

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
IFCE *CAMPUS* FORTALEZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA E GESTÃO
AMBIENTAL
MESTRADO ACADÊMICO EM TECNOLOGIA E GESTÃO AMBIENTAL

LIA TELES LIMA

TRATAMENTO DE EFLUENTE DOMÉSTICO POR MEIO DE *WETLAND*
CONSTRUÍDO COM POTENCIALIDADE PARA REÚSO AGRÍCOLA

FORTALEZA

2021

LIA TELES LIMA

TRATAMENTO DE EFLUENTE DOMÉSTICO POR MEIO DE *WETLAND*
CONSTRUÍDO COM POTENCIALIDADE PARA REÚSO AGRÍCOLA

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado Acadêmico em Tecnologia e Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) – *Campus Fortaleza*, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Tecnologia e Gestão Ambiental. Área de concentração: Engenharias I.

Orientadora: Profa. Titular Glória Maria Marinho Silva.

Coorientadora: Profa. Dra. Kelly de Araújo Rodrigues Pessoa.

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal do Ceará - IFCE
Sistema de Bibliotecas - SIBI
Ficha catalográfica elaborada pelo SIBI/IFCE, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- L732t Lima, Lia Teles.
 TRATAMENTO DE EFLUENTE DOMÉSTICO POR MEIO DE WETLAND CONSTRUÍDO COM
 POTENCIALIDADE PARA REÚSO AGRÍCOLA / Lia Teles Lima. - 2021.
 101 f. : il. color.
- Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal do Ceará, Mestrado em Tecnologia e Gestão Ambiental,
Campus Fortaleza, 2021.
 Orientação: Profa. Dra. Glória Maria Marinho da Silva.
 Coorientação: Profa. Dra. Kelly de Araújo Rodrigues Pessoa..
1. Wetlands. Reuso Agrícola. Águas cinzas. I. Título.
- CDD 628
-

LIA TELES LIMA

TRATAMENTO DE EFLUENTE DOMÉSTICO POR MEIO DE *WETLAND*
CONSTRUÍDO COM POTENCIALIDADE PARA REÚSO AGRÍCOLA

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado Acadêmico em Tecnologia e Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) - *Campus Fortaleza*, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Tecnologia e Gestão Ambiental. Área de concentração: Engenharias I.

Aprovado (a) em: ____ / ____ / ____.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Titular Glória Maria Marinho Silva (Orientadora)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Profa. Dra. Kelly de Araújo Rodrigues Pessoa (Coorientadora)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Profa. Dra. Teciá Vieira Carvalho
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Prof. Dr. Valmir Cristiano Marques de Arruda
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Profa. Glória, por sempre acreditar em mim, por me instigar a pensar mais como pesquisadora, por ser meu suporte na vida acadêmica desde a graduação.

À minha coorientadora Profa. Kelly, por sempre estar disponível, pela paciência, pelo estímulo, e por todos os ensinamentos compartilhados.

À minha mãe, Geni, por sempre estar ao meu lado, me guiando, me incentivando e me mostrando o lado positivo de tudo.

Ao meu esposo Cláudio, que durante o mestrado na pandemia foi meu transporte e me ajudou com o trabalho pesado, sendo meu suporte no mestrado e na vida. Ele me apoia em tudo, é com quem eu compartilho meus medos, minhas ansiedades, meus sonhos.

Ao meu filho, Leo, por ser minha maior inspiração e motivo de luta para crescimento pessoal e profissional. Tudo é por você!

À equipe *wetland*: Vick e Bea, o que seria de mim sem vocês? Obrigada por dividirem comigo o projeto, as análises, o laboratório, os perrengues do dia a dia e o conhecimento de vocês.

À profa. Lúcia Queiroz Matias por ter cedido o espaço, o Jardim Didático, para a realização do experimento.

Ao prof. Rinaldo e ao Tobias por terem me recebido tão bem no LTQ e por me ajudarem nas análises.

Aos meus colegas de mestrado com quem dividi momentos incríveis de muito aprendizado e crescimento, alegrias e desespero, em especial as musas Adrya, Brenda, Debora, Gardilene, Joana, Priscila, Regina, Suellen e Soraya.

Aos meus colegas do LATAM, por todos os momentos que tivemos em todos estes anos, pela convivência, pelas trocas, pelos sorrisos, pelo compartilhamento de vivências.

À CAPES, pelo suporte financeiro concedido.

E por fim, deixo o meu agradecimento a todos, que de alguma maneira contribuíram para a realização deste trabalho, direta ou indiretamente. Gratidão!

“É preciso que eu suporte duas ou três larvas
se quiser conhecer as borboletas”
(Antoine de Saint-Exupéry, 1943)

RESUMO

A escassez de água no nordeste brasileiro continua a ser uma problemática para o desenvolvimento da região. Adicionalmente, mais da metade da população nordestina não tem acesso a coleta e ao tratamento de efluentes. Áreas rurais e remotas geralmente não possuem sistemas de tratamento de efluentes centralizados devido ao custo elevado, e nestes casos, sistemas descentralizados como *wetlands* construídos podem ser utilizados, como estratégias de solução para essas regiões. O presente estudo tem como objetivo avaliar a tecnologia *wetland* construído no tratamento de água residuária sintética doméstica para potencial reuso agrícola. Para a realização desta pesquisa foi feito um estudo prospectivo para levantamento de patentes e trabalhos científicos sobre a utilização de *wetlands* no tratamento de efluentes, aplicou-se o *Methodi Ordinatio* para uma Revisão Sistemática de Literatura, por ordenação e análise de artigos relevantes sobre a temática. No procedimento experimental foi utilizado um sistema de tratamento composto por um reservatório elevado e um tanque *wetland* construído para tratamento do efluente. Durante a operação do sistema, uma vez por semana, o *wetland* recebeu 300 L de efluente para tratamento. O tanque foi operado e monitorado no afluente e no efluente nos tempos de reação de 48 h e 168 h, nos quais eram realizadas análises físicas, químicas e microbiológicas, a fim de avaliar a qualidade do tratamento do sistema. O *wetland* apresentou remoções nos principais parâmetros de lançamento de efluentes, entretanto os parâmetros sólidos suspensos voláteis (SSV) e demanda química de oxigênio (DQO) não atenderam aos padrões de lançamento direto, em corpos hídricos. Foram obtidas as eficiências de remoção de 75,98% de DQO, 25,84% de $\text{NH}_4\text{-N}$, 78,17% de $\text{NO}_2\text{-N}$, 95,96% de $\text{NO}_3\text{-N}$, 11,87% de fósforo total, 85,98% de surfactantes, 46,81% de SSV e 99,99% de CT e *E. coli*. Sobre o reuso agrícola, os parâmetros avaliados do efluente tratado pelo *wetland* atenderam a Resolução COEMA nº 02/2017 para reuso agrícola. Portanto, através do presente estudo, concluiu-se que o *wetland* construído é uma tecnologia que respondeu satisfatoriamente no tratamento do efluente doméstico sintético com potencialidade para reuso na agricultura.

Palavras-chave: *Wetlands*. Reuso Agrícola. Águas cinzas.

ABSTRACT

The scarcity of water in northeastern Brazil continues to be a problem for the region's development. Additionally, more than half of the Northeastern population does not have access to collection and treatment of effluents. Rural and remote areas usually do not have centralized effluent treatment systems due to high custom, cases, decentralized systems such as constructed wetlands can be used as solution strategies for these regions. This study aims to evaluate a wetland of constructed technology in the treatment of synthetic wastewater for potential agricultural reuse. To carry out this research, a prospective study was carried out to survey patents and scientific works on the use of wetlands in the treatment of effluents, the Methodi Ordinatio was applied for a Systematic Literature Review, by ordering and analyzing relevant articles on the thematic. No experimental procedure was used, a treatment system composed of an elevated reservoir and a flooded tank built to treat the effluent. During a system operation, once a week, the wetland integrated 300 L of effluent for treatment. The tank was operated and monitored without effluent and without effluent in the reaction times of 48 h and 168 h, in which physical, chemical and microbiological analyzes were performed, in order to assess the quality of the system's treatment. The wetland presents good removals in the parameters of effluent release, however the parameters of volatile suspended solids (SSV) and chemical oxygen demand (COD) did not meet the standards for direct release into water bodies. Designed as removal efficiencies of 75.98% COD, 25.84% $\text{NH}_4\text{-N}$, 78.17% $\text{NO}_2\text{-N}$, 95.96% $\text{NO}_3\text{-N}$, 11.87% total phosphorus, 85.98% surfactants, 46.81% SSV and 99.99% CT and E. coli. Regarding agricultural reuse, the parameters obtained from the effluent treated by the wetland complied with COEMA Resolution No. 02/2017 for agricultural reuse. Therefore, through the present study, it was concluded that the constructed wetland is a technology that responded satisfactorily in the treatment of synthetic domestic effluent with potential for reuse in agriculture.

Keywords: *Wetlands*. Agricultural reuse. Gray water.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 — Domicílios com saneamento básico no Brasil.	18
Figura 2 — Cobertura de esgotamento sanitário no Brasil por região nos anos 2016 a 2019.	19
Figura 3 — Funcionamento de <i>wetland</i> natural.	21
Figura 4 — Classificação de <i>wetlands</i> construídos.	22
Figura 5 — <i>Wetland</i> construído de fluxo superficial.	23
Figura 6 — <i>Wetland</i> escoamento de fluxo horizontal.	23
Figura 7 — <i>Wetland</i> de escoamento vertical.	24
Figura 8 — Materiais mais utilizados como meio filtrante em <i>wetlands</i> construídos em trabalhos experimentais brasileiros.	24
Figura 9 — Macrófitas mais utilizadas em <i>wetlands</i> construídos em trabalhos experimentais brasileiros.	26
Figura 10 — Mecanismos de remoção de patógenos pelas macrófitas.	27
Figura 11 — Resultados das pesquisas em cinco bases científicas utilizando as palavras <i>wetland</i> , <i>wastewater</i> e <i>reuse</i>	27
Figura 12 — Estimativa do potencial de reuso no Brasil a curto e médio prazo.	32
Figura 13 — Fluxograma com etapas do <i>Methodi Ordinatio</i>	40
Figura 14 — Vista superior da localização do sistema de tratamento.	42
Figura 15 — Esquemático com a localização das camadas com os diferentes do <i>wetland</i> construído.	43
Figura 16 — Esquemático do sistema de tratamento <i>wetland</i> construído.	45
Figura 17 — Sistema de tratamento <i>wetland</i> construído.	45
Figura 18 — Camada de fragmentos de tijolos como parte do substrato no <i>wetland</i> construído.	46
Figura 19 — Camada de areia como parte do substrato no <i>wetland</i> construído.	46
Figura 20 — Macrófitas no <i>wetland</i> construído.	47
Figura 21 — Vista superior da localização da coleta de macrófitas.	49
Figura 22 — Principais depositantes de patentes <i>wetland</i> no mundo.	52
Figura 23 — Status das patentes dos principais depositantes.	53
Figura 24 — Depósitos de patentes no decorrer dos anos 2001 a 2021.	54
Figura 25 — Regiões destaque na produção de patentes <i>wetland</i>	54
Figura 26 — Termos mais utilizados em patentes <i>wetlands</i>	55
Figura 27 — Locais de origem e/ou locais de estudos dos artigos científicos selecionados. ..	58

Figura 28 — Ano de publicação dos artigos classificados pelo <i>Methodi Ordinatio</i>	59
Figura 29 — Remoção de Sólidos suspensos totais (SST) e turbidez em %, dos artigos selecionados pelo <i>Methodi Ordinatio</i>	65
Figura 30 — Remoção de nutrientes em %, dos artigos selecionados pelo <i>Métodi Ordinatio</i>	66
Figura 31 — Concentração de Demanda Química de Oxigênio em mg.L^{-1} da entrada e do efluente nos tempos reacionais de 48 h e 168 h.	69
Figura 32 — Concentração de Amônia em mg.L^{-1} da entrada e do efluente nos tempos reacionais de 48 h e 168 h.	71
Figura 33 — Concentração de Nitrito em mg.L^{-1} da entrada e do efluente nos tempos reacionais de 48 h e 168 h.....	72
Figura 34 — Concentração de Nitrato em mg.L^{-1} da entrada e do efluente nos tempos reacionais de 48 h e 168 h.....	73
Figura 35 — Principais processos de transformação do nitrogênio em meio aeróbio, anaeróbio/ anoxico em um sistema <i>wetland</i>	74
Figura 36 — Concentração de Fósforo em mg.L^{-1} nos tempos reacionais da entrada e do efluente nos tempos reacionais 48 h e 168 h.	75
Figura 37 — Concentração de Surfactantes em mg.L^{-1} da entrada e do efluente nos tempos reacionais 48 h e 168 h.....	77
Figura 38 — pH da entrada e do efluente nos tempos reacionais 48 h e 168 h.	78
Figura 39 — Valores de Alcalinidade em $\text{MgCaCO}_3.\text{L}^{-1}$ da entrada e do efluente nos tempos reacionais 48 h e 168 h.....	79
Figura 40 — Valores de Dureza em $\text{MgCaCO}_3.\text{L}^{-1}$ da entrada e do efluente nos tempos reacionais 48 h e 168 h.....	80
Figura 41 — Valores de Condutividade Elétrica em $\mu\text{S.cm}^{-1}$ da entrada e do efluente nos tempos reacionais 48 h e 168 h.....	82
Figura 42 — Valores de Sólidos Suspensos Voláteis em mg.L^{-1} na entrada e no TR de 168 h.	83
Figura 43 — Valores de Coliformes Totais e <i>E. coli</i> em NMP.100mL^{-1} na entrada e no efluente no TR de 168 h	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 — Características do tanque <i>wetland</i> em relação a composição das camadas	44
Tabela 2 — Composição do efluente sintético simulando água cinza doméstica.	48
Tabela 3 — Artigos classificados utilizando o <i>Méthodi Ordinatio</i>	57
Tabela 4 — Remoção de matéria orgânica em termos de DQO e DBO no uso da tecnologia <i>wetland</i> no tratamento de efluentes.....	61
Tabela 5 — Remoção de patógenos no uso da tecnologia <i>wetland</i> no tratamento de efluentes.	63
Tabela 6 — Caracterização do efluente sintético	67
Tabela 7 — Caracterização de águas cinzas de baixa carga	67
Tabela 8 — Caracterização de águas cinzas de alta carga	68
Tabela 9 — Classificação da água quanto a dureza.....	81
Tabela 10 — Parâmetros de lançamento de efluentes COEMA nº 02/2017	87

LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico
CE	Condutividade Elétrica
CI	Número de Citações do Artigo
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
COEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente
CT	Coliformes Totais
CTT	Coliformes Termotolerantes
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
<i>E. coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
EPA	U.S Environmental Protection Agency
Espacenet	<i>European Patent Office</i>
ETE	Estação de tratamento de efluentes
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the Unites States</i>
FI	Fator de Impacto
FT	Fósforo Total
FUNASA	Fundação Nacional da Saúde
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICA	Instituto de Cultura e Arte
INPI	Instituto Nacional de Propriedade Industrial do Brasil
LATAM	Laboratório de Tecnologia Ambiental
LTQ	Laboratório de Tecnologia Química
NH ₄ -N	Amônia
NMP	Número Mais Provável
NO ₂ -N	Nitrito
NO ₃ -N	Nitrato
NT	Nitrogênio Total
NWRI	<i>National Water Research Institute</i>
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
pH	Potencial Hidrogeniônico

R.U	Restaurante Universitário
RAS	Razão de Adsorção de Sódio
SF	<i>Streptococci. fecal</i>
SS	Sólidos Suspensos
SSV	Sólidos Suspensos Voláteis
STD	Sólidos Totais Dissolvidos
STE	Sistema de Tratamento de Efluentes
TR	Tempo Reacional
UFC	Universidade Federal do Ceará
WC	<i>Wetland</i> Construído
WCFS	<i>Wetland</i> Construído de Fluxo Superficial
WCSS	<i>Wetland</i> Construído Subsuperficial
WIPO	<i>World Intellectual Property Organization</i>
WN	<i>Wetland</i> Natural

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS.....	17
2.1	Geral	17
2.2	Específico	17
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
3.1	Saneamento básico e tratamento de efluentes no Brasil	17
3.2	Wetlands	20
3.2.1	Wetlands naturais.....	20
3.2.2	Wetlands construídos.....	21
3.2.2.1	Meio filtrante	24
3.2.2.2	Macrófitas aquáticas.....	25
3.2.3	Uso de wetlands no tratamento de efluentes.....	27
3.3	Reuso de efluente tratado na agricultura	31
3.3.1	Legislação vigente no Brasil.....	33
3.3.2	Outras recomendações e utilização de wetland para tratamento de efluente para reuso	34
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA	39
4.1	Busca em acervos de patentes e bibliográficos	39
4.2	Revisão Sistemática da Literatura - Aplicação do <i>Methodi Ordinatio</i>.....	40
4.3	Procedimento Experimental	42
4.3.1	Localização.....	42
4.3.2	Configuração e operação do sistema de tratamento	43
4.3.3	Caracterização da água residuária sintética – águas cinzas.....	47
4.3.4	Coleta e manejo de macrófitas.....	48
4.3.5	Análises físico-químicas	49
4.3.6	Análises microbiológicas	49
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	50
5.1	Busca em acervos de patentes e bibliográficos	50
5.2	Revisão Sistemática de Literatura - <i>Methodi Ordinatio</i>	55
5.2.1	Remoção de matéria orgânica em termos de Demanda Química de Oxigênio (DBO) e Demanda Bioquímica de Oxigênio.....	61

5.2.2	<i>Remoção de patógenos</i>	63
5.2.3	<i>Remoção de Turbidez e Sólidos Suspensos Totais.</i>	65
5.2.4	<i>Remoção de Nutrientes</i>	65
5.3	Análise dos Resultados Experimentais	67
6	CONCLUSÃO	88
6.1	Sugestões para Trabalhos Futuros	89
	REFERÊNCIAS	90

1 INTRODUÇÃO

A escassez de água no nordeste brasileiro continua a ser uma problemática para o desenvolvimento da região. O clima semiárido é característico do sertão brasileiro que engloba grande parte da região Nordeste. Esta região é caracterizada pela baixa pluviosidade, inferior a 800 mm/ano, média de temperatura entre 23°C e 27°C, pela predominância da vegetação da Caatinga e por rios temporários (SOARES, 2013).

O setor agrícola possui grande destaque no Nordeste brasileiro, pois 82,6% da mão de obra do campo equivale à agricultura familiar. Dentre diversos fatores que dificultam o desenvolvimento do setor agrícola têm-se as questões ambientais, como a escassez hídrica. A seca é predominante em grande parte da região há muitos anos e além disto a ação antrópica não contribui com a proteção dos poucos recursos hídricos existentes (CASTRO, 2012).

Além da escassez hídrica que impede o desenvolvimento agrícola e dos demais setores, a região nordeste ainda possui um grande entrave no saneamento básico, no que se refere à coleta e tratamento de efluentes. Mais da metade da população nordestina não possui acesso a esgotamento sanitário, com cobertura de apenas 47,2% (IBGE, 2019).

Tendo em vista o panorama apresentado de escassez hídrica e carência de cobertura de rede de esgotamento sanitário no Nordeste, o reuso de efluentes é uma opção viável para suprir a demanda de água para a irrigação de culturas de subsistência. Para tratamento de efluentes, a Organização Mundial da Saúde (OMS), por exemplo, considera o reuso de efluentes para agricultura, como um método legítimo, pois o referido efluente é uma importante fonte de nutrientes para culturas, entretanto deve ser feito com segurança a fim de maximizar o ganho na saúde pública (evitando contaminações) e os benefícios ambientais (WHO, 2006).

O reuso de água pode ser uma solução em busca de novas fontes hídricas complementares, quando há escassez de água. Com o reuso, grandes volumes de água potável deixam de ser utilizados, porque passa-se a utilizar uma água de menor qualidade, geralmente efluente tratado, para fins não potáveis.

A prática do reuso contribui para uma gestão mais sustentável, pois reduz a vazão de efluentes tratados para os corpos hídricos, protegendo assim ecossistemas.

Infelizmente no Brasil ainda é pouco utilizado o reuso de efluentes para a agricultura, embora existam vantagens ambientais e para a própria cultura, como a quantidade abundante de água de reuso rica em matéria orgânica e nutrientes para as plantas (MENDONÇA; MENDONÇA, 2018).

Para o tratamento de efluentes em regiões rurais e remotas nos países em desenvolvimento, nem sempre um sistema de tratamento centralizado é uma opção viável (WU *et al.*, 2016). No Brasil por exemplo, muitas comunidades não têm acesso ao tratamento centralizado de efluentes, além disso, as soluções de tratamentos de efluentes descentralizados geralmente tem menor custo de instalação e operação. Por conta desses fatores, os sistemas de tratamento descentralizados vêm ganhando mais visibilidade (PAFFRATH; FREIRE, 2018).

No que se referem aos sistemas de tratamento de efluentes, os *wetlands* construídos (WC) são considerados sistemas alagados descentralizados constituídos por micro-organismos, solo e vegetação. Este tipo de sistema utiliza diversos mecanismos naturais para o tratamento de efluentes e podem ter diversas configurações como: fluxo superficial horizontal, fluxo subsuperficial horizontal e fluxo vertical subsuperficial (VERA *et al.*, 2016).

Quando são utilizados materiais reutilizáveis ou de fácil acesso como meio suporte para o crescimento das macrófitas nos *wetlands*, o sistema se torna mais autossustentável e atrativo (SILVA, 2007). O tijolo é um resíduo de natureza cerâmica, proveniente do setor da construção civil, que pode ser utilizado como meio suporte em *wetlands* como é possível observar em alguns trabalhos como no estudo de Brito (2017); Nunes e Costanzi (2020).

Além da utilização de materiais alternativos como substrato em *wetlands* construídos também é interessante buscar a utilização de macrófitas endêmicas ou nativas nesses sistemas tendo em vista a otimização e a inovação nesta tecnologia, como é percebido no trabalho de Ito (2018). O uso de macrófitas exóticas em *wetlands* não é indicado tendo em vista que a introdução de espécies invasoras pode provocar riscos a espécies nativas e a fauna (PEIXOTO *et al.*, 2018).

Os *wetlands* construídos são sistemas de baixo custo que podem ser utilizados no tratamento de efluentes para reuso agrícola, sendo o seu uso benéfico às culturas devido a presença de nutrientes no efluente (SILVA, 2007).

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a utilização de *wetland* construído com macrófitas nativas no tratamento de água residuária sintética utilizando como um dos componentes do substrato fragmentos de tijolos, resíduo proveniente da construção civil, bem como sua potencialidade para reuso agrícola.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar o emprego de *wetland* construído no tratamento de água residuária sintética com potencialidade para reuso agrícola.

2.2 Específico

- ✓ Realizar revisão sistemática da literatura por meio de aplicação do *Methodi Ordinatio* sobre a tecnologia *wetland* construído no tratamento de efluentes.
- ✓ Avaliar a eficiência de remoção de demanda química de oxigênio (DQO), bases nitrogenadas (amônia, nitrito e nitrato), fósforo total, surfactantes, coliformes totais (CT) e *E. coli* no efluente tratado pelo *wetland* construído.
- ✓ Analisar alcalinidade, dureza e condutividade elétrica do efluente tratado.
- ✓ Verificar se o efluente tratado no *wetland* se enquadra na legislação para lançamento em corpos hídricos e para reuso agrícola.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Saneamento básico e tratamento de efluentes no Brasil

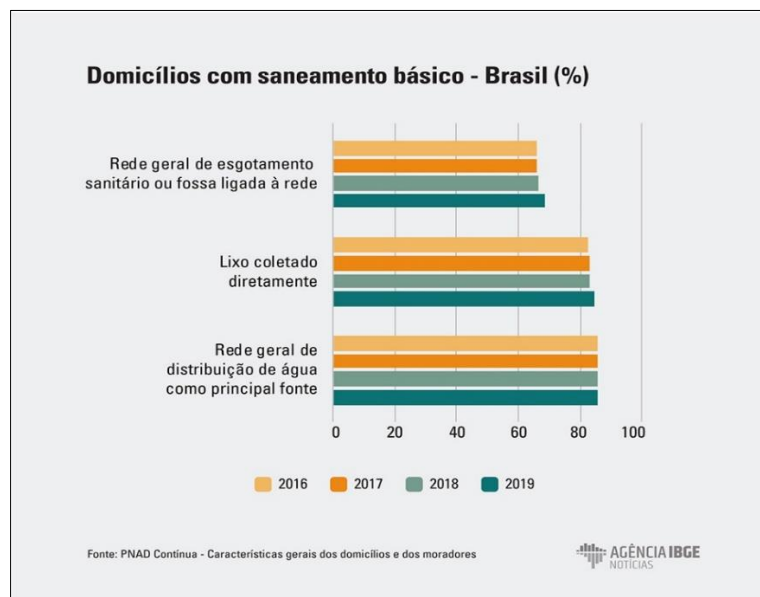
O saneamento básico, no que se referem à coleta e o tratamento de efluentes, é fundamental para promover saúde pública da população. Segundo Tedros Ghebreyesus, diretor da World Health Organization (WHO), o saneamento previne doenças e promove a dignidade e o bem-estar a sociedade, o que corrobora com a definição de saúde dada pela referida organização: “saúde é um estado completo de bem-estar físico, mental e social e não apenas a ausência de enfermidade”. Em um mundo com 2,3 bilhões de pessoas que carecem de saneamento básico, as metas de desenvolvimento sustentável desafiam todos os países a garantir acesso universal ao saneamento até 2030 (WHO, 2018).

No Brasil a lei referente ao saneamento, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico com vistas a universalização dos seus serviços é a Lei 11.445 de 2007. Esta lei prevê o planejamento do saneamento no país, na qual estabelece a obrigatoriedade dos municípios na elaboração de Planos Municipais de Saneamento Básico (NUNES, 2015).

Contudo, apesar da Lei 11.445/2007 fomentar a universalização do acesso ao saneamento básico, e embora em 2019 o Brasil tenha atingido 88,5% de cobertura de domicílios com abastecimento de água, diariamente, na região nordeste este índice é menor, 69%. Nesta

região utiliza-se bastante sistemas de abastecimento por cisternas que enchem nos períodos de chuva para utilização da água nos períodos de seca (IBGE, 2019). Na Figura 1 é apresentada a porcentagem de domicílios com acesso ao saneamento básico no Brasil.

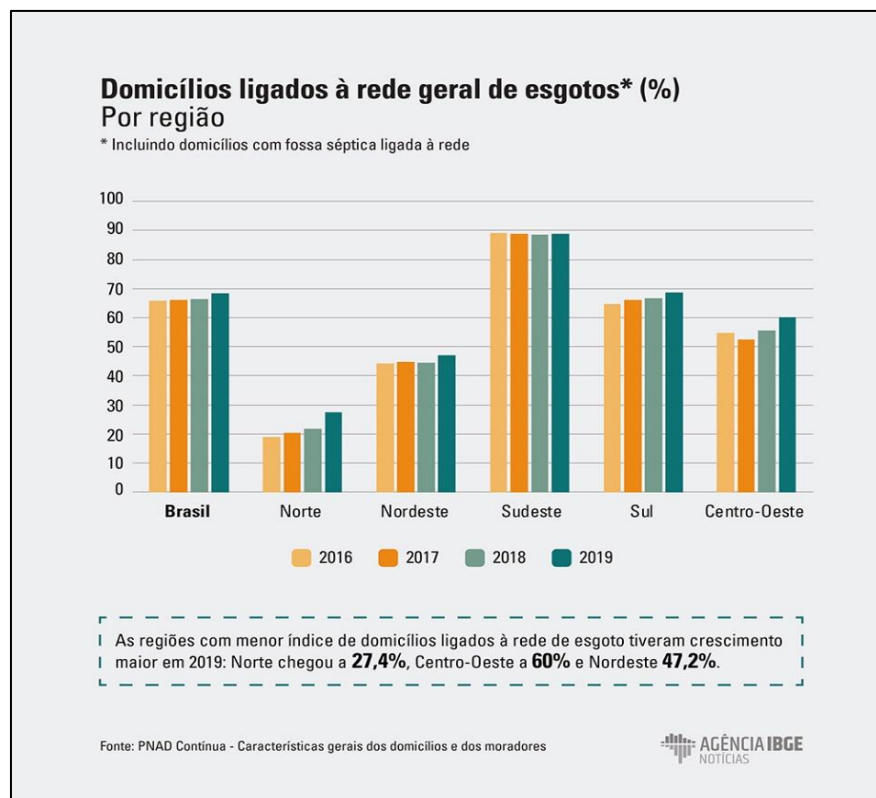
Figura 1 — Domicílios com saneamento básico no Brasil.



Fonte: IBGE (2019).

Quanto à cobertura de esgotamento sanitário no país, o Brasil atingiu em 2019, 68,3% dos domicílios, ou seja, um em cada três lares não tem acesso a rede de esgoto. Regiões como norte e nordeste do país ainda possuem mais da metade dos domicílios sem acesso ao esgotamento sanitário, com cobertura de 27,4% e 47,2%, respectivamente (IBGE, 2019). Na Figura 2 está apresentada a cobertura de esgotamento sanitário nas regiões brasileiras de 2016 a 2019.

Figura 2 — Cobertura de esgotamento sanitário no Brasil por região nos anos 2016 a 2019.



Fonte: IBGE (2019).

Conforme a Resolução CONAMA nº 430/2011, art.3º, o efluente oriundo de qualquer atividade ou processo somente poderá ser lançado diretamente em corpos receptores após o devido tratamento, estando de acordo com as condições padrões e exigências da legislação vigente. O art. 24º desta resolução afirma que cabe aos responsáveis pelas fontes poluidoras dos recursos hídricos, realizar o auto monitoramento para controle e acompanhamento periódico dos efluentes lançados nos corpos receptores, através de amostragem representativa dos mesmos (BRASIL, 2011).

De acordo com Oliveira (2014), após a coleta e o transporte, o efluente deve ser tratado, para obter características que permitam o seu lançamento em corpos hídricos, atendendo aos padrões estabelecidos na legislação. O tratamento consiste em várias etapas com processos físicos, físico-químicos e biológicos, que possuem as funções de remover os sólidos grosseiros, os sólidos suspensos, a matéria orgânica dissolvida, os nutrientes e os micro-organismos patogênicos.

A principal referência para o desenvolvimento de tecnologias de tratamento de esgotos são os padrões para lançamento em corpos da água. Devido a fragilidade dos ecossistemas

aquáticos e da necessidade de preservação dos usos múltiplos da água, os critérios para atender aos padrões de qualidade dos corpos receptores são restritivos. Por isso se faz necessária a redução da carga de matéria orgânica biodegradável, de sólidos em suspensão, de macronutrientes, da remoção ou inativação de diversos grupos de organismos patogênicos, bem como controlar as concentrações de compostos químicos com propriedades tóxicas à saúde humana e vida aquática (FLORENCIO *et al.* 2006).

3.2 Wetlands

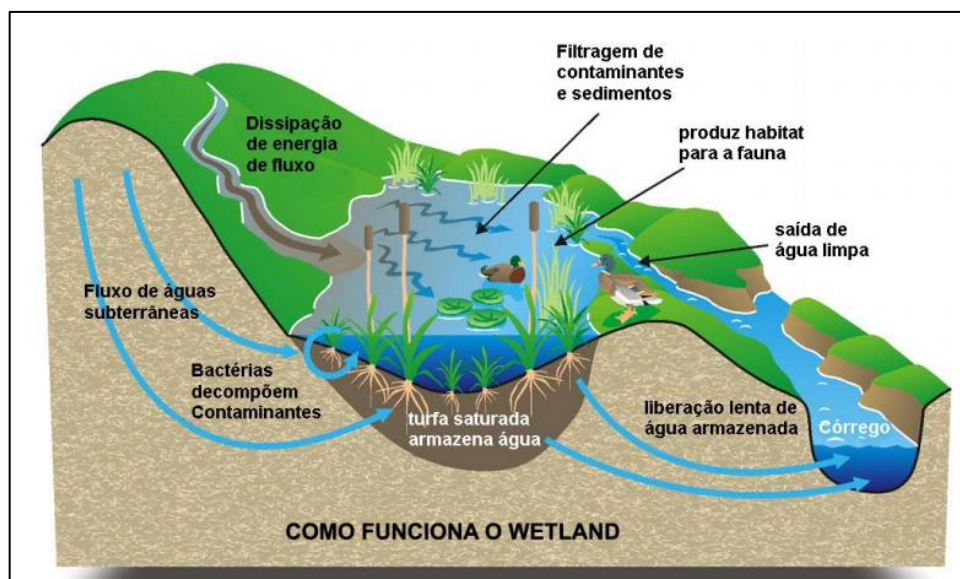
Conforme Lima (2016) a palavra *wetlands* é utilizada para áreas alagadas ou que podem ser inundadas. Nestes ambientes se desenvolvem uma grande diversidade biológica, dentre elas espécies vegetais adaptadas à saturação de água. Por meio de processos químicos, físicos e biológicos, a água, os vegetais e o solo interagem, promovendo a reciclagem de nutrientes.

3.2.1 Wetlands naturais

As regiões de pântanos, várzeas, manguezais e outros ecossistemas similares recebem o aporte de águas naturais e residuais e de maneira natural ocorre uma reciclagem de nutrientes, um processo de tratamento que caracteriza o sistema *wetland* natural. Este sistema recebe efluentes de diversas origens e quando não ultrapassam sua capacidade suporte, desempenha o excelente papel no tratamento da água residuária de forma natural (PEREIRA, 2011).

Os *wetlands* naturais (WN) têm sido avaliados quanto a sua eficiência de remoção de poluentes verificando a viabilidade de construir estruturas artificiais no qual efluentes pudessem ser tratados utilizando o mesmo mecanismo de WN e com a mesma eficiência (PEREIRA, 2011). Na Figura 3 é apresentado o funcionamento de um *wetland* natural.

