palavras-chave: Resiliência hídrica; Sustentabilidade ambiental; Resíduos Líquidos.

ABSTRACT

BERNARDINO, Libiane Marinho. **Reuse potential of treated effluents for periurban irrigation in the semiarid region of Paraíba - Brazil.** 2022. 94f. (Master Thesis) Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, PROFÁGUA, Universidade Federal de Campina Grande - Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido – Sumé - Paraíba - Brazil, 2022.

Water is a finite and scarce resource, which justifies the search for management and innovation of practices that preserve it. The objective of this research is to quantify the potential for reuse of effluents treated by CAGEPA wastewater treatment plants for irrigation in periurban agriculture in the semiarid region of Paraíba. Data were collected from the 17 Sewage Treatment Plants (ETE), located in the semiarid Paraíba, and operated by the Water and Sewage Company of the State of Paraíba (CAGEPA), during the period from January to December 2019. The following physicochemical and bacteriological parameters were analyzed: Hydrogen Potential (pH), Electrical Conductivity (EC), Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Total Solids (TSS), Dissolved Oxygen (DO), Ammoniacal Nitrogen, Total Phosphorus, and Thermotolerant Coliforms. The data were submitted to descriptive analysis and expressed as minimum, maximum and average values. The potential for reuse was evaluated based on the quality of treated effluents for agricultural irrigation according to the recommendations established by the Basic Sanitation Research Program - PROSAB. The indicators varied in each ETE depending on the month of collection, where it was possible to identify effluents with quality for unrestricted irrigation, although most presented quality for restricted irrigation, with the need for complementary treatment in some months for certain crops, for example, for tomato and vegetable crops. As for the volume of treated effluents generated in the ETES, there is potential for reuse in periurban irrigation in the semiarid region of Paraíba, especially considering permanent crops where the treated effluents can benefit an area of 2.387,83 ha for an irrigation demand of 12.000 m³ ha⁻¹ year⁻¹, which demonstrates to be a sustainable resource that needs to be regulated in Brazil.

Keywords: Water Resilience. Environmental sustainability. Liquid Waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Países com maior uso direto de água residual municipal tratada em 2018	23
Figura 2 – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável	28
Figura 3 - Mapa panorama nacional da irrigação no recorte municipal (2019) .	32
Figura 4 - Mapa do percentual da população urbana atendidas pela rede de água e coleta de esgoto	40
Figura 5 - Esquema dos principais processos de tratamento de esgotos	43
Figura 6 - Número de ETEs por Região do Brasil	46
Figura 7 - Mapa da Média de Precipitação Anual acumulada no Estado da Paraíba (mm).....	53
Figura 8 - Mapa do Estado da Paraíba com a demarcação da área de estudo .	54
Figura 9 - Mapa Semiárido Paraibano de ligações ativas de água e esgoto.....	56
Figura 10 - Mapa dos regionais de atuação da CAGEPA.....	57

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação do reúso da água segundo a ABES.....	20
Quadro 2 - Catalogação de 10 trabalhos publicados sobre o reúso de água no Brasil	26
Quadro 3 - Metas e indicadores do ODS 6	29
Quadro 4 - Cases de sucesso de cultivos com efluentes tratados	33
Quadro 5 - Diretrizes da usepa para o uso agrícola de esgotos sanitários	35
Quadro 6 - Frações dos resíduos e potenciais perigos para a saúde	37
Quadro 7 - Níveis de atendimento com água e esgotos dos municípios com prestadores de serviços participantes do SNIS em 2019, segundo macrorregião geográfica e Brasil	39
Quadro 8 - Operações, processos e sistemas de tratamento de esgoto	44
Quadro 9 - Projetos de lei no Brasil voltados a prática de reúso de água	48
Quadro 10 - Diretrizes do PROSAB para o uso de esgotos sanitários na agricultura, urbano e na piscicultura	50
Quadro 11 - Relação e descrição das ETEs	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Sistemas de lagoas e eficiência típica de remoção	47
Tabela 2 - Dados de ligação e volume faturado de água e esgoto no ano de 2019.	58
Tabela 3 - Dados sobre coleta e tratamento de esgotos da área de estudo	61
Tabela 4 - Valores mínimos, máximos e médios dos indicadores físico-químicos e bacteriológicos analisados.	64
Tabela 5 - Potencial de reúso para irrigação em cidades paraibanas com ETE da CAGEPA.....	71

LISTA DE ABREVIATURAS

ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

AUP – Agricultura Urbana e Periurbana

CAGEPA – Companhia de Água e Esgotos da Paraíba

CEBDS – Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos

Coema – Conselho Estadual de Meio Ambiente do Estado do Ceará

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

DATASUS – Departamento de Informática do SUS

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

FUNREÁGUA – Fundo Nacional de Reutilização de Água

GECQ – Gerência de Controle e Qualidade da CAGEPA

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDH – Índice de Desenvolvimento Humano

IICA – Instituto Interamericano de Cooperação para Agricultura

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

OMS – Organização Mundial da Saúde

ONU – Organização das Nações Unidas

pH – Potencial Hidrogênionico

PL – Projeto Lei

PROSAB – Programa de Pesquisas em Saneamento Básico

SAAE – Serviços Autônomos de Água e Esgoto

SES – Secretaria Estadual de Saúde

SINGREH – Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

SMA – Secretaria de Meio Ambiente

SNIRH – Sistema Nacional de Informação sobre Recursos Hídricos

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SSRH – Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos

STS – Sólidos Totais Suspensos

SUS – Sistema Único de Saúde

UASB – Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)

USEPA – Agência de proteção Ambiental dos Estados Unidos (United States Environmental Protection Agency)

USP – Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 OBJETIVOS	18
2.1 GERAL	18
2.2 ESPECÍFICOS	18
3 REVISÃO DE LITERATURA	19
3.1 REÚSO DE ÁGUA	19
3.1.1 Conceito	19
3.1.2 Classificação	19
3.1.3 Descrição	21
3.2 REÚSO DE ÁGUA E SUAS APLICAÇÕES	22
3.2.1 Projetos de reúso de efluentes no mundo	22
3.2.2 Reúso na perspectiva da agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável	27
3.3 REÚSO DA ÁGUA NO SETOR AGRÍCOLA	31
3.3.1 Reúso na agricultura urbana e periurbana	34
3.3.2 Riscos e controle do reúso de água	36
3.4 APONTAMENTOS SOBRE O SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL	38
3.4.1 Estações de tratamento de esgoto domésticos	41
3.5 ASPECTOS LEGAIS, NORMATIVOS E INSTITUCIONAIS DO REÚSO DE ÁGUA NO BRASIL	47
4 METODOLOGIA	53
4.1 ÁREA E TIPO DE ESTUDO	53

4.1.1 Características do Saneamento da área de estudo.....	55
4.1.2 A CAGEPA e as ETES do Semiárido Paraibano.....	56
4.2 ARRANJOS DO SISTEMA E CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS E DE TRATAMENTO.....	59
5 RESULTADOS.....	63
5.1 LEVANTAMENTO DE DADOS DAS ETES E ANÁLISE DOS PARÂMETROS...63	
5.1.1 pH	64
5.1.2 Condutividade Elétrica.....	64
5.1.3 DBO _{5,20}	65
5.1.4 DQO.....	67
5.1.5 Oxigênio Dissolvido	67
5.1.6 Nitrogênio Amoniacal	68
5.1.7 Fósforo Total	68
5.1.8 Sólidos Totais	69
5.1.9 Coliformes Termotolerantes	69
5.2 ESCOLHA DOS SISTEMAS E AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE REÚSO	70
6 CONCLUSÃO	73
REFERÊNCIAS.....	74
ANEXOS	87

1 INTRODUÇÃO

O Semiárido Paraibano ocupa uma área que corresponde a 90,91% de todo território do Estado; compreende 194 municípios¹, o que reuni mais da metade da população, e é coberto por 90% do Bioma Caatinga, onde encontra-se expressiva diversidade de vegetação, solo e espécies típicas dessa região, além de atividades econômicas voltadas para fins agrossilvipastoris e industriais (COELHO JUNIOR *et al*, 2020).

Os critérios para a delimitação do Semiárido foram aprovados pelas Resoluções do Conselho Deliberativo da Sudene que incluem precipitação anual igual ou inferior a 800mm, índice de Aridez de Thornthwaite igual ou inferior a 0,50 e percentual diário de déficit hídrico igual ou superior a 60%, considerando todos os dias do ano (SUDENE, 2017). Os municípios que compõem o Semiárido Paraibano apresentam elevados déficits de precipitações pluviométricas, com isso, fatores socioeconômicos e ambientais nessa região são diretamente afetados pela escassez hídrica, uma vez que grande parte das populações que estão concentradas nas áreas rurais e periurbanas, dependem dos recursos da biodiversidade local para a sua sobrevivência (MEDEIROS e BRITO, 2017).

De acordo com Brasil Neto *et al* (2021), os problemas de secas e escassez hídricas que atingem o Semiárido, tem relação com falta de gestão e implantação de políticas públicas que possibilitem o acesso a água em quantidade e qualidade para todos, enquanto direito essencial.

Na busca por estratégias que viabilisem alternativas para o enfrentamento da escassez hídrica, países como Israel, Japão e Austrália tem obtido bons resultados com a reutilização de água (GRECO, 2020). Uma prática antiga, introduzida no ciclo moderno da água, e utilizada de formas distintas por muitas famílias, seja no reaproveitamento das lavagens em descargas, ou até em irrigações de pequenos quintais produtivos, podendo expandir seu potencial de aplicações de acordo com o tratamento adequado (MOREIRA, 2020).

Dentre as aplicações potenciais, o reúso de água na agricultura irrigada, que já é uma prática crescente no Oriente Médio, Sul dos Estados Unidos, Austrália e

¹ Dados da SUDENE antes da Resolução 150/2021.

outros países, promete ser um fator importante na gestão das águas, principalmente se reutilizados efluentes tratados, que é uma demanda contínua, diretamente proporcional ao aumento populacional, e que pode possibilitar o desenvolvimento de atividades agrícolas de subsistência durante todo o ano, sobretudo em regiões onde o desenvolvimento sustentável e a geração de trabalho e renda tem a água como principal fator limitante (LIMA, 2018).

O setor agrícola é o maior usuário de água da América Latina e Caribe, representando, em média 73% da captação (FAO-AQUASTAT, 2016) e segundo Pena (2020) a crise hídrica compromete a segurança alimentar, e desencadeia problemas socioeconômicos de graves impactos. Havendo escassez hídrica, o uso prioritário da água é destinado apenas para o consumo humano e a dessedentação animal conforme estabelece a Lei nº 9.4933/97, o que causaria impactos irreversíveis na vida da sociedade. Por isso, para assegurar os múltiplos usos das águas é indispensável a preservação dos recursos hídricos (SOSINSKI, 2010).

Neste contexto, o reúso de efluentes tratados como suplemento à irrigação agrícola se apresenta como uma prática promissora na redução dos conflitos sobre o uso da água (CRUVINEL, 2021), além da segurança hídrica que pode proporcionar aos produtores de lavouras permanentes localizadas em áreas periurbanas, as quais estão mais próximas das Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs), reduzindo custos e perdas no transporte do produto, ao mesmo tempo em que, reduzirá a captação nos mananciais preservando os cursos de água e aumentando a disponibilidade hídrica para usos mais nobres (RUSSOMANO, 2013).

Assim, o presente estudo traz uma avaliação do potencial de reúso dos 14 municípios do Semiárido Paraibano que possuem ETEs operadas pela Companhia de Água e Esgotos do Estado da Paraíba (CAGEPA), onde foram analisados as qualidades físico-química e bacteriológica dos efluentes para uma irrigação agrícola, com o propósito de uma prática promissora na redução das pressões sobre o uso das águas nos períodos de estiagem.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

- Quantificar o potencial de reúso de efluentes tratados nas Estações de Tratamento de Esgotos da CAGEPA para irrigação na agricultura periurbana no Semiárido Paraibano.

2.2 ESPECÍFICOS

- Levantar informações bibliométricas para estimativa do potencial de reúso de efluentes tratados para irrigação na agricultura periurbana;
- Analisar informações da qualidade físico-química, sanitária e das vazões de operação dos efluentes das ETEs operadas pela CAGEPA no semiárido Paraibano;
- Identificar as ETEs em que os efluentes tratados atendem aos padrões recomendados pela PROSAB para o reúso na agricultura irrigada;
- Ordenar as ETEs que apresentam maior potencial de reúso para a irrigação na agricultura periurbana.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 REÚSO DE ÁGUA

3.1.1 Conceito

O conceito de reúso de água está diretamente relacionado ao seu ciclo natural, capaz de sofrer transformações e ser utilizada várias vezes para diversos fins. O Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS, 2019) define reúso de água como “o uso de efluentes tratados para fins benéficos, tais como irrigação, uso industrial e fins urbanos não potáveis”.

O reúso da água é um processo sofrido pelo efluente que prescinde ou não de tratamento a depender da finalidade que a água será utilizada novamente (CABRAL, 2021). O Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) através da Resolução de nº 54 de 28 de novembro de 2005, especificamente no artigo 2º, traz as seguintes definições:

I – Água residuária: esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratadas ou não;

II – Reúso de água: utilização de água residuária;

III – Água de reúso: água residuária, que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas;

IV – Reúso direto de água: uso planejado de água de reúso, conduzida ao local de utilização, sem lançamento ou diluição prévia em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos.

3.1.2 Classificação

O reúso de água pode ocorrer de forma direta ou indireta, através de ações planejadas ou não. A OMS, em 1973, classificou o reúso de água como indireto, direto e reciclagem interna (BEM FILHO, s.d.; IWAKI, 2015):

- Reúso indireto: ocorre quando a água já usada, uma ou mais vezes para uso doméstico e industrial, é descarregada nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizada novamente a jusante, de forma diluída;

- Reúso direto: é o uso planejado e deliberado de esgotos tratados para certas finalidades como irrigação, uso industrial, recarga de aquífero e água potável;
- Reciclagem interna: é o reúso da água internamente às instalações industriais, tendo como objetivo a economia de água e o controle de poluição.

Ao longo dos anos diversas classificações para o reúso de água foram surgindo de acordo com as respectivas finalidades, de forma planejada ou não. No entanto, a classificação adotada pela Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES) tem sido utilizada nas pesquisas, a qual divide o reúso de água em duas categorias: potável e não potável, descritas no Quadro 1.

Quadro 1 - Classificação do reúso da água segundo a ABES

CATEGORIA	SUBCATEGORIA
Reúso Potável	Direto – quando o esgoto recuperado, por meio de tratamento avançado, é diretamente reutilizado no sistema de água potável.
	Indireto – caso em que o esgoto, após tratamento, é disposto na coleção de águas superficiais ou subterrâneas para diluição, purificação natural e subsequente captação, tratamento e finalmente utilizado como água potável.
Reúso Não Potável	Para fins agrícolas – embora, quando se pratica essa modalidade de reúso, haja, como subproduto, recarga do lençol subterrâneo, o objetivo dela é a irrigação de plantas alimentícias, tais como árvores frutíferas, cereais, etc; e plantas não alimentícias, tais como pastagens e forragens, além de ser aplicável para dessedentação de animais.
	Para fins industriais – abrange os usos industriais de refrigeração, águas de processo, para utilização em caldeiras, etc.
	Para fins recreativos – classificação reservada à irrigação de plantas ornamentais, campos de esportes, parques e também para enchimento de lagos ornamentais, etc.
	Para fins domésticos – são considerados aqui os casos de reúso de água para a rega de jardins, para descargas sanitárias e utilização desse tipo de água em grandes edifícios.

Fonte: IWAKI, 2015

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), por sua vez, ainda classifica o reúso de água como direto ou indireto, decorrente de ações planejadas ou não:

- Reúso indireto não planejado da água: ocorre quando a água, utilizada em alguma atividade humana, é descarregada no meio ambiente e novamente utilizada a jusante, em sua forma diluída, de maneira não intencional e não controlada. Em curso até o ponto de captação para o novo usuário, a água está sujeita às ações naturais do ciclo hidrológico (diluição, autodepuração).
- Reúso direto planejado da água: ocorre quando os efluentes, após tratados, são encaminhados diretamente de seu ponto de descarga até o local do reuso, não sendo descarregados no meio ambiente.
- Reúso indireto planejado da água: ocorre quando os efluentes, depois de tratados, são descarregados nos corpos de águas superficiais ou subterrâneas, para serem utilizadas a jusante, de maneira controlada, no atendimento de algum uso benéfico.

3.1.3 Descrição

O reúso de água é fundamental na gestão dos recursos hídricos, além de promover o aumento da oferta e uso sustentado da água para diversos fins, essa prática proporciona a proteção da saúde pública e a manutenção da integridade dos ecossistemas, especificamente a preservação do lençol freático, que é impactado pela contaminação oriunda de despejos não tratados ou mau manuseados.

Em estudos técnico-científicos são reportadas diversas vantagens da reutilização de águas residuárias tratadas, tais como: reposição dos aquíferos, maior disponibilidade hídrica para fins urbanos, setor agrícola, industrial e na aquicultura, proporcionando redução de custos e contribuindo para o desenvolvimento sustentável (MOREIRA, 2020). Em contrapartida, existem desvantagens dessa prática de reúso, notadamente, quando não são tomadas medidas sanitárias e não é realizado manuseio correto para determinadas atividades. Nesse contexto, pode-se

ênfatizar os riscos à saúde e ao bem estar, aumento da contaminação do solo e desequilíbrio da biota dos ecossistemas.

3.2 O REÚSO DE ÁGUA E SUAS APLICAÇÕES

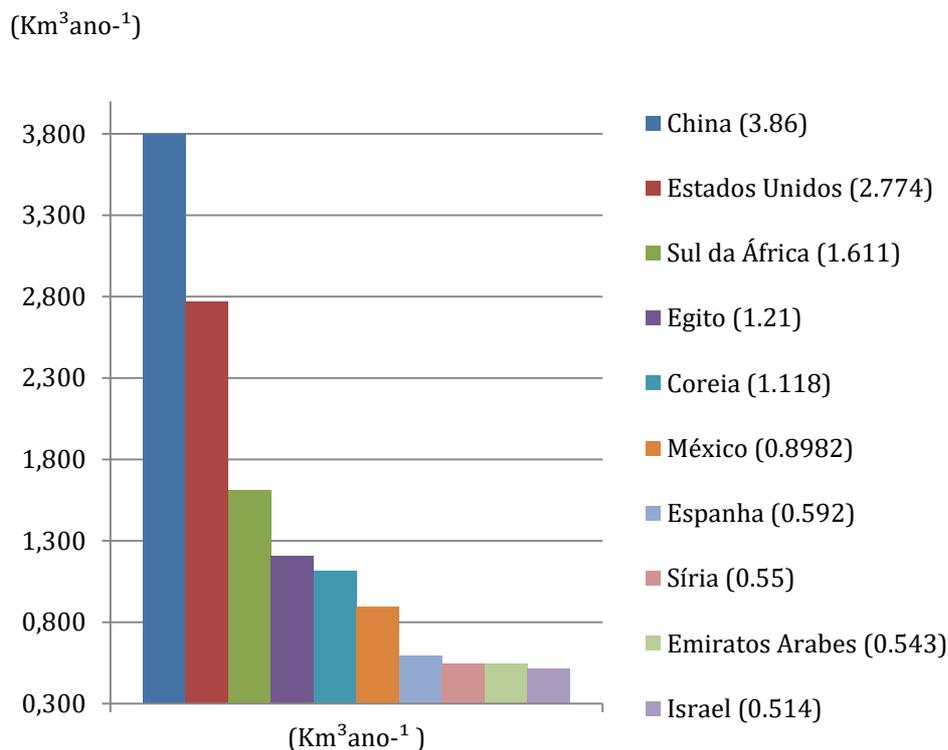
3.2.1 Projetos de reúso de efluentes no mundo

O reúso de água é uma prática antiga, e usada indiretamente, sem tratamento específico, por muitas famílias que sofrem com o desabastecimento de água. São reúsos para descargas sanitárias, limpezas de pisos e até irrigações de plantas de cultivos domésticos.

A reutilização de águas residuárias tem sido fundamental no abastecimento sustentável de muitos países, com avanços no tratamento, é possível fazer uso para consumo humano, a exemplo da cidade do Texas, que desde 2014 introduz a água purificada em seus reservatórios de água potável (Letras Ambientais, 2018).

Em relação a reutilização de efluentes tratados, sabe-se que países como a Namíbia, Israel, Jordânia, México, China e o estado da Califórnia nos Estados Unidos, vêm ampliando essa técnica para os diversos fins. Tais países sofrem com frequências secas e conseguem fazer do reúso uma estratégia para enfrentar a crise hídrica (MOREIRA, 2020).

De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura, houve um avanço significativo na produção e reutilização de efluentes tratados nos últimos anos. Na Figura 1 estão dispostos os 10 países com maior uso direto de água residual municipal tratada. (FAO, 2022).

Figura 1 - Países com maior uso direto de água residual municipal tratada em 2018

Fonte: Adaptado FAO, 2022

É imperioso destacar que a prática de reúso nesses países não está relacionada apenas a escassez hídrica, mas a preservação das reservas hídricas uma vez que um terço dos rios do planeta está poluído, com os piores casos registrados na África, Ásia e América Latina. O estudo da ONU relata que mais de 80% das águas residuárias em todo mundo é jogada no meio ambiente sem tratamento, poluindo solos, rios e oceanos (MAURÍCIO, 2017). O que implica dizer que o reúso de efluentes é ainda uma prática para o equilíbrio entre qualidade e quantidade, e um despertar para diminuir os impactos da poluição causados pelo lançamento dos esgotos sem tratamento (LARA, 2021).

