

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE TECNOLOGIA
ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

Mikie Dhavid Andrade Torres

**Potencialidade de Reúso de Efluentes nos Municípios da Região do Semiárido
do Estado de Alagoas**

Maceió

2022

Mikie Dhavid Andrade Torres

**Potencialidade de Reúso de Efluentes nos Municípios da Região do Semiárido
do Estado de Alagoas**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador: Professor Dr. Marcio Gomes Barboza.

Maceió

2022

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale CRB4 - 661

T693p Torres, Mikie Dhavid Andrade
 Potencialidade de reúso de efluentes nos municípios da região do semiárido do estado de Alagoas / Mikie Dhavid Andrade. – 2022.
 70. : il. color.

Orientador: Marcio Gomes Barboza.
Monografia(Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Maceió, 2022.

Bibliografia: f. 64-70.

1. Águas residuárias – Semiárido alagoano. 2. Água – Reutilização. 3. Água – Tratamento. 4. Fertirrigação. I. Título.

CDU: 628.1(813.5)



Ata de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso

Ao(s) 22 dias(s) do mês de julho de 2022 realizou-se às 15h00min, por meio de vídeoconferência, a defesa do **Trabalho de Conclusão de Curso** do(a) discente **Mikie Dhavid Andrade Torres** intitulado **“Potencialidade de Reúso de Efluentes nos Municípios da Região do Semiárido do Estado de Alagoas”**. A Banca Examinadora foi constituída por Prof. Dr. Marcio Gomes Barboza (Orientador), Profa. Dra. Ivete Vasconcelos Lopes Ferreira e Prof. Dr. Eduardo Lucena Cavalcante de Amorim. Após a apresentação do(a) discente pelo(a) orientador(a), o(a) mesmo(a) expôs seu trabalho, sendo, logo a seguir, arguido(a) pelos componentes da Banca Examinadora. O Trabalho de Conclusão de Curso obteve as seguintes notas de cada um dos avaliadores: Profa. Dra. Ivete Vasconcelos Lopes Ferreira (9,50) e Prof. Dr. Eduardo Lucena Cavalcante de Amorim (9,50), resultando numa média (9,50). Os registros de notas e de solicitação de correções estão documentados nos formulários de notas e de correções, respectivamente, preenchidos pelos avaliadores.

E, para constar, foi lavrada a presente ata que vai assinada pelos componentes da Banca Examinadora.

Maceió, 22 de julho de 2022.

Prof. Dr. Marcio Gomes Barboza
(Orientador(a) - CTEC/UFAL)

Profa. Dra. Ivete Vasconcelos Lopes Ferreira
(CTEC/UFAL)

Prof. Dr. Eduardo Lucena Cavalcante de
Amorim
(CTEC/UFAL)



DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

FORMULÁRIO DE REGISTRO DE NOTAS

Título:	Potencialidade de Reúso de Efluentes nos Municípios da Região do Semiárido do Estado de Alagoas
Discente:	Mikie Dhavid Andrade Torres
Orientador(a):	Prof. Dr. Marcio Gomes Barboza
Coorientador(a):	-X-
Data:	22/07/2022
Horário:	15h00min
Local:	Videoconferência
Banca examinadora:	Marcio Gomes Barboza (Orientador(a) - CTEC/UFAL) E1 – Dra. Ivete Vasconcelos Lopes Ferreira (CTEC/UFAL) E2 – Prof. Dr. Eduardo Lucena Cavalcante de Amorim (CTEC/UFAL)

Parecer:

Deverão ser dadas notas ao trabalho (de zero a 10) considerando o desempenho do(a) discente nas 3 áreas apresentadas no quadro abaixo.

Conteúdo do Trabalho	Apresentação da Escrita do Trabalho	Apresentação Oral e Arguição do Trabalho
CT	AET	AOT

A nota final por avaliador, denominada **NFA**, será calculada da seguinte forma:

$$\text{NFA} = (0,6 \times \text{CT} + 0,2 \times \text{AET} + 0,2 \times \text{AOT})$$

$$\text{E1: NFA} = (0,6 \times 9,50 + 0,2 \times 9,50 + 0,2 \times 9,50) = 9,50$$

$$\text{E2: NFA} = (0,6 \times 9,50 + 0,2 \times 9,50 + 0,2 \times 9,50) = 9,50$$

A nota final obtida pelo(a) discente, denominada **NF**, será a média aritmética das notas dos avaliadores:

$$\text{NF} = 9,50 \text{ (nove pontos e cinco décimos)}$$

Assinaturas:

Prof. Dr. Marcio Gomes Barboza
(Orientador(a) - CTEC/UFAL)

Profa. Dra. Ivete Vasconcelos Lopes Ferreira
(CTEC/UFAL)

Prof. Dr. Eduardo Lucena Cavalcante de Amorim
(CTEC/UFAL)

À minha família, por não me deixar fraquejar em momento algum.

À minha mãe, Erbeni Pereira de Andrade, que desde o meu nascimento lutou para que eu tivesse a melhor vida possível, me fazendo entender que apenas a fé e a busca pelo conhecimento poderiam me tornar um homem melhor.

À Deus, que me concede força, saúde e proteção.

Muito obrigado!

AGRADECIMENTOS

Obrigado também, aos professores do Centro de Tecnologia – UFAL, por terem sido fundamentais para a elaboração deste estudo.

Todo o conhecimento absorvido durante os anos de graduação irei levar para a vida. Vocês contribuíram de forma imprescindível para que eu me tornasse não só um profissional, como um ser humano melhor. Em especial:

- Professora Dra. Daniele Vital Vich – Universidade Federal de Alagoas;
- Professora Dra. Ivete Vasconcelos Lopes Ferreira – Universidade Federal de Alagoas;
- Professora Dra. Karina Ribeiro Salomón – Universidade Federal de Alagoas;
- Professor Dr. Eduardo Lucena Cavalcante de Amorim – Universidade Federal de Alagoas;
- Professor Dr. Marcio Gomes Barboza – Universidade Federal de Alagoas.

RESUMO

Regiões semiáridas sofrem com uma precipitação pluviométrica com grande variabilidade espaço-temporal, associados aos baixos valores de totais anuais. O fenômeno afeta diretamente a vida das pessoas que habitam estes locais, uma vez que a produção de alimentos é diretamente impactada com a falta de chuvas. No estado de Alagoas, 38 (trinta e oito) municípios fazem parte da região semiárida do Brasil, que além dos problemas citados, é afetada pela ausência de saneamento básico em muitas localidades. Diante deste cenário, este estudo buscou destacar a potencialidade do reúso de efluentes tratados para a fertirrigação de culturas em ambientes domésticos, assim como para a benfeitoria de pequenos e grandes agricultores na produção de diferentes culturas e para usos nas zonas urbanas, tais como na irrigação de áreas verdes como canteiros, praças e parques. Tecnologias de baixo custo para o tratamento de águas residuárias são de extrema importância na região, pois permite o acesso ao método da fertirrigação para mais pessoas, entre estas tecnologias, fossas sépticas juntamente das zonas de raízes – *wetlands* demonstraram resultados positivos, quanto ao baixo custo, fácil instalação, operação e otimização de espaço. O trabalho também buscou destacar os resultados obtidos por diferentes pesquisadores ao aplicarem a irrigação com água reciclada em diferentes tipos de vegetais, destacou-se a melancia, a berinjela e hortaliças, onde resultados positivos foram obtidos após a aplicação da fertirrigação, havendo um ótimo aumento na reprodução de cada uma das culturas, ao utilizar as doses corretas. No final, após a caracterização da região de estudo, obteve-se um total de 38 municípios dos estados inseridos na região semiárida brasileira, destes, 10 possuíam ETE's cadastradas no Atlas Esgotos da Ana. Estimou-se a vazão de esgoto doméstico gerado, e o município de Arapiraca apresentou a maior vazão, com cerca de 22.493,664 m³/d, contrapondo o município de Palestina que obteve uma vazão aproximada de 404,88 m³/d. O Estudo trouxe a exposição da fertirrigação e suas especificidades, onde alinhou-se as expectativas de aplicação do reúso de efluentes na região de estudo, frente a atual demanda calculada e comprovou-se sua aplicabilidade.

Palavras-chave: Reutilização; Tratamento; Fertirrigação; Águas residuárias; Alagoas; Semiárido.

ABSTRACT

Semi-arid regions suffer from rainfall with great spatio-temporal variability, associated with low values of annual totals. The phenomenon directly affects the lives of the people who inhabit these places, since food production is directly impacted by the lack of rain. In the state of Alagoas, 38 (thirty-eight) municipalities are part of the semi-arid region of Brazil, which, in addition to the problems, is affected by the lack of basic sanitation in many locations. Given this scenario, this study sought to highlight the potential of reusing treated effluents for fertigation of crops in domestic environments, as well as for the improvement of small and large farmers in the production of different crops and for uses in urban areas, such as irrigation. of green areas such as flowerbeds, squares, and parks. Low-cost technologies for the treatment of wastewater are extremely important in the region, as it allows access to the fertigation method for more people, among these technologies, septic tanks together with the wetlands have shown positive results, in terms of low cost, easy installation, operation and space optimization. The text also sought to highlight the results obtained by different researchers when applying irrigation with recycled water to different types of vegetables, watermelon, eggplant, and vegetables stood out, where positive results were obtained after the application of fertigation, with a great increase in the reproduction of each one of the cultures, when using the correct doses. In the end, after characterizing the study region, a total of 38 municipalities in the states inserted in the Brazilian semi-arid region were obtained, of which 10 had sewage treatment plants registered in the Atlas Esgotos from ANA. The flow of domestic sewage generated was estimated, and the municipality of Arapiraca had the highest flow, with about 22,493.664 m³/d, in contrast to the municipality of Palestina, which had an approximate flow of 404.88 m³/d. The Study brought the exposure of fertigation and its specificities, where the expectations of application of the reuse of effluents in the study region were aligned, in front of the current calculated demand and its applicability was proven.

Keywords: Reuse; Treatment; Fertigation; Wastewater; Alagoas; Semiarid.

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra a Seca
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
FNE	Fundo de Financiamento do Nordeste
GEISA	Grupo de Estudos Integrados de Irrigação e Desenvolvimento Agrícola
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
NBR	Norma Brasileira
NEERI	Instituto Nacional de Pesquisas de Engenharia Ambiental
OD	Oxigênio Dissolvido
PIB	Produto Interno Bruto
PNSB	Política Nacional de Saneamento
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PPI	Programa Plurianual de Irrigação
SIG	Sistema de Informação Geográfica

SNS/MDR	Secretaria Nacional de Saneamento do Ministério do Desenvolvimento Regional
SNSA/MCid	Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades
SUDENE	Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
SUVALE	Superintendência de Desenvolvimento do Vale do São Francisco
SST	Sólidos Suspensos Totais
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket
USEPA	United States Environmental Protection Agency

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Precipitação pluviométrica média anual do Nordeste e Semiárido Brasileiro.	18
Figura 2 - Delimitação do semiárido brasileiro	19
Figura 3 - Tipos de reúso de efluentes tratados	26
Figura 4 - Principais projetos de reúso em operação ou avaliação no Brasil no ano de 2016	30
Figura 5 - Esquema de uma Fossa Séptica Biodigestora	40
Figura 7 - Sistema de tratamento de esgoto sanitário por zona de raízes	42
Figura 8 - Esquema representativo da etapa de tratamento de efluentes do sistema ReAqua	43
Figura 9 - Delimitação do semiárido em Alagoas	53
Figura 10 - Bacias Hidrográficas e Regiões Hidrográficas de Alagoas	54
Figura 11 - Classificação Koppen-Geiger (Mapa mundi).....	55
Figura 12 - Mapa hipsométrico do semiárido de Alagoas	56
Figura 13 - Estações de Tratamento de Efluentes no semiárido de Alagoas segundo o Atlas Esgotos	57
Figura 14 - Estimativa da vazão média de esgoto doméstico	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classes climáticas segundo o índice de aridez.....	17
Tabela 2 - Características dos solos pertencentes ao semiárido brasileiro.....	21
Tabela 3 - Critérios básico para emprego do reúso para fins potáveis	27
Tabela 4 - Níveis de tratamento e suas especificidades	32
Tabela 5 - Critérios mínimos para reúso agrícola.....	33
Tabela 6 - Matriz para análise de projetos de irrigação com esgoto (Continua).....	36
Tabela 7 - Matriz para análise de projetos de irrigação com esgoto (Conclusão)	37
Tabela 8 - Quota per capita (QPC).....	48
Tabela 9 - Dados demográficos do semiárido de Alagoas (Continua)	50
Tabela 10- Dados demográficos do semiárido de Alagoas (Continuação).....	51
Tabela 11 - ETE's presentes e georreferenciadas no semiárido de Alagoas segundo o Atlas Esgotos	58
Tabela 12 - Estimativas quantitativas das vazões de esgoto doméstico no semiárido de Alagoas	59
Tabela 13 - Estimativa das vazões de esgoto para moradias unifamiliares e povoados rurais.....	60

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	OBJETIVOS.....	14
2.1	Objetivo Geral	14
2.2	Objetivos Específicos	14
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1	Semiárido Brasileiro	16
3.2	Reúso de efluentes tratados	23
	Características físico-químicas de efluentes tratados	31
	Fertirrigação com esgoto sanitário	34
3.3	Sistemas de tratamento de baixo custo	39
	Fertirrigação na produção de hortaliças	42
	Fertirrigação na produção da melancia	44
	Fertirrigação na produção da berinjela	45
4	MATERIAL E MÉTODOS	45
4.1	Elaboração da revisão bibliográfica	45
4.2	Caracterização do semiárido alagoano	46
4.3	Cálculo das estimativas qualitativas e quantitativas.....	47
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
5.1	Dados numéricos da revisão bibliográfica.....	49
5.2	Semiárido Alagoano	50
5.3	Estimativas qualitativas e quantitativas	56
6	CONCLUSÃO	62
	REFERÊNCIAS.....	64

1 INTRODUÇÃO

A região semiárida do país tem uma extensão de 982.563,3 km², cortando nove estados do país, onde no estado de Alagoas esta região possui 12.579,3 km². Apesar de ser uma região muito rica em aspectos sociais, culturais e ambientais, o semiárido brasileiro sofre com questões climáticas, comportando grandes períodos de seca e altas taxas de evapotranspiração potencial e real, além também problemas de ordem político-sociais (SILVA et al., 2010).

A população que habita o semiárido sobrevive de atividades agropastoris sob condições climáticas pouco favoráveis, tendo que realizar o manejo do solo, além do plantio de culturas específicas da região, garantindo o sustento de seus familiares e o desenvolvimento econômico não só da região, como do país, onde esse se destaca mundialmente na produção e exportação de alimentos (SILVA et al., 2010).

A escassez de recursos hídricos é uma realidade em regiões semiáridas durante grande parte do ano, onde pode ser observado, durante poucos dias, a ocorrência de chuvas intensas em um período que varia de três a quatro meses. Os períodos de estiagem do semiárido são provenientes de grandes eventos meteorológicos, além da variabilidade de padrões de temperatura na superfície do mar, que decorrem de causas naturais ou podem ainda serem ocasionados pelas ações antrópicas, tais como as expansões industriais e urbanas (SILVA et al., 2010).

Essas ações influenciam diretamente na atmosfera, e por consequência, no ciclo hidrológico, além de aumentarem a pressão em mananciais, porque com o aumento populacional, há uma crescente demanda de água em grandes centros a falta de água em regiões mais afastadas, como no semiárido, torna-se uma consequência (SILVA et al., 2010).

A falta de chuva não é a principal causa do déficit hídrico da região semiárida do país, há um conjunto de problemas que juntos contribuem, a saber: altas taxas de evapotranspiração, assim como, a falta de incentivo político do governo para com a população, educando-a, quanto o armazenamento da água da chuva, para o posterior uso em períodos secos, além do uso indevido da pouca quantidade de

água existente, utilizando-a de forma descontrolada para irrigação, indústrias, ou até mesmo no uso doméstico (SILVA et al., 2010).

O desenvolvimento econômico, atrelado à preservação dos recursos naturais deve ser o foco da sociedade, logo a educação e conscientização do consumidor é essencial para induzir mudanças em seus hábitos, que são cruciais em áreas com recursos hídricos naturais limitados. É diante deste cenário que o reúso de águas residuárias tratadas torna-se um grande artifício para o desenvolvimento econômico e sustentável desta região, o que justifica o presente trabalho (SILVA et al., 2010).

A reutilização de água ou o uso de águas residuárias não é um conceito novo e tem sido praticado em todo o mundo há muitos anos, como na Grécia antiga com a disposição de esgotos e sua utilização na irrigação, por conta do seu potencial nutritivo (SILVA et al., 2010).

Portanto, o reúso de efluentes tratados na fertirrigação, em indústrias ou até mesmo em moradias unifamiliares, favorecendo a população desta região, é uma importante técnica para auxiliar na diminuição da pressão nos mananciais, poupando grandes volumes de água potável, visto que a água doce destas fontes poderá ser utilizada de formas mais nobres, como a dessedentação de humanos e animais, relevando ser uma poderosa ferramenta de gestão de recursos hídricos para a região do semiárido alagoano.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Expor a importância do reúso de efluentes tratados como tecnologia que visa minimizar os problemas da escassez de recursos hídricos no semiárido alagoano.

2.2 Objetivos Específicos

- Realizar uma avaliação quantitativa e qualitativa da possibilidade do reúso de águas residuárias em residências unifamiliares, como também povoados rurais e regiões urbanas;
- Obter o rendimento da produção de alguns tipos de cultura que utilizaram a fertirrigação;
- Apresentar algumas tecnologias de baixo custo para o tratamento de efluentes domésticos que possam ser aplicadas na região do semiárido alagoano;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Uma revisão bibliográfica tem como propósito aperfeiçoar e sedimentar um tema proposto para um trabalho, estabelecendo conexões com o que já foi realizado sobre o assunto através de reflexões e análises pertinentes. Este tópico, presente em muitos trabalhos acadêmicos, é de suma importância para que o leitor tenha o entendimento sobre a temática do estudo, e para que se tenha uma noção a respeito do que já foi feito, quais os resultados obtidos e, mais importante, para que haja uma identificação de possíveis lacunas a serem preenchidas em um estudo posterior (BARROS, 2011).

O presente trabalho traz uma fundamentação teórica dos subtemas: Semiárido Brasileiro; Reúso de efluentes tratados na agricultura; Sistemas de tratamento de baixo custo; Características físico-químicas de efluentes tratados; Fertirrigação com esgoto sanitário; Fertirrigação na produção de hortaliças; Fertirrigação na produção da melancia e Fertirrigação na produção da Berinjela.

