

COLEÇÃO

# DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA AMBIENTAL



CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA  
(ORGANIZADOR)

**Atena**  
Editora  
Ano 2021

COLEÇÃO  
**DESAFIOS**  
DAS  
**ENGENHARIAS:**

**ENGENHARIA AMBIENTAL**



CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA  
(ORGANIZADOR)

**Atena**  
Editora  
Ano 2021

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2021 Os autores

Copyright da edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial****Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná



Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



## Coleção desafios das engenharias: engenharia ambiental

**Diagramação:** Gabriel Motomu Teshima  
**Correção:** Yaidy Paola Martinez  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C691 Coleção desafios das engenharias: engenharia ambiental /  
Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. -  
Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-799-1

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.991212112>

1. Engenharia ambiental. I. Paniagua, Cleiseano  
Emanuel da Silva (Organizador). II. Título.

CDD 628

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**  
Ponta Grossa – Paraná – Brasil  
Telefone: +55 (42) 3323-5493  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br



**Atena**  
Editora  
Ano 2021

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



## APRESENTAÇÃO

O e-book: “Coleção desafios das engenharias: Engenharia ambiental” apresenta onze capítulos de livros que foram divididos em duas temáticas: *i)* recuperação e preservação do meio ambiente em seus diferentes ecossistemas e *ii)* desenvolvimento e aplicação de diferentes técnicas de tratamento para remoção de diferentes contaminantes nas mais diversas matrizes aquáticas e os riscos à saúde pela poluição atmosférica proveniente da combustão de biocombustíveis, madeira e tabaco.

O primeiro tema é constituído por seis capítulos que apresentam estudos bem diversificados. O capítulo I apresenta um estudo de caso em relação à compensação ambiental proveniente da instalação de barragem de terra. No segundo, foi investigado a proposta de implementar um programa de recuperação ecológica dos manguezais. Já o terceiro apresenta um estudo de revisão em relação ao descarte inadequado de medicamentos e as inúmeras consequências aos diferentes ecossistemas e organismos vivos. O quarto capítulo apresentou um estudo que avaliou a abertura de novas fontes de águas termais com o intuito de atrair turistas e possibilitar a geração de emprego e renda a partir da abertura destas novas fontes de águas termais localizados em uma região de Portugal. Já o quinto capítulo apresenta um estudo que avaliou a implantação de um sistema fotovoltaico com o intuito de utilizar uma fonte de energia inesgotável em substituição às hidrelétricas e as térmicas que são extremamente caras e oferecem um enorme impacto ambiental se comparado a solar. Por fim, o capítulo VI se dedicou a correlacionar as mudanças climáticas com aspectos hidrofísicos em relação a morfologia das inúmeras bacias hidrográficas.

O segundo tema apresenta cinco capítulos que investigaram diferentes formas de tratamento de matrizes aquosas e os riscos provenientes da combustão de matéria orgânica. O capítulo VII avaliou a aplicação do tratamento hidrotérmico para reduzir a podridão peduncular, o que resultaria no maior tempo para estar se consumindo o fruto o que levaria a redução no descarte deste alimento. O capítulo VIII avaliou o tratamento de águas residuárias de um laticínio utilizando um Reator de Leito Móvel com Biofilme (MBBR). Já o capítulo IX apresenta um trabalho que teve como finalidade realizar o tratamento de efluentes provenientes do setor agroindustrial dentro do cenário brasileiro. Por outro lado, o capítulo X aborda o emprego de Processos Oxidativos Avançados (POAs) para realizar a remoção de antibióticos e hormônios detectados em águas superficiais e efluentes domiciliares. Por fim, o capítulo XI que traz à tona a poluição atmosférica provenientes da combustão de biocombustíveis, lenha, tabaco e outros e sua relação com os inúmeros problemas de saúde em especial os respiratórios.

Nesta perspectiva, a Atena Editora vem trabalhando com o intuito de estimular e incentivar os pesquisadores brasileiros e de outros países a publicarem seus trabalhos

com garantia de qualidade e excelência em forma de livros e capítulos de livros que são disponibilizados no site da Editora e em outras plataformas digitais com acesso gratuito.

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **COMPENSAÇÃO AMBIENTAL: UM ESTUDO DE CASO NA IMPLEMENTAÇÃO DE UMA BARRAGEM DE TERRA**

Eduardo Antonio Maia Lins  
Karina Moraes de Albuquerque  
Adriane Mendes Vieira Mota  
Andréa Cristina Baltar Barros  
Maria Clara Pestana Calsa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9912121121>

### **CAPÍTULO 2..... 14**

#### **RECUPERAÇÃO ECOLÓGICA DE MANGUEZAIS EM SISTEMA DE CONFINAMENTO CELULAR (GEOCÉLULAS): ESTUDO DE CASO EM ÁREA PORTUÁRIA NO GOLFÃO MARANHENSE, BRASIL**

Flávia Rebelo Mochel  
Ivanilson Luís Alves Fonsêca

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9912121122>

### **CAPÍTULO 3..... 27**

#### **DESCARTE INCORRETO DE MEDICAMENTOS: MAU HÁBITO SOCIAL, IRRESPONSABILIDADE NA LOGÍSTICA REVERSA, AUSÊNCIA DE FISCALIZAÇÃO/ LEGISLAÇÃO E OS INÚMEROS DANOS AMBIENTAIS**

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua  
Bruno Elias dos Santos Costa  
Anelise dos Santos Mendonça Soares  
Valdinei de Oliveira Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9912121123>

### **CAPÍTULO 4..... 38**

#### **ESTUDOS HIDROGEOAMBIENTAIS NUMA REGIÃO DO INTERIOR DE PORTUGAL PARA POTENCIALIZAR O NASCIMENTO DE UMAS NOVAS TERMAS**

André Manuel Machado Fonseca  
Luís Manuel Ferreira Gomes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9912121124>

### **CAPÍTULO 5..... 52**

#### **IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO – ESTUDO DE CASO**

Eduardo Antonio Maia Lins  
Juliana Viana Machado de Castro  
Adriane Mendes Vieira Mota  
Andréa Cristina Baltar Barros  
Maria Clara Pestana Calsa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9912121125>