Em diversas cidades do mundo são encontradas experiências de práticas de reúso de água, e em alguns países como Espanha, Japão e o estado da Califórnia, o reúso é regulamentado e se tornou um recurso indispensável para a agricultura sustentável. Países como Jordânia, Namíbia e Israel já condicionam mais de 90% da água reciclada para fins agrícolas como forma de subsistência desse setor, e preservação dos recursos

hídricos. A Namíbia já faz uso para fins potáveis desde 1968 (PRADO, 2017).

O reúso indireto é o mais praticado no mundo, e por ser amplo, não é monitorado, e de difícil acesso a dados, impossibilitando a divulgação precisa de muitas experiências de interesse comum. Alguns projetos de reúso direto e planejado tem se tornado referência e contribuído significativamente na preservação do meio ambiente.

- Projeto de reúso de Shafdan (Sul de Tel Aviv, Israel): Possui um avançado sistema de tratamento de esgoto, chegando até o tratamento quaternário, que possibilita uma qualidade do efluente superior a muitos pontos de captação de água natural em vários países do mundo. São tratados 300.000 m³/dia de esgoto, e distribuídos por meio de uma rede específica e independente para reúso na agricultura (MEJIA, *et al*, 2020).
- Projeto de reúso de Orange County (Califórnia, EUA): Importante recarga para os aquíferos, produzindo 378.000 m³/dia de água e 30% do suprimento da bacia. A água reciclada também é usada nas indústrias, em irrigação, na construção civil e na lavagem de ruas. O *Groundwater Replenishment System*, o maior projeto de reúso de água potável do mundo, injeta pelo menos 1/3 da água de reúso como uma barreira da intrusão marinha (penetração da água salgada do mar na zona de água doce do aquífero) ao longo da costa e o restante é bombeado para recarregar as bacias a 27 quilômetros de distância (IWAKI, 2019).
- Projeto de reúso de Atotonilco, Vale do Mezquital (México) – A planta de Atotonilco, que entrou em funcionamento em 2016, trata o efluente sanitário de mais de 12 milhões de pessoas que vivem na região metropolitana da Cidade do México (35 m³/s, podendo chegar até 42 m³/s) para ser usado por agricultores do Vale do Mezquital na irrigação de forragem e até mesmo produtos para consumo humano (KUBLER, *et al*, 2016).
- Projeto de reúso na Austrália: O País tem um dos maiores investimentos em programas de conscientização ao uso consciente de água. Foram realizadas obras para receber as águas residuais em reservatórios específicos, que após passarem pelo processo de tratamento, retornam para as casas em torneiras

especiais, para serem utilizadas em diversas modalidades que não dependa da água potável (IDOETA, 2017).

- Projeto Aquapolo (São Paulo, Brasil): maior empreendimento de produção de água de reúso do Hemisfério Sul – para fins industriais – e o quinto maior do planeta. Tem capacidade de tratamento de 10^3 L s^{-1} e tecnologias ultra avançadas de tratamentos, que podem ser planejadas para o uso potável. Os efluentes tratados são suficientes para suprir as demandas das indústrias dos polos Petroquímicos do ABC Paulista, que por contrato recebem 650 L s^{-1} , e o tratamento por osmose reversa, possibilita o fornecimento para indústrias que necessitam de água desmineralizada, tudo isso sem nenhuma perda de água. O projeto economiza cerca de 2,58 bilhões de litros de água potável por mês (MACHADO, 2019).

Importante ressaltar que com a implantação da política do reúso de efluentes nos diversos países do mundo, as reservas de água potável são preservadas para usos mais nobres, além da preservação dos recursos hídricos, uma vez que os esgotos não são lançados de forma indiscriminada (CAIXETA, 2010).

As práticas de reúsos são registradas em sua maioria por meio de artigos e pesquisas desenvolvidos em centros acadêmicos. No ano de 2020 é possível identificar nos repositórios da plataforma SCOPUS 2.159 documentos que faz referência a reúso de água e 477 reúso de efluentes com uma diversidade de aplicações e para os diversos usos múltiplos. O reúso de água é utilizado na produção de biodiesel (FERRERO, *et al*, 2021); no tratamento de pântanos (Li *et al*, 2021); produtos farmacêuticos (BEN MORDECHAY *et al*, 2021); corantes de algodão (BEZERRA *et al*, 2021); na piscicultura (FELIZATTO *et al*, 2002); lavouras de arroz (PENA, 2020); produção de tomate cereja (SOUSA *et al*, 2019) no projeto bioágua familiar para produção de alimentos no Semiárido (GOUVEIA, 2019); no desenvolvimento de processamento tecnológico de energia (BURAKOV *et al*, 2020) e tantos outros cujas experiências apresentam resultados satisfatórios e que validam a importância e eficiência da reutilização de efluentes tratados. No Quadro 2 são descritas algumas dessas experiências desenvolvidas no Brasil.

Quadro 2 - Catalogação de 10 trabalhos publicados sobre o reúso de água no Brasil

Título do trabalho	Autor (es)	Link (DOI)
Água de reúso: uma alternativa sustentável para o Brasil	Moura, P. G., Aranha, F. N., Handam, N. B., Martin, L. E., Salles, M. J., Carvajal, E., ... & Sotero-Martins, A.	https://doi.org/10.1590/s1413-4152202020180201
Perspectiva do uso da água na agricultura de região semiárida do Estado da Paraíba	Francisco, P. R.M, Silva, V. F., Dantas Neto, J., Santos, D., De Lima, V. L. A.	https://www.researchgate.net/profile/Paulo-Roberto-Francisco/publication/353550097_Agua_uso_racional_e_sustentavel/links/61029d051e95fe241a96a3f6/Aqua-uso-racional-e-sustentavel.pdf#page=7
Reúso de efluentes de estações de tratamento de esgoto no beneficiamento de concreto	da Silva Junior, L. C. S., & Obraczka, M.	https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2020.v6.n4.85-92
Qualidade da água residuária aplicada a cultura da bananeira	Alves, A.S., De Lima, V.L.A., Dantas Neto, J., Lima Júnior, B.C., Melo Júnior, A.P.	https://doi.org/10.34188/bjaerv4n1-045
Monitoramento microbiológico de águas residuárias para produção agroecológica: uma ferramenta de segurança sanitária do reuso agrícola no semiárido brasileiro	Lambais, G. R., Melo, M., Mello, A., Matias, A., Barbosa, R., & Medeiros, S.	http://cadernos.aba-agroecologia.org.br/index.php/cadernos/article/view/3498
Reúso de água e construção de cenários futuros: perspectivas e desafios para regiões semiáridas	Da Silva, S. S.F., De Lima, V.L.A., Ramalho, A.M.C., Alves, A.C.	https://doi.org/10.12957/polemica.2018.37856
Crescimento e fitomassa de batata-doce irrigada com água residuária tratada	De Oliveira,R.C., Da Silva, P.F., De Matos, R.M., Dantas Neto, J., Saboya, L.M.F, De Farias, M.F.F.	https://doi.org/10.15809/irriga.2021v1n1p97-109

Águas de reúso para irrigação de pomar de lima ácida ‘Tahiti’ (citrus latifolia Tanaka) / Water reuse for irrigation orchard of lime ‘Tahiti’ (citrus latifolia Tanaka)	de Morais Rêgo Filho, L., Celestino, R. C. A., & Prohmann, L. L.	https://doi.org/10.34188/bjae-rv3n3-041
Reuso de efluentes na irrigação de milho e no cultivo "in door" de microalgas para fins biotecnológicos	Santana, M. G. S. D	http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/52834
Componentes da produção do algodão de fibra marrom irrigado com água residuária tratada	Alves, W.W.A., Dantas Neto, J., Andrade, A.R.S., Medeiros, L.B., Azevedo, C.A.V., Santos, J.W., Beltrão, N.E.M.	https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v9nsupp207-211

Fonte: SCOPUS, 2021 (termos chaves: *water reuse* e *effluent reuse*, ano 2020)

3.2.2 Reúso na perspectiva da agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável

O documento intitulado “Transformando o Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável”, foi constituído na Assembleia Geral das Nações Unidas no dia 25 de setembro de 2015 em Nova York, onde 193 Estados Membros, reconhecem a erradicação da pobreza em todas as suas formas e dimensões, incluindo a pobreza extrema, como um desafio Global, urgente e indispensável para o desenvolvimento sustentável (UNDP, 2016). A agenda 2030 é um plano de ação que indica 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), conforme disposto na Figura 2, e 169 metas, para erradicar a pobreza e promover vida digna para todos.

Figura 2 - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável



Fonte: LEITE (2017).

Os 17 objetivos atendem as três dimensões do desenvolvimento sustentável: econômica, social e ambiental, e foram desenvolvidos de forma a estarem integrados e indivisíveis, o que caracteriza um maior empenho dos países na elaboração e cumprimento de planos de ação que atinjam todas as metas propostas, até o ano 2030.

Dentro dessa perspectiva da Agenda 2030, o ponto 6, descrito no Quadro 3, intitulado Água Potável e Saneamento, tem o objetivo de “assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água e saneamento para todos”, com isso, a ONU faz referência a água como o centro do desenvolvimento sustentável, que pela sua importância e múltiplos usos, torna-se um fator determinante para alcançar a maioria das metas propostas na agenda.

Quadro 3 - Metas e Indicadores do ODS 6

ODS 6	
Garantir disponibilidade e manejo sustentável da água e saneamento para todos	
META	INDICADORES
6.1 Até 2030, alcançar o acesso universal e equitativo à água para consumo humano, segura e acessível para todas e todos.	6.1.1 Proporção da população que utiliza serviços de água potável gerenciados de forma segura
6.2 Até 2030, alcançar o acesso a saneamento e higiene adequados e equitativos para todos, e acabar com a defecação a céu aberto, com especial atenção para as necessidades das mulheres e meninas e daqueles em situação de vulnerabilidade.	6.2.1 Proporção da população que utiliza (a) serviços de saneamento gerenciados de forma segura e (b) instalações para lavagem das mãos com água e sabão
6.3 Até 2030, melhorar a qualidade da água nos corpos hídricos, reduzindo a poluição, eliminando despejos e minimizando o lançamento de materiais e substâncias perigosas, reduzindo pela metade a proporção do lançamento de efluentes não tratados e aumentando substancialmente o reciclo e reuso seguro localmente.	6.3.1 - Proporção de águas residuais tratadas de forma segura 6.3.2 - Proporção de corpos hídricos com boa qualidade ambiental
6.4 Até 2030, aumentar substancialmente a eficiência do uso da água em todos os setores, assegurando retiradas sustentáveis e o abastecimento de água doce para reduzir substancialmente o número de pessoas que sofrem com a escassez.	6.4.1 - Alteração da eficiência no uso da água ao longo do tempo 6.4.2 - Nível de stress hídrico: proporção das retiradas de água doce em relação ao total dos recursos de água doce disponíveis
6.5 Até 2030, implementar a gestão integrada dos recursos hídricos em todos os níveis de governo, inclusive via cooperação transfronteiriça.	6.5.1 - Grau de implementação da gestão integrada de recursos hídricos (0-100) 6.5.2 - Proporção das áreas de bacias hidrográficas transfronteiriças abrangidas por um acordo operacional para cooperação hídrica
6.6 Até 2020, proteger e restaurar ecossistemas relacionados com a água, incluindo montanhas, florestas, zonas úmidas, rios, aquíferos e lagos, reduzindo os impactos da ação humana.	6.6.1 - Alteração na extensão dos ecossistemas relacionados a água ao longo do tempo
6.a Até 2030, ampliar a cooperação internacional e o apoio ao desenvolvimento de capacidades para os países em desenvolvimento em atividades e programas	6.a.1 - Montante de ajuda oficial ao desenvolvimento na área da água e saneamento, inserida num plano

relacionados à água e ao saneamento, incluindo, entre outros, a gestão de recursos hídricos, a coleta de água, a dessalinização, a eficiência no uso da água, o tratamento de efluentes, a reciclagem e as tecnologias de reúso.	governamental de despesa.
6.b Apoiar e fortalecer a participação das comunidades locais, priorizando o controle social para melhorar a gestão da água e do saneamento.	6.b.1 - Proporção das unidades administrativas locais com políticas e procedimentos estabelecidos e operacionais para a participação das comunidades locais na gestão de água e saneamento.

Fonte: IPEA (2019)

Do quadro 3 verifica-se que a meta 6.3 está diretamente relacionada a gestão de águas residuais, no entanto, um dos maiores desafios para o monitoramento dos indicadores, principalmente do 6.3.1, é a falta de dados e diretrizes que possam gerenciar esse produto. No Brasil, esse indicador (6.3.1) não possui dados disponíveis até o momento, estando configurado na fase de “em análise/construção” (BRASIL, 2021), situação preocupante, pois sabe-se que as práticas de reúso de água estão se difundindo de forma descentralizada e sem monitoramento, pelas diversas regiões do País, configurando a nível mundial um problema de falta de gestão, uma vez que ainda não há nenhuma Lei Federal sancionada que disponha sobre a política de reúso de água no Brasil (MOREIRA, 2020).

As práticas de reúso de água em atividades que toleram uma qualidade inferior, possibilitam uma maior reserva hídrica para usos mais nobres, fazendo com que todos tenham acesso a água de boa qualidade e em quantidade suficiente para atender as demandas. Um outro ponto relevante é o custo benefício que essa água residuária pode proporcionar a indústria e ao agronegócio, ampliando suas produções e possibilitando a queda dos preços de seus produtos, favorecendo a aquisição e poder de compra a milhões de famílias que atualmente gastam mais da metade do seu salário com alimentação (MERCANTIL, 2019).

Assim, o reúso de água dentro da perspectiva da Agenda 2030: influencia no combate a erradicação da pobreza quando dá condições as pessoas de terem melhor qualidade de vida, dispondo água de boa qualidade para o consumo humano, ampliando o sistema de saneamento básico e conseqüentemente diminuindo as doenças oriundas da contaminação da água. Com a agricultura irrigada por águas residuárias tratadas é possível ter uma maior produção de

cultivos, com redução de preços, possibilitando o combate a fome, diminuindo os índices de desnutrição por falta de alimentação. Com investimentos e técnicas de reúso alguns cultivos podem ser transformados em biodiesel, matéria têxtil e fortalecer o potencial de bioenergia, isso aquece a economia, amplia o mercado de trabalho, reduz custos e promove condições financeiras para serem injetadas na saúde, educação e infraestrutura. Possibilita, ainda, a preservação da biota com nutrientes e reservas hídricas para manter o equilíbrio da vida aquática e terrestre, além de construir uma cidade limpa, com tratamento e destino correto das águas residuárias, sem comprometer a saúde pública, e dispendo de forma igualitária todos os recursos provenientes dessa prática (WWAP, 2017).

3.3 REÚSO DA ÁGUA NO SETOR AGRÍCOLA

Segundo FAO-AQUASTAT (2016), a agricultura é o maior usuário de água da América Latina e Caribe, representando uma média de 73% da captação, só no Brasil esse valor é de aproximadamente 61% para fins agrícolas. Estima-se que nos próximos anos a escassez de água causará perdas anuais globais de milhões de toneladas da produção de alimentos se medidas de gestão sustentável da água não forem desenvolvidas (NITOLO, 2009).

O declínio na produção de alimentos seria um retrocesso para o desenvolvimento sustentável previsto na Agenda 2030. Aumentaria a fome e a miséria, pois muitas pessoas não teriam condições de comprar alimentos com altas taxas de preços, só em 2019 quase 690 milhões de pessoas passaram fome, um aumento de 10 milhões em relação ao ano de 2018, de acordo com o relatório “O Estado da Segurança Alimentar e Nutricional do Mundo” (UNICEF, 2020). Há mais de 178 milhões de crianças desnutridas no mundo, e aproximadamente 9 milhões de pessoas morrem de fome por ano, só no Brasil entre 2008 e 2017 foram pelo menos 63.712 óbitos por complicações decorrentes da desnutrição, uma média de 17 mortes por dia (DATASUS, 2017).

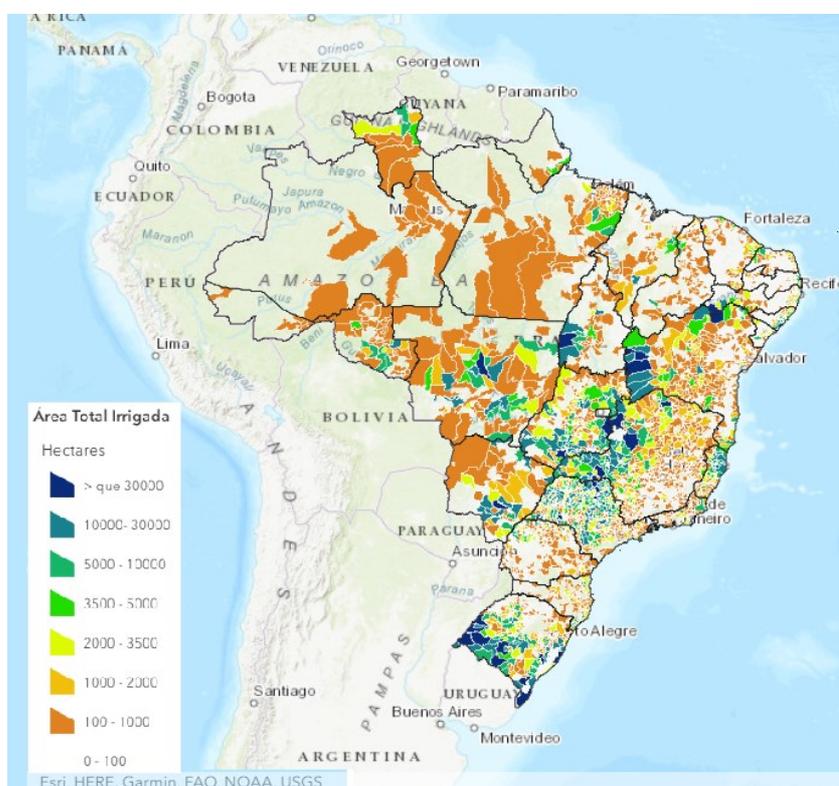
Segundo CAIXETA (2010), a escassez hídrica é também um problema de escassez de alimentos, e os impactos sociais e ambientais desse problema coloca em risco a segurança alimentar de muitas pessoas, principalmente as que já se encontram em estado de vulnerabilidade. Encontrar formas que potencializem com eficiência os recursos hídricos é um grande desafio, no entanto, o reúso de água

tem se demonstrado uma prática de gestão sustentável, capaz de ampliar ainda mais o agronegócio e aumentar o poder de compra de muitas pessoas, com redução de custos dos produtores e possibilidade de baixa de preços dos alimentos.

A agricultura irrigada é o maior usuário de água e que depende majoritariamente desse recurso para a subsistência. A irrigação possibilita o aumento da produtividade na ordem de até três vezes em relação ao cerqueiro, eleva a renda do produtor rural, aumenta a oferta e regularidade de alimentos, e em regiões semiáridas ela é essencial para a agricultura.

Segundo dados da FAO (2017), o Brasil está entre os dez países com a maior área equipada para irrigação do mundo entre 4 e 7 Milhões de hectares, no entanto, não utiliza todo esse potencial, e as dificuldades para conseguir dados precisos e atualizados são enormes, a estimativa é feita por pivôs centrais monitorados pela ANA e Embrapa somado a dados de propriedades do IBGE. Na Figura 3 tem-se o Mapa panorama nacional da área total equipada para a irrigação, onde em 2019 a área total equipada já alcançava 8,2 Milhões de hectares, sendo 2,9 fertirrigados e 5,3 Milhões de hectares irrigados (ANA, 2021).

Figura 3 - Mapa panorama nacional da irrigação no recorte municipal (2019)



Fonte: ANA, 2021.

Conforme dados expostos, fica evidente a importância do reúso de água no setor agrícola, especificamente na irrigação, para preservar as reservas hídricas e dar maior viabilidade para culturas de maior valor agregado.

Uma das vantagens importantes do reúso de águas residuárias domésticas na agricultura é que estas, quando tratadas, fornecem aproximadamente 2/3 dos nutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio) que as plantas necessitam, além da matéria orgânica que protege o solo e age como fertilizante natural (MATEO-SAGASTA, 2017). É um efluente cuja produção é diretamente proporcional ao crescimento demográfico e urbano, e por isso, sua produção é diária e sua fonte estável, permitindo maior segurança hídrica aos produtores.

Na agricultura, muitas experiências com água de reúso têm se demonstrado mais eficiente do que quando irrigadas com as águas naturais, devido aos nutrientes que essas águas podem fornecer, substituindo, em muitos casos, os fertilizantes químicos.

As experiências eficientes de reúso de água no setor agrícola, além de validar a importância dessa prática, incentiva a ampliação e desenvolvimento de outras culturas, contribuindo para a construção de uma agricultura sustentável. No Quadro 4 estão dispostos alguns cases de sucesso de cultivos produzidos com águas residuais tratadas, no Brasil.