É fundamental entender os aspectos físicos e sociais da região semiárida do país, a fim de fornecer ao leitor informações pertinentes sobre a região e populações residentes.

Falar sobre o reúso de efluentes tratados é de grande importância, uma vez que é um tema pouco abordado no cotidiano das pessoas, e trata-se do *core* da pesquisa, sendo assim, faz-se necessário definir o tema e abordá-lo de maneira clara.

Ao citar trabalhos que abordem a efetividade do reúso de efluentes para a fertirrigação de diferentes tipos de cultura, o foco será deixar claro que nem toda cultura irá conceber a esta tecnologia, mas que resultados positivos já foram obtidos, e que poderão ser aplicados na região do semiárido alagoano, beneficiando moradores da região.

Por falar nas pessoas que vivem neste território, é notório que grande parte vive na zona rural, e como abordado por Castanhetti (2017), esta população, em grande parte carece de saneamento básico, informações, ou até mesmo de alto poder aquisitivo. Portanto, o acesso a tecnologias de tratamento de águas residuárias

de baixo custo é importante para estas pessoas, viabilizando o uso do método proposto neste trabalho, principalmente para a fertirrigação.

3.1 Semiárido Brasileiro

A Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), delimitou uma região no território brasileiro de acordo sua característica de semiaridez, esta característica refere-se principalmente à:

- Precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800 mm;
- Índice de Aridez de Thornthwaite igual ou inferior a 0,50;
- Percentual diário de déficit hídrico igual ou superior a 60%, considerando todos os dias do ano.

Em decorrência disto, o semiárido possui características hidrológicas que afetam diretamente a vida das pessoas que habitam a região (BRASIL, 2017a).

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) define a precipitação pluviométrica média anual como um índice de quantidade de chuva por metro quadrado em determinado local e em determinado período, mais especificamente, o valor médio obtido em um ano. O índice é calculado em milímetros e possui como ideal, valores superiores a 1000 mm (QUADRO et al., 2014).

A Figura 1 apresenta os valores de Precipitação média anual do Nordeste e Semiárido.

Apesar de ser um fator importante para determinação do semiárido, a qualidade da estação chuvosa pode não ser representada de uma forma satisfatória, pois ocorrem longos períodos de estiagem, mesmo em anos onde o total de chuvas é acima da média, isto se dá, porque acontecem eventos de chuva intensa em momentos isolados. Esses eventos originam a “seca verde”, que pode influenciar na produção e a disponibilidade de forragem para os animais, especialmente no período sem chuvas, fazendo-se necessário conhecer a distribuição temporal da chuva na área semiárida do Brasil (EMBRAPA, 2011)

O Índice de Aridez de Thornthwaite considera a pluviosidade e a perda máxima possível de água pela evaporação e transpiração, sendo apontado como o melhor indicador de áreas vulneráveis à desertificação, uma vez que trabalha com variáveis quantitativas (CONAMA, 2008).

A desertificação por sua vez trata-se de um processo de degradação ambiental, ocasionada pelo manejo inadequado dos recursos naturais nos espaços

áridos, semiáridos e sub-úmidos secos. Os sistemas produtivos das áreas susceptíveis são diretamente afetados pela desertificação, além dos serviços ambientais e a conservação da biodiversidade (MAPBIOMAS, 2018).

Em vista disso, de acordo com a Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação, as regiões áridas, semiáridas e sub-úmidas secas, excetuando as polares e sub-polares, correspondem àquelas onde a pluviosidade anual e a evapotranspiração potencial, ou seja, o índice de aridez, está compreendido entre os valores de 0,05 e 0,65 (BRASIL, 1998).

Logo, a desertificação só é passível de acontecer em regiões onde o índice de aridez é menor que 0,65, como pode ser visto na Tabela 1, que apresenta classes climáticas de acordo o índice de aridez (JUNIOR, 2003).

Tabela 1 - Classes climáticas segundo o índice de aridez

Classes Climáticas	Índice de Aridez
Hiperárido	< 0,05
Árido	0,05 < 0,20
Semiárido	0,21 < 0,50
Sub-úmido Seco	0,51 < 0,65
Sub-úmido Úmido	> 0,65

Fonte: MATALLO JUNIOR (2003)

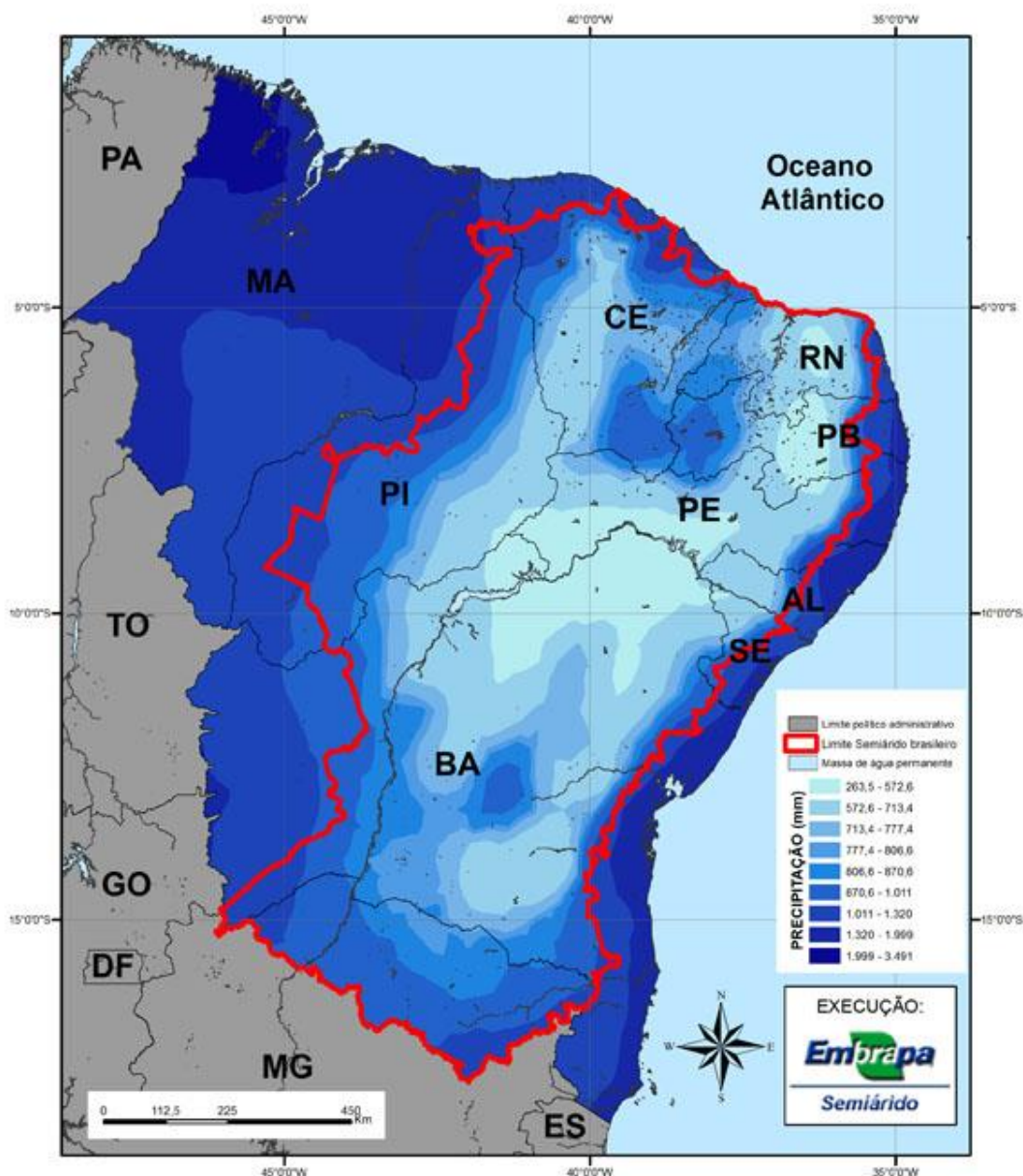
De acordo o relatório final sobre a re-delimitação do semiárido nordestino e do polígono das secas, elaborado pelo grupo de trabalho interministerial, e publicado pelo antigo Ministério da Integração Nacional em 2005, o Dr. Javier Tomasella do INPE/CPTEC apresentou e analisou a frequência de ocorrência de déficit hídricos em um período de 20 anos (1970 – 1990), usando um modelo de balanço hídrico diário, que consistia das seguintes etapas:

- 1º: Coleta de dados do levantamento de solos da EMBRAPA e da SUDENE;
- 2º: Estimativa da distribuição geográfica de alguns parâmetros de solos, tais como capacidade de campo etc.;
- 3º: Cálculo da evaporação potencial diária, usando-se a técnica de Penman-Monteith.

A partir deste estudo, constatou-se que as áreas definidas hoje como semiáridas são consistentes com a região que apresentou, no período de 1970-

1990, déficit hídrico em pelo menos 60% do tempo, de acordo com o modelo de balanço hídrico adotado (BRASIL, 2005).

Figura 1 - Precipitação pluviométrica média anual do Nordeste e Semiárido Brasileiro.



Fonte: SUDENE, DCA/UFCG (2021)

A Agência Nacional de Águas (ANA) ressalta que, após reuniões internacionais para o combate à desertificação em Nairóbi, determinou-se como semiárido o chamado “polígono das secas”, território reconhecido pela legislação nacional. A principal finalidade desta demarcação é de fornecer aos municípios integrantes do território um auxílio financeiro, o qual consiste em 25% de

adimplência dos recursos do Fundo de Financiamento do Nordeste (FNE), além disso, parte do FNE é direcionada ao suporte de municípios integrantes do semiárido, como forma de estímulo ao mercado e desenvolvimento destes locais (ANA, 2017).

Segundo BRASIL (2021), o semiárido possui um total de 27.870.241 habitantes, espalhados por 10 estados (9 estados do nordeste e a região norte de Minas Gerais), dentro de uma área de 969.589 km², como pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 - Delimitação do semiárido brasileiro



Fonte: SUDENE (2017)

Apesar do semiárido possuir um clima seco, em diversas épocas do ano ocorrem as chamadas monções torrenciais, responsáveis por provocarem cheias, trazerem à tona rios e lagos, além de reavivarem a vegetação. Inclusive, a região semiárida possui pouco mais de 1.300 (mil e trezentas) espécies animais e 11.000 mil espécies vegetais catalogadas, o bioma que se destaca é a Caatinga, caracterizado por possuir muitas espécies de gramíneas, leguminosas cactáceas, bromeliáceas e euforbiáceas, estas espécies destacam-se por viverem em ambientes carentes de água (BRASIL, 2020).

Em decorrência do clima, as culturas que se destacam no semiárido são as de soja, milho, algodão, mandioca, feijão e cana-de-açúcar, já, quanto à pecuária, apesar dos períodos de escassez não favorecerem o crescimento de pasto, a criação de bovinos destaca-se, trazendo espécies que se adaptaram às condições físicas do território semiárido brasileiro (BRASIL, 2020).

Outrossim, paralelamente às questões climáticas estão os fatores socioeconômicos, uma vez que o fato do semiárido ser uma região com baixos índices de precipitação, a agropecuária regional é afetada diretamente (SILVA *et al.*, 2010).

Já, quando se fala em águas subterrâneas, devido o arranjo geológico (Embasamento geológico cristalino) há uma limitação delas, uma vez que são armazenados baixos volumes de água devido à descontinuidade de fendas e fraturas (NETO *et al.*, 2014).

Na região semiárida brasileira também são observados altos níveis de radiação solar incidente nas áreas de baixas latitudes, que resultam em elevadas taxas evapotranspiratórias. Com isso, há uma redução na umidade do solo e a quantidade de água armazenada nos reservatórios, o que em conjunto com a baixa e irregular precipitação durante o ano, resultam um balanço hídrico climático anual negativo (EMBRAPA, 2011).

O relevo da área semiárida por sua vez, possui grande variabilidade, a altitude média fica entre 400 e 500 m, podendo chegar nos 1000 m, além disso, o relevo é em sua grande maioria plano a ondulado, possuindo vales muito abertos, pela presença dos xistos e outras rochas de baixo grau de metamorfismo, que possuem menor resistência à erosão (SILVA, 2000).

Quanto à geologia, nota-se áreas do cristalino com predomínio de migmatitos, gnaisses, granitos e xistos; áreas do cristalino recoberto por materiais mais ou

menos arenosos; e áreas sedimentares recentes de depósitos fluviais (BRASIL, 1974).

O Semiárido brasileiro possui solos da classe Latossolos Vermelhos, além da ocorrência de Neossolos Quartzarênicos, Planossolos, Cambissolos, Vertissolos, Luvisolos e, nas áreas mais movimentadas, principalmente, Neossolos Litólicos (EMBRAPA, 2011). A Tabela 2 consiste em um quadro resumo, contendo as principais características dos solos encontrados na região semiárida do país.

Tabela 2 - Características dos solos pertencentes ao semiárido brasileiro

Tipo de solo	Características
Luvisolos	Pouco profundo; suscetível à erosão
Neossolos Litólicos	Pouco profundo; suscetível à erosão
Neossolos Quartzarênicos	Textura muito grosseira; altas taxas de infiltração; baixa retenção de umidade e baixa fertilidade
Planossolos	Altos teores de sódio
Argissolos	Irrigáveis; pouco extensos
Vertissolos	Irrigáveis; pouco extensos
Latosolos	Irrigáveis; pouco extensos
Cambissolos	Irrigáveis; pouco extensos

Fonte: CODEVASF (1999)

Socioeconomicamente falando, a região semiárida brasileira é atualmente a zona semiárida mais povoada do mundo. O processo de ocupação e uso da terra foi iniciado na época do Brasil colonial, muito por conta da necessidade de se expandir a criação de bovinos, para atender à demanda dos senhores de engenhos, que precisavam da força de trabalho destes animais nas lavouras de cana de açúcar (EMBRAPA, 2011).

A pecuária então, sofreu uma grande expansão nestas áreas ao longo dos anos, com isso, foi necessário que os proprietários buscassem alternativas para a alimentação dos animais, pois como dito anteriormente, a vegetação da Caatinga possui baixa capacidade para o pastejo bovino. Com isso, começaram a fornecer aos animais a palhada ou restos de culturas de subsistência, principalmente milho, feijão, ou de renda, o algodão, como forma de complementar a alimentação do

rebanho. Todavia, esta tentativa não conseguiu suprir a real demanda da região. Com isso, a partir da segunda metade do século XX, foram iniciados vários programas de pesquisas com a introdução de culturas forrageiras, como a palma forrageira, leucena, melancia forrageira, guandu e gliricídia (EMBRAPA, 2011).

Um dos principais pilares econômicos da região nos séculos XIX e XX foi o cultivo do algodão, com destaque para os estados de Ceará, Paraíba, Pernambuco, e Rio Grande do Norte (EMBRAPA, 2011).

E por fim, o principal momento referente ao uso e ocupação da terra na região semiárida, foi a criação da agricultura irrigada. O Grupo de Estudos Integrados de Irrigação e Desenvolvimento Agrícola (GEISA), nos anos 1960, contribuiu para elaboração e implantação do Programa Plurianual de Irrigação (PPI), que visou a implementação de projetos e obras de irrigação e drenagem na região semiárida do Brasil (FRANÇA, 2001).

A SUDENE, juntamente do Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS) e da Superintendência de Desenvolvimento do Vale do São Francisco (Suvale), hoje, Codevasf, foram fundamentais para o desenvolvimento e expansão da agricultura irrigada no semiárido do país. A irrigação, além de livrar os produtores dos riscos climáticos e da irregular distribuição de água, que é o principal fator limitante da agricultura na região, os incluiu no mercado, com a venda de diferentes culturas que começaram a serem implantadas. Até o final da década de 1980, os cultivos anuais (feijão, milho, tomate, cebola, melancia) eram as explorações agrícolas dominantes (CORREIA et al., 2001).

No entanto, a irrigação hoje, não é vista com bons olhos, uma vez que, esta tecnologia é a principal responsável pelo consumo de água no mundo (Cerca de 70%, segundo a Organização das Nações Unidas) (POZZEBON *et al.*, 2020).

Diante deste cenário, a Fertirrigação utilizando águas residuárias pós-tratamento torna-se uma poderosa alternativa, que vem sendo estudada ao longo dos anos e implementada em diferentes locais do mundo que compartilham das características observadas no semiárido brasileiro (HESPANHOL, 2002).

3.2 Reúso de efluentes tratados

Em registros históricos, a prática da utilização, e da reutilização de águas residuárias já havia sido executada há muitos séculos na Grécia Antiga, principalmente com o direcionamento para a agricultura. Devido suas características específicas, em regiões áridas e semiáridas, a água tornou-se um fator limitante para o desenvolvimento urbano, industrial e agrícola. Em muitas partes do mundo, a escassez de recursos hídricos é um risco crescente, agravada pela rápida urbanização e aumento da variabilidade climática. Uma maneira promissora de aumentar a disponibilidade de recursos hídricos nestas áreas, e contribuir para a sustentabilidade destes é a utilização de águas residuárias recicladas ou "reúso de água" (GRANT et al., 2012).

A procura por novos recursos para complementar as escassas quantidades de água que ainda existem é uma realidade há muitos anos, principalmente ao se considerar que o exponencial aumento da demanda que acompanha o constante aumento populacional do planeta terra. No polígono das secas do nordeste brasileiro, a dimensão do problema é destacada por um desejo, que persiste há décadas, pelo deslocamento do rio São Francisco, para atender às necessidades do país na região semiárida, localizada ao longo do norte e leste da bacia (HESPANHOL, 2002).

Ainda, segundo Hespanhol (2002), devido à baixa precipitação média anual, com valores inferiores a 200 mm, em alguns países do Oriente Médio, a dependência por rios perenes e pequenos reservatórios subterrâneos, muitas vezes localizados em áreas montanhosas, de difícil acesso é uma realidade, e, justamente por este motivo, houve um estímulo por parte de governantes, para que gestores de recursos hídricos e cientistas buscassem por tecnologias que visassem tornar viável e não prejudicial à saúde, a reutilização de efluentes pós tratamento. Além disso, é muito comum notar que nestes locais a água potável é fornecida por sistemas de dessalinização da água do mar e, como a agricultura irrigada não pode sustentar mais de 50% das necessidades alimentares, ela é atendida pela importação de alimentos básicos.

