



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
Centro de Ciências Biológicas e da Saúde  
Departamento de Ciências Ambientais  
CURSO DE BACHARELADO EM GESTÃO E ANÁLISE  
AMBIENTAL  
Rod. Washington Luís, Km. 235 – Cx. Postal. 676  
CEP: 13565-905 – São Carlos – SP – Fone: (016) 3351-9776



## MONOGRAFIA II

# **AVALIAÇÃO DO EFEITO DA PROGESTERONA SINTÉTICA EM MACRÓFITAS (*Salvinia auriculata*)**

Aluna: Laiane Neri Sant'ana

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Marcela Bianchessi da Cunha-Santino

**SÃO CARLOS - SP  
2023**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS**  
**CURSO DE BACHARELADO EM GESTÃO E ANÁLISE AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DO EFEITO DA PROGESTERONA SINTÉTICA EM MACRÓFITAS**  
**(*Salvinia auriculata*)**

**Laiane Neri Sant'ana**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Ciências Ambientais da Universidade Federal de São Carlos como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Gestão e Análise Ambiental.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Marcela Bianchessi da Cunha Santino

**SÃO CARLOS - SP**  
**2023**

**AVALIAÇÃO DO EFEITO DA PROGESTERONA SINTÉTICA EM MACRÓFITAS  
(*Salvinia auriculata*)**

**LAIANE NERI SANT'ANA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado em 21 de agosto de 2023 ao Departamento de Ciências Ambientais da Universidade Federal de São Carlos como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Gestão e Análise Ambiental.



.....  
**Marcela Bianchessi da Cunha Santino**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente ao meu marido Virgilio Ricci por todo amor, carinho, paciência e suporte durante a minha jornada acadêmica, por me ensinar a nunca desistir e ser uma inspiração na minha vida. Agradeço também aos meus pais Selma e Celso Sant'ana por me inculcaram valores de honestidade, caráter e respeito e pelo amor com que me criaram.

Agradeço a professora Marcela pelos conselhos e ensinamentos e por ser a melhor orientadora que eu poderia ter. E também ao professor Irineu pelas orientações e aprendizagens proporcionadas. E a Luana, por colaborar comigo no laboratório e ser uma pessoa incrível.

Agradeço ao Alex que mesmo longe nunca deixa de me apoiar e ser meu melhor amigo. E aos amigos que a UFSCar me trouxe, Isabela, Melissa, Giovanni e Bruna nossas parcerias deram muito certo.

Agradeço a UFSCar por ser essa instituição admirável que mesmo durante as restrições da pandemia e orçamentárias não deixou de nos dar suporte e fez o melhor possível. Tenho orgulho de fazer parte dessa universidade.

Agradeço, também, ao Departamento de Hidrobiologia, pela receptividade ao longo da minha pesquisa e aos professores do Curso de Gestão e Análise Ambiental, todos contribuíram para meu desenvolvimento pessoal e profissional.

## RESUMO

Os microcontaminantes são substâncias que vêm sendo encontradas nos diversos compartimentos ambientais. Esses compostos geram preocupações acerca dos seus efeitos a médio-longo prazo, sobretudo a categoria dos disruptores endócrinos que podem causar prejuízos à biodiversidade como queda na fertilidade e alterações genéticas nos seres vivos. Nesse contexto, este estudo avaliou a ação da progesterona sintética sobre o crescimento da área foliar da macrófita flutuante *Salvinia auriculata*. Por ser um fármaco microcontaminante, acredita-se que a progesterona cause impactos negativos no desenvolvimento (crescimento e reprodução) da *S. auriculata*. Foram analisadas três concentrações diferentes da progesterona diluída em água: Tratamento A = 0,225 mg/L, B = 0,450 mg/L e C = 0,900 mg/L. Para cada concentração utilizou-se 100 indivíduos de *S. auriculata*, sendo 50 para o Tratamento Controle (sem adição de hormônio) e 50 para os demais tratamentos. A área foliar de *S. auriculata*, em cada tratamento, foi medida ao longo de 5 semanas e, na sequência, utilizou-se a modelagem matemática para parametrizar o crescimento da macrófita. Surpreendentemente, os resultados mostraram que o crescimento da *S. auriculata* foi significativamente mais acelerado nos tratamentos com a progesterona, sugerindo que esse hormônio estimulou o seu crescimento nas concentrações testadas. Contudo, o elevado crescimento de macrófitas, também, pode ser prejudicial aos ambientes aquáticos, dificultando os usos múltiplos da água e reduzindo a produtividade das plantas submersas, uma vez que as espécies flutuante, como a *S. auriculata*, bloqueiam a radiação subaquática.

**Palavras-chave:** contaminantes emergentes, disruptores endócrinos, macrófitas, modelos matemáticos.

## ABSTRACT

Microcontaminants are substances that have been found in various environmental compartments. These compounds raise concerns about their effects in the medium to long term, especially the category of endocrine disruptors that can cause damage to biodiversity such as a drop in fertility and genetic changes in living beings. In this context, this study evaluated the action of synthetic progesterone on the growth of the leaf area of the floating macrophyte *Salvinia auriculata*. Considering that it is a microcontaminant drug, it is believed that progesterone causes negative impacts on the development (growth and reproduction) of *S. auriculata*. Three different concentrations of progesterone diluted in water were analyzed: Treatment A = 0.225 mg/L, B = 0.450 mg/L and C = 0.900 mg/L. For each concentration, 100 individuals of *S. auriculata* were used, 50 for the Control Treatment (without hormone addition) and 50 for the other treatments. The leaf area of *S. auriculata*, in each treatment, was measured over 5 weeks and, subsequently, mathematical modeling was used to parameterize the growth of the macrophyte. Surprisingly, the results showed that the growth of *S. auriculata* was significantly more accelerated in treatments with progesterone, suggesting that this hormone stimulated its growth at the tested concentrations. However, the high growth of macrophytes can also be harmful to aquatic environments, making the multiple uses of water difficult and reducing the productivity of submerged plants, since floating species, such as *S. auriculata*, block sub-aquatic radiation.