Quadro 4 - Cases de sucesso de cultivos com efluentes tratados

<p>Florânia/RN</p> <p>O efluente tratado é utilizado para pulverizar o pasto que cresce em quantidade e qualidade, com produção o ano inteiro, e os nutrientes são refletidos também nos animais que consomem o pasto, onde a produção de leite triplicou. (ARAÚJO, 2016)</p>
<p>Lins e Piracicaba/SP</p> <p>Foram feitas experiências na irrigação de Capim e Cana-de-açúcar, a economia no uso de fertilizantes nitrogenados chegou a 80% no plantio de capim, e ambos irrigados com efluentes tratados tiveram aumento da produtividade em mais de 100% em relação a irrigação com água convencional.(CRUZ, 2015)</p>
<p>Petrolândia/PE</p> <p>Cultivo de melancia com água de esgoto tratado, redução de pH no solo e acumuladas quantidades de fósforo, potássio, cobre e ferro, os frutos não ficaram contaminados, e quando adicionados uma quantidade de fertilizante sintéticos eles ficam maiores. (SOUZA FILHO, 2013)</p>

UFPE/ Caruaru/PE

Experimentos feitos com a irrigação da cenoura tipo Brasília, demonstraram que a parcela irrigada com esgoto tratado é mais viável pois não há a adição de compostos minerais artificiais, o efluente tratado não interferiu negativamente no desenvolvimento da cultura, podendo ser utilizada com água de irrigação. (NEPOMUCENO, 2017)

Santana do Seridó/RN

Projeto que encontrou na Estação de Tratamento de Esgoto potencial para o reúso na irrigação de palmas para alimentar os gados da região. O projeto Palmas de Santana recebeu o prêmio ANA 2017, pela iniciativa de estímulo de reúso. (ESTADÃO, 2015)

Fonte: Google, 2020

3.3.1 Reúso na agricultura urbana e periurbana

Com o crescimento demográfico, as cidades estão cada vez mais sendo ampliadas e ocupando áreas que em anos anteriores eram consideradas de zona rural. Muitos produtores passaram a ter suas propriedades inseridas em áreas urbanas ou periurbanas, dentro de um raio de até 20 km, outros, optaram por construir seu plantio dentro desse perímetro, devido aos recursos hídricos que são mais acessíveis, e na perspectiva de construir um sistema agroalimentar localizado.

Entende-se por agricultura periurbana o cultivo de terras localizado entre as áreas urbanas e rurais, nos arredores das cidades, de forma articulada, considerada um recurso essencial para as economias urbanas, promoção da biodiversidade, fonte de trabalho e fornecimento de alimentos saudáveis e controlados (MELO, 2016). A Agricultura Urbana e Periurbana (AUP) tem o objetivo de gerar produtos agrícolas e pecuários voltados ao consumo próprio, trocas, doações ou comercialização, de maneira segura, e sustentável dos recursos locais como solo, água, mão-de-obra, etc. (USP, 2019).

Devido a grande produção diária de esgotos domésticos nas cidades, a disponibilidade de água para o reúso torna-se cada vez maior, e propicia aos produtores segurança hídrica para as lavouras permanentes, que no Semiárido tendem a apresentar maior necessidade de irrigação.

A reutilização de efluentes domésticos favorece a implementação de sistemas produtivos periurbanos, mais próximos de seus núcleos de consumo, reduzindo custos com o transporte dos alimentos, e permitindo que as reservas de água

potável sejam preservadas e utilizadas para fins mais nobres (FAO, 2017). Uma vez que a agricultura sem água não é possível, e que as plantações em áreas urbanas e periurbanas, são as mais acessíveis por estarem situadas em regiões periféricas, com restrições de abastecimento público (alguns cultivos são produzidos em residências ou pequenas propriedades ao lado dos imóveis), o reúso de água torna-se essencial para o desenvolvimento sustentável.

No entanto, essa prática exige planejamento e muito cuidado, pois pode colocar em risco a saúde de muitas pessoas e do meio ambiente, quando não observados os padrões que definem a qualidade do efluente final para um respectivo cultivo, principalmente para a irrigação irrestrita como aquelas utilizadas na irrigação de hortaliças e outros alimentos que podem ser ingeridos crus. Nos EUA por exemplo, as diretrizes adotadas pela agência ambiental americana - United States Environmental Protection Agency (USEPA) - e recomendadas pela OMS, exige para irrigação irrestrita, um padrão de qualidade de efluentes, semelhante ao padrão de potabilidade da água para consumo humano, ou seja, ausência de coliformes, turbidez 2uT e cloro residual de 1 mgL⁻¹ (USEPA, 2004), conforme dados dispostos no Quadro 5.

Quadro 5 - Diretrizes da USEPA para o uso agrícola de esgotos sanitários

Tipo de irrigação e cultura	Processo de tratamento	Qualidade do efluente
Culturas alimentícias não processadas comercialmente Irrigação superficial ou por aspersão de qualquer cultura, incluindo culturas a serem consumidas cruas.	Secundário + filtração + desinfecção	pH 6 a 9 DB0 ≤ 10 mg L ⁻¹ . Turbidez ≤ 2 uT ⁽¹⁾ CRT ≥ 1 mg L ⁻¹ . ⁽²⁾ CTer ND ⁽³⁾ Organismos patogênicos ND
Culturas alimentícias processadas comercialmente Irrigação superficial de pomares e vinhedos Silvicultura e irrigação de áreas com acesso restrito ao público.	Secundário + desinfecção	pH 6 a 9 DB0 ≤ 30 mg L ⁻¹ . SST ≤ 30 mg L ⁻¹ CRT ≥ 1 mg L ⁻¹ CTer ≤ 200 por 100 mL ⁽⁴⁾

Culturas não alimentícias Pastagens para rebanhos de leite ⁽⁵⁾ , forrageiras, cereais, fibras e grãos.	Secundário + desinfecção ⁽²⁾	pH 6 a 9 DB0 ≤ 30 mg L ⁻¹ . SST ≤ 30 mg L ⁻¹ CRT ≥ 1 mg L ⁻¹ . CTer ≤ 200 por 100 mL ⁽⁴⁾
(1) Turbidez pré-desinfecção, média diária; nenhuma amostra > 5 uT (ou 5 mgL SST L ⁻¹). (2) CRT: cloro residual total após tempo de contato mínimo de trinta minutos; residuais ou tempos de contato mais elevados podem ser necessários para a garantia de inativação de vírus e parasitas. (3) CTer: coliformes termotolerantes; ND: não detectável; média móvel de sete dias; nenhuma amostra > 14 CTer por 100 mL. (4) Média móvel de sete dias; nenhuma amostra > 800 CTer por 100 mL; lagoas de estabilização podem alcançar o critério de qualidade sem a necessidade de desinfecção. (5) O consumo das culturas irrigadas não deve ser permitido antes de 15 após a irrigação; desinfecção mais rigorosa (≤ 14 CTer por 100 mL) se o período de 15 dias não for observado.		

Fonte: USEPA, 2004.

3.3.2 Riscos e controle do reúso de água

A qualidade do efluente é um fator determinante para o tipo de aplicação a qual será reutilizado, podendo incorrer em risco para a saúde e para o meio ambiente quando não tratados de forma adequada e lançados indiscriminadamente nos solos e rios. Vale destacar, no entanto, os riscos de uma irrigação feita com água poluída, captada muitas vezes de rios e córregos que recebem efluentes domésticos não tratados e que não conseguem se autodepurar. São riscos a saúde através de doenças de veiculação hídrica causadas por organismos patogênicos (bactérias, protozoários, helmintos, vírus, etc.) que tanto podem ser contraídas pelos produtores no manuseio do efluente, como pelo consumo de alimentos contaminados por bactérias. Outra preocupação é com o solo que pode reter sais e metais pesados e transferir para as raízes das plantas além de microrganismos patogênicos que podem ser lixiviados para o lençol freático.

De acordo com CAIXETA (2010):

Entre os contaminantes que podem degradar a qualidade das águas residuárias, tornando-as, em alguns casos, inviáveis para o reúso agrícola, estão os sais, os nutrientes e traços de elementos químicos, os quais estão relacionados com os principais problemas no solo, como salinidade, permeabilidade, toxicidade de íons específicos (sódio, cloreto, boro, dentre outros), excesso de nutrientes, bicarbonatos e faixa de pH.

A análise do sistema é primordial para o manuseio e destino da água do reúso, deve ser considerado todos os potenciais perigos para a saúde, para que se

tenha um planejamento com tratamento e cuidados adequados. No Quadro 6 é possível identificar os potenciais perigos para a saúde quando considerados as frações líquida e sólida dos resíduos.

Quadro 6 - Frações dos resíduos e potenciais perigos para a saúde

	CONSTITUIÇÃO DO RESÍDUO									
	POTENCIAIS PERIGOS BIOLÓGICOS					POTENCIAIS PERIGOS QUÍMICOS		POTENCIAIS PERIGOS FÍSICOS		
	Vírus	Bactérias	Protozoários	Helmintas	Doenças transmitidas por vetor	Químicos tóxicos	Metais pesados	Objetos perfurantes	Material inorgânico	Maus cheiros
Fração líquida										
Dejetos diluídos (humano ou animal)	x	x	x	x						x
Urina (humana ou animal)	x	x	x	x				x	x	x
Água residual doméstica	x	x	x	x	x			x		x
Água de chuva	x	x	x	x	x	x	x			
Água do rio	x	x	x	x	x	x	x			
Água residual industrial*						x	x			
Fração sólida										
Lama fecal	x	x	x	x	x			x	x	x
Lama de ETARs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Resíduos orgânicos domésticos	x	x			x					
Resíduos inorgânicos domésticos						x	x	x	X	
Resíduos agrícolas (resíduos de colheitas)	x	x	x	x	x			x	X	
Resíduos de jardinagem					x				X	
Estrume/Chorume	x	x	x	x	x				X	x
Resíduos hospitalares	x	x	x	x		x	x	x	X	x
Resíduos industriais						x	X	x	X	X
Resíduos de matadouros	x	x	x	x	x		x			x
Resíduos de construção e demolição								x	x	

* A extensão dos potenciais perigos associados a efluentes industriais pode variar muito. Por exemplo, os perigos associados a resíduos industriais podem incluir patogênicos e químicos.

Nestes termos, o reúso de água deve ser planejado e pautado em tratamentos que correspondam aos padrões físico-químicos, bacteriológicos e biológicos, determinados pela OMS, para ser um produto de mercado, capaz de proporcionar ao produtor uma agricultura sustentável, com utilização segura e com vista na preservação dos recursos hídricos.

3.4 APONTAMENTOS SOBRE O SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL

O saneamento básico é um direito assegurado pela Constituição Federal e definido pela Lei 11.445/2007 (recentemente alterada pela Lei 14.026/2020 – Novo Marco Legal do Saneamento), como “o conjunto dos serviços, infraestrutura e instalações operacionais de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana, drenagem urbana, manejos de resíduos sólidos e de águas pluviais”.

O novo Marco do Saneamento Básico trouxe reflexões sobre a situação insalubre de milhões de brasileiros que não tem acesso a água tratada e coleta de esgotos. Dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2019), foram avaliados pelo presidente do Instituto Trata Brasil, Edison Carlos, como alarmantes em relação ao desperdício de água potável, que atingiu um índice de 59,3%, e constatou pelos indicadores, que comparados ao ano de 2018 não foram satisfatórios, o acréscimo percentual de acesso a água potável foi apenas de 0,1 ponto e o de coleta de esgoto 1 ponto percentual, valores que não fizeram muita diferença, e que mantém um cenário de menos da metade da população sem acesso completo aos serviços de saneamento básico (KAFRUNI, 2020).

A universalização do Saneamento Básico é uma das metas estipuladas pelo Novo Marco do Saneamento, que tem o prazo até 31 de dezembro de 2033 para que 99% da população tenha acesso a água potável e pelo menos 90% a coleta e tratamento de esgotos, um desafio para todas as empresas concessionárias de saneamento, que não tem avançado para melhorar os indicadores, e uma preocupação com o meio ambiente, que a cada dia sofre a degradação causada pela ausência desse serviço.

No Quadro 7 e na Figura 4, estão dispostos alguns indicadores do SNIS 2019 com relação aos níveis de atendimento com água e esgotos dos municípios com prestadores de serviços participantes, segundo macrorregião geográfica e Brasil.

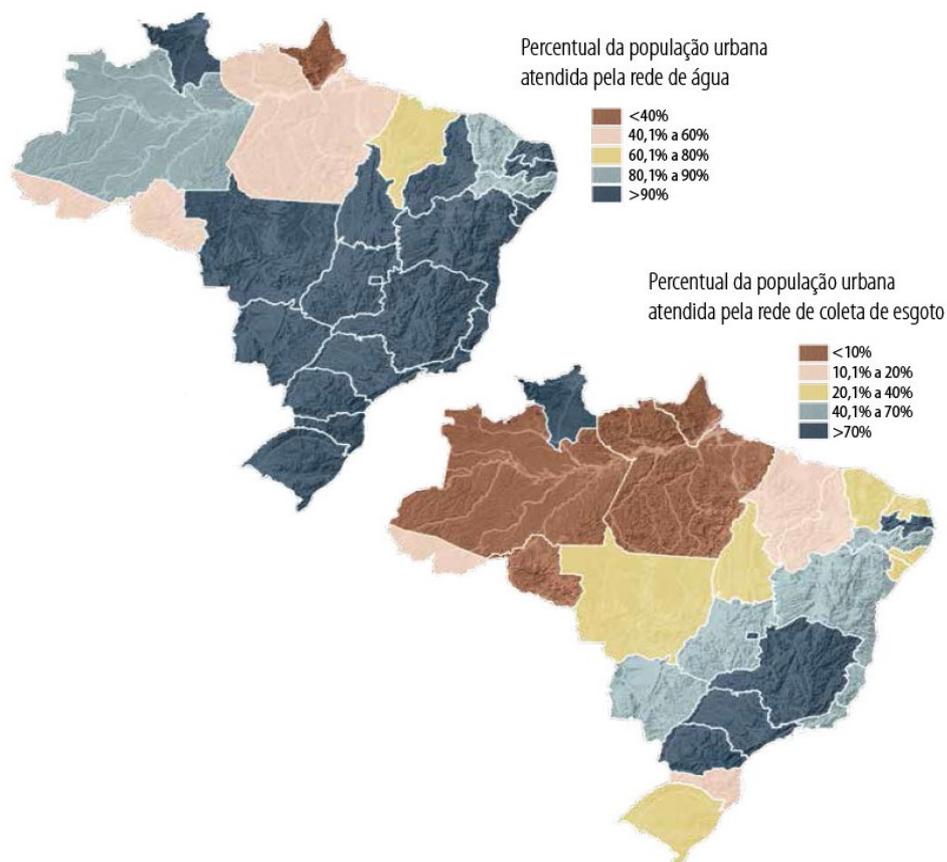
Quadro 7 - Níveis de atendimento com água e esgotos dos municípios com prestadores de serviços participantes do SNIS em 2019, segundo macrorregião geográfica e Brasil

Macrorregião	Índice de atendimento com rede (%)				Índice de tratamento dos esgotos (%)	
	Água		Coleta de esgotos		Esgotos gerados	Esgotos coletados
	Total	Urbano	Total	Urbano	Total	Total
	IN055	IN023	IN056	IN024	IN046	IN016
Norte	57,5	70,4	12,3	15,8	22	82,8
Nordeste	73,9	88,2	28,3	36,7	33,7	82,7
Sudeste	91,1	95,9	79,5	83,7	55,5	73,4
Sul	90,5	98,7	46,3	53,1	47,0	94,6
Centro-Oeste	89,7	97,6	57,7	63,6	56,8	93,2
Brasil	83,7	92,9	54,1	61,9	49,1	78,5

Nota: a) Para o cálculo do índice de tratamento dos esgotos gerados (IN)46 estima-se o volume de esgoto gerado como sendo igual ao volume de água consumido (AG010), excluindo-se o volume de água tratada exportado (AG019)

Fonte: Diagnóstico SNIS, 2019.

Figura 4 - Mapa do percentual da população urbana atendidas pela rede de água e coleta de esgoto



Fonte: Adaptado Ministério das Cidades, 2016.

No Semiárido Brasileiro, que soma uma população de 27.225.486 habitantes (IBGE, 2019), a situação do saneamento básico na maioria das sedes municipais é crítica, são mais de 8,5 milhões de pessoas sem abastecimento de água, e apenas 438 municípios tem atendimento de esgoto sanitário, atendendo 6.083.913 habitantes. Mais de 14,6 milhões de habitantes residentes no Semiárido Brasileiro não tem atendimento de água e esgotamento sanitário segundo dados do SNIS (2019), somente no Semiárido Paraibano cuja população é de 2.494.777 habitantes, são 870.655 pessoas sem atendimento com abastecimento de água e mais de 1,8 milhões sem esgoto sanitário. Um ponto preocupante é a falta de investimentos pelo Estado em esgotamento sanitário nesta região, no ano de 2019 foram registrados investimentos em apenas seis municípios (Belém do Brejo do Cruz, Caraúbas, Coxixola, Livramento, São José dos Cordeiros e Taperoá) somando um valor total de R\$1.453.013,18, o que equivale a 5%, quando comparados aos investimentos

em abastecimento de água neste mesmo período, , que foram mais de 26,8 milhões, uma diferença que desencadeia problemas sérios ao meio ambiente pelo grande volume de esgoto lançado indiscriminadamente, sem coleta e tratamento adequados.

É notório, através dos dados, que a falta de saneamento compromete o bem estar das pessoas, e traz problemas irreversíveis ao meio ambiente, devido ao despejo de esgotos não coletados e não tratados, lançados de forma indiscriminada, poluindo os mananciais, causando a degradação do solo, comprometendo a mata ciliar e toda biota. A coleta e tratamento de esgotos é uma condição *sine qua non* para um ambiente sustentável, e para uma melhor qualidade de vida das pessoas, além de proporcionar um potencial de reúso para diversas finalidades dessa água, traria muitos benefícios, entre eles a despoluição dos mananciais e a possibilidade de ter disponibilidade hídrica para melhor distribuição da água potável, além de contribuir com o desenvolvimento sustentável de muitos setores que podem fazer uso de uma água menos nobre nas suas atividades.

3.4.1 Estações de tratamento de esgoto domésticos

Os esgotos domésticos contêm aproximadamente 99,9% de água, porém, é devido a essa parcela de 0,1% que se concentram sólidos orgânicos, inorgânicos, suspensos, dissolvidos e microrganismos, que se fazem necessárias medidas para o seu tratamento (VON SPERLING, 2014). Ao serem lançados nos corpos hídricos sem o devido tratamento, esses esgotos alteram a qualidade das águas, afetam o equilíbrio no meio aquático, ocasionam riscos à saúde pública e comprometem as reservas hídricas e todo meio que delas sobrevivem.

Nestes termos, o tratamento de esgotos exerce um papel importante na sustentabilidade ambiental, e as Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) foram criadas para secundar de forma eficaz o saneamento básico, que tem um cenário crítico no Brasil com um índice de coleta de 64% e de tratamento aproximadamente 69% de acordo com dados do SNIS (2019).

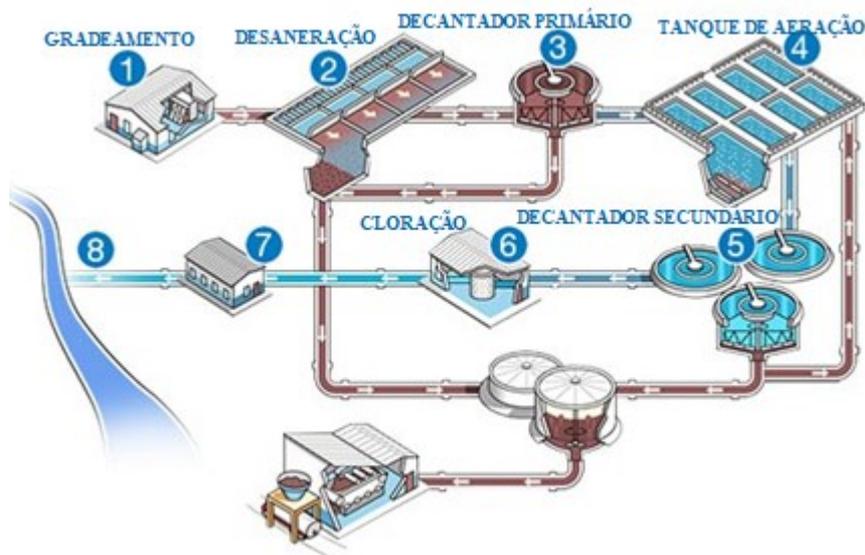
A utilização das primeiras ETEs no Brasil se consolidou no Império de Dom Pedro II em 1864, inicialmente com um sistema formado por tanques de ferro com grandes proporções, abertos e com grades de barras, por onde entravam os esgotos, esses, passavam por um tratamento químico de cal e sulfato de alumínio,

que agiam como redutores de odores e aceleravam a decantação do material em suspensão, em seguida, o esgoto final da estação era lançado no mar. A limpeza do tanque era feita de forma manual pelos escravos, através de espécies de peneiras. Somente na década de 40, com o início da comercialização dos serviços de saneamento, é que surgem investimentos para a ampliação de projetos nessa área, que foi crescente até a década de 80, e promoveu a construção de diversas ETEs com diferentes sistemas de tratamento, no entanto, não foram suficientes para atender a demanda populacional, e até os dias atuais, o saneamento não consegue acompanhar o crescimento demográfico (BARROS, 2019).

Os sistemas de tratamento de esgotos que atualmente são utilizados no Brasil, seguem, no geral, as seguintes etapas de tratamento: I) preliminar: remoção de sólidos grosseiros (papéis, plástico e outros), areia e gordura; II) primário: remoção de sólidos em suspensão sedimentáveis, materiais flutuantes (óleos e graxas) e parte da matéria orgânica em suspensão, III) secundário: remoção de matéria orgânica dissolvida e da matéria orgânica em suspensão não removida no tratamento primário, IV) terciário: remoção de compostos inorgânicos do sistema, tais como nitrogênio e fósforo. Esta etapa é utilizada quando se pretende remover esgotos com características de industrial ou remover nutrientes a uma concentração que não é possível de se atingir apenas com o processo secundário (MARQUES, 2020).

Na Figura 5 é apresentado um esquema básico dos principais processos utilizados no tratamento de esgotos, contemplando as duas fases: líquida que corresponde ao fluxo principal e sólida que diz respeito aos subprodutos sólidos gerados no tratamento.

