

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

Tailana Milene Duarte Seccon

**POTENCIAL FITORREMEIADOR DE *Hedychium coronarium* E ÍNDICE
DE ESTADO TRÓFICO EM AMBIENTE ALAGADO NATURAL**

FREDERICO WESTPHALEN, RS

2023

Tailana Milene Duarte Seccon

**POTENCIAL FITORREMEIADOR DE *Hedychium coronarium* E ÍNDICE DE
ESTADO TRÓFICO EM AMBIENTE ALAGADO NATURAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria, como requisito parcial para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Genésio Mário da Rosa

FREDERICO WESTPHALEN, RS

2023

Tailana Milene Duarte Seccon

**POTENCIAL FITORREMEIADOR DE *Hedychium coronarium* E ÍNDICE DE
ESTADO TRÓFICO EM AMBIENTE ALAGADO NATURAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria, como requisito parcial para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Florestal.

Aprovado em 27 de janeiro de 2023:

Profº Genesio Mario da Rosa, Dr. (UFSM)
(Orientador)

Profª Hilda Hildebrand Soriani, Drª. (UFSM)

Gabriel Baraldi Volpi, Me. (UFSM)

Frederico Westphalen, RS
2023

RESUMO

POTENCIAL FITORREMEIADOR DE *Hedychium coronarium* E ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO EM AMBIENTE ALAGADO NATURAL

AUTORA: Tailana Milene Duarte Seccon

ORIENTADOR: Genesio Mario da Rosa

O presente estudo teve como objetivo analisar o índice de estado trófico e potencial fitorremediador da planta macrófita *Hedychium coronarium* em uma área naturalmente alagada no Município de Frederico Westphalen, RS. Considerando a importância da água, pois esta é um recurso indispensável para a sobrevivência da vida, e também o crescente aumento da população, bem como da poluição ambiental, torna-se essencial o monitoramento ambiental e a busca por alternativas que possam mitigar os danos ao meio ambiente. A pesquisa foi realizada em uma área alagada coberta por *Hedychium coronarium*, onde foi coletado amostras de água e plantas que posteriormente foram levadas ao laboratório. Estas amostras foram submetidas a análises químicas seguindo a metodologia de Tedesco et al. (1995) para tecido vegetal e APHA (1999) para água. A partir dos resultados obtidos é possível concluir que o acúmulo dos elementos no tecido vegetal representa o potencial de fitorremediação da planta macrófita *Hedychium coronarium* para nitrogênio, fósforo e potássio, contribuindo para manter a área em baixo grau de eutrofia, possuindo também alta eficiência na depuração da água em relação a presença de coliformes totais e *E. coli*. Esta pesquisa pode ser utilizada como incentivo ao uso de alternativas sustentáveis na descontaminação de águas poluídas.

Palavras-Chave: Macrófita. Água contaminada. Análise química e microbiológica da água.

ABSTRACT

PHYTORREMIATOR POTENTIAL OF *Hedychium coronarium* AND TROPHIC STATE INDEX IN NATURAL FLOODED ENVIRONMENT

AUTHOR: Tailana Milene Duarte Seccon

ADVISOR: Genesisio Mario da Rosa

The present study aimed to analyze the trophic state index and phytoremediation potential of the macrophyte plant *Hedychium coronarium* in a naturally flooded area in the municipality of Frederico Westphalen, RS. Considering the importance of water, as this is an indispensable resource for the survival of life, and also the growing population, as well as environmental pollution, environmental monitoring and the search for alternatives that can mitigate damage to the environment become essential. environment. The research was carried out in a flooded area covered by *Hedychium coronarium*, where samples of water and plants were collected that were later taken to the laboratory. These samples were subjected to chemical analysis following the methodology of Tedesco et al. (1995) for plant tissue and APHA (1999) for water. From the results obtained, it is possible to conclude that the accumulation of elements in the plant tissue represents the phytoremediation potential of the macrophyte plant *Hedychium coronarium* for nitrogen, phosphorus and potassium, contributing to maintain the area in a low degree of eutrophy, also having high efficiency in purification of water in relation to the presence of total coliforms and *E. coli*. This research can be used as an incentive to the use of sustainable alternatives in the decontamination of polluted waters.

Keywords: Macrophyte. Contaminated water. Chemical and microbiological analysis of water.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	6
2 MATERIAL E MÉTODOS	8
2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	8
2.2 COLETA DE AMOSTRAS	8
2.2.1 Coletas de plantas e análise química.....	9
2.2.2 Coletas de água e análise química.....	10
2.3 DELINEAMENTO ESTATÍSTICO	11
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	12
3.1 ANÁLISE MICROBIOLÓGICA.....	14
3.2 ÍNDICE DO ESTADO TRÓFICO	13
3.3 ANÁLISE DA ÁGUA.....	15
3.4 ANÁLISE DE PLANTA	17
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	20
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural indispensável para a sobrevivência de vida no planeta, porém com o aumento populacional crescente, assim como do consumo deste, surge uma problemática que é a necessidade de preservar este recurso (NINA; SZLAFSZTEIN, 2015).

Com o aumento da população e das cidades, bem como das atividades antrópicas, cresce a preocupação com a qualidade de água, pois o lançamento de substâncias tóxicas, derivadas principalmente da indústria e agricultura, está modificando a condição do ambiente para os organismos aquáticos e prejudicando a saúde humana pela ingestão de água contaminada (SOUZA et al., 2021).

Nesse sentido, o aumento expressivo de nutrientes nos corpos de água, geralmente nitrogênio e fósforo, causado pelo despejo de efluentes pode elevar a ocorrência do processo de eutrofização. Este, quando acentuado, pode representar sérios riscos à saúde dos consumidores, assim como causar danos ambientais (LIN et al., 2022). Outra questão a ser considerada é a contaminação da água por bactérias, apontada como um grande problema à saúde, causando diversas doenças por veiculação hídrica, sendo a presença do grupo coliforme mais comum e altamente infeccioso em humanos e animais (AWAN et al., 2021).

Em razão disso, para monitorar a qualidade da água é realizada análise de indicadores biológicos específicos, mais comumente os coliformes totais e a presença de *Escherichia coli* (CAVUS; SEN, 2021), bem como análise do parâmetro de índice de estado trófico, que funciona como registro da influência das atividades humanas sobre as bacias hidrográficas. Este monitoramento contribui para formar planos de manejo e gestão dos recursos hídricos, através de estratégias sustentáveis (AZEVEDO et al., 2022).