O que deve ser levado em consideração também, é que o problema da escassez de água potável é um problema que não atinge apenas o semiárido, o que

despertou em muitos governantes no final do século XX, pela busca por fontes alternativas, para o uso menos restritivo, direcionando a água de boa qualidade para saciar a sede da população e para a dessedentação de animais. Logo, esgotos de origem doméstica, águas de drenagem agrícola e urbana, e águas salobras são e devem continuar sendo o foco de estudos quanto à sua reutilização, assim, a demanda por água de boa qualidade seria nutrida, contribuindo para com a gestão deste recurso (HESPANHOL, 2002).

A norma brasileira NBR 9648 (ABNT, 1986) define esgoto/efluente sanitário como “despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária”:

- Esgoto doméstico: “Despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas;
- Esgoto industrial: “Despejo líquido resultante dos processos industriais, respeitados os padrões de lançamento estabelecidos;
- Água de infiltração: “Toda água proveniente do subsolo, indesejável ao sistema separador e que penetra nas canalizações;
- Contribuição pluvial parasitária: “Parcela do deflúvio superficial inevitavelmente absorvida pela rede de esgoto sanitário;

Mananciais são constantemente contaminados após o lançamento indevido de esgotos não tratados no Brasil. Não só a qualidade da água é comprometida, como também o equilíbrio ambiental, ameaçando a vida de diferentes seres vivos. Este desequilíbrio é ocasionado pois bactérias que decompõem a matéria orgânica dos efluentes em ambientes naturais demandam grandes quantidades do Oxigênio Dissolvido (OD) na água. Há então uma redução de oxigênio, que causa morte de peixes e proliferação de algas devido ao aumento de nutrientes (BRASIL, 2021b).

Um dos focos do tratamento de efluentes é a redução da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) para a degradação da matéria orgânica em ambientes aquáticos. De forma geral, é necessário que o efluente, após passar por uma ETE, e antes do seu lançamento em um corpo d'água, esteja enquadrado em padrões estabelecidos segundo a Resolução Conama nº 430/2011. Esta resolução estabelece padrões de lançamento de efluentes tratados em corpos receptores hídricos, estes padrões estão associados às classes de qualidade de corpos de

água da Resolução Conama nº357/2005, que relaciona cada classe, ao tipo de tratamento ideal e a um diferente tipo de uso (BRASIL, 2021).

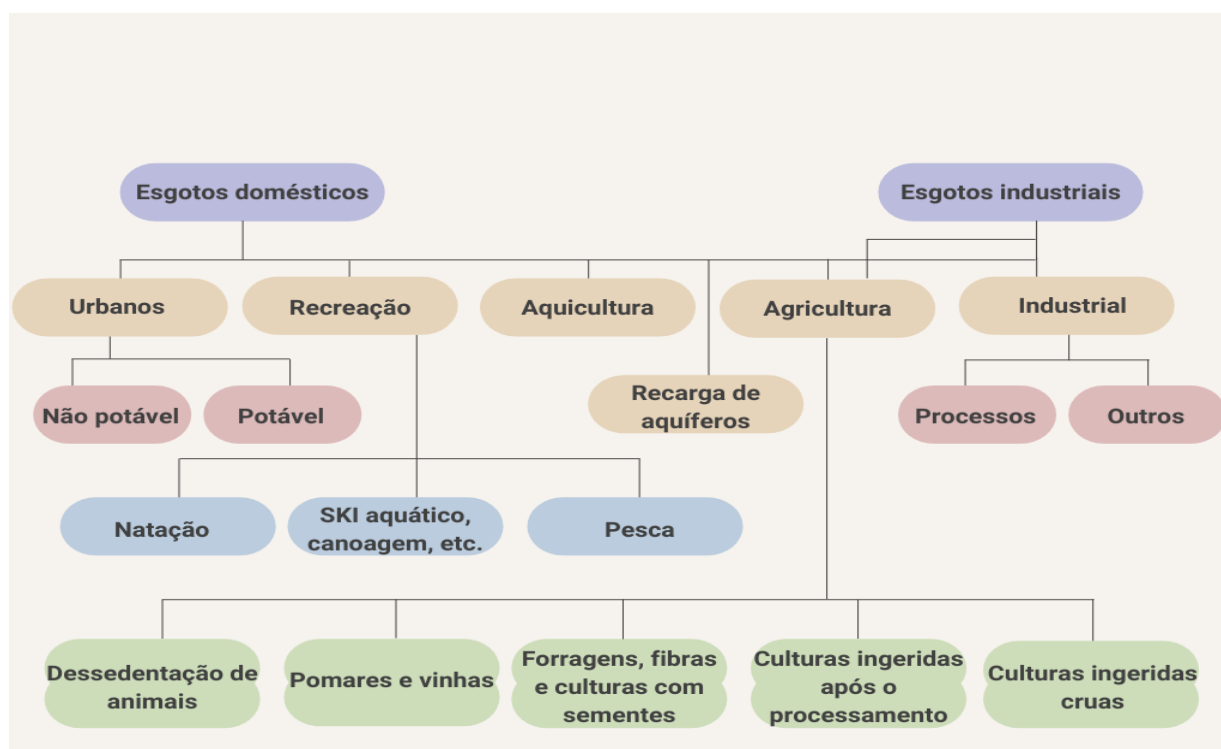
As classes estão dispostas abaixo:

- Classe Especial: Desinfecção simples;
- Classe 1: Tratamento simplificado (Clarificação com filtração e desinfecção e correção de pH quando necessário);
- Classe 2: Tratamento convencional (Clarificação com coagulação e floculação, desinfecção e correção de pH);
- Classe 3: Tratamento convencional e/ou avançado (Inclui remoção de microrganismos patogênicos e tóxicos, entre outros);
- Classe 4: Restrição para o abastecimento.

No 27º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos da Secretaria Nacional de Saneamento, em um capítulo destinado a abordar o reúso de efluentes tratados, é destacado que hoje, técnicas avançadas permitem a utilização segura da água de efluentes tratados em usos urbanos não potáveis e industriais, como fertirrigação, irrigação paisagística, combate a incêndios e construção civil. Esta tecnologia ainda é pouco explorada no Brasil, o que difere de uma grande parte de países, onde em alguns, com severas restrições hídricas, a água de efluentes tratados é utilizada, inclusive, para abastecimento humano (BRASIL, 2021).

Assim como apresentado no esquema presente na Figura 3, e exposto por Hespanhol (2002) em seu estudo, o reúso pode explorado de diferentes formas, em zonas urbanas e rurais, que variam de acordo com as necessidades e características do local de aplicação do método, seja o clima, como também aspectos políticos, esquemas institucionais, disponibilidade técnica e a cultura.

Figura 3 - Tipos de reúso de efluentes tratados



Fonte: Adaptado, Hespanhol (2002)

Em áreas urbanas, o reúso de esgotos pode ser direcionado para a fertirrigação de plantas em praças, parques, jardins, cemitérios, canteiros, entre outros. No entanto, é algo restrito e que deve ser analisado com cuidado antes de sua aplicação, uma vez que os custos podem ser se sobressair frente aos benefícios trazidos, em vista disso, cada município, diante de suas necessidades, deve estudar a possibilidade de aplicação (HESPANHOL, 2002).

Ainda considerando zonas urbanizadas, o reaproveitamento de águas residuárias para fins potáveis é algo delicado e que requer um intenso estudo prévio, pois a presença de organismos patogênicos e de compostos orgânicos sintéticos, principalmente naqueles provenientes de estações de tratamento de esgotos de grandes centros urbanos com amplos polos industriais, classifica o reúso potável como uma alternativa associada a riscos muitos elevados à saúde humana, tornando-o praticamente inaceitável (HESPANHOL, 2002).

O Autor já citado indica ainda que, caso o uso para fins potáveis seja imprescindível, deve-se respeitar alguns critérios a fim de minimizar os riscos

envolvidos, Tabela 3 trata-se de um quadro resumo com os critérios apontados pelo autor.

Tabela 3 - Critérios básico para emprego do reuso para fins potáveis

Critérios	Detalhes
Utilizar exclusivamente esgotos domésticos	Devido à impossibilidade de identificar a enorme quantidade de compostos de alto risco, particularmente micro-poluentes orgânicos, presentes em efluentes líquidos industriais.
Empregar barreiras múltiplas nos sistemas de tratamento	Pré-tratamento; Sistemas de carvão ativado; Longa retenção do esgoto tratado antes do seu envio.
Adquirir aceitação pública e as responsabilidades pelo empreendimento	Deve haver consentimento por parte da população, não havendo falta de comunicação com os responsáveis pelo tratamento e distribuição das águas. A divulgação e espaço para discussão deve estar presente em todo o tempo de projeto.
Utilizar apenas sistemas de reuso indireto	Tratamento, seguido de diluição em corpo hídrico, e captação, tratamento e distribuição, após um determinado tempo de detenção.

Fonte: Autor (2022)

Uma aplicação com este viés ocorreu em outubro de 1968, na República da Namíbia, onde utilizou-se apenas esgotos domésticos coletados na cidade de Windhoek. Estas águas residuárias passavam por um rígido processo de tratamento, dentro do que era possível naquela época, contando com caixas de areia, grades, decantadores primários, e sistema de lodos ativados seguido por uma lagoa de maturação. A água era captada e tratada para que fosse adequadamente lançada na rede de distribuição do município. De acordo Hespanhol (2002), até o ano de publicação do estudo, o sistema descrito ainda estava em funcionamento e sem nenhum relato de contaminação de doenças de veiculação hídricas associadas às águas recicladas.

Por oferecerem um menor risco à saúde humana, a reciclagem de água para fins não potáveis é o ideal, principalmente considerando a zona urbana, entre as alternativas viáveis, pode-se citar: irrigação de áreas ajardinadas ao redor de edifícios públicos, residenciais e industriais; lavagem de veículos públicos; descarga sanitária em banheiros públicos e em edifícios comerciais e industriais; sistemas decorativos aquáticos tais como fontes e chafarizes, espelhos e quedas d'água; controle de poeira em movimentos de terra, etc.; reserva de proteção contra incêndios e irrigação de áreas verdes (HESPANHOL, 2002).

O presente estudo tem como foco o uso do efluente tratado para fins agrícolas, pois, de acordo o último censo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, a zona rural no semiárido alagoano é mais habitada que a

urbana (IBGE, 2010). A Embrapa (2018), em um estudo sobre manejo de recursos hídricos, indica que cerca de 70% da água doce disponível no planeta é utilizada para a produção agrícola, sendo assim, o reúso de águas residuárias torna-se de suma importância, para que a pressão gerada nos mananciais por parte da irrigação seja reduzida, direcionando esta água para usos mais nobres.

Um ponto de análise inquestionável, é o que se refere à percepção da população quanto ao reúso de efluentes tratados, principalmente na agricultura. A obtenção de resultados positivos na irrigação, utilizando água de reúso, depende da disposição do consumidor em aceitar os produtos assim cultivados (SCHAER-BARBOSA; SANTOS; MEDEIROS, 2014).

Para Salgot (2008), entre os fatores que podem influenciar na negação das pessoas em aceitar esta prática, pode-se citar:

- Falta de informação adequada a respeito dos riscos associados à prática;
- Dificuldades de técnicas para implantação de rotinas de estudos epidemiológicos;
- Gestão inadequada dos aspectos sociais relacionados com a prática;
- Falta de convergência de interesses e informações entre cientistas e formuladores de políticas ambiental, sanitária e de recursos hídricos;
- Inexistência de protocolos testado em nível regional para implantação de projetos de reúso.

Sendo assim, é relevante que governantes, juntamente das empresas prestadoras do serviço de saneamento, estejam empenhados em construir a confiança do público, por meio do planejamento de um processo de participação justo, com canais de comunicação que permitam a solicitação, o recebimento, e principalmente, a exposição de respostas para a população, de uma forma clara e honesta (HURLIMANN et al., 2008).

São inúmeros os benefícios econômicos, sociais e ambientais trazidos com a reciclagem de águas residuárias para as comunidades em que se insere, sendo uma alternativa sustentável para o aumento da oferta de água. Sendo muito importante para a disposição final de efluentes, diminuindo a carga poluente que chega aos corpos d'água (MILLER, 2006).

Contudo, efeitos negativos também são observados, um deles, é a contaminação de aquíferos por nitrato, após sua percolação por uma camada porosa situada acima de um aquífero subterrâneo. A depender das características do esgoto, pode haver um acúmulo de contaminantes químicos no solo, elevando consideravelmente os níveis de sais minerais no solo, podendo ocasionar a desertificação destes (BISWAS, 1988).

Então, é muito importante atentar-se à origem do esgoto, porque o esgoto doméstico, como apontado anteriormente, possui concentrações inferiores destes contaminantes. O controle de vetores é outra estratégia que deve ser desempenhada, pois em períodos longos, cria-se o habitat de diversas espécies danosas às culturas e à saúde humana, como algumas espécies de caramujos e mosquitos transmissores de doenças (BISWAS, 1988).

No Brasil, assim como em muitos países, há a necessidade de elaboração de uma eficaz estratégia, apoiada em âmbitos legais, para a adição e aplicação de esgotos como parte integrante dos recursos hídricos existentes. O novo marco legal do saneamento, Lei N° 14.026 de 15 de julho de 2020, aborda a prática do reúso em diversos trechos, como no Art. 4º- A, Parágrafo 1, Inciso IX em que é definido que cabe à Agência Nacional de Águas (ANA) elaborar normas de referência sobre reúso de efluentes tratados, respeitando as normas ambientais e a saúde da população, entre outros apontamentos.

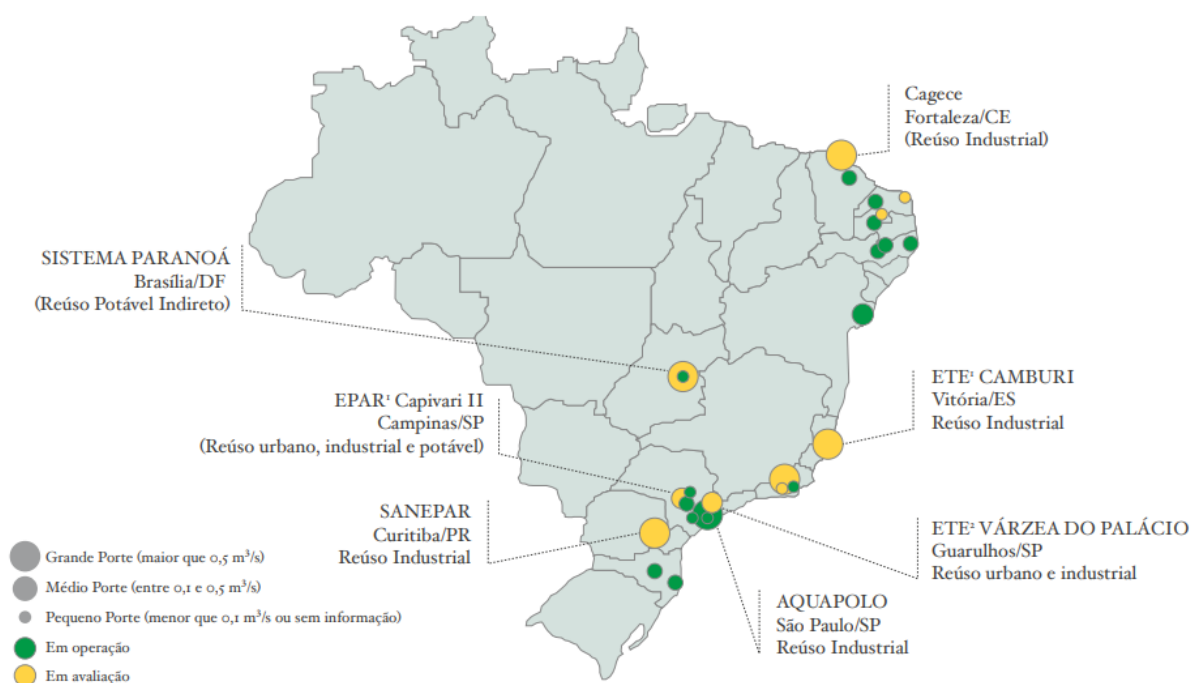
Porém, apesar de todos os percalços encontrados hoje no país, os primeiros passos foram dados, algo que fomenta este argumento é a estruturação de diretrizes para um Plano de Ação para Instituir uma Política de Reúso de Efluente Sanitário Tratado, realizada pela Secretaria Nacional de Saneamento do Ministério do Desenvolvimento Regional (SNS/MDR) em 2018. Esta proposta aborda aspectos legais, tecnologias disponíveis, padrões de qualidade, potencialidades de reúso e modelos de financiamento e/ou subsídios tarifários no Brasil. Este estudo estimou ainda um potencial de produção de 13 m³/s de efluentes tratados (BRASIL, 2021).

Em 2012, através de um contrato de empréstimo firmado com o Banco Mundial, O Projeto de Desenvolvimento do Setor Água (INTERÁGUAS) teve início, contribuído para o Brasil avançar na formulação de ações para estruturar e promover projetos de reúso no país (INTERÁGUAS, 2018).

No ano de 2016, com base nas demandas e escassez hídricas, foi dado o início à elaboração do Plano de Ação para Instituir uma Política de Reúso de Efluente Sanitário Tratado no Brasil, esta iniciativa foi realizada pela Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades (SNSA/MCid). Houve diversas pesquisas no que se refere o tema, principalmente com foco em aspectos institucionais, tecnologias disponíveis, padrões de qualidade para o reúso, potencialidades de reúso e modelos de financiamento e/ou subsídios tarifários. Contribuições de partes interessadas (INTERÁGUAS, 2018).

Assim como exposto no INTERÁGUAS (2018) e na Figura 4, em 2016, considerando apenas projeto “sólidos” de reúso no Brasil, estimou-se cerca de 2 m³/s de capacidade. Estes programas foram o pontapé inicial para a avaliação do reúso e sua potencialidade. Na Figura 4 é possível observar que estes projetos se concentraram na região Sudeste e Nordeste do país.

Figura 4 - Principais projetos de reúso em operação ou avaliação no Brasil no ano de 2016



Fonte: INTERÁGUAS (2018)

Logo, fica claro que mesmo tratando-se de um período de transição, uma vez que o tema tenha começado a ser discutido no Brasil, tem-se uma indicação de um futuro promissor no que se refere a reutilização de águas residuárias tratadas e o processo de universalização do saneamento básico até o ano de 2035.

Características físico-químicas de efluentes tratados

Em nível federal, o Brasil ainda não possui regulamento mandatório, que trata especificamente do reúso de efluentes, principalmente, estabelecendo critérios de qualidade, limitando-se à exigência de que a aplicação não apresente riscos ou danos ao meio ambiente e à saúde pública (INTERÁGUAS, 2018).