Figura 5 - Esquema dos principais processos de tratamento de esgotos



Fonte: Adaptado RW Engenharia, 2019

No processo de gradeamento (1) o esgoto passa por grades, onde ocorre a remoção de sólidos grosseiros que estão em suspensão; na desaneração (2) a areia e outros resíduos menores são removidos por sedimentação; na decantação primária (3) que é antecedida pelo processo de floculação, ocorre a separação do efluente bruto, por meio da sedimentação; no tanque de aeração (4) será removida a matéria orgânica, por meio da ação de microrganismos; no decantador secundário (5) é onde ocorre a clarificação do efluente e parte do lodo com os microrganismos volta para o sistema; e na cloração (6) ou desinfecção é o processo de adição de produto químico sanitizante ao efluente líquido para remoção de vírus, bactérias e outros microrganismos, para ser posteriormente lançado ao corpo receptor (8) (TERA, 2021).

De acordo com o Atlas Esgotos: Despoluição de Bacias Hidrográficas, apresentado em 2017 pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), os processos de tratamento podem ser divididos em físicos, biológicos e químicos.

- Processos físicos são aqueles que removem materiais grosseiros, sólidos sedimentáveis e materiais flutuantes (óleos, graxas, etc.) através de separações físicas, tais como gradeamento, peneiramento, caixas separadoras, sedimentação e flotação. Em geral são utilizados como tratamento preliminar e/ou parte dos demais processos.

- Processos biológicos fazem uso da atividade microbiana para alcançar bons níveis de purificação das águas residuárias. São amplamente utilizados no tratamento de esgotos para a remoção de matéria orgânica e de nutrientes e são derivados de processos aeróbios e anaeróbios que ocorrem na natureza. Os principais processos biológicos para o tratamento de esgotos sanitários são as lagoas de estabilização, sistemas de lodos ativados e variantes, sistemas anaeróbios e sistemas aeróbios com leito fixo.
- Processos químicos consistem na adição de produtos químicos, como por exemplo, o sulfato de alumínio, para remoção das partículas coloidais. São associados aos processos biológicos e físicos para maior eficiência, podendo acarretar em aumento significativo do custo operacional.

No Quadro 8 estão descritos os principais processos, operações e sistemas de tratamento frequentemente utilizados no tratamento de esgotos domésticos em função do poluente a ser removido.

Quadro 8 - Operações, processos e sistemas de tratamento de esgoto

Poluentes	Operação, processo ou sistema de tratamento
Sólidos em suspensão	- Gradeamento - Remoção da areia - Sedimentação - Disposição no solo
Matéria orgânica biodegradável	- Lagoas de estabilização e variações - Lodos ativados e variações - Filtro biológico e variações - Tratamento anaeróbio - Disposição no solo
Patogênicos	- Lagoas de maturação - Disposição no solo - Desinfecção com produtos químicos - Desinfecção com radiação ultra-violeta
Nitrogênio	- Nitrificação e desnitrificação biológica - Disposição no solo - Processos físico-químicos
Fósforo	- Remoção biológica - Processos físico-químicos

Fonte: SPERLING, 2014.

As lagoas de estabilização apresentam-se como de processo simples e natural para tratar os esgotos domésticos, sua eficiência varia de acordo com os tipos e disposição final dos efluentes, porém, a faixa típica de remoção de DBO situa-se entre 75 e 85%, na remoção de coliformes pode alcançar até 99,9% de eficiência (IEVORLINO, 2019), são as mais utilizadas no Brasil, e classificam-se em: lagoas anaeróbias, lagoas facultativas, lagoas aeróbias e lagoas de maturação. Definidas da seguinte forma:

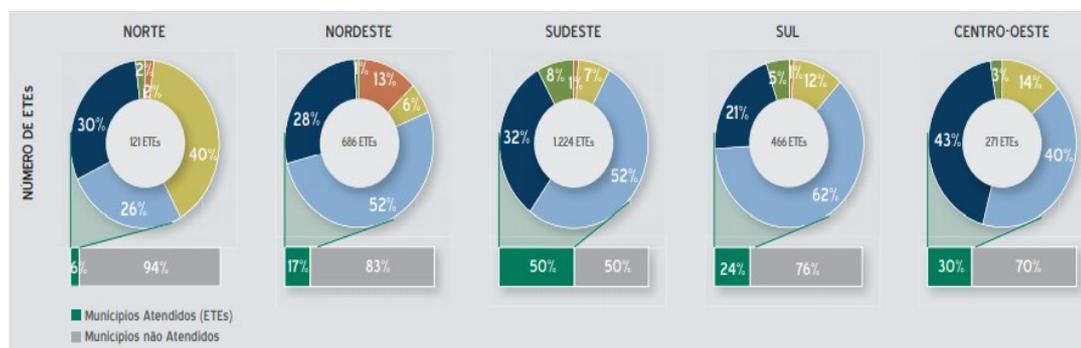
- Lagoas anaeróbias: sistema caracterizado por não apresentar oxigênio dissolvido abaixo da superfície da água, possuem profundidades da ordem de 3 a 5 metros;
- Lagoas facultativas: sistema considerado o mais simples em termos de operação, ocorre através da retenção dos esgotos por um período de tempo suficiente para que os processos de estabilização da matéria orgânica se desenvolvam, possuem profundidades entre 1,5 a 3 metros, e nela ocorrem dois processos: aeróbios e anaeróbios;
- Lagoas aeróbias: o sistema opera em regime de mistura completa (teoricamente), com aeração intensa, com turbulência suficiente para manter a biomassa em suspensão e distribuir o oxigênio dissolvido por toda a massa líquida, garantindo um processo totalmente aeróbio, possuem profundidades entre 2,5 a 5 metros. Apesar da boa eficiência na remoção de matéria orgânica, as lagoas aeradas apresentam um efluente com qualidade insatisfatória para lançamento em corpos hídricos, fazendo necessário a instalação de um decantador;
- Lagoas de maturação: sua maior característica é a remoção de bactérias, coliformes, vírus e ovos de helmintos, possuem profundidades de 0,8 a 1,5 metros. É considerada uma das mais eficientes para o reúso de água.

Além das lagoas de estabilização, também são encontrados os sistemas por reator anaeróbio (UASB – *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), utilizado em processos primários para a estabilização da matéria orgânica inicial; tanque séptico, também conhecido como decanto-digestor ou fossa séptica, é utilizado por comunidades que geram vazões relativamente pequenas e empregado em áreas urbanas desprovidas

de rede coletora pública de esgoto sanitário, é um processo primário, onde os esgotos ficam retidos por um determinado tempo; e filtro biológico, sistema que permite a formação de uma película de bactéria capaz de absorver uma quantidade de matéria orgânica, podem ser de alta ou baixa carga.

Em 2017 foram identificados no Brasil 2.768 ETEs em operação, distribuídas em 1.592 cidades, com população atendida estimada em 71,7 milhões de habitantes. Na Figura 6 é possível observar os dados percentuais por região dessas ETEs.

Figura 6 - Número de ETEs por Região do Brasil



Fonte: ANA (Atlas Esgoto), 2017.

Das ETEs identificadas no Brasil, 364 operam com o processo constituído por lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa, conhecido como sistema australiano; 328 com reator anaeróbio; 215 com tanque séptico associado a filtro anaeróbio; 203 com lagoa facultativa; 177 reator anaeróbio seguido de filtro biológico. O sistema australiano é mais representativo na Região Sudeste, enquanto os reatores anaeróbios predominam nas regiões Nordeste, Sul e Centro-Oeste (ANA, 2017).

As lagoas de estabilização são consideradas um dos melhores métodos de tratamento quando o efluente é destinado a irrigação, devido a eficiência na remoção de DBO e Coliformes (Tabela 1). No México um dos sistemas mais utilizados para o tratamento de esgoto é o australiano, e o efluente final é reutilizado no cultivo de hortaliças; já no Peru, são utilizadas lagoas facultativas e de maturação para um cultivo de uva, algodão e também hortaliças.

Tabela 1 - Sistemas de lagoas e eficiência típica de remoção

Sistemas de lagoas	Eficiência na remoção (%)			
	DBO	N	P	Coliformes
Lagoa facultativa	70-85	30-50	20-60	60-99
Lagoa anaeróbia – lagoa facultativa	70-90	30-50	20-60	60-99,9
Lagoa aerada facultativa	70-90	30-50	20-60	60-96
Lagoa aer. mistura completa – lagoa de decantação	70-90	30-50	20-60	60-99

Fonte: SPERLING, 2014

De acordo com a Agência Nacional das Águas e Saneamento (ANA), o Plano Nacional de Recursos Hídricos abre o debate sobre a eficiência das ETEs, pois as mesmas “quando trabalham de forma ineficiente são grandes fontes poluidoras”, e isso tem sido um grande desafio para o Brasil: “construir ETEs que melhore a questão sanitária do País” (SZUSTER, 2011).

No geral, se faz necessário investimentos no sistema de coleta e tratamento de esgotos de forma que as ETEs possam evoluir para o conceito de Unidade de Recuperação de Água (URA) capaz de promover um efluente final de qualidade para a reutilização em diversos setores produtivos.

3.5 ASPECTOS LEGAIS, NORMATIVOS E INSTITUCIONAIS DO REÚSO DE ÁGUA NO BRASIL

Nos ordenamentos jurídicos existentes no Brasil sobre o reúso de água, não há nenhuma Lei Federal específica que normatize essa prática, embora em junho de 2016 foi firmado um contrato entre o Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura (IICA), no âmbito do Projeto de Cooperação Técnica BRA/IICA/13/005 – Interáguas MCidades – Saneamento Básico (IICA/MCidades) e o Consórcio CH2M HILL BV/CH2M HILL DO BRASIL (CH2M), para um estudo dividido em seis produtos intitulado “Elaboração de Proposta de Plano de Ações para Instituir uma Política de Reúso de Efluente Sanitário Tratado no Brasil”, no entanto, com as diversas mudanças políticas, o projeto estagnou e as ações previstas até o momento não foram aprovadas. Diversos Projetos de Lei sobre a temática já passaram pela Câmara Legislativa, alguns não chegaram nem a entrar em pauta e acabaram por perder sua validade. No Quadro 9 estão relacionados alguns desses Projetos de Lei.

Quadro 9 - Projetos de Lei no Brasil voltados a prática de reúso de água

Projeto de Lei	Ementa
PL 1155/2011	Autoriza o Poder Executivo a criar o Fundo Nacional de Reutilização de Água (FUNREÁGUA)
PL 1675/2015	Torna obrigatória a utilização de patamares mínimos de água de reúso por plantas industriais e prédios comerciais que se instalarem em regiões de baixa precipitação pluviométrica.
PL 2427/2015	Dispõe sobre incentivos para aumentar a reutilização de recursos hídricos no País.
PL 3401/2015	Institui o Plano Nacional de Gestão, Conservação e Reúso de Água.
PL 3705/2015	Dispõe sobre a instituição do Selo Verde para certificar empresas que adotem medidas para reduzir o consumo de água, aumentar a eficiência energética e reduzir, reutilizar e reciclar materiais e recursos.
PLS 12/2014	Fornecer incentivos para estimular a reutilização de recursos hídricos
PLS 51/2015	Estabelece regras para o reúso e abastecimento de água não convencional, e altera a Lei nº 11.445 / 2007 e Lei n.º 10.257 / 2001 que estabeleceu diretrizes gerais para a política urbana
PLS 13/2015	Altera as Leis nº 9.433/97 e 11.445/2007 para promover o uso de fontes alternativas de abastecimento de água, como água de chuva e reúso de água.
PLS 108/2015	Altera a Lei nº 11.445 para criar incentivos ao uso moderado da água tratada e ao aproveitamento de águas pluviais e de reúso.
PLS 753/2015	Dispõe sobre modificação da Lei nº 11.445 / 2007 para implementação obrigatória de sistemas diretos de reutilização não potável em instalações de água e saneamento construídas com os recursos da União.
PL 14/2014	Incentiva e sugere a redução de 75% do Imposto de Renda para empresas produtoras ou distribuidoras de água de reúso e alíquota zero da contribuição para o PIS-PASEP e da COFINS que incidirem sobre a receita de venda ou de tratamento de água de reúso.
PL 8277/2017	Dispõe sobre o reúso de água para fins não potáveis em novas edificações públicas federais e privadas residenciais, comerciais e industriais, e dá outras providências (apensado PL 1750/2015).
PL 2451/2020	Torna obrigatório o reúso da água, proveniente da chuva, de estações de tratamento de esgoto ou do tratamento de líquidos do processo industrial, em novas edificações públicas, residenciais, comerciais e industriais.

Fonte: BRASIL, 2021

De acordo com a Agência Câmara de Notícias, a proposta mais recente que é o PL2451/2020, de autoria do deputado Geninho Zuiliane (DEM-SP), está sendo analisada pela Câmara dos Deputados, e torna o reúso da água obrigatório – exceto para o consumo humano – em cidades para as quais a lei exija plano diretor, sendo

optativo nas demais. Um dos objetivos, segundo o texto, é destinar a água de reúso para atividades que aceitem usos menos exigentes, priorizando a oferta de água potável para o consumo humano e aumentando a eficiência do uso da água em todos os setores da sociedade (SOUZA, 2020).

Percebe-se que os Projetos de Lei sobre reúso de água, trazem propostas significativas para a gestão dos Recursos Hídricos, no entanto, como até o devido momento nenhuma lei foi sancionada no âmbito Federal que normatize a prática desse recurso, se faz necessário perscrutar diretrizes e regulamentos que possam nortear os diversos estudos sobre o reúso de água no País.

A legislação brasileira não prevê a água de reúso para fins potáveis, mesmo com um tratamento adequado, e isso inclui irrigações que exigem uma água de melhor qualidade, como a rega de hortas que se consome cru. A Norma ABNT NBR 13969/97 é a principal legislação referente ao reúso de água do País, além de abordar sobre o tratamento e destino dos resíduos líquidos, permite o uso para algumas plantações, como arroz, trigo e café, com as respectivas ressalvas de cessão de uso antes da colheita.

A Resolução 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), complementada e alterada pela Resolução CONAMA nº 430/2011, é um aporte para muitas pesquisas, pois, estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes nos corpos hídricos, o que indica parâmetro para a qualidade do efluente que pode servir para o reúso. Já a Resolução nº 54 de 28 de novembro de 2005, estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso não potável de água, o que foi complementado pela Resolução nº 121/2010, também do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), para modalidade agrícola e florestal, porém, não são considerados, pela maioria dos estudos, como um documento de parâmetros e padrões flexíveis para a realidade do País (OLIVEIRA, 2019).

O Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (PROSAB), no ano de 2006, elaborou diretrizes para o uso de esgotos sanitários na agricultura, urbano e na piscicultura, dispostos no Quadro 10. Tais parâmetros, servem de referência para muitos estudos, por estarem de acordo com as recomendações da OMS, serem mais flexíveis do ponto de vista de possibilitar a adoção de diferentes tecnologias para o tratamento de efluentes, sem incorrer riscos para o meio ambiente e para a

saúde, e que se adequa melhor as diversas realidades do Brasil, (FLORENCIO, 2006).

Quadro 10 - Diretrizes do PROSAB para o uso de esgotos sanitários na agricultura, urbano e na piscicultura

Para uso no setor agrícola			
Categoria	Cter/100m(L) ⁽³⁾	ovos helmintos/L ⁽⁴⁾	Observações
Irrigação Irrestrita ⁽¹⁾	$\leq 1 \times 10^3$	≤ 1	$\leq 1 \times 10^4$ CTer / 100mL no caso de irrigação por gotejamento de culturas que se desenvolvem distantes do nível do solo ou técnicas hidropônicas em que o contato com a parte comestível da planta seja minimizado
Irrigação Restrita ⁽²⁾	$\leq 1 \times 10^4$	≤ 1	$\leq 1 \times 10^5$ CTer / 100mL no caso da existência de barreiras adicionais de proteção ao trabalhador ⁽⁵⁾ . É facultado o uso de efluentes (primários e secundários) de técnicas de tratamento com reduzida capacidade de remoção de patógenos, desde que associado à irrigação subsuperficial ⁽⁶⁾
<p>O padrão de qualidade de efluentes expresso apenas em termos de coliformes termotolerantes e ovos de helmintos aplicam-se ao emprego de sistemas de tratamento por lagoas e por disposição no solo. Admite-se que nesses sistemas a remoção de (oo)cistos de protozoários é indicada pela remoção de ovos de helmintos. No caso de filtração terciária a turbidez deve ser utilizada como parâmetro indicador da remoção de protozoários. Para a irrigação irrestrita recomenda-se um padrão de turbidez < 5 uT. Além disso, em sistemas que incluam a desinfecção deve-se recorrer aos parâmetros de controle da desinfecção (residual desinfetante e tempo de contato) necessários ao alcance do padrão estipulado para coliformes termotolerantes e para a remoção efetiva de vírus. (1) Irrigação superficial ou por aspersão de qualquer cultura, ou cultivo hidropônico, inclusive culturas alimentícias consumidas cruas. (2) Irrigação superficial ou por aspersão ou cultivo hidropônico de qualquer cultura não ingerida crua, inclui culturas alimentícias e não alimentícias, forrageiras, pastagens e árvores. (3) Coliformes termotolerantes: média geométrica durante o período de irrigação, alternativa e preferencialmente pode-se determinar E.coli. (4) Nematóides intestinais humanos: média aritmética durante o período de irrigação (5) Barreiras adicionais de proteção encontradas em agricultura de elevado nível tecnológico, incluindo o emprego de irrigação localizada e equipamentos de proteção individual. Exclui-se desta nota a irrigação de pastagens e forrageiras destinadas à alimentação animal. (6) Neste caso não se aplicam os limites estipulados de coliformes e ovos de helmintos, sendo a qualidade do efluente uma consequência das técnicas de tratamento empregadas</p>			
Para uso no setor urbano			
Categoria	Cter/100m(L)	ovos helmintos/L	Observações
Usos Irrestritos	≤ 200	≤ 1	Irrigação (campos de esporte, parques, jardins e cemitérios, etc) e usos ornamentais e paisagísticos em áreas com acesso irrestrito ao público, limpeza de ruas e outros usos com exposição similar.
			Irrigação (parques, canteiros de

Usos Restritos	$\leq 1 \times 10^4$	≤ 1	rodovias, <i>etc.</i>) e usos ornamentais e paisagísticos em áreas com acesso controlado ou restrito ao público, abatimento de poeira em estradas vicinais, usos na construção (compactação do solo, abatimento de poeira, <i>etc.</i>).	
Uso predial	$\leq 1 \times 10^3$	≤ 1	Descarga de toaletes	
Para uso na piscicultura⁽¹⁾				
Ponto de amostragem	Cter/100m(L)	ovos helmintos/L		
		Nematóides intestinais humanos	Trematóides	
Afluente ao tanque	$\leq 1 \times 10^4$	≤ 1	ND	
No tanque	$\leq 1 \times 10^3$	≤ 1	ND	
(1) Para o uso do esgoto tratado em piscicultura não há padrão explícito de DBO, DQO e SST, sendo as concentrações efluentes uma consequência das técnicas de tratamento compatíveis com a qualidade microbiológica estipulada. Entretanto, recomendam-se taxas de aplicação superficial nos tanques de piscicultura da ordem de 10-20kg DBO/ha.d e 4kgN/ha.d. Deve-se observar que a amônia livre é tóxica aos peixes em níveis superiores a 2-5 mgNH ₃ /L				

Fonte: BASTOS *et al*, 2014

De acordo com o Portal Tratamento de Água apenas três Estados brasileiros possuem alguma regulamentação ou política que discipline e incentive o reúso direto de água não potável: São Paulo, Ceará e Minas Gerais (ALADYR, 2022).

A Lei Nº 16.174 de 22 de abril de 2015 do município de São Paulo 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. Complementado pela Resolução conjunta da Secretaria de Estado da Saúde (SES), da Secretaria de Meio Ambiente (SMA) e da Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos (SSRH) do Estado de São Paulo nº 1, de 28 de junho de 2017 que disciplina o reúso direto não potável de água, para fins urbanos, proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário.

No Estado do Ceará existe a Lei nº 16.033 de 20 de junho de 2016 que dispõe sobre a política de Reúso de água não potável e a Resolução do Conselho Estadual de Meio Ambiente (Coema) nº 2, de 2 de fevereiro de 2017, que dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por

fontes poluidoras, e que também é considerada uma referência por ter parâmetros e padrões flexíveis e possibilitar a adoção de diversas tecnologias de tratamento dentro da realidade do Brasil (OLIVEIRA, 2019).

No estado de Minas Gerais através da Deliberação Normativa CERH-MG nº 65 de 18 de junho de 2020, o governo estabeleceu modalidades específicas em que podem ser utilizados recursos hídricos oriundos do reúso, como fins urbanos e industriais, além de também estabelecer padrões de qualidade e diretrizes de monitoramento (ALADYR, 2022).

É importante aclarar que a distribuição hídrica no Brasil é mal distribuída de forma que mesmo com abundância hídrica em algumas regiões essa pode ser momentânea, uma vez que as condições climáticas somada a falta de gestão e regulação da água, pode acarretar escassez desse recurso em todo país, o que é um desafio para a governança pública da água em elaborar estratégias de distribuição justa entre os usuários (SILVA, 2021).

Diferentemente de outros países que encontram no reúso alternativa para a escassez e preservação das reservas hídricas, no Brasil ainda não há uma política nacional que institucionalize essa prática, sendo essas desenvolvidas em projetos estaduais e municipais, os quais estão cada vez mais se difundindo, porém, sem um monitoramento adequado, e uma legislação específica que institua essa prática, com regulação do setor e parâmetros que se enquadre nos diversos múltiplos de uso com os devidos tratamentos, e cuidados a saúde e ao meio ambiente.

De acordo com WWAP (2017)

Para alcançar um marco regulatório eficaz, é imprescindível que a autoridade responsável possua conhecimentos técnicos e de gestão adequados, atue com independência e possua poderes necessários para a execução de normas e diretrizes. A transparência e a disponibilidade de acesso às informações promovem a aceitação, pois geram confiança nos usuários quanto aos processos de aplicação e fiscalização.