**Keywords:** emerging contaminants, endocrine disruptors, macrophytes, mathematical modeling.

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	8
2.	OBJETIVOS	8
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
	3.1 CONTAMINANTES EMERGENTES	9
	3.2 FÁRMACOS E DISRUPTORES ENDÓCRINOS	9
	3.3 MACRÓFITAS AQUÁTICAS	11
4.	METODOLOGIA	12
	4.1 ÁREA DE ESTUDO	12
	4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL: DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS	14
	4.3 TRATAMENTOS DOS DADOS: MODELAGEM E ANÁLISE ESTATÍSTICA	17
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
6.	CONCLUSÕES	22
7.	PERSPECTIVAS	22
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23

## 1. INTRODUÇÃO

Os contaminantes emergentes são um grupo de substâncias que são subprodutos do estilo de vida e dos métodos de produção atuais. O aumento da geração desses contaminantes vem acentuando sua ocorrência tanto no ambiente, quanto nas estações de tratamento de água (TORDIN, 2018). Certas características desses compostos têm chamado a atenção dos pesquisadores e gerado preocupações, como a capacidade de se manter durante longo tempo no ambiente, de reagir com outras substâncias tornando-se tóxicos e sua difícil remoção da água através dos métodos convencionais de tratamento (RODRIGUES, 2018).

Dentre os contaminantes emergentes, um dos grupos mais preocupantes é o dos disruptores endócrinos. Estas substâncias conseguem mimetizar hormônios naturais no organismo dos seres vivos, provocando disfunções no sistema endócrino (GUIMARÃES, 2004). Vários distúrbios já foram observados no organismo e no comportamento de diversos animais como: feminilização de peixes, queda na deposição de ovos e deformidades em filhotes (SANMARTA, 2001).

As macrófitas, por sua vez, são um grupo de plantas aquáticas que reúne grande variedade de espécies. São adequadas como bioindicadores e para pesquisas científicas por apresentarem características como: bioacumulação, alta distribuição e produtividade e sensibilidade às toxinas. Logo as macrófitas podem ser capazes de reagir se houver algum tipo de micro contaminante no ambiente (POZZA & SANTOS, 2015).

Hormônios são microcontaminantes e, portanto, acredita-se que a progesterona sintética prejudique o crescimento das macrófitas, diminuindo sua área foliar e alterando o seu desenvolvimento. No presente estudo, exemplares de *Salvinia auriculata* foram expostas ao hormônio desogestrel que é um tipo de progesterona sintética. O efeito da progesterona no crescimento da planta foi avaliado através da medição de sua área foliar ao longo de cinco semanas em três concentrações distintas.

## 2. OBJETIVOS

O objetivo geral deste estudo foi avaliar os efeitos da progesterona sintética, no crescimento e desenvolvimento da macrófita flutuante, *Salvinia auriculata*.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 CONTAMINANTES EMERGENTES**

Os contaminantes emergentes correspondem a inúmeros compostos químicos que vêm sendo detectados nos compartimentos ambientais nos últimos anos (MONTAGNER et al., 2017). Estes compostos incluem pesticidas, fármacos, cosméticos, aditivos industriais, plastificantes, dentre outras substâncias provenientes da evolução tecno-industrial (GIL et al., 2012; LIMA et al., 2017). As principais formas de entrada desses contaminantes no ambiente é através de efluentes domésticos, hospitalares e de atividades agropastoris (CARTAXO, 2020).

Por serem encontrados geralmente em pequenas concentrações são chamados de microcontaminantes e se tornam difíceis de serem identificados no ambiente (LIMA et al., 2017; OVIEDO & AGA, 2016). Porém, o aumento gradativo das quantidades detectadas e sua introdução constante no ambiente têm preocupado os pesquisadores, outro agravante é que podem reagir com outras substâncias, alterando suas moléculas originais e formando compostos tóxicos (RODRIGUES, 2018).

Embora pesquisas ecotoxicológicas sugiram que sua presença pode afetar a saúde humana, sobretudo o sistema endócrino, a grande maioria dessas substâncias não está incluída nos programas de monitoramento de rotina exigidos pela legislação da maioria dos países, incluindo o Brasil (MONTAGNER, 2017). Além disso, poucos estudos foram feitos acerca da presença de contaminantes emergentes nas matrizes aquáticas brasileiras (PESCARA, 2014).

As estações de tratamento de esgoto brasileiras são eficazes em eliminar os poluentes clássicos da água, porém, são insuficientes para remover os microcontaminantes que, já foram detectados mesmo em águas que passaram pelo tratamento e foram consideradas potáveis (ALVES FILHO, 2015). Alguns tratamentos alternativos têm se mostrado promissores como o uso de carvão ativado, processos oxidativos avançados e filtração por membrana, como demonstrou estudo de Cartaxo et al. (2020).

#### **3.2 FÁRMACOS E DISRUPTORES ENDÓCRINOS**

De acordo com o Instituto de Ciência, Tecnologia e Qualidade (ICTQ, 2014), o Brasil é um dos países que mais consomem medicamentos, sendo que mais de 70% da população brasileira já fez uso de algum fármaco por conta própria. Quando esses medicamentos são

ministrados no organismo, parte de sua composição é absorvida, porém, o restante é metabolizado e excretado alcançando as águas residuais (SOUZA et al., 2020). De fato, o esgoto doméstico é a principal via de entrada de substâncias farmacológicas nos corpos hídricos. Outras formas são: o escoamento superficial urbano, o escoamento de áreas agrícolas e os lixiviados de aterros sanitários (BENOTTI et al., 2009).