A determinação e quantificação de contaminantes presentes nos recursos hídricos são essenciais para sua mitigação e para garantir a disponibilidade de água com qualidade, sendo assim, a fitorremediação é vista como um método alternativo por ser ecologicamente correto e de menor custo, utilizando plantas para a descontaminação da água (ALMEIDA, 2020).

A partir disso, a *Hedygium coronarium*, popularmente conhecida como lírio do reço, pode ser utilizada como uma alternativa para fitorremediação de ambientes poluídos. Esta é uma planta herbácea da família Zingiberaceae, nativa da Ásia tropical que geralmente se encontra em ambientes aquáticos, sendo muito utilizada para fins medicinais, pois possuem propriedades antioxidantes, antibacterianas, antifúngicas, citotóxicas, quimiopreventivas, antialérgicas, larvicidas, analgésicas, anti-inflamatórias entre outras (CHAN; WONG, 2018).

Esta planta é considerada uma erva daninha em muitos países e um grande problema ambiental em áreas úmidas naturais, podendo causar danos à biodiversidade e aos serviços ecossistêmicos fornecidos por áreas protegidas (MC KAY et al., 2021). Mas em contrapartida, estudos indicam um grande potencial fitorremediador das macrófitas aquáticas, na remoção de metais pesados e outros contaminantes da água, podendo ser utilizada como uma alternativa ecologicamente sustentável e economicamente viável para manter a qualidade dos recursos hídricos (DHIR; SHARMILA; SARADHI, 2009).

Para assegurar a qualidade das águas, principalmente para abastecimento humano, foi instituído no Brasil a Política Nacional dos Recursos Hídricos pela Lei nº 9.433 em 1997, visando definir planos de preservação das bacias hidrográficas em todos os Estados, adequando a gestão de acordo com as diversidades (MUSARRA; LIMA, 2021). Ainda o Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA através de suas atribuições instituiu a Resolução CONAMA Nº 357 em 2005, considerando a Lei 9.433 do PNRH, com o objetivo de classificar as diretrizes ambientais e enquadrar os corpos de águas superficiais, além de estabelecer padrões de qualidade (ZACOUTEGUY, 2018).

Sendo assim, a remoção de poluentes de áreas contaminadas, além de ser uma exigência legal é uma responsabilidade social que precisa ser cumprida e nessa perspectiva é importante compreender que as relações sociais com o meio são essenciais para dar continuidade a evolução da nossa espécie e a Educação Ambiental possui um papel significativo na construção de uma consciência para estas implicações (ROSA; SILVA; FLACH, 2021).

Em síntese, o presente trabalho teve como objetivo analisar as características tróficas em um ambiente alagado naturalmente, localizado no Médio e Alto Uruguai do Estado do Rio Grande do Sul, por meio da determinação do Índice do Estado Trófico (IET), bem como o potencial de *Hedychium coronarium*, conhecida como lírio do brejo, para remoção de contaminantes da água.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi realizado em um trecho do Lajeado do Pardo, localizado na Linha Sete de Setembro com as seguintes coordenadas 27°23'48.46" S - 53°25'28.74" O, nas proximidades do Campus Frederico Westphalen (UFSM), no município de Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul, Brasil. O município pertence à região do Médio Alto Uruguai, que fica a uma altitude de 566 metros e possui área de 265 km², com 31.498 habitantes (IBGE, 2020). De acordo com a classificação de Köppen esta é uma região de clima subtropical úmido, com precipitações abundantes e bem distribuídas ao longo do ano (KOTTEK et al., 2006).

Em relação à cobertura vegetal a região onde está inserida a cidade de Frederico Westphalen pertence ao Bioma Mata Atlântica (ODERICH; MIGUEL, 2017). De acordo o IBGE (1986), a classificação das florestas é Estacional Semidecidual, onde é observado o fenômeno da estacionalidade foliar.

O relevo da região segundo Cunha et al., (2011) é definido por superfícies íngremes e relevo escarpado que se alternam com espigões rochosos e elevados. No entanto, na área em estudo o relevo é suave ondulado, sendo que dentro da micro bacia a elevação média é de 488 metros.

Em relação à ocupação do solo da área do estudo dois setores se destacam, sendo a agropecuária e a urbanização. O principal setor é o agropecuário sendo de extrema importância para a economia local, com atividades de pecuária como bovinocultura, suinocultura e avicultura (ARNS; PIOVEZANA, 2008).

2.2 COLETA DE AMOSTRAS

As coletas foram realizadas internamente ao leito do Lajeado do Pardo, em área considerada alagada, que facilitou o estabelecimento de macrófitas aquáticas, ou seja, está coberta de vegetação. A área foi subdividida em três setores entrada, centro e saída, sendo que em cada setor foram coletadas 12 plantas de *Hedychium coronarium* e ao longo da área foram coletadas 30 amostras de água, considerando 10 amostras por setor (Figura 1).

Figura 1 - Área de coleta das amostras localizada no Lajeado do Pardo, Frederico Westphalen, RS.



Fonte: Google Earth (2023).

2.2.1 Coletas de plantas e análise química

As plantas amostradas foram coletadas com parte área e rizoma e alocadas em sacos individuais, previamente identificados.

As frações foram separadas em rizoma e parte aérea, posteriormente picadas para secagem em estufa a 45 °C, até que a massa se manteve constante.

Para a determinação do nitrogênio, fósforo e potássio nas plantas foi utilizado o método de análise de tecido vegetal “digestão por via úmida”, onde as amostras são solubilizadas com ácidos oxidantes concentrados misturados com peróxido de hidrogênio, seguindo a metodologia definida por Tedesco et al. (1995), sendo adaptada ao laboratório a mistura de digestão sem a utilização de selênio. Na seguinte tabela são apresentados os parâmetros que foram analisados e as metodologias seguidas.

Tabela 1 - Metodologia indicada para análise de nitrogênio amoniacal (NH_3), nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-), fósforo Total (P) e potássio (K) (APHA, 1999).