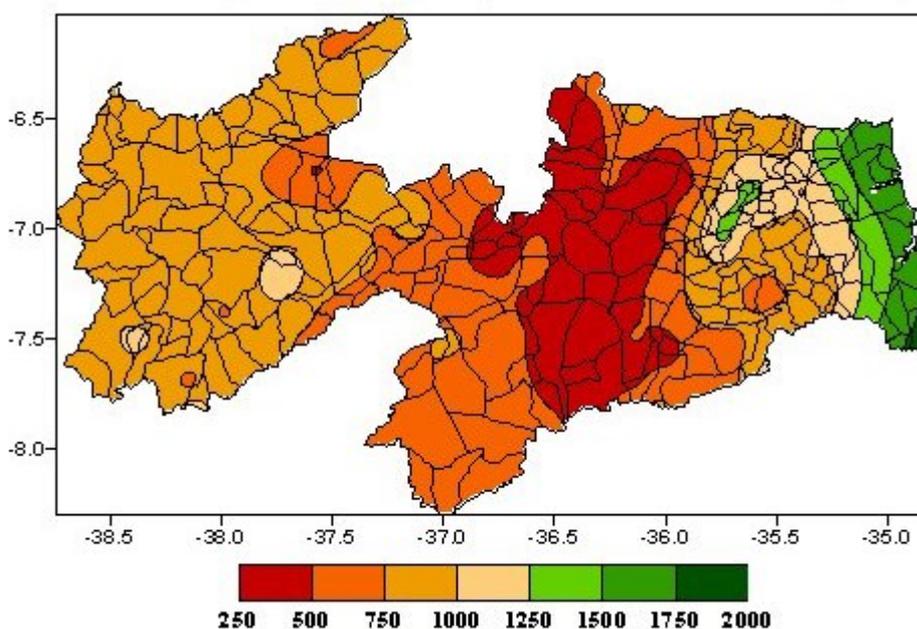
Regulamentar o reúso de água no Brasil é também criar diretrizes educativas que incentivem as pessoas a essa prática, assegurando-as de uma qualidade de efluente que não cause riscos à saúde pública e nem ao meio ambiente. A crise hídrica é uma realidade no Brasil e as práticas de reúso precisam ser regulamentadas e melhor introduzidas nos comitês de Bacia, por se tratar de uma prática sustentável capaz de atender aos anseios da agenda 2030.

4 METODOLOGIA

4.1 ÁREA E TIPO DE ESTUDO²

O estado da Paraíba possui aproximadamente 56.000km² e cerca de 90% deste território está na região semiárida, onde na Borborema e em parte do Sertão, o clima é semiárido, local onde predomina o chamado Polígono das Secas. A oeste, as massas de ar úmidas deixam o clima na região quente e semiúmido com o predomínio de chuvas de verão (EBBESEN, 2016). Na Figura 7 é possível observar a média de precipitação anual no Estado.

Figura 7 - Mapa da Média de Precipitação Anual acumulada no Estado da Paraíba (mm)



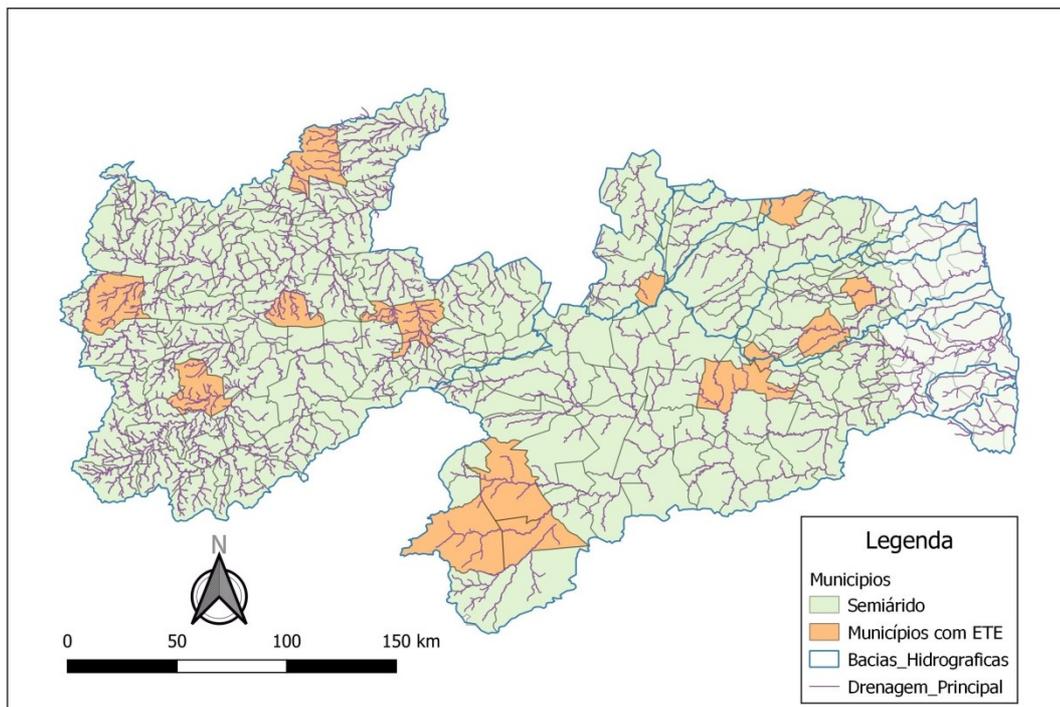
Fonte: AESA, 2016

O Semiárido Paraibano é formado por 194 municípios que juntos somam uma população total de 2.494.777 habitantes (IBGE, 2019), o equivalente a 62% de todo Estado. De acordo com dados do SNIS, em 2019 a população atendida nesta região com esgotamento sanitário era de 643.585 habitantes, sendo 497.674 atendidos

² Dados da SUDENE antes da Resolução 150/2021

com sistemas de esgotamento operados pela CAGEPA, pois apenas 14 municípios têm ETEs operadas pela prestadora, conforme Figura 8.

Figura 8 - Mapa do Estado da Paraíba com a demarcação da área de estudo



Fonte: Própria autora, 2021

A área de estudo abrange 14 municípios: (Alagoa Grande, Araruna, Cajazeiras, Cajazeirinhas, Camalaú, Campina Grande, Catolé do Rocha, Cubati, Guarabira, Itaporanga, Lagoa Seca, Monteiro, Patos e Sumé). Esses municípios são os únicos do Semiárido Paraibano que tem Estação de Tratamento de Esgotos operada pela CAGEPA.

O estudo consiste em uma pesquisa analítica descritiva, cuja valorização está baseada na premissa que os problemas podem ser resolvidos e as práticas podem ser melhoradas através de descrição e análise de observações objetivas e diretas. Segundo Gil (2008), esse tipo de pesquisa caracteriza-se por hipóteses especulativas que não especificam relações de causalidade, todavia o aspecto analítico envolve o estudo e avaliação aprofundados de informações disponíveis na tentativa de explicar o contexto de um fenômeno. Para tanto, a revisão bibliográfica

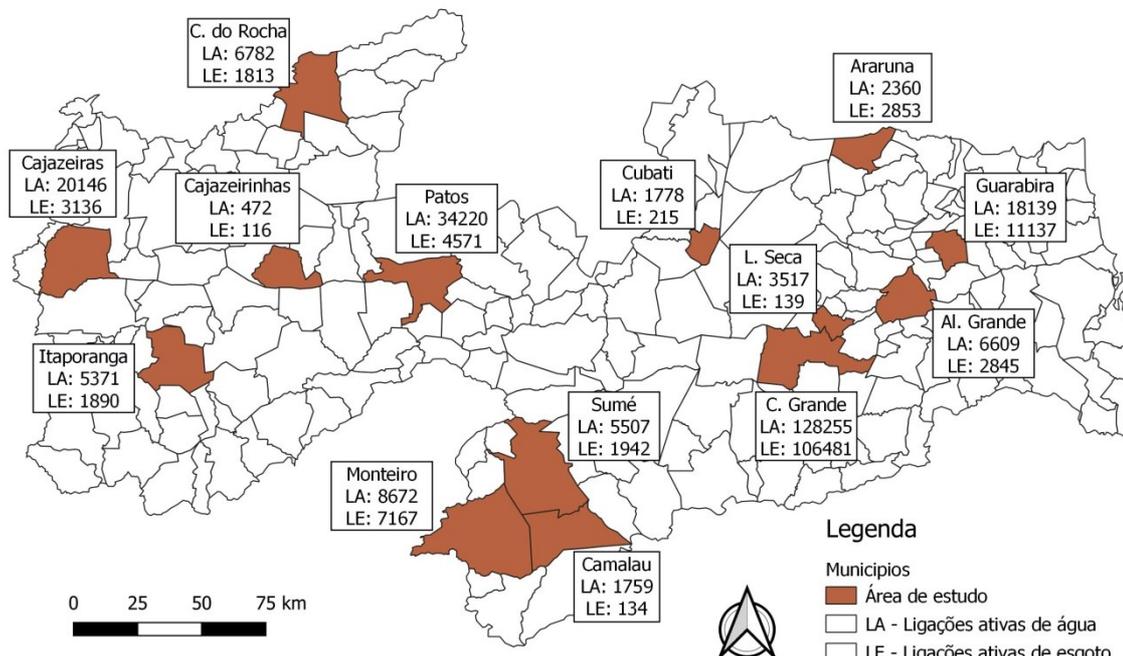
versou sobre os conceitos e avanços do reúso de efluentes tratados e sua aplicabilidade nos diversos setores produtivos, bem como, trouxe apontamentos sobre a situação do saneamento básico, os índices de coleta e tratamento de esgotos, na perspectiva de atender aos anseios da Agenda 2030 e levantou informações bibliométricas para estimativa do potencial de reúso de efluentes tratados para irrigação na agricultura periurbana.

4.1.1 Características do Saneamento da área de estudo

O Semiárido Paraibano é formado por 194 municípios que juntos somam uma população total de 2.494.777 habitantes (IBGE, 2019). Com base nos dados do SNIS (2019), a população total atendida com abastecimento de água nessa região é de 1.687.048, e 643.585 atendida com esgotamento sanitário, isso significa dizer que 870.655 pessoas não têm atendimento com abastecimento de água e mais de 1,8 milhões sem esgoto sanitário, fazendo com que mais da metade da população desta região não tenha acesso ao saneamento básico. O sistema de esgotamento sanitário do Semiárido Paraibano é em sua maioria, operados pelos municípios ou pelos Serviços Autônomos de Água e Esgoto (SAAE), em diversas cidades, não há coleta e nem tratamento adequado deste esgoto, muitos são canalizados em galerias e despejados em rios, solos, ou armazenados em canais a céu aberto.

A área de estudo, soma uma população total de 836.902, onde 92,7% são atendidas com abastecimento de água, com um total de 243.587 ligações ativas, e 59,5% com esgotamento sanitário, com um total de 144.439 ligações ativas, segundo dados do SNIS (2019) e descritos na Figura 9.

Figura 9 - Mapa Semiárido Paraibano de ligações ativas de água e esgoto.

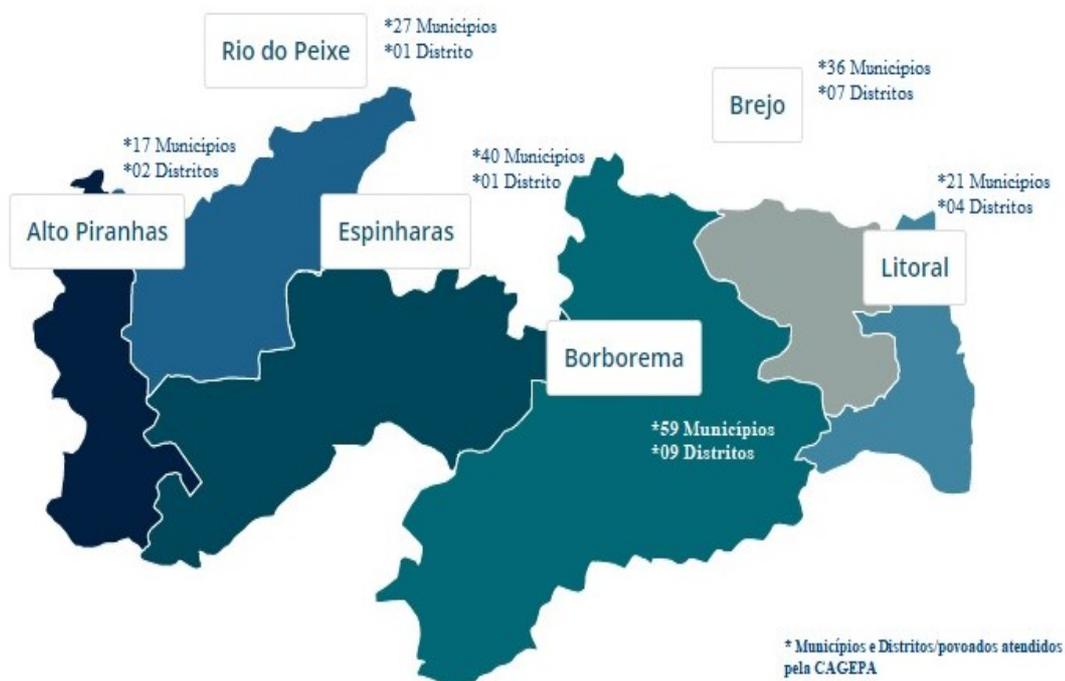


Fonte: Própria autora, 2021

4.1.2 A CAGEPA e as ETE's do Semiárido Paraibano

A CAGEPA é uma empresa de economia mista por ações, de capital fechado e autorizado, constituída mediante autorização da Lei Estadual nº 3.459 de 31 de dezembro de 1966, alterado pela Lei nº 3.762 de 11 de dezembro de 1972, tem como sócio majoritário o Governo do Estado da Paraíba, o qual detém 99,95% de seu capital social (BERNARDINO, 2018. CAGEPA, 2020). A concessionária está vinculada à Secretaria de Estado da Infraestrutura, dos Recursos Hídricos e Meio Ambiente (SEIRMA), e atua em pelo menos 200 cidades sedes de municípios e 24 distritos e povoados no Estado da Paraíba, subdividindo-se em regionais, conforme mapa descrito na Figura 10.

Figura 10 - Mapa dos regionais de atuação da CAGEPA



Fonte: Adaptado do Site da CAGEPA, 2021

Com o novo marco do saneamento básico Lei 14.026/2020, o Governo do Estado da Paraíba através da Lei Complementar nº168/2021 instalou as microrregiões de água e esgoto do Alto Piranhas, Espinharas, Borborema e Litoral, com isso, a concessionária inicia um processo de reestruturação para atender a universalização do saneamento no Estado.

De acordo com o Relatório da administração e de sustentabilidade publicado pela CAGEPA, em 2019, a empresa atendeu 2.789.463 pessoas com abastecimento de água e 1.177.816 com serviço de esgoto. Na Tabela 2 estão dispostos o número de ligações de água e esgoto e os volumes faturados com variação entre os anos de 2018 e 2019, onde percebe-se que o sistema de esgotamento sanitário não teve evoluções significativas quando comparado ao sistema de abastecimento de água.

Tabela 2 - Dados de ligação e volume faturado de água e esgoto no ano de 2019.

Número de Ligações			
Ligações	Dez/2018	Dez/2019	Variação
Água	863.687	919.161	6,42%
Esgotos	298.395	303.211	1,61%
Total de Ligações de Água e Esgoto	1.162.082	1.222.372	5,19%
Volume Faturado			
Volume Faturado	2018	2019	Variação
(em 1000m³)			
Água	142.892	152.006	6,38%
Esgotos	58.725	56.455	- 3,87%
Total de Volume Faturado de Água e Esgoto	201.617	208.461	3,39%

Fonte: Relatório administrativo da CAGEPA, 2019

A companhia tem como objetivo: planejar, executar e operar serviços de saneamento básico em todo o território do Estado da Paraíba, compreendendo a captação, adução, tratamento e distribuição de água e coleta, tratamento e disposição final dos esgotos, comercializando esses serviços e os benefícios que direta ou indiretamente decorrerem de seus empreendimentos, bem como quaisquer outras atividades correlatas ou afins (CAGEPA, 2019).

Em 2019, haviam 22 cidades com esgotamento sanitário de responsabilidade da CAGEPA, com ETEs ativas, sendo 14 localizadas no Semiárido. Neste mesmo ano, apenas três municípios do Semiárido receberam investimentos da empresa em sistema de esgotamento sanitário: Araruna, Areia e Caiçara, somando um valor total de R\$1.022.755,50, essas duas últimas ainda se encontram em fase de planejamento para implantação do sistema (SNIS, 2019)

As ETEs operadas pela CAGEPA têm o objetivo de reintegrar o efluente tratado ao meio ambiente, seguindo os padrões estabelecidos pelo CONAMA 357. O tipo de ETE mais utilizado no Semiárido Paraibano é a lagoa anaeróbia e facultativa que corresponde a 41% de um total de 17 ETEs que estão em operação nessa região.

4.2 ARRANJOS DO SISTEMA E CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS E DE TRATAMENTO

No Quadro 11 estão relacionadas as cidades do Semiárido com a descrição dos 17 sistemas (ETEs) operadas pela CAGEPA. Para cada sistema, foi fornecido relatório mensal dos ensaios físico-químicos e bacteriológico para o período de janeiro a dezembro de 2019.

Quadro 11 - Relação e Descrição das ETEs

SISTEMAS	Tipos de ETEs	Ponto de descarga
ALAGOA GRANDE	01 lagoa facultativa	Rio Mamanguape
ARARUNA	01 lagoa anaeróbia e facultativa	Matias/Riacho Calabouços
CAJAZEIRAS	01 lagoa anaeróbia e facultativa	Riacho Belo Horizonte
CAJAZEIRINHAS	01 facultativa e 01 maturação	Riacho Camaragibe
CAMALAU	01 tanque anaeróbia e 01 facultativa	Riacho sem nome
CAMPINA GRANDE ETE Catingueira/Caiçara	02 lagoas anaeróbias, 04 facultativas e 02 de maturação	Riacho de Bodocongó
CAMPINA GRANDE ETE da Glória	01 lagoa anaeróbia e facultativa	Riacho de Bodocongó
CAMPINA GRANDE ETE de S.J.da Mata	01 lagoa anaeróbia e facultativa	Riacho de Bodocongó
CATOLE DO ROCHA	02 lagoas anaeróbias e 01 facultativa	Riacho Correntes/Piranhas
CUBATI	01 tanque anaeróbia e 01 facultativa	Riacho Botija
GUARABIRA	02 lagoas anaeróbias e 02 facultativas	Rio Guarabira
ITAPORANGA	02 lagoas facultativas	Rio Piancó
LAGOA SECA	Filtro biológico	Riacho Lagoa Seca
MONTEIRO	02 lagoas anaeróbias, 02 facultativas e 01 facultativa com maturação	Rio São José
PATOS - ETE	02 lagoas aeradas	Rio Espinharas
PATOS-ETE-Itatiunga	Filtro biológico	Córrego afluente Rio da Cruz
SUME	02 lagoas anaeróbias e 01 facultativa	Rio Sucurú

Fonte: CAGEPA, 2020

Os dados dos sistemas foram solicitados a Gerência de Controle da Qualidade (GECQ) da CAGEPA, através do ofício de nº001/2020 protocolado sob nº F1220-32648. A GECQ forneceu os relatórios padrão da empresa, analisados no Laboratório de Análise e Monitoramento de Efluentes da CAGEPA (LAMEC) com data e hora de cada coleta e 14 parâmetros medidos desde o esgoto bruto até a jusante do corpo receptor, que são: Temperatura (campo), Potencial Hidrogeniônico (pH), Condutividade Elétrica (CE), Temperatura (efluente), Sólidos Sedimentáveis, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Oxigênio Dissolvido (OD), Nitrogênio Amoniacal, Fósforo Total, Sólidos Totais (ST), Totais fixos, Totais Voláteis e Coliformes Termotolerantes.

A vazão fornecida pela GECQ para cada ETE, foi calculada com base no valor *per capita* de geração de esgoto adotado na elaboração dos projetos de sistemas de abastecimentos de água para se projetar o sistema de esgotos, considerando o seguinte cálculo:

$$150\text{L hab}^{-1} \times 365 = 54,75 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1} \text{ hab}^{-1}$$

Tal valor pode ser considerado elevado para a realidade do Semiárido, o que justifica os sistemas estarem operando com folga de vazão e terem capacidade para receber um grande número de ligações à rede. Os dados básicos estimados sobre a coleta e tratamento de esgotos de cada sistema em operação estão dispostos no Tabela 3, ressalta-se que as cidades que possuem mais de uma ETE, foram consideradas como um sistema no cálculo da vazão.

Tabela 3 - Dados sobre coleta e tratamento de esgotos da área de estudo

Cidade	Volume de Esgoto coletado (m ³ ano ⁻¹)	Volume de Esgoto tratado (m ³ ano ⁻¹)	População Atendida (habitantes)	Vazão de Esgotos tratados (L s ⁻¹)
Alagoa Grande	559.181	559.181	10.213	17,73
Araruna	578.514	578.514	10.566	18,34
Cajazeiras	770.218	770.218	14.068	24,42
Cajazeirinhas	13.004	13.004	238	0,41
Camalaú	16.749	16.749	306	0,53
Campina Grande	21.143.689	21.143.689	386.186	670,46
Catolé do Rocha	504.740	504.740	9.219	16,01
Cubati	39.533	39.533	722	1,25
Guarabira	2.125.088	2.125.088	38.814	67,39
Itaporanga	375.870	375.870	6.865	11,92
Lagoa Seca	27.625	27.625	505	0,88
Monteiro	1.323.527	1.323.527	24.174	41,97
Patos	921.403	921.403	16.829	29,22
Sumé*	284.097	284.097	5.189	9,01

*Cálculo com base no SNIS 2019 (considerando 54,75 m³ano⁻¹habitante⁻¹)

Fonte: CAGEPA, 2020

Para a escolha das ETEs foram considerados os sistemas com vazão que possa garantir a prática do reúso, e a qualidade dos efluentes com parâmetros dentro dos padrões estabelecidos nas diretrizes do PROSAB, uma vez que o Brasil ainda não regulou o reúso a nível federal e o Estado da Paraíba também não possui nenhuma Portaria nesse sentido.