Embora as concentrações de fármacos encontradas na água sejam relativamente baixas, alguns pesquisadores postulam que a exposição a longo prazo pode trazer riscos à saúde (BENOTTI et al., 2009). Um dos grupos mais estudados, que provoca maior preocupação, é o dos disruptores endócrinos como hormônios, esteróides, agrotóxicos, metais traços, entre outros (RODRIGUES et al., 2018).

O sistema endócrino tem a função de produzir e secretar hormônios que regulam o funcionamento de outros órgãos e sistemas do corpo. Desta forma sua importância é vital para os seres vivos. Os desreguladores endócrinos agem no organismo substituindo os hormônios naturais, alterando suas quantidades originais ou ainda bloqueando seu funcionamento (GUIMARÃES, 2004).

Os primeiros estudos acerca dos desreguladores endócrinos surgiram a partir da década de 1940, quando se notou que os filhos e filhas cujas mães utilizaram o medicamento dietilestilbestrol durante a gravidez, desenvolviam uma série de desordens no sistema reprodutivo como tumores, infertilidade e problemas na gestação (BILA e DEZOTTI, 2007).

Desde então, diversos impactos nos ecossistemas vêm sendo observados ao longo dos últimos anos, como: o declínio da fertilidade e da incubação de ovos de peixes, pássaros e tartarugas; a feminilização de peixes machos; deformidades em filhotes de aves, peixes e tartarugas, entre outras disfunções. (SILVA & CONFORTI, 2013; SANMARTA, 2001). Os desreguladores endócrinos também têm propriedades lipofílicas, o que permite que se acumulem no tecido adiposo humano e animal, persistindo no organismo por muito tempo (SILVA & CONFORTI, 2013).

Progesteroides são hormônios esteróides que podem ser naturais (progesterona) ou sintéticos. Os progesteroides sintéticos têm a função de mimetizar a progesterona e assim obter diferentes efeitos dependendo das variações na sua estrutura molecular, desta forma podem ter função antiestrogênica, androgênica ou antiandrogênica (VIGO et al., 2011). A progesterona natural é normalmente secretada nos ovários, testículos e glândulas supra renais e na placenta durante a gestação, desempenhando assim um importante papel na formação do bebê. Os progesteroides sintéticos, por sua vez, são utilizados pela farmacologia em tratamentos pós-

menopausa, endometriose, disfunções hormonais, amenorreia, tumores de útero e mama e como contraceptivos (FABRI & NICOLINI, 2016).

O Desogestrel é um medicamento que contém 0,075 mg por comprimido do hormônio sexual sintético progestagênio. Por conter apenas um tipo de hormônio, ele é chamado de minipílula, ao contrário da pílula que contém hormônios combinados. Além do hormônio, ele contém algumas substâncias excipientes, ou seja, inertes, como racealfatocoferol, povidona, lactose monoidratada, amido, dióxido de silício, talco, ácido esteárico, hipromelose, macrogol e dióxido de titânio. O Desogestrel é utilizado como contraceptivo impedindo a entrada dos espermatozoides no útero (DESOGESTREL NOVARTIS, 2022).

### 3.3 MACRÓFITAS AQUÁTICAS

Macrófitas aquáticas são um grande conjunto de vegetais fotossintetizantes que incluem diferentes grupos de plantas como, por exemplo, macroalgas, briófitas, pteridófitas, e angiospermas. O tamanho dos espécimes pode variar de organismos muito pequenos com cerca de 0,5mm até a *Victoria amazonica* que pode alcançar 2,5 m (ESTEVES, 2011). Esses organismos habitam ambientes aquáticos ou alagados, de água doce ou salobra, sendo encontradas submersas, parcialmente submersas ou flutuantes. Desta forma, as macrófitas apresentam diferentes características morfológicas, favorecendo sua adaptação a diversos tipos de ecossistemas e a realização de diferentes tipos de funções ecológicas (POMPÊO, 2008; TUNDISI, 2008).

Dentre suas funções ecológicas, as macrófitas possuem alta produtividade e servem de alimento para diversos componentes dos ecossistemas que elas habitam, desde pequenos invertebrados até grandes mamíferos, representando um importante elo da cadeia alimentar. Até mesmo os produtos de sua decomposição são consumidos além de serem um rico substrato utilizado por outras plantas aquáticas (TUNDISI, 2008).

Sua alta produção de oxigênio beneficia comunidades inteiras de animais, além de verificar-se que sua ampla disponibilidade abastece populações de mamíferos e pássaros em processo de migração sazonal. As áreas de lagos cobertas por macrófitas oferecem locais de pouso, deposição de ovos, abrigo contra predadores ou camuflagem para os mesmos (POMPÊO, 2008). Contudo, o crescimento desordenado destas plantas aquáticas também pode causar prejuízos ao ambiente e seus serviços ecossistêmicos. Em áreas de lançamento de esgoto e de grande carga orgânica podem provocar eutrofização, além disso, sua proliferação em

reservatórios de hidrelétricas atrapalham a geração de eletricidade (BIUDES & CAMARGO, 2008).

Macrófitas aquáticas possuem grande capacidade de bioacumulação permitindo serem utilizadas como bioindicadores em biomonitoramentos e pesquisas científicas além de apresentarem alta produtividade, facilidade de coleta e amostragem, longo ciclo de vida, baixa mobilidade e alta variabilidade genética (WOLFF et al., 2012; POZZA & SANTOS, 2015).

O potencial fitorremediador das macrófitas também vêm sendo investigado para a redução de poluentes das águas residuais. Um estudo de TAVARES et al., 2008, demonstrou que a macrófita *Lemna valdiviana* foi eficiente no tratamento terciário de efluentes da suinocultura, reduzindo a demanda química de oxigênio.