Parâmetro	Metodologia	Referências
Nitrogênio amoniacal NH ₃	Método Indofenol. *	SMEWW - 22º Ed. 2012. 4500 F. 4-115.
Nitrato NO ₃ ⁻	Método N-(1-naftil)-etilenodiamina. **	SMEWW - 22º Ed. 2012. 4500 B. 4-120.
Nitrito NO ₂ ⁻	Método N-(1-naftil)-etilenodiamina. **	SMEWW - 22º Ed. 2012. 4500 B. 4-120.
Fósforo Total P	Método do ácido ascórbico. ***	SMEWW - 21ª Edição, 2005.
Potássio (parte aérea)	Método Turbidimétrico Tetrafenilborato de Sódio.****	FRIES, J. GETROST, H. Organic Reagents for Trace Analysis, MERCK; 1977 – pg. 304.
Potássio (parte raiz)	Método de fotômetro de chama *****	TEDESCO, M. J. et al. 1995. 118 p.

Fonte: autora (2023).

* Método Indofenol é baseado na formação de um composto azul intenso, resultado da mistura de um íon de amônio com um composto fenólico na presença de um oxidante e um catalisador.

** Método para identificação de Nitrito e Nitrato baseado na formação de um composto com coloração purpura avermelhado em pH ácido em resposta a reação de ácido sulfanílico com o diloreto de N-(1-Naftil)-etilenodiamino.

*** Método do ácido ascórbico é com base na digestão da amostra com aquecimento em meio ácido, liberando o fosfato para o meio e formando um complexo azul.

**** O método é baseado na reação de íons potássio com Tetrafenilborato de Sódio em meio alcalino, onde é formado um insolúvel com Tetrafenilborato de Potássio, gerando uma suspensão homogênea e estável de microcristais. A turbidez resultante é proporcional à concentração de potássio na amostra.

***** Este método é baseado na medida de radiação emitida por átomos ou íons em que são excitadas por chama.

2.2.2 Coletas de água e análise química

As 30 coletas de água foram realizadas ao longo da área, à montante (M) e a jusante (J). As amostras de água foram coletadas com o auxílio de frascos de plásticos de 1 L em sentido contrário ao fluxo da água.

Estas foram encaminhadas ao Laboratório de Análise de Águas da Universidade Federal de Santa Maria (Campus Frederico Westphalen) e submetidas à análise para determinação de nitrogênio amoniacal (NH₃), nitrato (NO₃⁻), nitrito (NO₂⁻), fósforo Total (P) e potássio (K) (APHA, 1999). Para análise de cada variável seguiu-se a metodologia indicada na tabela 02.

Tabela 2 - Metodologia indicada para análise de nitrogênio amoniacal (NH₃), nitrato (NO₃⁻), nitrito (NO₂⁻), fósforo Total (P) e potássio (K) (APHA, 1999).

Parâmetro	Metodologia	Referências
Nitrogênio amoniacal NH ₃	Método Indofenol. *	SMEWW - 22º Ed. 2012. 4500 F. 4-115.
Nitrato NO ₃ ⁻	Método N-(1-naftil)-etilenodiamina. **	SMEWW - 22º Ed. 2012. 4500 B. 4-120.
Nitrito NO ₂ ⁻	Método N-(1-naftil)-etilenodiamina. **	SMEWW - 22º Ed. 2012. 4500 B. 4-120.
Fósforo Total P	Método do ácido ascórbico. ***	SMEWW - 21ª Edição, 2005.
Potássio	Método Turbidimétrico Tetrafenilborato de Sódio. ****	FRIES, J. GETROST, H. Organic Reagents for Trace Analysis, MERCK; 1977 – pg. 304.

Fonte: autora (2023).

Para determinação do Índice de Estado Trófico (IET), foi utilizada a equação proposta por Lamparelli (2004), descrita na seguinte equação:

$$\text{IET (PT)} = 10 \times [6 - ((0,42 - 0,36 \times (\ln \text{PT})) / \ln 2)] - 20$$

Onde: PT = concentração de fósforo total medida à superfície da água, em µg.L⁻¹.

Nesta equação, aplicou-se a concentração média de fósforo total, obtida entre os pontos 1 a 30.

Para determinação de parâmetros microbiológicos de coliformes totais e *Escherichia coli*, foi utilizado o teste de Colilert® (Idexx) com resultado em 24 horas (MARQUEZI; GALLO; DIAS, 2010).

2.3 DELINEAMENTO ESTATÍSTICO

Os dados foram analisados considerando delineamento inteiramente casualizado com três tratamentos, sendo os setores de coleta dos dados (Entrada, meio e saída em relação ao fluxo de água da área de estudo). Para avaliar as concentrações de nitrato, nitrito, amônia, fósforo e potássio da água foram considerados 10 repetições por posição de coleta, já para os dados de concentração de nitrogênio, fósforo e potássio das plantas de *Hedychium coronarium* foram obtidas 12 amostras de cada planta (parte aérea e radicular).

Os dados foram submetidos à análise dos pressupostos de independência das observações, normalidade dos resíduos e homogeneidade de variâncias, em seguida realizou-se análise de variância simples (ANOVA- fator único) e comparação de médias pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro. Para as análises, utilizou-se os pacotes “ExpDes.pt” (FERREIRA; CAVALCANTI; NOGUEIRA, 2021) e Metan (OLIVOTO, 2021) do *software* RStudio (R CORE TEAM, 2018).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme foi observado, considerando a resolução 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), que classifica os corpos hídricos e estabelecem padrões de qualidade da água, a área estudada é classificada como classe II, pois não possui enquadramento, podendo ser destinada a consumo humano após tratamento convencional (CONAMA, 2005). Sabendo-se que não há um enquadramento é importante realizar o monitoramento das suas condições, pois com as informações obtidas é possível efetuar o gerenciamento sustentável visando à melhoria da qualidade da água, bem como prevenir a aparição de doenças de veiculação hídrica (SANTOS et al., 2020).

3.1 ANÁLISE MICROBIOLÓGICA

A análise microbiológica da água foi realizada em alguns pontos da área, trazendo valores de Número mais provável para coliformes totais e *E. coli*, visando obter informações sobre a contaminação fecal do local (Tabela 3).

Tabela 3 – Valores de NMP de coliformes totais e *E. coli* pelo Sistema Quanti-Tray/2000, Colilert IDEXX® em relação aos pontos de coleta, Frederico Westphalen, RS.