Foi criado um banco de dados no Microsoft Office Excel com os relatórios dos ensaios físico-químicos e bacteriológicos de cada ETE, em seguida, numa planilha única foram compilados apenas os dados referentes aos efluentes tratados, aqueles que foram coletados antes do lançamento nos corpos hídricos, de janeiro a dezembro de 2019.

A partir dos dados obtidos, foi realizada análise descritiva para possibilitar a visualização do período de maiores e menores variações dos indicadores em cada sistema, de modo a relacionar os valores mínimos, máximos e médios. Cada variável foi analisada conforme recomendações para o reúso na agricultura irrigada, seguindo as diretrizes do PROSAB (FLORENCIO *et al.*, 2006).

No tocante ao cálculo para quantificar o potencial de reúso dos efluentes, este se deu a partir das relação entre as vazões obtidas em cada ETE com a demanda de irrigação de $12.000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Essa demanda foi obtida considerando irrigar 240 dias no ano com ETc de 4 mm dia^{-1} e eficiência de 80%. Dessa relação foram obtidos as potenciais áreas de atendimento, tomando como referência as áreas de lavouras permanentes mapeadas no banco de dados do IBGE no ano de 2019. Os dados foram dispostos em uma planilha com o percentual de atendimento em cada município, e a partir daí, extraiu-se as ETEs que apresentaram maior potencial de reúso para irrigação.

5 RESULTADOS

5.1 LEVANTAMENTO DOS DADOS DAS ETES E ANÁLISE DOS PARÂMETROS

Dos relatórios enviados pela CAGEPA, verificou-se a ausência de dados continuados em alguns sistemas, o que de acordo com a GECQ, foram falhas pontuais na coleta dessas amostras e envio para o laboratório em tempo hábil, todavia, pela média dos parâmetros monitorados pela concessionária, percebe-se que a qualidade dos efluentes desde o esgoto bruto até o lançamento no corpo receptor, estão dentro dos padrões estabelecidos pelo CONAMA 357 e 430.

Os valores mínimos, máximos e médios compilados dos relatórios dos ensaios físico-químicos e bacteriológicos de cada sistema, estão dispostos na Tabela 4, e foram analisados em conformidade com os padrões estabelecidos no PROSAB para o reúso em irrigação. Verificou-se que as condições climáticas, o tipo de ETE, e a falta de padronização e frequência das análises entre cada sistema alterou de forma significativa os resultados esperados, de modo que com os resultados obtidos, para atingir a qualidade exigida de alguns parâmetros será necessário um tratamento adicional dos efluentes, conforme descrito na análise de cada parâmetro.

De acordo com as Diretrizes do PROSAB para reúso urbano e agrícola de esgoto tratado não há restrição de DBO, DQO e SST, sendo as concentrações dos efluentes uma consequência das técnicas de tratamento compatíveis com a qualidade microbiológica estipulada (FLORENCIO *et al*, 2006). E como o objetivo desta pesquisa é de quantificar o potencial de efluentes para o reúso na agricultura, esses parâmetros foram analisados como um subsídio para direcionar o tipo de cultura que pode ser irrigada com vista nos custos adicionais de tratamento.

Tabela 4 - Valores mínimos, máximos e médios dos indicadores físico-químicos e bacteriológicos analisados.

Sistemas	Valores	pH	CE	DBO	DQO	OD	NH3	P	ST	CTT
			$\mu\text{S cm}^{-1}$	mg L ⁻¹						
Alagoa Grande	Mínimos	7,5	828,0	26,3	113,5	0,2	7,6	5,0	591,0	1,3E+05
	Máximos	8,9	1.104,0	37,0	243,2	5,4	17,5	8,0	851,0	1,3E+06
	Médios	8,3	955,9	33,4	163,1	3,5	11,4	6,2	742,0	6,1E+05
Araruna	Mínimos	6,8	1.637,0	39,4	217,9	1,3	27,4	15,0	1078,0	2,8E+04
	Máximos	8,2	3.990,0	200,9	364,6	6,8	164,8	17,5	1534,0	3,4E+06
	Médios	7,6	2.382,1	114,3	263,7	3,0	78,8	16,3	1279,9	8,7E+05
Cajazeiras	Mínimos	7,4	727,0	24,5	62,2	2,0	8,0	2,0	528,0	1,1E+04
	Máximos	8,2	1.065,0	68,0	394,8	7,9	19,8	5,7	756,0	1,8E+05
	Médios	7,7	892,8	42,5	153,0	4,2	12,7	3,7	658,0	5,8E+04
Cajazeirinhas	Mínimos	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
	Máximos	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
	Médios	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Camalaú	Mínimos	7,3	1.159,0	39,6	85,1	0,0	NR	NR	732,0	9,1E+05
	Máximos	7,6	1.361,0	83,1	205,4	0,6	NR	NR	1169,0	2,4E+06
	Médios	7,4	1.255,7	63,4	150,4	0,2	56,2	9,0	881,3	1,4E+06
C. Grande Catingueira	Mínimos	7,6	1.325,0	18,2	24,8	2,4	34,0	6,0	690,0	4,2E+01
	Máximos	8,3	1.513,0	62,6	143,3	5,4	51,6	9,4	842,0	5,4E+04
	Médios	7,9	1.385,5	44,3	54,5	3,9	41,7	7,3	752,7	6,3E+03
C. Grande Glória	Mínimos	7,0	1.103,0	20,9	37,8	0,0	5,2	4,2	698,0	1,0E+03
	Máximos	8,3	1.513,0	62,6	143,3	5,4	51,6	9,4	842,0	5,4E+04
	Médios	8,3	1.233,9	34,6	94,3	4,2	9,5	5,5	837,3	4,2E+04
C. Grande S. J. Mata	Mínimos	7,5	993,0	24,4	20,9	0,8	22,5	4,6	575,0	5,0E+01
	Máximos	8,7	1.545,0	65,5	120,5	11,1	39,9	8,0	954,0	1,0E+06
	Médios	8,1	1.401,5	44,2	61,1	4,0	30,3	6,3	835,4	1,1E+05
Catolé do Rocha	Mínimos	7,3	1.057,0	17,8	16,4	0,3	24,6	4,0	444,0	7,0E+02
	Máximos	8,2	1.362,0	63,3	225,5	6,6	58,5	8,4	916,0	3,6E+05
	Médios	7,8	1.233,4	33,0	95,4	1,7	37,3	6,1	716,5	1,4E+05
Cubati	Mínimos	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI
	Máximos	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI
	Médios	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI
Guarabira	Mínimos	7,4	1.031,0	57,4	76,9	0,2	43,1	5,7	734,0	1,5E+05
	Máximos	8,0	1.720,0	116,9	319,1	1,5	51,8	7,6	1.165,0	2,4E+06
	Médios	7,6	1.455,5	79,9	184,2	0,8	47,5	6,7	894,4	6,3E+05
Itaporanga	Mínimos	7,6	508,0	21,0	72,6	3,8	0,7	2,4	440,0	6,5E+02
	Máximos	9,6	945,0	53,4	277,4	12,1	17,9	5,7	753,0	3,0E+06
	Médios	8,2	775,6	40,5	188,5	7,3	11,9	4,1	619,5	3,6E+05
L Seca	Mínimos	6,9	840,0	39,0	18,0	NR	32,4	3,7	443,0	1,0E+06
	Máximos	7,1	1.724,0	128,2	236,9	NR	63,6	5,7	1081,0	4,5E+06
	Médios	7,0	1.357,2	58,5	64,1	NR	47,5	4,7	684,4	2,8E+06
Monteiro	Mínimos	7,6	1.440,0	22,3	67,2	0,1	48,1	7,4	444,0	4,0E+02
	Máximos	8,4	2.250,0	116,2	227,8	3,6	68,4	13,4	1346,0	9,0E+04
	Médios	7,9	1.852,5	54,4	120,9	2,1	58,8	9,7	971,5	1,9E+04
Patos I	Mínimos	7,2	1.755,0	21,1	24,9	2,3	7,0	4,6	987,0	5,6E+04
	Máximos	8,1	2.280,0	177,9	403,3	11,1	75,0	10,6	1438,0	1,8E+06
	Médios	7,8	2.052,2	71,6	179,1	4,5	51,6	8,0	1159,2	5,3E+05

Patos Itatiunga	Mínimos	6,8	1.250,0	41,5	90,2	0,4	23,5	1,2	541,0	1,5E+06
	Máximos	7,3	1.730,0	108,8	182,1	1,3	119,4	12,1	1028,0	1,2E+07
	Médios	7,0	1.558,2	59,8	107,8	0,2	94,8	8,9	664,0	6,4E+06
Sumé	Mínimos	7,5	1.022,0	23,9	56,2	0,1	15,2	4,8	668,0	1,1E+04
	Máximos	8,3	1.471,0	70,8	187,8	2,9	48,0	7,4	2029,0	9,7E+05
	Médios	7,9	1.278,4	48,5	126,9	2,2	36,2	6,2	884,8	2,1E+05
Média Geral		7,8	1.423,94	61,2	148,1	3,3	40,4	7,1	866,9	1,2E+06

pH: Potencial Hidrogeniônico, CE: Condutividade Elétrica, DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio, DQO: Demanda Química de Oxigênio, OD: Oxigênio Dissolvido, NH₃: Nitrogênio Amoniacal, P: Fósforo Total, ST: Sólidos Totais, CTT: Coliformes Termotolerantes. NR: Não Realizado, NI: Não informado.

Fonte: CAGEPA (2019)

5.1.1 pH

O potencial Hidrogeniônico (pH) é um indicativo sobre a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água (SPERLIN, 2005). A faixa de pH adequado à irrigação está entre 6,5 e 8,4, fora dessa faixa, os efluentes podem causar desequilíbrios nutricionais às plantas (FUGITA, 2018), uma vez que ele controla a solubidade dos nutrientes do solo exercendo influência sobre a absorção dos mesmos pelas plantas (CAIXETA, 2010).

Quatro sistemas apresentaram pH acima de 8,4: Alagoa Grande nos meses de maio, julho e agosto; Campina Grande (Glória) em março, maio, junho e julho; Campina Grande (São José da Mata) em janeiro e novembro; e Itaporanga nos meses de março, abril, maio, novembro e dezembro. Alguns fatores tais como: tipo de ETE, precipitação pluviométrica e adição complementar de tratamento com produtos químicos, podem ter influenciado no aumento do pH nestes períodos (FÁVARO, 2018).

Nenhum sistema apresentou pH abaixo de 6,5, e mesmo o efluente não ter se apresentado como neutro, todos os demais sistemas apresentaram pH dentro da faixa para reúso.

5.1.2 Condutividade Elétrica (CE)

A condutividade elétrica está relacionada ao teor de concentração de sais solúveis ou salinidade que indica a presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em ânions e cátions, sendo, por consequência, diretamente proporcional à concentração iônica (LACERDA *et al*, 2016). A salinidade é preocupante na agricultura irrigada pois pode afetar no crescimento das plantas e provocar estresse

hídrico, portanto é um dos fatores importantes para determinar a adequação do efluente para a irrigação (PEREIRA *et al.*, 2024).

Valores compreendidos entre 0,7 e 3,0 dS/m (700 e 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) são considerados dentro da faixa de salinidade como moderado, e em quase todos os casos se adequa ao cultivo de plantas moderadamente tolerante aos sais, sem necessidade de práticas especiais de controle de salinidade (HOLANDA *et al.*, 2016).

Observa-se que somente o sistema de Araruna no mês de novembro apresentou um valor máximo de 3990 $\mu\text{S}/\text{cm}$, período também de menor precipitação pluviométrica na região, atingindo apenas 0,5 mm (AESAs, 2019). Neste caso, o reúso do efluente deve ser evitado ou dado o tratamento adequado para não causar a salinização do solo. Nos demais sistemas onde foram coletados as amostras, os efluentes estão dentro da faixa moderada, e assim em condições para o reúso agrícola.

5.1.3 DBO_{5,20}

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), é um fator indicativo para o desempenho das ETEs, e importante para medir a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica biodegradável (ANA, 2020).

O valor máximo permitido pelo CONAMA 430/11 para lançamentos de efluentes em corpo receptor, é de 120 mgL^{-1} – o sistema de Araruna apresentou entre os meses de agosto a novembro valores superiores a esse – fato que está diretamente relacionado ao tipo de ETE que é uma lagoa facultativa, com índice de remoção de DBO de 74%, e aos aspectos climáticos, onde é possível verificar que foi o período com menor precipitação nessa região.

As ETEs com melhor desempenho de remoção de DBO foram as do sistema de Alagoa Grande e Itaporanga, todos os valores obtidos nas amostras estão entre 30 a 60 mgL^{-1} , que são valores máximos determinados pela USEPA e pela Portaria nº154/2002/SEMACE, para uma irrigação e uso urbano, nos demais sistemas os valores oscilaram a cada mês, todavia em todos eles os valores mínimos para a DBO estão abaixo de 60 mgL^{-1} .

Assim, a depender do tipo de cultura a ser irrigada, e dos instrumentos utilizados para a irrigação, se faz necessário um tratamento adicional adequado para aumentar a eficiência de remoção da matéria orgânica e obter uma qualidade melhor

do efluente nos períodos onde a DBO apresentou valores acima de 60 mgL^{-1} , considerando como padrão para o reúso a Portaria do Estado do Ceará.

5.1.4 DQO

A Demanda Química de Oxigênio (DQO) é um parâmetro importante e muito utilizado para caracterizar a qualidade dos efluentes e a eficiência das ETEs, pois estima o potencial poluidor dos efluentes através do oxigênio consumido por materiais e substâncias orgânicas (AZEVEDO, 2022). A Portaria nº154/2002/SEMACE do Estado do Ceará determinou como padrão o valor máximo de 200 mgL^{-1} para a DQO nos efluentes tratados para o reúso.

Com base nesse padrão, apesar da PROSAB não restringir diretamente valores de DQO para um reúso na agricultura, somente os sistemas de Campina Grande, Patos Itatiunga e o de Sumé apresentaram em todas as amostras coletadas valores abaixo de 200 mgL^{-1} . O sistema de Araruna apresentou valores superior ao padrão em todos os meses, o que significa que não houve eficiência na remoção de DQO, o que pode ter sido causado por falta de manutenção da ETE. Nos demais sistemas, os valores variaram com meses pontuais acima do padrão, e com exceção de Araruna, todos apresentaram bons resultados com médias que ficaram abaixo de 200 mgL^{-1} .

5.1.5 Oxigênio Dissolvido (OD)

O oxigênio Dissolvido (OD), é um parâmetro que mede a eficiência do tratamento do efluente, uma vez que as bactérias só estabilizam a matéria orgânica por oxidação (NIVETEC, 2019). De acordo com Rosa (2018), concentrações de OD menor que a concentração de saturação indica presença de matéria orgânica, caracterizando poluição e influenciando na qualidade estética do efluente por acarretar mau cheiro.

A Resolução CONAMA 357 estabelece o valor mínimo de OD igual a 5 mgL^{-1} para lançamento nos corpos hídricos com vista na preservação do meio aquático, todavia, o processo de nitrificação pode ser alcançado com OD entre 3 e 4 mgL^{-1} . Valores $\geq 2,0 \text{ mgL}^{-1}$ estão dentro do padrão para uma prática de reúso agrícola.

O sistema de Guarabira apresentou valor abaixo de 2 mgL^{-1} em todas as amostras, o sistema de Patos Itatiunga só analisou esse parâmetro no mês de

dezembro cujo valor foi igual a $1,3 \text{ mgL}^{-1}$, e nos demais sistemas com OD medido, os valores médios estão acima de 2 mgL^{-1} sendo possível encontrar valores mínimos inferior a este padrão, o que não inviabiliza a prática do reúso, mas requer cuidados necessários no manuseio e no tipo de cultivo a ser aplicado devido aos possíveis odores que o efluente pode provocar.

5.1.6 Nitrogênio Amoniacal ($\text{NH}_3 - \text{N}$)

O nitrogênio amoniacal é um poluente tóxico comum nos esgotos domésticos em frações de 12 a 50 mgL^{-1} (CAIXETA, 2010). A Resolução CONAMA 397/2008 estabeleceu no seu artigo 1º que este parâmetro não seria aplicável em sistemas de tratamento de esgoto sanitário, todavia, para um reúso em irrigação agrícola se faz necessário a remoção parcial do nitrogênio, embora, estudos comprovam que as lagoas de estabilização tem eficiência de até 90% na remoção da amônia (ALMEIDA, 2017).

Os sistemas com menor valor de $\text{NH}_3 - \text{N}$ (abaixo de 20 mgL^{-1}) foram: Alagoa Grande, Cajazeiras, Campina Grande Catingueira, Campina Grande Glória e Itaporanga, verifica-se que foram ETEs que também apresentaram valores satisfatórios para a DBO, e embora não tenha sido informado dados continuados deste parâmetro em todos os sistemas, é possível verificar que o sistema de Araruna apresentou o pior resultado para a remoção de $\text{NH}_3\text{-N}$, exigindo assim tratamentos adicionais como cloração para melhor qualidade do efluente para o reúso agrícola.

5.1.7 Fósforo Total (P)

O fósforo total é um parâmetro importante para a agricultura por ser nutriente essencial para o desenvolvimento das plantas, pois desempenha papel fundamental na formação de Trifosfato de adenosina, principal fonte de energia para o processo de fotossíntese (SANTOS, 2020).

Para Quevedo (2017), a contribuição das diferentes frações de fósforo nos esgotos domésticos é variável de acordo com as condições socioeconômicas de cada localidade, de modo geral no Brasil, a faixa de concentração típica é entre 5,0 a $20,0 \text{ mgL}^{-1}$. Estudo feito pela PROSAB numa concentração de 5 a 10 mgPL^{-1} com

uma demanda de irrigação típica da região semiárida de 1000 a 2000 mm.ano⁻¹ evidenciou uma aplicação de nutrientes de 50 a 200 kg.ha⁻¹ (MOTA, 2009). Todavia, vale ressaltar que altas concentrações de fósforo podem reduzir a qualidade da água e inviabilizar o seu uso.

Os estudos desenvolvidos pela PROSAB estabelecem como padrão para a concentração de Fósforo Total para o reúso agrícola a relação com a DQO na proporção de P/DQO, onde concentrações favoráveis encontram-se inferior a 1. Em todos os sistemas medidos os valores estão dentro do padrão estabelecido, o que significa dizer que o efluente possui um aporte de nutrientes que as plantas e solos necessitam, diminuindo ou eliminando o uso de fertilizantes sintéticos fosfatados (BRITO *et al*, 2014).

5.1.8 Sólidos Totais (ST)

A alta concentração de sólidos totais (fixos e voláteis) pode provocar entupimento no sistema de irrigação, além de provocar riscos a saúde e alterações na capacidade de infiltração do efluente no solo, devido a formação de crostas superficiais que influenciam na eficiência de remoção da matéria (LOUGON, 2019).

Os valores compreendidos entre 450 e 2000 mgL⁻¹ estão dentro do padrão para uma irrigação restrita (ALBORNOZ, 2015), das amostras analisadas a soma dos totais fixos e voláteis apresentaram valores dentro dessa faixa em todos os sistemas, todavia, é imperioso destacar que quanto menor o valor obtido melhor a eficiência de remoção da ETE, logo, o sistema de Araruna foi o que apresentou os maiores valores acima de 1000 mgL⁻¹.

5.1.9 Coliformes Termotolerantes (CTT)

Para as diretrizes do PROSAB, um dos parâmetros mais significativos para irrigação periurbana são os coliformes termotolerantes, que devem alcançar valores ≤ 1000 C/ 100mL⁻¹ para uma irrigação irrestrita. Das amostras analisadas, pelo menos seis sistemas apresentaram valores mínimos dentro desta faixa: Monteiro, Itaporanga, Catolé do Rocha, Campina Grande São José da Mata, Campina Grande Glória e Campina Grande Catingueira. Se a forma de irrigação for por gotejamento que se desenvolve distante do nível do solo podem ser considerados valores \leq

10000 C/ 100mL⁻¹, o que aumenta o número de sistemas que se encontram com valores dentro dessa faixa e portanto com qualidade para uma irrigação irrestrita.

A maioria dos sistemas apresentaram médias com valores acima de 10⁵ e portanto satisfazem uma irrigação restrita desde que aplicadas barreiras adicionais de proteção para os trabalhadores (BASTOS, 2009).

O sistema de Campina Grande Catingueira foi o que apresentou os melhores valores para uma irrigação irrestrita, e o sistema de Patos Itatiunga o que apresentou os maiores valores para os Coliformes Termotolerantes, chegando a ter valor máximo na ordem de 10⁷.

No tocante a análise de E-coli e ovos de helmintos, a CAGEPA não faz a análise desses parâmetros uma vez que o objetivo da concessionária é tratar o efluente de modo que esteja dentro dos padrões estabelecidos pelas legislações para o lançamento nos corpos hídricos, todavia, estudos comprovam que elevados TDH nas lagoas de estabilização por um período médio de 20 dias ocasiona a remoção dos ovos de helmintos, pelo fato dos mesmos não sobreviverem mais que este período em lagoas facultativas e de maturação (CAIXETA, 2010).