Figura 3 — Funcionamento de *wetland* natural.



Fonte: Pereira (2011).

3.2.2 Wetlands construídos

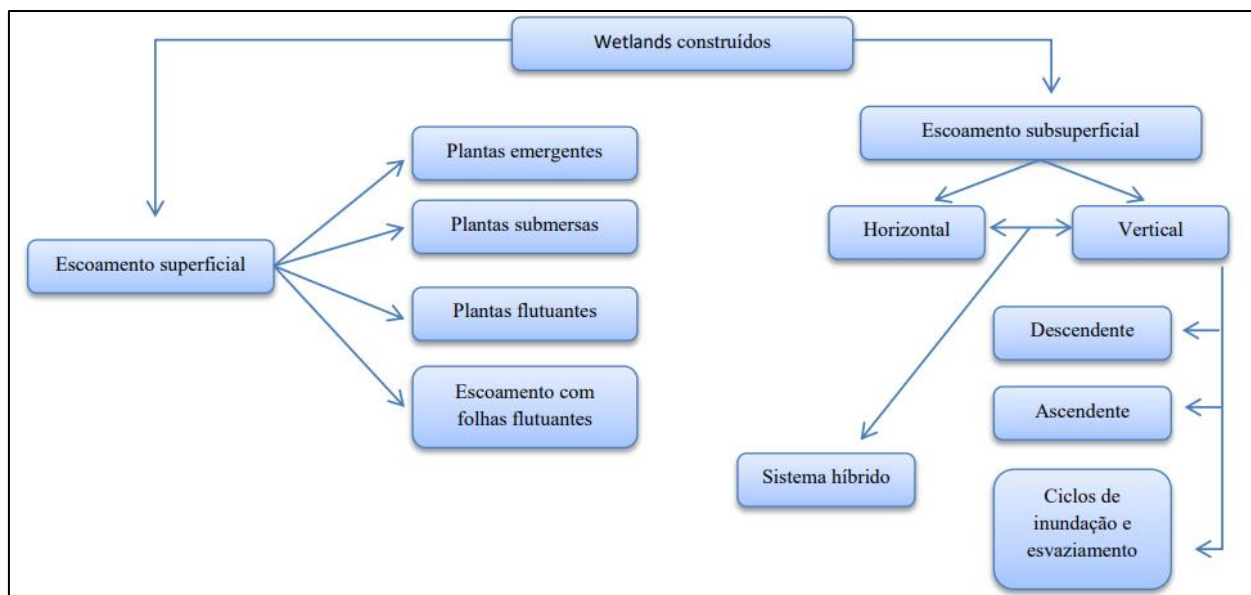
Os *wetlands* construídos (WCs) são sistemas controlados que simulam e aceleram as condições naturais encontrados nos terrenos alagados naturais. São constituídos por: solo, plantas e micro-organismos, além de eficientes no controle de poluição de águas residuárias. (ZANELLA, 2008).

Considerados como filtros biológicos, os *wetlands* construídos realizam a depuração da água por meio de processos microbianos. Devido à grande capacidade que os micro-organismos possuem de se adaptarem, eles degradam diversas substâncias presentes na água para crescerem (POÇAS, 2015).

No tocante às condições climáticas e ambientais, o Brasil possui excelentes condições para a construção e operação de *wetlands*. Os primeiros experimentos no país com a tecnologia *wetland* foi com o intuito de melhorar a qualidade da água e o controle da poluição e começou em meados dos anos 1980 com os pesquisadores Salati e Rodrigues. Experiências utilizando *wetlands* construídos no tratamento de efluentes em meio rural foram realizados nos anos 1990 e foi observado a intensificação do uso desta tecnologia em experimentos nos anos 2000 com a aplicação do *wetland* no tratamento de diferentes águas residuárias sob diferentes configurações e arranjos utilizando meios suportes e macrófitas diversas. Atualmente, o *wetland* ainda é um sistema pouco utilizado e difundido no país, sendo mais utilizado em pesquisas e pequenos projetos de tratamento de efluentes (SEZERINO *et al.*, 2015; ZINATO, GUIMARÃES, 2017).

Os *wetlands* construídos possuem classificações de acordo com o fluxo das águas residuárias e são divididos em dois grandes grupos: *wetland* de escoamento superficial e *wetland* de escoamento subsuperficial, sendo este último subdividido em fluxo vertical e fluxo horizontal (LIMA, 2016). Na Figura 4 é possível visualizar o esquema de classificação dos *wetlands* construídos.

Figura 4 — Classificação de *wetlands* construídos.



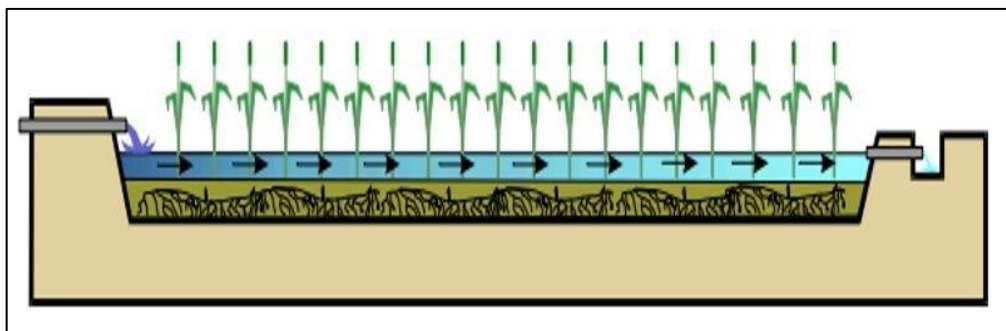
Fonte: Lima, 2016 *apud* Adaptado Sezerino *et al.*, (2015).

Nos *wetlands* construídos de fluxo superficial (WCFS) o fluxo do efluente se encontra sob a superfície, na qual a altura da lâmina d'água é inferior a 0,4 m e passa pela vegetação composta por diversos tipos de macrófitas aquáticas: emergentes, flutuantes ou emersas (KADLEC; KNIGHT, 1996). Por possuírem o maior tempo de detenção hidráulica, os *wetlands* de fluxo superficial possuem uma melhor eficiência na remoção de matéria orgânica e sólidos suspensos (USEPA, 2000).

De acordo com Kadlec e Knight (1996) ao considerar águas residuárias domésticas, estes sistemas podem alcançar 90% de remoção de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) em um período de 07 dias de detenção. Para eliminar os nutrientes é necessária uma retenção de 14 dias em *wetlands* de fluxo superficial para obter remoção de 90%.

Este sistema é ideal para ser utilizado como tratamento de polimento, retirando os nutrientes ainda presentes no efluente após ter passado por lagoas de estabilização (PROSAB, 2009). Na Figura 5 está ilustrado o modelo de *wetland* construído de fluxo superficial.

Figura 5 — *Wetland* construído de fluxo superficial.

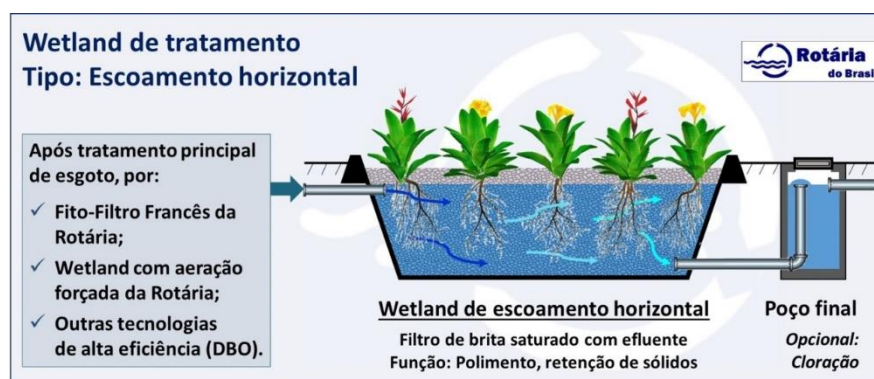


Fonte: Salati *et al.*, (2009).

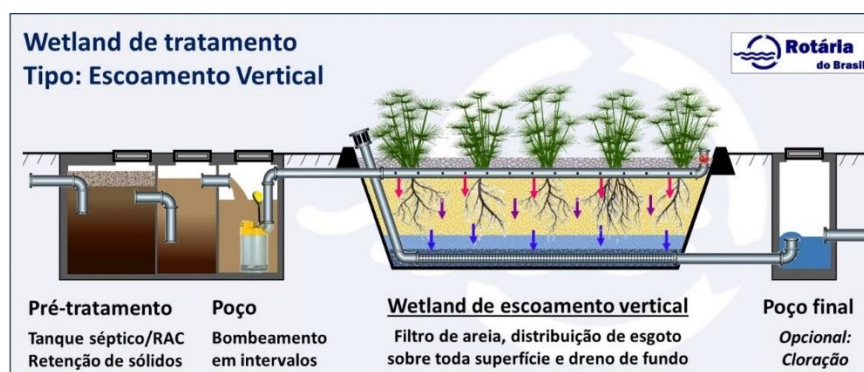
Os *wetlands* construídos de escoamento subsuperficial funcionam de maneira diferente, o efluente infiltra por gravidade através do meio filtrante, no qual organismos vivem em contato ao meio suporte e as raízes das plantas formando o biofilme. Este biofilme é formado por micro-organismos aeróbios no sentido horizontal e anaeróbios que irão degradar os poluentes. O sistema de escoamento subsuperficial pode ser dividido em dois tipos: o de fluxo horizontal, no qual o efluente é disposto na zona de entrada e escoar até a zona de saída e o de fluxo vertical onde o mesmo é preenchido por um material de recheio no qual as macrófitas são plantadas diretamente. Neste tipo de sistema o efluente permanece abaixo do suporte evitando assim a proliferação de insetos e o mal cheiro (LIMA, 2016).

Nas Figuras 6 e 7 é possível observar um exemplo de *wetland* de escoamento horizontal e vertical, respectivamente.

Figura 6 — *Wetland* escoamento de fluxo horizontal.



Fonte: Rotária do Brasil (2020).

Figura 7 — *Wetland* de escoamento vertical

Fonte: Rotária do Brasil (2020).

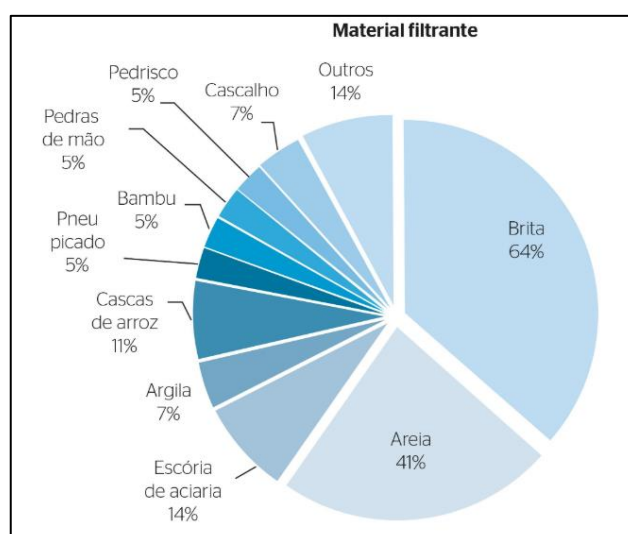
Conforme Sezerino *et al.* (2015), os *wetlands* são constituídos de diversos elementos entre eles: a área superficial empregada, o material filtrante e as macrófitas utilizadas.

3.2.2.1 Meio filtrante

O meio filtrante (substrato) é um componente fundamental nos *wetlands* construídos tendo em vista que o mesmo consiste na base suporte para o crescimento das raízes das macrófitas e da microbiota propiciando a formação de biofilmes e diversos processos químicos, físicos e biológicos (SILVEIRA, 2018).

Sezerino *et al.* (2015) estudaram as experiências brasileiras com *wetlands* construídos no tratamento de efluentes e observaram que entre os possíveis materiais utilizados, como meio filtrante, nestes sistemas, a brita e areia foram as mais utilizadas, como é possível visualizar na Figura 8.

Figura 8 — Materiais mais utilizados como meio filtrante em *wetlands* construídos em trabalhos experimentais brasileiros.



Fonte: Sezerino *et al.*, (2015).

O solo, o cascalho, a areia e a brita são os materiais mais utilizados como meio filtrante em *wetlands*, contudo, devido ao elevado custo de compra e transporte, tem-se buscado outras opções de substratos como resíduos sólidos provenientes de diversas atividades, preferencialmente os que são mais resistentes a desgastes ao contato com ácidos orgânicos e gases produzidos nesta tecnologia de tratamento de efluentes. Para a escolha de um bom substrato para o sistema *wetland* deve-se avaliar também a participação na eliminação e/ou diminuição de concentração de poluentes e nutrientes e o tempo de vida útil no leito (MATOS E MATOS, 2021).

Alguns substratos possuem destaque na remoção de determinados nutrientes como é o caso de substratos constituídos de argila, tijolos de argila por exemplo, que possuem eficiência de remoção de fosforo por adsorção, podendo ser utilizado como fertilizante posteriormente. O uso de substratos a base de argila possui benefícios como baixo custo e fácil acesso, podendo ser um substrato alternativo aos substratos mais comumente utilizados em *wetlands* (LIMA, 2018).

3.2.2.2 Macrófitas aquáticas

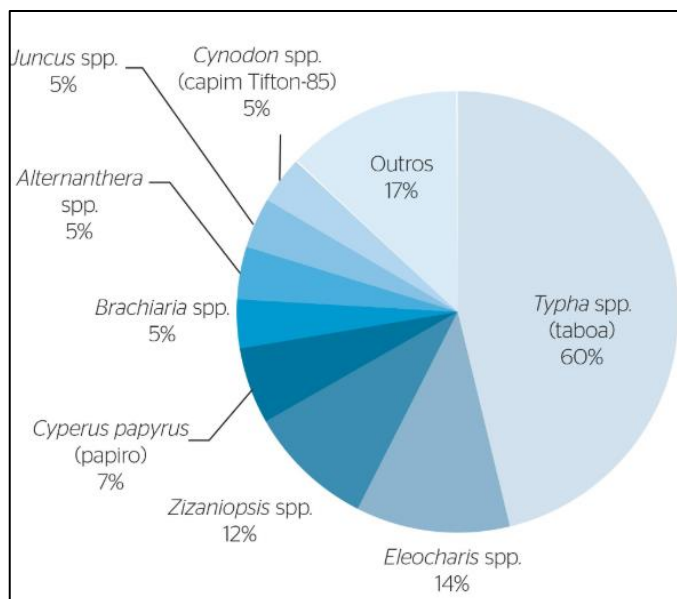
Nos sistemas naturais de tratamento de águas residuárias, a fitorremediação, isto é a remediação feita por plantas, é uma tecnologia utilizada para a remoção de poluentes ou de seus efeitos tóxicos. Com o intuito de avaliar a fitorremediação em *wetlands* muitos estudos e ensaios laboratoriais já foram realizados, contudo, as mudanças de condições ambientais dificultam a avaliação do potencial da fitorremediação. Alguns critérios devem ser observados ao selecionar plantas para fitorremediação, entre eles: o nível de tolerância a metais conhecidos no ambiente em que foram cultivados, alta taxa de crescimento e eficiência de biomassa, características da raiz, preferência do tipo de habitat, resistência a pH elevado e salinidade (TOKMAK *et al.*, 2019).

Para a escolha das plantas a serem utilizadas em *wetlands* deve-se dar prioridade às espécies que tem tolerância a áreas saturadas e ao fluxo constante de compostos poluentes que compõe o efluente, além disto é recomendado o uso de espécies nativas da região tendo em vista que as mesmas são adaptadas ao clima, ao invés de plantas exóticas (NORTE; ZANELLA; ALVES, 2015).

Nos *wetlands* construídos podem ser utilizados diversos tipos de macrófitas. Para a escolha da espécie ideal de plantas aquáticas deve-se levar em consideração: a tolerância da planta a ambientes saturados de esgoto, o potencial de crescimento da planta e a adaptação da planta às condições climáticas do local (SEZERINO *et al.*, 2015).

Silva (2007), afirma que as raízes das macrófitas auxiliam na remoção de turbidez e sólidos suspensos do efluente, além disto, tornam-se um excelente ecossistema para micro-organismos decompositores de matéria orgânica devido a presença de material que fica adsorvido nas referidas raízes, formando-se assim um biofilme. Na Figura 9 estão apresentadas as macrófitas mais utilizadas em *wetlands* construídos.

Figura 9 — Macrófitas mais utilizadas em *wetlands* construídos em trabalhos experimentais brasileiros.

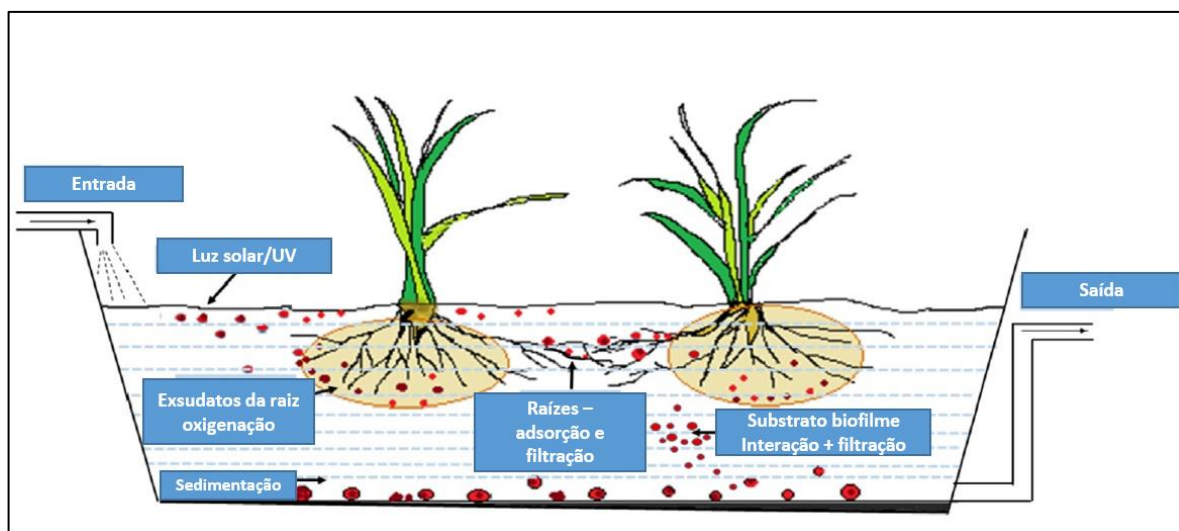


Fonte: Sezerino *et al.*, (2015).

Dentre as macrófitas apresentadas na Figura 9, algumas foram encontradas no nordeste brasileiro, no estado da Paraíba, embora não sejam endêmicas como a *Cynodon* spp., *Alternanthera* spp. e *Eleocharis* spp (TORRES; FERNANDO; LUCENA, 2016).

As macrófitas são muito importantes para o sistema de *wetland* construído pois dentre outros fatores: tornam o leito estável, oferecem condições ótimas para filtragem, mantém a temperatura local, facilita o transporte de oxigênio para a rizosfera e em sistemas de fluxo vertical evitam entupimentos. Além disso, as plantas aquáticas fornecem um ambiente ideal para o crescimento de micro-organismos e participam de processos diversos para remoção de patógenos (SHINGARE *et al.*, 2019). Os mecanismos de remoção de patógenos pelas macrófitas estão apresentados na Figura 10.

Figura 10 — Mecanismos de remoção de patógenos pelas macrófitas.



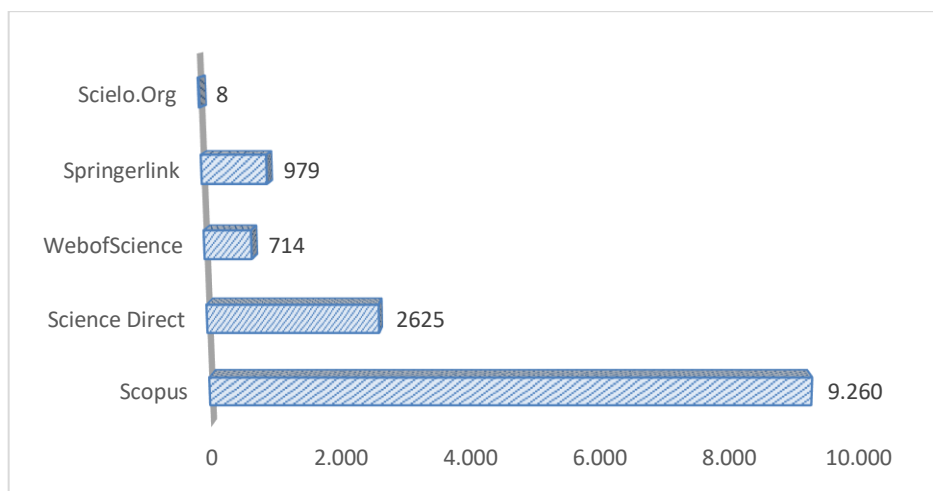
Fonte: Adaptado Shingare *et al.* (2019).

Na Figura 10 é possível observar os diversos mecanismos que ocorrem envolvendo as macrófitas na remoção de patógenos, a saber: oxidação de exsudatos de raízes, fixação de raízes filtração/adsorção, substrato biofilme – interação mais filtração, entre outros (SHINGARE *et al.*, 2019).

3.2.3 Uso de wetlands no tratamento de efluentes

Foram realizadas buscas de artigos sobre o uso de *wetlands* no tratamento de efluentes em bases científicas, na Figura 11 estão apresentados os resultados das pesquisas em cinco bases Scielo.Org, Springerlink, Web of Science, Science Direct e Scopus.

Figura 11 — Resultados das pesquisas em cinco bases científicas utilizando as palavras *wetland*, *wastewater* e *reuse*.



Fonte: Autora (2021).

Ao realizar as pesquisas em cinco bases de trabalhos científicos observou-se que dentre elas a base científica *Scopus* obteve o maior número de resultados sobre a temática tratamento de efluentes por *wetlands* apresentando 9.260 artigos, seguido por *Science Direct* com 2.625 trabalhos e Springerlink com 979 trabalhos científicos.

De acordo com Ormonde (2012) *wetlands* construídos podem ser aplicados para o tratamento de diferentes tipos de efluentes como, por exemplo, esgotos domésticos a níveis secundários e terciários, efluentes industriais, águas pluviais e aterros sanitários.

Estes sistemas possuem elevado desempenho na remoção de demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e de sólidos suspensos (SS), contudo a eficiência de remoção de nutrientes como nitrogênio e fósforo pode ser menor e menos constante (AL-ISAWI; RAY; SCHOLZ, 2017). A utilização de *wetlands* no tratamento de efluentes possui muitas vantagens dentre elas, o baixo custo de construção e operação, a fácil manutenção e o não uso de energia e produtos químicos (SILVA, 2009). No Quadro 1 estão apresentadas as vantagens e desvantagens na utilização de *wetlands* no tratamento de efluentes.

Quadro 1 — Vantagens e desvantagens na utilização de *wetlands* no tratamento de efluentes.

Vantagens	Desvantagens
Custos de construção e operação relativamente baixos	Podem causar problemas com mosquitos
Fácil manutenção	Necessidade de caracterizações precisas dos sólidos do efluente a tratar, do tipo de enchimento, do ciclo hidrológico e do regime de temperaturas
Tolerância a flutuações no ciclo hidrológico e nas cargas contaminantes	Eficiências sazonais
Possibilidade de se obterem alguns benefícios adicionais tais como a criação de espaços verdes, de habitats naturais e de áreas recreacionais ou educacionais	Requerer um período de início até a vegetação estar bem estabelecida
Não requer uso de energia	Alguns compostos orgânicos removidos pelo sistema podem estar ligados aos sedimentos e se acumularem ao longo do tempo
Não requer produtos químicos	Colmatação que ocorre com alguma frequência, havendo a necessidade de controle de carga hidráulica e de sólidos para minimizar o problema
Redução de matéria orgânica, sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos, nitrogênio e fósforo	
Não possui mal cheiro	
Considerável redução de patógenos	

Alta produção de biomassa que pode ser utilizada como ração animal, energia e biofertilizantes	
--	--

Fonte: Adaptado de Silva (2009).

Quanto ao potencial de *wetlands* construídos na remoção de micro-organismos, alguns trabalhos avaliaram a utilização destes sistemas de fluxo vertical na degradação de patógenos, como é possível visualizar no Quadro 2.

Quadro 2 — Remoção de patógenos por *wetlands*.

Patógenos	Tipo de escala WC	Plantas	Efluentes	Log UFC/100ml			Referência
				Entrada	Saída	Remoção	
<i>E. coli</i>	Escala piloto	<i>Heliconia psittacorum</i>	Doméstico	-	-	2.6	Bohórquez <i>et al.</i> (2017)
<i>E. coli</i>	Filtros de areia	<i>Phragmites australis</i>	Doméstico proveniente de saída de lagoa facultativa	4.4	2,9	1.5	Torrens <i>et al.</i> (2009)
CTT	Filtros de areia	<i>Phragmites australis</i>	Doméstico proveniente de saída de lagoa facultativa	4.7	3.2	1.5	Torrens <i>et al.</i> (2009)
CTT	Escala piloto	<i>Phragmites australis</i>	Doméstico proveniente de saída de tanque de sedimentação (ETE)	7.59	5.4	2.19	Arias <i>et al.</i> (2003)
				7.28	5.87	1.4	
SF	Escala piloto	<i>Phragmites australis</i>	Doméstico proveniente de saída de tanque de sedimentação (ETE)	5.72	5.02	0.71	Arias <i>et al.</i> (2003)
				5.44	4.41	1.02	
CTT	WCSS	<i>Phragmites karka</i>	Rural	6.53	3.68	2.84	Kurniadie (2011)
CTT	Escala piloto	<i>Phragmites australis</i>	Doméstico proveniente de saída de tanque de sedimentação (ETE)	7.85	6.3	1.55	Arias <i>et al.</i> (2003)
				7.43	5.94	1.49	
CT	Escala piloto	<i>Heliconia psittacorum</i>	Doméstico	-	-	2	Bohórquez <i>et al.</i> (2017)
CTT	Filtros de areia	<i>Phragmites australis</i>	Doméstico	8.2	5.9	2.3	Vacca <i>et al.</i> (2005)
CTT	Filtros de argila expandida	<i>Phragmites australis</i>	Doméstico	8.2	6.8	1.4	Vacca <i>et al.</i> (2005)

Fonte: Adaptado de Shingare *et al.* (2019).

WC – *Wetland* construído

WCSS – *Wetland* construído subsuperficial

ETE – Estação de tratamento de efluentes

E. coli - *Escherichia coli*

CTT – *Coliformes termotolerantes*

SF - *Streptococci. fecal*

A escolha pela utilização de *wetlands* para tratamento de efluentes ao invés de outro sistema é recomendada para cidades pequenas e que possuam área suficiente para sua implementação, podendo ser associada também a algum tratamento individual a fim de potencializar a qualidade final do esgoto tratado.

Sabokrouhiyeh *et al.* (2020), afirmam que os *wetlands* são sistemas ecológicos que podem ser eficientes no tratamento de esgotos urbanos e industriais. Em seu trabalho foram listados alguns estudos que apontam a eficiência de remoção de diversos contaminantes e nutrientes como a eficiência de remoção de demanda bioquímica de oxigênio 80,8%, de demanda química de oxigênio 61,0%, de sólidos totais suspensos 75%, de nitrogênio total 62,3%, de nitrato 75,3%, de ortofosfato e fósforo total 53,9 e 56%, respectivamente e de *E. coli* - 58%.

Dentre as vantagens na utilização de *wetlands* de fluxo vertical tem-se a menor demanda por área em comparação a outros sistemas, e o melhor fornecimento de oxigênio para a nitrificação. Em um estudo comparativo entre o desempenho no tratamento de efluente doméstico por lagoas artificiais e *wetland* construído de fluxo vertical foi observado que o sistema *wetland* obteve uma eficiência maior na remoção de demanda química de oxigênio e sólidos suspensos do que as lagoas artificiais. Quando comparados com lagoas artificiais sem aeração, o desempenho na remoção de amônia e fósforo em *wetlands*, também foi superior (AL-ISAWI; RAY; SCHOLZ, 2017).

No Paquistão *wetlands* construídos são utilizados como alternativas ao tratamento de efluentes provenientes de descargas de sanitários. No trabalho de Ali, Rousseau e Ahmed (2018), dois sistemas de tratamento de escala completa foram comparados no tratamento de efluentes domésticos: o sistema I era composto por reator anaeróbio seguido por *wetland* construído de fluxo vertical e escoamento subsuperficial e por um *wetland* construído de escoamento superficial como tratamento terciário, enquanto que o sistema II era constituído por um reator anaeróbio seguido por *wetland* construído de fluxo horizontal e escoamento subsuperficial e *wetland* construído de escoamento superficial. Obteve-se como resultado, desse estudo a máxima redução de demanda química de oxigênio de 80% e 78%; de demanda bioquímica de oxigênio de 81% e 82%; de nitrogênio total de 63% e 69%; de sólidos suspensos totais de 79% e 89% e remoção efetiva de população bacteriana de 94% e 93% nos sistemas I e II, respectivamente.

Wang *et al.* (2018), afirmam que na China, os *wetlands* construídos são utilizados para o tratamento de efluentes domésticos, efluentes agrícolas e industriais. Em seu estudo foi avaliada a capacidade de nove *wetlands* construídos de estágio único para tratamento de esgoto doméstico em temperatura ideal na cidade de Guangzhou, China. Nesse trabalho foram utilizados *wetlands* de escoamento superficial, *wetlands* de fluxo horizontal e escoamento subsuperficial e *wetlands* de fluxo vertical, cultivados com *Canna indica* ou *Thalia dealbata* e filtros não cultivados. Foi observado que a remoção de fósforo total, amônia e demanda química

de oxigênio foi superior em *wetlands* de fluxo vertical. O tipo de *wetland* utilizado e a temperatura ambiente foram fatores importantes no desempenho do tratamento.

Na Itália os estudos de Riggio *et al.* (2017) avaliaram o uso de *wetland* construído de fluxo horizontal e vertical e escoamento subsuperficial no tratamento de efluente proveniente de uma grande fábrica automotiva italiana, para reuso. Nesse trabalho foi testada a implementação do *wetland* no final da estação de tratamento de efluentes a fim de melhorar a qualidade final da água residuária para sua reutilização no processo produtivo. Foi observado que o *wetland* de fluxo horizontal obteve os melhores resultados no tratamento do efluente industrial. A eficiência de remoção de metais pesados (Fe e Zn) e sólidos suspensos foi considerada excelente pelos autores e foi atingida uma ótima eficiência de remoção de magnésio, potássio e cloretos.

Yadav, Chazarenc e Mutnuri, (2017) desenvolveram um *wetland* construído de dois estágios e fluxo vertical para tratamento de esgoto doméstico na Índia. Foi realizado o monitoramento da remoção de nutrientes em escala piloto, em duas cargas hidráulicas a 0,150 m/dia e a 0,225 m/dia. Na carga hidráulica de 0,150 m/dia foram observados no primeiro estágio e no segundo estágio os seguintes valores de remoção, respectivamente: de demanda química de oxigênio (DQO) 64% e 90%, de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) 65% e 88%, de nitrogênio total (NT) 15% e 50%, de nitrogênio amoniacal ($N - NH_4$) 21% e 52%, de fósforo total (FT) 34% e 58% e sólidos totais dissolvidos (STD) 54% e 71%. Na carga hidráulica de 0,225 m/dia foram obtidos no primeiro e no segundo estágio os seguintes valores de remoção, respectivamente: de DQO 61% e 90%, de DBO 62% e 84%, de STD 33% e 61%, de NT 35% e 47%, e de $N - NH_4$ 58% e 82%.

3.3 Reuso de efluente tratado na agricultura

A Agenda 21, em seu capítulo 18, Proteção da qualidade e do abastecimento dos recursos hídricos: aplicação de critérios integrados no desenvolvimento, manejo e uso dos recursos hídricos, item 18.1, afirma que os recursos de água doce são de fundamental importância na composição da parte líquida do planeta Terra e essencial a todos os ecossistemas. No item 18.5 são propostas algumas áreas para atuação no setor de água doce dentre elas: desenvolvimento e manejo integrado dos recursos hídricos, abastecimento de água potável e saneamento, água para produção sustentável de alimentos e desenvolvimento rural sustentável, entre outros (ONU, 1992).

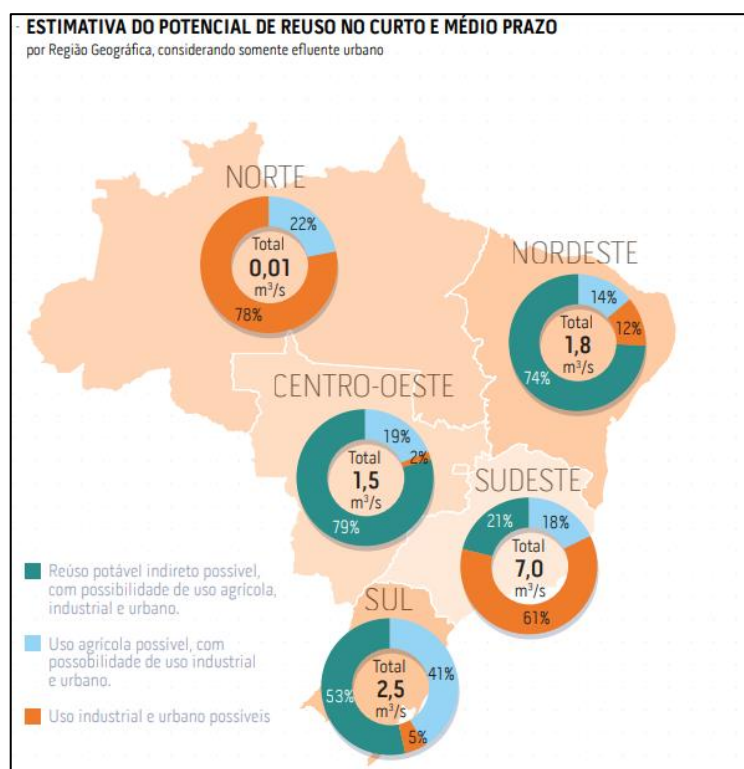
Conforme a Agência Nacional das Águas (ANA) a agricultura irrigada é a atividade que mais consome água no Brasil e no mundo e atualmente a agricultura brasileira está entre as dez

maiores, em área irrigada do planeta. No país 46% da água retirada dos corpos hídricos e 67% do consumo (água que não retorna diretamente) é para irrigação (ANA, 2017).