<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>58</b>
MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SEUS EFEITOS NA HIDROFÍSICA DA MORFOLOGIA QUANTITATIVA EM BACIAS HIDROGRÁFICAS	
Lazaro Nonato Vasconcellos de Andrade	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.9912121126">https://doi.org/10.22533/at.ed.9912121126</a>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>69</b>
TRATAMENTO HIDROTÉRMICO NO CONTROLE DE PRODRIDÃO PEDUNCULAR EM MAMÃO PAPAYA	
Gabriela Sales Mangolin	
Érica Tiemi Konda	
Rafaella Zambelli Baptista	
Rosely dos Santos Nascimento	
Daniel Terao	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.9912121127">https://doi.org/10.22533/at.ed.9912121127</a>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>77</b>
TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS DE LATICÍNIO EM REATORES DE LEITO MÓVEL COM BIOFILME (MBBR)	
Cíntia Clara Viana	
Marcelo Henrique Otenio	
Henrique Vieira de Mendonça	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.9912121128">https://doi.org/10.22533/at.ed.9912121128</a>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>93</b>
WETLANDS CONSTRUÍDOS COMO SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA APLICADOS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES AGROINDUSTRIAIS NO BRASIL	
Heloísa Dalla Rosa	
Gabriel André Tochetto	
Gean Delise Leal Pasquali	
Adriana Dervanoski	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.9912121129">https://doi.org/10.22533/at.ed.9912121129</a>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>109</b>
TECNOLOGIAS AVANÇADAS PARA A REMOÇÃO DE ANTIBIÓTICOS E HORMÔNIOS EM ÁGUAS SUPERFICIAIS E EFLUENTES DOMÉSTICOS	
Aline Paula Scussel	
Gabriel André Tochetto	
Adriana Dervanoski	
Gean Delise Leal Pasquali	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.99121211210">https://doi.org/10.22533/at.ed.99121211210</a>	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>126</b>
LA CONTAMINACIÓN INTRAMUROS DEL HUMO DE BIOMASA	
Demetrio Soto Carbajal	
Andrés Zózimo Ñahui Gaspar	

Hipólito Vargas Sacha  
Eden Soto Aparco

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.99121211211>

<b>SOBRE O ORGANIZADOR:</b> .....	<b>140</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO</b> .....	<b>141</b>

## WETLANDS CONSTRUÍDOS COMO SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA APLICADOS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES AGROINDUSTRIAIS NO BRASIL

Data de aceite: 01/11/2021

**Heloísa Dalla Rosa**

Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS)

**Gabriel André Tochetto**

Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS)

Universidade Federal de Santa Catarina  
(UFSC)

<https://orcid.org/0000-0003-1656-505X>

**Gean Delise Leal Pasquali**

Universidade de Passo Fundo, Universidade

Regional Integrada do Alto Uruguai

Universidade Federal Santa Catarina

Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS)

<https://orcid.org/0000-0001-5110-6532>

**Adriana Dervanoski**

Universidade Federal de Santa Catarina

(UFSC)

Oregon State University (US)

Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS)

<https://orcid.org/0000-0002-7928-0118>

**RESUMO:** O aumento da produção em setores primários, principalmente ligados a pecuária, tem acarretado na geração de grandes volumes de águas residuárias agroindustriais. A alta carga orgânica, e a elevada concentração de nutrientes como nitrogênio e fósforo, presente nesse efluente pode causar sérios danos ao ambiente quando lançado sem um tratamento adequado. A eutrofização dos corpos hídricos é apontada como um dos principais problemas associados ao descarte desse efluente em condições inadequadas. Sistemas descentralizados, de baixo custo e fácil operação devem ser projetados para atender esses setores de

produção que também se encontram na zona rural. Os *wetlands* construídos podem ser usados como uma tecnologia para polimento final de efluentes pois conseguem atender com eficiência as necessidades apresentadas, desse modo, uma visão geral acerca das características, princípios e condições operacionais, eficácia e aplicabilidade desse sistema foi discutida.

**PALAVRAS-CHAVE:** Objetivos do desenvolvimento sustentável. Efluentes pecuários. Remoção de nutrientes. Filtros plantados. Macrófitas.

### 1 | INTRODUÇÃO

Um recurso natural essencial para a sobrevivência das espécies e do próprio meio ambiente é a água, recurso finito e vulnerável. Contudo, a garantia da sua qualidade está suscetível a diversos tipos de contaminação, com destaque para as ações antrópicas. A geração de águas residuárias é proporcional ao consumo de água, assim com o intensivo aumento de agroindústrias no mundo, o volume deste tipo de efluente também tem crescido (Morais et al., 2020). O tratamento inadequado desses efluentes intensifica a presença de contaminantes nos recursos hídricos naturais (Fatima et al., 2021).

O Brasil possui sua economia fortemente baseada em setores de produção primários, incluindo atividades ligadas a suinocultura, laticínios, avicultura, bovinocultura e o processamento de carne (Morais et al., 2020).

O descarte inadequado dos efluentes agroindustriais nos corpos receptores causam diversas modificações físico-química na água, bem como o aumento do crescimento de algas, organismos patogênicos e o consumo de oxigênio dissolvido, limitando a qualidade dos corpos hídricos (Garcia et al., 2017; Xiao et al., 2018). O nitrogênio e o fósforo, são os nutrientes que, quando encontrados em excesso nos corpos hídricos, podem causar eutrofização, comprometendo a vida aquática (Gerhardt et al., 2018). Portanto, controlar as concentrações desses nutrientes é fundamental para a garantia da qualidade da água.

Altas cargas orgânicas e inorgânicas presente na composição das águas residuárias agroindustriais, tornam a remoção dessas substâncias em níveis aceitáveis pela legislação um grande desafio (Derisio, 2012). No Brasil, os processos convencionais são os mais utilizados nas estações de tratamento de efluentes, contudo, operam com grandes dificuldades para atingir os limites exigidos para o lançamento adequado (Fatima et al., 2021).

Assim, as Soluções Baseadas na Natureza (SBN) surgem como possível solução, principalmente em áreas rurais ou remotas. As SBN são intervenções realizadas com o propósito de melhorar a qualidade do ambiente, entretanto, tem como premissa que as ações sejam inspiradas e estejam de acordo com as dinâmicas ecossistêmicas, que ocorrem no meio ambiente de forma natural (Néto et al., 2020).

Os *wetlands*, por exemplo, ocorrem de forma natural em planícies inundadas, sendo capazes de remover compostos orgânicos e inorgânicos. Pensando nisso, os *wetlands* construídos (WC) surgiram justamente visando simular esse processo natural, mas com maior controle, potencializando o tratamento de águas residuárias. Nas últimas décadas, os WC têm ganhado destaque para o tratamento de efluentes agroindustriais (Bueno et al., 2019).

Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo realizar uma revisão bibliográfica acerca do estado da arte em relação a aplicação de *wetlands* construídos para o tratamento deste tipo de água residuária.

## 2 | ETAPAS DE REMOÇÃO E TRANSFORMAÇÃO DOS NUTRIENTES

Um dos elementos químicos de maior abundância na natureza é o nitrogênio, podendo ser encontrado no meio aquoso na forma orgânica ou inorgânica. Quando o nitrogênio passa por reação de oxidação e redução, pode ser encontrado em outras formas, o conjunto de reações pela qual ele passa dá origem ao ciclo do nitrogênio. As etapas que ocorrem no ciclo do nitrogênio são conhecidas como processos de nitrificação e desnitrificação (Bothe; Ferguson; Newton, 2007; Correl, 1999).

