

**INSTITUTO FEDERAL DE  
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
RIO DE JANEIRO**

## **Pós-graduação em Gestão Ambiental**

Campus Nilópolis

Cesar Macedo Lima Filho

**Avaliação da capacidade de fitorremediação por macrófitas para a gestão da eutrofização em reservatórios**

Nilópolis – RJ

2018

Cesar Macedo Lima Filho

**Avaliação da capacidade de fitorremediação por macrófitas para a gestão da eutrofização em reservatórios**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Especialista em Gestão Ambiental.

Orientador: João José Fonseca Leal

Nilópolis – RJ

2018

CIP - Catalogação na Publicação

L732a Lima Filho, Cesar Macedo  
Avaliação da capacidade de fitorremediação por macrófitas para  
a gestão da eutrofização em reservatórios / Cesar Macedo Lima  
Filho. -- Nilópolis, 2019.  
38 f. 30 cm.

Orientação: João José Fonseca Leal.

Trabalho de Conclusão de Curso (especialização) --Instituto  
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro,  
Especialização em Gestão Ambiental, 2019.

1. Gestão ambiental. 2. Eutrofização. 3. Reservatórios. 4.  
Macrófitas . 5. Fitorremediação. I. Título.

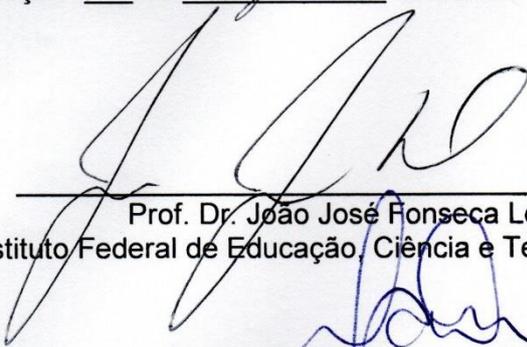
Elaborado pelo Módulo Ficha Catalográfica do Sistema Intranet do  
IFRJ - Campus Volta Redonda e Modificado pelo Campus  
Nilópolis/LAC, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).  
Bibliotecária: Josiane B. Pacheco CRB-7/4615

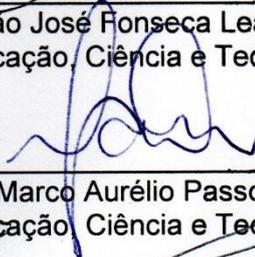
Cesar Macedo Lima Filho

**AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE FITORREMEDIAÇÃO POR MACRÓFITAS PARA A  
GESTÃO DA EUTROFIZAÇÃO EM RESERVATÓRIOS**

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado como parte dos requisitos  
necessários para a obtenção do título de  
especialista em Gestão Ambiental.

Data de aprovação: 12 de dezembro de 2018.

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. João José Fonseca Leal (orientador)  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Marco Aurélio Passos Louzada  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Claudio Cardoso Marinho  
Universidade Federal do Rio de Janeiro

LIMA FILHO, C. M. Avaliação da capacidade de fitorremediação por macrófitas para a gestão da eutrofização em reservatórios. – 39 f. Trabalho de conclusão de curso. Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ), Campus Nilópolis, Nilópolis, RJ, 2018.

## RESUMO

A eutrofização artificial de ambientes aquáticos continentais é um problema mundial. Os reservatórios são ambientes que também sofrem com a eutrofização, e isso possui diversas consequências, como por exemplo, o aumento da biomassa dos produtores primários nesses ambientes. As macrófitas são um dos produtores primários podem ter um crescimento exacerbado, limitando ou impedindo os usos múltiplos desse reservatório, e podem levar a diversos prejuízos econômicos. As macrófitas flutuantes são uma das maiores causadoras desses problemas, principalmente as espécies *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes* e *Salvinia spp.* A gestão ambiental de reservatórios infestados com macrófitas é feita com a remoção das macrófitas do ambiente. Essas macrófitas geram um grande volume de biomassa que podem ter diversos aproveitamentos. Foram estudadas as espécies de macrófitas flutuantes da UHE da Barra do Braúna (*E. crassipes*, *P. stratiotes* e *Salvinia auriculata*), avaliando a biomassa seca, concentração de matéria orgânica total, carbono, nitrogênio total e fósforo total de um banco formado por essas macrófitas. Os resultados mostraram que a composição química das macrófitas da UHE da Barra do Braúna é semelhante as macrófitas da mesma espécie de outros reservatórios. As macrófitas são responsáveis pela fitorremediação, removendo os nutrientes da água do reservatório. O resíduo sólido gerado pela remoção das macrófitas pode ser utilizada para diversos fins, como fertilizantes, alimento para animais de produção e produção de biocombustíveis.