O reuso de água pode ser utilizado para diversos fins: reuso na agricultura, reuso industrial, reuso para fins recreacionais, dentre outros. Contudo, a qualidade desta água, como parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos definem seus usos específicos. Critérios devem ser observados de acordo com a aplicação pretendida da água de reuso, a fonte geradora e o tipo de tratamento utilizado. Dentre os aspectos que devem ser considerados pode-se citar: a proteção à saúde pública, a aplicação da legislação vigente, soluções técnico-científicas e métodos de irrigação (FUNASA, 2007).

O reuso de efluentes no Brasil ainda é muito incipiente por isso, em 2017 o Projeto Reuso coordenado pelo Ministério das Cidades (MCidades) elaborou um plano de ações para instituir uma política de reuso de efluente tratado no referido país. O objetivo para reuso direto não potável no Brasil é alcançar 13 m³/s até 2030, diante dos 2 m³/s estimados em 2017 (ANA, 2018). Na Figura 12 está apresentada a estimativa do potencial de reuso no Brasil.

Figura 12 — Estimativa do potencial de reuso no Brasil a curto e médio prazo.



Fonte: ANA (2018).

Devido a presença de organismos patogênicos em efluentes, o reuso de águas negras na agricultura deve ser controlado para minimizar os riscos à saúde pública. Medidas como

tratamento do esgoto, método de irrigação, proteção ao trabalhador e tipo de cultura irrigada devem ser observadas para reduzir riscos de contaminação (FUNASA, 2007).

3.3.1 Legislação vigente no Brasil

No Brasil existem normas e leis que regulamentam o reuso de efluentes. Dentre elas, por ordem cronológica, tem-se a Norma Brasileira (NBR) 13.969/97 referente ao projeto, construção e operação de tanque séptico como unidade de tratamento complementar e disposição final do efluente. Nesta norma, no item 5.6 - reuso local, traz que o esgoto doméstico tratado pode ser utilizado para fins não potáveis como lavagem dos pisos e dos veículos automotivos, na descarga dos vasos sanitários, na irrigação dos campos agrícolas e pastagens, entre outros. Ainda segundo a norma, o reuso de esgoto deve ser feito de maneira planejada a fim de viabilizar o custo de implantação e operação e garantir a segurança à saúde. Neste planejamento devem-se definir os possíveis usos para o esgoto tratado, o volume de esgoto a ser reutilizado, o tipo de tratamento do esgoto e sua qualidade final, o sistema de reservatório e distribuição e por fim como será a operação e o treinamento dos responsáveis (ABNT, 1997).

Posteriormente, mais precisamente 8 anos após a NBR 13.969/97, foi criada a Resolução nº 54/2005 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) que estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água. No art. 3º desta resolução tem-se as modalidades nas quais o reuso direto não potável de água pode ser implementado, são elas: reuso para fins urbanos, para fins agrícolas e florestais, para fins ambientais, para fins industriais e para aquicultura. No mesmo artigo afirma-se que os órgãos competentes estabelecerão as diretrizes, critérios e parâmetros específicos para as modalidades de reuso definidas nesta resolução (BRASIL, 2005).

Em 2010 a Resolução nº 121/2010 foi criada para estabelecer diretrizes e critérios para a prática de reuso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal. Em seu art. 2º, a resolução diz que a água em todos os tipos de reuso para fins agrícolas e florestais deverá atender os limites estabelecidos na legislação pertinente, levando-se em consideração características químicas, físicas e biológicas. O art. 3º trata da caracterização e monitoramento periódico da água de reuso e afirma que será realizado de acordo com os critérios definidos pelas entidades competentes. É de responsabilidade do produtor da água de reuso deter constantemente as informações da caracterização e do monitoramento. No art. 5º consta que o reuso de água para agricultura ou para fins florestais não pode constituir risco ou danos ambientais ou à saúde pública (BRASIL, 2010).

No estado do Ceará há uma lei estadual muito recente que dispõe sobre a política de reuso de água não potável no estado, Lei nº 16.033/2016. O art. 3º desta lei expõe as diretrizes do reuso de água não potável, são elas: a proteção e a promoção da saúde pública, a manutenção da integridade dos ecossistemas, proteção e preservação dos recursos hídricos existentes e uso sustentável da água. No art. 4º são enumeradas as modalidades nas quais o reuso de água pode ser aplicado dentre elas, reuso para fins urbanos, industriais, agrícolas e florestais. Ainda na lei estadual, o art. 5º apresenta os três fatores dos quais o reuso de água não potável é dependente: a caracterização do efluente a ser tratada, a identificação das atividades que admitem água de reuso e a identificação da qualidade de água requerida para cada atividade descrita. O art. 7º apresenta sobre a fiscalização das atividades de reuso de água que deve ser regulamentada por decreto, observando a gestão, a infraestrutura e os padrões de qualidade da água. Atividades que não estão de acordo com o que é previsto por lei são passíveis de multa (BRASIL, 2016).

A Resolução nº 2/2017 do Conselho Estadual do Meio Ambiente (COEMA) apresenta os padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. O capítulo 3, desta resolução, apresenta as condições e os padrões para reuso. No artigo 39 são apresentados os parâmetros para reuso de efluentes sanitários para fins agrícolas, conforme mostrado no Quadro 3 (BRASIL, 2017).

Quadro 3 — Parâmetros para reuso de efluente sanitário para agricultura.

Parâmetros	Culturas a serem consumidas cruas cuja parte consumida tenha contato direto com a água de irrigação	Demais culturas
Coliformes termotolerantes	ND*	Até 1000 CT/100 mL.
Ovos de geohelmintos	ND*	Até 1 ovo geohelmintos/L de amostra.
Condutividade elétrica	Até 3000 µS/cm	
pH	Entre 6,0 e 8,5	
Razão de adsorção de sódio (RAS)	$(15 \text{ mmolcL}^{-1})^{1/2}$	

Fonte: Adaptado Brasil (2017).

*ND – Não detectado.

É possível observar no quadro que a legislação brasileira que trata sobre reuso de efluentes para agricultura, apresenta apenas cinco parâmetros: coliformes termotolerantes, ovos de helmintos, condutividade elétrica, pH e razão de adsorção de sódio, não contendo outros parâmetros como concentração de matéria orgânica e nutrientes.

3.3.2 Outras recomendações e utilização de wetland para tratamento de efluente para reuso

No ano de 2006 a Organização Nacional das Nações Unidas (ONU) publicou o manual para o uso e eliminação segura de águas residuárias, águas cinzentas e dejetos. Neste manual, anexo 1-2, trata da utilização das águas residuais na agricultura e apresenta medidas de controle que devem ser aplicadas como, por exemplo, a seleção de culturas de acordo com a qualidade da água e técnicas de aplicação de águas residuárias (rega superficial, rega gota a gota, aspersão, etc).

No mesmo manual anexo 2 traz um resumo de riscos microbiológicos para a saúde associados ao uso de efluentes para irrigação sem as medidas de controle. Dentre os riscos citados, infecções virais e bacterianas, infecções por protozoários e helmintos. Os grupos expostos a estas doenças seriam os trabalhadores agrícolas, comunidades que vivem ao entorno de locais irrigados por efluentes e consumidores dos produtos provenientes dessa irrigação (ONU, 2006).

Em 2012, a *U.S Environmental Protection Agency* (EPA) publicou o Guia para reuso de água e em seu capítulo 3 é abordada a temática: tipos de aplicação para reuso, e dentre eles o reuso agrícola. O guia apresenta a importância do reuso de água na agricultura e seus benefícios, como também expõe os critérios de qualidade de água para irrigação. A utilização de água de reuso na agricultura é altamente confiável e aumenta com o crescimento da população, além disso, o custo do tratamento de efluentes para obter o padrão para uso agrícola é bem inferior ao custo de obtenção de água potável de fontes não convencionais como, por exemplo, a dessalinização. Entretanto devido o reuso de efluente ser globalmente mais aplicado na agricultura é fundamental entender os fatores determinantes no sucesso ou no fracasso na operação de irrigação com água de reuso. Fatores como potencial de rendimento, condições ambientais, método de irrigação e restrição de uso são importantes e devem ser observados.

No Quadro 4 é possível visualizar os parâmetros recomendados pela *Food and Agriculture Organization of the United States* (FAO).

Quadro 4 — Parâmetros recomendados pela FAO para utilização de água de reuso na irrigação.

Potential Irrigation Problem		Units	Degree of Restriction on Irrigation		
			None	Slight to Moderate	Severe
Salinity <i>(affects crop water availability)²</i>					
	EC _w	dS/m	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0
	TDS	mg/L	< 450	450 – 2000	> 2000
Infiltration <i>(affects infiltration rate of water into the soil; evaluate using EC_w and SAR together)³</i>					
SAR	0 – 3	and EC _w =	> 0.7	0.7 – 0.2	< 0.2
	3 – 6		> 1.2	1.2 – 0.3	< 0.3
	6 – 12		> 1.9	1.9 – 0.5	< 0.5
	12 – 20		> 2.9	2.9 – 1.3	< 1.3
	20 – 40		> 5.0	5.0 – 2.9	< 2.9
Specific Ion Toxicity <i>(affects sensitive crops)</i>					
	Sodium (Na)⁴				
	surface irrigation	SAR	< 3	3 – 9	> 9
	sprinkler irrigation	meq/l	< 3	> 3	
	Chloride (Cl)⁴				
	surface irrigation	meq/l	< 4	4 – 10	> 10
	sprinkler irrigation	meq/l	< 3	> 3	
	Boron (B)	mg/L	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0
Miscellaneous Effects <i>(affects susceptible crops)</i>					
	Nitrate (NO₃-N)	mg/L	< 5	5 – 30	> 30
	Bicarbonate (HCO₃)	meq/L	< 1.5	1.5 – 8.5	> 8.5
	pH		Normal Range 6.5 – 8.4		

Fonte: USEPA, 2012 apud FAO, 1985.

SAR – Taxa de adsorção de sódio.

EC_w – Condutividade elétrica.

TDS – Sólidos totais dissolvidos.

Além do guia de reuso de água elaborada pela EPA, estados americanos como Texas e a Califórnia possuem documentos de referência próprios sobre reuso. O *Texas Direct Potable Reuse Guidelines*, publicado em 2015, consiste em um guia utilizado para reuso potável direto enquanto que a *National Water Research Institute* (NWRI) fez uma revisão publicada em 2012, dos critérios de qualidade de água de reuso da Califórnia para irrigação agrícola (TWDB, 2015; NWRI, 2012).

No estado da Califórnia 37% do reuso de efluentes é aplicado na agricultura e pode ser dividido em seis principais categorias de irrigação: misto – 16%, fibras e sementes – 14%, pastagens – 4%, pomares e vinhedos – 1%, culturas alimentares – 1% e grama – 1%. Para aplicação de reuso de efluentes na agricultura de maneira segura faz-se necessário submeter a água residuária ao tratamento adequado para obter a qualidade requerida para cada tipo de cultura específica.

No Quadro 5 são apresentados os usos pretendidos e os tipos de tratamento necessários para o reuso do efluente. (NWRI, 2012).

Quadro 5 — Tipos de tratamentos requeridos para reuso de efluentes de acordo com uso final.

Uso final	Tratamento requerido
Pomares e vinhedos (sem contato com culturas comestíveis), plantas não comestíveis, forragens ou fibras, culturas de sementes (não consumidas por humanos), culturas alimentares (com tratamento adicional de patógenos para lavoura) e descarga de esgotos sanitários	Tratamento secundário sem desinfecção
Cemitérios, paisagismo de rodovias, campos de golfe (acesso restrito), viveiro ornamental, fazendas de grama,	Tratamento secundário com desinfecção

pastagens (animais leiteiros), vegetação não comestível (acesso controlado), comercial / industrial torres de resfriamento (com redução de desvio), represas da paisagem (sem fontes decorativas), alimentação industrial de caldeiras, compactação do solo, mistura de concreto, controle de poeira (estradas), limpeza de estradas, combate a incêndios não estruturais.	23 NMP/100mL ¹
Culturas alimentares (porção comestível acima do solo - sem contato), restrita, repesamentos recreativos.	Tratamento secundário com desinfecção 2.2 NMP/100mL ²
Culturas alimentares, parques e playgrounds, pátios escolares, residenciais, paisagismo, campos de golfe (sem restrições), comercial / industrial torres de resfriamento (dispositivos de neblina), áreas de lazer irrestritas repesamentos (com monitoramento específico de patógenos), lavagem sanitários e mictórios, combate a incêndios estruturais, fontes decorativas, fabricação de neve artificial, lavagens de carros comerciais, águas subterrâneas recarga (com tratamento adicional).	Tratamento terciário com desinfecção

Fonte: Adaptado de NWRI, 2012 *apud State of California (2000)*.

MPN – número mais provável.

¹A concentração de coliformes totais não podem exceder a 23 NMP/100 mL.

²A concentração de coliformes totais não podem exceder a 2.2 NMP/100 mL.

Levando em consideração as legislações existentes para tratamento de efluentes para reuso na agricultura, na Espanha, Martínez *et al.*, (2017) avaliaram a utilização do *wetland* construído fluxo horizontal e escoamento subsuperficial para tratamento de esgoto doméstico com finalidade para reuso na agricultura. Foram analisados os parâmetros exigidos pela legislação espanhola para reuso agrícola como: condutividade elétrica, taxa de adsorção de sódio, turbidez, sólidos totais suspensos, nitrogênio total, fósforo total, *E. coli*. Os autores observaram que salvo a condutividade elétrica e a taxa de adsorção de sódio, todos os demais parâmetros estavam dentro dos valores exigidos por legislação.

No estudo de Nguyen *et al.*, (2020) foi avaliada a utilização de um sistema dois estágios composto por um *wetland* construído de fluxo vertical e um *wetland* construído de escoamento superficial no tratamento de efluente proveniente de dormitórios no Vietnã para reuso na agricultura. O sistema foi operado durante seis meses alternando as taxas de carregamento hidráulico entre 0.02 d/m – 0.12 d/m e foram observados os parâmetros: sólidos suspensos totais (SST), demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrogênio amoniacal (N – NH₄) e coliformes totais (CT). Observou-se que a eficiência de remoção dos parâmetros abordados foram de: 71 ± 11% de SST, 73 ± 13% de DQO, 79 ± 11% de DBO, 91 ± 3% de N – NH₄ e 70 ± 20% de CT e na taxa de carregamento hidráulico de 0.04 d/m – 0.06 d/m obteve-se o melhor desempenho de remoção de DQO e DBO de 64% e 88% respectivamente satisfazendo os padrões de irrigação do Vietnã.

Travis, Weisbrod e Gross (2012) utilizaram um sistema de três estágios composto por um tanque anaeróbio e um *wetland* construído de fluxo vertical (WCFV) no qual o efluente vai passar duas vezes (recirculação do efluente no WCFV) para tratar as águas residuárias de uma fazenda produtora de leite. Ainda segundo os autores este efluente possui uma grande variabilidade diária em sua composição, contendo diversos poluentes dentre eles óleos e graxas. Foram obtidos os seguintes percentuais de remoções: 94% de DQO, 96% de DBO, 97% de SST, 99% de óleos e graxas e 73% de nitrogênio total e fósforo total. Neste trabalho concluiu-se que a qualidade final do efluente atendeu aos requisitos da Organização Mundial da Saúde para a reutilização na agricultura mecanizada, com restrição do potencial de salinização.

Saggai *et al.*, (2017) observaram o tratamento de efluente doméstico para reuso agrícola utilizando um sistema composto por um tanque séptico anaeróbio para o tratamento primário e um *wetland* construído de fluxo horizontal e escoamento subsuperficial para tratamento secundário. Obteve-se como resultado do tratamento das águas residuárias a eficiência de remoção de 90% de demanda bioquímica de oxigênio, 80% de demanda química de oxigênio, 94% de sólidos suspensos totais, 60% de fósforo total e 50% de amônia. As análises realizadas mostraram ainda que houve redução de 99% de coliformes totais e estreptococos, com isso o efluente tratado possui uma alta qualidade e pode ser utilizado para irrigação na agricultura.

Como foi visto tem-se diversos exemplos de pesquisas sobre tratamentos de águas residuárias domésticas utilizando *wetland* para reuso. Um efluente doméstico proveniente de uma pequena comunidade de cerca de 30 pessoas foi tratado utilizando um sistema composto por um reator anaeróbio, um *wetland* construído de fluxo horizontal e um *wetland* de fluxo vertical e escoamento subsuperficial. Este sistema obteve remoção média de mais de 95% de matéria orgânica e de 90% de nitrogênio total. Ainda como resultado houve uma taxa média de redução de massa ($\text{g/m}^2 \cdot \text{dia}$) de demanda química de oxigênio (21,17), demanda bioquímica de oxigênio (5,58), nitrogênio total (1,35), fósforo total (0,44) e sólidos suspensos totais (5,21). Constatou-se que o efluente tratado obteve parâmetros dentro dos limites para descarte e pode ser utilizado para irrigação desde que passe por desinfecção (AYAZ *et al.*, 2015).

No Quadro 6 está apresentado alguns trabalhos sobre reuso de efluentes tratados por *wetlands* na agricultura.

Quadro 6 — Estudos de reuso de efluentes tratados por *wetlands* para cultivo agrícola.

Título	Referências	Tipo de efluente	<i>Wetlands</i> utilizados	Cultivo
Performance of an aquaponics system using constructed semi-dry wetland with lettuce (<i>Lactuca sativa</i> L.) on treating wastewater of culture of amazon river shrimp (<i>Macrobrachium amazonicum</i>)	LIMA <i>et al.</i> , 2019.	Efluente proveniente da cultura de camarão	wetland construído – semi-seco	Cultivo hidropônico de alface (<i>Lactuca sativa</i> L.)
Tomato (<i>Lycopersicum esculentum</i>) production in sub surface flow constructed wetlands for domestic wastewater treatment in rural a colombian community	CASELLES <i>et al.</i> , 2018.	Efluente doméstico	wetlands de fluxo subsuperficial e de fluxo superficial	Tomate (<i>Lycopersicum esculentum</i>)
Desenvolvimento de um sistema ecológico para tratamento e aproveitamento agrícola de esgoto doméstico em comunidades rurais	SILVA, 2020.	Efluente doméstico	sistemas alagados de escoamento subsuperficial	Milho
Decentralised wastewater treatment effluent fertigation: preliminary technical assessment	MASAZURA <i>et al.</i> , 2018.	Efluente doméstico	wetland de fluxo vertical e wetland de fluxo horizontal	Banana e taro

Fonte: Autora (2021)

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA

4.1 Busca em acervos de patentes e bibliográficos

Com o intuito de fazer uma busca acerca de patentes com utilização de *wetlands* para tratamento de efluentes, foram realizadas buscas nas bases: *World Intellectual Property Organization* (WIPO), *European Patent Office* do Instituto Europeu de Patentes (Espacenet) e Instituto Nacional de Propriedade Industrial do Brasil (INPI) utilizando as palavras-chaves *wetland*, *wastewater treatment* para as duas primeiras bases citadas, e as palavras *wetland*, tratamento de efluentes para a base INPI. Adicionalmente, também foram feitas pesquisas nas bases de trabalhos acadêmicos: *Scopus*, *Science Direct*, *Web of Science*, *Springer Link* e *Scielo.Org* com utilização das palavras chaves: *wetland* AND *wastewater* AND *reuse* e *wetland*, efluente, reuso, para a última base.

4.2 Revisão Sistemática da Literatura - Aplicação do *Methodi Ordinatio*

O *Methodi Ordinatio* consiste na busca e na ordenação por relevância de artigos científicos pelo uso de uma equação, *InOrdinatio* (equação 1) a qual leva em consideração o ano de publicação do artigo, o número de citações (CI) e o fator de impacto da revista na qual foi publicado (FI) (PAGANI; KOVALESKI; RESENDE, 2018), conforme explanado na equação 1.

$$InOrdination = \left(\frac{FI}{1000} \right) + \text{alfa} \times [10 - (\text{Ano de pesquisa} - \text{Ano de publicação})] + CI \quad (1)$$

Sendo:

FI - Fator de impacto mais recente da revista na qual o artigo foi publicado;

Alfa - Grau de importância do ano de publicação do artigo, variando de 0 a 10, onde o “zero” é utilizado em situações em que o ano de publicação de artigo é irrelevante e o “dez” é utilizado quando o ano de publicação mais recente é prioridade;

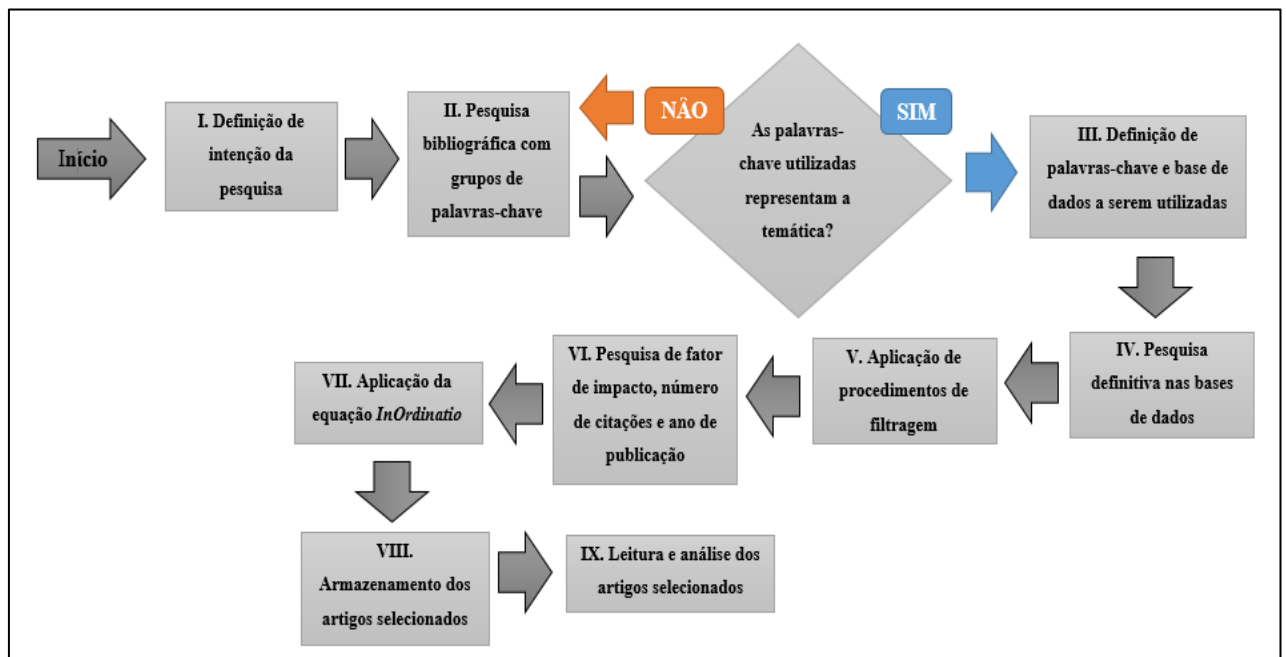
Ano da pesquisa – Ano em que está sendo realizada a pesquisa;

Ano da publicação - Ano em que o artigo foi publicado;

CI - Número de citações do artigo.

É possível visualizar na Figura 13 o fluxograma com as etapas do *Methodi Ordinatio*.

Figura 13 — Fluxograma com etapas do *Methodi Ordinatio*



Fonte: Autora (2021)

Para a implementação da metodologia *Methodi Ordinatio* foram desenvolvidas nove etapas, a saber:

Etapa I – Definição de intenção da pesquisa.

Para definir a intenção da pesquisa do trabalho foi realizada a seguinte pergunta: “ O *wetland* construído é uma tecnologia que pode ser utilizada para tratamento de efluentes para reuso agrícola? ”

Etapa II – Realização de pesquisa bibliográfica exploratória.

Nesta etapa diversas combinações de palavras-chave foram testadas em buscas nos bancos de dados científicos, entre elas: grupo 1 – *wetland and wastewater and reuse*, grupo 2 – *wetland and wastewater reuse and rural* e grupo 3 – *wetland and wastewater treatment and agricultural reuse*. O grupo 1 de palavras-chave foi escolhido para aplicação do método por apresentar mais resultados nas buscas sobre a temática.

Etapa III – Definição de palavras-chaves e base de dados a serem utilizadas.

Após os testes da etapa 2 foi escolhido o grupo 1 de palavras chaves - *wetland and wastewater and reuse* para a pesquisa e os bancos de dados designados para a busca dos artigos foram: *Scopus*, *Science Direct*, *Web of Science*, *SpringerLink*, *Scielo.Org*.

Etapa IV- Pesquisa definitiva na base de dados.

Com as palavras-chaves e os bancos de dados científicos selecionados, foram realizadas as buscas, e os artigos foram armazenados no gerenciador de referências *Mendley*.

Etapa V – Aplicação de procedimentos de filtragem.

Para a aplicação de filtragem dos artigos coletados foi utilizado o *Mendley* para exclusão dos artigos duplicados e após a eliminação, com o restante dos artigos, estes foram transferidos para o gerenciador de referências *JabRef* e a partir dele foi gerada uma planilha no Excel para a aplicação da fórmula do método.

Etapa VI – Pesquisa do fator de impacto, número de citações e ano de publicação.

Foram utilizados como fatores de impacto o *Journal Citation Reports (JCR)* e o *CiteScore*. No que se refere à busca da quantidade de citações dos artigos foi utilizado o Google Acadêmico.

Etapa VII – Aplicação da equação *InOrdinatio* para ordenação de relevância dos trabalhos científicos.

Com os artigos filtrados na planilha do Excel foi implementada a fórmula *InOrdinatio* a fim de classificar os artigos.

A fórmula descrita na equação 1 leva em consideração o fator de impacto da revista, o número de citações do artigo, o ano de publicação e o grau de importância do ano de publicação

(*alfa*). Neste trabalho foi atribuído ao alfa o valor 10, indicando que trabalhos com o ano de publicação mais recente teriam prioridade, e a nota de corte atribuída foi o valor 100 na lista de classificação. Ou seja, os artigos que obtiveram numeração igual ou maior a este valor foram analisados. Após leitura prévia dos artigos observou-se que muitos deles, que estavam na classificação, não tinham afinidade com o tema proposto, e por isso foram removidos da lista. Os demais artigos, próximos à temática, mantiveram-se na ordenação.

Etapa VIII – Armazenamento dos artigos selecionados.

Após a implementação do método e com a lista de artigos foi realizado o *download* e armazenamento dos trabalhos científicos.

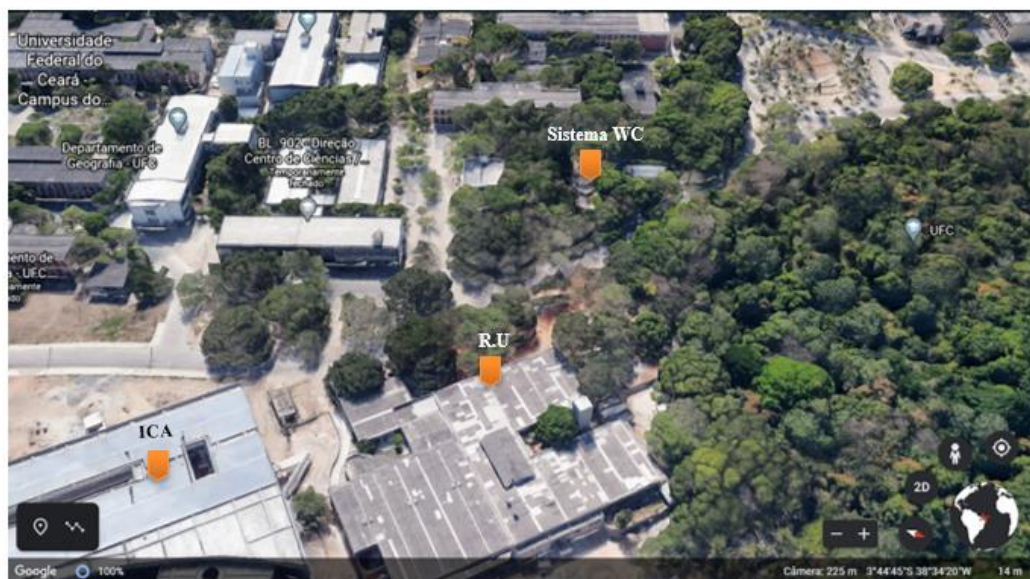
Etapa IX – Realização da leitura sistemática e análise dos trabalhos.

4.3 Procedimento Experimental

4.3.1 Localização

O experimento teve início no dia 17/05/2021 e término no dia 30/08/2021 e foi realizado em um sistema de tratamento de efluentes (STE) montado e instalado na Universidade Federal do Ceará (UFC), *campus* Pici no Centro de Ciências, mais especificamente no Jardim Didático e Experimental, situado no Departamento de Biologia. A vista superior da localização dos *wetlands* construídos (WC) pode ser observada na Figura 14. O local onde foi instalado o experimento fica próximo ao restaurante universitário (R.U) mais antigo do campus, ao Instituto de Cultura e Arte (ICA) e ao bloco do Departamento de Biologia.

Figura 14 — Vista superior da localização do sistema de tratamento.



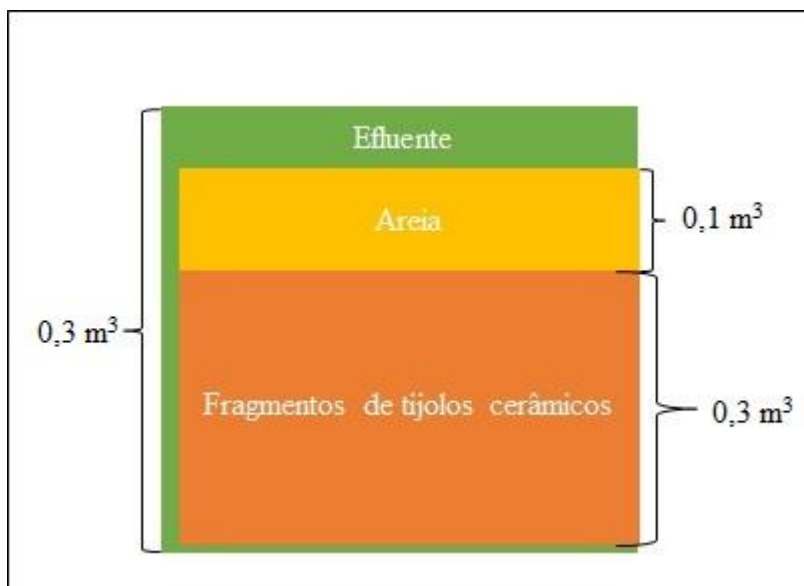
Fonte: Google Earth Pro (2020).

4.3.2 Configuração e operação do sistema de tratamento

O sistema de tratamento utilizado neste trabalho foi composto por 2 tanques de polipropileno: um tanque com 1 m³ de volume total e o outro com 0,8 m³. Um tanque foi utilizado como reservatório para o efluente e o outro tanque foi utilizado para o *wetland* construído (WC). O reservatório foi colocado em cima de suportes de palete para que ficasse elevado a uma distância aproximada de 1 m do solo, a fim de que o escoamento do efluente sintético do tanque reservatório para o tanque *wetland* construído ocorresse por gravidade, em fluxo descendente vertical e em bateladas.

Como substrato, o *wetland* recebeu 0,3 m³ de fragmentos de tijolos cerâmicos e 0,1 m³ de seu volume recebeu uma camada de areia de leito de rio. Foram plantadas no substrato 20 macrófitas. Na Figura 15 está apresentado um esquemático da ordem de disposição dos substratos que constituem o *wetland* construído.

Figura 15 — Esquemático com a localização das camadas com os diferentes do *wetland* construído.



Fonte: Autora (2021).

Na Tabela 1 estão apresentadas algumas características do tanque *wetland* e seus substratos.

Tabela 1 — Características do tanque *wetland* em relação a composição das camadas

Características do tanque	Tijolo	Areia
Volume da camada (m ³)	0,3	0,1
Densidade do substrato (kg.m ³ ⁻¹)	1100	1700
Massa de substrato adicionada (kg)	150	80
Volume de substrato adicionado (m ³)	0,136	0,047
Volume de vazios na camada (m ³)	0,164	0,053
Porosidade (ξ) da camada (%)	55	53

Fonte: Autora (2021).