A nitrificação acontece em duas etapas, primeiro um tipo de bactéria autotrófica conhecida como *Nitrosomonas* oxida a amônia a nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), posteriormente, ocorre a oxidação de nitrito a nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) também por uma bactéria autotrófica, a *Nitrobacter*. Esse

processo ocorre em condições aeróbias, consumindo cerca de 75% de oxigênio durante a oxidação da amônia em nitrito, e 25% de oxigênio na oxidação de nitrito em nitrato (Cao et al., 2019).

A desnitrificação é um processo que ocorre na ausência de oxigênio, no qual o  $\text{NO}_3^-$  é reduzido a  $\text{NO}_2^-$ , e posteriormente a óxido nítrico (NO), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) e gás nitrogênio ( $\text{N}_2$ ) (Cao et al., 2019). Cabe ressaltar que o  $\text{N}_2\text{O}$  é um dos gases mais poluentes para o efeito estufa e, portanto, a emissão do mesmo é a mais preocupante. A desnitrificação é uma parte integral dos processos de nitrificação, juntos esses processos são os mais convencionais utilizados no tratamento biológico de efluentes (Bothe; Ferguson; Newton, 2007).

Assim como o nitrogênio, o fósforo é também um elemento essencial para todas as formas de vida, nutriente mineral e pentavalente quando encontrado em meios aquáticos. Pode ser encontrado na forma de ortofostato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), polifostado ( $\text{PO}_4^{3-}$  tetraédrico) e fosfato orgânico (Bothe; Ferguson; Newton, 2007), mas a forma mais comum de encontrar o fósforo em efluentes é como  $\text{PO}_4^{3-}$  (Fatima et al., 2021).

Segundo Fia et al. (2020) o ciclo do fósforo é fundamental, nele não há alteração no número de oxidação, diferenciando-se do ciclo do nitrogênio. A causa mais comum da eutrofização no meio aquático é o excesso de fósforo, que quando em excesso esse nutriente pode levar a mortandade de peixes e desequilíbrios na composição das espécies em todos os níveis tróficos (Correl, 1999). Em águas superficiais, com o aumento da concentração de fósforo a produtividade biológica do meio aumenta, conseqüentemente o processo de eutrofização acelera e a qualidade das águas superficiais diminui, aumenta o crescimento de algas e ausência de oxigênio dissolvido na água (Khan, Mohammed, 2014).

Sua remoção pode ser feita por tratamento químico de precipitação, remoção biológica ou até mesmo uma combinação dos dois processos. A remoção biológica envolve processos que incorporam o fósforo na biomassa, oriunda de sistemas de tratamento, após isso, é feita remoção da biomassa a partir do descarte de lodo (Correl, 1999).

As técnicas de remoção biológica de fósforo se baseiam na capacidade, de algumas bactérias heterotróficas presentes na biomassa se acumularem, dentro da célula, fosfato solubilizado na forma de polifosfatos, se houverem condições ótimas para seu crescimento e metabolismo (Wang et al, 2018). Os organismos acumuladores de fósforo no sistema passam por processos com existência de etapas anaeróbias, garantindo um ambiente onde há vantagem competitiva, ou seja, com capacidade de utilizar uma fonte interna de energia (polifosfato acumulado na fase anaeróbia) e reter parte na matéria orgânica rapidamente biodegradável na fase anaeróbia (Bueno et al., 2019).

### 3 | OS EFLUENTES AGROINDUSTRIAIS

Com o aumento significativo do número e do porte de agroindústrias há também uma

maior geração de resíduos orgânicos e efluentes. Os efluentes agroindustriais são oriundos de diferentes setores primários de produção, como de abatedouro, suinocultura, avicultura, bovinocultura e frigoríficos (Morais et al., 2020). Dessa forma, não há uma uniformidade nas características físico-químicas, havendo uma grande variabilidade nas concentrações referentes às frações orgânicas, nutrientes e sólidos. Realizar, por tanto, a caracterização dos efluentes é de suma importância antes de escolher o tratamento adequado (Njoya et al., 2019), visto a grande sazonalidade mesmo entre os mesmos tipos de águas residuárias. No Quadro 1, estão sintetizados os principais resultados de caracterização de águas residuárias agroindustriais encontrados em estudos realizados no Brasil.

	pH	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	NT (mg/L)	N-NH <sub>3</sub> (mg/L)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	P (mg/L)	PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> (mg/L)	Referências
Abatedouro de aves	6,8-7,8	2.133 ±373	4.060 ±687	169 ±71	57±29	0	14,8 ±8,9	-	-	[1]
	7,3-8,2	-	195 ±62	123	139 ±26	-	-	49±11	42±8	[2]
	6,3-7,0	2.025 ±352	3.124 ±594	-	-	-	-	27±5	-	[3]
	7	4.100	11.290	502,9	10,1	0	0	19,6	12,1	[4]
Suinocultura	7,8±0,3	777 ±519	2.492 ±1705	530 ±93	304 ±96	0,032 ±0,035	0,84 ±0,27	161 ±119	-	[5,6]
	7,5±0,1	163 ±11	799 ±50	395 ±8	-	-	0,7 ±0,05	62±3	-	[7]
	6,8	7.979	18.707	723,4	360,6	0	1,6	63	44,2	[4]
Laticínio	6±0,8	1.675 ±938	2.456 ±957	26±7	-	-	-	16±5	-	[8]
	3,8±0,5	2.790 ±633	5.143 ±328	89±17	-	-	-	22±5	-	[9,10]
	5,4	11.875	17.629	168,4	9,4	0	0,4	105,4	52,9	[4]

Quadro 1 – Caracterização físico-química de águas residuárias de origem agroindustrial no Brasil.

Fonte: [1] Nery et al., 2016; [2] Nardi et al., 2011; [3] Nardi et al., 2008; [4] Morais et al., 2020; [5] Fia et al., 2017; [6] Fia et al., 2020; [7] Sarmento, 2012; [8] Mendonça et al., 2017; [9] Matos et al., 2009; [10] Matos et al., 2012.

O pH dos efluentes advindos do abate de aves e da suinocultura estão mais próximos da neutralidade (6,3-8,2), o que não é comum no caso dos laticínios, onde os valores são mais baixos (3,8-6), o que pode causar problemas de corrosividade nas bombas e tubulações de dispersão da água residuária, podendo ainda afetar o desempenho das macrófitas.

Conforme esperado, os efluentes de suinocultura apresentam maiores concentrações de matéria orgânica carbonácea, podendo chegar a valores da ordem de 18.707 mg/L,

contudo, observa-se que em alguns casos a indústria de laticínio também alcança patamares elevados tanto quanto as demais atividades. Com relação aos nutrientes, dificilmente se encontra nitrito, uma vez que no efluente bruto ele costuma se encontrar na forma de  $\text{NH}_3^+$ , sendo a forma amoniacal a condição em que o nitrogênio aparece em maiores concentrações. A maior parcela do fósforo se encontra na forma de  $\text{PO}_4^{3-}$ .