Considerando este fator, o INTERÁGUAS (2018) será o principal guia no que se refere os padrões de qualidade de águas de reúso, destinados à fertirrigação. Neste documento é abordado que o nível de tratamento do efluente sanitário para fins de reúso e a tecnologia empregada variam de acordo com a qualidade da água exigida para a modalidade de reúso a ser praticada. Na Tabela 4 estão presentes os diferentes níveis de tratamento do efluente, com sua descrição, exemplos de sistema e as estimativas de remoção esperadas (%).

Tabela 4 - Níveis de tratamento e suas especificidades

Nível do tratamento	Descrição	Exemplos de processos associados ao nível de tratamento	Estimativa de Remoção Esperada (%)		
			DBO e Amônia	Nutrientes	Sólidos Suspensos Totais (SST)
Primário	Remoção parcial dos sólidos suspensos e matéria orgânica.	-Tanques de sedimentação; -Tanque Imhoff; -Fossa séptica.	25-50 (DBO) Não remove Amônia	Não remove	40-70
Secundário	Remoção de matéria orgânica biodegradável (em solução ou suspensão) e sólidos suspensos, sem nitrificação. Desinfecção pode ou não estar incluída.	-Lagoas de estabilização; -Reator UASB; -Filtros biológicos; -Lodo ativado (convencional).	80-95 (DBO) Não remove Amônia	Não remove	65-95
Secundário avançado	Remoção de matéria orgânica biodegradável, nitrificação e desnitrificação, sólidos suspensos, e nutrientes (nitrogênio, fósforo ou ambos). Desinfecção pode ou não estar incluída.	-Lodo ativado (para nitrificação e remoção de nutrientes); - MBR.	80-95 (DBO) >90 (Amônia)	Remove parcialmente >95	>95
Terciário	Remoção de sólidos suspensos residuais (após tratamento secundário ou secundário avançado). Remoção de nutrientes está em geral incluída. Desinfecção pode ou não estar incluída.	-Lagoas de maturação; -Filtração granular, por membranas ou por outros meios; -Wetlands.	>95 (DBO) >90 (Amônia)	>95	99
Avançado	Remoção de materiais suspensos ou dissolvidos que permanecem no efluente e depois do tratamento biológico (Secundário avançado). Desinfecção necessária.	-Filtração biológica com ozônio; -Filtros de carvão ativado; -Nanofiltração/ Osmose reversa; -UVAOP.	Remoção significativa de traços orgânicos >95 (DBO) >90 (Amônia)	>95	99 (Para remoção significativa de patógenos)

Fonte: Adaptado, INTERÁGUAS (2018)

Interáguas (2018) define que para fins agrícolas o reuso pode ser dividido em dois tipos: Agrícola Irrestrito e Agrícola Restrito. O primeiro refere-se à irrigação de cultura de alimentos destinados ao consumo humano sem processamento prévio (Irrigação de hortaliças, tubérculos e culturas hidropônicas). Já o segundo está ligado à irrigação de cultura de alimentos destinados ao consumo humano sem processamento prévio, geralmente plantas que se desenvolveram longe do nível do solo, além da irrigação de culturas de alimentos que necessitam de processamento antes de serem consumidos e culturas não destinadas ao consumo humano.

A Tabela 5 contém as recomendações para o reuso agrícola (irrestrito e restrito), estas recomendações foram construídas com base no documento da USEPA de 2012, que permanece até hoje umas das referências prevaletentes, com vários países como Austrália, Oman, África do Sul, e outros usando ou evoluindo para modalidades e critérios similares ou um pouco menos restritivos quando se considera reuso agrícola. onde critérios mínimos são apresentados para cada tipo de reuso (BRASIL, 2017).

Tabela 5 - Critérios mínimos para reuso agrícola

Tratamento		Agrícola Restrito	Agrícola Irrestrito
Critérios indicadores de patógenos		Secundário e Desinfecção	Secundário, Filtração e Desinfecção
Coliformes termotolerantes	Coliformes termotolerantes	< 10 ³ NMP/100 mL	< 10 NMP/100 mL
	Ovos de helmintos	< 1 ovo de helminto/L	< 1 ovo de helminto/L
Outros critérios	pH	6,0 - 9,0	6,0 - 9,0
	DBO	< 30 mg/L	< 15 mg/L
	turbidez	-	≤ 5 UNT
	Cl ₂ Residual	1 mg/L (min)	1 mg/L (min)
Monitoramento	Coliformes termotolerantes	Mensalmente	Semanalmente
	Ovos de helmintos	Anualmente	Mensalmente
	pH	Mensalmente	Mensalmente
	DBO	Mensalmente	Mensalmente
	turbidez	-	Continuamente
	Cl ₂ Residual	Continuamente	Continuamente

Fonte: Adaptado, BRASIL (2017)

No que se refere os coliformes termotolerantes, foi considerado o limite de < 10 NMP/100 mL para reuso agrícola irrestrito, pois havia uma falta de estudos epidemiológicos e microbiológicos desenvolvidos em condições típicas brasileira. O valor apresentado é consistente, por haver precedência de êxito em outros projetos ao redor do mundo, utilizando o mesmo valor (INTERÁGUAS, 2018).

Em práticas de reúso agrícola restrito é recomendado utilizar valores inferiores a 103 NMP/100 mL para coliformes termotolerantes, devendo ter total atenção a trabalhadores que tenham contato com a água de reúso. Na fase de licenciamento do projeto, esta opção deve ser averiguada (INTERÁGUAS, 2018).

Quanto aos ovos de helminto, estes devem ser menores que 1 ovo/L, pois ao se estabelecer critério para ovos de helmintos há uma minimização dos riscos para reúso agrícola de forma geral. Os valores de DBO foram estabelecidos visando ter segurança de que o tratamento está sendo executado da maneira correta, assim como todos os outros critérios apresentados na Tabela 5 (INTERÁGUAS, 2018).

Fertirrigação com esgoto sanitário

O Atlas Irrigação da Agência Nacional de Águas (ANA) (2017), aproximadamente 67% do consumo de água refere-se a agricultura irrigada, demonstrando ser é o setor responsável pelo maior consumo de água no Brasil. Com isso, o reúso de água nas regiões agrícolas é um grande aliado na redução da pressão de corpos hídricos superficiais e subterrâneos, favorecendo a preservação da água disponível para consumo humano e dessedentação animal, além de diminuir o lançamento de efluentes em corpos hídricos. Esta prática também pode reduzir a demanda por fertilizantes químicos na agricultura, em função das consideráveis concentrações de nutrientes no esgoto sanitário. Tal prática de reúso é conhecida como fertirrigação, e demonstra grande eficiência em alguns tipos de cultura (MELO et al., 2020).

De acordo o INTERÁGUAS (2022), no Brasil, o reúso ainda é algo que está começando a ser discutido. Os preceitos são anteriores à Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB), instituída pela Lei nº 11.445/2007. O Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), no ano de 2005, por meio da Resolução nº 54, estabeleceu modalidades e orientações gerais para o reúso não potável. Cinco anos depois, a Resolução CNRH nº 121 fixou diretrizes e critérios para a prática de reúso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal.

É preciso então pensar em tecnologias que possam suprir a atual demanda de água, para que a produção de alimentos não seja afetada, gerando impactos negativos na economia. Em paralelo, a dificuldade em identificar fontes de água para a irrigação, o alto custo de fertilizantes, o custo elevado para o tratamento e

lançamento em corpos receptores, respeitando a Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde, que trata da Potabilidade - reúso potável, e das Resoluções Conama nº 357/2005 e nº 430/2011, que tratam, respectivamente, da Classificação dos corpos d'água e padrões de lançamento de efluentes – reúso planejado indireto, recreacional ou para manutenção da vazão, e nº 396/2008 (Recarga artificial de aquíferos – reúso planejado indireto). O reconhecimento, pelos órgãos gestores de recursos hídricos, do valor intrínseco da prática, são fatores que estimularam o aumento da fertirrigação nas últimas décadas (HESPANHOL, 2002).

Para Forero (1993) a fertirrigação traz muitos benefícios, principalmente em zonas semiáridas, como:

- Eficaz produtividade por conta do aumento de área irrigada;
- evita o lançamento direto de esgoto em corpos hídricos;
- preserva recursos subterrâneos, principalmente em áreas onde a utilização excessiva de aquíferos provoca intrusão de cunha salina ou subsidência de terrenos;
- ajuda a conservar os solos e evita erosões;
- em países em desenvolvimento principalmente, a contribuição com o aumento da produção de alimentos é um fator estimulante para o aumento da qualidade de vida, saúde e condição social da população.

Hoje, existe um número considerável de estudos que relacionam as principais culturas que recebem bem águas residuárias, pós-tratamento, para a irrigação. Segundo Hespagnol (2002), há um aumento expressivo na produtividade, quando aplicada a fertirrigação.

Ainda por cima, o semiárido brasileiro apesar das adversidades, dispõe de uma boa variedade de culturas, pois muitos dos habitantes destas áreas sobrevivem do plantio e da criação de animais (SALGADO et al., 2018).

Biswas (1988), aponta que, para o início de programas e projetos de reúso de efluentes ser uma realidade, antes é necessário que uma análise sistemática dos fatores básicos intervenientes seja realizada, as Tabelas 6 e 7 dispõem de uma matriz indicada pelo autor, contendo instruções a respeito desta análise.

Tabela 6 - Matriz para análise de projetos de irrigação com esgoto (Continua)

Item		Considerações								
Natureza do problema	Quais os volumes de esgotos produzidos e qual é a distribuição sazonal?	Onde os esgotos serão produzidos?		Quais são as características dos esgotos que serão produzidos?		Quais são as alternativas de disposição possíveis? Viabilidade				
Viabilidade legal	Que usos se pode fazer dos esgotos, de acordo com a legislação existente, se disponível?	Se não existem legislações estaduais ou federais, que usos se pode fazer dos esgotos dentro das diretrizes da Organização Mundial da Saúde (OMS) e da Organização para Alimentos e Agricultura (FAO)?		Quais são os direitos dos usuários dos recursos hídricos e como esses poderiam vir a ser afetados pelo reúso?						
Viabilidade Técnica	A qualidade dos esgotos tratados disponíveis é adequada para irrigação restrita ou irrestrita?	Quanto de terra está disponível ou é necessária para os projetos de irrigação?	Quais são as características do solo nesta terra?	Quais são as práticas de uso da terra? Elas podem ser modificadas?	Que tipos de culturas podem ser consideradas?	A demanda de água pelas culturas é compatível com a variação sazonal dos esgotos disponíveis?	Que técnicas de irrigação serão utilizadas?	Se a possibilidade de recarga de aquíferos é uma das possibilidades para o uso dos esgotos, as características hidrogeológicas são adequadas?	Qual seria o impacto dessa recarga na qualidade das águas subterrâneas?	Existem problemas adicionais de saúde ou de meio ambiente, que necessitam ser considerados?
Viabilidade política e social	Quais foram, no passado, as reações políticas a problemas de saúde e ambientais que, tenham ocorrido em possível conexão com o uso de esgotos?	Qual é a percepção pública da prática do uso de esgotos?	Qual a atitude de grupos em áreas onde esgotos têm possibilidade de serem utilizados?	Quais são os benefícios potenciais do reúso para a comunidade?	Quais são os riscos potenciais?					

Tabela 7 - Matriz para análise de projetos de irrigação com esgoto (Conclusão)

Item		Considerações				
Viabilidade econômica	Quais são os custos de capital envolvidos?	Quais são os custos de operação e manutenção?	Qual é o valor da taxa de retorno?	Quais são os custos de implantação dos sistemas de agricultura irrigada com esgotos, isto é, custos de transporte de água para a área de plantio, instalação de equipamentos de irrigação, infraestrutura, etc?	Quais são os benefícios do sistema de irrigação com esgotos?	Qual é a relação custo/benefício do projeto de irrigação com esgotos?
Viabilidade Operacional	São os recursos humanos e a capacidade operacional locais adequados para as atividades de operação e manutenção dos sistemas de tratamento, irrigação, recarga de aquíferos, operação agrícola e controle de aspectos de saúde e meio ambiente?		Caso contrário, quais são os programas de treinamento que devem ser implementados?			

Fonte: Adaptado, Biswas (1988)

Shende (1985) em seu estudo, disponibiliza uma tabela contendo dados a respeito do aumento da produtividade agrícola (ton/ha/ano) possibilitada pela irrigação com esgotos domésticos, por meio de dados experimentais colhidos em Nagpur, Índia, pelo Instituto Nacional de Pesquisas de Engenharia Ambiental (NEERI). Neste trabalho é observado um sincero aumento nas quantidades de trigo, feijão, arroz, batata e algodão, indicando que estas culturas são ideais para a fertirrigação.

Após passar por um sistema convencional de tratamento de efluentes, verificou-se uma concentração típica de de 15 mg/litro de N total e 3 mg/litro de P total, proporcionando às taxas geralmente vistas em zonas semiáridas, que é de 2 metros por ano, uma aplicação de 300 kg/há/ano e 60 kg/ha/ano de P, quantidades suficientes para desprezar fertilizantes. Não há somente o beneficiamento de nutrientes, como também adição de matéria orgânica, que estabelece uma ótima condição para o solo (aumento da capacidade de retenção de água) (WHO, 1989).

Há também, redução de custos com fertilização de culturas após o emprego de água residuária na irrigação, tal qual o nível requerido de purificação do efluente e, conseqüentemente, os custos de seu tratamento, pois estes efluentes contêm nutrientes e o solo e as culturas comportam-se como biofiltros naturais (HARUVY, 1997).

Para que se comprove a eficiência econômica do reúso agrícola da água, é necessário que os custos sejam mais baixos que outras soluções que tenham o mesmo propósito. Diante disso, quando considerados os custos do tratamento convencional de esgotos com o lançamento direto nos corpos d'água, de irrigação com outro tipo de água, o sistema de reciclagem de esgotos domésticos deve apresentar menores valores. Conseqüentemente, o metro cúbico do efluente tratado deve custar menos que a água para o irrigante, e no fim, o custo para o tratamento de esgotos será menor para a empresa de saneamento (WINPENNY et al., 2010).

3.3 Sistemas de tratamento de baixo custo

Grande parte das famílias que moram no sertão nordestino, mais especificamente no território semiárido, sobrevivem do cultivo de vegetais, legumes e frutas, seja para o próprio consumo, ou exportação. Apesar destas vendas, muitos agricultores carecem de uma segura fonte de renda, pois em grande parte do ano, por conta das condições climáticas, as culturas não se desenvolvem (SCHAER-BARBOSA; SANTOS; MEDEIROS, 2014).

Em vista disso, tecnologias de baixo custo para o tratamento de efluentes por parte de pequenos agricultores habitantes do semiárido alagoano, são o ideal e devem ser desenvolvidas, buscando a redução de custos e maior eficiência. Considerando isto, um projeto que seja sustentável deve seguir critérios da ecoeficiência (ALMEIDA, 2007):

- Reduzir o consumo de materiais com bens e serviços;
- Reduzir o consumo de energia com bens e serviços;
- Reduzir a dispersão de substâncias tóxicas;
- Intensificar a reciclagem de materiais;
- Maximizar o uso sustentável de recursos renováveis;
- Prolongar a durabilidade dos produtos;
- Agregar valor aos bens e serviços.

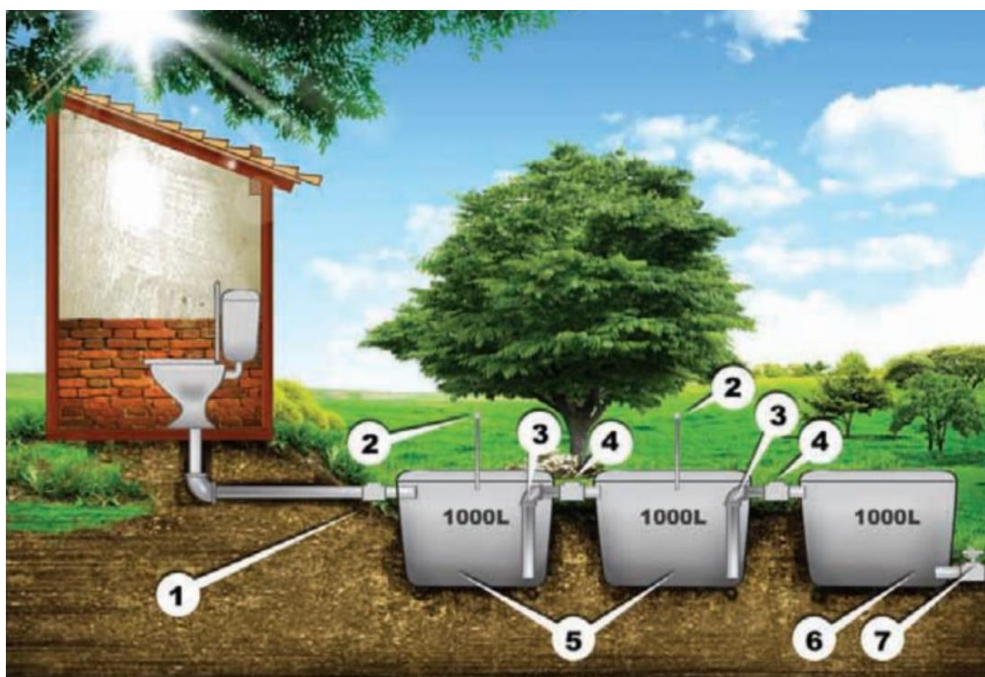
Em comunidades rurais, por conta da falta de uma rede coletora de esgotos, os efluentes acabam sendo descartados de forma inadequada, seja por meio de fossas negras ou rudimentares, que são basicamente valas ou buracos instalados no chão, onde as fezes ficam em contato direto com o solo, sem nenhuma preocupação quanto à contaminação ao solo, das águas superficiais e subterrâneas e expõe a comunidade local ao risco de contrair doenças, pelo consumo da água ou de alimentos contaminados direta ou indiretamente por esses dejetos (EMBRAPA, 2010).

Entre as doenças provocadas pela contaminação de águas, pode-se citar: diarreia, cólera, hepatite, entre outras no ser humano, podendo inclusive causar a morte (EMBRAPA, 2010).

A fossa séptica biodigestora constitui-se de um sistema de tratamento do esgoto de dejetos humanos, capaz de substituir o esgoto a céu aberto e as atuais fossas utilizadas na zona rural, em virtude dos inúmeros benefícios trazidos pela mesma, como a reciclagem de dejetos e sua vedação hermética (impedindo a proliferação de vetores de doenças) (NOVAES et al., 2006).

No que se refere o funcionamento de uma fossas séptica de baixo custo, representada na Figura 5 abaixo, o esgoto é direcionado para reservatórios, que durante intervalos de tempo (geralmente dias), recebe água e esterco bovino seco, com isso, ocorre a fermentação ou a biodigestão anaeróbia do efluente, eliminando uma boa parte dos patógenos ali existentes (SOUZA et. al., 2016).