A porosidade do leito foi determinada para cada camada de substrato adicionado segundo a Equação 2:

$$\xi = \frac{V_v}{V_c} \quad (2)$$

Sendo:

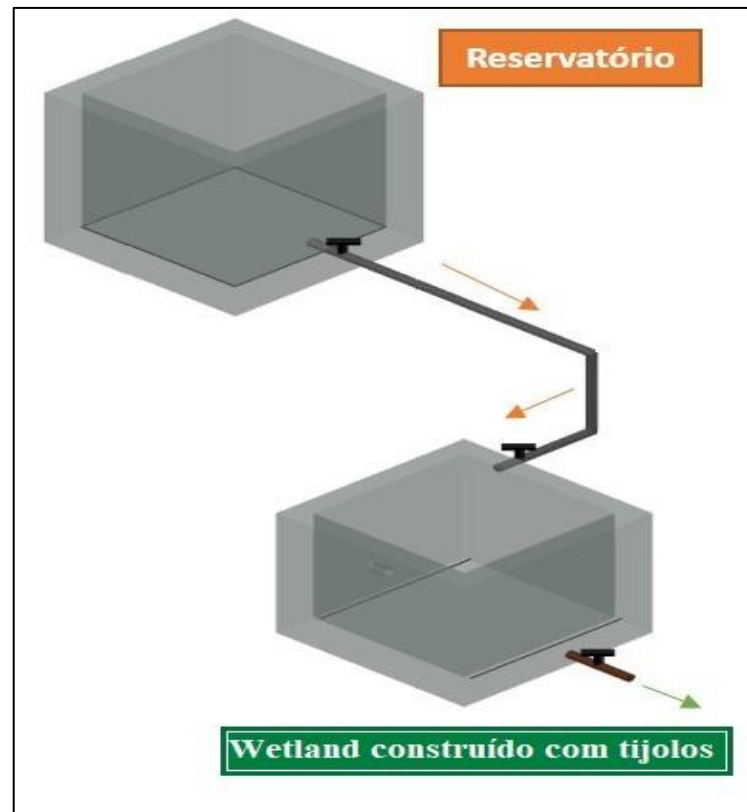
V_v: volume de vazios no leito na camada de substrato (m³)

V_c: Volume da camada de substrato que compõe o leito (m³)

ξ: porosidade do leito

O reservatório superior de alimentação é interligado por tubulações de policloreto de vinila (PVC) com 25 mm de diâmetro para condução da água residuária sintética por gravidade e por meio de gotejamento até o tanque de *wetland* que se encontra em cota mais baixa, a uma distância vertical de 1,5 m da saída de água do reservatório superior. Na Figura 16 é possível visualizar o esquema do sistema de tratamento.

Figura 16 — Esquemático do sistema de tratamento wetland construído.



Fonte: Autora (2021).

Na Figura 17 é possível observar o sistema de tratamento *wetland* composto pelo reservatório elevado contendo o efluente sintético, situado mais atrás na imagem, em cima dos paletes, e o *wetland* construído mais à frente.

Figura 17 — Sistema de tratamento wetland construído.



Fonte: Autora (2021).

Nas Figuras 18, 19 e 20 estão apresentadas respectivamente, a camada de substrato tijolos, a camada de areia e as macrófitas adicionadas ao sistema.

Figura 18 — Camada de fragmentos de tijolos como parte do substrato no wetland construído.



Fonte: Autora (2021).

Figura 19 — Camada de areia como parte do substrato no wetland construído.



Fonte: Autora (2021).

Figura 20 — Macrófitas no wetland construído.



Fonte: Autora (2021).

O tanque WC foi vedado com telas de poliéster para evitar a proliferação de insetos, dentre eles os que são vetores de doenças.

O sistema *wetland* foi operado em batelada, sendo ao todo 15 ciclos operacionais, cada um com tempo de duração de 7 dias. Para a operação do sistema, uma vez por semana, 300 L de efluente sintético com características de águas cinzas eram preparados no reservatório e era então distribuído para o WC através de um sistema de distribuição, com o tempo de distribuição da alimentação de 40 minutos, vazão de distribuição do afluente de $7,5 \text{ L.min}^{-1}$. A vazão de esvaziamento era de $0,011 \text{ L.s}^{-1}$. O afluente (entrada) e o efluente foram monitorados nos tempos reacionais (TR) de 48 h e 168 h nos quais eram retirados 300 mL de efluente tratado para realizar análises físico químicas e microbiológicas a fim de avaliar a qualidade do tratamento do sistema e o potencial reuso agrícola do efluente tratado. Após o tempo total de reação de 168h, o tanque era esvaziado para receber o novo efluente sintético, dando início a outro ciclo.

4.3.3 Caracterização da água residuária sintética – águas cinzas

A água residuária sintética utilizada no presente experimento possui características de águas cinzas provenientes da pia e do chuveiro do banheiro. Sua composição é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 — Composição do efluente sintético simulando água cinza doméstica.

Produto	Quantidade em 100 L	Quantidade utilizada no experimento (para 300 L)
Celulose microcristalina	0,15 g	5 g
Fosfato de potássio	1,32 g	60 g
Cloreto de sódio PA	25,0 g	25 g
Extrato de carne	10,0 g	30 g
Amido solúvel	0,5 g	25 g
Sacarose	0,875 g	250 g
Cloreto de amônio	5,1 g	75 g
Pasta de dente	2,0 g	5 g
Shampoo e sabonete	5 mL	150 mL
Cloreto de magnésio	0,7 g	5 g
Cloreto de cálcio	0,45 g	5 g
Bicarbonato de sódio	10,0 g	30 g

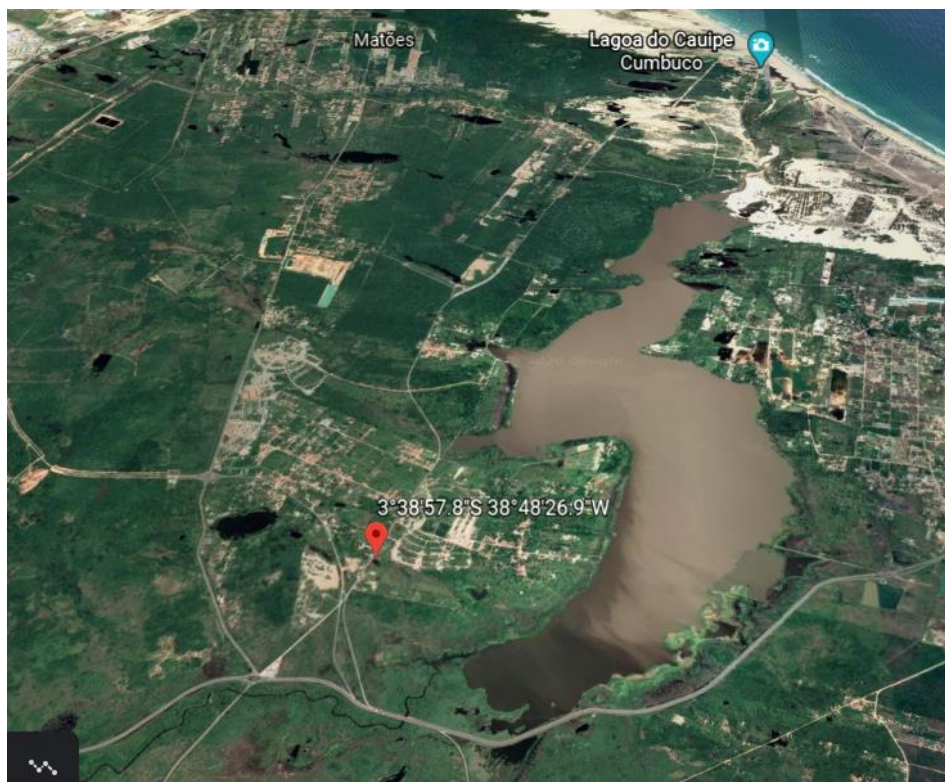
Fonte: Adaptado Abed e Scholz (2016).

Para a produção da água cinza sintética, os produtos listados na Tabela 2 eram adicionados a 300 L de água de poço presente no reservatório elevado. Para simular a microbiota presente em um efluente *in natura*, eram adicionados 3 L de água residuária de uma pia de banheiro doméstico contendo micro-organismos (ABED, SCHOLZ, 2016).

4.3.4 Coleta e manejo de macrófitas

As macrófitas utilizadas no sistema de tratamento foram escolhidas por serem macrófitas nativas, as que foram utilizadas no *wetland* são da espécie *Echinodorus subalatus*, gênero *Echinodorus*, que pertencem a família *Alismataceae*, popularmente conhecidas como língua de vaca. Estas foram coletadas de forma manual no município de Caucaia, nas coordenadas geográficas latitude 3°38'57.81"S, longitude 38°48'26.85"O. Na Figura 21 está apresentada a vista superior da região na qual foram coletadas as macrófitas.

Figura 21 — Vista superior da localização da coleta de macrófitas.



Fonte: Google Earth Pro (2020).

4.3.5 Análises físico-químicas

As análises físico-químicas para monitoramento do tratamento do efluente foram realizadas nos laboratórios: de Tecnologia Ambiental (LATAM) e no de Tecnologia Química (LTQ), ambos localizados no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE, *campus* Fortaleza. As análises foram realizadas de acordo com APHA (2005): pH, nitrato, nitrito, amônia, demanda química de oxigênio (DQO), fósforo total, sólidos suspensos voláteis, condutividade elétrica (CE), alcalinidade e dureza. A análise de surfactantes foi realizada conforme Jurado *et al.* (2006), de acordo com a NBR 10738, (ABNT, 1989).

No presente trabalho foram feitas análises de surfactantes para acompanhar o comportamento desta substância no sistema *wetland* do ciclo 1 ao ciclo 7.

4.3.6 Análises microbiológicas

Foram realizadas análises microbiológicas a fim de avaliar a remoção de micro-organismos presentes no efluente, bem como o seu potencial reuso agrícola. As variáveis

avaliadas foram: coliformes totais (CT) e coliformes termotolerantes, mais especificamente a *Escherichia coli* (*E. coli*) utilizando as metodologias de *Standard Methods* (APHA, 2005).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Busca em acervos de patentes e bibliográficos

Nas buscas por patentes foi possível observar um número considerável de documentos sobre a temática: utilização de *wetland* no tratamento de efluentes, reforçando assim o aumento de interesse por esta tecnologia.

Realizando a busca no INPI foi encontrado apenas um resultado (utilizando as palavras chaves *wetland*, tratamento de efluentes) para patentes no qual o título foi Tecnologias vivas de tratamento de efluentes domésticos com reuso das águas, registrado no número de pedido UM 9002478-8 U2, os números do IPC são C02F 9/14; C02F 3/28 e o inventor é Evandro de Castro Sanguinetti. As tecnologias vivas apresentadas nesta patente consistem em um sistema formado por um decanto digestor que opera em condições anaeróbias, um filtro biológico e um *wetland* construído de fluxo subsuperficial. Este sistema de tratamento biológico de água cinzas e negras possibilita o reuso do efluente tratado na irrigação, no reaproveitamento residencial e em paisagismo. As tecnologias vivas são indicadas como solução de tratamento de efluentes em áreas rurais, pousadas, escolas, fazendas e estabelecimentos de pequeno porte (SANGUINETTO, 2013).

Utilizando a WIPO foram encontrados 395 resultados para as buscas. No Quadro 7 estão apresentadas as cinco primeiras patentes de *wetlands* que constavam no banco de dados da WIPO.

Quadro 7 — Patentes registradas na WIPO referentes a utilização de *wetlands* no tratamento de efluentes.

Título	IPC	Inventores	Nº de publicação	Ano de publicação
Method and system for carrying out ecological treatment on breeding wastewater from pig farms	C02F 9/14; C02F 103/20	Xiao Runlin; Qi Langui; Wu Jinshui; Liu Feng; Xiao Tianqi; Dai Yueyang	107572725	2018
Wastewater treatment system based on constructed <i>wetlands</i>	C02F 9/14; C02F 101/16; C02F 101/20	Cui Yuqian; Wei Yuxi; Xie Wenxia; Yang Ruixia; Zeng Qian	106348537	2017
<i>Wetland</i> wastewater reuse system	C02F 9/04	Hu Huimin; Chen Yanchen	109607848	2019
Artificial <i>wetland</i> treatment system for deep purification of wastewater	C02F 9/14; C02F 3/32	Wang Xiang; Zhang Jinju; Zhu Zhaojun; Yuan Mengyun; Zhang Hongchuan	109796108	2019

Wastewater treatment system, wastewater treatment method and operation method based on artificial <i>wetland</i>	C02F 3/30; C02F 3/32; C02F 101/10	Hou Jie; Wang Jie; Li Dapeng; He Xugang	109133350	2019
--	-----------------------------------	---	-----------	------

Fonte: Autora (2021).

Dentre as patentes apresentadas no Quadro 7 tem-se o sistema de tratamento elaborado por Yuqioan *et al.* (2017) que trata de um sistema de tratamento de efluentes baseado em *wetlands*. Este sistema é composto por um tanque *wetland* com múltiplas camadas de filtração. O efluente é injetado no *wetland* através de um tubo de entrada e o esgoto percorre todas as camadas filtrantes do sistema até chegar a última camada. Este sistema de tratamento é eficaz para remoção de nitrogênio e fosforo, contudo, pode não ser eficiente na remoção de contaminantes como metais pesados. Na base de patentes Espacenet foram encontrados 6.234 resultados. Pode-se observar no Quadro 8 as cinco primeiras patentes apresentadas nesta base.

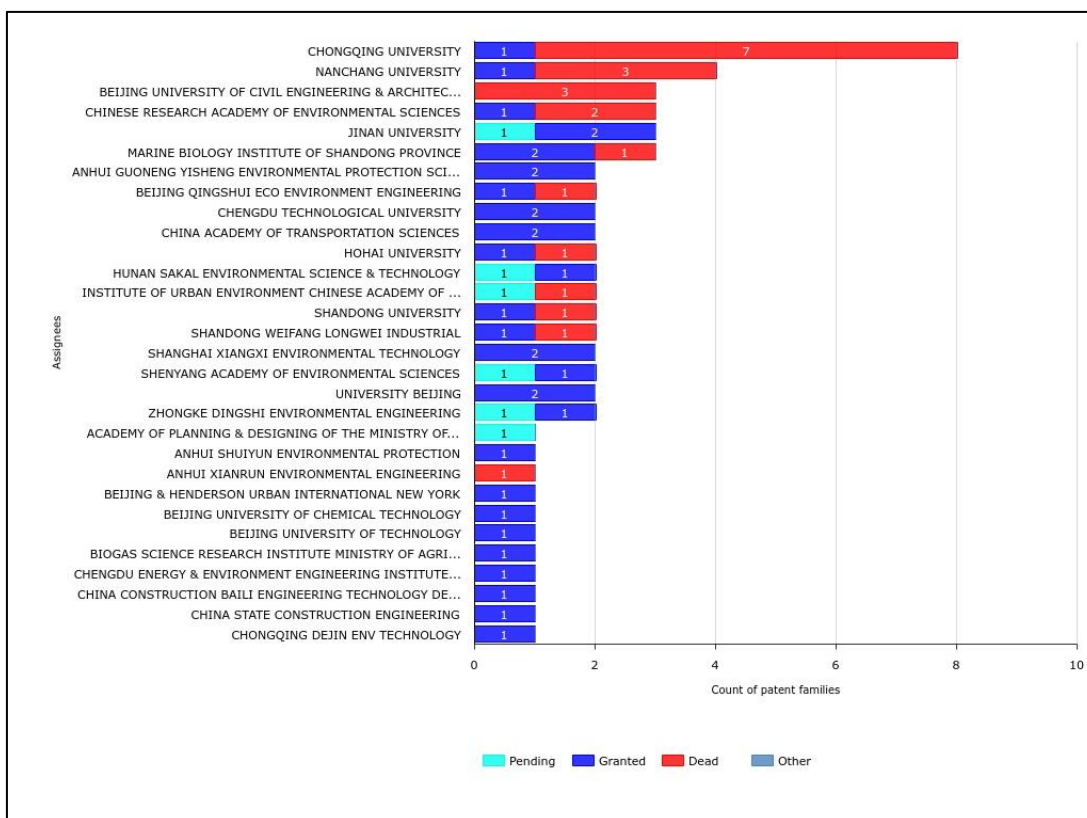
Quadro 8 — Patentes registradas no Espacenet referentes a utilização de *wetlands* no tratamento de efluentes.

Título	IPC	Inventores	Nº de publicação	Ano de publicação
<i>Wetland</i> wastewater reuse system	C02F9/04	Chen Yanchen; Hu Huimin	109607848A	2019
<i>Domestic sewage treatment and recycling system</i>	C02F9/14; C02F 101/30	Jiang Wentao; Jiang Jianjun; Gu Yinhao	209412011U	2018
Artificial <i>wetland</i> system applied to marine aquaculture wastewater treatment	C02F3/32;	Guo Xiaoqi	204281416U	2015
Integrated anaerobic- <i>wetland</i> wastewater treatment apparatus and method therefor	C02F9/14; C02F3/28; C02F3/32;	Deng Liangwei	1315743C	2007
Composite artificial <i>wetland</i> system for wastewater treatment	C02F9/14; C02F101/10; C02 F101/14; C02F10 1/18; C02F103/3 6;	Li Wujiang; Tang Qian; Wu Yunjie; Yang Xiuqin; Zhao Bin; Zhu Sixi	109399864A	2019

Fonte: Autora (2021).

Entre as patentes cadastradas na base Espacenet, a tecnologia de Wujiang *et al.*, (2019) trata-se de um sistema composto por *wetlands* artificiais para tratamento de águas residuárias. Este sistema apresenta: um tanque com grade mecânica para separar impurezas, tanques de sedimentação, *wetland* artificial de fluxo vertical primário, *wetland* artificial de fluxo vertical secundário e um tanque de armazenamento de efluente tratado. O sistema é capaz de tratar efetivamente efluentes contendo flúor, cianogênio e refino de petróleo, ajudando a diminuir a

Figura 23 — Status das patentes dos principais depositantes.

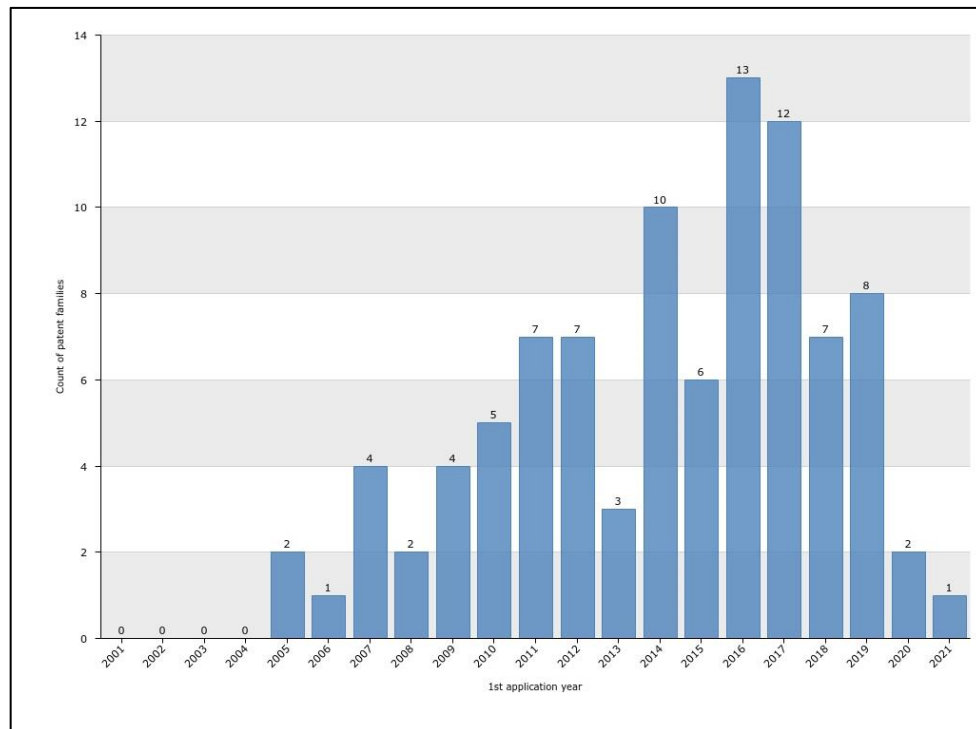


Fonte: Autora (2021).

Pode-se observar na Figura 23 que das oito patentes da *Chongqing University*, sete são patentes estão com o *status* de sem dono, provavelmente por serem patentes mais antigas e apenas uma está com o *status* de patente concedida. *Nanchang University* possui três patentes com *status* sem dono e uma patente concedida, enquanto que a *Beijing University of Civil Engineering* possui três patentes com *status* sem dono.

Na Figura 24 pode-se observar os depósitos de patentes dos últimos 20 anos.

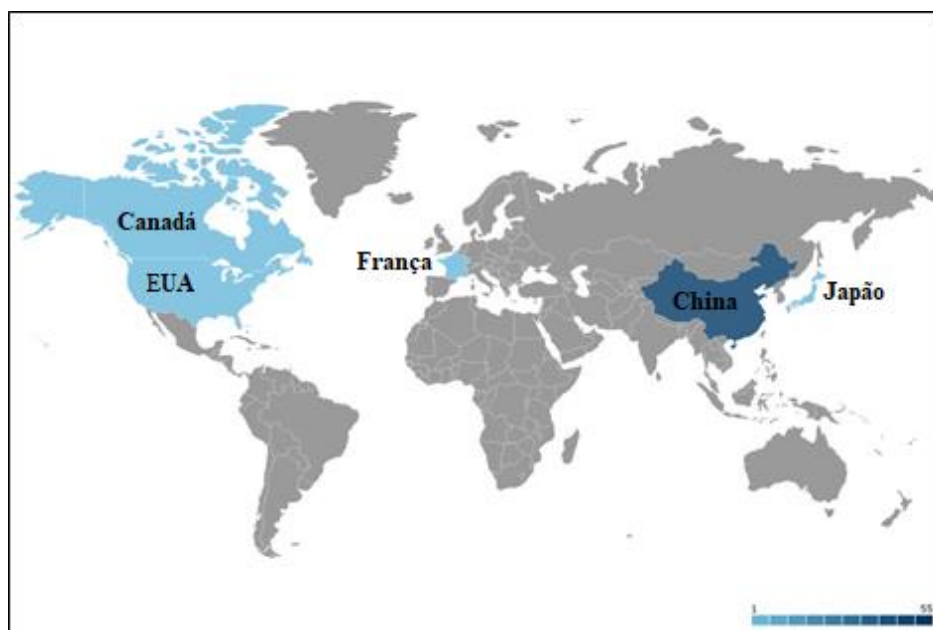
Figura 24 — Depósitos de patentes no decorrer dos anos 2001 a 2021.



Fonte: Autora (2021).

É possível observar na Figura 24 que os depósitos de patentes iniciaram nos anos 2005 com apenas 2 patentes, houve um pico de depósito no ano 2016 com 13 patentes registradas e posteriormente o registro de patentes foi decaindo com o passar dos anos. Na Figura 25 é possível observar os países que se destacam na produção de patentes de *wetlands*.

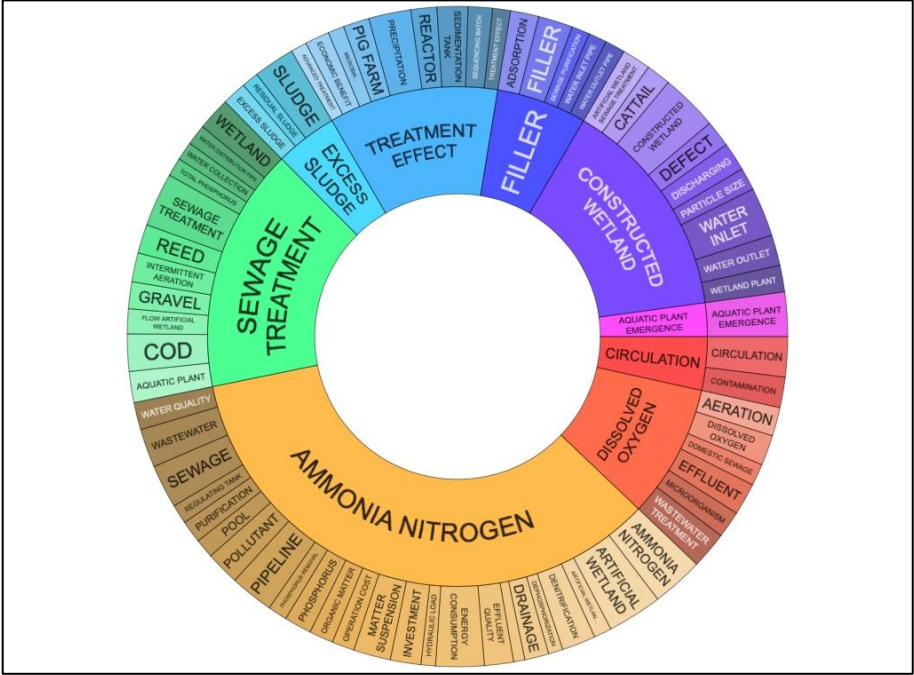
Figura 25 — Regiões destaque na produção de patentes *wetland*.



Fonte: Autora (2021).

Entre os principais países na produção de patentes de *wetland* se destacam: China, Japão, França, Estados Unidos e Canadá. Na Figura 26 estão apresentados os termos mais utilizados nas patentes *wetland*.

Figura 26 — Termos mais utilizados em patentes *wetlands*.



Fonte: Autora (2021).

É possível visualizar os termos mais mencionados nas patentes *wetland* na Figura 26 a saber: tratamento de efluentes, *wetland* construído, efeito do tratamento, oxigênio dissolvido, circulação, amônia, dentre outros. Pode-se observar pela imagem que a palavra mais utilizada foi a base nitrogenada amônia, indicando o uso da tecnologia na remoção de nitrogênio.

5.2 Revisão Sistemática de Literatura - *Methodi Ordinatio*

Na pesquisa definitiva nas bases de dados (etapa 4) foram encontrados 190 trabalhos científicos sobre a temática como é possível observar no Quadro 9.

Quadro 9 — Resultado da busca nas bases de dados.

BASE	PALAVRAS - CHAVE	CAMPO DE BUSCA	RESULTADOS
Scopus	wetland AND wastewater AND reuse	Título	40
Science Direct		Título	20
Web of Science		Título	37

SpringerLink		Título	85
Scielo.Org		Título	8
Total:			190

Fonte: Autora (2021)

Após filtrar nos artigos utilizando um gerenciador de referências *Mendley*, os trabalhos restantes foram submetidos a fórmula *InOrdinátio*. Dessa forma, 11 artigos sobre a temática foram selecionados para o presente trabalho. Na Tabela 3 é possível visualizar os artigos selecionados e o *ranking* com os valores obtidos após aplicação da fórmula.

Tabela 3 — Artigos classificados utilizando o *Méthodi Ordinatio*

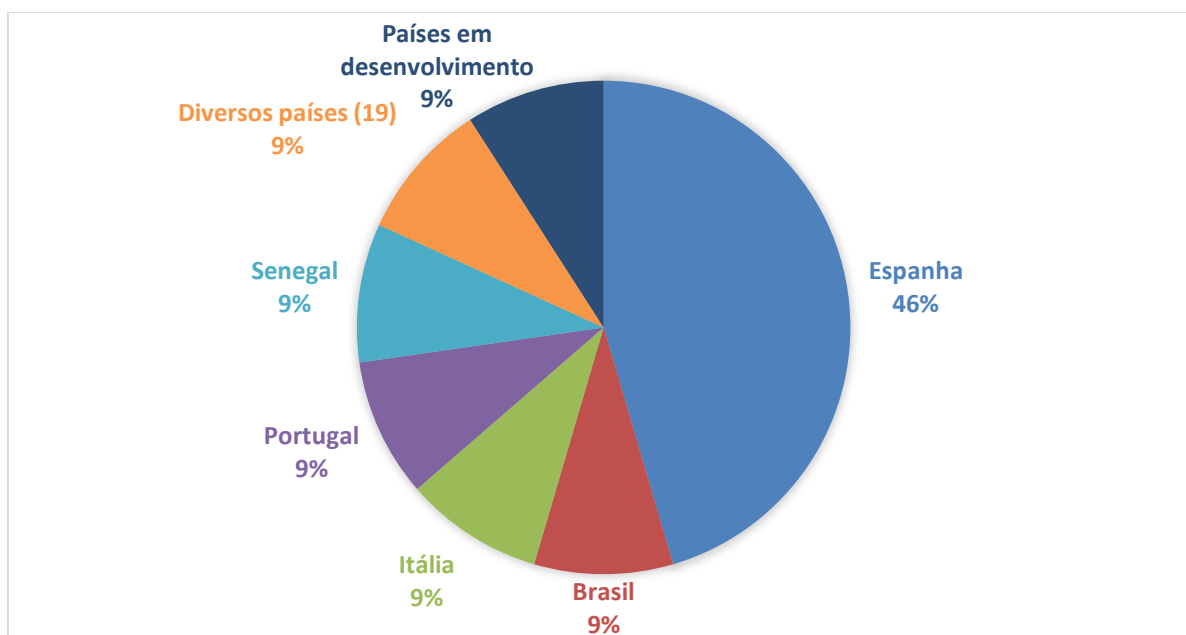
Ordem de leitura	Autor	Título	Ano	Revista	In Ordinatio
1	Kivaisi, A.K.A.	The potential for constructed <i>wetlands</i> for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review	2001	Ecological Engineering	994
2	Ávila, C., Bayona, J.J.M., Martín, I., Salas, J.J.J.J.J. and García, J.	Emerging organic contaminant removal in a full-scale hybrid constructed <i>wetland</i> system for wastewater treatment and reuse	2015	Ecological Engineering	168
3	Ávila, C., Salas, J.J.J.J.J., Martín, I., Aragón, C. and García, J.	Integrated treatment of combined sewer wastewater and stormwater in a hybrid constructed <i>wetland</i> system in southern Spain and its further reuse	2013	Ecological Engineering	115
4	Nan, X., Lavrnjic, S. e Toscano, A.	Potential of constructed <i>wetland</i> treatment systems for agricultural wastewater reuse under the EU framework	2020	Vol. 275 Journal of Environmental Management	107
5	Milani, M., Consoli, S., Marzo, A., Pino, A., Randazzo, C., Barbagallo, S. and Cirelli, G.L.	Treatment of winery wastewater with a multistage constructed <i>wetland</i> system for irrigation reuse	2020	Water (Switzerland)	106
6	Andreo-Martínez, P., García-Martínez, N., Quesada-Medina, J. and Almela, L.	Domestic wastewaters reuse reclaimed by an improved horizontal subsurface-flow constructed <i>wetland</i> : A case study in the southeast of Spain	2017	Bioresource Technology	105
7	Ávila, C., Garfí, M. and García, J.	Three-stage hybrid constructed <i>wetland</i> system for wastewater treatment and reuse in warm climate regions	2013	Ecological Engineering	102
8	Santos, V.B., Machado, B.S., Atalla, A., Cavalheri, P.S. and Filho, F.F.J.	Microbiological evaluation of constructed <i>wetlands</i> and solar disinfection in wastewater treatment and reuse	2020	Journal of Water and Health	101
9	Otter, P., Hertel, S., Ansari, J., Lara, E., Cano, R., Arias, C., Gregersen, P., Grischek, T., Benz, F., Goldmaier, A., Goldmaier, A., Alvarez, J.J.A., Goldmaier, A. and Alvarez, J.J.A.	Disinfection for decentralized wastewater reuse in rural areas through <i>wetlands</i> and solar driven onsite chlorination	2020	Science of The Total Environment	100
10	Dias, S., Mucha, A.P., Crespo, R.D., Rodrigues, P. and Almeida, C.M.R.	Livestock wastewater treatment in constructed <i>wetlands</i> for agriculture reuse	2020	International Journal of Environmental Research and Public Health	100
11	Torrens, A., de la Varga, D., Ndiaye, A.K., Folch, M. and Coly, A.	Innovative multistage constructed <i>wetland</i> for municipal wastewater treatment and reuse for agriculture in Senegal	2020	Water (Switzerland)	100

Fonte: Autora (2021).

Entre os 11 artigos encontrados, 2 são artigos de revisão e 9 são artigos de estudo de caso. Sobre o local de estudo ou país de origem dos trabalhos científicos foi possível observar que a maior parte dos artigos foi produzida ou tem como local de estudo, a Espanha. Levando em consideração os artigos científicos de revisão que estão dentro da classificação do método utilizado, um dos trabalhos, *The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review*, de Kivaisi (2001), avaliou o potencial da utilização de *wetlands contruídos* no tratamento de efluentes e seu reuso em países em desenvolvimento, e o outro, *Potential of constructed wetland treatment systems for agricultural wastewater reuse under the EU framework*, de Nan, Lavrnic, e Toscano (2020), foi avaliado o potencial do uso da tecnologia em 19 países para o tratamento de efluentes e reuso agrícola considerando a legislação da União Européia.

Na Figura 27 pode-se observar a distribuição dos trabalhos científicos que estão no *ranking* e seus países correspondentes.

Figura 27 — Locais de origem e/ou locais de estudos dos artigos científicos selecionados.

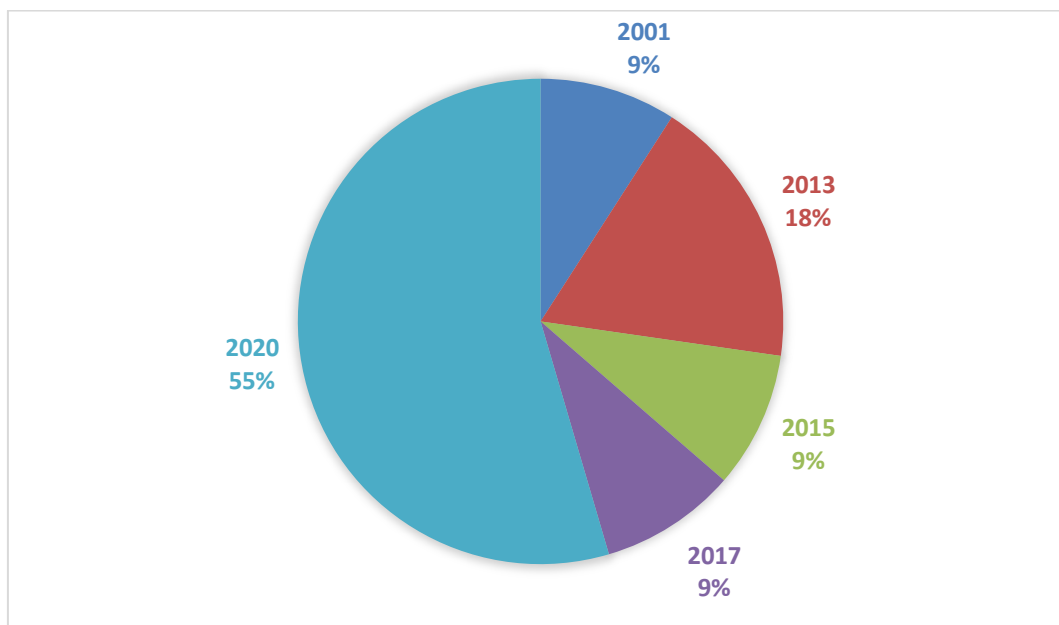


Fonte: Autora (2021).