Pontos	*NMP <i>E. coli</i>	*NMP Coliformes Totais
1	100	310
3	100	410
5	310	630
6	100	200
10	0	200
15	0	0
18	100	740
20	0	310
25	0	310
26	7940**	37840
27	6020**	23100
30	100	2260

Fonte: autora (2022).

* Número mais provável.

** NMP de *E. coli* acima do limite máximo permitido pela legislação CONAMA 357/2005 para classe 2 e CONAMA 274/2000 que dita critérios de balneabilidade para águas brasileiras.

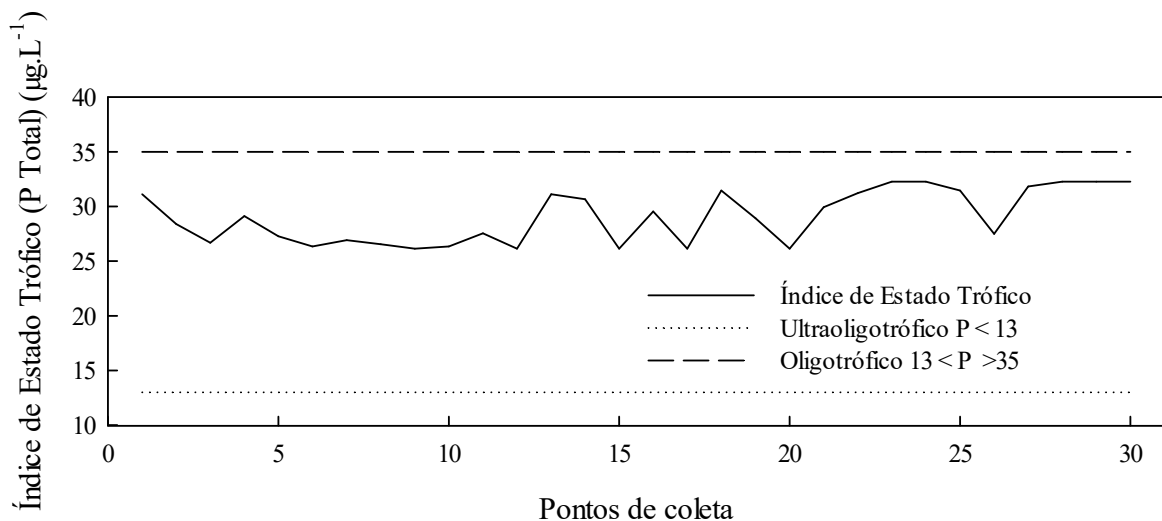
A partir da observação dos dados desta análise foi identificado que a maior contaminação se encontra nos últimos pontos que é a entrada a montante, no entanto há uma diminuição considerável nos pontos iniciais na saída da área a jusante. Esta diferença de valores entre a entrada e saída na área evidenciam o potencial fitorremediador do *Hedychium coronarium*, assim como demonstrado no estudo Figueiredo et al. (2018).

Além disso, é importante ressaltar que existe uma deficiência mundial em relação a ofertar água potável para a população, indicando uma precariedade ao acesso de direitos básicos e a falta de investimentos voltados para sanar este problema (SILVEIRA et al., 2018). Partindo deste pressuposto é indispensável à realização de pesquisas voltadas para monitorar a qualidade da água, bem como contribuir para sua preservação (SILVA et al., 2019).

3.2 ÍNDICE DO ESTADO TRÓFICO

Considerando os valores obtidos para fósforo total, foi realizado o cálculo do IET onde a média foi de $29,02 \mu\text{g.L}^{-1}$, entre os pontos de 1 a 30, sendo assim, classificado como um ambiente Oligotrófico, de acordo com a CETESB (2004) (Figura 2).

Figura 2 - Índice de estado trófico nos diferentes pontos de coleta.



Fonte: autora (2023).

Ambientes classificados como oligotróficos são caracterizados por baixa produtividade primária e sem prejuízo aos usos múltiplos, isto porque o grau de trofia é baixo, conseqüentemente, possui menor concentração de nutrientes, não apresentando riscos aos usos múltiplos (ALVES, 2021).

Na figura 2 onde são apresentados dados de IET ao longo do trajeto da área é possível observar que houve maior concentração de valores nos pontos iniciais e uma variação pouco acentuada entre os pontos, mantendo uma estabilidade até os pontos finais.

Através da determinação do estado trófico dos recursos hídricos é possível obter informações sobre a poluição da água, pois este funciona como um parâmetro de qualidade e auxilia no desenvolvimento de projetos sustentáveis (FACCO et al., 2019).