#### 4 | WETLANDS CONSTRUÍDOS

Os *wetlands* são conhecidos na literatura brasileira como sistemas alagados construídos ou ainda filtros plantados com macrófitas (Ramos et al., 2017; Pelissari et al., 2012). O tratamento de efluente em *wetlands* é basicamente parecido com processos naturais que acontecem em ambientes alagados naturalmente, contudo, o que diferencia são as tecnologias introduzidas no processo, para que possa ser controlada a depuração, trabalhando com taxas mais elevadas (Fia et al., 2020).

São sistemas de tratamento biológico, compostos por compartimentos artificiais, com profundidade baixa (Silveira et al, 2020). Utilizam plantas macrófitas e substratos, os substratos podem ser areia, brita ou solo que servem de suporte para as macrófitas e microrganismos se desenvolverem, configurando a formação de biofilme e variedades de microrganismos. Conseqüentemente essa configuração, através de processos biológicos, físicos e químicos, realizam o tratamento dos efluentes (Sousa et al., 2000). Nestes sistemas, ocorre normalmente o processo aeróbio conseqüente de trocas gasosas com a atmosfera (Andrade et al., 2020).

As espécies vegetais agem na extração de macro e micronutrientes essenciais em seu crescimento, transferem oxigênio para o substrato, possibilitando o desenvolvimento de sítios aeróbios e também contribuem na formação de filmes biológicos ativos que promovem a degradação dos compostos orgânicos (Tanner, 2001; Matos et al, 2009).

Nos sistemas alagados construídos, a demanda de produtos químicos e energia é menor, conseqüentemente é uma tecnologia de baixo custo (Albuquerque et al., 2010). Outra vantagem é o crescimento do habitat para a vida animal (Michael Jr., 2003). Ao comparar os *wetlands* com os sistemas convencionais, além de seu baixo custo, é de fácil operação e manutenção. Como desvantagem, esses sistemas demandam maior área de implantação e instalação e em regiões com temperaturas mais baixas a eficiência diminui (Salati, 2006).

Quanto ao tipo de *wetlands*, variam conforme o tipo de efluente a ser tratado, o substrato, a vegetação e o fluxo do sistema (Sezerino et al., 2015). *Wetlands* construídos de fluxo superficial, *wetlands* construídos de fluxo subsuperficial (horizontal e vertical) e sistemas híbridos são os três tipos de *wetlands* (Wang et al., 2018).

Os *wetlands* de fluxo superficial são semelhantes às lagoas facultativas por causa da existência de algas ou das macrófitas, e semelhantes às lagoas anaeróbias nas

camadas mais profundas, pela ausência da incidência solar e presença de organismos anaeróbios. Os subsuperficiais (horizontal, vertical) são os mais utilizados, primeiramente foram aplicados para remover demanda bioquímica de oxigênio e sólidos suspensos, e com base nos monitoramentos foi possível observar a eficiência na remoção de fósforo e na oxidação da amônia (Silva, 2017).

#### 4.1 Macrófitas

A escolha adequada da vegetação é um dos primeiros critérios e de extrema relevância. Há diversos estudos na literatura utilizando diferentes espécies de macrófitas para diferentes aplicações. Dessa forma, é necessário considerar aspectos ligados as características das águas residuárias a serem tratadas e o clima da região (temperatura, umidade, precipitação), por exemplo.

Conforme Sultana et al. (2015), as macrófitas *Typha spp.* e *Phragmites spp.* são as mais utilizadas no tratamento de efluentes agroindustriais pelo mundo, porém há mais de 30 espécies também empregadas para a remoção destes contaminantes presentes neste tipo de água residuária. Contudo, cabe ressaltar que não é recomendado a importação de plantas de que não são nativas da região, uma vez que será difícil a sua adaptação.

A partir de uma análise dos trabalhos publicados para o tratamento de efluentes agroindustriais no Brasil, foi possível observar uma predominância de algumas espécies conforme visualizado no Quadro 2.



*Typha domingensis*

Taboa

[1-9]



*Cyperius spp.*

Papirus

[10]



[9,11]

*Pennisetum purpureum*  
Capim elefante



[7-9,11]

*Cynodon dactylon*.  
Capim tifton-85



[6]

*Hedychium coronarium*  
Lírio do brejo



[9]

*Alternanthera philoxeroides*  
Perpétua ou erva de jacaré



[12]

*Polygonum punctatum*  
Erva-de-bicho



[12]

*Chrysopogon zizanioides*  
Capim-vetive

Quadro 2 – Principais macrófitas empregadas no tratamento de águas residuárias no Brasil.

Fonte: [1] Pelissari et al., 2012; [2] Pelissari et al., 2013; [3] Pelissari et al., 2014; [4] Pelissari et al., 2015; [5] Pelissari et al., 2019; [6] Mendonça et al., 2017; [7] Fia et al., 2017; [8] Fia et al., 2020; [9] Matos et al., 2009; [10] Sarmiento et al., 2012; [11] Matos et al., 2012; [12] Ramos et al., 2017.

Mendonça et al. (2017) avaliaram a eficiência da remoção de nutrientes, provenientes de águas residuárias de laticínios em WC considerando dois tipos de macrófitas. Os autores observaram que a *Typha domingensis* conseguiu remover percentuais maiores

de nitrogênio (50%) e fósforo (43%) comparado a *Hedychium coronarium* (N - 45% e P - 40%). Dois estudos de Matos et al. (2009) e Matos et al. (2012) verificaram que o *Cynodon spp.* se mostrou mais eficiente na remoção de nitrogênio quando comparado a *Pennisetum purpureum*, entretanto, quando se trata de remoção fósforo, matéria orgânica carbonácea e sólidos não houve diferença significativa.

Aplicando efluentes de suinocultura em WC, Fia et al. (2020) concluiu que em diferentes condições de vazão, taxa de carregamento e tempo de detenção hidráulica não havia diferença estatística entre *Cynodon spp* e *Typha domingensis* na remoção de fósforo. Em outro estudo, Fia et al. (2017) chegaram na mesma conclusão para a remoção de N,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  e P. Segundo Matos et al. (2009) a *Alternanthera philoxeroides* foi a espécie com capacidade de extração de nutrientes, sendo essa a recomendada para o tratamento de efluentes da suinocultura.

O acompanhamento do desenvolvimento e das concentrações de nutrientes, principalmente, nitrogênio e fósforo, no tecido foliar das macrófitas são fundamentais para a compreensão dos mecanismos de remoção desses compostos (Pelissari et al., 2019).

Um estudo reportado por Pelissari et al. (2015), evidenciou que a macrófita *Typha domingensis* apresentou maiores taxas em termos de remoção de nutrientes no qual ocorreram no período de maior crescimento foliar. Assim, Pelissari et al., (2014) evidenciou através de estudos que as macrófitas são responsáveis pela remoção de 0,88% da carga de nitrogênio em WC de fluxo vertical (WCFV) e 5,1% em WC de fluxo horizontal (WCFH), absorvendo no tecido foliar 25,6 g/kg em 150 dias e 27,7 g/kg em 100 dias para os sistemas WCFH e WCFV, respectivamente.