Quanto ao ano de publicação dos artigos tem-se que o artigo mais antigo que entrou na classificação pelo *Methodi Ordinatio* é de 2001, *The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review*, e mesmo sendo o mais antigo entre os outros, foi o que obteve maior valor no *ranking* pelo *InOrdinatio* (994) o que indica que este artigo se enquadra nas palavras-chave utilizadas e foi citado em diversos trabalhos, tendo

assim relevância no meio acadêmico. Os artigos mais recentes foram publicados em 2020 e correspondem à maioria, como é possível visualizar na Figura 28.

Figura 28 — Ano de publicação dos artigos classificados pelo *Methodi Ordinatio*.



Fonte: Autora (2021).

O ano de publicação 2020 é o ano que apresenta maior número de artigos selecionados pelo método, isso ocorre porque na implementação do *Methodi Ordinatio* optou-se por dar prioridade aos artigos mais recentes e assim para o fator *alfa*, grau de importância do ano de publicação do artigo que vai de uma escala de 0 a 10, foi escolhido o valor 10. Dos onze artigos classificados pelo método, quatro foram publicados na revista *Ecological Engineering* e dois artigos foram publicados na revista *Water (Switzerland)*, ou seja, as duas revistas correspondem a mais da metade da publicação dos artigos classificados pelo método o que indica o grau de relevância dessas duas revistas para o tema, deste trabalho.

Sobre os tipos de efluentes tratados pelos *wetlands* nos trabalhos selecionados e o tipo de potencial reuso ao qual o efluente seria implementado, têm-se que a maioria utilizou efluentes domésticos. Dos onze artigos, oito utilizaram esgoto doméstico, um artigo utilizou efluente doméstico sintético, outro utilizou efluente proveniente da produção de vinho e outro utilizou efluente oriundo da produção de porcos. Nos trabalhos de maneira geral, a indicação para reuso do efluente após o tratamento no *wetland* foi para reuso agrícola, irrigação de plantas ornamentais e silvicultura, recarga de aquíferos e reuso industrial.

Conforme Milani *et al.* (2020), autores do artigo *Treatment of winery wastewater with a multistage constructed wetland system for irrigation reuse*, o efluente proveniente da produção de vinho após passar por tratamento em um sistema de WC multi estágio composto por tanque Imhoff seguido de tanque de equalização, WC de fluxo vertical subsuperficial, WC de fluxo horizontal subsuperficial e WC de fluxo superficial livre, apresentou elevado potencial para reuso agrícola, possui características de classe C (que permite a produção de cultura alimentares consumidas cruas onde a parte consumível é produzida acima do solo e não está em contato direto com a água de reuso, culturas de alimentos que serão processados incluindo culturas alimentares de animais produtores de carne e leite, com irrigação por gotejamento), pelos parâmetros italianos, exceto pela remoção de sólidos suspensos e demanda bioquímica de oxigênio onde 34% e 18% das amostras analisadas estavam acima do limite legal, entretanto este problema poderia ser resolvido com a adição de outro WC, segundo os autores.

Dias *et al.* (2020), em seu artigo *Livestock wastewater treatment in constructed wetlands for agriculture reuse*, utilizaram *wetlands* no tratamento de efluentes provenientes da criação de porcos para fins de reuso agrícola, como fertilizante, e afirmam em seu estudo que com a remoção de contaminantes tóxicos e a quantidade moderada de nutrientes do efluente pós-tratamento, poderia ser utilizado como fertilizante agrícola.

No estudo de Ávila *et al.* (2015), *Emerging organic contaminant removal in a full-scale hybrid constructed wetland system for wastewater treatment and reuse*, foi utilizado para o tratamento de efluente doméstico um sistema composto por: um tanque Imhoff seguido por três *wetlands* (um *wetland* de fluxo vertical e escoamento subsuperficial, um *wetland* de fluxo horizontal e escoamento subsuperficial e o outro com fluxo superficial) e obteve-se remoções consideráveis de poluentes, dentre eles fármacos, possibilitando o seu reuso em algumas atividades como recarga de aquíferos por percolação através do solo, silvicultura e irrigação de florestas e outras áreas verdes não acessíveis ao público.

No estudo de revisão de Kivaisi (2001) é possível observar trabalhos no Marrocos, que utilizam a tecnologia *wetland* para tratamento de efluentes domésticos com tempo de detenção de sete dias, obtendo qualidade do efluente tratado que satisfaz às normas da Organização Mundial da Saúde para reuso de efluentes em culturas de cereais, forragens e pastagens.

Nas próximas sessões serão abordados neste trabalho alguns parâmetros físico-químicos e microbiológicos importantes no tratamento de efluentes para reuso agrícola que foram avaliados nos artigos selecionados pelo *Methodi Ordinatio*.

5.2.1 Remoção de matéria orgânica em termos de Demanda Química de Oxigênio (DBO) e Demanda Bioquímica de Oxigênio

Na Tabela 4 é possível observar a eficiência de remoção de matéria orgânica do *wetland* no tratamento de efluentes e o potencial de reuso de diferentes esgotos que passa por este tipo de tratamento.

Tabela 4 — Remoção de matéria orgânica em termos de DQO e DBO no uso da tecnologia *wetland* no tratamento de efluentes.

Autores	Artigo	Tipo de Efluente	Ano de publicação	Local de estudo	Remoção de matéria orgânica, em DQO ou DBO (%)
Milani, M., Consoli, S., Marzo, A., Pino, A., Randazzo, C., Barbagallo, S. and Cirelli, G.L.	<i>Treatment of winery wastewater with a multistage constructed wetland system for irrigation reuse</i>	Efluente proveniente do processo de produção de vinho	2020	Itália	DQO (81%)
Andreo-Martínez, P., García-Martínez, N., Quesada-Medina, J. and Almela, L.	<i>Domestic wastewaters reuse reclaimed by an improved horizontal subsurface-flow constructed wetland: A case study in the southeast of Spain</i>	Efluente doméstico	2017	Espanha	DQO (92,7%), DBO (97,8%)
Ávila, C., Garfí, M. and García, J.	<i>Three-stage hybrid constructed wetland system for wastewater treatment and reuse in warm climate regions</i>	Efluente doméstico	2013	Espanha	DQO (78%), DBO (91%)
Santos, V.B., Machado, B.S., Atalla, A., Cavalheri, P.S. and Filho, F.F.J.	<i>Microbiological evaluation of constructed wetlands and solar disinfection in wastewater treatment and reuse</i>	Efluente doméstico	2020	Brasil	DQO (63,7%), DBO (51,3%)
Otter, P.; Hertel, S.; Ansari, J.; Lara, E.; Cano, R.; Arias, C.; Gregersen, P.; Grischek, T.; Benz, F.; Goldmaier, A.; Alvarez, J.J.A.	<i>Disinfection for decentralized wastewater reuse in rural areas through wetlands and solar driven onsite chlorination</i>	Efluente doméstico	2020	Espanha	DQO (80%)
Dias, S., Mucha, A.P., Crespo, R.D., Rodrigues, P. and Almeida, C.M.R.	<i>Livestock wastewater treatment in constructed wetlands for agriculture reuse</i>	Efluente proveniente da criação de porcos	2020	Portugal	DQO (80%)
Torrens, A., de la Varga, D., Ndiaye, A.K.,	<i>Innovative multistage constructed wetland for municipal wastewater</i>	Efluente doméstico	2020	Senegal	DBO (>95%), DQO (>90%)

Fonte: Autora (2021).

Sobre a remoção de matéria orgânica foi observado nos trabalhos obtidos uma elevada remoção, no geral superior a 80%, de demanda química de oxigênio e demanda bioquímica de oxigênio. No trabalho de Kivaisi (2001) foi estudado o potencial do uso de *wetlands* construídos para tratamento de efluentes e reuso, em países em desenvolvimento, e entre alguns estudos de caso abordados, pode-se citar três países: Marrocos, Irã e México, que apresentaram resultados elevados na remoção de DQO e DBO quando do uso de sistemas *wetland* no tratamento de despejos diversos (Marrocos – 78% DQO; Irã – 86% DQO, 90% DBO e México – 87,4% DQO, 88,5% DBO).

No artigo de revisão de Nan, Lavrnic e Tocano 2020, foram avaliados 19 países quanto ao seu potencial de tratar efluentes utilizando *wetlands* para reuso agrícola conforme as diretrizes da União Européia. Dentre os trabalhos estudados pode-se citar a Itália, Espanha e Colômbia que obtiveram eficiências de remoção de DQO e DBO, a saber: Itália – 63% DBO, Espanha – 92,7% DQO e 97,8% DBO e Colômbia – DQO e DBO > 90%.

No estudo de Ávila *et al.* (2015), no qual o local de estudo foi a Espanha, observou-se no tratamento de efluentes domésticos utilizando um sistema híbrido de WC, composto por um tanque imhoff seguido por *wetland* de três estágios (*wetland* de escoamento subsuperficial fluxo vertical, *wetland* de escoamento subsuperficial fluxo horizontal e *wetland* de escoamento superficial) a remoção em termos de DQO e DBO de 89% e 99%, respectivamente, no tempo de detenção hidráulica de 7,4 dias.

Milani *et al.* (2020), estudaram o uso de um sistema multi-estágio *wetland* composto por tanque imhoff, tanque de equalização, *wetland* de escoamento subsuperficial de fluxo vertical, *wetland* de escoamento subsuperficial de fluxo horizontal e *wetland* de escoamento superficial no tratamento de efluente proveniente de vinícola para reuso, com taxa de tratamento de 3 m³.d⁻¹, obtendo eficiência de remoção de DQO de 81%. Eficiências de remoção estão condicionadas as condições de operação como tipo de esgoto tratado, diferentes configurações de *wetland* construído, tempo de retenção hidráulica, dentre outros.

Diante do exposto, é possível constatar a eficiência de remoção de matéria orgânica do *wetland*, tendo que remoção média em termos de DQO e DBO foi de 85% nos trabalhos, indicando o potencial de reuso do esgoto que passa por este tipo de tratamento.

5.2.2 Remoção de patógenos

Outro parâmetro importante para o tratamento de efluentes com objetivo de reuso, além da remoção de matéria orgânica, é a remoção de patógenos. Nos trabalhos que foram classificados pelo *Methodi Ordinatio*, notou-se que além das análises físico-químicas também eram realizadas análises microbiológicas a fim de determinar a remoção dos patógenos. Dos onze trabalhos selecionados, apenas três não analisaram a remoção de patógenos.

No artigo de revisão de Kivaisi (2001) foi notório o desempenho de alguns trabalhos de diversos países na remoção de *E. coli* e ovos de helmintos utilizando *wetlands* no tratamento de efluentes. Nesse artigo pode-se destacar, por exemplo, a remoção de patógenos em artigos produzidos no Marrocos e no Egito que obtiveram a eficiência de remoção de ovos de helmintos de 100%, e a remoção de *E. coli* de trabalhos desenvolvidos no Irã e do México, que obtiveram 99% de eficiência de remoção.

No estudo de Nan, Lavrnic e Toscano (2020), outro estudo de revisão, verificou-se um elevado desempenho na remoção de patógeno em trabalhos produzidos na Itália (remoção de 99,9% de *E. coli*) e na Colômbia (remoção de 99,9 % de *E. coli* e coliformes totais). Na Tabela 5 pode-se verificar a remoção de patógenos de outros trabalhos utilizando a tecnologia *wetland* no tratamento de efluentes.

Tabela 5 — Remoção de patógenos no uso da tecnologia *wetland* no tratamento de efluentes.

Autores	Artigo	Ano de publicação	Local de estudo	Remoção de patógenos
Ávila, C., Bayona, J.J.M., Martín, I., Salas, J.J.J.J.J. and García, J.	Emerging organic contaminant removal in a full-scale hybrid constructed <i>wetland</i> system for wastewater treatment and reuse	2015	Espanha	Remoção de <i>E. coli</i> : 99,99%

Ávila, C., Salas, J.J.J.J., Martín, I., Aragón, C. and García, J.	Integrated treatment of combined sewer wastewater and stormwater in a hybrid constructed <i>wetland</i> system in southern Spain and its further reuse	2013	Espanha	Remoção de <i>E. coli</i> : 61%
Andreo-Martínez, P., García-Martínez, N., Quesada-Medina, J. and Almela, L.	Domestic wastewaters reuse reclaimed by an improved horizontal subsurface-flow constructed <i>wetland</i> : A case study in the southeast of Spain	2017	Espanha	Remoção de Termotolerantes 54,7%, e <i>E. coli</i> 100%
Santos, V.B., Machado, B.S., Atalla, A., Cavalheri, P.S. and Filho, F.F.J.	Microbiological evaluation of constructed <i>wetlands</i> and solar disinfection in wastewater treatment and reuse	2020	Brasil	Remoção de <i>E. coli</i> , <i>Shigella spp.</i> , <i>Salmonella spp.</i> and <i>P. aeruginosa</i> : abaixo do limite de detecção
Otter, P., Hertel, S., Ansari, J., Lara, E., Cano, R., Arias, C., Gregersen, P., Grischek, T., Benz, F., Goldmaier, A., Goldmaier, A., Alvarez, J.J.A., Goldmaier, A. and Alvarez, J.J.A.	Disinfection for decentralized wastewater reuse in rural areas through <i>wetlands</i> and solar driven onsite chlorination	2020	Espanha	Remoção de Coliforme total: 67,5%, remoção de <i>E. coli</i> : 86%
Torrens, A., de la Varga, D., Ndiaye, A.K., Folch, M. and Coly, A.	Innovative multistage constructed <i>wetland</i> for municipal wastewater treatment and reuse for agriculture in Senegal	2020	Senegal	Remoção de coliforme termotolerantes de 73%, remoção de ovos de helmintos 100%

Fonte: Autora (2021).

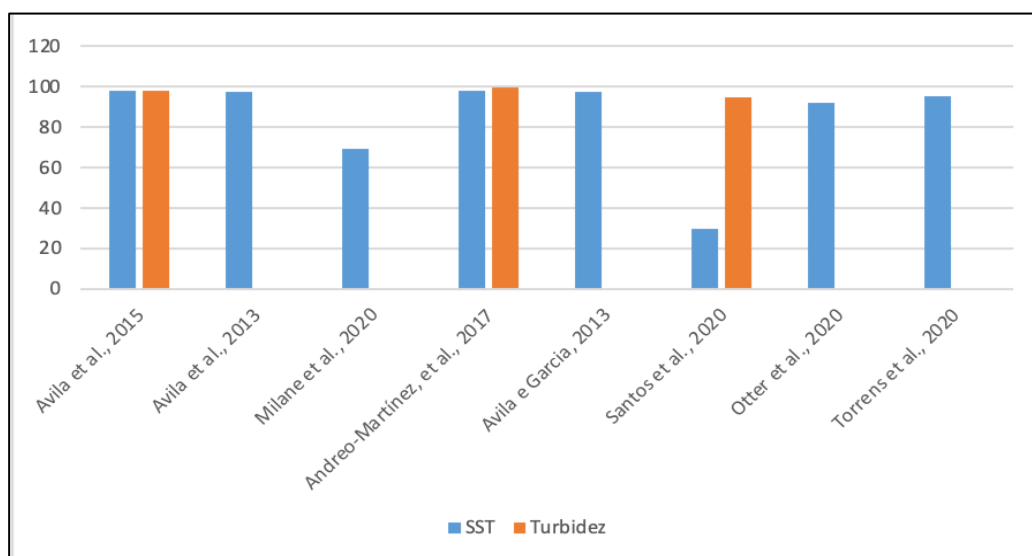
Observando a tabela pode-se verificar que a tecnologia *wetland* apresenta bom desempenho na remoção de patógenos, de maneira geral. Em alguns trabalhos além da utilização do *wetland* construído também foi adicionado outros componentes ao tratamento de efluentes como no estudo de Otter *et al.* (2020) no qual foi utilizado além do *wetland*, um sistema de cloração movido a energia solar. No estudo de Santos *et al.* (2020) também foi usado um sistema para desinfecção, neste caso, utilizando desinfecção solar. Enquanto que no trabalho de Torrens *et al.* (2020) utilizando um sistema multiestágio de *wetlands* obteve-se um resultado similar na remoção de patógenos, mesmo sem etapa de desinfecção.

5.2.3 Remoção de Turbidez e Sólidos Suspensos Totais.

Sobre a remoção de turbidez e sólidos suspensos, dentre os onze artigos selecionados apenas um artigo não avaliou a remoção deste parâmetro. Os demais trabalhos apresentaram eficiência de remoção, sendo a maioria acima de 80%, como no estudo de Kavisi (2001), no qual foram analisados trabalhos oriundos de diversos países, em desenvolvimento, e apresentaram resultados de eficiência de remoção de sólidos suspensos totais como em Marrocos, Irã e México, que apresentaram remoções de 90%, 86% e 89%, respectivamente.

Nan e Toscano (2020) em seu trabalho analisaram diversos artigos sobre a temática e observaram resultados de eficiência de remoção de sólidos suspensos totais, como nos estudos de caso da Itália, Espanha e Colômbia que apresentaram remoções de 88%, 97,5% e superiores a 85%, respectivamente. Na Figura 29 estão apresentadas as remoções de sólidos suspensos e turbidez nos demais artigos selecionados pelo método.

Figura 29 — Remoção de Sólidos suspensos totais (SST) e turbidez em %, dos artigos selecionados pelo *Methodi Ordinatio*.



Fonte: Autora (2021).

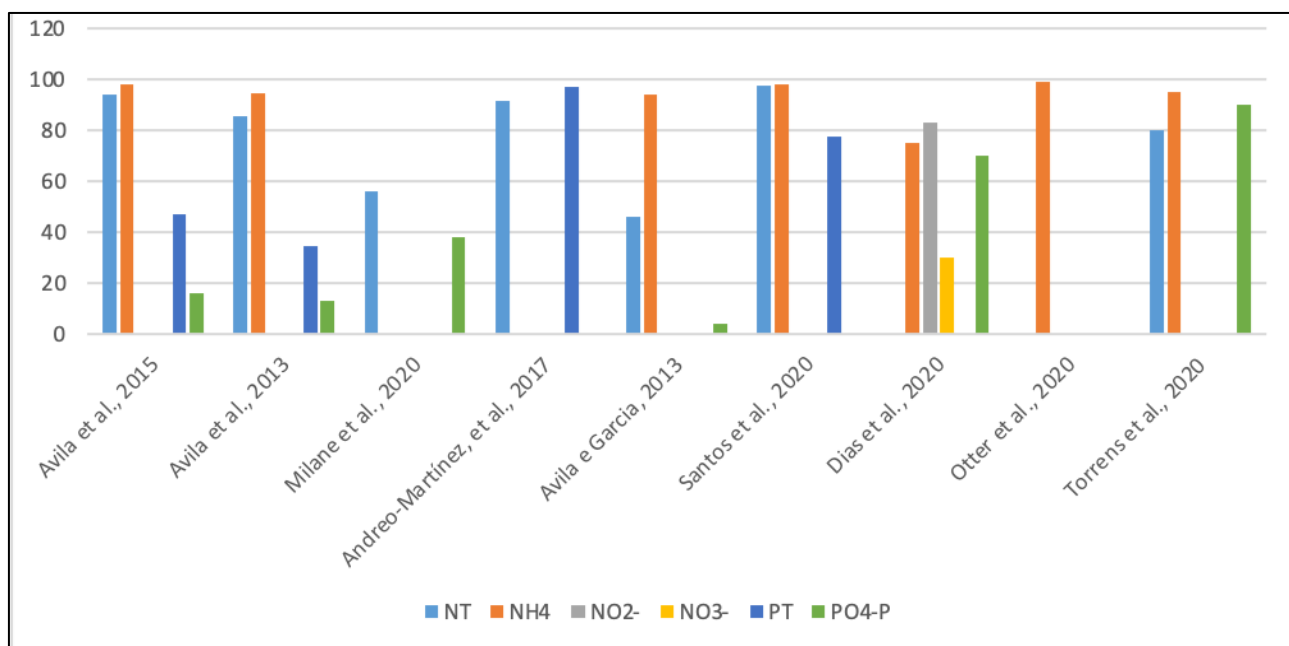
5.2.4 Remoção de Nutrientes

A remoção de nutrientes é outro parâmetro importante que deve ser analisado no tratamento de efluentes para reuso. Para o reuso de efluentes na agricultura é salutar que contenha uma concentração moderada de nutrientes a fim de que possa ser utilizado como fertilizante.

Todos os trabalhos que foram classificados pela equação *InOrdinatio* buscaram avaliar a remoção de pelo menos um nutriente no tratamento de efluentes utilizando o *wetland* construído.

No estudo de Kivaisi (2001) foram apresentados diversos trabalhos de países em desenvolvimento sobre tratamento de efluentes utilizando a tecnologia *wetland* que analisaram entre outros parâmetros, a remoção de nutrientes, a saber: Irã com remoção de nitrogênio total (NT) de 34% e remoção de fósforo total (PT) de 56%; México com remoção de nitrogênio (N) de 73,6%; Tailândia com remoção de NT de 29% e remoção de PT de 30%; Nepal com remoção de amônia (NH₄) e PT de 99,7% e 74%, respectivamente; Índia com remoção de NH₄ e PT de 78% e 56%-65%, respectivamente, dentre vários outros estudos. No Gráfico 4 está apresentada a remoção de diversos nutrientes: nitrogênio total (NT), amônia (NH₄), nitrito (NO₂-), nitrato (NO₃-), fósforo total (PT) e fosfato (PO₄-P) que estão presentes nos estudos que foram selecionados pelo método aplicado. Na Figura 30 está apresentada a remoção dos nutrientes dos artigos selecionados.

Figura 30 — Remoção de nutrientes em %, dos artigos selecionados pelo *Método Ordinatio*.



Fonte: Autora (2021).

Pode-se observar na Figura 30 que a maioria dos artigos que analisou a remoção de nitrogênio total obteve resultados acima de 80%, enquanto na remoção de fosfato, apenas dois trabalhos apresentaram remoções acima de 60%.

5.3 Análise dos Resultados Experimentais

No início do experimento, do ciclo 1 (C1) ao ciclo 3 (C3) foram realizadas coletas na entrada (afluente) e no efluente no tempo reacional (TR) de 168 h, e a partir do ciclo 4 (C4) as coletas das amostras foram da entrada e nos TRs de 48 h e 168 h. Na Tabela 6 está apresentada a caracterização do afluente.

Tabela 6 — Caracterização do efluente sintético

Parâmetros	Valores
pH	4,92 ± 0,49
DQO (mg.L ⁻¹)	1312,18 ± 517,57
Amônia (mg.L ⁻¹)	5,15 ± 3,7
Nitrito (mg.L ⁻¹)	2,77 – 0,72
Nitrato (mg.L ⁻¹)	3,59 – 0,43
Fósforo Total (mg.L ⁻¹)	4,82± 2,02
Condutividade elétrica (mS.cm ⁻¹)	1794,73 ± 1098,7
Alcalinidade (MgCaCO ₃ .L ⁻¹)	125 ± 18,68
Surfactantes (mg.L ⁻¹)	29,34 ± 3,1
Dureza (MgCaCO ₃ .L ⁻¹)	127,94 ± 20,94
Sólidos suspensos voláteis (mg.L ⁻¹)	225 ± 81,5
Coliformes totais (NMP/100 mL)	16 x 10 ⁵
<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)	16 x 10 ⁵

Fonte: Autora (2021)

Ao comparar a caracterização da água residuária na entrada do tanque, usada na, presente pesquisa com as características de águas cinzas nas Tabelas 7 e 8 é possível constatar que se trata de um efluente de alta carga, em termos de matéria orgânica. A água residuária apresentou demanda química de oxigênio de 1312,18 mg.L⁻¹, condutividade elétrica de 1794,73 mS.cm⁻¹, sólidos suspensos voláteis de 225 mg.L⁻¹ e surfactante de 85,98 mg.L⁻¹.

Tabela 7 — Caracterização de águas cinzas de baixa carga

Parâmetros das AC de baixa carga	UN	Austrália (Christova Boal <i>et al.</i> , 1996) B	França (Chaillou <i>et al.</i> , 2011) B, S	Alemanha (Nolde, 2000) B, S	Reino Unido (Pidou <i>et al.</i> , 2008) S	Brasil (Gonçalves <i>et al.</i> , 2006) S, W	Omã (Prathapar <i>et al.</i> , 2005) S, W
Condutividade elétrica (CE)	µScm ⁻¹	82-250	468	-	-	-	14-15
Sólidos suspensos	mg.L ⁻¹	48-120	125	-	-	103-149	353-505
Sólidos sedimentáveis	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-
Turbidez	NTU	60-240	150	-	42	-	133-375
DQO	mg.L ⁻¹	-	136	-	575	582-653	58-294
DBO	mg.L ⁻¹	76-200	240	50-300*	166	165-265	42,1-130

pH	-	6,4-8,1	7,58	-	7,3-7,8	7,3-7,8	7,1-7,4
Surfactantes	mg.L ⁻¹	-	6,8	-	-	-	14,9-41,9
Amônia (NH ₃ /NH ₄ ⁺)	mg.L ⁻¹	< 0,1-15	-	-	-	-	-
Fósforo (PO ₄ ³⁻)	mg.L ⁻¹	-	-	-	1,3	0,2-0,6	-
COT	mg.L ⁻¹	-	50,6	26-95	-	-	70-83
Coliformes totais	Contagem/100mL	500 a 2,5 x 10 ⁷	-	10 a 1,0 x 10 ³	-	-	> 200,5
Coliformes termo tolerantes	Contagem/100mL	-	4,76 x 10 ⁵	-	-	1,01x10 ² , 6,3x10 ⁴	> 200,5

Fonte: Adaptado de Rampelotto (2014).

B – Banheira

S – Chuveiro

W – Lavatório

*DQO₇

Tabela 8 — Caracterização de águas cinzas de alta carga

Parâmetros das AC de baixa carga	UN	Austrália (Christova Boal <i>et al.</i> , 1996) B	França (Chaillou <i>et al.</i> , 2011) B, S	Alemanha (Nolde, 2000) B, S	Reino Unido (Pidou <i>et al.</i> , 2008) S	Brasil (Gonçalves <i>et al.</i> , 2006) S, W	Omã (Prathapar <i>et al.</i> , 2005) S, W
Condutividade elétrica (CE)	μScm ⁻¹	190-1400	1300-3000	-	-	-	-
Sólidos suspensos	mg.L ⁻¹	88-250	90-200	200	-	53	314
Turbidez	NTU	50-210	40-150	254	42	-	444
DQO	mg.L ⁻¹	-	400-1000	646	575	521	231,3
DBO	mg.L ⁻¹	48-290	-	435	166	184	179,7
pH	-	9,3-10	7,9	-	7,3-7,8	9,1	8,3
Surfactantes	mg.L ⁻¹	-	0,01-25	-	-	-	118,3
Nitrato (NO ₃)	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-
Amônia (NH ₃ /NH ₄ ⁺)	mg.L ⁻¹	< 0,1 -1,9	-	13,3	-	-	-
Fósforo (PO ₄ ³⁻)	mg.L ⁻¹	-	-	5,6	1,3	-	-
COT	mg.L ⁻¹	-	-	-	-	14,4	174,6
Coliformes totais	Contagem/100mL	2,3 x 10 ³ a 2,5 x 10 ⁷	-	5,4 x 10 ⁸	-	-	> 200,5
Coliformes termo tolerantes	Contagem/100mL	-	-	5,4 x 10 ⁶	-	-	> 200,5

Fonte: Adaptado de Rampelotto (2014).

B – Banheira

S – Chuveiro

W – Lavatório

*DQO₇

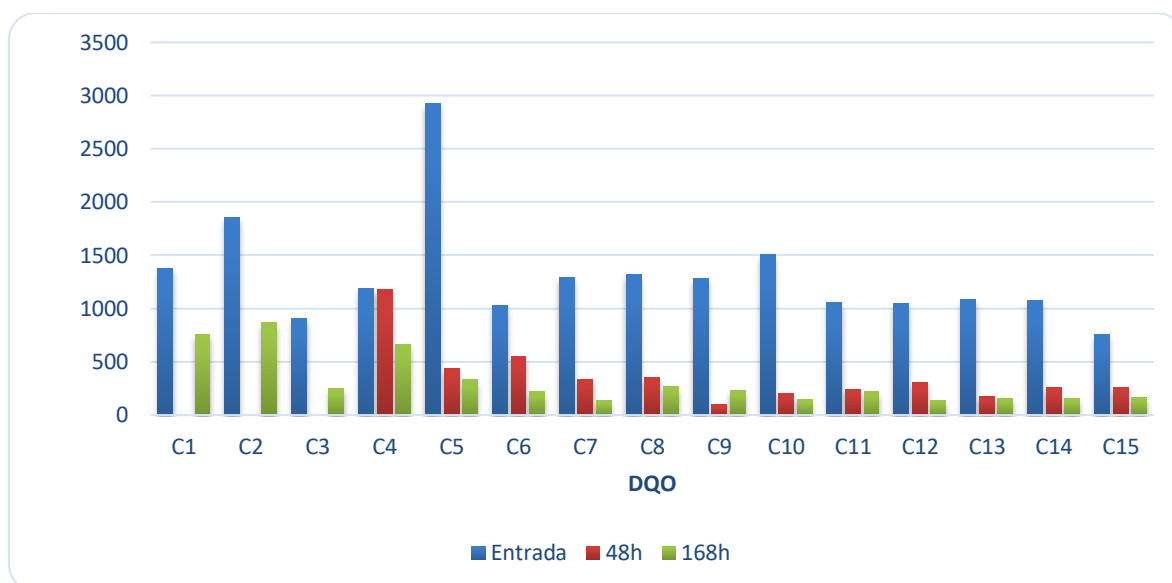
A concentração inicial de fósforo total no efluente sintético produzido neste estudo foi de 4,82 mg.L⁻¹, corroborando com os valores obtidos no estudo de Figueiredo *et al.* (2019), no qual foi feito a caracterização de águas cinzas provenientes de domicílios rurais e foi observada concentrações de fósforos totais entre 3,4 e 6,9 mg.L⁻¹, variando de acordo com o local de onde era proveniente (cozinha, chuveiro, lavanderia, etc). É possível encontrar os fosfatos em águas

cinzas devido ao consumo de xampus, protetores solares e sabonetes líquidos que contém estas substâncias como estabilizadores de espumas.

Quando a concentração de sólidos, no presente estudo obteve-se concentração inicial de sólidos suspensos voláteis de 225 mg.L^{-1} enquanto que no trabalho de Rampelotto (2014), no qual foi realizada a caracterização e tratamento de águas cinzas oriundas de máquina de lavar para reuso, foi observado que as águas cinzas possuíam como características as seguintes concentrações de sólidos: sólidos totais de $391 \pm 215 \text{ mg.L}^{-1}$, sólidos suspensos de $40 \pm 29 \text{ mg.L}^{-1}$, sólidos dissolvidos $347 \pm 201 \text{ mg.L}^{-1}$, sólidos sedimentáveis de $1,0 \pm 0,8 \text{ mg.L}^{-1}$.

O efluente sintético produzido nesta pesquisa, com características de águas cinzas, possuía uma concentração de DQO inicial média de $1312,18 \pm 517,57 \text{ mg.L}^{-1}$. Pode-se observar um alto desvio padrão devido a variação das concentrações iniciais de demanda química de oxigênio. Na Figura 31 estão apresentadas as concentrações de DQO da entrada e do efluente nos tempos reacionais de 48 h e 168 h.

Figura 31 — Concentração de Demanda Química de Oxigênio em mg.L^{-1} da entrada e do efluente nos tempos reacionais de 48 h e 168 h.



Fonte: Autora (2021).

Os efluentes domésticos, de modo geral, possuem uma alta carga de matéria orgânica. No trabalho de Figueiredo *et al.* (2019) foi realizado a caracterização de águas cinzas de domicílios rurais e observou-se que as concentrações de matéria orgânica das águas cinzas de uma residência poderiam variar de $2331 \pm 308 \text{ mg.O}_2.\text{L}^{-1}$ a $748 \pm 519 \text{ mg.O}_2.\text{L}^{-1}$ de acordo com a sua origem (efluente pode ser proveniente da cozinha, do chuveiro, da lavanderia, etc.).

As águas cinzas possuem diversas substâncias e micro-organismos na sua composição como matéria orgânica, nutrientes, surfactantes, patógenos, etc., a exemplo da água residuária simulada para este experimento. É possível observar na Figura 31 que a concentração de DQO decresce em todos os ciclos e que a maior remoção ocorre nas primeiras 48 h do experimento. A concentração média final de demanda química de oxigênio foi de $312,77 \pm 241,69 \text{ mg.L}^{-1}$ e a média de eficiência de remoção dos quinze ciclos referente à DQO foi de $75,98 \pm 15,61\%$, com maior remoção no ciclo 10 (90,52%) e menor remoção no ciclo 4 (44%).