Figura 5 - Esquema de uma Fossa Séptica Biodigestora



Fonte: Novaes et al. (2006)

Seguindo a representação gráfica apresentada na Figura 4, os seguintes componentes pertencentes a fossa séptica biodigestor de baixo custo estão apresentados (NOVAES et al., 2006):

- Válvula de retenção entre o vaso sanitário e a primeira caixa para a colocação do esterco fresco (1);
- Cano PVC de 1 metro de altura, centralizado nas duas primeiras caixas, tampado na ponta, mas com pequenos orifícios laterais, para a descarga do gás acumulado (2);

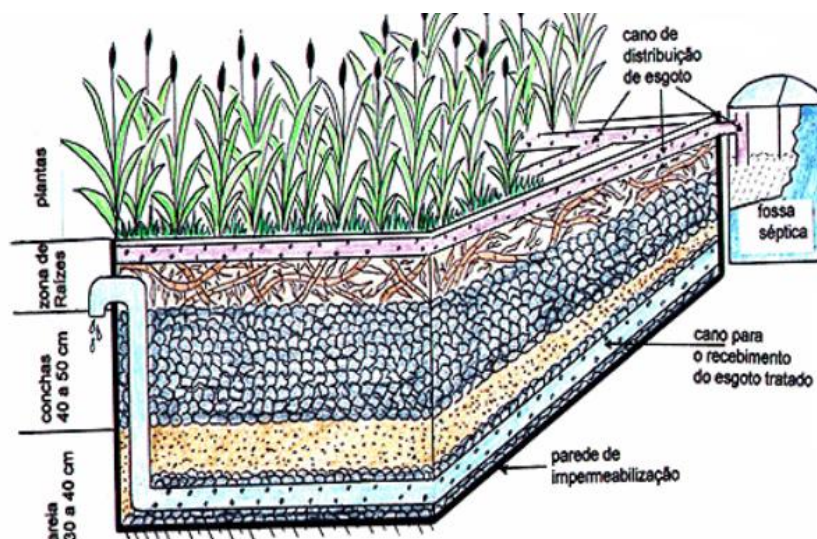
- As caixas são conectadas entre si com tubos de PVC de quatro polegadas, com curva de 90 mm longa no interior das caixas para passagem da primeira caixa para a segunda e para a terceira caixa (3);
- “T” de inspeção entre as três caixas para o acaso de entupimento do sistema (4);
- Duas primeiras caixas (5);
- Última caixa (6);
- Registro de esfera para coleta do efluente (7).

Ademais, em uma pesquisa realizada por Franceschini (2019), o autor diz que apesar de existirem poucos trabalhos publicados no Brasil sobre reatores UASB no tratamento de esgotos unifamiliares, com baixas vazões; o desempenho encontrado em sua pesquisa foi satisfatório ao tratar um efluente com altas concentrações nas condições de operação escolhida, foi possível notar também que apesar do bom desempenho, não houve geração de biogás.

Uma terceira alternativa, e ideal para o meio rural é a instalação de um sistema de Tratamento de Esgoto Sanitário por Zona de Raízes (*Wetlands*), constituído por uma base de solo filtrante, e que funciona como uma tecnologia autossustentável. As *Wetlands* ocupam pequenas áreas de instalação na área externa de residências, e que pode ser incorporado sem causar danos ao meio ambiente, trata-se de um sistema apropriado para comunidades rurais, escolas e residências unifamiliares (CETEC, 1985).

O esgoto doméstico passa antes por uma fossa séptica, em seguida, através de tubulações perfuradas é lançado na zona de raízes plantada acima de um filtro físico (Geralmente constituído por um material de suporte como cascalho ou pedra britada e areia grossa) (KAICK, 2002). São plantadas sobre este filtro físico as plantas que formam zona de raízes, com aproximadamente 50 cm de profundidade, o filtro deve ser estruturado por uma camada de brita nº 2. Em seguida, ocupando um espaço de 40 cm de altura entre o fundo do filtro e a camada de brita, encontra-se outra camada do filtro, composta de areia. Abaixo de tudo ficam as tubulações que captam o efluente tratado. Na Figura 7 é possível observar um esquema que exemplifica a composição desta tecnologia.

Figura 6 - Sistema de tratamento de esgoto sanitário por zona de raízes



Fonte: Kaick (2002)

Portanto, considerando o atual cenário socioeconômico em que se encontram as pessoas que vivem no semiárido alagoano, é possível encontrar tecnologias que possam ser empregadas pela população destas áreas, reduzindo custos, e em paralelo, obtendo uma eficaz reciclagem de águas residuárias.

Fertirrigação na produção de hortaliças

Em uma apresentação realizada no dia 10 de junho de 2022, pelo profissional Carlos Eduardo Pacheco Lima (EMBRAPA). Graduado em engenharia ambiental e Doutor em Agronomia, área de concentração Solos e Nutrição de Plantas ambos pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), foi abordado o reúso de efluentes na produção de hortaliças. Carlos Eduardo é atualmente pesquisador da Embrapa Hortaliças, onde desenvolve pesquisas sobre mitigação e adaptação dos sistemas produtivos de hortaliças às mudanças climáticas (WEBINAR:... 2022).

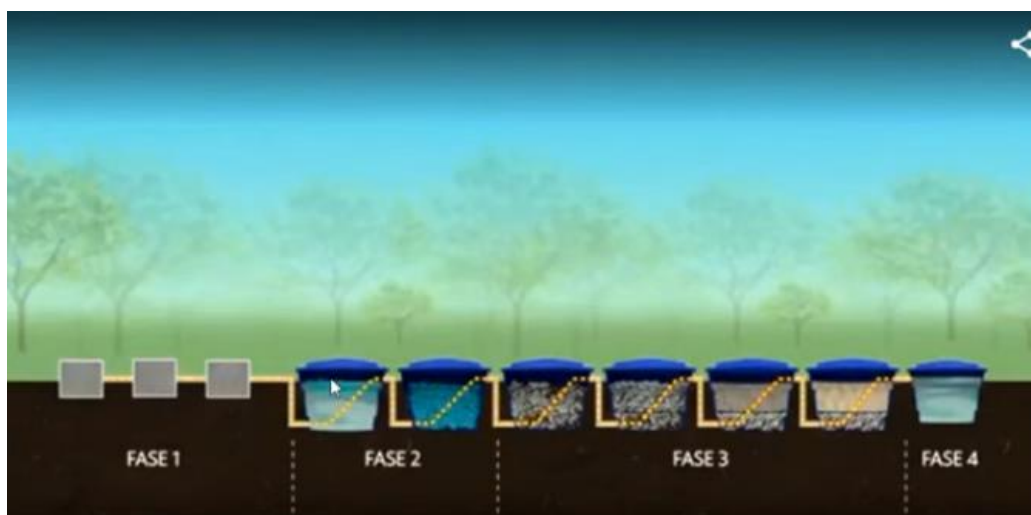
Em seu estudo, após a exposição da atual preocupação frente às mudanças climáticas e uma breve apresentação a respeito da produção de hortaliças no Brasil, o pesquisador mostrou a proposta de estações de tratamento de esgoto doméstico e sistemas de produção agrícola de baixo custo (ReAqua) para pequenas comunidades e/ou isoladas. As estações de tratamento de efluentes seriam compostas por (WEBINAR:... 2022):

- Tratamento preliminar: Gradeamento, caixa de gordura e desarenador;

- Tratamento secundário: Tanque séptico e filtro anaeróbio;
- Tratamento terciário: pré-filtração em dois filtros (Primeiro com brita 3 e o segundo com brita 1, seguidos de filtros lentos de areia em diferentes granulometrias), além de desinfecção com cloro.

O sistema citado pode ser observado Figura 8 abaixo, onde na fase 1 é realizado o tratamento preliminar, na fase 2 encontra-se o tanque séptico e filtro anaeróbio, na fase 3 estão dispostos os filtros de brita e areia e por fim, na fase 4 é realizada a desinfecção (WEBINAR:... 2022):

Figura 7 - Esquema representativo da etapa de tratamento de efluentes do sistema ReAqua



Fonte: WEBINAR:... (2022)

Após testes utilizando o sistema ReAqua, e reciclando efluentes para a fertirrigação de hortaliças, foram obtidos resultados muito satisfatórios como: Eficiência de 100% de remoção de coliformes termotolerantes; pH de 8,1; Condutividade elétrica de 0,85 dS/m; OD de 5,6; DBO_{5,20} < 3,0 mg/L; Turbidez <7 e Cloro Residual de 1,8 mg/L (WEBINAR:... 2022).

Quanto à água residuária em si, foi observada a presença de 0,17 mg/L de NH₃, 0,02 mg/L de NO₂, 51 mg/L de NO₃, 100 mg/L de SO₄ e 2,8 mg/L de PO₄ (WEBINAR:... 2022).

Portanto, foi observado que, após diversos ciclos de teste, a utilização de águas residuárias na fertirrigação de hortaliças, após passarem por um sistema de tratamento barato e eficiente, foi totalmente válida, obtendo diversos resultados

positivos, com um aumento na produção significativo, sem comprometer a saúde humana (WEBINAR:... 2022).

Fertirrigação na produção da melancia

Salgado et al. (2018) estudaram o desempenho da melancia após ser fertirrigada. O experimento foi realizado em Petrolândia – PE, a 430 km de Recife. Utilizaram um efluente que havia sido submetido a um tratamento preliminar (caixa de areia), reator anaeróbio de manta de lodo e fluxo ascendente (UASB) de 50 m³, e um tanque de equalização de 12 m³ - após o tratamento, o efluente era direcionado para o sistema de fertirrigação que guiava o efluente tratado, distribuído via gotejamento às plantas. O sistema de tratamento criado foi capaz de remover cerca de 72% da demanda química de oxigênio (DQO) e 85% da demanda bioquímica de oxigênio (DBO), a DBO neste caso, estava de acordo com os padrões estabelecidos na CONAMA (2011). Mas, foi percebido um alto risco de entupimento dos gotejadores, devido o valor médio de sólidos suspensos de 114 mg.L⁻¹, neste caso. Também foi constatado um valor médio da razão de adsorção de sódio, de 3,006 c.L⁻¹ superior aos 300 c.L⁻¹.

Além disso, não foi detectada a presença de metais pesados, tendo o restante dos nutrientes enquadrados da melhor forma. Para Tsutiya (2001) o efluente tratado, possui características aceitáveis para ser utilizado na irrigação de culturas que devem ser processadas industrialmente, utilizando-se desse sistema de irrigação desde que não haja contato direto de pessoas com o efluente tratado. Foi constatado que seria necessária uma maior remoção de DBO, N-NH₄⁺ e coliformes fecais, sendo fundamentais alguns cuidados no manejo da irrigação, evitando, assim, a contaminação do fruto. Pouco foi removido de sólidos, mesmo com tanque de equalização e filtros de discos para a irrigação, para evitar riscos severos de entupimento nos gotejadores, logo, recomenda-se melhorar a remoção de sólidos suspensos totais (SST) para o reúso na agricultura (SALGADO et al., 2018).

Fertirrigação na produção da berinjela

Resultados muito semelhantes foram percebidos por Medeiros et al. (2015), ao observarem o crescimento de berinjelas sob adubação nitrogenada e fosfatada e irrigada com água de reúso.

Este estudo por sua vez foi realizado em uma casa de vegetação, no Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campus de Pombal – PB (MEDEIROS et al., 2015).

Os autores, após o experimento e a coleta dos dados, comprovaram que doses de 3,55 g de N e 15,28 g de P por planta quando utilizada água de reúso na fertirrigação de berinjela são suficientes para suprir as necessidades nutricionais da cultura. Foi observado também que a massa fresca da folha de plantas de berinjela decresceu linearmente a medidas que havia aumento das doses de N aplicadas. Além disso, não houve diferença entre a produção de massa fresca e seca da parte aérea de plantas de berinjela irrigadas com água de reúso, que utilizava 40% da adubação com N e P, das que receberam 100% da indicação de N e P (MEDEIROS et al., 2015).

Foi constatado então que, o reúso de águas residuárias surgiu como uma poderosa fonte de água e nutrientes para estas culturas, principalmente em territórios sob condições edafoclimáticas presentes no semiárido brasileiro (MEDEIROS et al., 2015).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Elaboração da revisão bibliográfica

Uma revisão bibliográfica tem como propósito aperfeiçoar e sedimentar o tema proposto para um trabalho, estabelecendo conexões com o que já foi realizado sobre o assunto através de reflexões e análises pertinentes. Este tópico, presente em muitos trabalhos acadêmicos, é de suma importância para que o leitor compreenda o que está sendo abordado com clareza, e para que se tenha uma noção a respeito do que já foi feito, quais os resultados obtidos e, mais importante, para que haja uma identificação de possíveis lacunas a serem preenchidas em um estudo posterior (BARROS, 2011).

No que se refere este tópico, foi realizando um levantamento bibliográfico de textos científicos (artigos, teses, livros, entre outros.) publicados em periódicos disponibilizados na base de dados Google Acadêmico. Toda a literatura acadêmica que contribuiu para o presente trabalho foi coletada na base de dados “Google Acadêmico”. Segundo o Google (2022), a plataforma permite a busca simplificada de textos de cunho acadêmico, de diferentes autores e lugares do globo.

Na barra de busca, não foi utilizado qualquer filtro de idioma, logo, a busca ficou em aberto para todos os idiomas. Em seguida, as buscas foram feitas respeitando o tema, utilizando as seguintes palavras-chave: Reúso de efluentes, semiárido brasileiro, fertirrigação e tecnologias de tratamento de efluentes de baixo custo.

Outrossim, houve também a busca por fontes confiáveis utilizando a ferramenta de pesquisa do Google, neste caso o foco foi de encontrar diferentes fontes de informação, como vídeos, filmes, documentários, palestras, entre outros.

Com isso, foi estabelecida uma sólida base de pesquisa para as leituras que estruturaram a revisão bibliográfica deste trabalho.

4.2 Caracterização do semiárido alagoano

Primeiro, foi necessário delimitar o semiárido do estado de Alagoas, para isso, foi acessada a página de metadados da SUDENE, onde foram encontrados mapas no formato *pdf*, além de *shapes da região*, para a criação de mapas, utilizando um sistema de informações geográficas (SIG) por meio do *software* QGIS, os mapas desenvolvidos foram de Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), Índice de Gini e PIB municipal.

Para a caracterização do semiárido alagoano, primeiro, assim como a revisão bibliográfica, foi realizada a busca das seguintes palavras-chave no google acadêmico: Alagoas e Semiárido, com o propósito de que informações a respeito das características edafoclimáticas, topográficas e hidrológicas fossem encontradas. Além de trabalhos acadêmicos, muitas destas informações foram encontradas no site da EMBRAPA, INPE, SUDENE e do IBGE.

Por fim, houve a coleta de informações político-sociais. Nesta etapa, foi acessado o “IBGE Cidades”, página do IBGE que contém informações dos últimos

Censos, bem como as populações, informações econômicas, assim como o IDHM e o PIB de cada município do semiárido do Estado de Alagoas. Os dados demográficos dos municípios foram imprescindíveis para o cálculo das estimativas qualitativas e quantitativas realizados no tópico seguinte.

4.3 Cálculo das estimativas qualitativas e quantitativas

Finalmente, para esta etapa, inicialmente o foco foi a verificação do atual quadro de saneamento na região de estudo. O principal parâmetro para a realização desta análise, foi verificar através do Atlas Esgotos o número de Estações de Tratamento de Efluentes na região do semiárido alagoano (Ativas ou não). Em posse desta informação, foi construído um mapa esquemático, com a localização das ETE's cadastradas no sistema. Também foi construída uma tabela, contendo informações básicas destas ETE's, sendo estas: nome, *status*, tipo de processo aplicado, eficiência, carga de lançamento da ETE e nome do corpo receptor.

O Atlas Esgotos trata-se de uma base de dados, da ANA, em parceria com a Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades. O Atlas Esgotos é uma publicação com embasamento técnico e estratégico, que auxilia os setores de recursos hídricos e de saneamento, para que tenham à disposição uma vasta gama de dados para subsidiar a tomada de decisão na gestão de recursos hídricos e na orientação dos investimentos no tratamento dos esgotos urbanos (ANA, 2017).

Em seguida foi realizado o cálculo da produção de esgoto para cada município do estado de Alagoas que esteja inserido no semiárido brasileiro. Para isto, inicialmente, foi utilizado o valor estimado pelo IBGE (2021), para as populações de cada município.

Von Sperling (1995) em seu estudo afirma que, para que se obtenha o valor médio da vazão de esgotos, é necessário que se conheça o consumo de água do sistema estudado (seja ele uma indústria, escola, cidade, entre outros). Todavia, o autor deixa claro que apenas uma parte do esgoto adentra a rede coletora de esgotos, pois uma fração é incorporada à rede pluvial. A parte que entra na rede coletora de esgotos é chamada Coeficiente de Retorno (R), este valor corresponde ao volume de esgoto recebido na rede coletora / volume de água fornecido a

população, neste presente estudo o coeficiente de retorno utilizado será de 0,8 (R=0,8). Através da Eq. 1 será realizado o cálculo da vazão média de esgotos.

$$Q_{dméd} = \frac{Pop \cdot QPC \cdot R}{1000} \quad (1)$$

Onde:

$Q_{dméd}$ = vazão doméstica média de esgotos (m³/d)

Pop = População de estudo (hab)

R = coeficiente de retorno esgoto/água

QPC = quota per capita de água

A quota per capita de água (QPC) é comumente utilizada em projetos de abastecimento de esgoto, para cálculos de consumo doméstico, industrial e comercial. Em sistemas de esgoto sanitário, a QPC é fundamental para o estabelecimento do consumo efetivo, não incluindo perdas. É influenciada por diferentes fatores, como: Hábitos higiênicos, sistemas de medição do abastecimento de água, instalações e equipamentos hidráulico sanitários, valor da tarifa, temperatura média da região, renda familiar, índice de industrialização da região e tipo de atividade comercial. A Figura 8 possui os valores ideais para a quota per capita, os quais são diferidos quanto o porte da comunidade de estudo (VON SPERLING, 1995).

Tabela 8 - Quota per capita (QPC)

Porte da comunidade	População (hab)	QPC (L/hab.d)
Povoado rural	< 5.000	90 – 140
Vila	5.000 – 10.000	100 – 160
Pequena localidade	10.000 – 50.000	110 – 180
Cidade média	50.000 – 250.000	120 – 220
Cidade grande	> 250.000	150 – 300

Fonte: Von Sperling (1995)

Neste estudo será adotado o menor valor de cada intervalo para as quotas per capitas (intervalos presentes na Tabela 8 acima), a fim de que um padrão seja seguido, além de garantir que erros sejam minimizados, e o trabalho seja realizado em uma zona segura.