A *Salvinia auriculata* é uma macrófita livre e flutuante comumente encontrada em lagos e reservatórios de água doce no Brasil. Sob condições ambientais favoráveis seu crescimento se dá de forma rápida, podendo colonizar grandes áreas em curto espaço de tempo (WOLFF et al., 2012).

## **4. METODOLOGIA**

### **4.1 ÁREA DE ESTUDO**

As macrófitas da espécie *Salvinia auriculata*, bem como a água utilizada no estudo foram coletadas na Represa do Rio Monjolinho localizado dentro da Universidade Federal de São Carlos – *campus* São Carlos posicionada nas coordenadas UTM -21.985536, -47.878056 (Figura 1). Os bioensaios de crescimento foram realizados no Laboratório de Bioensaios e Modelagem Matemática do Departamento de Hidrobiologia (Figura 2).

Figura 1: Macrófitas coletadas no Reservatório do Rio Monjolinho (Foto: Marcela B. da Cunha-Santino).



Figura 2: Macrófitas aclimatadas em tanque no Laboratório de Bioensaios e Modelagem Matemática, DHb, UFSCar (Foto: Laiane Neri Sant'ana).



#### 4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL: DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS

Após serem coletadas, as macrófitas aquáticas foram lavadas com água da torneira, selecionadas com base em estágios de crescimento similares e aclimatadas. O critério para seleção dos indivíduos utilizados no experimento foi que eles estivessem aparentemente saudáveis e tivessem todos aproximadamente o mesmo tamanho.

Foram realizados três tratamentos, sendo diferenciados pela concentração da progesterona sintética dissolvida em água do reservatório do Monjolinho (Tabela 1):

Tabela 1: Concentração de progesterona sintética para cada tratamento (mg/L)

Tratamentos	Concentração de progesterona (mg/L)
A	0,225
B	0,450
C	0,900
Controle	0 (apenas água do Monjolinho)

Para cada tratamento, utilizou-se 100 indivíduos da macrófita aquática flutuante *Salvinia auriculata* sendo 50 indivíduos mantidos em meio com progesterona sintética (Tratamentos A, B e C; Tabela 1) e 50 indivíduos do Tratamento Controle (apenas água do reservatório do Monjolinho).

Os indivíduos foram acondicionados em béqueres com 200 ml de água do reservatório do Monjolinho. Nos tratamentos com progesterona sintética (A, B e C), a água continha o hormônio dissolvido nas concentrações especificadas na Tabela 1, enquanto no Tratamento Controle foi adicionado somente água do reservatório do Monjolinho. Em cada tratamento foram utilizados 10 frascos com 5 indivíduos para cada grupo (Figura 3). Os bioensaios foram mantidos a temperatura ambiente, em média  $21^{\circ} \pm 2,01^{\circ} \text{C}$ .

Figura 3: Bioensaios de crescimento de *Salvinia auriculata* Tratamento Controle (marcação amarela: esquerda) e Tratamento com progesterona sintética (marcação azul: direita); (Foto: Laiane Neri Sant'ana).



Uma vez por semana, os indivíduos foram fotografados com o auxílio de uma plataforma iluminada com uma base milimetrada (Figura 4). As áreas foliares foram calculadas pelo programa Image J. Para maior precisão dos dados, todas as fotos foram tiradas no mesmo local, com a câmera posicionada sempre à mesma distância sobre a base milimetrada, as

dimensões na base são de 0,5 cm<sup>2</sup> para os quadrados menores (Figura 3), sendo essas, utilizadas como escala no Image J.

Somente a área da folha foi utilizada no cálculo. O sistema radicular e partes mortas foram desconsideradas. Semanalmente, com o Image J foi possível calcular a evolução (aumento ou diminuição) da área foliar de cada indivíduo de *S. auriculata* durante 5 semanas. As variações temporais das áreas foliares foram utilizadas para, no fim do experimento, calcular os coeficientes de crescimento dos exemplares de *S. auriculata* submetidos aos Tratamentos (A, B e C). Para cada tratamento, também foram acompanhadas as áreas foliares de exemplares de *S. auriculata* em meio sem adição da progesterona sintética (Tratamento Controle).

Figura 4: Indivíduos de *Salvinia auriculata* sobre a base milimetrada. As macrófitas dos tratamentos foram dispostas nessa base para serem fotografadas para calcular a evolução de suas áreas foliares (Foto: Laiane Neri Sant'ana).



### 4.3 TRATAMENTOS DOS DADOS: MODELAGEM E ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para a descrição do crescimento foi selecionado o modelo sigmoide (Equações 1 e 2):

$$\frac{dN}{dt} = \mu \times \left(1 - \frac{N}{K}\right) \quad (1)$$

em que: N = área foliar total;  $\mu$  = coeficiente de crescimento ( $\text{dia}^{-1}$ ); K = biomassa máxima de *S. auriculata* no frasco do bioensaio e t = tempo (d).

O tempo de duplicação ( $t_d$ ) das culturas é calculado pela Equação 2 (MITCHELL & TUR, 1975).