**Palavras-chave:** Macrófita. Eutrofização. Reservatórios. Gestão ambiental. Fitorremediação

LIMA FILHO, C. M. Avaliação da capacidade de fitorremediação por macrófitas para a gestão da eutrofização em reservatórios. – 39 f. Trabalho de conclusão de curso. Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ), Campus Nilópolis, Nilópolis, RJ, 2018.

## **ABSTRACT**

The artificial eutrophication of continental water environments is a worldwide problem. Reservoir are environments impacted with eutrophication, and it can cause several consequences, for example, the increase of biomass of primary producers. Macrophytes were primary producers that can has an exacerbated growing, limiting or restraining the multiple uses of reservoir, causing economic losses. Floating macrophytes are the major cause of these problems, manly the species *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes* e *Salvinia spp.* The environmental management of infested reservoir is made with the removal of the macrophytes from the water. These macrophytes generates a big amount of solid waste that can be used for several uses. Were studied the floating species (*E. crassipes*, *P. stratiotes* e *Salvinia auriculata*) from hydroelectric plant of Barra do Braúna, evaluating the dry biomass, concentration of organic matter, carbon, total nitrogen, and total phosphorus of an assembly formed by these macrophytes. The results showed that the macrophytes from hydroelectric power of Barra do Braúna have the same chemical composition from the same species from others reservoir. The macrophytes are responsible for the phytoremediation in the reservoir, removing nutrients from reservoir water. The solid waste generated by removal of macrophytes can have several uses as fertilizer, livestock feeding and biofuel production.

**Keywords:** Macrophyte. Eutrophication. Reservoir. Environmental management. Phytoremediation

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

**Figura 1:** Mapa do UHE da Barra do Braúna

**Figura 2:** Espécies de macrófitas flutuantes do reservatório da UHE da Barra do Braúna

**Figura 3:** Amostragem do banco de macrófitas

**Figura 4:** Pontos de coleta no banco de macrófitas

**Figura 5:** Biomassa seca de cada espécie de macrófita

**Figura 6:** Biomassa seca por  $m^2$

**Figura 7:** Concentração de  $MO_{total}$  de cada espécie de macrófita

**Figura 8:** Concentração de  $MO_{total}$  por  $m^2$

**Figura 9:** Concentração de C de cada espécie de macrófita

**Figura 9:** Concentração de  $P_{total}$  de cada espécie de macrófita

**Figura 10:** Concentração de C por  $m^2$

**Figura 11:** Concentração de  $P_{total}$  de cada espécie de macrófita

**Figura 12:** Concentração de  $P_{total}$  por  $m^2$

**Figura 13:** Concentração de  $N_{total}$  de cada espécie de macrófita

**Figura 14:** Concentração de  $N_{total}$  por  $m^2$

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1:** Percentual de  $MO_{total}$ ,  $N_{total}$  e  $P_{total}$  de cada espécie de macrófita

**Tabela 2:** Relação de biomassa seca,  $MO_{total}$ ,  $N_{total}$  e  $P_{total}$  por área de cobertura total do banco de macrófitas

**Tabela 3:** Coletânea de dados de  $MO_{total}$ ,  $N_{total}$  e  $P_{total}$  das macrófitas estudadas

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BS – Biomassa seca

C - Carbono

MO<sub>total</sub> – Matéria orgânica total

N - Nitrogênio

N<sub>total</sub> – Nitrogênio total

P – Fósforo

P<sub>total</sub> – Fósforo total

UHE – Usina hidrelétrica

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	10
1.2.	LOCAL DE ESTUDO .....	11
1.5.	JUSTIFICATIVA .....	16
2.	OBJETIVOS .....	17
2.1.	OBJETIVO GERAL .....	17
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
3.	MATERIAL E MÉTODOS .....	18
3.1.	COLETA DAS AMOSTRAS.....	18
3.1.1.	PROCESSAMENTO DAS AMOSTRAS .....	19
3.1.2.	BIOMASSA SECA .....	19
3.2.	CARACTERIZAÇÃO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS MACRÓFITAS .....	20
3.2.1.	CONCENTRAÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA TOTAL.....	20
3.2.2.	CONCENTRAÇÃO DE CARBONO TOTAL.....	20
3.2.3.	CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO TOTAL.....	20
3.2.4.	CONCENTRAÇÃO DE NITROGÊNIO TOTAL .....	20
3.3.	DIMENSIONAMENTO DO BANCO DE MACRÓFITAS.....	21
4.	RESULTADOS .....	22
4.1.	ESPÉCIES DE MACRÓFITAS IDENTIFICADAS .....	22
4.2.	BIOMASSA SECA .....	22
4.3.	CONCENTRAÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA TOTAL.....	23
4.4.	CONCENTRAÇÃO DE CARBONO TOTAL.....	25
4.5.	CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO TOTAL.....	26
4.6.	CONCENTRAÇÃO DE NITROGÊNIO TOTAL .....	28
4.7.	PERCENTUAL DE $MO_{TOTAL}$ , $C$ , $N_{TOTAL}$ E $P_{TOTAL}$ DAS MACRÓFITAS .....	29
4.8.	DIMENSIONAMENTO DA COBERTURA VEGETAL DO BANCO DE MACRÓFITAS .....	30
4.9.	ESTIMATIVA DA FITORREMEDIAÇÃO RELIZADA PELAS MACRÓFITAS.....	31
5.	DISCUSSÃO .....	32
6.	CONCLUSÕES.....	35
7.	REFERÊNCIAS.....	36