## 4.2 Influência de condições operacionais e climáticas

A carga inicial de matéria orgânica aplicada em WC é um parâmetro essencial para o bom desempenho do sistema. Conforme reportado por Lin et al. (2002), a carga de nutrientes está diretamente ligada com o percentual de remoção destes. Contudo, as características das águas residuárias variam muito ao longo do tempo, impactando diretamente na eficiência (Mburu et al., 2019).

Fia et al. (2017) usou elevadas cargas orgânicas de nitrogênio, reduzindo a disponibilidade de oxigênio no meio, grande parte do oxigênio se apresentou como amônio e não nitrato, não ocorrendo nitrificação e desnitrificação completa, afetando a remoção de nitrogênio. Já no caso do fósforo foi obtida uma eficiência satisfatória, entre 73% e 78%, por conta de vários fatores, como a capacidade de adsorver e precipitar compostos. Fia et al. (2020) observou maiores remoções de fósforo em sistemas com menores cargas, porém com o aumento da taxa inicial empregada do referido nutriente verificou-se uma sutil diminuição da eficiência.

Segundo Mburu et al. (2019) a temperatura é um parâmetro que pode influenciar significativamente na remoção de contaminantes em WC. Em temperaturas muito baixas

algumas macrófitas podem apresentar dificuldades para o seu crescimento, necessitando de um período maior, assim como os microrganismos que atuam na transformação dos nutrientes, tendem ter uma taxa de crescimento muito mais lenta. A variação da temperatura não é um impedimento para a aplicação dos sistemas de WC, contudo a estabilidade da temperatura é um ponto muito importante (Mburu et al., 2019; Salati, 2006).

A região nordeste do Brasil é favorecida pelas condições climáticas, no qual o semiárido propicia maiores taxas metabólicas dos microrganismos e de fotossíntese das macrófitas (Andrade et al., 2020), assim WC na região do semiárido nordestino se mostram promissores para tratar efluentes agroindustriais.

Para Wang et al. (2018) o desempenho dos WC em climas frios ainda é questionável, entretanto, no Brasil com uma grande diversidade de climática, as regiões com temperatura mais baixa se encontram no sul do país. Os estudos desenvolvidos por Pelissari et al. (2012, 2013, 2014, 2015, 2018) foram conduzidos no Rio Grande do Sul e, apesar de ser verificado uma diminuição da eficiência no inverno, os percentuais de remoção se mostram interessantes.

Pelissari et al. (2012) avaliaram a resposta inicial (primeiros 9 meses) de *wetlands* construídos no pós-tratamento de efluentes da bovinocultura leiteira advindos de um sistema de lagoa de decantação. Aplicando duas configurações distintas, uma de fluxo vertical (WCFV) e outra horizontal (WCFH), verificaram que a macrófita *Typha domingensis* teve melhor resposta no sistema WCFH, uma vez que no sistema vertical foi necessário o replantio da macrófita devido à baixa saturação do maciço filtrante (Pelissari et al., 2012). Em um estudo posterior, Pelissari et al. (2013) explicam que a dificuldade de adaptação da macrófita se deu em virtude de um estresse hídrico no sistema, causando a redução da área foliar, baixa velocidade de crescimento e densidade da planta.

### 4.3 Influência da configuração do sistema

Pelissari et al. (2012) avaliou diferentes configurações de WCs no tratamento de efluente da bovinocultura leiteira. O WCFH apresentou remoções de 78% de  $\text{PO}_4^{3-}$  e 29% de  $\text{NH}_4^+$ , contudo, verificou-se aumento da concentração de  $\text{NO}_2^-$  e  $\text{NO}_3^-$  em ambas as configurações avaliadas (vertical e horizontal), esse resultado pode ser atribuído a oxidação do  $\text{NH}_4^+$  formando  $\text{NO}_2^-$  e  $\text{NO}_3^-$ . Além disso, Sgroi et al. (2018) sugere que mecanismos de dessorção e hidrólise podem estar ocorrendo, justificando a elevação da concentração dessas substâncias.

Um grande desafio encontrado no tratamento de águas residuárias da bovinocultura leiteira por ação de macrófitas está na remoção de  $\text{NO}_2^-$  e  $\text{NO}_3^-$ , independentemente do arranjo construtivo. Após 12 meses de operação de um WCFV, Pelissari et al. (2013) verificou que no efluente bruto não foi detectado  $\text{NO}_2^-$ , contudo passado algum tempo a concentração chegou a 0,1 mg/L, já no caso do  $\text{NO}_3^-$  houve um aumento significativo, de 5,2 mg/L para 37,2 mg/L. Comportamento similar foi reportado em WCFH e WCFV com

menores tempos de operação (Pelissari et al., 2012).

Em processos naturais, como os *wetlands* há uma série de possíveis transformações pelo qual o nitrogênio pode passar, seguindo diferentes vias metabólicas (Pelissari et al., 2014). Conforme reportado por Saeed e Sun (2012), esse nutriente pode ser volatilizado, absorvido pelas macrófitas, adsorvido pelo material filtrante, absorvido pela biomassa microbiana ou ainda passar pelos processos de amonificação, nitrificação e desnitrificação. Ainda, destaca-se que a baixa disponibilidade de oxigênio dissolvido e a falta de carbono orgânico estão associados a eficiência reduzida na remoção de nitrogênio (Platzer, 1999; Zhai et al., 2013).

Diante disso, Pelissari et al. (2014) buscaram entender como se dava a transformação de nitrogênio presente no efluente da produção leiteira em WCFH e WCFV, verificando que cerca de 67% do efluente bruto era composto de  $\text{NH}_4^+$ , 26% de N orgânico e 7% de  $\text{NO}_3^-$ . A análise da água após o tratamento por WCFH demonstrou presença significativa de  $\text{NH}_4^+$  (52%) e N orgânico (41%), indicando que havia um ambiente propício para a redução com baixa concentração de oxigênio, o que não foi observado no WCFV, onde a maior parcela do nitrogênio se encontra na forma de  $\text{NO}_3^-$  (60%), sugerindo boa oxidação do nutriente pelo processo de nitrificação.

A eficiência de remoção de  $\text{PO}_4^{3-}$  está diretamente ligada ao sistema construtivo, mais especificamente as características hidráulicas do filtro (Stefanakis e Tsihrintzis, 2012). Nos módulos verticais o tempo de detenção hidráulico é menor quando comparado ao sistema horizontal, de modo que o efluente é rapidamente drenado para a saída, como consequência, o tempo para que ocorra a adsorção do  $\text{PO}_4^{3-}$  no material filtrante é o principal limitador. Essa afirmação pode ser verificada através de ensaios experimentais, em WCFH pode-se alcançar resultados satisfatórios, como 78% (Pelissari et al., 2012), contudo, o WCFV acaba resultando em percentuais da ordem de 15% (Pelissari et al., 2012) e 10% (Pelissari et al., 2013).