$$t_d = \frac{\ln 2}{\mu} \quad (2)$$

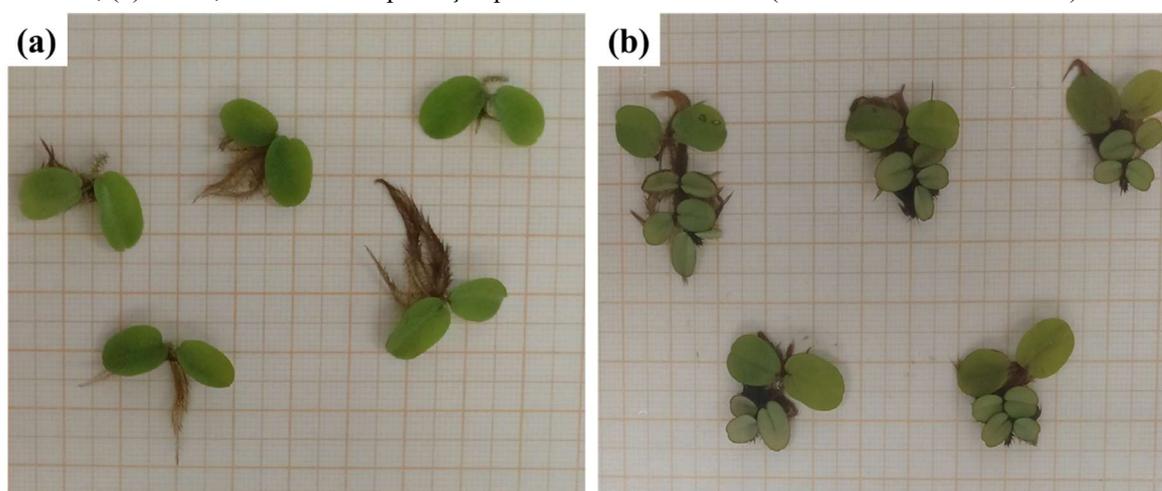
Os parâmetros do modelo foram obtidos a partir das variações temporais de área foliar ( $\text{cm}^2$ ), com regressão não linear; para tanto, foi utilizado o algoritmo iterativo de Levenberg-Marquadt (PRESS et al., 1991).

Após a execução do procedimento experimental, os resultados obtidos (áreas foliares do controle e de cada tratamento com progesterona sintética) foram tabelados de acordo com os tratamentos aplicados: (i) controle e (ii) 3 concentrações de progesterona sintética. As áreas foliares de *S. auriculata* foram acumuladas em função do tempo de exposição (5 semanas). A análise dos resultados foi realizada a fim de identificar se houve influência das concentrações de progesterona sintética sobre o crescimento e reprodução da *S. auriculata*. Para isso, realizou-se um teste de normalidade, para identificar se houve distribuição normal com os resultados obtidos. Após constatada que as áreas foliares não apresentaram distribuição normal, utilizou-se a análise não paramétrica de Kruskal-Wallis, seguida do pós teste de comparação múltipla de Dunn ( $p < 0,05$ ).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os tratamentos com progesterona sintética e o Tratamento Controle apresentaram reprodução durante o período experimental. Observou-se o brotamento de várias folhas novas cujas áreas foliares foram computadas no cálculo. Também foi possível notar que as folhas tanto do tratamento quanto do controle foram perdendo a coloração e vigor. Em alguns exemplares de *S. auriculata*, as bordas foliares se tornaram marrons; nesse caso essas partes foram desconsideradas no cálculo da área foliar (Figura 5).

Figura 5: Exemplares de *Salvinia auriculata* do Tratamento C (0,900 mg/L) sobre a base milimetrada em: (a) dia 0; (b) dia 35, mostrando a reprodução por meio de novas folhas (Foto: Laiane Neri Sant'ana).



O crescimento no Tratamento Controle foi diferente para os três Tratamentos A, B e C, respectivamente 0,225 mg/L, 0,450 mg/L e 0,900 mg/L de progesterona sintética. O crescimento nas concentrações 0,225 mg/L e 0,900 mg/L foram iguais com  $p < 0,05$ ; porém a concentração 0,450 mg/L foi diferente ( $p < 0,001$ ).

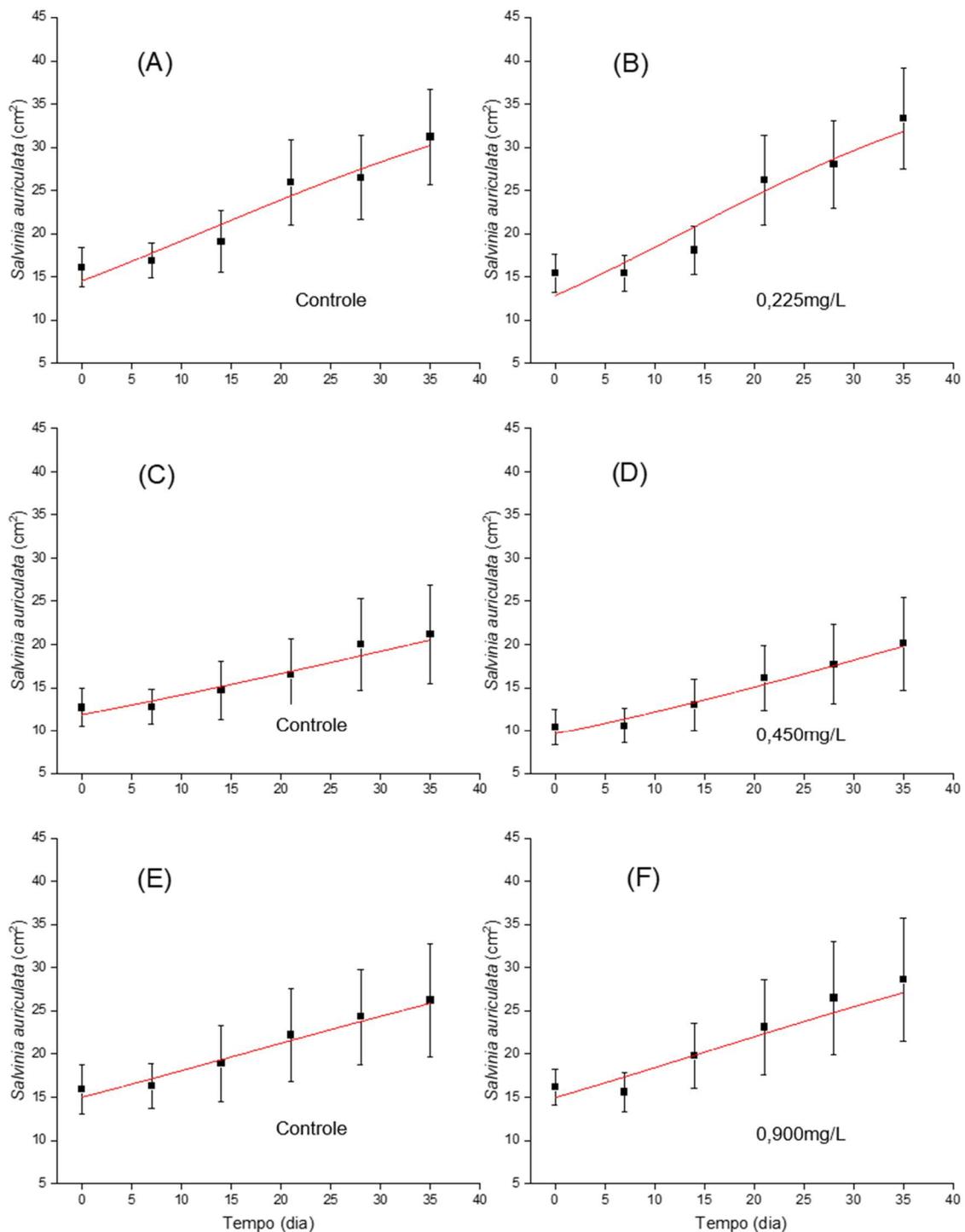
A Tabela 2 mostra a parametrização do crescimento da *Salvinia auriculata* ao longo de 5 semanas. A variação temporal do crescimento (com base na área foliar) é mostrada na Figura 6. Foi possível observar que, o crescimento de *S. auriculata* nos Tratamentos (A, B e C) foi mais acelerado que o do Tratamento Controle para as três concentrações.