5.2 Escolha dos sistemas e avaliação do potencial de reúso

No sistema de Cajazeirinhas não foi coletado nenhuma amostra para análise, pois conforme informado pela GECQ, a ETE não atingiu sua carga plena por não acumular esgotos na unidade de tratamento suficientes para atingir o nível de operação capaz de produzir efluentes, o mesmo aconteceu com o sistema de Camalaú, onde só foram analisados as amostras por três meses, e como não havia esgoto vertendo para o corpo receptor, tornou-se indispensável a análise da qualidade desses efluentes para a concessionária.

Os sistemas de Cubati e Lagoa Seca também não atingiram sua carga plena e funcionam com folga de vazão, todavia, os efluentes tratados apresentaram qualidades satisfatórias para o reúso na irrigação, o que poderá ocorrer, embora com um baixo percentual de atendimento.

Nas cidades que possuem mais de uma ETE como Campina Grande e Patos, não foi possível obter dados da vazão de cada sistema, tendo a CAGEPA fornecido o valor da vazão em função do número de habitantes, o que representa uma projeção de valor para o município como um todo.

Assim, das catorze cidades saneadas e operadas pela CAGEPA, pelo menos dez possuem potencial para irrigar áreas com mais de 10 hectares, conforme descrito na Tabela 5, onde estão dispostos valores das áreas de lavoura temporária cadastradas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) no ano de 2019, como comparativo para o percentual de atendimento da água de reúso e alternativa para ser utilizado nessas lavouras. A área máxima atendida foi calculada com base numa demanda de irrigação de $12.000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, valor estimado considerando irrigar 240 dias no ano com ETc de 4 mm dia e eficiência de 80%.

Tabela 5 - Potencial de reúso para irrigação em cidades paraibanas com ETE da CAGEPA

Cidade	Vazão média da ETE (L s^{-1})	Área de lavoura temporária (ha)	Área máxima atendida (ha)	Percentual de atendimento (%)
Alagoa Grande	17,73	5.518,00	46,60	0,84
Araruna	18,34	3.525,00	48,20	1,36
Cajazeiras	24,42	476,00	64,18	13,48
Campina Grande	670,46	3.302,00	1.761,97	53,36
Catolé do Rocha	16,01	608,00	42,07	6,92
Cubati	1,25	1.160,00	3,29	0,28
Guarabira	67,39	820,00	177,10	21,60
Itaporanga	11,92	2.000,00	31,33	1,57
Lagoa Seca	0,88	1.414,00	2,31	0,16
Monteiro	41,97	2.849,00	110,30	3,87
Patos	29,22	849,00	76,80	9,04
Sumé	9,01	1.703,00	23,68	1,40
TOTAL	908,60	24.224,00	2387,83	9,86

Fonte: Autora

A ETE com maior potencial de reúso é a de Campina Grande, se considerado um único sistema, seguida de Guarabira e Monteiro, nessas ETEs os parâmetros físico-químicos e bacteriológicos também apresentaram valores satisfatórios para uma irrigação periurbana.

Conforme pode ser verificado na Tabela 5, a área total de lavoura temporária nas cidades com condições para o reúso dos efluentes é cerca de 24.224,00 ha, e os efluentes gerados nas ETEs operadas pela CAGEPA podem irrigar 9,86% desse total, o que representa $908,59 \text{ L s}^{-1}$, que atualmente é servido por água de melhor qualidade, a qual poderia ser reservada para usos mais nobres como para abastecimento humano. Esse volume por exemplo, poderia abastecer cerca de 523 habitantes com um *per capita* de 150 L s^{-1} .

Vale salientar que o estudo de uma prática de reúso com esses efluentes deve ser feito de forma individual, em cada sistema, uma vez que para estimar o potencial de reúso em relação a uma área irrigada, alguns fatores devem ser considerados como: qualidade e quantidade do efluente para a escolha do tipo de cultura, tipo de irrigação a ser utilizado e melhor custo benefício em relação a distância, transporte e adicionais de tratamento para atingir o padrão necessário (CRUVINEL, 2021).

6 CONCLUSÃO

As Estações de Tratamento de Esgotos operadas pela CAGEPA no Semiárido Paraibano, em Cajazeirinhas, Camalaú, Cubati e Lagoa Seca não tem vazão suficiente para a prática de reúso. As ETEs de Cajazeirinhas e Cubati não foram coletados nenhuma amostra de efluente durante o ano de 2019 e a ETE de Camalaú foi cessado a coleta em virtude de não conseguir gerar efluentes suficientes para o corpo receptor. Essas ETEs não conseguem verter efluentes suficientes para manter uma segurança hídrica para uma irrigação.

O efluente tratado na ETE de Araruna não apresentou valores satisfatórios na maioria dos parâmetros analisados, o que significa dizer, que para a reutilização desse efluente na irrigação, mesmo que de forma restrita, se faz necessário tratamentos específicos, o que pode ter um custo elevado a depender do cultivo a ser irrigado.

Verifica-se que 64,3% das ETEs operadas pela CAGEPA no Semiárido Paraibano tem potencial para reúso em irrigação periurbana, com qualidade e quantidade considerável para irrigar uma área de lavoura permanente, além desses sistemas estarem localizados em áreas periurbanas, podendo beneficiar os produtores dessa localidade.

Vale ressaltar que o estudo foi realizado em apenas 7,21% dos municípios do Semiárido Paraibano, o que não representa todo o potencial que essa região pode proporcionar e recomenda-se a ampliação dessa pesquisa em sistemas monitorados por prefeituras e/ou serviços autônomos de água e esgotos (SAAE), bem como, a avaliação do reúso para os diferentes cultivos irrigados, tais como: capim elefante e palma forrageira que são bastante cultivadas no semiárido paraibano.

REFERÊNCIAS

AESA. **Monitoramento dos últimos volumes informados dos açudes da Paraíba**. João Pessoa: AESA, 2019. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/monitoramento>. Acesso em: 11 ago. 2021.

AESA. **Meteorologia – chuvas – gráficos**. João Pessoa: AESA, 2019. Disponível em: http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas-grafico/?id_municipio=14&date_chart=2019-12-31&period=year. Acesso em: 11 ago.2021.

ALADYR. Apenas três estados brasileiros possuem regulamentação para o reúso de água. **Portal Tratamento de Água**. São Paulo: ALADYR, 2022. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/apenas-tres-estados-brasileiros-possuem-regulamentacao-reuso-agua/>. Acesso em: 29 mar. 2022.

ALMEIDA, Anderson Ruan Gomes de. **Remoção de matéria orgânica e calibração de um modelo de remoção de amônia em uma série de lagoas de estabilização em escala real**. Orientador: Fernando José Araújo da Silva. 2017. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

ALBORNOZ, Loid Lauer. **Estudo de caso: Avaliação da eficiência de uma estação de tratamento de efluentes de um campus universitário**. Orientador: Isabel Cristina Tessaro. 2015. 45 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/127733/000970373.pdf?sequence=1>. acesso em: 19 dez. 2020.

ALVES, L.L.B. *et al.* Growth of cumaru (*Amburana cearensis*) seedlings irrigated with industrial effluent. Título traduzido: Crescimento de mudas de cumaru (*Amburana cearensis*) irrigadas com efluente industrial In: **Environmental Science and Pollution Research**. 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-021-13273-2>. Acesso em 10 jun. 2021.

ANA. **Atlas Esgotos: Despoluição das Bacias Hidrográficas**. Brasília: ANA, 2017. Disponível em: <http://atlasesgotos.ana.gov.br/>. Acesso em: 18 jan. 2021.

ANA. **Atlas Irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Brasília: ANA, 2021. Disponível em: <https://portal1.snirh.gov.br/ana/apps/storymaps/stories/a874e62f27544c6a986da1702a911c6b>. Acesso em: 15 mai. 2021.

ARAÚJO, Nélon. Água de esgoto tratada serve para cultivar palma e irrigar pasto no RN. **Globo Rural**, Florânia, RN, ano 2016, 13 nov. 2016. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/agronegocios/globo-rural/noticia/2016/11/agua-de-esgoto-tratada-serve-para-cultivar-palma-e-irrigar-pasto-no-rn.html>. Acesso em: 11 jan. 2021.

AZEVEDO, Julia. O que é Demanda Química de Oxigênio?. In: Ecycle. **Ecycle**. São Paulo, 5 jan. 2021. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/demanda-quimica-de-oxigenio/>. Acesso em: 18 abr. 2021.

BARROS, R. Conheça a história do Saneamento Básico e Tratamento de Água e Esgoto. In: **EOS Organização e Sistemas LTDA**, Mato Grosso do Sul, 2019. Disponível em: <https://www.eosconsultores.com.br/historia-saneamento-basico-e-tratamento-de-agua-e-esgoto/>. Acesso em: 08 fev. 2021.

BASTOS, R.K.X. *et al.* Subsídios à regulamentação do reúso da água no Brasil. In: **Revista DAE**, edição 177, n.122, 2008. Disponível em: http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_177_n_122.pdf. Acesso em 20 ago. 2021.

BEM FILHO, P. M. do. Reúso de água e potenciais riscos à saúde humana. Instituto de Educação Tecnológica (IETEC). In: **Revista Techoje** (s.d), artigo 154, Belo Horizonte. Disponível em: http://www.techoje.com.br/site/techoje/categoria/detalhe_artigo/154. Acesso em: 14 fev. 2022.

BEN MORDECHAY, E. *et. al.* Pharmaceuticals in edible crops irrigated with reclaimed wastewater: Evidence from a large survey in Israel.2021. In: **ScienceDirect**. v. 416. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389421011481>. Acesso em: 20 mar. 2021.

BERNARDINO, L.M. **Programas sociais da CAGEPA**: um olhar sobre a Tarifa Social. 2018. 28f. Trabalho de Conclusão de Curso (Administração Pública) – Universidade Estadual da Paraíba, João Pessoa, 2018.

BEZERRA, K.C.H. *et al.* Reuse of water from real reactive monochromic and trichromic wastewater for new cotton dyes after efficient treatment using H₂O₂ catalyzed by UV light. In: **ScienceDirect**. Journal of Environmental Chemical Engineering, Volume 9, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343721007089>. Acesso em: 22 jan. 2022.

BRASIL. Câmara dos Deputados. **Projeto de Lei nº2451 de 06 de maio de 2020**. (Em Tramitação). Apensado ao PL 2629/2019. Dispõe sobre o reúso de água para fins não potáveis em novas edificações públicas federais e privadas residenciais,

comerciais e industriais, e dá outras providências. São Paulo, SP: Câmara dos Deputados, 2020. Disponível em:

<https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2251907>. Acesso em: 15 jun. 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução nº54 de 28 de novembro de 2005**. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água, e dá outras providências. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2005. Disponível em: <https://cnrh.mdr.gov.br/reuso-de-agua-recursos-hidricos/37-resolucao-n-54-de-28-de-novembro-de-2005/file>. Acesso em: 15 nov. 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução nº357 de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2005. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=2747>. Acesso em: 15 nov. 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução nº121 de 16 de dezembro de 2010**. Estabelece diretrizes e critérios para a prática de reuso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal, definida na Resolução CNRH nº 54, de 28 de novembro de 2005. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2010. Disponível em: <https://www.ceivap.org.br/ligislacao/Resolucoes-CNRH/Resolucao-CNRH%20121.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Lei nº 14.026 de 15 de julho de 2020**. Atualiza o Marco Legal do Saneamento Básico e dá outras providências. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2020. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm. Acesso em: 18 jan. 2021.

BRASIL. Secretaria Especial de Circulação Social. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Objetivo 6 – Água potável e saneamento. Brasília, DF: Secretaria Especial de Circulação Social. Disponível em: <https://odsbrasil.gov.br/objetivo/objetivo?n=6>. Acesso em: 18 jan. 2021.

BRASIL NETO, R.M. et.al. Evaluation of the TRMM product for monitoring drought over Paraíba State, northeastern Brazil: a trend analysis. 2021. Título traduzido: Avaliação do produto TRMM para monitoramento da seca no Estado da Paraíba, Nordeste do Brasil: uma análise de tendências. 2021. In: **Scientific Reports** nº 11, artigo 1097. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-020-80026-5>. Acesso em: 17 dez. 2021.

BRITO, A.A.F. de. et.al. Teores de nutrientes em plantas de arroz vermelho irrigado com água residuária doméstica. In: **Revista Irriga**, v.1, n.1, 2014. Botucatu, p.1-10. BRK AMBIENTAL. **Crise hídrica**: entenda as principais causas da escassez da água. Conteúdo foi produzido com base na entrevista realizada com Marcia Greco. 2020. Disponível em: <https://blog.brkambiental.com.br/escassez-de-agua/>. Acesso em 11 ago. 2021.

BURAKOV, I.A. *et al.* Development of a system of energy technological processing of coal deposits for energy and other industries. Título traduzido: Desenvolvimento de um sistema de processamento tecnológico de energia de depósitos de carvão para energia e outras indústrias. In: **IOPScience**, Journal of Physics: Conference Series, Volume 1683, 2020. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1683/4/042080>. Acesso em: 15 nov. 2021.

CABRAL, T. Reuso da água e sua importância. 2021. In: **SuaPesquisa.com**. Disponível em: https://www.suapesquisa.com/ecologiasaude/reuso_agua.htm. Acesso em 20 maio 2021.

CAGEPA. **Apresentação**. Disponível em: <https://www.cagepa.pb.gov.br/institucional/apresentacao/>. Acesso em 30 maio 2021.

CAGEPA. MAPA. Situação do abastecimento dos municípios. **Webgis**. (acesso entranet). Disponível em <http://webgis.cagepa.pb.gov.br/mapa/>. Acesso em: 11 de ago. de 2021.

CAGEPA. **Relatório da Administração e da Sustentabilidade 2019**. Disponível em: <https://www.cagepa.pb.gov.br/wp-content/uploads/2020/05/Relat%C3%B3rio-da-Administra%C3%A7%C3%A3o-e-de-Sustentabilidade-e-Balan%C3%A7o-2019.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2021.

CAIXETA, C.E.T. **Avaliação do atual potencial de reuso de água no Estado do Ceará e propostas para um sistema de gestão**. 2010. 323f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

CEARÁ. SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE. Lei Estadual Nº 16.033 de 20 de junho de 2016. **Dispõe sobre a Política de Reúso de água não Potável no Âmbito do Estado do Ceará**. Disponível em: <http://www.mpce.mp.br/wp-content/uploads/2015/12/Lei-Estadual-n%C2%BA16.033-2016-Disp%C3%B5e-sobre-a-Pol%C3%ADtica-de-Re%C3%BAso-de-%C3%81gua-N%C3%A3o-ot%C3%A1vel-no-Estado-do-Cear%C3%A1.pdf>. Acesso em: 03 de jan. 2021.

CEARÁ, Conselho Estadual do Meio Ambiente . COEMA. Resolução Nº 02 de Fevereiro de 2017. **Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras**. Disponível em:

<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=337973>>Resolução COEMA Nº 02 de 02/02/2017. Acesso em: 03 de jan. 2021.

CEBDS. Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável. Você sabe o que é água de reuso? In: **Sustentável Blog**, 2019. Disponível em: <https://cebds.org/voce-sabe-o-que-e-agua-de-reuso/#.YtCa1HbMLIV> Acesso em: 18 dez. 2020.

COELHO JÚNIOR, L. M. *et. al.* Avaliação do uso do solo e dos recursos florestais no semiárido do Estado da Paraíba. **Ciência Florestal**, 2020, v.30, n.01. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/30381> Acesso em: 21 jun.2021.

CRUVINEL, K.A.S. *et. al.* Reúso de água a partir de efluentes de estações de tratamento de esgotos para irrigação de pastagens na bacia hidrográfica do Rio Meia Ponte. In: **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**, 2021, v.9, n.2, p.126-140. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/gesta/article/view/43856/25052> Acesso em: 20 dez. 2021.

CRUZ, Fernanda. Esgoto tratado favorece agricultura e poupa água para consumo, mostra estudo. In: EBC. **AGÊNCIA BRASIL**. Brasília, 27 mai. 2015. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2015-07/esgoto-tratado-favorece-agricultura-e-poupa-agua-para-consumo-mostra-estudo>. Acesso em: 10 fev. 2021.

DATASUS - Banco de Dados do Sistema Único de Saúde (2017) In: **Ministério da Saúde**. Índice de mortalidade por desnutrição. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?sih/cnv/niuf.def>. Acesso em: 30 de dez. de 2020.

EBBESEN, L. Clima da Paraíba. In: **InfoEscola**. Disponível em: <https://www.infoescola.com/geografia/clima-da-paraiba/> Acesso em: 15 abr. 2021.

ESTADÃO. Projeto pioneiro: água de reúso alimenta gado no semiárido nordestino. In: **Uol Notícias**. São Paulo: 2015. Disponível em: <https://noticias.uol.com.br/ultimas-noticias/agencia-estado/2015/09/03/agua-de-reuso-alimenta-gado-no-semiarido.htm> Acesso em: 22 jan. 2022.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2016. In: **AQUASTAT database**. Disponível em: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html> Acesso em: 11 ago. 2021.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). Reutilización de Aguas para Agricultura en América Latina y el Caribe: Estado, Principios y Necesidades; **FAO**: Santiago, Chile, 2017. ISBN: 978-92-5-309906-1

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). Disponível em:

<https://www.fao.org/aquastat/statistics/query/index.html;jsessionid=D3B40F88437C7533A1B8BF00A093DE08>. Acesso em: 28 jul. 2022.

FARIAS, Thiago da Silva. **Rodovias das Águas: Uma Análise Espacial da Operação Pipa no Semiárido Paraibano**. 2018. 81 f. Monografia (Bacharelado em Geografia) – Departamento de Geociências, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018. Disponível em:

<https://www.ufpb.br/legat/contents/documentos/tccs/tcc-thiago.pdf>. Acesso em: 15 de dez. de 2020.

FÁVARO, Ana Luiza. pH você sabe para que serve este monitoramento em sua ETE? **Acqua Expert**. Engenharia Ambiental. São Paulo, 23 jul. 2018. Disponível em: <https://acquaexpert.com.br/voce-sabe-para-que-serve-o-monitoramento-do-ph-na-sua-ete/>. Acesso em: 24 set. 2021.

FERRERO, G.O. *et al.* Biodiesel production from alternative raw materials using a heterogeneous low ordered biosilicified enzyme as biocatalyst. 2021. Título traduzido: Produção de biodiesel a partir de matérias-primas alternativas usando uma enzima biosilicificada heterogênea de baixa ordem como biocatalizador. In: **BMC Springer Nature**. Artigo n. 67. Disponível em:

<https://biotechnologyforbiofuels.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13068-021-01917-x> Acesso em: 11 ago. 2021.

FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, p.427, 2006.

FUGITA, S. R. **Fundamentos do controle de poluição das águas**. São Paulo: CETESB, 2018, p.220.

GASPAR, G .; BEZERRA, FM; MOTA, FS. CITRONELLA (CYMBOPOGON WINTERIANUS). Desenvolvimento irrigado com resíduos domésticos tratados e água de abastecimento. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)** , v. 55, n. 1, pág. 145-157, 8 maio 2020.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOUVEIA, A. R. **Manual de uso e manutenção – Sistema de Bioágua – Projeto Enel Compartilha Infraestrutura**: Bioágua Familiar. Salvador: BNDES, 2019, 31p.

GRECO, Marcia. Crise hídrica: entenda as principais causas da escassez da água. **BRK Ambiental**, 2020. Disponível em: <https://blog.brkambiental.com.br/escassez-de-agua/>. Acesso em: 11 de ago. de 2021.

HOLANDA, J. S. *et al.* Qualidade da água para irrigação. **Manejo da Salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados**. 2. ed. Fortaleza. 2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativas da População Semiárido Brasileiro**. Disponível em:

<https://www.ibge.gov.br/busca.html?searchword=semi%C3%A1rido+>. Acesso em: 28 de dez. de 2020.

IDOETA, P.A.; BARIFOUSE, R. Como 5 cidades do mundo estão combatendo a falta d'água. 2017. In: BBC News Brasil. Disponível em:

<https://www.bbc.com/portuguese/internacional-39351153> Acesso em: 10 jan. 2021.

IERVOLINO, L.F. Lagoas de estabilização. In: **Portal Tratamento de Água**. 2019. Disponível em: [https://tratamentodeagua.com.br/artigo/lagoas-estabilizacao/#:~:text=As%20lagoas%20podem%20ser%20classificadas,anaer%C3%B3bios\)%3B%20aer%C3%B3bios%3B%20e%20matura%C3%A7%C3%A3o](https://tratamentodeagua.com.br/artigo/lagoas-estabilizacao/#:~:text=As%20lagoas%20podem%20ser%20classificadas,anaer%C3%B3bios)%3B%20aer%C3%B3bios%3B%20e%20matura%C3%A7%C3%A3o) Acesso em: 18 jan. 2021.

INTERAGUAS. **Produto III – Critérios de Qualidade de água. Elaboração de Proposta do Plano de Ações para Instituir uma Política de Reúso de Efluente Sanitário Tratado no Brasil**. Ministério das Cidades e Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura – IICA Acordo de Empréstimo N° 8074-BR – Banco Mundial. 2017.

IPEA. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. 6. Água potável e saneamento. 2019. Disponível em:

[https://www.ipea.gov.br/ods/ods6.html#:~:text=%22Acesso%20a%20saneamento%20e%20higiene,em%20situa%C3%A7%C3%A3o%20de%20vulnerabilidade\)%22.&text=2\)%20Saneamento%20\(sanitation\)%3A%20disponibilidade,de%20fezes%20e%20urina%20humanas](https://www.ipea.gov.br/ods/ods6.html#:~:text=%22Acesso%20a%20saneamento%20e%20higiene,em%20situa%C3%A7%C3%A3o%20de%20vulnerabilidade)%22.&text=2)%20Saneamento%20(sanitation)%3A%20disponibilidade,de%20fezes%20e%20urina%20humanas) Acesso em: 18 jan. 2021.