A remoção da matéria orgânica carbonácea, em termos de DBO e DQO, tende a apresentar um comportamento similar entre os WCFH e WCFV (Pelissari et al., 2015). Essa conclusão foi verificada experimentalmente por Pelissari et al. (2012), onde os percentuais de remoção para ambas as configurações variaram entre 60% e 69% para a DBO e reafirmada por Pelissari et al. (2015) com remoção de 74% para o WCFV e 62% para o WCFH em termos de DQO.

Outra configuração comumente empregada diz respeito a saturação (WCS) ou insaturação (WCI) dos *wetlands* construídos. Como relatam Sgroi et al. (2018) e Pelissari et al. (2017), nos WCS a predominância é de baixas concentrações de oxigênio dissolvido, tornando propício para que a desnitrificação ocorra, enquanto nos WCI o processo de nitrificação é mais favorecido pelos pulsos de alimentação ao longo do dia que resultam em alta capacidade de transferência de oxigênio.

Sgroi et al. (2018) reportou que há diferenças importantes entre as configurações

de WCS e WCI. O sistema insaturado promoveu maiores percentuais de remoção de matéria orgânica carbonácea, 81% para a DBO, 67% para DQO e cerca de 72% de carbono orgânico total. Já o sistema saturado (WCS) promoveu maior redução da concentração de nitrogênio total, cerca de 52% enquanto no WCI foi de 35%.

Para compreender esse resultado, Pelissari et al. (2017) caracterizou as comunidades de bactérias transformadoras de nitrogênio em meio saturado. No referido estudo, concluiu-se que o WCS cria duas zonas distintas, no fundo do leito não há oxigênio (ambiente anóxico) ou a concentração é baixíssima (ambiente anaeróbio), enquanto na parte superior a oxigenação é maior (condição aeróbia), resultando em uma maior diversidade microbiana.

#### 4.4 Avaliação do desempenho em diferentes efluentes

A aplicabilidade dos *wetlands* no tratamento de águas residuárias originárias da bovinocultura leiteira já é um consenso na comunidade científica, como aponta Pelissari et al. (2012). Entretanto, ainda há lacunas a serem preenchidas, principalmente relacionadas com a ampliação dos sistemas para escalas reais, prontas para uso. Assim, a compreensão do comportamento da microbiota frente a diferentes condições operacionais e climáticas durante o processo de tratamento é de grande interesse.

A suinocultura gera efluentes com cargas orgânicas muito elevadas, que possuem alto potencial poluidor associado. Essa atividade econômica localiza-se na zona rural dos municípios, por tanto, sistemas como WCs são extremamente recomendados para o tratamento dos dejetos líquidos (Fia et al., 2017). A eficiência dos WCs frente a diferentes cargas orgânicas iniciais também foi comprovada por Mendonça et al. (2017), observando remoções relevantes da DBO, DQO, NTK e P-total. Na Tabela 1, são apresentados trabalhos publicados no qual avaliou-se a remoção de nutrientes, apresentando as condições operacionais e os principais resultados.

Efluente	Condições experimentais	Principais resultados	Referências
Suinocultura	$C_{i,P} = 12,4 \pm 6,0$ kg/ha.d $Q = 42$ L/d TDH = 5,9 dias	$C_{f,P} = 38,0 \pm 15$ mg/L $R_p = 71,0$ %	Fia et al. (2020)
	$C_{i,P} = 6,1 - 6,2 \pm 3,0$ kg/ha.d $C_{i,NTK} = 110 - 120 \pm 20$ kg/ha.d $Q = 21 \pm 20$ L/d TDH = 11,8–12 dias	$C_{f,P} = 29 - 37 \pm 17$ mg/L $R_p = 73 - 78$ % $C_{f,NTK} = 340 - 354 \pm 109$ mg/L $R_{NTK} = 37 - 40$ %	Fia et al. (2017)
Abatedouro	$C_{i,NH_4^+} = 285,0 \pm 6,0$ mg/L $C_{i,NH_3} = 105,5 \pm 12,8$ mg/L $C_{i,NO_3^-} = 34,6 \pm 6,8$ mg/L $Q = 16000$ L/d TDH = 3,3 dias	$C_{f,NH_4^+} = 5,0 \pm 1,0$ mg/L $R_{NH_4^+} = 98,2$ % $C_{f,NH_3} = 5,0 \pm 1,0$ mg/L $R_{NH_3} = 95,3$ % $C_{f,NO_3^-} = 7,4 \pm 2,1$ mg/L $R_{NO_3^-} = 78,6$ %	Michael et al. (2020)

Laticínio	$C_{i,NH_4^+} = 40,9 \pm 5,0$ mg/L TDH = 9,4	$R_{NH_4^+} = 98,2$ %	Mohammed, Ismail (2020)
	$C_{i,NTK} = 26,5 \pm 7,5$ mg/L $C_{i,P} = 16,8 \pm 4,9$ mg/L TDH = 3,5 dias	$R_{NTK} = 50$ % $R_P = 43$ %	Mendonça (2017)

Tabela 1 – Síntese de resultados recentes da aplicação *wetlands* construídos na remoção de nitrogênio e fósforo de diferentes efluentes agroindustriais

Legenda:  $C_i$  carga inicial;  $C_f$  concentração final; C - concentração, R - percentual de remoção; Q - vazão; TDH - tempo de detenção hidráulica. Subscritos: i - inicial; f - final; N - nitrogênio total; P - fósforo total;  $NH_4^+$  - amônio;  $NH_3$  - amônia;  $NO_3^-$  - nitrato; NTK - nitrogênio total Kjeldahl.

A partir de uma análise dos resultados de remoção de nutrientes apresentados na Tabela 1, verifica-se que o tempo de detenção hidráulica (TDH) é fortemente dependente da carga orgânica inicial. Em sistemas com alta concentração de nitrogênio e fósforo, como no estudo de Fia et al. (2017) um tempo de até 12 dias é requerido, entretanto quando Fia et al (2020) reduziu a carga, observou-se também um menor TDH. Comportamento similar pode ser verificado nos estudos de Mohammed e Ismail (2020) e Mendonça (2017).

Os WCs se mostram eficazes na remoção de nitrogênio independente do tipo de efluente, apresentando maiores percentuais de remoção do nutriente na forma amoniacal e nitrato, uma vez que a absorção e assimilação do nitrito pelas macrófitas é mais difícil (Bredemeier, Mundstock, 2000). Com relação ao fósforo, a eficiência de remoção tende a ser menor, uma vez que a capacidade dos WCs removerem esse nutriente é limitada pela capacidade da macrófita em absorver o P (Fia et al, 2020).