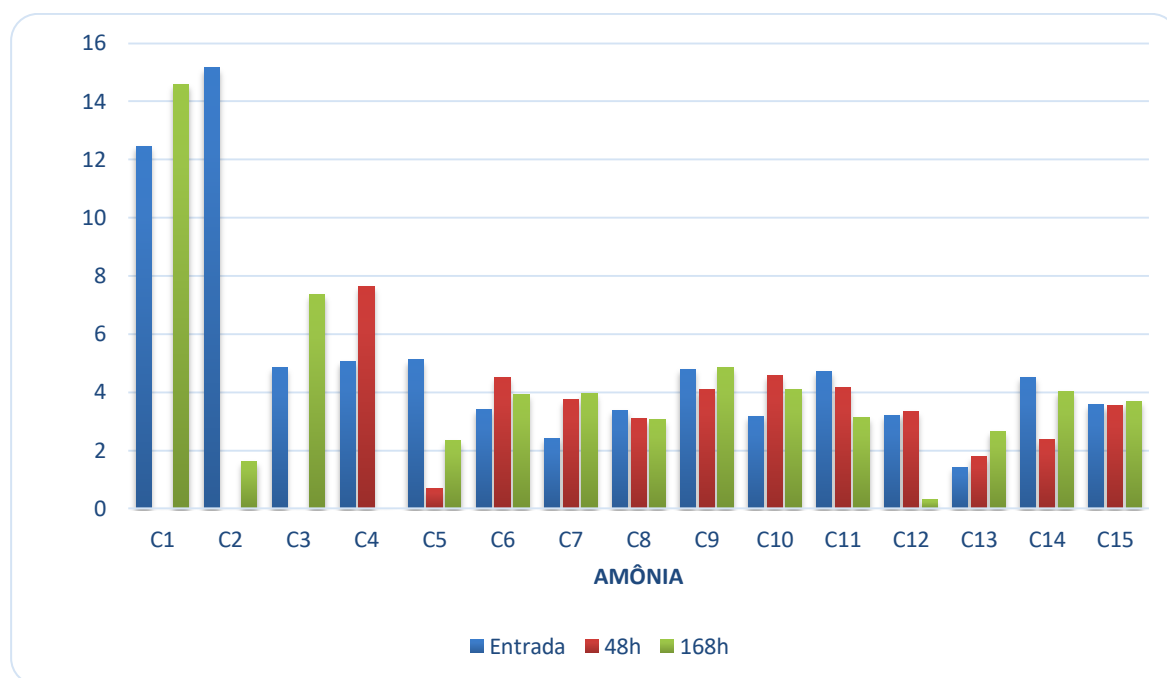
Santos *et al.* (2020) utilizaram um sistema de *wetland* construído de fluxo vertical e desinfecção solar como pós-tratamento de tanque séptico para tratamento de efluentes doméstico para reuso, em 112 dias de experimento obtiveram percentual de remoção de 63,7% de demanda química de oxigênio, eficiência de remoção menor que a eficiência obtida no presente trabalho.

Ávila, Garfí e García (2013) utilizaram um sistema híbrido *wetland* três estágios composto por dois *wetlands* de fluxo horizontal, que alternava a sua operação seguido por um *wetland* de fluxo horizontal e um *wetland* de fluxo superficial para tratamento de efluente e reuso. O sistema operou com o fluxo constante de aproximadamente 200 L.d^{-1} durante todo o experimento e obteve remoção de 78% de DQO. Comparando este trabalho com o presente estudo é possível constatar que mesmo com um sistema *wetland* mais simples e em batelada, foi obtido um percentual próximo de remoção de DQO de $75,98 \pm 15,61\%$.

Torrens *et al.* (2020) avaliaram a utilização de um sistema *wetland* construído multi-estágio para tratamento de efluente doméstico para fins agrícolas. O sistema era composto por três *wetlands* de fluxo vertical (primeiro estágio) seguidos por mais dois *wetlands* de fluxo vertical (segundo estágio) e por último um *wetland* com fluxo horizontal (terceiro estágio), totalizando 6 tanques WC. Este sistema recebeu uma vazão de $4,5 \text{ m}^3.\text{d}^{-1}$, os *wetlands* de fluxo vertical foram operados de forma intermitente por inundação alternada com drenagem, e os *wetlands* de fluxo horizontal por gravidade. O número diário de bateladas era de 10 por dia e dois minutos por lote e com este trabalho obteve-se a eficiência de remoção de 90% de DQO.

Na Figura 32 estão apresentadas as concentrações de amônia da entrada e do efluente nos tempos reacionais de 48 h e 168 h.

Figura 32 — Concentração de Amônia em mg.L^{-1} da entrada e do efluente nos tempos reacionais de 48 h e 168 h.



Fonte: Autora (2021).

A concentração média de amônia da entrada foi de $5,15 \pm 3,7 \text{ mg.L}^{-1}$, enquanto que no tempo reacional de 168 h foi de $3,97 \pm 3,4 \text{ mg.L}^{-1}$, com eficiência de remoção média de $25,8 \pm 38,2\%$. O desvio padrão elevado ocorre devido a variância nos valores dos dados apresentados.

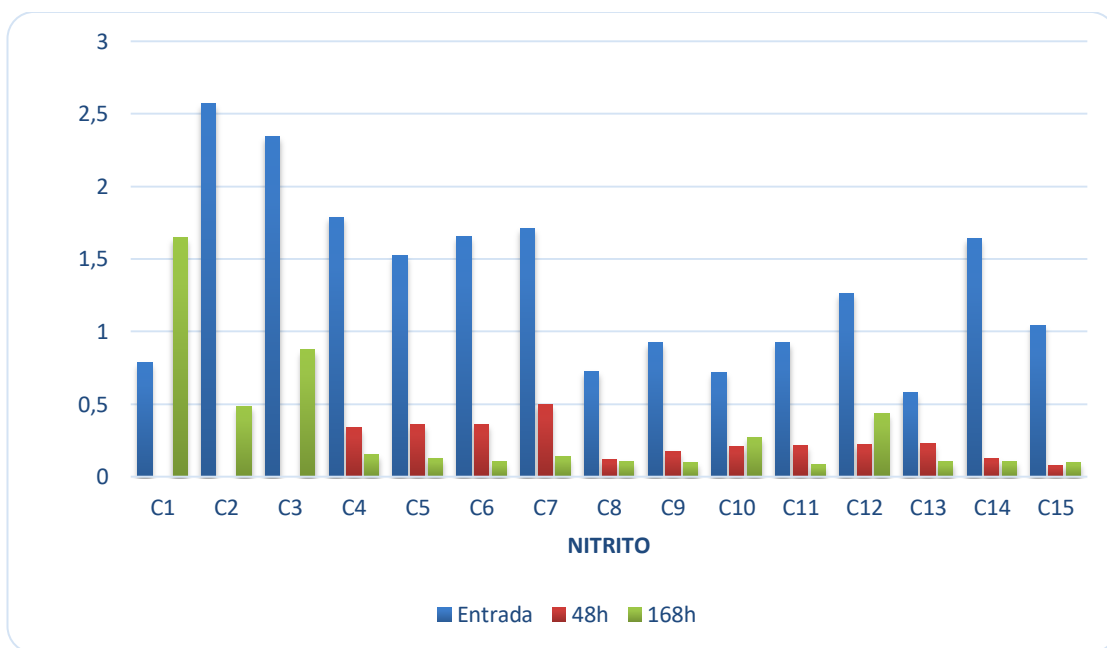
É possível observar na Figura 32 que em alguns ciclos ocorre o consumo da amônia, como nos ciclos C2, C5, C11 e C12 com remoções de 89,4%, 54,2%, 33,6% e 90,7%, respectivamente, e em outros ciclos ocorre a sua produção, como nos ciclos C1, C3 e C4. Isso pode ocorrer em sistemas *wetlands* porque pode haver a nitrificação, desnitrificação, nitrato-amonificação (que consiste na transformação do nitrato em amônia) ocasionando o aumento e a diminuição nas concentrações de amônia no meio, a depender de alguns fatores como a presença de oxigênio dissolvido no *wetland*, tempo de detenção hidráulica, dentre outros, como é possível observar no estudo de Trein, Zumalacarregui e von Sperling (2017). Aqueles autores avaliaram o tratamento do efluente doméstico pelo sistema francês *wetland* vertical para remoção de demanda química de oxigênio e amônia. O sistema era composto por três unidades de *wetlands* (mas com apenas duas unidades em operação) de fluxo vertical que continham 3 camadas de substratos (15 cm de brita 3; 15 cm de brita 1 e 40 cm de brita zero) e plantadas com *Cynodon dactylon pers.* A alimentação do tanque era intermitente, pois recebia o efluente em 24 pulsos por dia, um pulso por hora, e a cada 7 dias era feito o revezamento entre os tanques. O tempo de reação nos tanques era de 7 dias. Foi feito o monitoramento do sistema durante uma semana e foi observada uma

remoção média de amônia de 58% e a produção do nitrato. Segundo os autores a produção de nitrato e remoção na concentração amônia variaram durante os 7 dias de monitoramento. Os autores justificaram que o baixo potencial de nitrificação completa em *wetlands* deve-se a operação e a estrutura do sistema *wetland* construído de fluxo vertical que reduz o tempo de contato do efluente com as bactérias nitrificantes, pois o efluente perpassa o meio a uma velocidade rápida limitando a adsorção da amônia nas camadas de substrato que são nitrificadas entre as bateladas e no período de repouso.

No presente estudo é observado um aumento da amônia na maior parte dos ciclos e isso pode ter se agravado devido ao alto teor de matéria orgânica carbonácea em relação ao nitrogênio e a provável ausência de oxigênio dissolvido em alguns períodos durante o experimento, propiciando o processo nitrato-amonificação ao invés da nitrificação.

Na Figura 33 pode-se observar as concentrações de nitrito da entrada e do efluente nos tempos reacionais 48 h e 168 h.

Figura 33 — Concentração de Nitrito em mg.L^{-1} da entrada e do efluente nos tempos reacionais de 48 h e 168 h.



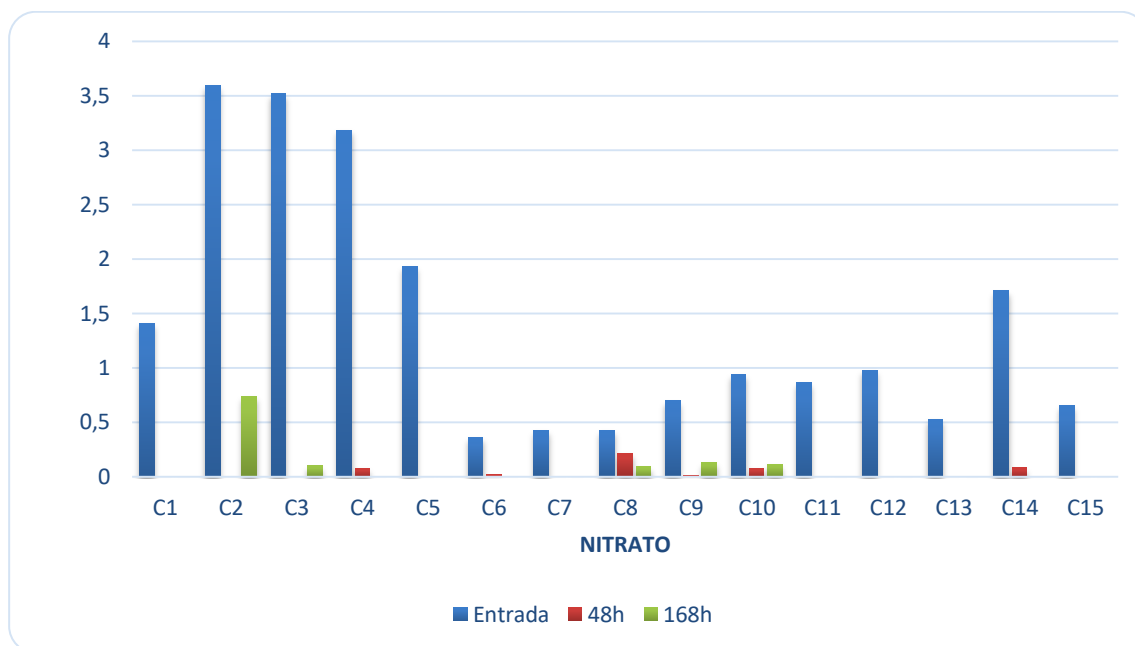
Fonte: Autora (2021).

As concentrações máximas e mínimas do nitrito na entrada foram de $2,77 \text{ mg.L}^{-1}$ e $0,72 \text{ mg.L}^{-1}$ respectivamente, e no TR de 168 h foram de $1,65 \text{ mg.L}^{-1}$ e $0,096 \text{ mg.L}^{-1}$, respectivamente com eficiência de remoção média de $78,17 \pm 24,43\%$.

Com relação ao nitrogênio na forma de nitrato, as concentrações máximas e mínimas na entrada foram de $3,59 \text{ mg.L}^{-1}$ e $0,43 \text{ mg.L}^{-1}$, respectivamente, e do efluente no TR de 168 h foram

de $0,73 \text{ mg.L}^{-1}$ e 0 mg.L^{-1} respectivamente, com eficiência de remoção média de $95,96 \pm 7,04 \%$. Na Figura 34 estão apresentadas as concentrações de nitrato da entrada e do efluente nos tempos reacionais de 48 h e 168 h.

Figura 34 — Concentração de Nitrato em mg.L^{-1} da entrada e do efluente nos tempos reacionais de 48 h e 168 h.



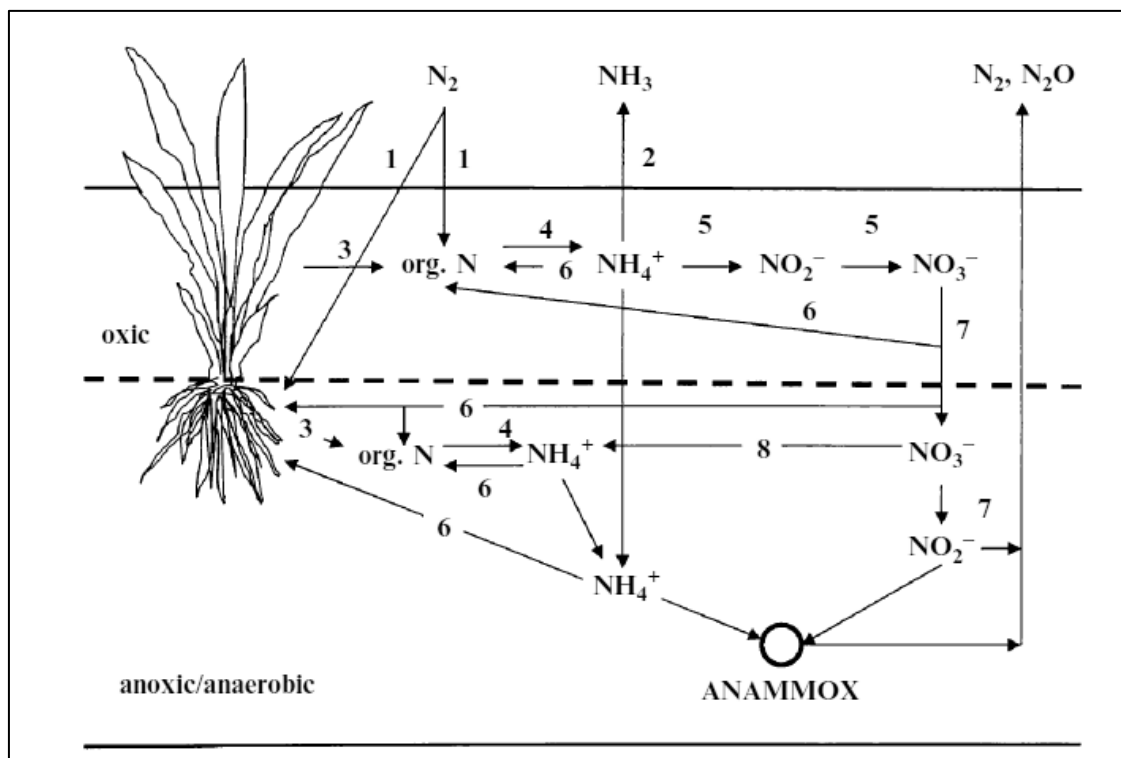
Fonte: Autora (2021).

Os dados presentes nas Figuras 32, 33 e 34 referentes às concentrações das formas de nitrogênio amônia, nitrito e nitrato apontam que processos de transformação de nitrogênio como nitrato-amonificação e desnitrificação podem estar ocorrendo no meio. É importante que no efluente tratado haja concentrações de nitrogênio, pois é sabido que o nitrogênio é um importante nutriente para agricultura, logo um efluente tratado contendo formas de nitrogênio teria uma boa aplicação no reuso agrícola como fertilizante. A utilização de efluentes domésticos tratados para reuso agrícola pode oferecer vantagens para além de uma gestão sustentável hídrica. A matéria orgânica e os nutrientes presentes nestes efluentes são benéficos ao crescimento das plantas, podendo assim ser aproveitados como fertilizantes para as culturas potencializando a produção de alimentos (MENDONÇA; MENDONÇA, 2018).

O nitrogênio e o fósforo são nutrientes essenciais para a produção agrícola. Nitrogênio, fósforo e potássio são os três macronutrientes primários requeridos pelas plantas em grandes quantidades. O nitrogênio na forma gasosa N_2 precisa ser convertido a amônia (N-NH_4^+) ou nitrato (N-NO_3^-) para ser absorvido e utilizado pelas plantas (REETZ, H.F, 2017). Processo que ocorre comumente em *wetlands* construídos e que pode ter ocorrido em ciclos do presente estudo.

No processo de nitrato – amonificação, o nitrato é convertido em amônia, enquanto que no processo de desnitrificação o nitrato é convertido a óxido nitroso (N_2O) e posteriormente a nitrogênio (N_2). Além destes dois processos de transformação do nitrato, a absorção de nitrato pelas plantas e pela microbiota também pode ocorrer em sistemas *wetlands* (VYMAZAL; KROPFLOVÁ, 2008). E possivelmente estes dois processos estejam ocorrendo no presente trabalho e seja o responsável pelo aumento e diminuição nas concentrações de amônia e na diminuição das concentrações do nitrato. Na Figura 35 pode-se observar os principais processos de transformação do nitrogênio em meio aeróbio, anaeróbio/anóxico em um sistema *wetland*.

Figura 35 — Principais processos de transformação do nitrogênio em meio aeróbio, anaeróbio/ anoxico em um sistema *wetland*.



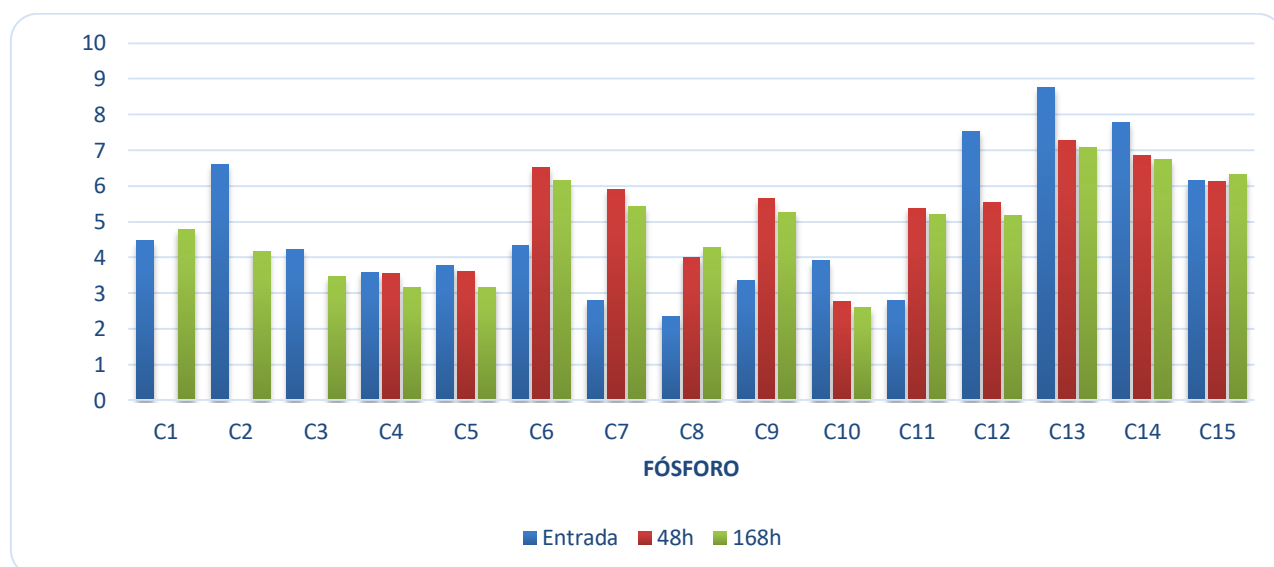
Fonte: Vymazal, Kropfelová (2008).

- 1 – Fixação de N_2 .
- 2 – Volatilização da amônia.
- 3 – Lixiviação.
- 4 – Amonificação (mineralização).
- 5 – Nitrificação.
- 6 – Absorção.
- 7 – Difusão do nitrato e subsequente desnitrificação.
- 8 – Nitrato amonificação.

Quando ocorre a depleção do oxigênio, o primeiro processo de oxidação anóxica a ocorrer é a redução de nitrato a nitrogênio molecular ou a amônia. A redução do nitrato pode ocorrer de dois modos diferentes: por bactérias desnitrificantes que produzem N_2O e N_2 como principais produtos da redução ou por bactérias fermentadoras que fazem nitrato-amonificação, produzindo a amônia como produto final da redução de nitrato. O processo de desnitrificação pode ser dominante em ambientes ricos em nitrato, mas com escassez de carbono, enquanto os ambientes ricos em carbono são dominados mais facilmente por bactérias fermentativas que realizam o processo de nitrato-amonificação. As bactérias desnitrificantes utilizam o nitrato e o nitrito como fonte de oxigênio (O_2), quando a concentração de O_2 é pequena ou inexistente (VYMAZAL; KROPFELOVÁ, 2008).

A Figura 36 apresenta as concentrações de fósforo total da entrada e do efluente nos tempos reacionais 48 h e 168 h.

Figura 36 — Concentração de Fósforo em $mg.L^{-1}$ nos tempos reacionais da entrada e do efluente nos tempos reacionais 48 h e 168 h.



Fonte: Autora (2021).

As concentrações médias de fósforo total na entrada e no tempo reacional de 168 h foram de $4,82 \pm 2,02$ e $4,86 \pm 1,38 mg.L^{-1}$ com eficiência de remoção média de $11,87 \pm 13,47\%$. Pode-se observar no gráfico que em alguns ciclos houve remoção deste nutriente: dos ciclos C2 ao C5, C10 e do C12 ao C14, entretanto nos demais ciclos a concentração do fósforo total foi superior no TR 168 h do que na entrada. Acredita-se que isso possa ter ocorrido porque inicialmente o substrato absorveu parte do fósforo e posteriormente passou a “liberar” parcela do fósforo

adsorvido, entretanto outros processos físicos e químicos podem estar relacionados a esta variação de concentração de fósforo total.

A adsorção de fósforo ocorre em *wetlands*, porém as vias de remoção do mesmo são bastante diversificadas e incluem, além da adsorção e dessorção, precipitação e dissolução, absorção pelas plantas e pela microbiota, mineralização, dentre outros. O fósforo na coluna d'água do *wetland* pode ser absorvido rapidamente por bactérias e plantas e as transformações, bem como a sua retenção em solos e sedimentos de *wetlands* são controlados por diversos fatores como interações potencial redox, pH, minerais Fe, Ca e Al, concentrações de matéria orgânica, carga hidráulica, etc. No *wetland* o equilíbrio entre a adsorção e a dessorção do fósforo entre o substrato e a água é mantido e este fenômeno é conhecido como capacidade de tamponamento de fosfato que é similar à capacidade de tamponamento de pH de um solo (VYMAZAL; KROPFELOVÁ, 2008).

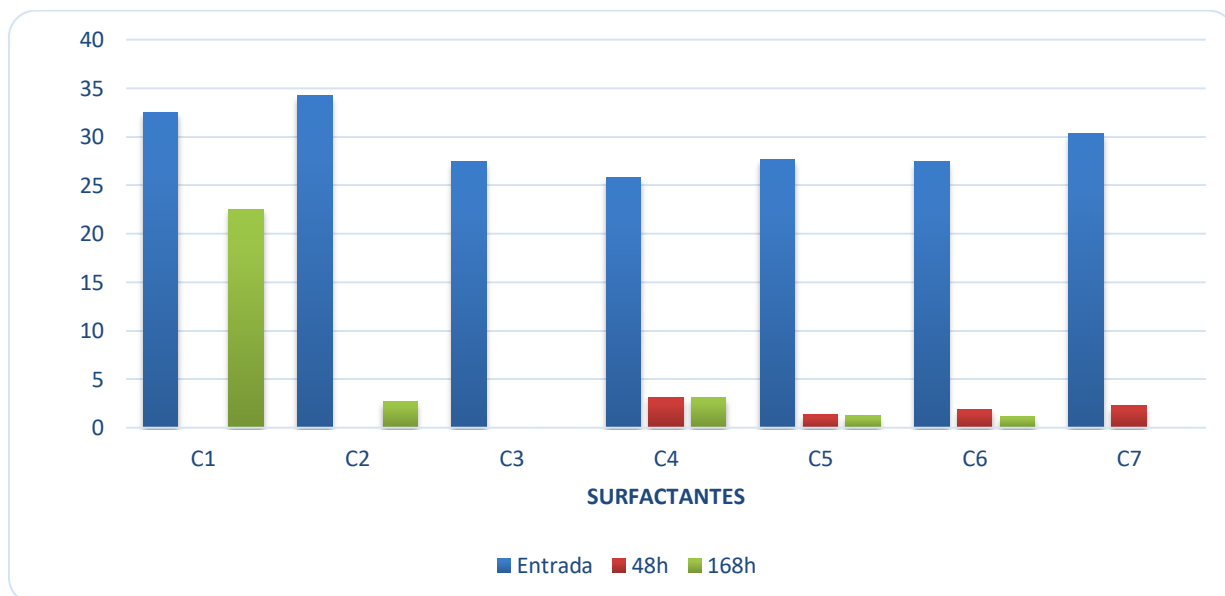
Mendonça *et al.* (2012) avaliaram a remoção de compostos nitrogenados e fósforo no tratamento de efluente de laticínios utilizando *wetlands* construídos. Segundos os autores os efluentes de laticínios possuem altas concentrações de nutrientes e no local onde foi feito o experimento este efluente era misturado com o efluente proveniente dos sanitários e submetido ao sistema de tratamento composto por seis WC com camadas de brita e areia como substratos e utilizando as espécies *Typha domingensis* (taboa) e a *Hedychium coronarium* (lírio do brejo). A maior eficiência média obtida na remoção de fósforo total de 34,3%.

Souza (2015) analisou a eficiência do uso do *wetland* construído horizontal de fluxo subsuperficial no tratamento de efluente doméstico de um condomínio residencial com 80 famílias, aproximadamente 320 pessoas. O *wetland* recebia o esgoto de uma estação de tratamento de efluente compacta (que fornecia tratamento preliminar e biológico ao efluente bruto) e o efluente passava por um tempo de detenção hidráulica de 5 dias no sistema para posteriormente receber cloração. Foi observado uma eficiência de remoção de fósforo total de até 71,5%. Ambos os trabalhos obtiveram eficiências de remoção superiores a eficiência obtida no presente trabalho, isso ocorre provavelmente porque os efluentes passavam por um sistema mais complexo de tratamento seja por uma maior quantidade de *wetlands* no sistema, seja por receber um efluente previamente tratado por uma estação compacta de efluentes.

Outra variável de grande importância, além da presença de matéria orgânica, nitrogênio e fósforo, são os surfactantes, tanto em relação ao descarte em mananciais como em relação ao reuso agrícola. No tocante particular do reuso de efluentes, os tensoativos uma vez presentes na irrigação direta podem afetar a produtividade do solo ao se acumularem nele e podem transformá-lo em repelentes de água afetando o seu fluxo (OLIVEIRA, 2014).

Na Figura 37 pode-se observar as concentrações de surfactantes da entrada e do efluente nos tempos reacionais 48 h e 168 h do ciclo 1 ao ciclo 7.

Figura 37 — Concentração de Surfactantes em mg.L^{-1} da entrada e do efluente nos tempos reacionais 48 h e 168 h.



Fonte: Autora (2021).

A concentração média de surfactantes da entrada e do TR de 168 h foi de $29,34 \pm 3,1 \text{ mg.L}^{-1}$ e $4,40 \pm 8,09 \text{ mg.L}^{-1}$, respectivamente com eficiência de remoção de $85,98 \pm 24,74\%$. Essa boa eficiência de remoção ocorre provavelmente porque *wetlands* construídos de leitos mais rasos favorecem a biodegradação e oxidação de compostos surfactantes devido a oxidação de sulfatos e desnitrificação que ocorrem no meio (VYMAZAL, KROPFELOVÁ, 2008). É possível constatar pelo gráfico que houve remoção dos tensoativos em todos os ciclos e que o sistema foi eficiente na degradação desta substância.

Monteiro (2009) estudou a viabilidade técnica do emprego de *wetlands* no tratamento de água cinza para reuso não potável. Em seu trabalho foi utilizado como sistema um tanque que foi dividido em partes iguais para que o tratamento tivesse duas fases: a fase 1 na qual o efluente passaria pelo tanque que contém como substrato a brita 1 e a fase 2, onde o efluente passaria pelo tanque que contém como substrato areia média grossa. Nos tanques foram plantados macrófitas de diferentes espécies, na fase 1 foram plantadas três espécies diferentes: *Cyperus alternifolius*, *Typha sp* e *Cyperus papiros* e na fase 2 foram plantadas 13 espécies distintas dentre elas: *Equisetum sp*, *Zantedeschia aethiopica*, *Cymbopogon sp*. Nesse estudo, o afluente possuía concentração mínima e máxima de 5 mg.L^{-1} e 30 mg.L^{-1} , de surfactantes obtendo a remoção de 70%, valor este ainda inferior a remoção obtida neste trabalho de $85,98 \pm 24,74\%$.

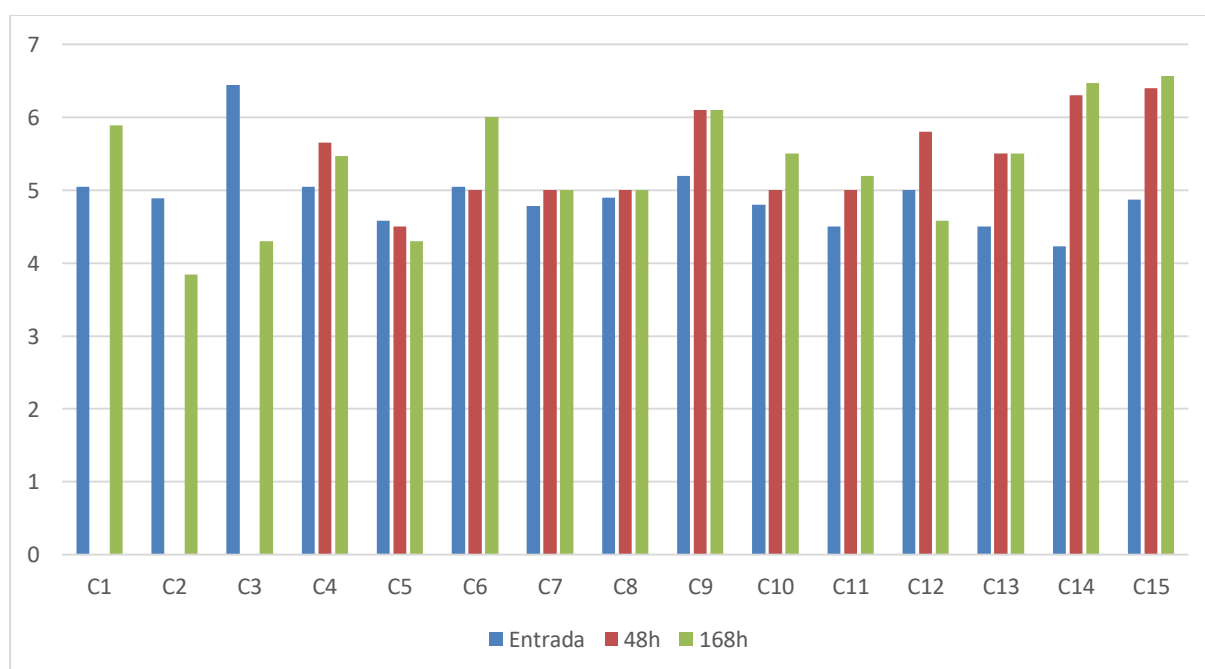
No trabalho de Carvalho *et al.* (2016) foi analisado o uso de um sistema de tratamento de efluentes composto por um biofiltro, um *wetland* construído e um filtro de carvão ativado no tratamento de águas cinzas. O *wetland* foi construído em um tanque de concreto com dimensões 2,5 m x 0,95 m x 1 m, foi preenchido com brita nº 1 e vegetado com *Vetiveria zizanioides*. A concentração de surfactantes no afluente era de 90,9 5 mg.L⁻¹ e após passar pelo tratamento foi obtida a remoção de 99,6% de surfactantes no efluente. Observando este estudo e comparando-o com os resultados obtidos no presente trabalho pode-se inferir que foi obtida uma boa remoção desta substância no experimento, mas que caso sejam adicionados outros componentes ao sistema, como filtro de carvão ativado por exemplo ou outros *wetlands*, a remoção pode ser ainda superior.

Outros parâmetros físico-químicos que devem ser analisados no tratamento de efluentes seja para lançamento em corpos hídricos ou para o seu reuso são: pH, alcalinidade, dureza, C.E e SSV.