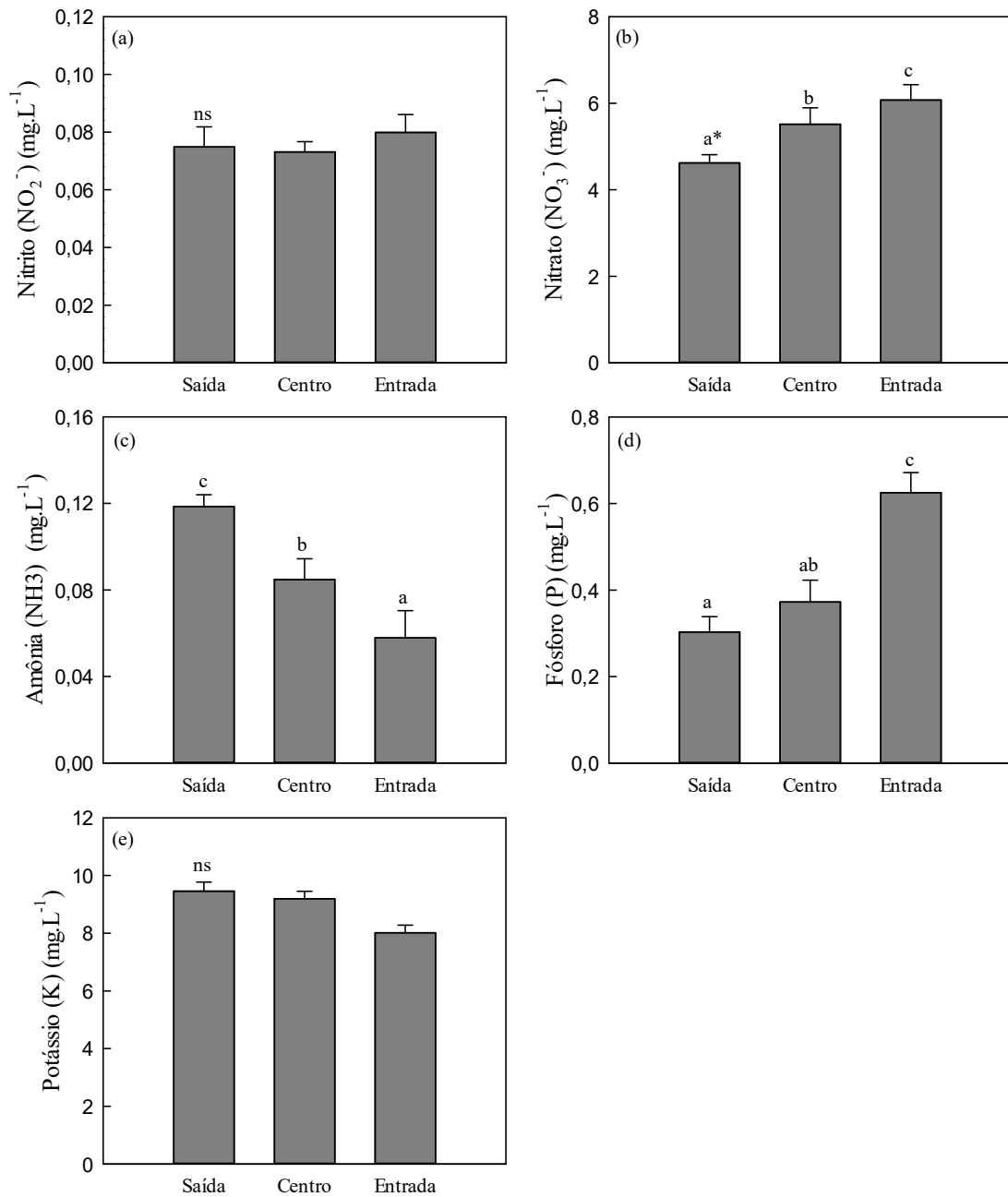
Os valores de fósforo obtidos foram encontrados acima do permitido pela resolução CONAMA 357, que estabelece o valor máximo de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ de P em corpos hídricos de classe II, e mesmo considerando a classificação III onde o valor máximo é fixado em $0,15 \text{ mg L}^{-1}$ de P os valores não se enquadrariam dentro do permitido (figura 3).

Segundo alguns estudos os valores altos de P podem estar associados à estação chuvosa, pois há uma propensão de escoamento superficial originado tanto de áreas agrícolas como urbanas, favorecendo o processo de eutrofização (PAULA, 2022; SOUSA et al., 2018). Considerando que houve chuvas recorrentes nas semanas anteriores as coletas, este pode ser um fator que influenciou diretamente na elevação dos níveis de P.

De acordo com Paula (2022) a eutrofização pode ocorrer principalmente através do despejo de águas residuais domésticas, industriais e agrícolas, advindo de solos com atividades agrícolas, ou de efluentes urbanos, fato este que pode ser observado ao redor do Lajeado do Pardo com presença de moradias e lavouras. O mesmo autor discorre sobre as conseqüências da eutrofização da água, como por exemplo, aumento da morbidade humana em decorrência de doenças de veiculação hídrica e elevação dos custos para tratamento.

3.3 ANÁLISE DA ÁGUA

Figura 3 – Concentração de nitrito, nitrato, amônia, fósforo e potássio em amostras de água coletadas em três posições em uma área do Lajeado Pardo, em Frederico Westphalen, RS (2023).



Fonte: autora (2023).

*As médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. ^{ns} não significativo.

Os dados obtidos de nitrito e potássio observados na figura 3 demonstram-se constantes entre os pontos, não apresentando diferença significativa, sendo que esses resultados corroboram com valores encontrados nos estudos de Wroblewski et al. (2020) e Da Silva, Andrade e Webler (2019).

Em relação aos valores de nitrito, estes se encontram abaixo do valor determinado pela resolução CONAMA 357, no qual o valor máximo permitido é de $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ de NO_2^- em corpos d'água com classificação II. A legislação não possui valores decretados que são permitidos para potássio.

Observa-se que o fósforo e nitrato possuíram o mesmo comportamento de decréscimo da entrada para a saída, sendo que fósforo apresentou maior decréscimo. Porém foi constatado que o fósforo está acima do nível máximo permitido pela resolução CONAMA 357 sendo $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ de P em corpos d'água com classificação II, e também se encontra acima do valor permitido para águas com classificação III com valor máximo de $0,15 \text{ mg.L}^{-1}$ de P, no entanto os valores de nitrato observados ficaram abaixo do máximo permitido pela resolução CONAMA 357 que é de 10 mg.L^{-1} de NO_3^- para a classificação II, resultado semelhante ao encontrado no trabalho de Volpi et al. (2022).