## 5 I CONCLUSÃO

O presente estudo apresentou técnicas de remoção de nitrogênio e fósforo aplicado ao polimento final de efluentes agroindustriais a partir de soluções baseadas na natureza, com enfoque nos sistemas de *wetlands* construídos. Verificou-se que os WC são altamente eficientes na remoção de nitrogênio amoniacal, mesmo considerando diferentes tipos de efluentes agroindustriais com cargas orgânicas diversas. A configuração do sistema pode alterar a rota de transformação de nutrientes, sendo assim, fundamental uma análise do tipo de efluente a ser tratado. Condições climáticas e operacionais são importantes principalmente no desenvolvimento das macrófitas. Com relação a vegetação, identificou-se que a *Typha domingensis* e *Cynodon dactylon* são as macrófitas mais empregadas na remoção de nutrientes advindos de agroindústrias por WC no Brasil.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, A. et al. Evaluation of the effectiveness of horizontal subsurface flow constructed wetlands for different media. **Journal of Environmental Science**, v. 22, p. 820826, 2010.

ANDRADE, S. O. et al. Uso de wetlands construídas para o tratamento de efluentes agroindustriais

no semiárido nordestino. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM CIÊNCIAS, 5, 2020, Campina Grande. Universidade Federal de Campina Grande, 2020. p. 1-4.

BOTHE, H.; FERGUSON, S. J.; NEWTON, W. E. **Biology of the Nitrogen Cycle**. Elsevier 2007, 427 p.

BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Ciência Rural**, v. 30, p. 365-372, 2000.

BUENO, R. F. et al. Remoção simultânea de material orgânico, nitrogênio e fósforo em um reator em bateladas sequenciais com biofilme de leito móvel operado pelo processo anaeróbio-anóxico-óxico. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 24, p. 747-760, 2019.

CAO, S. et al. Novel two stage parcial denitrificação (PD)-Anammox process for tertiary nitrogen removal from low carbon/nitrogen (C/N) municipal sewage. **Chemical Engineering Journal**, v. 362, p. 107-115, 2019.

CORREL, D. L. Phosphorus: a rate limiting nutrient in surface waters. **Poultry Science**, v. 78, p. 674-682, 1999.

DERISIO, J. C. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. 4. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

FATIMA, F et al. Treatment of poultry slaughterhouse wastewater with membrane technologies: A review. **Water**, v.13, p. 1905, 2021.

FIA, F. R. L et al. Dinâmica do fósforo em sistemas alagados construídos tratando água residuária da suinocultura. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 25, p. 79-86, 2020.

FIA, F. R. L. et al. Efeito da vegetação em sistemas alagados construídos para tratar águas residuárias da suinocultura. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 22, p. 303-311, 2017.

GARCIA, A. L. H. et al. Genotoxicity induced by water and sediment samples from a river under the influence of brewery effluent. **Chemosphere**, v. 169, p. 239-248, 2017.

GERHARDT, R. et al. Remoção de nitrogênio e fósforo de efluente industrial através da precipitação de estruvita. **Tecno-Lógica**, v. 22, p. 35-40, 2018.

KHAN, M. N; MOHAMMAD, F. Eutrophication: Challenges and Solutions. *In*: ANSARI, A. A.; GILL, S. S. **Eutrophication: Causes, Consequences and Control**. Berlin: Springer, 2014.

LIN, Y. et al. Nutrient removal from aquaculture wastewater using a constructed wetlands system. **Aquaculture**, v. 209, p. 169-184, 2002.

MATOS, A.T. et al. Capacidade extratora de diferentes espécies vegetais cultivadas em sistemas alagados utilizados no tratamento de águas residuárias de suinocultura. **Ambiente e Água**, v. 4, p. 3145, 2009.

MATOS, A.T. et al. Eficiência de sistemas alagados construídos na remoção de poluentes de águas residuárias da indústria de laticínios. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 32, p. 1144-1155, 2012.

MBURU, C. et al. Impact of substrate type, depth and retention time on organic matter removal in vertical subsurface flow constructed wetland mesocosms for treating slaughterhouse wastewater. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 114, p. 102792, 2019.

MENDONÇA, H.V. et al. Remoção de matéria orgânica e nutrientes de águas residuais de laticínios em sistemas alagados construídos. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, p. 12-22, 2017.

MICHAEL JR., J. H. Nutrients in salmon hatchery wastewater and its removal through the use of a wetland constructed to treat off-line settling pond effluent. **Aquaculture**, v. 226, p. 213225, 2003.

MORAIS, N. W. S. et al. Caracterização físico-química e determinação de coeficientes cinéticos aeróbios de remoção da matéria orgânica de águas residuárias agroindustriais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 25, p. 489-500, 2020.

NARDI, I. R. et al. Performance evaluation and operating strategies of dissolved-air flotation system treating poultry slaughterhouse wastewater. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 52, p. 533-544, 2008.

NARDI, I. R. et al. Performances of SBR, chemical-DAF and UV disinfection for poultry slaughterhouse wastewater reclamation. **Desalination**, v. 269, p. 184-189, 2011.

NERY, V. D. et al. Poultry slaughterhouse waste water treatment plant for high quality effluent. **Water Science & Technology**, v. 73, p. 309-316, 2016.

NÉTO, N. C. G. et al. Soluções Baseadas na Natureza aplicadas à conservação e à gestão integrada das águas: um estudo prospectivo à luz da Agenda 2030 da ONU. **Revista Principia**, v. 1, n. 51, p. 30-43, 2020.

NJOYA, M. et al. Analysis of the Characteristics of Poultry Slaughterhouse Wastewater (PSW) and Its Treatability. **Water Practice & Technology**, v. 14, p. 959–970, 2019.

PELISSARI, C. et al. Comportamento inicial de *wetlands* construídos empregados no tratamento de efluentes de bovinocultura leiteira. **Engenharia Ambiental**, v. 9, p. 190-204, 2012.

PELISSARI, C. et al. Nitrogen transformation in horizontal and vertical flow constructed wetlands applied for dairy cattle wastewater treatment in southern Brazil. **Ecological Engineering**, v. 73, p. 307-310, 2014.

PELISSARI, C. et al. Nitrogen transforming bacteria within a full-scale partially saturated vertical subsurface flow constructed wetland treating urban wastewater. **Science of The Total Environment**, v. 574, p. 390-399, 2017.

PELISSARI, C. et al. *Wetlands* construídos de fluxo vertical empregado no tratamento de efluentes de bovinocultura leiteira. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v. 1, p. 223-233, 2013.

PLATZER, C. Design recommendations for subsurface flow constructed wetlands for nitrification and denitrification. **Water Science and Technology**, v. 40, p. 257-263, 1999.

RAMOS, N. F. S. et al. Tratamento de águas residuais de suinocultura em sistemas alagados construídos, com *Chrysopogon zizanioides* e *Polygonum punctatum* cultivadas em leito de argila expandida. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, p. 123-132, 2017.

SAEED, T.; SUN, G. A review on nitrogen and organics removal mechanisms in subsurface flow constructed wetlands: Dependency on environmental parameters, operating conditions and supporting media. **Journal of Environmental Management**, v. 112, p. 429-448, 2012.

SALATI, E. **Controle de qualidade de água através de sistemas de wetlands construídos**. Rio de Janeiro: Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável, 2006.