O pH é responsável por indicar a acidez ou a alcalinidade do meio, sendo um parâmetro essencial de controle para o crescimento de micro-organismos. Além disto, o mesmo é fator determinante na disponibilidade de nutrientes às plantas, e influência em reações biológicas e químicas (RODRIGUES, 2016).

Na Figura 38 está apresentado o pH nos tempos reacionais da entrada e do efluente nos tempos reacionais 48 h e 168 h do ciclo 1 ao ciclo 15.

Figura 38 — pH da entrada e do efluente nos tempos reacionais 48 h e 168 h.



Fonte: Autora (2021).

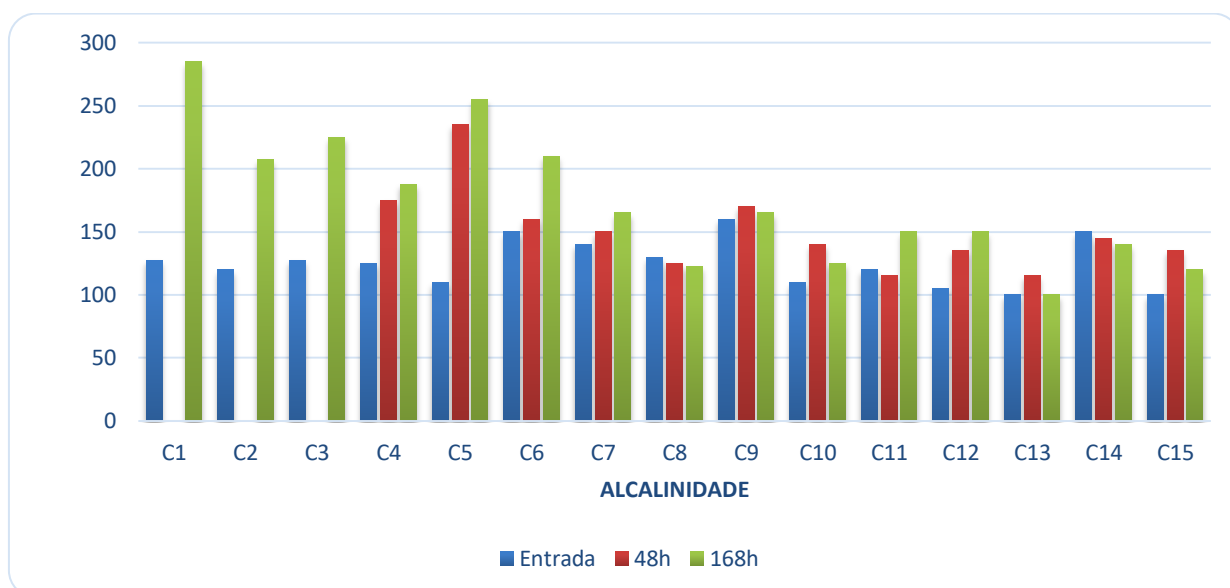
Durante a operação do *wetland*, o pH médio da entrada e do efluente no tempo reacional de 168 h foi respectivamente, $4,92 \pm 0,49$ e $5,31 \pm 0,82$.

A água cinza pode apresentar pH diferente, de acordo com o local de onde ela é proveniente. As águas cinzas provenientes da cozinha possuem pH em torno de $5,5 \pm 0,5$, enquanto águas cinzas provenientes de chuveiro e lavanderia apresentam o pH, respectivamente, $7,1 \pm 0,2$ e $8,6 \pm 1,4$ (FIGUEIREDO *et al.*, 2019).

Trein *et al.* (2017) utilizaram o sistema francês de *wetland* vertical para tratamento de efluente doméstico em batelada e observaram que o esgoto tratado possuía um pH entre 6,48 e 7,1. Carvalho *et al.* (2016) observaram que as águas cinzas tratadas pelo sistema era composto por: biofiltro, *wetland* e filtro de carvão ativado apresentou pH entre 6,7 e 8,5. Os autores verificaram que no decorrer do tratamento houve um aumento no valor do pH e afirmaram que o uso de *wetlands* no tratamento de efluentes pode elevar o pH do mesmo para a neutralidade. Pode-se observar pela Figura 38 que a partir do C13 houve o aumento do pH nos tempos reacionais.

A alcalinidade é responsável pelo efeito tampão no meio, indicando a quantidade de ácido que o meio tem a capacidade de absorver sem alterar o pH. A alcalinidade representa a concentração de bicarbonato, carbonato e íons hidroxila, responsáveis pela neutralização de ácidos (SILVEIRA, 2018). Na Figura 39 estão apresentados os valores de alcalinidade da entrada e do efluente nos tempos reacionais 48 h e 168 h.

Figura 39 — Valores de Alcalinidade em $\text{MgCaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$ da entrada e do efluente nos tempos reacionais 48 h e 168 h.



Fonte: Autora (2021).

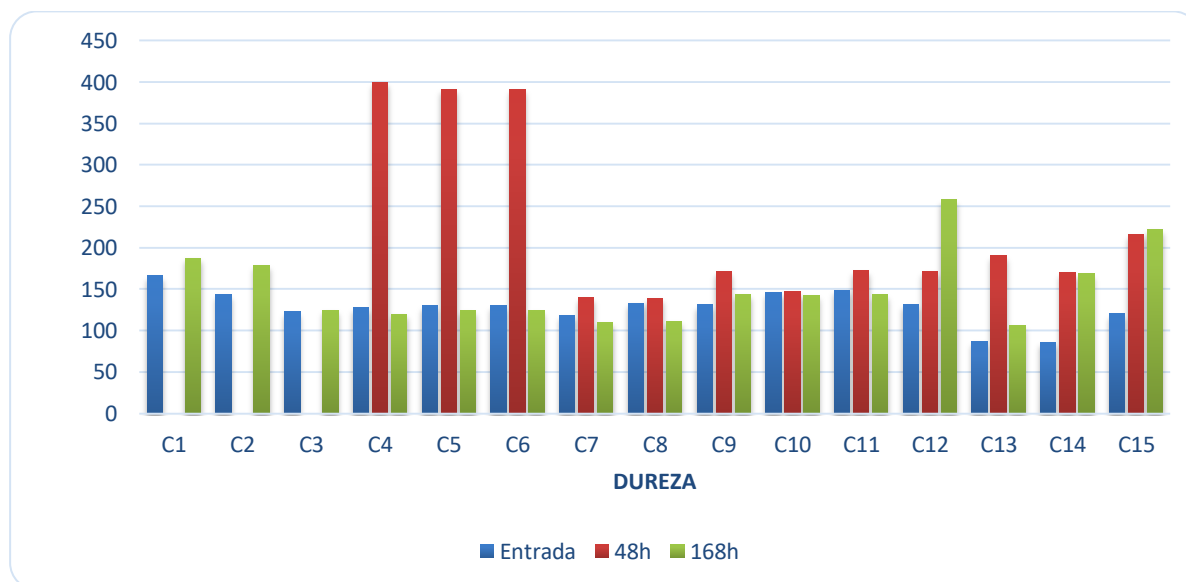
Na entrada e no tempo reacional de 168 h, o valor médio de alcalinidade foi de $125 \pm 18,68 \text{ MgCaCO}_3.\text{L}^{-1}$ e $173,83 \pm 53,45 \text{ MgCaCO}_3.\text{L}^{-1}$, respectivamente.

Nunes (2018) estudou a remoção de nutrientes em *wetland* construído do tipo francês em efluente proveniente de um restaurante universitário e foi observado que a alcalinidade e o pH médio do esgoto bruto era de $37,42 \text{ MgCaCO}_3.\text{L}^{-1}$ e o pH era de 5,1 após o tratamento do efluente constatou-se que o valor médio alcalinidade aumentou $73,29 \text{ MgCaCO}_3.\text{L}^{-1}$ no estágio 1 e este aumento foi relacionado ao processo de desnitrificação do meio e a dissolução do material suporte empregado (brita), processo este que pode ter ocorrido no presente trabalho nos ciclos C1 ao C7, por exemplo.

Além de alcalinidade, a dureza é outro parâmetro a ser avaliado nos efluentes domésticos. A dureza é uma característica da água dada pela presença de íon metálicos, principalmente magnésio e cálcio (FELDKIRCHER, 2010).

Na Figura 40 estão apresentados os valores de dureza da entrada e do efluente nos tempos reacionais 48 h e 168 h.

Figura 40 — Valores de Dureza em $\text{MgCaCO}_3.\text{L}^{-1}$ da entrada e do efluente nos tempos reacionais 48 h e 168 h.



Fonte: Autora (2021).

Na entrada e no efluente no tempo reacional de 168 h os valores médios de dureza foram de $127,94 \pm 20,94 \text{ MgCaCO}_3.\text{L}^{-1}$ e $150,98 \pm 44,21 \text{ MgCaCO}_3.\text{L}^{-1}$. Pode-se observar que de forma geral não houve muita variação nos valores de entrada e saída de dureza pelo gráfico. Nos ciclos C4, C5 e C6 no TR de 48 h pode-se observar uma elevada concentração de íons metálicos,

provavelmente devido a absorção, acúmulo e posterior “liberação” destes íons do substrato para o meio. Os tijolos cerâmicos compõem uma das camadas de substrato do *wetland* são feitos de argila. A argila pode conter diversos íons em sua constituição como Na^+ , K^+ , Ca^{+2} e Mg^{+2} , dentre outros, o que também pode ter contribuído com os valores de dureza (ROCHA, SUAREZ, GUIMARÃES; 2014).

De acordo com o grau de dureza a água pode ser classificada em água normal, água moderadamente dura, água dura e água muito dura como é possível visualizar na Tabela 9 abaixo.

Tabela 9 — Classificação da água quanto a dureza

Qualidade da água	Nível de dureza (mg.L ⁻¹ de CaCO ₃)
Água normal	< 60
Água moderadamente dura	61 a 120
Água dura	a 180
Água muito dura	>180

Fonte: Mendonça e Flores (2017).

Comparando os valores obtidos deste experimento com os valores na Tabela 9 é possível constatar que o efluente tratado possui características de uma água dura com valores de 121 a 180 mg.L⁻¹ de CaCO₃. Como o efluente tratado possui a classificação de água dura e não a classificação de água muito dura, o mesmo pode ser utilizado na agricultura. Águas classificadas como muito duras são recomendáveis na irrigação de cultivos desde que não seja aplicada em solos pesados, solos compactos e que sejam em sistemas de irrigação que não utilizam o gotejamento, devido a possíveis entupimentos e obstruções no sistema (SOUZA E SILVA, 2018).

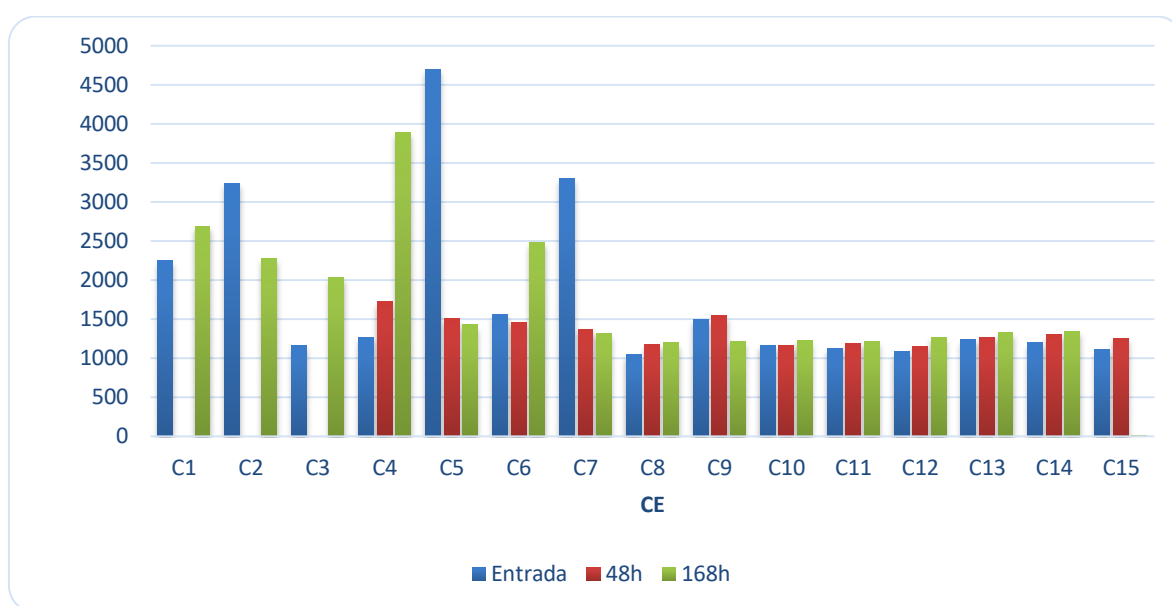
Silveira (2018) avaliou o potencial de reuso do efluente tratado por sistema *wetland* construído. O efluente era proveniente de banheiros e laboratórios de uma universidade. Nesse estudo o sistema de tratamento consistia em um tanque séptico seguido por um filtro anaeróbio, três *wetlands* de escoamento subsuperficial e por fim, para polimento do efluente, três filtros lentos. Dentre as diversas variáveis analisadas, a dureza que apresentou valores médios de 142 mg.L⁻¹, 124 mg.L⁻¹ e 140,6 mg.L⁻¹ nos tanques *wetlands* P2, P3 e P4, respectivamente, valores semelhantes aos obtidos no presente estudo.

Silveira *et al.* (2020) analisaram o tratamento de efluentes sanitários utilizando um sistema composto por tanque de equalização, tanque séptico, *wetlands* construídos de escoamento horizontal subsuperficial, filtros lentos e um reservatório. O efluente saía do tanque

séptico com as seguintes características: pH de $8,1 \pm 0,7$; dureza de $112,7 \pm 2,3 \text{ MgCaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$ e condutividade elétrica de $1730 \pm 65,9 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ e após tratamento no *wetland* construído 1 (WC1) apresentava pH, dureza e condutividade elétrica de $7,9 \pm 0,5$; $142,0 \pm 25,1 \text{ MgCaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$ e $1466,7 \pm 129 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ respectivamente. É possível observar nesses trabalhos valores de dureza próximos ao do presente estudo.

Sobre os valores de condutividade elétrica deste trabalho, é possível visualizá-los na Figura 41.

Figura 41 — Valores de Condutividade Elétrica em $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ da entrada e do efluente nos tempos reacionais 48 h e 168 h.



Fonte: Autora (2021).

Na entrada e no efluente no TR de 168 h obteve-se os valores médios de condutividade elétrica de $1794,73 \pm 1098,7 \mu\text{S}/\text{cm}$ e $1658,88 \pm 899,7 \mu\text{S}/\text{cm}$. Ao observar o gráfico percebe-se que a partir do ciclo 8 os valores de condutividade permanecem praticamente constantes.

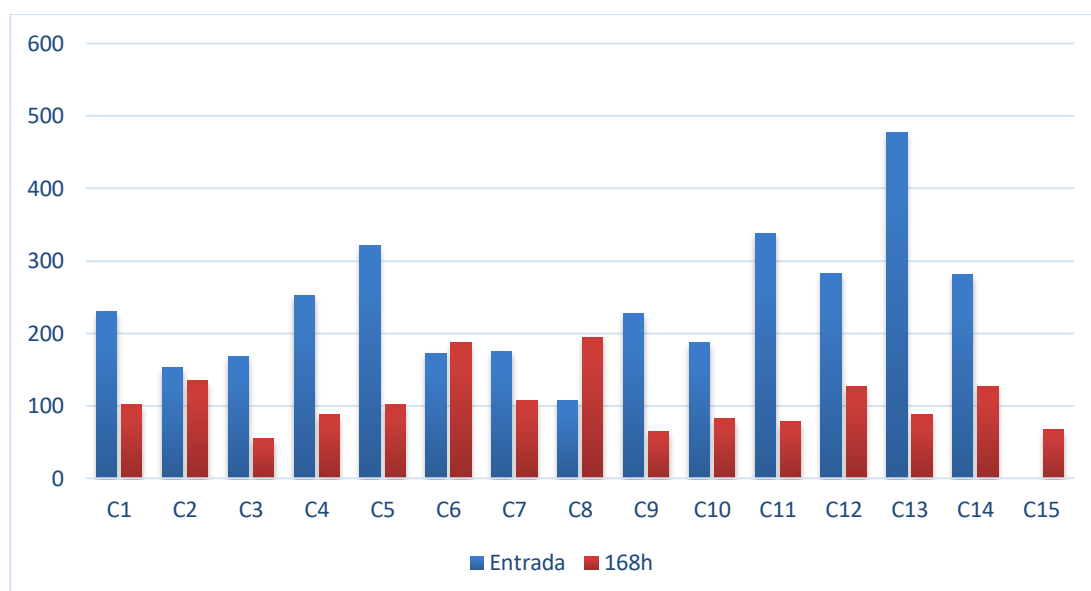
No estudo de Carvalho *et al* (2016) foi realizado o tratamento de águas cinzas através de um sistema composto por biofiltro, *wetlands* e filtro de carvão e dentre as variáveis observadas percebeu-se que os valores de condutividade elétrica aumentaram da entrada para a saída do sistema, um dos valores por exemplo era de $273 \mu\text{S}/\text{cm}$ na entrada do sistema para $704 \mu\text{S}/\text{cm}$ na saída do *wetland*. Os autores atribuíram a este aumento de condutividade elétrica a concentração de sais no sistema tendo em vista que a condutividade elétrica está diretamente ligada a quantidade de íons dissolvidos no meio. Isso demonstra que devido a processos no sistema

wetland, pode haver um aumento nos valores de condutividade elétrica, como ocorreu nos ciclos C1, C3, C4 e C6 do deste experimento, por exemplo.

Silveira (2018) utilizou um sistema de tratamento composto por em um tanque séptico, um filtro anaeróbio, três *wetlands* de escoamento subsuperficial e três filtros lentos para tratar efluente proveniente de laboratórios e banheiros de uma universidade. Em seu estudo foi observado os valores de condutividade elétrica do efluente no *wetland* P2 (1466,66 $\mu\text{S}/\text{cm}$), no *wetland* P3 (1486,66 $\mu\text{S}/\text{cm}$) e no *wetland* P4 (1573,33 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Estes valores próximos aos valores de condutividade elétrica apresentados neste trabalho.

Na Figura 42 estão apresentados os valores de sólidos suspensos voláteis (SSV) na entrada e no efluente no TR de 168 h.

Figura 42 — Valores de Sólidos Suspensos Voláteis em mg.L^{-1} na entrada e no TR de 168 h.



Fonte: Autora (2021).

Na entrada e no efluente no TR de 168 h obteve-se os valores médios de sólidos suspensos voláteis de $225 \pm 81,5 \text{ g.L}^{-1}$ e $107,2 \pm 41,5 \text{ g.L}^{-1}$ com média de eficiência de remoção de $46,81 \pm 29,4 \%$. É possível observar no gráfico que na maior parte dos ciclos houve remoção de SSV.

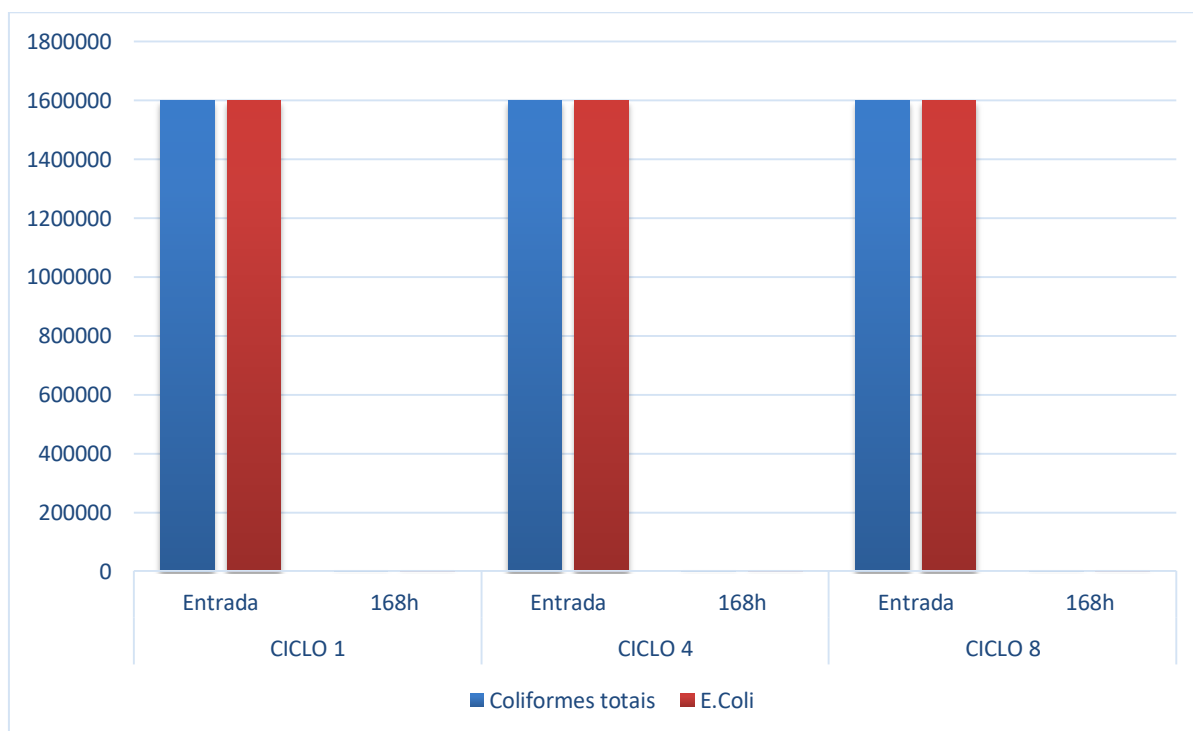
No estudo de Silveira (2018) foi avaliado o uso do *wetland* no tratamento de efluentes para potencial reuso. O sistema de tratamento era composto por tanque séptico, filtro anaeróbio, três *wetlands* de escoamento subsuperficial e filtros lentos para tratar efluente. Foi obtida uma eficiência de remoção média de 87,2% de sólidos suspensos totais e 16,9% de sólidos dissolvidos totais nos *wetlands*.

Carvalho *et al.* (2016) obteve diferentes remoções de sólidos suspensos totais obtendo eficiências de remoções de 71,2 % no mês de dezembro utilizando apenas o *wetland*, 96% no mês de julho utilizando *wetland* e filtro de carvão ativado e 99,1% no mês de fevereiro utilizando biofiltro, *wetland* e carvão ativado.

Carvalho *et al.* (2013) estudou a utilização de *wetland* de fluxo subsuperficial no pós tratamento de efluentes domésticos e observou remoção de 46,3% de sólidos suspensos totais e de 56,5% de sólidos suspensos voláteis.

Quanto aos valores dos patógenos coliformes totais (CT) e *E. coli* no efluente, na Figura 43 é possível visualizar estes valores na entrada e no efluente no de TR de 168 h dos ciclos 1, 4 e 8.

Figura 43 — Valores de Coliformes Totais e *E. coli* em NMP.100mL⁻¹ na entrada e no efluente no TR de 168 h



Fonte: Autora (2021).

A concentração inicial de coliformes totais no afluente era de 1600000 NMP.100mL⁻¹, e no efluente, no TR de 168 h, os valores médios eram de apenas $96 \pm 3,6$ NMP.100mL⁻¹, apresentando uma eficiência de remoção de coliformes de $99,99 \pm 0,0002\%$. Quanto a concentração de *E. coli* no afluente e no efluente, no TR de 168 h, foi de 1600000 NMP.100mL⁻¹ e $51,66 \pm 5,7$ NMP.100mL⁻¹, respectivamente, com eficiência de remoção de $99,99 \pm 0,0003\%$, obtendo-se um bom desempenho de remoção. A remoção de micro-organismos patogênicos no

sistema *wetland* ocorre através de protozoários bacteriófagos estimulados pelas plantas, de vírus que parasitam as bactérias e pela exsudação de compostos orgânicos com poder bactericida (AVELAR, MATOS E MATOS, 2018).

Salaro Junior (2008) avaliou a utilização de *wetland* no tratamento de efluente doméstico gerado em pequena comunidade. O sistema era composto por tanques de decantação, leitos filtrantes e *wetlands* de fluxo vertical descendente e atingiu a eficiência de remoção de 49 a 74% de coliformes totais e, quanto a *E. coli*, foi observado que houve um aumento no número deste micro-organismo no meio. Observando as eficiências de remoções deste trabalho é possível constatar que foi obtido um melhor percentual de remoção de patógenos no presente estudo

O sistema *wetland* de fluxo subsuperficial já foi utilizado como tratamento de polimento para efluentes domésticos e constatou-se que houve uma eficiência de remoção de patógenos de coliformes totais até 40,7% e coliformes termotolerantes até 61,3% (SOUZA, 2015).

Carvalho *et al.*, (2016) avaliaram um sistema de tratamento de águas cinzas para reuso composto por *wetland*, biofiltro e filtro de carvão ativado e obteve-se remoção de coliformes termotolerantes, apresentando ausência em 100 mL, enquanto que a presença dos coliformes totais em 100 mL foi detectado e, devido isto, o parâmetro não estava de acordo com os padrões da portaria de potabilidade, a Portaria Nº 2914 do Ministério da Saúde, e precisaria de passar por cloração para entrar nos padrões de potável (CARVALHO, 2016).

Ávila *et al.* (2013) utilizaram um sistema composto por *wetland* vertical de fluxo subsuperficial, *wetland* horizontal de fluxo subsuperficial e *wetland* de escoamento superficial, todos em série, no tratamento de efluentes domésticos. Com este sistema de tratamento obteve-se 61% de remoção de *E. coli*.

Andreo-Martinez *et al.* (2017) obtiveram remoção de 100% de *E. coli* e remoção de 54,7% de coliformes termotolerantes utilizando *wetland* construído horizontal de fluxo subsuperficial no tratamento de efluente doméstico sintético.

Sobre a qualidade do efluente com características de água cinza para reuso agrícola no Quadro 10 estão apresentados alguns parâmetros de legislação de reuso agrícola de diversos países, entre eles o Brasil, e os parâmetros que foram atendidos pelo presente estudo (marcados da cor verde).

Quadro 10 — Parâmetros para reuso de efluente na agricultura de diversos países

Países	Brasil ¹		Espanha ²	França ³	Italia ⁴	UE ⁵	Chipre ⁶
Reuso Aplicação	Irrigação de culturas a serem consumidas cruas cuja parte consumida tenha contato direto com a água de irrigação	Irrigação das demais culturas	Irrigação direta de culturas cuja a parte consumida tem contato direto com a água de irrigação	Irrigação de vegetais e frutas não processados	Irrigação de culturas alimentícias e não alimentícias	Irrigação de todas as culturas inclusive as consumidas cruas	Irrigação de todas as culturas
Indicadores de patógenos	Coliformes termotolerantes: ND	Coliformes termotolerantes: Até 1000 NMP/100 mL.	<i>E. coli</i> : 100 CFU/100 mL	<i>E. coli</i> ≤ 250 CFU/100 mL	<i>E. coli</i> ≤ 10 CFU/100 mL <i>E. coli</i> ≤ 50 CFU/100 mL	<i>E. coli</i> ≤ 10 CFU/100 mL	<i>E. coli</i> ≤ 5 CFU/100 mL
DQO	NC		125 mg/L	≤ 60 mg/L	≤ 100 mg/L	NC	≤ 70 mg/L
C.E	Até 3000 µS/cm		3000 µS/cm	NC	≤ 3000 µS/cm	NC	≤ 2500 µS/cm
NH ₄	NC		NC	NC	≤ 2 mg/L	NC	NC
pH	pH 6 - 8,5		NC	NC	NC	NC	NC
Fósforo total	NC		2 mg/L	NC	NC	NC	NC

Fonte: Adaptado de Otter *et al.* (2020).

1. Brasil: COEMA Resolução nº 2/2017.

2. Espanha: Boe 21092 - REAL DECRETO 1620/2007.

3. França - Journal Officiel de la Republique Francaise (JORF) 0153/2014.

4. Itália - Ministry Decree (DM) 185/2003.

5. União Européia (EU) - COM (2018) 337: Proposal for a regulation of the European Parliament and of the council on minimum requirements for water reuse.

6. Chipre - (KDP 379/2015) General terms for waste disposal from wastewater treatment plants in agglomerations with b2000 p.e.

NC: Valor não consta na tabela.

Observando o quadro é possível constatar que a condutividade elétrica atendeu os critérios das legislações para reuso agrícola dos países: Brasil, Espanha, Itália e Chipre. O pH obtido neste estudo ($5,31 \pm 0,82$) ficou bem próximo ao padrão recomendado (6 - 8,5), podendo ser facilmente corrigido com uso de um produto alcalinizante. Embora a concentração final de

demanda química de oxigênio não tenha satisfeito os padrões de alguns países como Espanha, França, Itália e Chipre, no Brasil, levando em consideração a Resolução COEMA n° 02/2017, não há recomendações para este parâmetro, logo o efluente poderia ser utilizado em irrigações de culturas. No Quadro 11 pode-se visualizar os valores médios dos dados experimentais avaliados no presente estudo conforme aos parâmetros das legislações apresentadas no Quadro 10.

Quadro 11 — Valores médios dos dados experimentais

Dados experimentais	
E. coli (NMP.100 mL ⁻¹)	51 ± 5,7
DQO (mg.L ⁻¹)	312,77 ± 241,77
C.E (µS.cm ⁻¹)	1658,88 ± 899,7
NH ₄ (mg.L ⁻¹)	3,97 ± 3,4
pH	5,31 ± 0,82
Fósforo total (mg.L ⁻¹)	4,86 ± 1,38

Fonte: Autora (2021).

Os valores obtidos de *E. coli* mensurados no presente trabalho não puderam ser comparados com os valores de legislação tendo em vista que os métodos utilizados foram métodos diferentes e consequentemente as unidades são distintas.

Quanto aos parâmetros para lançamento de efluentes diretamente em corpos hídricos e lançamento no sistema coletor de operadoras de serviço de esgoto, a Resolução traz estes parâmetros e alguns destes estão apresentados na Tabela 10. Os parâmetros que foram atingidos pelo presente estudo estão destacados.

Tabela 10 — Parâmetros de lançamento de efluentes COEMA n° 02/2017

Variáveis	Para lançamento direto no corpo hídrico	Para lançamento no sistema coletor das operadoras de serviço de esgoto
pH	5 a 9	6 a 10
T °C	inferior a 40°C	inferior a 40°C
SSV	até 100 mg.L ⁻¹	até 150 mg.L ⁻¹
NH ₄ -N	para pH até 8 = até 20 mg.L ⁻¹	para pH até 8 = até 20 mg.L ⁻¹
NO ₂ -N	1 mg.L ⁻¹	1 mg.L ⁻¹
NO ₃ -N	10 mg.L ⁻¹	10 mg.L ⁻¹
DQO	até 200 mg.L ⁻¹	até 600 mg.L ⁻¹
Coliformes Termotolerantes	até 5000 NMP/100 mL	não especificado

Fonte: Brasil (2017).

Observando os valores da Tabela 10 pode-se constatar que parâmetros como pH, sólidos suspensos voláteis e demanda química de oxigênio do efluente tratado pelo *wetland* atendem a legislação para lançamento no sistema coletor e SSV apresentaram valores próximos ao valor exigido pela legislação para lançamento direto em corpos hídricos, que é até 100 mg.L⁻¹ de SSV e a média desta pesquisa foi de 107,2 mg.L⁻¹. A média da DQO foi de 312,77 ± 214,7 mg.L⁻¹ enquanto na legislação para lançamento a DQO deve ser de até 200 mg.L⁻¹. Para lançamento direto no corpo hídrico apenas pH atendeu a legislação.

Quanto as concentrações das bases nitrogenadas amônia, nitrito e nitrato pode-se observar na Tabela 10, que os valores obtidos neste estudo: amônia (NH₄-N) - 3,97 ± 3,4 mg.L⁻¹, nitrito (NO₂-N) 0,32 ± 0,4 mg.L⁻¹ e nitrato (NO₃-N) 0,077 ± 0,18 mg.L⁻¹ estão dentro dos parâmetros de lançamento de efluentes.

Diante do que foi exposto pode-se afirmar que o efluente tratado pelo sistema *wetland* proposto no presente trabalho pode ser utilizado para reuso agrícola no Brasil, levando em consideração os parâmetros avaliados neste estudo.

6 CONCLUSÃO

Através do presente estudo concluiu-se que o *wetland* construído mostrou-se promissor no tratamento do efluente doméstico, e este apresentou características satisfatórias para reuso agrícola.

Pode-se afirmar que existe um número considerável de artigos científicos e patentes com uso de tecnologia *wetland* no tratamento de efluentes e isso sinaliza o interesse da comunidade acadêmica-e tecnológica por este tipo de tratamento de águas residuárias, devido ao seu desempenho na remoção de matéria orgânica, patógenos e nutrientes.

Na utilização da tecnologia *wetland* construído no tratamento do efluente sintético com características de águas cinzas foi observada a remoção média de DQO de 75,98 ± 15,61%, que embora seja um valor significativo de remoção, não foi o suficiente para que o efluente estivesse de acordo com a legislação de lançamento em corpos hídricos, mas pode ser utilizado no reuso agrícola no país, tendo em vista a ausência deste parâmetro na legislação para reuso.

Quanto as remoções das bases nitrogenadas foram observadas que os valores médios foram de 25,84 ± 38,22% de amônia, 78,17 ± 24,43% de nitrito e 95,96 ± 7,04% de nitrato. As concentrações finais destes parâmetros no efluente estão de acordo com a legislação para lançamento.

Na remoção de patógenos foi observada a eficiência de remoção de 99,99% de coliformes totais e *E. coli* com valores de 96 NMP/100 mL de CT e 51,66 NMP/100 mL de *E. coli* no efluente tratado, mas devido a metodologia utilizada para mensuração de patógenos, não pode ser comparada à legislação.