A estimativa da vazão de esgoto doméstico também foi realizada para moradias unifamiliares e povoados rurais, nestes casos, a QPC adotada foi de 90 L/hab.d em ambos os casos. Para as moradias unifamiliares, foi considerada uma população de 5 habitantes, e para povoados rurais, uma população de 1.000 (mil) habitantes (VON SPERLING, 1995).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Dados numéricos da revisão bibliográfica

Após pesquisas utilizando o Google Acadêmico, no mês de abril de 2022, foram identificados um total de 386.160 textos (notas técnicas, artigos, teses e livros), nos idiomas português, inglês e espanhol, em que 44 serviram de base para o presente estudo, entre estes:

- 28.300 trabalhos acadêmicos que falam sobre reúso de efluentes de forma ampla, destes, foram selecionados 14 textos que foram lidos e analisados, com o propósito de obter informações pertinentes para o presente estudo;
- 17.200 trabalhos que falam sobre o semiárido brasileiro (em diferentes contextos e áreas do conhecimento), destes, foram escolhidos 7 textos;
- 3.660 textos sobre fertirrigação, onde 15 foram selecionados para leitura e estruturação do presente trabalho;
- 337.000 textos acadêmicos sobre tecnologias de tratamento de efluentes de baixo custo, em que 14 foram utilizados para a construção do presente trabalho.

Além dos trabalhos acadêmicos obtidos na plataforma citada, outros materiais foram diretamente obtidos utilizando a barra de pesquisa do Google, como: videoconferência, notas técnicas e páginas da web de sites organizacionais com informações pertinentes (IBGE, SUDENE, INPE, EMBRAPA, entre outros.).

Os textos foram lidos e analisados, com o objetivo de identificar possíveis aproximações das abordagens apresentadas com a Potencialidade de Reúso de Efluentes nos Municípios da Região do Semiárido do Estado de Alagoas.

5.2 Semiárido Alagoano

O Estado de Alagoas é uma das 27 unidades federativas do Brasil. Está localizado no leste da região nordeste, fazendo fronteira com os estados de Pernambuco (N e NO), Sergipe (S) e Bahia (SO), além de ter como um dos seus limites o oceano atlântico. Alagoas possui uma rica cultura, principalmente em sua região leste, caracterizada pelo bioma Caatinga e seu povo sertanejo, que sobrevive da criação de animais e plantação de diferentes culturas, mesmo que em condições adversas proporcionadas pela semiaridez (GOMES et al., 2019).

As Tabela 9 e 10 contém os municípios do estado de Alagoas que pertencem à demarcação realizada pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) além disso, a tabela contém o número de habitantes de cada município, dividindo em área urbana e rural, Índice de Desenvolvimento Humano Municipal, e o PIB Municipal, obtidos no Site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Tabela 9 - Dados demográficos do semiárido de Alagoas (Continua)

Município	População (Estimada em 2021) (hab)	População Urbana (Censo 2010) (hab)	População Rural (Censo 2010) (hab)	IDHM (Censo 2010)	PIB (2019) (R\$) X 1000
Água Branca	20.263	5.100	14.276	0,549	161.084,00
Arapiraca	234.309	181.562	32.505	0,649	4.975.188
Batalha	18.440	12.042	5.034	0,594	171.642
Belo Monte	6.717	1.171	5.861	0,507	100.931
Cacimbinhas	10.920	5.404	4793	0,531	102.072
Canapi	17.715	5.538	11.710	0,506	126.730
Carneiros	9.568	4.702	3.588	0,526	66.809
Coité do Nóia	10.594	3.737	7.189	0,533	131.489
Craíbas	24.396	7.331	15.312	0,525	250.010
Delmiro Gouveia	52.501	34.849	13.241	0,612	574.186
Dois Riachos	11.059	5.084	5.795	0,532	75.997
Estrela De Alagoas	18.304	4.031	13.223	0,534	117.594
Girau do Ponciano	41.549	11.298	25.327	0,536	380.601
Igaci	25.596	6.193	19.004	0,564	220.052
Inhapi	18.398	6.699	11.203	0,484	133.094
Jacaré dos Homens	5.185	3.032	2.381	0,583	53.560
Jaramataia	5.751	2.917	2.645	0,552	53.416
Lagoa da Canoa	17.692	9.165	9.088	0,552	209.760
Major Isidoro	19.923	9.310	9.591	0,566	195.053
Maravilha	8.113	5.129	5.147	0,672	70.325
Mata Grande	5.315	5.676	19.026	0,504	247.877

Tabela 10- Dados demográficos do semiárido de Alagoas (Continuação)

Município	População (Estimada em 2021) (hab)	População Urbana (Censo 2010) (hab)	População Rural (Censo 2010) (hab)	IDHM (Censo 2010)	PIB (2019) (R\$) X 1000
Minador do Negrão	5.315	2.252	3.028	0,563	58.505
Monteirópolis	7.171	2.518	4.426	0,539	57.994
Olho d'Água das Flores	21.690	13.992	6.375	0,565	217.964
Olho d'Água do Casado	9.507	4.027	4.464	0,525	75.481
Oliveira	11.681	3.147	7.910	0,493	84.747
Ouro Branco	11.573	6.873	4.038	0,667	83.592
Palestina	5.061	3.237	1.875	0,558	39.565
Palmeira dos Índios	73.452	51.655	18.779	0,638	947.014
Pão De Açúcar	24.307	10.772	13.037	0,593	216.367
Pariconha	10.546	2.796	7.450	0,548	76.647
Piranhas	25.324	13.191	9.861	0,589	268.004
Poço das Trincheiras	14.447	2.043	11.830	0,526	92.542
Quebrangulo	11.202	6.474	5.012	0,559	139.084
Santana do Ipanema	47.910	27.201	17.748	0,591	563.952
São José da Tapera	32.462	11.661	18.479	0,527	274.160
Senador Rui Palmeira	13.893	3.944	9.103	0,518	87.435
Traipu	27.934	8.035	17.675	0,532	200.850

Fonte: Autor (2022)

Índice de Desenvolvimento Humano é um dado estatístico criado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) a fim de contrapor os dados econômicos, e medir assim a riqueza da localidade analisando o desenvolvimento a partir dos três aspectos principais da população: renda, educação e saúde (PNUD, [s.d.]).

De acordo com o Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil, parceria entre Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), PNUD e a Fundação João Pinheiro (FJP), as faixas de desenvolvimento humano se classificam em:

- Muito alto – 0,800 a 1,00;
- Alto – 0,700 a 0,799;

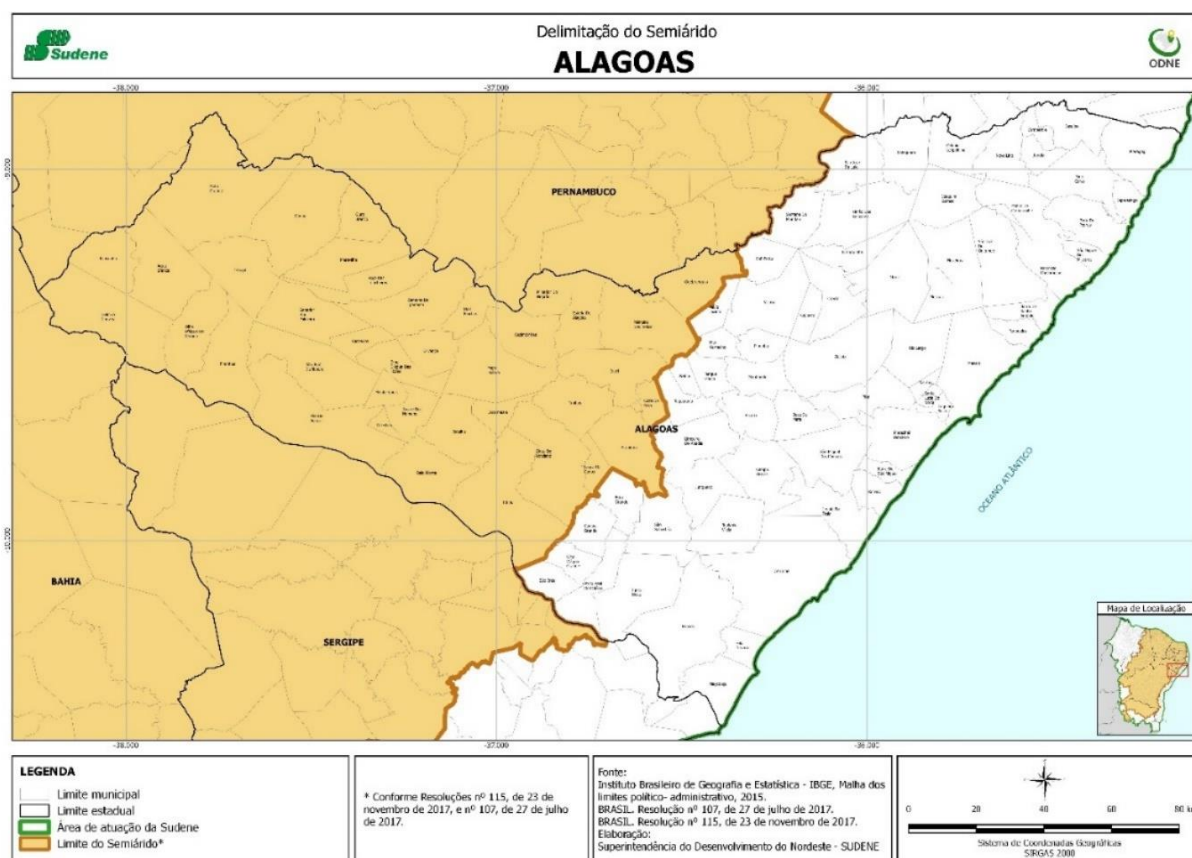
- Médio – 0,600 a 0,699;
- Baixo – 0,500 a 0,599;
- Muito Baixo – 0,000 a 0,499.

Como pode-se observar nas Tabela 9 e 10, a média do Índice de Desenvolvimento Humano para semiárido de Alagoas é de 0,550, situando essa região na faixa de Desenvolvimento Humano Baixo. Logo, a região sofre em aspectos econômicos e educacionais. Isto afeta diretamente a percepção da população quanto à reciclagem de efluentes domésticos na irrigação de culturas, e não só isso, o valor baixo o IDHM fomenta a necessidade de promoção de programas que visem beneficiar a vida das pessoas da região e neste intuito que a fertirrigação surge como uma ótima alternativa (IBGE, c2017).

O Produto Interno Bruto (PIB) é um indicador síntese de economia que aponta os bens e serviços finais produzidos durante um período. Os resultados do PIB dos Municípios permitem identificar as áreas de geração de renda, produzindo informações que captam as especificidades do País. Na página “IBGE Cidades” ao analisar os 38 municípios, percebe-se que, para a maioria, a agropecuária possui um impacto considerável na geração de renda, isto se deve ao fato de que grande parte da população destes municípios vive na zona rural (IBGE, c2017).

Ainda, segundo a demarcação realizada pela SUDENE, ilustrada na Figura 9, percebe-se que o semiárido está contido em 38 municípios do estado alagoano, as tabelas acima trazem importantes informações sobre estes municípios, uma vez que entender que a maioria da população vive na zona rural, é compreender que estas pessoas se beneficiaram do reuso de águas residuárias para a fertirrigação de culturas plantadas em seus territórios.

Figura 8 - Delimitação do semiárido em Alagoas

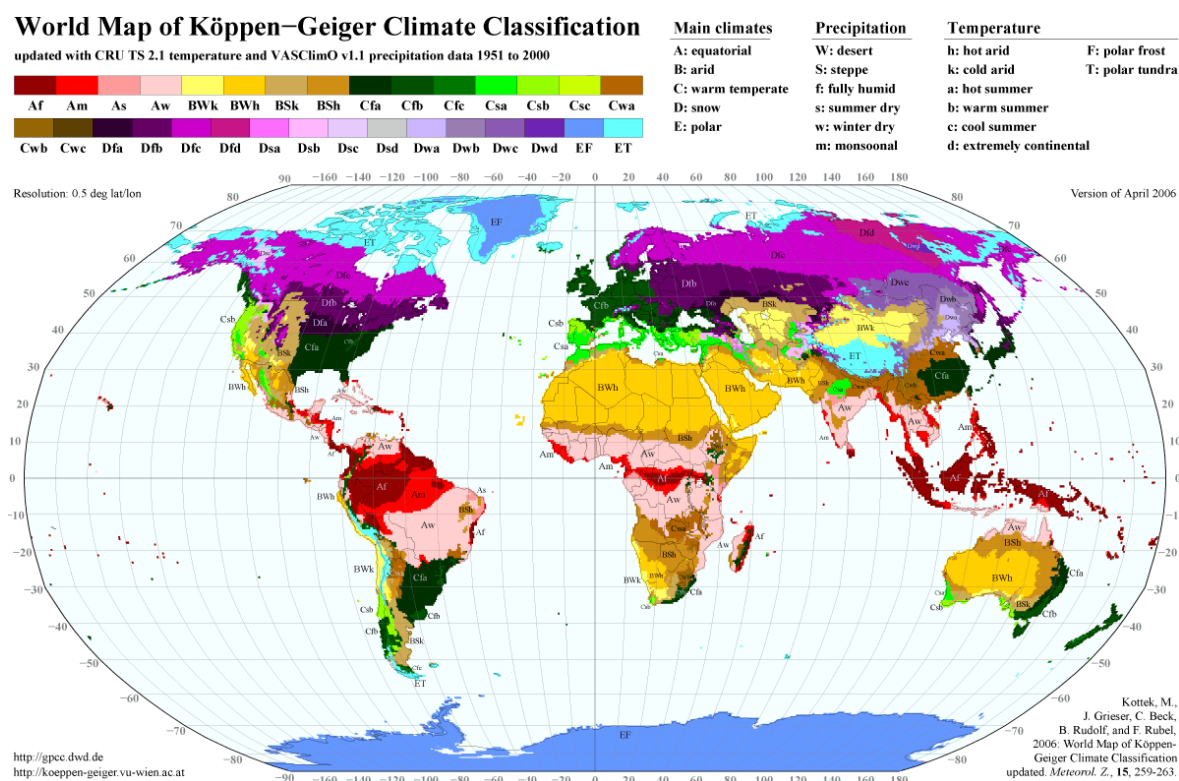


Fonte: SUDENE (2017)

É possível notar também que, grande parte dos municípios possui sua população majoritariamente vivendo na zona rural, cerca de 60,5% dos municípios possuíam uma população rural maior que a urbana no ano de 2010 e isto é um ponto de extrema relevância, quando se fala em preconceito quanto ao reúso de efluentes, uma vez que o acesso à informação nestas áreas é mais escasso. Paralelamente, no que se refere o semiárido alagoano, este possui uma área de 12.579,3 km² e neste território estão inclusas nove regiões hidrográficas (Como pode ser visto na Figura 10 abaixo, disponibilizada no site do IBGE), nas quais estão inseridas muitas das principais bacias hidrográficas do estado (COSTA et al., 2020).

A Figura 11 abaixo trata-se de um mapa contendo esta classificação em escala global.

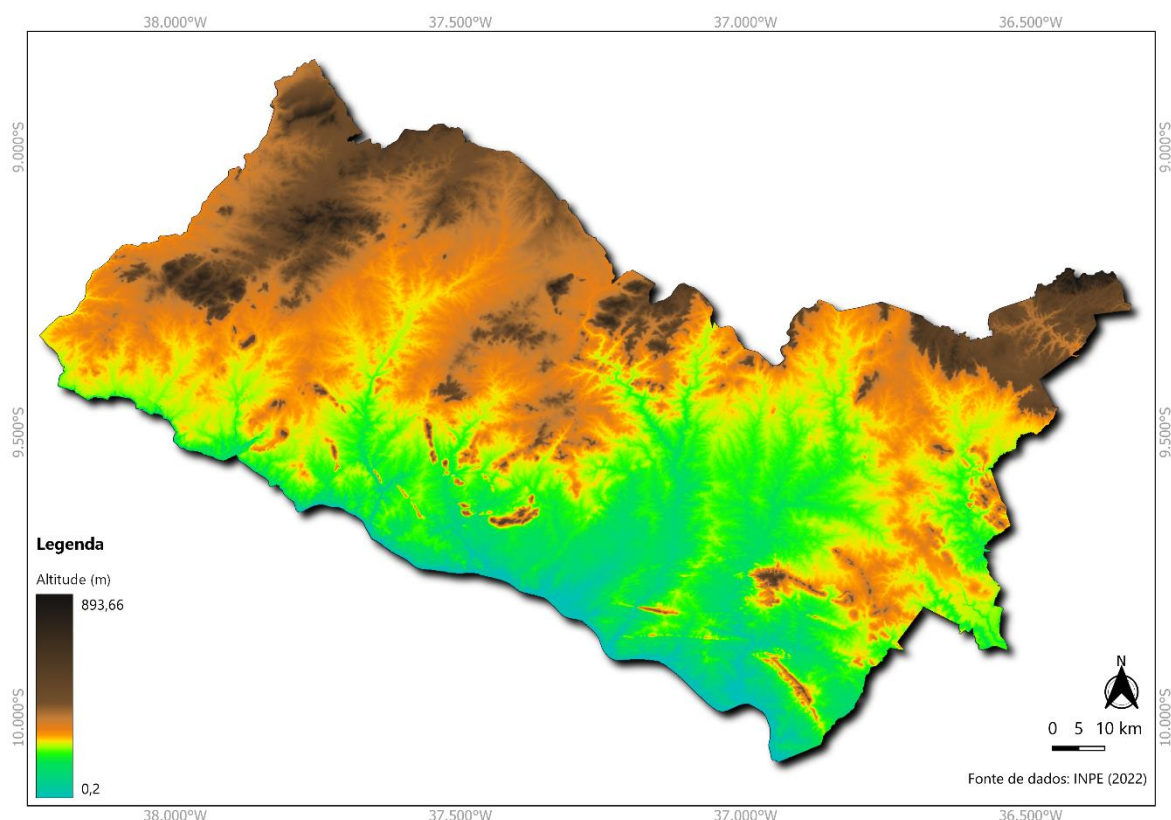
Figura 10 - Classificação Köppen-Geiger (Mapa mundi)



Fonte: Kottek, M. et al (2006)

Quanto à topografia da região de estudo, de acordo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (c2022) e o mapa localizado na Figura 12, nota-se uma altitude máxima de 893,66 m, uma altitude mínima de 0,2 m e uma altitude media 446,93 m (Em relação ao nível do mar), com declividade plana, suave ondulada a ondulada. Estas condições são muito favoráveis ao plantio de diferentes tipos de culturas e à instalação de sistemas de fertirrigação.