Tabela 2: Coeficientes de crescimento  $\mu$  ( $\text{dia}^{-1}$ ) e tempo de duplicação de *Salvinia auriculata* nos Tratamento A, B e C.

Concentrações	Tipo	$\mu$ ( $\text{dia}^{-1}$ )	Erro	$t_d$ (dia)
0,225 mg/L	Controle	0,047	0,007	14,7
	Tratamento A	0,059	0,009	11,7
0,450 mg/L	Controle	0,026	0,058	26,6
	Tratamento B	0,032	0,004	21,6
0,900 mg/L	Controle	0,032	0,004	21,6
	Tratamento C	0,036	0,008	19,2

No Tratamento A, o coeficiente de crescimento variou de  $0,059 \pm 0,009 \text{ dia}^{-1}$  representando um crescimento 23,4% mais elevado que o Tratamento Controle que foi cerca de  $0,047 \pm 0,007 \text{ dia}^{-1}$ . O Tratamento B obteve  $0,032 \pm 0,004 \text{ dia}^{-1}$ , ou seja 23,5% mais rápido que o Tratamento Controle de  $0,026 \pm 0,058 \text{ dia}^{-1}$ . O Tratamento C obteve  $0,036 \pm 0,008 \text{ dia}^{-1}$ , representando um crescimento 12,7% mais rápido que o Controle que obteve  $0,032 \pm 0,004 \text{ dia}^{-1}$ . Estes parâmetros indicaram que a *S. auriculata* cresceu mais rápido nas concentrações mais baixas de progesterona sintética e, a partir das concentrações de 0,450 mg/L e 0,900 mg/L, a aceleração do crescimento diminuiu.

Figura 6: Variação temporal da área foliar ( $\text{cm}^2$ ) dos exemplares de *Salvinia auriculata*.



Os coeficientes de crescimento da macrófita flutuante *Ricciocarpus natans* sob o efeito de um fungicida cúprico (Calda Bordalesa), indicou uma variação de  $0,027 \text{ dia}^{-1}$  a  $0,035 \text{ dia}^{-1}$  para o Tratamento Controle. Ao crescerem em contato com o fungicida, os exemplares de *R. natans* morreram (ZAGO, 2021). Araújo (2022) investigou o crescimento da *Ricciocarpus*

*natans* quando exposta ao surfactante dodecil sulfato de sódio DSS, sendo que os coeficientes de crescimento foram 0,015 dia<sup>-1</sup> para o Tratamento Controle e 0,009 dia<sup>-1</sup> para o Tratamento com surfactante. Em ambos os estudos, o contaminante teve efeito negativo sobre o crescimento da macrófita, no caso do fungicida observou-se que as macrófitas entraram em senescência e no caso do surfactante houve inibição do crescimento. No caso da *S. auriculata* ao adicionarmos o hormônio na água, houve o estímulo ao invés de inibição do crescimento, onde a macrófita chegou a apresentar um crescimento de até 0,059 dia<sup>-1</sup>.

Estudos sobre a influência de progesterona sintética ou outros hormônios sobre a *Salvinia auriculata* são escassos, porém existem muitos estudos sobre o efeito de contaminantes como cádmio, chumbo, cafeína, amoxicilina, entre outros (OTOMO et al., 2021; ALMEIDA, 2009; WOLFF et al., 2012). Santos e colaboradores (2020) analisaram a espécie utilizando a água de um rio poluído do estado de Pernambuco (Brasil), a água em questão apresentava excesso de nutrientes provocados pelo lançamento de esgoto doméstico. No estudo a *S. auriculata* não apresentou variação significativa no tamanho das folhas e ramos embora tenha apresentado alterações morfológicas como mudança na espessura da cutícula e danos ao mesófilo e aos tricomas.