O *wetland* apresentou remoções dos principais parâmetros de lançamento de efluentes DQO, amônia, nitrito, nitrato e patógenos, entretanto para SSV e DQO não atendem aos padrões de lançamento direto em corpos hídricos. Sobre o reuso agrícola, o efluente tratado não se enquadrava nos padrões em alguns países como Espanha, França e Itália, pelas legislações abordadas no presente estudo, contudo o efluente possui qualidade para reuso agrícola no Brasil, conforme os parâmetros avaliados do COEMA nº 02/2017. A condutividade elétrica atendeu os padrões de reuso de efluentes na agricultura em todas as legislações abordadas neste estudo.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

São sugeridos os seguintes estudos para a continuidade do tema desenvolvido na presente pesquisa:

- Realizar o tratamento de efluente domiciliar bruto no sistema;
- Utilizar outros substratos no *wetland* construído;
- Adicionar outros *wetlands* em série no sistema de tratamento;
- Adicionar outros componentes ao sistema de tratamento como biofiltros, filtros de carvão ativado etc.
- Utilizar outras espécies de macrofitas e/ou utilizar diversas espécies no sistema.
- Avaliar a remoção de coliformes totais, coliformes termotolerantes e *E. coli* com a metodologia utilizada em legislação.
- Investigar os micro-organismos presentes no sistema *wetland*.
- Analisar outros parâmetros para reuso agrícola como Oxigênio dissolvido, Razão de adsorção de sódio e Ovos de helmintos.

REFERÊNCIAS

- ABED, SN & SCHOLZ, M. Chemical simulation of greywater. *Enviromental technology*. 37 (13), 1-46, 2016.
- ABES. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Situação do saneamento básico no Brasil uma análise com base na PNAD 2015. 2016. Acesso em < <http://abes-dn.org.br/pdf/Situacao.pdf>> Visto em 11 de janeiro de 2020.
- ABNT NBR 15270 – Componentes cerâmicos – Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro 2005.
- ABNT NBR 7211- Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro 1983.
- ABNT NBR 7217 - Agregados - Determinação da composição granulométrica - Método de ensaio. Rio de Janeiro 1987.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR13969/97. Tanques sépticos – Unidades de Tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação, 1997. Acesso em < http://acquasana.com.br/legislacao/nbr_13969.pdf> Visto em 10 de janeiro de 2020.
- ALI, M.; ROUSSEAU, D.P.L.; AHMED, S. A full-scale comparison of two hybrid constructed *wetlandswetlands* treating domestic wastewater in Pakistan. *Journal of Environmental Management*, 2018.
- AL-ISAWI, R.; RAY, S.; SCHOLZ, M. Comparative study of domestic wastewater treatment by maturevertical-flow constructed *wetlandswetlands* and artificial ponds. *Ecological Engineering*. 2017.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. Standard Methods for the Examination Water and Wastewater. 21. ed. Washington: American Public Health Association. 1083 p, 2005.
- ANA. Agencia Nacional das Àguas. Atlas irrigação, 2017. Acesso em <<http://atlasirrigacao.ana.gov.br/>> Visto em 10 de janeiro de 2020.
- ANA. Agencia Nacional de Àguas. Conjuntura Recursos Hídricos Brasil. Informe Anual, 2018. Acesso em < <http://arquivos.ana.gov.br/portal/publicacao/Conjuntura2018.pdf>> Visto em 27 de setembro de 2020
- ANDREO-MARTÍNEZ, P.; GARCÍA-MARTÍNEZ, N.; QUESADA-MEDINA, J.; ALMELA, L. Domestic wastewaters reuse reclaimed by an improved horizontal subsurface-flow constructed *wetland*: A case study in the southeast of Spain. *Bioresource Technology*, 2017.

AVELAR, F. F.; MATOS, A. T. de; MATOS, M. P. de. Remoção de contaminantes do esgoto sanitário em sistemas alagados construídos cultivados com *Mentha aquatica*. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 24, n. 6, p. 1259-1266, 2019.

ÁVILA, C., SALAS, J.J.J.J.J., MARTÍN, I., ARAGÓN, C.; GARCÍA, J. Integrated treatment of combined sewer wastewater and stormwater in a hybrid constructed *wetland* system in southern Spain and its further reuse. Ecological Engineering, 2013.

ÁVILA, C.; BAYONA, J.J.M.; MARTÍN, I.; SALAS, J.J.J.J.J.; GARCÍA, J. Emerging organic contaminant removal in a full-scale hybrid constructed *wetland* system for wastewater treatment and reuse. Ecological Engineering, 2015.

ÁVILA, C.; GARFÍ, M.; GARCÍA, J. Three-stage hybrid constructed *wetland* system for wastewater treatment and reuse in warm climate regions. Ecological Engineering, 2013.

AYAZ, S.Ç.; AKTAS, O.; AKÇA, L.; FINDIK, N. Effluent quality and reuse potential of domestic wastewater treated in a pilot-scale hybrid constructed *wetland* system. Journal of Environmental Management. 2015.

BARBOZA, M.G.; BARBOSA, R.P.; ALVES, I.G.G.; MOURA, B.N.M.D.; FERREIRA, I.V.L. Caracterização de águas cinzas provenientes de chuveiro, em residência unifamiliar, com finalidade de reúso. Congresso ABES, 2017. Acesso em < <https://www.tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2018/08/II-233.pdf> > Visto em: 02 setembro de 2021.

BERTINI, C.H.C.M.; ALMEIDA, W.S.; SANTOS, E.O.; ROCHA, M.M. Produtividade De Genótipos De Feijão-Caupi Avaliados Para Produção De Feijão-Verde No Estado Do Ceará. III Congresso Nacional de Feijão – Caupi, 2013. Visto em < <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/86589/1/142b.pdf> > Acesso em 19 set.2020.

BRASIL. Lei Estadual do Ceará nº 16.033/2016. Acesso em < <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=337973> > Visto em 10 de janeiro de 2020.

BRASIL. Resolução nº 2/2017 do Conselho Estadual do Meio Ambiente. Acesso em < <https://futurelegis.com.br/legislacao/131097/Resolu%C3%A7%C3%A3o-COEMA-N%C2%BA-02-de-02-02-2017> > Visto em 10 de janeiro de 2020.

BRASIL. Resolução nº 54/2005 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). 2005. Acesso em < <http://www.cnrh.gov.br/reuso-de-agua-recursos-hidricos/37-resolucao-n-54-de-28-de-novembro-de-2005/file> > Visto em 10 de janeiro de 2020.

BRASIL. Resolução nº 430/2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente. Acesso em <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=17214> > Visto em 11 de janeiro de 2020.

BRITO, S.M.C. Influência do meio suporte na eficiência de remoção em *wetlands* tratando esgoto sanitário. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba – UFPB, 2017. Acesso em <

<https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/13744/1/SMCB04122017.pdf>>Visto em: 05 setembro de 2021.

BRYK, J., R. PRASAD, T. LINDLEY, S. DAVIS, AND G. CARPENTER. 2011. National Database of Water Reuse Facilities: Summary Report. WateReuse Foundation. Alexandria, VA.

CAI, N. Capacity of various single-stage constructed *wetlands* to treat domestic case-study. Journal of Cleaner Production, 2017.

CAMARA, F.T.; MOTA, A.M.D.; NICOLAU, F.E.A; PINTO, A.A. SIVA, J.M.F. Produtividade de feijão caupi crioulo em função do espaçamento entre linhas e número de plantas por cova. Revista de Agricultura Neotropical, 2018. Acesso em < <https://periodicosonline.uems.br/index.php/agrineo/article/view/2282/2140> > Visto em 08 out. 2020.

CARVALHO, F. M.; CAMPOS, J.C.; MANNARINO, C.F. Pós-tratamento de esgoto sanitário utilizando *wetland*. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Acesso em < https://abrh.s3.saeast1.amazonaws.com/Sumarios/155/22592e1578137b460152a88c29bfd427_33f5d98aca51828aedef3184d31dc371f.pdf>Visto em: 03 setembro de 2021.

CARVALHO, S.T.; OLIVEIRA, V.S.; PEREIRA, G.S.; FLORES, M.E.P.; SABARÁ, M.G. Desempenho de biofiltro, *wetland* e filtro de carvão ativado no tratamento de águas cinzas no ambiente doméstico. XVII Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Ambiental e Sanitária, 2016. Acesso em <http://docplayer.com.br/214581450-Ii-desempenho-de-biofiltro-wetland-e-filtro-de-carvao-ativado-no-tratamento-de-aguas-cinzas-no-ambiente-domestico.html#> >Visto em: 02 setembro de 2021.

CASTRO, C.N. A agricultura no nordeste brasileiro: Oportunidades e limitações ao desenvolvimento, Texto para Discussão, No. 1786, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2012, Brasília.

COELHO, J.D. Produção de grãos – feijão, milho e soja. Caderno Setorial ETENE. Banco do Nordeste, 2019. Visto em <[https://www.bnb.gov.br/documents/80223/5014256/81_Graos.pdf/b4faa20e-6855-fdf6-1629-741afb0748f#:~:text=Os%20maiores%20produtores%20mundiais%20de,toneladas%20\(FAOS%20TAT%202019\).](https://www.bnb.gov.br/documents/80223/5014256/81_Graos.pdf/b4faa20e-6855-fdf6-1629-741afb0748f#:~:text=Os%20maiores%20produtores%20mundiais%20de,toneladas%20(FAOS%20TAT%202019).)> Acesso em 08 out.2020.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. 9º. Levantamento da safra brasileira de grãos 2018/2019. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em 08 out. 2020.

DIAS, S.; MUCHA, A.P.; CRESPO, R.D.; RODRIGUES, P.; ALMEIDA, C.M.R. Livestock wastewater treatment in constructed *wetlands* for agriculture reuse. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2020.

DOCE OBRA. Visto em <<https://casaconstrucao.org/materiais/cerca-para-jardim/>>Acesso em 19 set.2020.

EMBRAPA. Avaliação da Produtividade de Cultivares de Feijão-Caupi para Cultivo no Estado do Pará. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 134, 2020. Visto em < <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/208395/1/BPD-134.pdf>> Acesso em 19 set.2020.

ESPINOZA-QUIÑONES, F. R. *et al.* Removal of heavy metal from polluted river water using aquatic Macrophytes *Salvinia* sp. Brazilian Journal of Physics, v. 35, n. 3B, p. 744-746, 2005.

FANA, J.; GUOA, J.; TAOA, R.; YANGA, Y.; CHENC, Z.; VYMAZALC, J.; FLORENCIO, L.; BASTOS, F. R. K. X.; AISSE, M. M.. Tratamento e Utilização de Esgotos Sanitários. Recife: 2006.

FELDKIRCHER, T. Avaliação de um sistema de tratamento de efluentes de laboratório de análise físico-químicas e microbiológicas. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Ambiental) – Centro Universitário UNIVATES, 2010.

FIGUEIREDO, I.C.S.; DUARTE, N.C.; COASACA, R.L.; MAGALHÃES, T.M.; BARBOSA, A.C.; PORTELA, D.G.; MADRID, F.J.P.L.; CRUZ, L.M.O.; TONETTI, A.L. Águas cinzas em domicílios rurais: separação na fonte, tratamento e caracterização. Revista Dae, São Paulo, 2019. Acesso em < http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_220_n_1820.pdf> Visto em 31 de agosto de 2021.

FORGIARINI, F.R. e RIZZI, E.S. Eficiência de diferentes macrófitas na remoção da matéria orgânica biodegradável em “*wetland*” construído de fluxo vertical em clima subtropical. Science & engineering Journal. v. 25, pp. 79-86, 2016.

FUNASA. FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. Aplicação Controlada de Água Residuária e Lodo de esgoto no solo para melhorar a incrementar a agricultura do semi-árido nordestino. Relatório Final. Brasília, 2017.

IBGE. Agencia IBGE Notícias. Um em cada três domicílios não tinha ligação com rede de esgoto em 2019. Acesso em < <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/27597-um-em-cada-tres-domicilios-nao-tinha-ligacao-com-rede-de-esgoto-em-2019>> Visto em 25 de setembro de 2020.

ITO, J.B.B. *Wetlands* construídas de fluxo vertical como pós-tratamento de reator rahlf utilizando águas residuárias de suinocultura. Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Mato Grosso, 2018. Acesso em < https://ri.ufmt.br/bitstream/1/2903/1/DISS_2018_Jo%c3%a3o%20Batista%20Bezerra%20Ito.pdf> Visto em 07 de outubro de 2021.

KADLEC, R.H.; KNIGHT, R.L. Treatment *wetlands*. Boca raton: lewis Publishers, 1996. 2 ed.

KIVAIISI, A.K.A. The potential for constructed *wetlands* for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review. Ecological Engineering, 2001.

KUMAR, S. Constructed *wetland* for wastewater reuse: Role and efficiency in removing enteric pathogens. Journal of Environmental Management, 2019.

LIMA, R.F.S. Potencialidades dos *wetlands* construídos empregados no pós-tratamento de esgotos: experiências brasileiras. Dissertação. Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina. 2016. Acesso em <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/172555/343633.pdf?sequence=1&isAlloved=y>> Visto em 11 de janeiro de 2020.

LIMA, M.X. Performance de diferentes substratos em sistemas de *wetlands* construídos no tratamento de efluente sintético em condições subtropicais. Dissertação. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

MARQUES ANDRADE ENGENHARIA. Acesso em < <http://marquesandrade.net/category/noticias/>> Visto em < Visto em 10 de janeiro de 2020.>.

MARTÍNEZ, P.A.; MARTÍNEZ, N.G; MEDINA, J.Q.; ALMELA, L.. Domestic wastewaters reuse reclaimed by an improved horizontal subsurface-flow constructed *wetland*: A case study in the southeast of Spain. Bioresource Technology, 2017.

MATOS, M.P.; MATOS, A.T. *Wetlands* construídos como ecotecnologia para o tratamento de águas residuárias: experiências brasileiras. Capítulo 2: Substrato poroso e atuação das macrófitas no desempenho dos *wetlands* construídos utilizados no tratamento de águas residuárias. Organização de Pablo Heleno Sezerino, Catiane Pelissari –1.ed. - Curitiba: Brazil Publishing, 2021.

MENDONÇA, H.V.; RIBEIRO, C.B.M.; BORGES, A.C.; BASTOS, R.R. Remoção de nitrogênio e fósforo de águas residuárias de laticínios por sistemas alagados construídos operando em bateladas. Revista Ambiente & Água, vol.7, 2012.

MENDONÇA, J.K.A.; FLORES, J.S. Desenvolvimento de uma metodologia simples para determinação da dureza da água. ScientiaTec: Revista de Educação, Ciência e Tecnologia do IFRS, v.4, n.1, p: 133-142, jan/jun 2017.

MENDONÇA, S.R.; MENDONÇA, L.C. Sistemas Sustentáveis de Esgotos. Orientações técnicas para projeto e dimensionamento de redes coletoras, emissários, canais, estações elevatórias, tratamento e reuso na agricultura. Blucher. Ed.1 digital, 2018.

MILANI, M.; CONSOLI, S.; MARZO, A.; PINO, A.; RANDAZZO, C.; BARBAGALLO, S.; CIRELLI, G.L. Treatment of winery wastewater with a multistage constructed *wetland* system for irrigation reuse. Water (Switzerland), 2020.

MONTEIRO, R.C.M. Viabilidade técnica do emprego de sistemas tipo *wetlands* no tratamento de água cinza para reuso não potável. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009, 84 p.

MORARI, F.; GIARDINI, L. Municipal wastewater treatment with vertical flow constructed *wetlands* for irrigation reuse. Ecological Engineering, 2009, v.35, 643–653.

MUSAZURA, W.; ODINDO, A.O.; TESFAMARIAM, E.H.; HUGHES, J.C.; BUCKLEY, C.A. Decentralised wastewater treatment effluent fertigation: preliminary technical assessment. Water SA. Vol 44, n.2, 2018.

NAN, X., LAVRNIC, S.; TOSCANO, A. Potential of constructed *wetland* treatment systems for agricultural wastewater reuse under the EU framework. *Journal of Environmental Management* , Vol. 275, 2020.

NGUYEN, X.C.; TRAN, T.C.P.; HOANG, V.H.; NGUYEN, T.P.; CHANG, S.W.; NGUYEN, D.D.; GUO, W.; KUMAR, A.; DUC LA, D.; BACH, Q.V. Combined biochar vertical flow and free-water surface constructed *wetlandwetland* system for dormitory sewage treatment and reuse. *Science of the Total Environment*, 2020.

NORTE, A.C.C.; ZANELLA, L.; ALVEZ, W.C. Espécies vegetais com potencial ornamental para utilização em *wetlands* construídos. 2º Simpósio brasileiro de *wetlands* construídos. Acesso em https://www.researchgate.net/profile/Luciano-Zanella/publication/280528800_ESPECIES_VEGETAIS_COM_POTENCIAL_ORNAMENTAL_PARA_UTILIZACAO_EM_WETLANDS_CONSTRUIDOS/links/55b7828e08ae092e9657196b/ESPECIES-VEGETAIS-COM-POTENCIAL-ORNAMENTAL-PARA-UTILIZACAO-EM-WETLANDS-CONSTRUIDOS.pdf> Visto em 07 de outubro de 2021.

NUNES, A.S. Remoção de nutrientes em *wetland* construído do tipo francês. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, 2018, 58p.

NUNES, A.S.; COSTANZI, R.N. Meios suportes para remoção de fósforo em *wetlands* construídos. XI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2020. Acesso em < <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2020/IX-008.pdf>> Visto em 05 de outubro de 2021.

NUNES, V. R. S. O setor de saneamento básico no Brasil: desafios e perspectivas. Rio de Janeiro: 2015.

NWRI, Review of California's Water Recycling Criteria for Agricultural Irrigation, Recommendations of an NWRI Independent Advisory Panel, Sacramento, CA, 2012 (NWRI-2012-03). Acesso em < https://www.waterboards.ca.gov/drinking_water/certlic/drinkingwater/documents/recharge/NWRI_AgPanelReportforCDPHFINAL-09-2012.pdf> Visto em 11 de janeiro de 2020.

OLIVEIRA, C. M. R. Aplicabilidade de sistemas simplificados para estações de tratamento de esgoto de cidades de pequeno porte. Juiz de Fora: 2014.

OLIVEIRA, T.M. Tratamento de águas cinza geradas em edificação unifamiliar de médio porte, visando ao seu reuso. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Maringá, Paraná, 2014, 178 p.

ONU. Organização Nacional das Nações Unidas. Planejamento da Segurança do Saneamento. Manual para o uso e eliminação de águas residuais, águas cinzentas e dejetos. 2006. Acesso em < <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/171753/9789248549243-por.pdf;jsessionid=F851CC21B2267FF8A06174D4378FC4B9?sequence=5>> Visto em 11 de janeiro de 2020.

ONU. Organizações das Nações Unidas. Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento. Agenda 21, 1992. Acesso em <
<https://www.mma.gov.br/estruturas/agenda21/arquivos/cap18.pdf>> Visto em 10 de janeiro de 2020.

OTTER, P.; HERTEL, S.; ANSARI, J.; LARA, E.; CANO, R.; ARIAS, C.; GREGERSEN, P.; GRISCHEK, T.; BENZ, F.; GOLDMAIER, A.; ALVAREZ, J.J.A. Disinfection for decentralized wastewater reuse in rural areas through *wetlands* and solar driven onsite chlorination. *Science of The Total Environment*, 2020.

PAFFRAT, S.F.; FREIRE, F.B. Comparação Entre Sistemas Centralizado E Descentralizado Como Alternativas Para O Esgotamento Sanitário De Capitão Leônidas Marques/PR. XIV Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2018.

PEIXOTO, A.S.; SALLES, M.J.; MARTIN, L.E.; GRIMBERG, P. Ecotecnologia de *wetlands* construídos: a eficiência das macrófitas emergentes no tratamento de efluentes em experiências brasileiras. 29º Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente. Acesso em <
<https://www.tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2019/03/9647.pdf>> Visto em 8 out. 2021.

PELISSARI, C.; GUIVERNAU, M.; ÁVILA, C.; VIÑAS, M.; GARCÍA, J.; SEZERINO, P. H. Influência de parâmetros operacionais sobre as populações oxidantes de amônia e desnitrificantes em *wetland* construído vertical. *Revista Tecmo-Lógica*, Santa Cruz do Sul, 2018.

PEREIRA, E.P. O uso da unidade *wetland* no sistema de pós-tratamento de esgoto: Um estudo de caso no semiárido nordestino. 2011. Tese. (Doutorado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. RJ, 2011.

PLÚBIO JUNIOR, E.; MORAIS, O.M.; ROCHA, M.M.; PÚBLIO, A.P.P.B.; BANDEIRA, A.S. Características Agronômicas de genótipos de feijão caupi cultivados no sudoeste da Bahia. Científica, 2017. Acesso em <
<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/167582/1/Cientifica-v45-223.pdf>> Visto em 8 out. 2020.

POÇAS, C.D. Utilização da tecnologia de *wetlandswetlands* para tratamento terciário: controle de nutrientes. 2015. Dissertação.(Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo. SP, 2015.

PRIMACK, R.B. & RODRIGUES, E. *Biologia da conservação*. Editor Efraim. 2011.

PROSAB. PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BÁSICO. Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção. Rio de Janeiro, 2009.

RAMPELOTTO, G. Caracterização e tratamento de águas cinzas visando reuso doméstico. Dissertação de mestrado (Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2014.

REETZ, H. F. Fertilizantes e seu uso eficiente. ANDA, São Paulo, 2017. Acesso em <
<http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v7n3/2007-2422-tca-7-03-00019.pdf>> Visto em 31 de agosto de 2021.

RIGGIO, V. A.; RUFFINO, B.; CAMPO, G.; COMINO, E.; COMOGLIO, C.; ZANETTI, M. Constructed *wetlandswetlands* for the reuse of industrial wastewater: A case-study. *Journal of Cleaner Production*, 2017.

ROCHA, F.N.; SUAREZ, P.A.Z.; GUIMARÃES, E.M. Argilas e suas Aplicações em Utensílios e Materiais Cerâmicos. *Revista Virtual de Química*, 2014,6(4), 1105-1120. Acesso em <<https://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/736/479>> Visto em: 20 de outubro de 2021.

RODRIGUES, M.V.C. *Wetland* construído de fluxo vertical empregado no tratamento de esgoto de um restaurante universitário. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, 2016, 88p.

ROTÁRIADO BRASIL. Acesso em < <http://brasil.rotaria.net/produtos/wetlandwetland/>> Visto em < 10 de janeiro de 2020.>.

SABOKROUHIYEHA, N.; BOTTACIN-BUSOLINB, A.; TREGNAGHI, M.; NEPFC, H.; MARIONA, A. Variation in contaminant removal efficiency in free-water surface *wetlandswetlands* with heterogeneous vegetation density. *Ecological Engineering*. 2020.

SAGGAÏ, M.M.; AINOUCHE, A.; NELSO, M.; CATTIN, F.; AMRAN, A. Long-term investigation of constructed *wetlandwetland* wastewater treatment and reuse: Selection of adapted plant species for metaremediation. *Journal of Environmental Management*, 2017.

SALARO JUNIOR, R. Avaliação da eficiência de sistema fito-pedológico (*wetlands*) na depuração de efluentes domésticos gerado em pequena comunidade. Dissertação de Mestrado (Mestre em Agronomia) - Faculdade de Ciencias Agronomicas da Unesp, São Paulo, 2008.

SALATI, E.; FILHO, E.S.; SALATI, E.F. Utilização de sistemas de *WetlandsWetlands* construídas para tratamento de águas. 23 f. Piracicaba, 2009.

SANGUINETTO, E.C. Tecnologias vivas de tratamento de efluentes domésticas com reúso das águas. Depositante: Universidade Federal de Itajubá. BR n. UM 9002478-8 U2. Depósito: 09 dez. 2010. Publicação: 26 mar. 2013. Disponível em < <https://gru.inpi.gov.br/pePI/servlet/PatenteServletController?Action=detail&CodPedido=854309&SearchParameter=WETLANDWETLAND,%20TRATAMENTO%20DE%20EFLUENTES%20%20%20%20%20%20&Resumo=&Titulo=>> Acesso em 28 jul.2020.

SANTOS, V.B.; MACHADO, B.S.; ATALLA, A.; CAVALHERI, P.S.; FILHO, F.F.J. Microbiological evaluation of constructed *wetlands* and solar disinfection in wastewater treatment and reuse. *Journal of Water and Health*, 2020.

SEZERINO, P. H.; SANTOS, M, O.; PELISSARI, C.; CELIS, G. S.; PHILLIPI, L. S. *WetlandsWetlands* construídos horizontais aplicados no tratamento descentralizado de esgotos. 2º Simpósio Brasileiro sobre *Wetlands* Construídos, Curitiba, Paraná, 2015.

SEZERINO, P.H.; BENTO, A.P.; DECEZARO, S.T; MAGRI, M.E.; PHILIPP, L.S. Experiências brasileiras com *swetlands* construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais. *Engenharia Sanitária e Ambiental*,

vol. 20, 2015. Acesso em < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522015000100151> Visto em 29 de janeiro de 2020.

SEZERINO, P.H.; BENTO, A.P.; DECEZARO, S.T.; MAGRI, M.E.; PHILIPPI, L.S. Experiências brasileiras com *wetlands* construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, vol. 20, 2015. Acesso em < <https://www.scielo.br/j/esa/a/8zwy5WwwLZVxRk5btDHDMkG/?format=pdf&lang=pt> >. Visto em 14 de setembro de 2021.

SHINGARE, P.R.; THAWALE, P. R.; RAGHUNATHAN, K.; MISHRA, A. Constructed *wetland* for wastewater reuse: Role and efficiency in removing enteric pathogens. Journal Environmental Management, 2019.

SILVA, E.L. Desenvolvimento De Um Sistema Ecológico Para Tratamento E Aproveitamento Agrícola De Esgoto Doméstico Em Comunidades Rurais. 2020. 166f. Dissertação (Mestrado em em Conservação de Recursos Naturais do Cerrado) – Instituto Federal Goiano, Goiania – GO, 2020.

SILVA, I.M.; PONTES, M.L.F.C.; LEITE, J.P.R.; SANTOS, K.D. Caracterização do efluente da estação de tratamento de esgoto – unidade mangabeira – João Pessoa/PB. VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Campina Grande, 2016.

SILVA, S. C. "Wetlands construídos" de fluxo vertical com meio suporte de solo natural modificado no tratamento de esgotos domésticos. 2007. 231 f. Tese (Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos)-Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2009.

SILVEIRA, J.R. Potencial de reuso do efluente tratado por sistema *wetland* construído. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Goiás, Goiás, 2018, 119 p.

SOARES, E. (2013). Seca no nordeste e a transposição do rio São Francisco. Revista Geografias, 75-86. Acesso em< <https://periodicos.ufmg.br/index.php/geografias/article/view/13362>> Visto em < Visto em 10 de janeiro de 2020.>

SOUZA, A.B.M. Avaliação do desempenho de um *wetland* construído a etapa de polimento final de uma estação compacta de tratamento de esgoto doméstico. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Centro Universitário Univates, Rio Grande do Sul, 2015. 103 p.

SOUZA, L.S.B; MOURA, M.S.B.; SEDIYAMA, G.C.; SILVA, T.G.F. 2011. Eficiência do uso da água das culturas do milho e do feijão-caupi sob sistemas de plantio exclusivo e consorciado no semiárido brasileiro. Bragantia, 70: 715-721.

SOUZA, P. J. O. P.; RAMOS, T.F.; FIEL, L.C.S.; FARIAS, V.D.S.; SOUSA, D.P.; NUNES, H.G.G.V. Produtividade e eficiência do uso da água do feijão-caupi sob deficiência hídrica. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2019. Acesso em < https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S141543662019000200119&script=sci_abstract&tlng=pt > Visto em 8 out. 2020.

SOUZA, S.O.; SILVA, F.J.A. Variação de índices de qualidade da água para uso na irrigação em reservatório do trópico semiárido. IX Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental São Bernardo do Campo/SP, 2018. Acesso em < <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2018/VIII-031.pdf> >. Visto em 17 de setembro de 2021.

TCHOBANOGLIOUS, G.; BURTON, F.L.; STENSEL, D. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 2002.

TWDB. Texas Water Development Board. Final Report: Direct Potable Reuse Resource Document, 2015. Acesso em < http://www.twdb.texas.gov/publications/reports/contracted_reports/doc/1248321508_Vol1.pdf > Visto em 11 de janeiro de 2020.

TOKMAK, M.; BERTİZ, D.; ÖZBEY, D.; EKŞİ, I.; AK, M.; GÜNEŞ, A. Design Proposal Model for Improving Rivers with Phytoremediation Method. International Journal of Landscape Architecture Research Uluslararası Peyzaj Mimarlığı Araştırmaları Dergisi, ICLAR 2019 Congress, İstanbul, Turkey, 23-24 August 2019.

TORRES, C.R.M.; FERNANDO, E.M.P.; LUCENA, M.F.A. Checklist de plantas aquáticas em trechos de caatinga do semiárido paraibano, nordeste do Brasil. Revista Gaia Scientia, 2016. Acesso em < <http://files.herbariocstr.webnode.com.br/200000726-d9a2fda9ca/Checklist%20de%20plantas%20aqu%C3%A1ticas%20em%20trechos%20de%20caatinga%20do%20semi%C3%A1rido.pdf> > Visto em 08 de outubro de 2021.

TORRENS, A.; DE LA VARGA, D.; NDIAYE, A.K.; FOLCH, M.; COLY, A. Innovative multistage constructed *wetland* for municipal wastewater treatment and reuse for agriculture in Senegal. Water (Switzerland), 2020.

TREIN, C.M.; ZUMALACARREGUI, J.A.G.; von SPERLING, M. Comportamento diário ao longo do período de alimentação do primeiro estágio do sistema francês de *wetland* vertical, em termos de remoção de matéria orgânica e amônia. Revista Tecno-Logica, Santo Cruz do Sul, 2018.

USEPA. Guidelines for water reuse. 2012. Acesso em < <https://www.epa.gov/sites/production/files/2019-08/documents/2012-guidelines-water-reuse.pdf> > Visto em 10 de janeiro de 2020.

USEPA. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Constructed *wetlands* treatment of municipal wastewater. Environmental Agency protection. 2000. . Acesso em < <https://www.epa.gov/wetlandswetlands/5-star-wetlandwetland-and-urban-waters-restoration-grants> > Visto em 12 de janeiro de 2020.

VALENTIM, M.A.A. Desempenho de leitos cultivados para tratamento de esgoto: contribuição para concepção e operação. Tese de doutorado. Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP, 2003.

VERA, I., JORQUERA, C., LÓPEZ, D., & VIDAL, G. Humedales construidos para tratamiento y reúso de aguas servidas en Chile: reflexiones. Tecnología y Ciencias del Agua, vol. VII, núm. 3, may de 2016, pp. 19-35. Acesso em <

<http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v7n3/2007-2422-tca-7-03-00019.pdf>> Visto em 11 de janeiro de 2020.

VYMAZAL, J.; KROPFELOV, L. Wastewater Treatment in Constructed *Wetlands* with Horizontal Sub-Surface Flow. *Environmental Pollution*. Springer, vol 14, 2009 .

WANG, J.; TAI, Y.; MAN, Y.; WANG, R.; FENG, X.; YANG, Y.; FAN, J.; GUO, J., TAO, R.; YANG, Y.; CHEN, Z.; VYMAZAL, J.; CAI, N.
Capacity of nine single-stage built *wetlands* for treating domestic sewage at ideal temperature in Guangzhou city, China. *Ecological Engineering*, 2018. Acesso em <
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857418300272>> Visto em 11 de janeiro de 2020.

WHO, World Health Organization. (2006). Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater / World Health Organization.V. 2. Wastewater use in agriculture. France. 100 p.

WHO. World Health Organization. Guidelines on sanitation and health. 2018. Acesso em https://www.who.int/water_sanitation_health/sanitation-waste/sanitation/sanitation-guidelines-q-and-a-181022.pdf?ua=1> Visto em 11 de janeiro de 2020.

WU, S., CARVALHO, P.N., MÜLLER, J.A., MANOJ, V.R., DONG, R. (2016).Sanitation in constructed *wetlands*: A review on the removal of human pathogens and fecal indicators. *Science of the Total Environment*, 541, 8-22. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.09.047>

WUJIANG, L.; QIAN,T.; YUNJIE, W.; XIUQIN, Y., BIN, Z.; SIXI, Z. Composite artificial *wetland* system of wastewater treatment. Depositante: Universidade Guizhou Minzu. CN n. 1093998664A. Depósito: 28 nov. 2018. Publicação: 01 mar. 2019. Disponível em <
<https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/065455937/publication/CN109399864A?q=Composite%20artificial%20wetland%20system%20for%20wastewater%20treatment> >

YADAV, A.; CHAZARENC, F.; MUTNURI, S. Development of the “French system” vertical flow constructed *wetland* to treat raw domestic wastewater in India. *Ecological Engineering*, 2018.

YUQIAN, C.; YUXI, W.; WENXIA, X.; RUIXIA, Y.; QIAN, Z. Wastewater treatment system based on constructed *wetlands*. Qingdao University. CN 106348537. Depósito: 26 out. 2016. Publicação: 25 jan. 2017. Disponível em<
https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN192763913&tab=NATIONALBIBLIO&_cid=P11-KFMM94-67626-1> Acesso em 28 jul.2020.

ZANELLA, L. Plantas ornamentais no pós-tratamento de efluentes sanitários: *wetlands* construídos utilizando brita e bambu como suporte. Tese de doutorado. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP, 2008.

ZINATO, T.M.C.; GUIMARÃES, M.M. Estudo sobre a utilização de “*wetlands*” construídas para tratamento de águas residuárias no Brasil. VIII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Campo Grande/MS, 2017.