Figura 11 - Mapa hipsométrico do semiárido de Alagoas



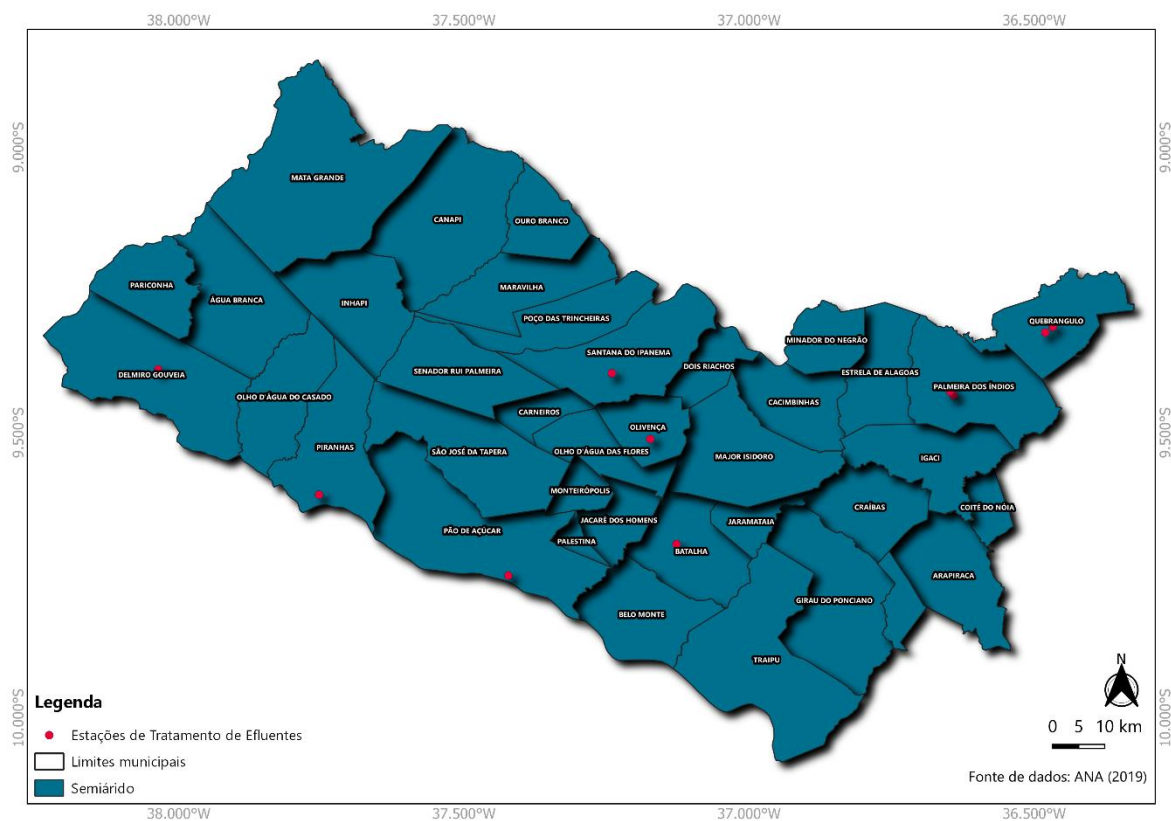
Fonte: Autor (2022)

Para a construção do mapa acima foi utilizado o *software* QGIS 3.24, configurado no sistema de referência geográfica e Datum SIRGAS 2000.

5.3 Estimativas qualitativas e quantitativas

Após acessar o Atlas Esgotos – ANA (2019), em seus metadados, foram encontrados dados a respeito de estações de tratamento de efluentes catalogadas na região do semiárido de Alagoas. Foi obtido um total de dez ETE's, nos municípios de Batalha, Delmiro Gouveia, Olivença, Pão de Açúcar, Piranhas, Palmeira dos Índios, Quebrangulo e Santana de Ipanema que possuem informações georreferenciadas, como pode ser observado na Figura 13.

Figura 12 - Estações de Tratamento de Efluentes no semiárido de Alagoas segundo o Atlas Esgotos



Fonte: Autor (2022)

Das estações catalogadas, nove constam como ativas e uma, no município de Pão de Açúcar, como inativa. Além disso, quatro das estações de tratamento registradas são de condomínios nos municípios de Quebrangulo e Palmeira dos Índios. Apenas 23,68% dos municípios participantes do semiárido alagoano possuem ETE's registradas e em funcionamento segundo a Agência Nacional de Águas, o que apesar de indicar a aplicabilidade da fertirrigação nestes municípios, mostra que menos da metade dos municípios, no presente momento, possuem informações de fácil acesso para a realização de análises, então é indicado que haja a adição e atualização de informações georreferenciadas no sistema da ANA. A Tabela 11 abaixo contém as seguintes informações a respeito destas estações de tratamento: Nome da ETE, *status*, processo, eficiência adotada, nome do corpo receptor e carga de lançamento da ETE.

Tabela 11 - ETE's presentes e georreferenciadas no semiárido de Alagoas segundo o Atlas Esgotos

Município	Nome da ETE	Status	Processo	Eficiência adotada	Nome corpo receptor	Carga de lançamento da ETE (Kg DBO/dia)
Batalha	ETE BATALHA	Ativa	REATOR ANAERÓBIO + LAGOA ANAERÓBIA/FACULTATIVA/DE MATURAÇÃO	74%	Rio Ipanema	23,1
Delmiro Gouveia	ETE Delmiro Gouveia	Ativa	Sem informação	60%	Rio Sem Nome Não disponível na base hidrográfica utilizada	672,7
Olivença	ETE OLIVENÇA	Ativa	FOSSA FILTRO/FOSSA SÉPTICA + FILTRO AERÓBIO/TANQUE IMHOFF + FILTRO BIOLÓGICO	35%	Rio São Francisco	4,2
Pão de açúcar	ETE PÃO DE AÇÚCAR	Inativa	LAGOA ANAERÓBIA	80%	Rio São Francisco	0,0
Piranhas	ETE Piranhas	Ativa	Sem informação	60%	Rio São Francisco	220,7
Palmeira dos índios	ETE RESIDENCIAL EDVAL GAIA	Ativa	LODOS ATIVADOS (CONVENCIONAL/DEEP SHAFT)	85%	Rio Guedes	6,6
Quebrangulo	ETE RESIDENCIAL FREDERICO MAIA NOBRE	Ativa	FOSSA FILTRO/FOSSA SÉPTICA + FILTRO AERÓBIO/TANQUE IMHOFF + FILTRO BIOLÓGICO	60%	Rio Paraíba	14,4
Quebrangulo	ETE RESIDENCIAL GERALDO PASSOS	Ativa	LODOS ATIVADOS (CONVENCIONAL/DEEP SHAFT)	60%	Rio Paraíba	14,4
Palmeira dos índios	ETE RESIDENCIAL PALMEIRAS	Ativa	REATOR ANAERÓBIO + FILTRO BIOLÓGICO	75%	Rio Guedes	34,6
Santana de Ipanema	ETE Santana do Ipanema	Ativa	Sem informação	60%	Rio Ipanema	31,4

Fonte: ANA (2019)

No que se refere a aplicação, considerando os processos de tratamento utilizados e as eficiências adotadas, após o devido enquadramento visto na Tabela 5, seria de grande valia a reciclagem de efluentes pós-tratamento, na fertirrigação de jardins, praças e canteiros, seja como alternativa adotada pelas prefeituras dos municípios, como também para os condomínios listados na Tabela acima.

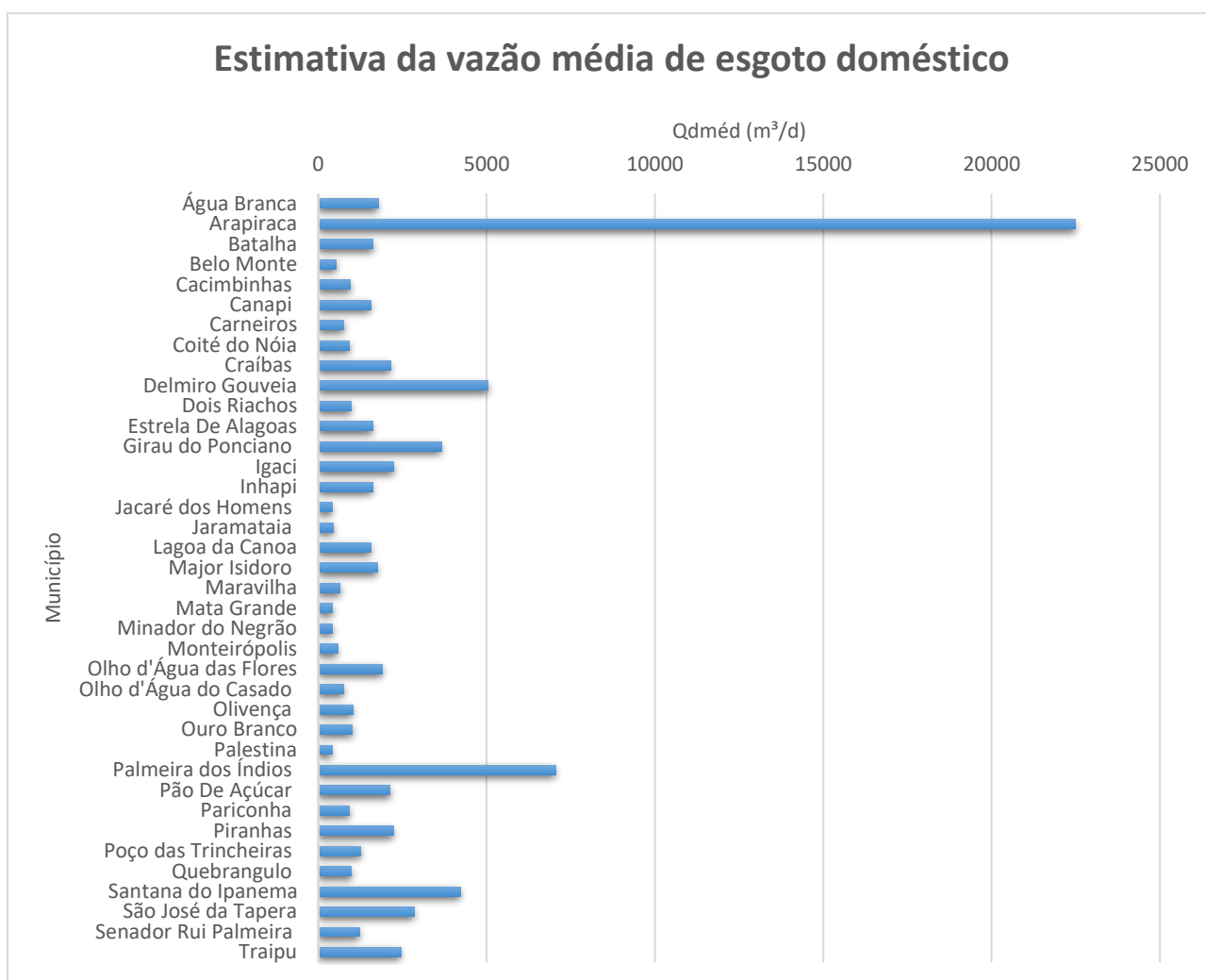
Utilizando a Eq. 1 foi realizado o cálculo das vazões médias de esgoto doméstico para cada município, utilizando as estimativas populacionais para o ano de 2021 realizadas pelo IBGE. A Tabela 12 e o gráfico visto na Figura 14, contém os resultados obtidos e o que pode ser visto, é que, assim como o esperado, por conta do número de habitantes, o município com a maior produção de esgotos é Arapiraca e o de menor produção é Palestina.

Tabela 12 - Estimativas quantitativas das vazões de esgoto doméstico no semiárido de Alagoas

Município	População (2021) (hab)	QPC (l/hab.d)	R	Q _{dméd} (m ³ /d)
Água Branca	20.263	110		1783,144
Arapiraca	234.309	120		22493,664
Batalha	18.440	110		1622,72
Belo Monte	6.717	100		537,36
Cacimbinhas	10.920	110		960,96
Canapi	17.715	110		1558,92
Carneiros	9.568	100		765,44
Coité do Nóia	10.594	110		932,272
Craíbas	24.396	110		2146,848
Delmiro Gouveia	52.501	120		5040,096
Dois Riachos	11.059	110		973,192
Estrela De Alagoas	18.304	110		1610,752
Girau do Ponciano	41.549	110		3656,312
Igaci	25.596	110		2252,448
Inhapi	18.398	110		1619,024
Jacaré dos Homens	5.185	100		414,8
Jaramataia	5.751	100		460,08
Lagoa da Canoa	17.692	110		1556,896
Major Isidoro	19.923	110	0,8	1753,224
Maravilha	8.113	100		649,04
Mata Grande	5.315	100		425,2
Minador do Negrão	5.315	100		425,2
Monteirópolis	7.171	100		573,68
Olho d'Água das Flores	21.690	110		1908,72
Olho d'Água do Casado	9.507	100		760,56
Olivença	11.681	110		1027,928
Ouro Branco	11.573	110		1018,424
Palestina	5.061	100		404,88
Palmeira dos Índios	73.452	120		7051,392
Pão De Açúcar	24.307	110		2139,016
Pariconha	10.546	110		928,048
Piranhas	25.324	110		2228,512
Poço das Trincheiras	14.447	110		1271,336
Quebrangulo	11.202	110		985,776
Santana do Ipanema	47.910	110		4216,08
São José da Tapera	32.462	110		2856,656
Senador Rui Palmeira	13.893	110		1222,584
Traipu	27.934	110		2458,192

Fonte: Autor (2022)

Figura 13 - Estimativa da vazão média de esgoto doméstico



Fonte: Autor (2022)

As vazões de moradias unifamiliares e povoados rurais também foram estimadas, assim como indicado na metodologia do presente trabalho. A Tabela 13 exposta abaixo contém os valores encontrados.

Tabela 13 - Estimativa das vazões de esgoto para moradias unifamiliares e povoados rurais

Município	População	QPC (L/hab.d)	R	Q _{dméd} (m ³ /d)
Moradias unifamiliares	5	90		0,36
Povoados rurais	1.000	90	0,8	72

Fonte: Autor (2022)

A quantificação das cargas poluidoras, principalmente de nitrogênio e fósforo, macronutrientes fundamentais para o crescimento de plantas, é de suma

importância para uma avaliação de impactos e aplicabilidade da fertirrigação em um dado sistema estudado. Para isto, é necessário que levantamento de campo na área estudada, com amostragem dos poluentes e análises laboratoriais (VON SPERLING, 1995).

Segundo Von Sperling (1995), uma importante variável para o cálculo de cargas orgânicas, é a concentração de determinado nutriente, como é mostrado na Eq. 2 abaixo:

$$carga = \frac{Q * c}{1000 (g/kg)} \quad (2)$$

Onde:

carga = Carga orgânica (kg/d)

Q = Vazão de esgoto doméstico (m³/d)

c = Concentração do nutriente (g/m³)

Por falta dos valores de concentrações de nitrogênio e fósforo medidos em campo, ou seja, nos municípios do semiárido de Alagoas, as cargas destes nutrientes não foram estimadas, logo, indica-se que em estudos posteriores, estes valores sejam obtidos para uma melhor avaliação da qualidade do esgoto sanitário produzido.

Portanto, é perceptível o potencial de aplicação da fertirrigação de diferentes culturas na região de estudo, utilizando águas residuárias pós-tratamento. Para isto, é necessário a divulgação da tecnologia, mostrando a eficiência ao utilizar sistemas de tratamento de efluentes de baixo custo e diferentes culturas, assim como pesquisadores citados anteriormente têm feito.

O ponto de partida precisa ser a disponibilidade de informação aos moradores da área, uma vez que comecem a produzir resultados positivos, a fertirrigação pode atenuar problemas sérios do semiárido como a fome e a economia – além de desviar a água doce para usos nobres.

6 CONCLUSÃO

Regiões semiáridas sofrem com a escassez de água e com longos períodos de seca, além disso, o aumento de grandes centros urbanos ocasiona um aumento na pressão dos mananciais responsáveis pelo abastecimento, trazendo a falta de água, principalmente em regiões afastadas.

O reúso de efluentes tratados, principalmente na fertirrigação, é uma poderosa alternativa para a região do semiárido alagoano, uma vez que como apontado em diversos estudos, a fertirrigação supre a demanda hídrica de culturas, além de fornecê-las nutrientes, elevando a produção.

Fazem parte da região semiárida do estado de Alagoas 38 (trinta e oito) municípios, onde 10 destes possuem ETE's cadastradas na plataforma online "Atlas Esgotos" da ANA, destes, nove constam como ativos no sistema 4 pertencem a condomínios residenciais. Ademais, observou-se uma demanda de esgoto gerado que pode ser aproveitada para reúso, onde o município de Arapiraca, produz uma vazão de esgoto doméstico média diária de 22493,664 m³/d, maior valor encontrado, e o município de Palestina produz cerca de 404,88 m³/d, menor valor encontrado, e esperado, uma vez que o primeiro município possui a maior população entre todos e o segundo a menor.

Algumas tecnologias de baixo custo, mais especificamente classificadas como soluções individuais, como as fossas sépticas e os sistemas de zonas de raízes - *wetlands*, apresentaram menor custo comparado aos benefícios atribuídos, uma vez que utilizam materiais de fácil acesso e baratos, como tubulações PVC, além de ocuparem uma menor área de instalação. É de grande importância que estas tecnologias sejam apresentadas para moradores do semiárido, principalmente por parte de governantes e empresas de saneamento, prestadoras de serviço nos municípios da região, como forma de viabilizar informações que tragam benefícios a pequenos produtores da área semiárida de Alagoas.

Diferentes culturas, como hortaliças, melancia e berinjela, demonstraram resultados positivos após a aplicação da irrigação com efluentes pós-tratamento, como mostrado em diferentes estudos expostos nos Itens específicos de cada cultura, vistos acima do presente trabalho, tendo-se diferentes doses adequadas para cada tipo de vegetal, com o objetivo de otimizar sua produção.

Sugere-se que em futuros trabalhos com a mesma temática, coletas de esgoto bruto sejam efetuadas na região de estudo, a fim de que análises qualitativas a respeito de macro nutrientes (Nitrogênio e Fósforo) e patógenos sejam efetuadas, atribuindo uma visão mais completa da análise de aplicabilidade.