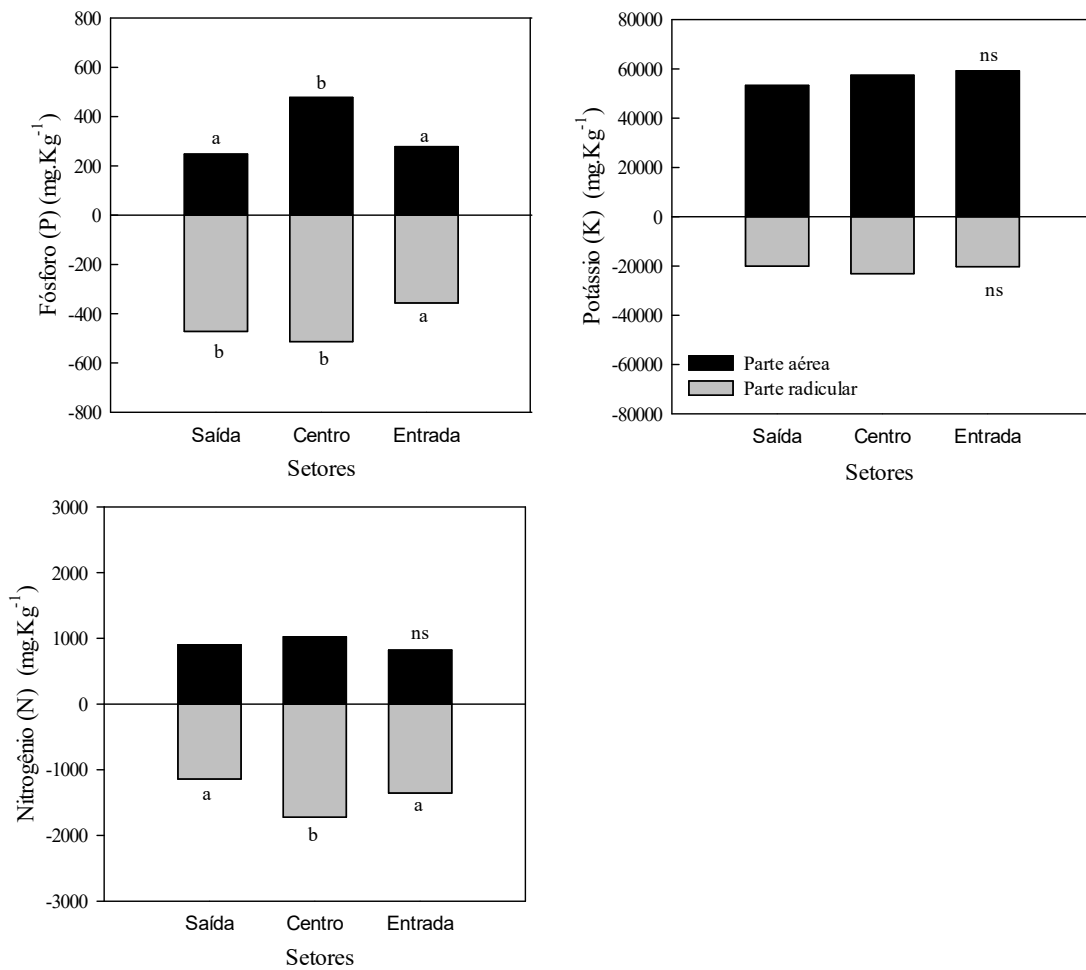
Estes resultados foram semelhantes aos estudos de Silva, Casé e Lopes (2019), aos quais atribuíram às descargas de esgotos domésticos e atividades agropecuárias como as principais fontes de aporte de fósforo, causando poluição dos corpos de água e comprometendo sua qualidade. A presença de lavouras ao redor da área, assim como a ausência de matas ciliares pode ter contribuído para estes resultados.

Em relação aos valores de amônia foi observado que houve aumento do seu nível da entrada para a saída, de forma crescente, assim como foi verificado no estudo de Brito et al. (2021), o qual observou concentrações elevadas de amônia e atribuiu este resultado a grande presença e plantas que facilita o aumento da matéria orgânica, que quando decomposta libera amônia para a água. O mesmo autor destaca também que as elevadas precipitações pluviométricas podem influenciar em valores mais altos deste elemento.

De acordo com a resolução CONAMA 357 o valor máximo estabelecido de amônia NH_3 , para corpos de água de classificação II é de $3,7 \text{ mg.L}^{-1}$ para pH 7,5, $2,0 \text{ mg.L}^{-1}$ para pH 7,5 e 8,0, $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$ para pH 8,0 e 8,5 e $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$ para pH $> 8,5$, ou seja, os níveis encontrados não ultrapassam os limites estabelecidos, não ofertando riscos a saúde.

3.4 ANÁLISE DE PLANTA

Figura 4 – Concentração de fósforo, potássio e nitrogênio total em amostras de plantas coletadas em três posições em uma área do Lajeado Pardo, em Frederico Westphalen, RS (2023).



Fonte: autora (2023).

*As médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. ^{ns} não significativo.

Em relação ao fósforo na planta obtiveram-se concentrações maiores na parte da raiz, assim como observado no estudo de Silvério (2017), o mesmo autor defende que isto pode ocorrer devido ao seu transporte e redistribuição na planta e não exatamente pela absorção, também destaca que estudos observaram que o acúmulo deste nutriente nas raízes pode ocorrer se houver baixo suprimento externo, para evitar toxidez na parte aérea.

A quantidade de potássio encontrada nas plantas foi significativamente maior na parte aérea, assim como apresentado no estudo de Demarco et al. (2018). De acordo Martins (2014) isto acontece em função da necessidade deste nutriente para o crescimento da planta, sendo assim, o processo de translocação deste nutriente é facilitado das raízes para as folhas. O mesmo

autor cita que uma das principais funções do potássio na planta é na abertura e fechamento dos estômatos que influencia na regulação do potencial hídrico das células.

Em pesquisa realizada por Palma (2012) de análise de macrófita como fitorremediadora, foram encontrados valores mais altos para nitrogênio e fósforo nas plantas em relação a este trabalho, mas o referido trabalho não utilizou as partes separadas da planta, por este fato pode ter influenciado nestes valores mais altos.

Para nitrogênio foi observado maiores concentrações de valores nas raízes, assim como encontrado por Martins (2014) em uma análise do potencial fitorremediador de planta macrófita em ambientes naturais, o autor destaca que este comportamento pode estar associado à idade da planta. Os resultados obtidos por Martins et al. (2011) corroboram esta afirmativa, ao encontrarem valores menores de nitrogênio na planta quando esta atinge a maturidade, atrelando isto as mudanças fisiológicas com o desenvolvimento da planta, ou até mesmo ao aumento da competição.

Em relação à posição das plantas, é possível observar que houve mais acúmulo de substâncias no centro, podendo indicar maior contaminação nessa área. Neste sentido, as espécies macrófitas possuem potencial fitorremediador devido a sua capacidade de tolerância a ambientes contaminados, permitindo seu rápido crescimento, assim como alta absorção dos elementos disponíveis, gerando uma descontaminação do local em que estão presentes (RODRIGUES et al., 2017). Dessa forma é possível afirmar que os nutrientes acumulados na planta refletem a contaminação do ambiente.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da realização do cálculo do índice do estado trófico foi constatado que a área pode ser classificada em oligotrófica, ou seja, significa que é baixa a carga de nutrientes, não havendo interferência para seu uso.

Em relação à análise microbiológica é possível afirmar que houve uma remoção das bactérias satisfatória, principalmente nos pontos da saída que reduziram a níveis muito mais baixos que nos pontos iniciais de entrada da água.

Para a análise de água, foi observado que o fósforo apresentou um decréscimo da entrada para a saída nas amostras de água, porém não foi suficiente para atender ao máximo permitido pela legislação. A amônia, nitrito e nitrato apresentaram valores abaixo do máximo permitido pela legislação, não apresentando riscos à saúde ou dano ambiental. Em relação ao potássio não pode ser afirmada a sua toxicidade, pois não há legislação vigente neste caso.