IWAKI, G. P. Reúso de água: Tipos, processos específicos e contaminantes. 2015.

In: **Portal Tratamento de Água**. Disponível em:

<https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/reuso-de-agua-tipos-processos-especificos-e-contaminantes/> Acesso em: 19 out. 2020.

KAFRUNI, S. País retrocede 13 anos em desperdício de água potável, diz Trata Brasil. 2020. In: **Correio Braziliense**. Disponível em:

<https://www.correio braziliense.com.br/brasil/2020/12/4895063-pais-retrocede-13-anos-em-desperdicio-de-agua-potavel-diz-trata-brasil.html> Acesso em: 15 fev. 2021.

KUBLER, H. *et al.* **Elaboração de proposta do plano de ações para instituir uma política de reúso de efluente sanitário tratado no Brasil**. Produto II –

Experiências de reúso. Ministério das Cidades e IICA. 2016, p.55-61. Disponível em:

https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/interaguas/reuso/produto2_e_xperiencias_de_reuso.pdf Acesso em: 15 fev. 2021.

LACERDA, A. B. *et al.* **A condutividade da água como indicador de eficiência do processo de eletrodialise**. 2016. Universidade Feevale. p. 4-8. Disponível em: <https://www.feevale.br/Comum/midias/cf4b2667-6d56-47f5-a1f0-620884ce2606/Engenharias.pdf> Acesso em: 15 out. 2021.

LARA, R. Caro e mortal: como seria se toda a água doce do mundo fosse poluída? 2021. In: **Tilt UOL**. Disponível em: <https://www.uol.com.br/tilt/noticias/redacao/2021/05/11/caro-e-mortal-como-seria-se-toda-a-agua-doce-do-mundo-fosse-poluida.htm> Acesso em: 10 jan. 2022.

LEITE, A. C. ODS: Ideias de ações voluntárias para cada objetivo. 2017. In: **Blog Voluntariado Empresarial**. Disponível em: <https://voluntariadoempresarial.com.br/ods-ideias-de-acoes-voluntarias/> Acesso em: 18 jan. 2021.

LETRAS AMBIENTAIS. **10 lições dos países líderes em gestão sustentável das águas**. 2018. Disponível em: <https://www.letrasambientais.org.br/posts/10-licoes-dos-paises-lideres-em-gestao-sustentavel-das-aguas> Acesso em 20 nov. 2020.

LI, Y. *et al.* Constructed wetland treatment of source separated washing wastewater in rural areas of southern China. 2021. In: **ScienceDirect**, v. 272. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383586621004378> Acesso em 20 nov. 2021.

LIMA, E.P. de; ARAGÃO, H. G. Avaliação do potencial de reúso agropecuário dos efluentes de estações de tratamento de esgoto da Embasa, situadas no semiárido Baiano. **Portal Tratamento de água**. São Paulo, 27 set. 2018. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/artigo/reuso-agropecuario-efluentes/>. Acesso em: 19 out. 2020.

LOUGON, M.S. *et al.* Caracterização dos sólidos totais, fixos e voláteis nas águas residuárias geradas pela lavagem dos frutos do cafeeiro. 2009. In: **XIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IX Encontro Latino Americano de Pós-Graduação**. Universidade do Vale do Paraíba. Disponível em: http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2009/anais/arquivos/RE_0142_1112_01.pdf Acesso: 20 jan. 2022.

MACHADO, Paulo Afonso da Mata. SP: Projeto Aquapolo, projeto de produção de água de reúso, transforma esgoto tratado em água industrial. **EcoDebate**. Rio de Janeiro, 25 abr. 2019. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2019/04/25/sp-projeto-aquapolo-projeto-de-producao-de-agua-de-reuso-transforma-esgoto-tratado-em-agua-industrial-por-paulo-afonso-da-mata-machado/>. Acesso em: 15 nov. 2020.

MARQUES, Flávia. Conheça as Etapas do Processo de Tratamento de Efluentes: Você conhece as etapas de tratamento de efluentes?. **ACQUASOLUTION. ACQUABLOG**. São Paulo, 2020. Disponível em:

<https://acquablog.acquasolution.com/etapas-do-processo-de-tratamento-de-efluentes/>. Acesso em: 18 mai. 2021.

MATEO-SAGASTA, Javier. Reutilización de Aguas para Agricultura en América Latina y el Caribe: Estado, Principios y Necesidades; FAO: Santiago, Chile, 2017. ISBN: 978-92-5-309906-1

MAURICIO, Talis. Um terço dos rios do planeta está poluído, aponta novo estudo da ONU. *In*: Sistema Globo de rádio. **CBN Meio Ambiente**. São Paulo, 22 mar. 2017. Disponível em: <https://cbn.globoradio.globo.com/editorias/meio-ambiente/2017/03/22/UM-TERCO-DOS-RIOS-DO-PLANETA-ESTA-POLUIDO-APONTA-NOVO-ESTUDO-DA-ONU.htm>. Acesso em: 21 mar. 2021.

MEDEIROS, Alexandre Magno Teodosio de; BRITO, Antônio Cavalcanti de. A seca no Estado da Paraíba–Impactos e ações de resiliência. **Parcerias Estratégicas**, v. 22, n. 44, p. 139-154, Seção 3. Brasília, 2017.

MEJIA, Mishelle; MELO, Marília Carvalho; SANTOS, Ana Silvia Pereira. Instrumento de um novo modelo de gestão das águas. **Águas do Brasil**. REBOB. Piracicaba. São Paulo, 14 jan. 2020. Disponível em: <https://aguasdobrasil.org/artigo/reuso/>. Acesso em: 27 dez. 2021.

MELO, L. P. Os benefícios da agricultura urbana e periurbana para a sustentabilidade da cidade de Macapá-AP. *In*: **Anais do 7º Congresso Luso-Brasileiro para o planejamento urbano, regional, integrado e sustentável-Contrastes, Contradições e Complexidades**. Maceió: Brasil. Paper.

MERCANTIL, Monitor. Brasileiro gasta mais da metade da renda com alimentação. **Monitor Mercantil**. Rio de Janeiro, 12 jun. 2019. Disponível em: <https://monitormercantil.com.br/brasileiro-gasta-mais-da-metade-da-renda-com-alimentacao/>. Acesso em: 28 de dez. de 2020.

MOREIRA, Cicera Cilene Bezerra. **Potencial de reúso agrícola de efluentes líquidos gerados na estação de tratamento de água no Município de Várzea Alegre - CE**. 2020. Dissertação (Mestrado em Gestão e Regulação em Recursos Hídricos – PROFÁGUA). Universidade Federal de Campina Grande, Sumé, 2020. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/handle/riufcg/15429>. Acesso em: 05 de nov. de 2020.

MOTA, F.S.B.; VON SPERLING, M. **Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção**. Projeto PROSAB 5, vol.2. Rio de Janeiro: ABES, 2009, 430p.

NEPOMUCENO, P. G.; SILVA, K. K. B. Cultivo da cenoura (*Daucus carota*) com efluente doméstico tratado. **XXVII Congresso ABES FENASAN 2017**. São Paulo expo. II – 223. <https://www.tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2019/06/II-223.pdf>

NITOLLO, Miguel. O futuro no ralo do desperdício: Consumo excessivo, uso indevido e falta de cuidado comprometem fornecimento de água. **EcoDebate**. In: Entrevista Revista Problemas Brasileiros, nº394. Rio de Janeiro, 13 jul. 2009. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2009/07/13/o-futuro-no-ralo-do-desperdicio-consumo-excessivo-uso-indevido-e-falta-de-cuidado-comprometem-fornecimento-de-agua/>. Acesso em: 28 de dez. de 2020.

NIVETEC. Análise de Oxigênio Dissolvido em Estações de Tratamento de Efluentes. **NIVETEC**. Releases Técnicos. São Paulo, 25 mar. 2019. Disponível em: <https://www.nivetec.com.br/analise-de-oxigenio-dissolvido-em-estacoes-de-tratamento-de-efluentes/>. Acesso em 10 jul. 2021.

OLIVEIRA, D. V. M.; FERREIRA, J. S. Avaliação dos parâmetros e padrões dos normativos legais em vigor no Brasil sobre reúso de água. **Portal Tratamento de Água**. São Paulo, 25 out. 2019. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/artigo/normativos-legais-brasil-reuso-agua/>. Acesso em: 15 jun. 2021.

PAIVA JUNIOR, Hugo Barbosa. **Efeitos do rompimento da barragem do Camará na área urbana do município de Alagoa Grande/PB**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2006.

PENA, Rodolfo F. Alves. **"Água de reúso na agricultura"**. Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/agua-reuso-na-agricultura.htm>. Acesso em: 18 dez. 2020.

PENA, Rodolfo F. Alves. **"Falta de água e segurança alimentar"**. Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/falta-agua-seguranca-alimentar.htm>. Acesso em: 02 mar. 2021.

PEREIRA, K. T. O.; SÁ, F. V. S.; TORRES, S. B.; PAIVA, E. P.; ALVES, T. R. C.; OLIVEIRA, R. R. Exogenous application of organic acids in maize seedlings under salt stress. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 84, p. e250727, 2024.

PRADO, Luiz. **A Namíbia já faz reúso potável de água para abastecimento público desde 1968**. Disponível em: <https://luizprado.com.br/2017/05/31/associacao-internacional-da-agua-webinar-sobre-reuso-potavel-direto-e-dessalinizacao/> [cache]. Acesso em: 25 nov. 2020

QUEVEDO, C. M. G; PIVELI, R. P.; PAGANINI, W. S. A contribuição das frações de fósforo nos esgotos sanitários. **Portal Tratamento de Água**. São Paulo, 25 out. 2017. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/artigo/fosforo-nos-esgotos-sanitarios/>. Acesso em: 20 jul. 2021

ROSA, João Carlos. Você sabe por que é preciso medir o oxigênio dissolvido na sua ETE? **Acqua Expert**. Engenharia Ambiental. São Paulo, 24 jul. 2018. Disponível em:

<https://acquaexpert.com.br/voce-sabe-por-que-e-preciso-medir-o-oxigenio-dissolvido-na-sua-ete/> Acesso em: 26 jul. 2021.

RUSSOMANO, Juliana. Água de reuso ajuda na preservação ambiental. **Agência Brasil**. Portal EBC. Brasília, 22 mar. 2013. Disponível em: <https://memoria.ebc.com.br/agenciabrasil/noticia/2013-03-22/agua-de-reuso-ajuda-na-preservacao-ambiental>. Acesso em: 23 dez. 2020.

RW Engenharia. Estação de tratamento de efluentes: Saiba tudo sobre ela! **Blog RW Engenharia**. Belo Horizonte, 13 set. 2019. Disponível em: <https://www.rwengenharia.eng.br/estacao-de-tratamento-de-efluentes/>. Acesso em: 05 de fev. de 2021.

SANTOS, Maurício Siqueira dos. Fósforo: importância, manejo e sintomas de deficiência. **Mais Soja**. UFSM. Rio Grande do Sul, 20 fev. 2020. Disponível em: <https://maissoja.com.br/fosforo-importancia-manejo-e-sintomas-de-deficiencia2/>. Acesso em 18 abr. 2021.

SILVA, José Irivaldo Alves Oliveira. **Governança da água e os elementos essenciais para prevenir crises planetárias: O caso Brasileiro**. *Prim Facie*, vol. 20, nº 44, julho de 2021. *DOI.org (Crossref)*, <https://doi.org/10.22478/ufpb.1678-2593.2021v20n44.52261>.

SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre o saneamento. **Diagnóstico dos Serviços de água e esgoto: 2019**. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos/diagnostico-dos-servicos-de-agua-e-esgotos-2019>. Acesso em: 27/12/2020.

SOSINSKI, Lilian Wincler. A gestão dos usos múltiplos da água. **Infobibos**. Artigo em Hypertexto. São Paulo, 11 jan. 2010. Disponível em: http://www.infobibos.com/Artigos/2010_1/agua/index.htm. Acesso em: 17 jan. 2022

SOUSA, F. G. G. *et al.* Desenvolvimento e produção do tomate cereja irrigado com diferentes concentrações e disponibilidade de água residuária. **IRRIGA**, [S. l.], v. 24, n. 3, p. 582–593, 2019. DOI: 10.15809/irriga.2019v24n3p582-593. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/3618>. Acesso em: 10 abr. 2021.

SOUZA FILHO, Edécio José de. **Reúso de esgoto doméstico tratado, baseado em diferentes níveis de reposição nutricional para cultura de melancia no Semiárido Pernambucano**. 2013. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Recife, 2013.

SOUZA, Marcel Chacon de. **Avaliação da prática do reúso com esgoto tratado em lagoas de estabilização no semiárido do Rio Grande do Norte – Natal**. 2018.

Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária. Natal, 2018.

SOUZA, Murilo. Projeto torna obrigatório reúso de água para fins não potáveis em novas edificações. *In*: Palácio do Congresso Nacional. **Câmara dos Deputados**. Brasília, 16 set. 2020. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/noticias/693053-projeto-torna-obrigatorio-reuso-de-agua-para-fins-nao-potaveis-em-novas-edificacoes/>. Acesso em: 18 jun. 2021.

SUDENE. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Delimitação do Semiárido**. Recife. 2017. Disponível em: <http://antigo.sudene.gov.br/delimitacao-do-semiarido>. Acesso em: 11 ago. 2021.

SZUSTER, Leonardo Brandão. Estudo de caso do sistema de tratamento de esgoto proposto para o bairro Serrinha em Gonçalves – MG: uma solução visando aspectos de sustentabilidade ambiental. 2011. Monografia (Especialização). Universidade Federal de Minas Gerais, Curso de Especialização em Saneamento e Meio Ambiente. Belo Horizonte, 2011.

TERA. Estação de tratamento de esgoto: conheça as principais etapas. **Blog Tera Ambiental**. São Paulo, 19 jul. 2021. Disponível em: <https://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/estacao-de-tratamento-de-esgoto-etapas-dos-tratamentos>. Acesso em: 18/08/2021.

UNDP. BRASIL. **Transformando Nosso Mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. 2016. Traduzido do inglês pelo Centro de Informação das Nações Unidas para o Brasil (UNIC Rio) e revisado pela 42 Coordenadoria-Geral de Desenvolvimento Sustentável (CGDES) do Ministério das Relações Exteriores do Brasil. Disponível em: <https://www.undp.org/content/dam/brazil/docs/agenda2030/undp-br-Agenda2030-completo-pt-br-2016.pdf>. Acesso em: 05 fev. 2021.

UNICEF. À medida que mais pessoas não têm o suficiente para comer e a desnutrição persiste, acabar com a fome até 2030 é uma incerteza, alerta relatório da ONU. **UNICEF**. Roma, 13 jul.2020. Disponível em: <https://www.unicef.org/brazil/comunicados-de-imprensa/acabar-com-fome-ate-2030-e-incerteza-alerta-relatorio-onu>. Acesso em 29 dez. 2020.

USEPA. **Guidelines for ecological risk assessment**: final report. EPA. Washigton D. C: USEPA, 2004 (EPA/ 625/R-04/018) Disponível em: <https://www.epa.gov/risk/guidelines-ecological-risk-assessment>. Acesso em: 20 nov. 2020.

USP. Agricultura Urbana e Periurbana: O que você conhece sobre isso?. *In*: USP. **Sustentarea**. São Paulo, 28 out. 2019. Disponível em:

<https://www.fsp.usp.br/sustentarea/2019/10/28/agricultura-urbana-e-periurbana/>. Acesso em: 11 mar. 2021.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Federal de Minas Gerais, DESA/UFMG . Belo Horizonte. 2014.

VON SPERLING, Marcos. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 1. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Federal de Minas Gerais, DESA/UFMG . Belo Horizonte. 2005.

WHO - World Health Organization. **Planeamento da segurança do saneamento: manual para o uso e eliminação segura de águas residuais, águas cinzentas e dejetos. Organização Mundial da Saúde**.2016. Manual para o uso e eliminação segura de águas residuais, águas cinzentas e dejetos Tradução, adaptação e revisão técnica para português Acquawise Consulting, Lisboa, Portugal. 160 p. ISBN 978 92 4 854924 3. Disponível em [:https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/171753/9789248549243-por.pdf;jsessionid=16F6CDCED5175124447082C351359064?sequence=5](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/171753/9789248549243-por.pdf;jsessionid=16F6CDCED5175124447082C351359064?sequence=5). Acesso em : 05 dez. 2020.

WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas). 2017. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado. París, UNESCO. ISBN 978-92-3-300058-2

ANEXO A: VISTA AÉREA DAS ETES

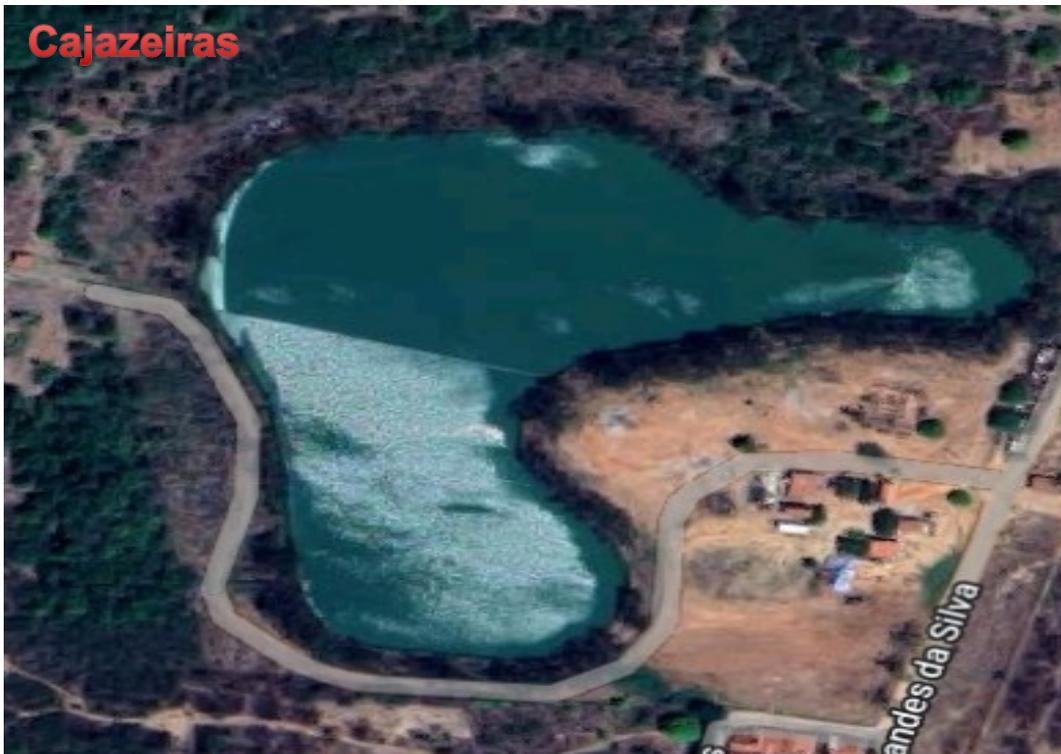






Cajazeirinhas**Católé do Rocha**





ANEXO B: MODELO DO RELATÓRIO



GERÊNCIA REGIONAL DO LITORAL - GR/LI
SUBGERÊNCIA DE TRATAMENTO - ST/LI



LABORATÓRIO DE ANÁLISE
E MONITORAMENTO DE
EFLUENTES DA CAGEPA

RELATÓRIO MENSAL DOS ENSAIOS FÍSICO-QUÍMICOS E BACTERIOLÓGICO

REGIONAL: **BREJO**SISTEMA: **ETE ALAGOA GRANDE**

DATA DA COLETA: /01/2019

DATA E HORA DO RECEBIMENTO DAS AMOSTRAS: /01/2019 às 12:30

VAZÃO DE ENTRADA: SEM MEDIÇÃO

OBSERVAÇÕES DA COLETA:

PARÂMETROS	UNIDADE	ESGOTO BRUTO	LAGOA FACULTATIVA	CONAMA 430 - Art. 21 VMP	CORPO RECEPTOR (Pequeno afluente do rio Curimataú)	CONAMA 357 - Art. 15 VMP
HORA DA COLETA	h			-		-
TEMPERATURA (CAMPO)	°C			40		-
pH				5,0 a 9,0		6,0 a 9,0
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA	uS/cm			-		-
TEMPERATURA	°C			-		-
SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS	mL/L		<0,1	1		-
DBO _{5,20}	mg/L			120		5,0
DQO	mg/L			-		-
OXIGÊNIO DISSOLVIDO	mg/L	NA		-		>5
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	NR		-		*
Fósforo Total	mg/L	NR		-		0,1
SÓLIDOS TOTAIS	mg/L			-		-
TOTAIS FIXOS	mg/L			-		-
TOTAIS VOLÁTEIS	mg/L			-		-
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	coliforme / 100mL			-		1.000 ^a

CONAMA 430 - Art. 21 VMP Valores Máximos Permitidos CONAMA 430/11 de 13 de Maio de 2011, Artigo 21 (Padrões de Lançamento de Eflu

CONAMA 357 - Art. 15 VMP Valores Máximos Permitidos CONAMA 357/05 de 17 de Março de 2005, Artigo 15 (Padrões para água de Classe

^a Para uso de recreação de contato primário deverão ser obedecidos os padrões previstos no CONAMA 274/00.

* 3,7 mg/L para pH ≤ 7,5; 2,0 mg/L para 7,5 < pH ≤ 8,0; 1,0 mg/L para 8,0 < pH ≤ 8,5; 0,5 mg/L para pH > 8,5

NOTAS

NA - NÃO SE APLICA; NR - NÃO REALIZADO