Conclui-se que, considerando as características edafoclimáticas da região semiárida do estado de Alagoas, a economia local e a atual produção de esgoto doméstico, o reúso de efluentes tratados para a fertirrigação possui um alto potencial de estudo, aprimoramento e aplicação.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Catálogo de metadados da ANA – Semiárido**. ANA, 2017. Disponível em: <https://bityli.com/pquvL>. Acesso em: 20 dez. 2021.
- ALMEIDA, Rogério de Araújo; OLIVEIRA, Luis Fernando Coutinho; KLIEMAN, Humberto José. **Eficiência de espécies vegetais na purificação de esgoto sanitário**. Pesquisa Agropecuária Tropical. V37, n.1, p1-9, 2007.
- ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Atlas Irrigação: uso da água na agricultura irrigada/Agência Nacional de Águas**. Brasília: ANA, 2017. 86p. ISBN 978-85-8210-051-6.
- ANA. **Atlas Esgotos**. 2017. Disponível em: <http://atlasesgotos.ana.gov.br/>. Acesso em: 20 jun. 2022.
- ANA. **Atlas Irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Brasília - DF, c2017
- ARAÚJO NETO, J.R.; ANDRADE, E.M.; MEIRELES, A.C.M.; GUERREIRO, M.J.S.; PALÁCIO, H.A.Q. **Proposta de índice da salinidade das águas superficiais de reservatórios do Ceará**, Brasil. Revista Agro@mbiente On-line, v. 8, n. 2, p. 184-193, 2014.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9648: Estudo de Concepção de Sistemas de Esgoto Sanitário. Rio de Janeiro, 1968.
- BARROS, José D'assunção. A REVISÃO BIBLIOGRÁFICA – **UMA DIMENSÃO FUNDAMENTAL PARA O PLANEJAMENTO DA PESQUISA**. Instrumento: revista de estudo e pesquisa em educação, Juíz de Fora, v. 11, n. 2, p. 104-111, 11 jul. 2011. Quadrimestral.
- BISWAS, A. K. (1988). **The Role of Wastewater Reuse in Planning and Management**, in: A. K. Biswas and A. Arar, Eds., Treatment and Reuse of Wastewater, Butterworths, London.
- BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico. **Diário oficial da União**: seção 1, Brasília-DF, ano 199, 15 jul. 2020. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm#. Acesso em: 15 maio 2022.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE DOS RECURSOS HÍDRICOS E DA AMAZÔNIA LEGAL. **Convenção das Nações Unidas de combate a desertificação nos países afetados por seca grave e/ou desertificação, particularmente na África**. Brasília: Plano Nacional de Combate a Desertificação, 1998. 2ª edição. 95p
- BRASIL. SUDENE. . Delimitação do semiárido. 2017a. Disponível em: <http://antigo.sudene.gov.br/delimitacao-do-semiarido>. Acesso em: 03 fev. 2022.
- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações – **Semiárido Brasileiro**. Brasília – DF, 2021.
- BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Institui o novo código florestal brasileiro**. Brasília – DF, 2012.

BRASIL, Resolução CONAMA nº357, de 17 de março de 2005. **Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional**. Publicado no D.O.U. Brasília – DF, 2005.

BRASIL. Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei 7.990, de 28 de dezembro de 1989**. Brasília, 1997.

BRASIL, PORTARIA N.º 518, DE 25 DE MARÇO DE 2004. **Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências**. Brasília – DF, 2004.

BRASIL. Consórcio Ch2M Hill Bv/Ch2M Hill do Brasil. Ministério das Cidades e Instituto Interamericano de Cooperação Para A Agricultura – IICA. **PRODUTO III - CRITÉRIOS DE QUALIDADE DE ÁGUA (RP01B)**: elaboração de proposta do plano de ações para instituir uma política de reúso de efluente sanitário tratado no Brasil. São Paulo: Ch2M, 2017. Disponível em: https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/interaguas/reuso/produto3_criterios_de_qualidade_da_agua_de_reuso.pdf. Acesso em: 10 abr. 2022.

BRASIL. Secretaria de Recursos Hídricos/Ministério do Meio Ambiente – **Água: Manual de Uso**. Brasília – DF, 2006.

BRASIL. Ministério do Interior. **Mapa geológico: escala 1:25.000.000**. Recife: SUDENE, 1974.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. Lei nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989**. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, 1997. 72p.

_____. Catálogo de Metadados da ANA. **Atlas Esgotos: Estações de Tratamento de Esgoto (2019) (Planilha)**. Brasil, 2019. Disponível em: https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/1d8cea87-3d7b-49ff-86b8-966d96c9eb01/attachments/ATLAS_Esgotos_Tabela_ETEs_2013.xlsx. Acesso em: 29 jan. 2021.

CETEC – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. **Prática de Implantação de Disseminação de Tecnologias Apropriadas ao meio Rural – Projeto Juramento**. Belo Horizonte, p. 191, 1985.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resoluções do Conama: resoluções vigentes publicadas entre julho de 1984 e novembro de 2008 – 2. ed.** / Conselho Nacional do Meio Ambiente. – Brasília: Conama, 2008. 928 p. Acesso em: 12 jun. 2022.

CODEVASF. **Inventário de projetos**. 3. ed. Brasília, DF, 1999. 223 p. il.

CORREIA, Rebert Coelho *et al.* A região semiárida brasileira. In: EMBRAPA. **Produção de caprinos e ovinos no Semiárido**. Brasília: Embrapa, 2011. p. 21-48.

CUNHA MELO, L. R. **Variação da qualidade da água de chuva no início da precipitação**. 2007. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

DUQUE, José Guimarães. **Solo e água no polígono das secas**. Fortaleza, Ed. M.V.O.P., 1973.

COSTA *et al.*, **MAPEAMENTO E ANÁLISE DE ÁREAS DEGRADADAS NO SEMIÁRIDO ALAGOANO POR MEIO DE SENSORIAMENTO REMOTO. Redução do risco de desastres e a resiliência no meio rural e urbano**, São Paulo, p. 418–432, 2020. Disponível em: https://www.agbbauru.org.br/publicacoes/Reducao2020/Reducao_2ed-2020-23.pdf. Acesso em: 9 dez. 2021.

EMBRAPA (BRASIL). **Pegada hídrica de produtos agrícolas e agroindustriais é tema de curso de capacitação**. [S. l.]: Eliana Lima, 8 ago. 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/36365427/pegada-hidrica-de-produtos-agricolas-e-agroindustriais-e-tema-de-curso-de-capacitacao>. Acesso em: 15 maio 2022.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Fossas Sépticas Biodigestoras em Sistemas Agrícolas Familiares na Borda Oeste do Pantanal**. 2010.

FORERO, R. S. (1993). **Institutional, Economic and Socio-Cultural Considerations**, in: WHO/FAO/UNCHS/UNEP Regional Workshop for the Americas on Health, Agriculture and Environmental Aspects of Wastewater Use, 8-12 November 1993, Instituto Mexicano de Tecnologia de Aguas (IMTA), Jiutepec, Mexico.

FRANÇA, F. M. C. **A importância do agronegócio da irrigação para o desenvolvimento do Nordeste**. Fortaleza: Banco do Nordeste: BID, 2001. 113 p.

FRANCESCHINI, Guilherme. **TECNOLOGIAS DE BAIXO CUSTO PARA TRATAMENTO DE ESGOTO RURAL: REATOR UASB E FOSSA SÉPTICA ECONÔMICA**. 2019. Tese (Doutorado) - Faculdade de ciências Agrônômicas da Unesp, Botucatu, 2019.

GOOGLE. **Google Acadêmico**. 2022. Disponível em: <https://scholar.google.com.br/intl/pt-BR/scholar/about.html>. Acesso em: 18 jun. 2022.

GOMES *et al.*, **EXPLORAÇÃO DA CAATINGA EM ASSENTAMENTOS RURAIS DO SEMIÁRIDO ALAGOANO. Raega - O Espaço Geográfico em Análise, [S. l.]**, v. 45, n. 1, p. 142, 2019. DOI: 10.5380/raega.v45i1.51476. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/51476>. Acesso em: 15 jun. 2022.

GRANT, S.B.; SAPHORES, J. D.; FELDMAN, D. L.; HAMILTON, A. J. *et al.* **Taking the “waste” out of “wastewater” for human water security and ecosystem sustainability**. *Science*, v. 337, n. 6095, p. 681-686, 2012.

Grupo de Trabalho Interministerial. **RELATÓRIO FINAL: redelimitação do semi-**

árido nordestino e do polígono das secas. Brasília: Brasil, 2005. 118 p.

HARE, F. K. et al. **Desertificação: causas e conseqüências.** Tradução de Barros e Azevedo. Lisboa: Calouste Gulbenkian, 1992. 678p.

HARUVY, N. Agricultural reuse of wastewater: nation-wide cost-benefit analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Amsterdam, v. 66, p.133-119, 1997.

HESPANHOL, IVANILDO. **Potencial de Reúso de Água no Brasil Agricultura, Industria, Municípios, Recarga de Aquíferos.** *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, [S. l.], v. 7, n. 4, p. 75–95, 2002. DOI: 10.21168/rbrh.v7n4.p75-95.

HIJNEN, W. A. M.; BEERENDONK, E. F.; MEDEMA, G. J. **Inactivation credit of UV radiation for viruses, bacteria and protozoan (oo) cycts in water: a review.** *Water Research*, v. 40, n. 1, p.3- 22, 2006.

HURLIMANN, A. **Community Attitudes to Recycled Water Use: an Urban Australian Case Study – Part 2.** The University of Melbourne, Cooperative Research Centre for Water Quality and Treatment, 2008.

HURLIMANN, A. et al. **Establishing components of community satisfaction with recycled water use through a structural equation model,** *Journal of Environmental Management*, v. 88, p. 1221–1232, 2008.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades e Estados.** IBGE, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados>. Acesso em: 09 dez. 2021.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE Cidades.** c2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 21 jun. 2022.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Semiárido Brasileiro.** IBGE, 2018. Disponível em: <https://bityli.com/YQUHy>. Acesso em: 15 jan. 2022.

INTERÁGUAS – PROGRAMA DE DESENVOLVIMENTO DO SETOR ÁGUAS **Elaboração de proposta de plano de ações para instituir uma política de reúso de efluente sanitário tratado no Brasil. Produto III – Critérios de qualidade de água,** 2018. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/interaguas/MCID_Reúso_Produto3CritériosdeQualidadedaAguadeReúso.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2022.

JOYCE, T. M.; MCGUIGAN, K. G.; ELMORE-MEEGAN, M.; CONROY, R. M. **Inactivation of Fecal Bacteria in Drinking Water by Solar Heating.** *Applied And Environmental Microbiology*, v. 62, n. 2, p.399-402, 1996.

KEHOE, S. C.; JOYCE, T. M.; IBRAHIM, P.; GILLESPIE, J. B.; SHAHAR, R. A.; MCGUIGAN, K. G. **Effect of Agitation, Turbidity, Aluminium Foil Reflectors and Container Volume on the Inactivation Efficiency of batch-process solar disinfectors.** *Water Research*, v. 35, n. 4, p.1061-1065, 2001.

LUCAS VOLOCHEN OLDONI. **Análise da aptidão para irrigação por pivô central e por gotejamento no Oeste do Paraná.**

[Http://Wiki.Dpi.Inpe.Br/Lib/Exe/Fetch.Php?Media=Ser300:Monografia_Lucas_Geo_V2.Pdf](http://Wiki.Dpi.Inpe.Br/Lib/Exe/Fetch.Php?Media=Ser300:Monografia_Lucas_Geo_V2.Pdf): Inpe, 2019. 21 p. Disponível em:

http://wiki.dpi.inpe.br/lib/exe/fetch.php?media=ser300:monografia_lucas_geo_v2.pdf. Acesso em: 21 jun. 2022.

- MAPBIOMA ÁRIDA. **Entenda a UNCCD**. 2018. Disponível em: <https://arida.mapbiomas.org/entenda-a-unccd>. Acesso em: 12 jun. 2022.
- MATALLO JUNIOR., H. **A desertificação no mundo e no Brasil**. In: SCHENKEL, C. S. e MATALLO JR, H (Org). Desertificação. Brasília: UNESCO, 2003.
- MEDEIROS, Aldair de Souza; NOBRE, Reginaldo Gomes; FERREIRA, Eliane da Silva; ARAÚJO, Whalamys Lourenço De; QUEIROZ, Manoel Moises Ferreira De. **Crescimento inicial da berinjaleira sob adubação nitrogenada e fosfatada e irrigada com água de reúso**. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, [S. l.], v. 10, n. 3, p. 34, 2015. DOI: 10.18378/rvads.v10i3.3656.
- MILLER, G. W. **Integrated concepts in water reuse: managing global water needs**. Desalination, v. 187, p. 65-75, 2006.
- NORONHA, Daisy Pires; FERREIRA, Sueli Mara S. P. Revisões de literatura. In: CAMPELLO, Bernadete Santos; CONDÓN, Beatriz Valadares; KREMER, Jeannette Marguerite (orgs.) **Fontes de informação para pesquisadores e profissionais**. Belo Horizonte: UFMG, 2000.
- NOVAES, H.M.D.; BRAGA, P.E.; SCHOUT, D. **Fatores associados à realização de exames preventivos para câncer nas mulheres brasileiras**, PNAD 2003. Ciência & Saúde Coletiva, Rio de Janeiro, v.11, n.4, p. 1023-1035, 2006.
- OATES, P. M. **Solar disinfection for point of use water treatment in haiti**. 2001. 140 f. Dissertação (Mestrado) - Department Of Civil And Environmental Engineering, Massachusetts Institute Of Technology, Cambridge, 2001.
- PNUD. **Índice de Desenvolvimento Humano**. Disponível em: <https://www.undp.org/pt/brazil/idh>. Acesso em: 21 jun. 2022.
- POSTIGO, Murilo *et al.* **Avaliação da eficiência de fossa séptica de baixo custo desenvolvida para o saneamento rural**. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, ano 2017, v. 14, n. 1, ed. 1, p. 26-xx, sem. 2017. Disponível em: <http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/include/getdoc.php?id=3293&article=1469&mode=pdf>. Acesso em: 15 maio 2022.
- POZZEBON, Éder João *et al.* **DEMANDA HÍDRICA PARA AGRICULTURA IRRIGADA E SUA INFLUÊNCIA NAS ANÁLISES DE PEDIDOS DE OUTORGA DE DIREITO DE USO DA ÁGUA**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 15., 2020, Brasília. **Anais [...]**. Brasília: Ana, 2020. p. 1-20. Disponível em: https://www.ana.gov.br/acoesadministrativas/cdoc/ProducaoAcademica/Pedro%20Cunha/DemandaHidricaParaAgricutralIrrigadaABRH_2003.pdf. Acesso em: 13 jun. 2022.
- QUADRO, Mário F. Leal de *et al.* **CLIMATOLOGIA DE PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA**. Climanálise: CPTEC/INPE. São Paulo, p. 128-130. jan. 2014. Disponível em: [http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/chuesp.html#:~:text=Ao%20longo%20de%20quase%20todo,2000%20mm%20\(%20Figura%201%20\)..](http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/chuesp.html#:~:text=Ao%20longo%20de%20quase%20todo,2000%20mm%20(%20Figura%201%20)..) Acesso em: 06 maio 2022.

SALGADO, Vinicius Couto; DE SOUZA FILHO, Edecio José; GAVAZZA, Savia; FLORENCIO, Lourdinha; KATO, Mario Takayuki. **Watermelon cultivation in the semi-arid irrigated with different heights of treated domestic sewage.** Engenharia Sanitaria e Ambiental, [S. l.], v. 23, n. 4, p. 727–738, 2018. DOI: 10.1590/s1413-41522018161706.

SALGOT M et al. **Wastewater reuse and risk: definition of key objectives.** In Desalination. V. 187. p. 29-40, 2006.

SALGOT, M. **Water reclamation, recycling and reuse: implementation issues.** Desalination, v. 218, p. 190-197, 2008.

SCHAER-BARBOSA, Martha; SANTOS, Maria Elisabete Pereira Dos; MEDEIROS, Yvonilde Dantas Pinto. **Viabilidade do reúso de água como elemento mitigador dos efeitos da seca no semiárido da Bahia.** Ambiente & Sociedade, [S. l.], v. 17, n. 2, p. 17–32, 2014. DOI: 10.1590/s1414-753x2014000200003.

SILVA, P. C. G. Da *et al.* **Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos.** SA, I. B.; SILVA, P. C. G. da. (Org.). **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação.** [S.l.]: Embrapa Semiárido (CPATSA), 2010, V. 1, p. 18–48.

SILVA, R. G. **Introdução à bioclimatologia animal.** São Paulo: Nobel, 2000. 286 p.

SOLARTE, Y.; SALAS, M. L.; SOMMER, B.; DIEROLF C.; WEGELIN, M. **Uso de la radiación solar (UV-A y temperatura) en la inactivación del Vibrio cholerae en agua para consumo humano: Factores que condicionan la eficiencia del proceso.** Colombia Médica, v. 28, n. 3, p.123-129, 1997.

SOUZA et al. Tecnologias sociais voltadas para o desenvolvimento do semiárido brasileiro. **Journal of Biology & Pharmacy and Agricultural Management**, [S. l.], v. 12, n. 3, p. 12, 2016.

TSUTIYA, M.T. (2001) **Uso agrícola dos efluentes das lagoas de estabilização do estado de São Paulo.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., João Pessoa. Anais... João Pessoa: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES).

URKIAGA, A. et al. **Development of analysis tools for social, economic and ecological effects of water reuse.** Desalination, v. 218, p. 81-91. 2008.

VAN KAICK, T. S. **Estação de tratamento de esgoto por meio de zona de raízes: uma proposta de tecnologia apropriada para saneamento básico no litoral do Paraná.** 2002. 128 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**, v. 01. Minas Gerais: ABES, 1995.

WEBINAR: **Reúso de Efluentes na Produção de Hortaliças.** Viçosa - Mg: Salomão de Sousa Medeiros, 2022. (108 min.), P&B. Disponível em: <https://youtu.be/716r9HCCjH4>. Acesso em: 10 jun. 2022.

WEGELIN, M. CANONICA, S.; MECHSNER, K.; FLEISCHMANN, T.; PESARO, F.; METZLER, A. Solar water disinfection: scope of the process and analysis of radiation experiments. *Journal of Water Supply: Research And Technology - Aqua*, v. 43, n. 3, p.154-169, 1994.

WHO (1989). **Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture**, Technical Report Series No. 778, Report of a Scientific Group Meeting, World Health Organization, Geneva.

WINPENNY, J. et al. The wealth of waste: the economics of wastewater use in agriculture. *FAO Water Reports*. Roma. 2010.