A partir das observações realizadas é possível supor que o acúmulo dos elementos no tecido vegetal pode representar o potencial de fitorremediação da planta macrófita *Hedychium coronarium* para nitrogênio, fósforo e potássio, contribuindo para manter a área em baixo grau de eutrofia, possuindo também alta eficiência na depuração da água em relação à presença de coliformes totais e *E. coli*. No entanto, existem alguns fatores que podem ter influenciado nos resultados, tanto de forma cinérgica quanto antagônica. Por isso é indicado realizar um monitoramento periódico da qualidade da água e fazer novos testes para certificar a efetividade desta espécie como fitorremediadora.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, B. V. **Avaliação do potencial fitoextrator de Hedychium Coronarium “J.Koenig” em pequena bacia degradada.** Orientador: Prof. Dr. Edner Baumhardt. 2020. 55 fl. TCC (Graduação) – Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), campus de Frederico Westphalen. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/>. Acesso em: 24 de julho de 2022.

ALVES, I. O. **Utilização do índice do estado trófico como uma ferramenta para gestão das águas de lagoas marginais visando os usos múltiplos.** 2021. 134fl. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica, Salvador, BA 2021.

APHA, **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater** – SMEWW. American Public Health Association – APHA, 21th ed., Washington – USA, 2005.

ARNS, C. E.; PIOVEZANA, L. **Desenvolvimento econômico na micro-região de Frederico Westphalen (RS).** Revista Grifos, v. 17, n. 24, p. 61-74, 2008. Disponível em: [file:///C:/Users/Tailana%20Milene/Downloads/244-Texto%20do%20Artigo-747-1-10-20090507%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Tailana%20Milene/Downloads/244-Texto%20do%20Artigo-747-1-10-20090507%20(1).pdf). Acesso em: 12 de julho de 2022.

AWAN, F. et al. Qualidade de água potável de várias fontes dos distritos de Peshawar, Mardan, Kohat e Swat da província de Khyber Pakhtunkhwa, Paquistão. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.255755>. Acesso em: 09 de maio de 2022.

AZEVÊDO, E. L. et al. Perception of the local community: What is their relationship with environmental quality indicators of reservoirs?. **PloS one**, v. 17, n. 1, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0261945>. Acesso em: 07 de agosto de 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 357**, de 15 de junho de 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>> Acesso em: 16 de dezembro 2022.

BRITO, L. D. de et al. **Potencial de uso de macrófitas e biofilme como ferramenta de biorremediação na lagoa facultativa da estação de tratamento de esgoto de**

Mamanguape-PB. 2021. 110 fl. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal da Paraíba centro de ciências exatas e da natureza, João Pessoa, PB, 2021.

CAVUS, A.; SEN, F. Chemical and microbiological properties of Lake Aygır in Turkey and usage of drinking, fisheries, and irrigation. *Brazilian Journal of Biology*, v. 83, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.244494>. Acesso em: 08 de agosto de 2022.

CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). **Relatório de Qualidade das Águas interiores de São Paulo.** São Paulo: CETESB, 2004.

CHAN, E. W. C.; WONG, S. K. **Phytochemistry and pharmacology of ornamental gingers, *Hedychium coronarium* and *Alpinia purpurata*: a review.** *Journal of Integrative Medicine*, v. 13, n. 6, p. 368-379, 2015. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S2095-4964\(15\)60208-4](http://dx.doi.org/10.1016/S2095-4964(15)60208-4). Acesso em: 11 de maio de 2022.

CUNHA, A. H. N. et al. O reúso de água no Brasil: a importância da reutilização de água no país. **Revista Enciclopédia Biosfera - Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 7, n. 13, p. 1225, 2011. Disponível em: www.conhecer.org.br. Acesso em: 08 de junho, 2022.

DA SILVA, A. B. et al. **Análise microbiológica da água de bebedouros nas escolas públicas da cidade de Esperança/PB.** *South American Journal of Basic Education, Technical and Technological*, v. 6, n. 1, 2019. Disponível em: <file:///C:/Users/Tailana%20Milene/Downloads/2261-Texto%20do%20artigo-6292-1-10-20190801.pdf>. Acesso em: 10 de setembro de 2022.

DA SILVA, D. P. P.; DE ANDRADE, N. L. R.; WEBLER, A. D. Qualidade da água de nascentes urbanas: estudo de caso em microbacia Amazônica, município de Ji-Paraná/RO. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 10, n. 3, p. 90-102, 2019. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.003.0009>. Acesso em: 07 de agosto de 2022.

DEMARCO, C. F. **Fitorremediação de ambiente aquático contaminado por atividades antrópicas em Pelotas/RS**, 2018, 137 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 2018.

DHIR, B.; SHARMILA, P.; SARADHI, P. Pardha. Potential of aquatic macrophytes for removing contaminants from the environment. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 39, n. 9, p. 754-781, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1080/10643380801977776>. Acesso em 20 de julho de 2022.

FACCO, D. S. et al. Monitoramento da dinâmica de macrófitas aquáticas a partir do índice de estado trófico e reflectância espectral. **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, v. 19, 2019. Disponível em: <http://marte2.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/marte2/2019/10.31.13.37/doc/98023.pdf>. Acesso em: 26 de novembro de 2022.

FERREIRA, E.; CAVALCANTI, P.; NOGUEIRA, D. **ExpDes.pt: Experimental Designs pacakge (Portuguese)**. R package version 1.1.2., 2021.

FIGUEIREDO, S. A. de et al. **Análise do potencial fitorremediador e energético da biomassa das espécies *Eichhornia crassipes* (aguapé) e *Pistia stratiotes* (alface d'água)**. 2018. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal da Paraíba centro de ciências exatas e da natureza, João Pessoa, PB, 2018.

FRIES, J.; GETROST, H.; MERCK, D. E. **Organic reagents trace analysis**. E. Merck, 1977, pg. 304. Método do Tetrafenilborato de Sódio.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2020. **Resultado dos Dados Preliminares do Censo – 2020**. Disponível em: <www.ibge.gov.br/cidade>. Acesso em: 05 de mai. 2020.

KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **MeteorologischeZeitschrift**, v. 15, n. 3, p. 259-263, 2006. Disponível em: https://opus.bibliothek.uni-augsburg.de/opus4/frontdoor/deliver/index/docId/40083/file/metz_Vol_15_No_3_p259263_World_Map_of_the_Koppen_Geiger_climate_classification_updated_55034.pdf. Acesso em: 23 de agosto de 2022.

LIN, J. L. et al. Eutrophication factor analysis using Carlson trophic state index (CTSI) towards non-algal impact reservoirs in Taiwan. **Sustainable Environment Research**,

v. 32, n. 1, p. 1-12, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s42834-022-00134-x>. Acesso em: 25 de julho de 2022.

MARQUEZI, M. C.; GALLO, C. R.; DOS SANTOS DIAS, C. T. Comparação entre métodos para a análise de coliformes totais e *E. coli* em amostras de água. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 69, n. 3, p. 291-296, 2010. Disponível em: [file:///C:/Users/Tailana%20Milene/Downloads/32628-Texto%20do%20artigo-247-31459-10-20180710%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Tailana%20Milene/Downloads/32628-Texto%20do%20artigo-247-31459-10-20180710%20(1).pdf). Acesso em: 02 de setembro de 2022.

MARTINS, D. F. F. et al. Determinação de Nitrogênio total e proteína bruta em *eichhornia crassipes* presentes no rio Apodi/Mossoró-RN. **Periódico Tchê Química**. Vol. 8 - N. 15 – JAN/2011. Porto Alegre – RS. Brasil. DOI: [10.52571/PTQ.v8.n15.2011.8_Periodico15_pgs_7_13.pdf](https://doi.org/10.52571/PTQ.v8.n15.2011.8_Periodico15_pgs_7_13.pdf). Acesso em: 14 de dezembro de 2022.

MARTINS, D. F. F. Estudo integrado do potencial fitorremediador da *Eichhornia crassipes* em ambientes naturais e sua utilização para obtenção de extratos proteicos. 2014. 164 f. Tese (Doutorado em Físico-Química; Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

MC KAY, F. et al. Suitability for classical biological control of *Hedychium coronarium* in Argentina. **BioControl**, v. 66, n. 5, p. 585-599, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10526-021-10100-y>. Acesso em: 20 de agosto de 2022.

NINA, A. S.; SZLAFSZTEIN, C. F. **Água, recurso natural e passivo ambiental: Relações entre a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil**. In: XXI SBRH – Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2015, Brasília, DF. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/4/PAP019150.pdf>. Acesso em: 11 de abr. 2022.

ODERICH, E. H.; MIGUEL, L. de A. História e situação da agricultura e do desenvolvimento rural em quatro municípios do noroeste do Rio Grande do Sul. **COLÓQUIO - Revista do Desenvolvimento Regional**, Taquara, v. 14, n. 1, p. 115 - 132, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.26767/570>. Acesso em: 15 de maio de 2022.

OLIVOTO, T. **Metan: Análise de ensaios em vários ambientes**. R package version 1.13, 2021.

PALMA-SILVA, C. et al. Uso de *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms para fitorremediação de ambientes eutrofizados subtropicais no sul do Brasil. **PERSPECTIVA**, Erechim. v.36, n.133, p.73-81, março/2012. Disponível em: https://www.uricer.edu.br/site/pdfs/perspectiva/133_252.pdf. Acesso em: 10 de dezembro de 2022.

PAULA, L. G. P. et al. **Qualidade microbiológica e índice de estado trófico dos rios Renato e Caiabi, afluentes do rio Teles Pires-MT**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Sinop, 2022. Disponível em: https://bdm.ufmt.br/bitstream/1/2501/1/TCC_2021_LARISSA%20GABRIELA%20PORTILIOTTI%20DE%20PAULA.PDF. Acesso em: 20 de novembro de 2022.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing** Vienna, Austria R Foundation for Statistical Computing, , 2018.

RODRIGUES, J. V. **Análise do potencial fitoextrator da macrófita aquática pontederia parviflora alexander em soluções de arsênio III e cromo III**. 2017. 38 fl. TCC (Graduação) – Engenharia Ambiental, do Departamento Acadêmico de Ambiental (DAAMB), do Câmpus Campo Mourão, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/7012/2/potencialfitoextratormacrofita.pdf>. Acesso em: 24 de julho de 2022.

ROSA, G. M.; SILVA, F. R.; FLACH, K. A. Educação Ambiental na Educação Escolar e a responsabilidade social: desafios e possibilidades nas questões ambientais. **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, São Paulo, V. 16, n° 5, p. 411-430, 2021. Disponível em: <https://periodicos.unifesp.br>. Acesso em: 28 de mai. De 2022.

SILVA, A. M. C.; CASÉ, M.; LOPES, D. V. Qualidade da água como reflexo de atividades antrópicas em bacias hidrográficas do Nordeste, Brasil. **Geosul**, v. 34, n. 72, p. 102-123, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5007/1982-5153.2019v34n72p102>. Acesso em: 05 de dezembro de 2022.

SILVEIRA, C. A. da et al. Análise microbiológica da água do Rio Bacacheri, em Curitiba (PR). **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 23, p. 933-938, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522018163474>. Acesso em: 03 de dezembro de 2022.

SILVÉRIO, J. M. O. **O papel da macrófita aquática emersa *Montrichardia linifera* (Araceae) na ciclagem de fósforo e na bioacumulação de metais pesado em um sistema fluvial sob efeitos da urbanização**. 2017. 103 fl. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária. Natal, RN, 2017.

SOUSA DE MESQUITA, B. L. et al. Índice de Estado Trófico de Lagos de Águas Claras Associados ao Baixo Rio Tapajós, Amazônia, Brasil. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 7, p. 76-89, 2018. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.007.0008>. Acesso em: 09 de dezembro de 2022.

TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS, 1995.

VOLPI, G. B. et al. **Qualidade da água e dimensionamento amostral da microbacia Lajeado do Pardo em Frederico Westphalen**. 2022. 119 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Campus de Frederico Westphalen, Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, RS, 2022.

WROBLESCKI, F. A. et al. Impacto da antropização na qualidade da água e no solo de áreas ciliares avaliado em uma bacia hidrográfica na região Sul do Brasil. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 20, n. 1, p. 074-085, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5965/223811712012021074>. Acesso em: 14 de dezembro de 2022.