SARMENTO, A. P. Evaluation of vertical-flow constructed wetlands for swine wastewater treatment. **Water, Air, & Pollution**, v. 223, p. 1065-1071, 2012.

SEZERINO, P. H. et al. Experiências brasileiras com wetlands construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, p. 151-158, 2015.

SGROI, M. et al. Removal of organic carbon, nitrogen, emerging contaminants and fluorescing organic matter in different constructed wetlands configurations. **Chemical Engineering Journal**, v. 332, p. 619-627, 2018.

SILVA, L. D. D. **Wetlands construídos de fluxo vertical aplicados no pós-tratamento de efluente de abatedouro de ovinos e bovinos**. 2017. 94 f. Trabalho de conclusão de curso (Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, 2017.

SILVEIRA, J. R. et al. Tratamento de efluentes sépticos em wetlands construídos de uma unidade universitária. **Tecnia**, v. 6, p. 136-152, 2020.

SOUSA, J.T. et al. Pós-tratamento de efluentes de reator UASB utilizando sistemas “wetlands” construídos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.1, p.87-91, 2000.

STEFANAKIS, I. A.; TSIHRINTZIS, V. A. Effects of loading, resting period, temperature, porous media, vegetation and aeration on performance of pilot-scale vertical flow constructed wetlands. **Chemical Engineering Journal**, v. 181-182, p. 416-430, 2012.

SULTANA, M. et al. Constructed wetlands in treatment of agro-industrial wastewater: A review. **Hemijaska Industrija**, v. 69, p. 127-142, 2015.

TANNER, C. C. Plants as ecosystem engineers in subsurface-flow treatment wetlands. **Water Science Technology**, v. 44, p. 9-17, 2001..

WANG, M. et al. Application of constructed wetlands for treating agricultural runoff and agro-industrial wastewater: a review. **Hydrobiologia**, v. 805, p. 1-31, 2018.

XIAO, S. et al. Influence of sewage treatment plant effluent discharge into multipurpose river on its water quality: A quantitative health risk assessment of *Cryptosporidium* and *Giardia*. **Environmental Pollution**, v. 233, p. 797-805, 2018.

ZHAI, X. et al. Can root exudates from emergent wetlands plants fuel denitrification in subsurface flow

constructed wetlands system? **Ecological Engineering**, v. 61, p. 555-563, 2013.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Adsorção 102, 109, 118, 119, 120, 121

Agência Nacional de Águas - ANA 2

Agroindústria 77

Águas residuárias 4, 7, 77, 78, 80, 83, 84, 91, 92, 93, 94, 96, 98, 99, 100, 101, 103, 105, 106, 107, 121

Águas superficiais 4, 7, 33, 95, 109, 111, 113, 115

Água subterrânea 38, 43, 45, 47, 49

Água sulfúrea 38, 46, 47, 50

Áreas de Preservação Permanente - APP 2, 6

Aterros sanitários 28, 29, 33, 112

Atividades agropecuárias 27

Atividades ecológicas 14, 18

Atividades portuárias 14

Automedicação 27, 32, 33

### B

Bacias hidrográficas 4, 7, 58, 61, 62, 63, 66, 67

Barragens 1, 2, 13

Biocombustíveis 126, 127, 129, 131, 132, 136, 137, 138

Biodegradabilidade 29, 33, 109, 112, 116

Bioma 2, 3, 5, 9, 12, 13

Biomassa 7, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139

Biota aquática 109, 110

### C

Compensação ambiental 4, 6, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 13

Conselho Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco - CONSEMA/PE 4

Contaminação 7, 126, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139

Corpos hídricos 15, 93, 94

### D

Decantador 77, 79, 80, 81, 82, 84, 85

Desenvolvimento sustentável 1, 12, 93, 107

Desreguladores endócrinos 109, 111, 114, 122, 123

## **E**

Ecosistema 14, 15, 18, 21, 53, 114

Educação Ambiental 27, 29, 32, 34, 35, 140

Efluentes domésticos 7, 109

Energia elétrica 52, 53, 54, 55, 56, 57

Energia solar 52, 53, 56, 57

Energias renováveis 53

Erosão 15, 25, 59, 61, 62, 65, 66, 67

Espécie humana 29, 35

Eutrofização 93, 94, 95

## **F**

Fármacos 27, 29, 33, 34, 110, 111, 112, 113, 121, 122, 123

Filtração por membranas 109, 119, 121

Flotação 77

## **G**

Geoambiental 16, 58, 60

Geológicos 38, 41, 51

Geomorfológicos 38, 41

## **H**

Hidrogeoambientais 6, 38, 43

Hidrogeofísicos 58

Hidrologia 50, 58, 67

Hormônios 4, 7, 109, 111, 114, 116, 117, 119, 120

Humo 7, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139

## **I**

Impactos ambientais 2, 4, 29, 30, 33, 53, 92

Indústrias farmacêuticas 28, 29, 31

Infecciones respiratorias 126, 128, 129, 132, 133

## **L**

Logística reversa 6, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 35, 36, 37

## **M**

Macrófitas 93, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 104

Mamão Papaya 7, 69

Manguezais 4, 6, 14, 15, 16, 21, 26

Medicamentos 4, 6, 27, 29, 30, 31, 32, 33, 35, 36, 37, 112, 114

Meio ambiente 4, 4, 12, 13, 26, 27, 28, 29, 30, 32, 36, 37, 52, 53, 58, 69, 71, 72, 78, 90, 91, 93, 94, 109, 110, 111, 112, 113, 122, 124

Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV 77, 79

Mudanças Climáticas 4, 7, 39, 40, 58, 61, 62

## **P**

Patógenos 71, 109, 114

Plano de Recuperação de Áreas Degradadas - PRAD 15, 26

Podridão Peduncular 69, 71, 72, 73, 74, 75

Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS 28, 30, 35, 37

Processos Oxidativos Avançados - POAs 4, 109, 116, 121, 123, 140

Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente - PNUMA 28

## **R**

Reatores biológicos 77

Reatores de Leito Móvel com Biofilme - MBBR 7, 77

Reciclagem 28

Recuperação ecológica 4, 6, 14, 15, 26

Recursos hídricos 27, 29, 31, 33, 39, 78, 93, 109, 114, 123, 124

Rede de Drenagem 59, 61

Resolução CONAMA 2

Reutilizar 28

## **S**

Sistema de Confinamento Celular (Geocélulas) 6, 14, 15, 16, 17, 21, 25

Sistema Fotovoltaico 4, 6, 52, 53, 54, 55, 56, 57

Supressão vegetal 2, 4, 5, 11, 13

## **T**

Tratamento hidrotérmico 4, 7, 69, 70, 71, 74, 75, 76

## **U**

Usinas hidrelétricas 52, 53

# COLEÇÃO DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

## ENGENHARIA AMBIENTAL



-  [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
-  [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

COLEÇÃO

# DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA AMBIENTAL

- 
-  [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
  -  [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
  -  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
  -  [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)