Outro estudo realizado por Otomo et al. (2021) avaliou o efeito da mistura de oito tipos de drogas (amoxicilina, cafeína, carbamazepina, dipirona, ibuprofeno, losartana, omeprazol e tenivastatin) em três concentrações 10, 200, and 500 µg/L sobre duas macrófitas flutuantes *Lemna minor* e *Salvinia auriculata*. A mistura das oito substâncias inibiram o crescimento da *L. minor* desde 10 µg/L e não tiveram efeito significativo no crescimento da *S. auriculata* mesmo em 500 µg/L. Almeida (2009) observou que *S. auriculata* expostas a cádmio em diferentes concentrações (0; 1; 2,5; 5 e 10 µmol/L) não apresentaram redução de biomassa. Lazaro (2020) analisou a eficiência da macrófita *Eichhornia crassipes*, o aguapé como fitorremediador do hormônio feminino estriol observando se haveria alterações morfo-anatômicas (tamanho foliar, pecíolo, raiz e seus pelos, massa fresca e tecidos). A *E. crassipes* acumulou significativamente este contaminante em suas raízes, especificamente nos pêlos radiculares que, inclusive, aumentaram em quantidade, demonstrando que macrófitas flutuantes podem acumular substâncias hormonais, removendo-as da água. Mesmo assim, o tamanho da folha, pecíolo, raiz e massa fresca não tiveram variações significativas.

Foi surpreendente que a *Salvinia auriculata* apresentou crescimento mais acelerado ao ser exposta a progesterona sintética o que sugere que este hormônio estimulou o crescimento e

não apresenta risco às populações desta macrófita em específico. É possível que a macrófita tenha acumulado o hormônio em sua biomassa através de mecanismos de absorção ou adsorção.

Em relação ao crescimento elevado de populações de macrófitas em ambientes lânticos, grande biomassa de macrófitas também pode impactar negativamente os ambientes aquáticos a medida que a cobertura da superfície impede os raios solares de atingir as camadas mais profundas, inibindo assim a produção das espécies aquáticas submersas (BIUDES & CAMARGO, 2008).

## 6. CONCLUSÕES

A introdução dos contaminantes emergentes nos corpos hídricos têm sido cada vez maior e mais frequente, por isso é importante que estudos sobre o efeito dessas substâncias na biodiversidade aquática sejam realizados. O efeito da progesterona sintética sobre a espécie *Salvinia auriculata* demonstrou que as macrófitas expostas ao hormônio apresentaram um coeficiente de crescimento maior que seus respectivos Tratamento-Controle, sugerindo que a progesterona estimulou o crescimento das macrófitas. Tanto os exemplares mantidos no Tratamento, quanto os do Controle apresentaram brotamento de novas folhas embora tenham perdido coloração e vigor. Desta forma, os resultados sugerem que a progesterona não prejudicou o crescimento da *Salvinia auriculata* nas concentrações testadas. Neste estudo a *Salvinia auriculata* apresentou boa resistência e uma resposta biológica (aceleração no crescimento) quando exposta a um contaminante demonstrando potencial para ser utilizada como um bioindicador, contudo mais estudos são necessários para avaliar as possíveis qualidades bioindicadoras e fitorremediadoras dessa espécie.

## 7. PERSPECTIVAS

Quanto às perspectivas sugere-se avaliar o potencial fitorremediador da *Salvinia auriculata* para diferentes hormônios.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, G. W. de. **Avaliação do potencial bioindicador e fitorremediador de *Salvinia auriculata* Aublet na presença de cádmio e chumbo**. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

ARAÚJO, J. S. Contaminante emergente: investigação da atenuação no crescimento da macrófita aquática (*Ricciocarpus natans*) exposta ao surfactante. Monografia (Curso de Bacharelado em Gestão e Análise Ambiental) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2022.

ALVES FILHO, M. O perigo dos emergentes. **Jornal da Unicamp**. Campinas, 2015. Disponível em: <[https://www.unicamp.br/unicamp/sites/default/files/jornal/paginas/ju\\_623\\_paginacor\\_06e07\\_web.pdf](https://www.unicamp.br/unicamp/sites/default/files/jornal/paginas/ju_623_paginacor_06e07_web.pdf)> Acesso em: 20 de mar. de 2023.

BENOTTI, M. J.; TRENHOLM, R. A.; VANDERFORD, B. J.; LADY, J. C.; STANFORD, B. D.; SNYDER, S. A. Pharmaceuticals and endocrine disrupting compounds in U. S. drinking water. **Environmental Science & Technology**, v. 43, n. 3, p. 597-603, out./2009.

BILA, D. M.; DEZOTTI, M. Desreguladores endócrinos no meio ambiente. **Química Nova**, vol. 30, n. 3, p. 651-666, fev./2007.

BIUDES, J. F. V.; CAMARGO, A. F. M. Estudos dos fatores limitantes à produção primária por macrófitas aquáticas no Brasil. **Oecologia Brasil**, vol. 12, n. 1, p. 7-19, ago./2008.

CARTAXO, A. da S. B.; ALBUQUERQUE, M. V. da C.; SILVA, M. C. C. de P.; RODRIGUES, R. M. M. Contaminantes emergentes presentes em águas destinadas ao consumo humano: ocorrência, implicações e tecnologias de tratamento. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 61814-61827, ago./2020.

DESOGESTREL. [Bula]. Responsável técnico: Flávia Regina Pegorer. Paraná: Novartis Biociências S.A., 2022.

ESTEVES, F. de A. (Coord.). **Fundamentos em limnologia**. Rio de Janeiro: Interciências, 2011.

FABRIS, E. Z.; NICOLINI, K. P. Detecção de progesterona em tecidos vegetais de *Lactuca* sp. por espectroscopia. **Mundi Saúde e Biológicas**. Curitiba, v. 1, n. 2, p. 9-25, jan./dez. 2016.

GIL, M. J.; SOTO, A. M.; USMA, J. I.; GUTIÉRREZ, O. D. Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. **Producción + Limpia**, vol. 7, n. 2, p. 52-73, jul./dez. 2012.

GUIMARÃES, J. R. P. de F. Disruptores endócrinos no meio ambiente: problema de saúde pública e ocupacional. Biblioteca Virtual em Saúde. **Ministério da Saúde**. Disponível em: >[https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/trabalhador/pdf/texto\\_disruptores.pdf](https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/trabalhador/pdf/texto_disruptores.pdf)< Acesso em: 05 jan. 2023.

INSTITUTO DE CIÊNCIA TECNOLOGIA E QUALIDADE (ICQT). Automedicação no Brasil. 2014. Disponível em: <<https://ictq.com.br/pesquisa-do-ictq/353-indicacao-de-amigo-reforca-a-pratica-da-automedicacao>> Acesso em: 20 mar. 2023.

LAZARO, L. C. C. Fitorremediação em águas contaminadas com o hormônio estriol. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia de Biomateriais e Bioprocessos). Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade Estadual Paulista. Araraquara, p. 55, 2020.

LIMA, D. R. S.; TONUCCI, M. C.; LIBÂNIO, M.; AQUINO, S. F. de. Fármacos e desreguladores endócrinos em águas brasileiras: ocorrências e técnicas de remoção. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, vol. 22, n. 6, p. 1043-1054, nov./dez. 2017.

MITCHELL, D. S.; TUR, N. M. The rate growth of *Salvinia molesta* (S. auriculata ault.) in laboratory and natural conditions. **Journal of Applied Ecology**, v. 12, n. 1, p. 213–225, abr./1975.

MONTAGNER, C. C.; VIDAL, C.; ACAYABA, R. D. Contaminantes emergentes em matrizes aquáticas do Brasil: cenário atual e aspectos analíticos, ecotoxicológicos e regulatórios. **Química Nova**, vol. 40, n. 9, p. 1094-1110, jul./2017.

OTOMO, J. I.; JESUS, T. A. de; COELHO, L. H. G.; MONTEIRO, L. R.; HUNTER, C.; ROBERTS, J. PAHL, O. Effect of eight common Brazilian drugs on *Lemna minor* and *Salvinia auriculata* growth. **Environmental Science and Pollution Research**, vol. 28, p. 43747-43762, abr./2021.

OVIEDO, K. N.; AGA D. S. Lessons learned from more than two decades of research on emerging contaminants in the environment. **Journal of Hazardous Materials**, vol. 316, p. 242-251, out./2016.

PESCARA, I. C. **Ocorrência e remoção de contaminantes emergentes por tratamentos convencionais de água e esgoto**. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, p. 69, 2014.

POMPÊO, M. Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas. **Oecologia Brasil**, vol. 12, n. 3, p. 406-424, jul./2008.

POZZA, S. A.; PENTEADO, C. S. G. **Monitoramento e caracterização do ambiente**. São Carlos: EdUFSCar, 2015.

PRESS, W.H., SAUL A.T., WILLIAM T.V., BRIAN P.F. **Numerical Recipes in C: the art of scientific computing**. Cambridge University Press: New York, 994 p, 1993.

RASBAND, W. S. **ImageJ**, U. S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA, <https://imagej.nih.gov/ij/>, 1997-2018

RODRIGUES, J. S.; CORDEIRO, J.; CALAZANS, G. M.; CORDEIRO, J. L.; GUIMARÃES, J. C. S. Presença de fármacos e hormônios na água: uma análise cienciométrica. **Research, Society and Development**, v. 7, n. 6, p. 01-22, dez./2017.

SANMARTA, J. A ameaça dos disruptores endócrinos. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, v. 2, n. 3, p.18-29, jul/set 2001.

SANTOS, N. B. C dos; ARRUDA, E. C. P de; PINNA, G. F. de A. M. de; BARBOSA NETO, A. G.; OLIVEIRA, A. F. M de. Assessing the effects of water quality on leaf morphoanatomy, ultrastructure and photosynthetic pigment content of *Salvinia auriculata* Aubl. (Salviniaceae). **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 190, mar./2020.

SILVA, C. S.; CONFORTI, V. A. Disruptores endócrinos. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 17, p. 1098-1111, dez./2013.

SOUZA, C. C.; AQUINO, S. F.; SILVA, S de Q. Ensaio toxicológicos aplicados à análise de águas contaminadas por fármacos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 25, n. 21, p.217-228, mar/abr 2020.

TAVARES, F. de A.; RODRIGUES, J. B. R.; BELLI FILHO, P.; LOBO-RECIO, M. A.; LAPOLLI, F. R. Desempenho da macrófita *Lemna valdiviana* no tratamento terciário de efluentes de suinocultura e sua contribuição para a sustentabilidade da atividade. **Biotemas**. vol 21, n. 1, p. 17-27, mar/2008.

TORDIN, C. Contaminantes emergentes podem ser uma ameaça na água para consumo humano. **EMBRAPA**, 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/32796742/contaminantes-emergentes-podem-ser-uma-ameaca-na-agua-para-consumo-humano>> Acesso em: 20 de mar. de 2023.

TUNDISI, J. G., TUNDISI, T. M. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

VIGO, F.; LUBIANCA, J. N.; CORLETA. Progestógenos: farmacologia e uso clínico. **Revista Femina**, v. 39, n. 3, p. 127-137, mar/2011.

WOLFF, G.; PEREIRA, G. C.; CASTRO, E. M.; LOUZADA, J.; COELHO, F. F. The use of *Salvinia auriculata* as a bioindicator in aquatic ecosystems biomass and structure dependent on the cadmium concentration. **Brazilian Journal of Biology**, vol. 72, n. 1, p. 71-77, fev./2012.

ZAGO, C. F. S. Ação de um fungicida cúprico no crescimento de uma macrófita aquática flutuante. Monografia – Curso de Bacharelado em Gestão e Análise Ambiental, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2021.