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. EUTROFIZAÇÃO DE AMBIENTES AQUÁTICOS

A eutrofização de corpos aquáticos continentais é um problema em escala mundial. O processo de eutrofização consiste principalmente no aumento da disponibilidade de nutrientes, principalmente nitrogênio (N) e fósforo (P) nos corpos aquáticos. A eutrofização é um processo que ocorre de forma natural, mas é um processo lento que pode demorar milhares ou milhões de anos. Atualmente a eutrofização dos corpos aquáticos tem ocorrido de forma artificial pela grande influência das atividades antrópicas sobre esses ambientes, o que acelera esse processo. No Brasil e no mundo, o crescimento das cidades e da população associado ao avanço da agropecuária tem sido os responsáveis pelo processo de eutrofização, que ocorre com aporte de nutrientes via lançamento de efluentes domésticos e industriais, fertilizantes utilizados na agricultura, entre outros, fazendo com que o ambiente fique eutrofizado em anos ou décadas (SMITH E SCHINDLER, 2009; BARRETO *et al.*, 2013; HUANG *et al.*, 2018; WALTER *et al.*, 2009).

O aumento da disponibilidade dos nutrientes N e P nos ambientes eutrofizados pode ter como consequência o aumento da produtividade primária do sistema, gerando o aumento de biomassa da comunidade fitoplanctônica ou da comunidade de macrófitas, ou mesmo de ambos, dessa forma levando então a um desequilíbrio ecológico no sistema. O aumento da biomassa fitoplanctônica pode levar, por exemplo, a floração de cianobactérias. As cianobactérias são organismos procariontes fotossintetizantes que tem o potencial de produzir toxinas, podendo gerar a intoxicação ou morte de animais ou humanos que consomem as águas contaminadas com essas toxinas, além do impactar a biodiversidade local. Já o aumento da biomassa de macrófitas tem como principal consequência prejuízos econômicos e nos usos múltiplos do corpo aquático, como impedimentos à navegação e pesca. Além disso, um ambiente coberto por macrófitas flutuantes, por exemplo, sofre impactos negativos sobre a sua comunidade fitoplanctônica, que é inibida pelo sombreamento, além de dificultar a dispersão dos gases na água pela barreira física formada, e a combinação desses dois fatores podem gerar anoxia no ambiente. O aumento quantidade de matéria orgânica disponível na água devido ao aumento da produtividade primária gera um aumento da taxa de decomposição da matéria orgânica, havendo um maior consumo de oxigênio pela comunidade bacteriana, e isso também levar o ambiente a uma condição de anoxia. Todo esse processo resulta numa perda da qualidade da água, alterando as características organolépticas dela, além do aumento da turbidez, o que é problemático pois gera maior custos para o tratamento para o consumo desse recurso pela população (SMITH, 2003).

## 1.2. LOCAL DE ESTUDO

O local de realização do presente estudo foi o reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) da Barra do Braúna, localizado no rio Pomba, no estado de Minas Gerais (MG) nas coordenadas geográficas 21° 26" 59,6" S e 42° 24" 14,4" W. O rio Pomba faz parte da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, e sua nascente está localizada na Serra da Mantiqueira, no município de Rio Pomba no estado de Minas Gerais (MG) e deságua na margem esquerda do rio Paraíba do Sul no município de Aperibé no estado do Rio de Janeiro (RJ), possuindo 305 km de extensão. A bacia de drenagem do rio Pomba possui uma área de 8.616 km<sup>2</sup>, abrangendo 35 municípios de Minas Gerais e 3 municípios no Rio de Janeiro, com uma população estimada de 633.811 habitantes no ano de 2018. A maior parte da ocupação do solo na bacia é com pastagens, correspondendo a 63,9% do total. As outras principais ocupações do solo são com lavoura temporária (7,8%), silvicultura (2,41%) e área urbana (1,9%). Outros tipos de ocupação representam menos de 1% da ocupação total cada uma, sendo elas lavoura permanente (0,92%), corpos d'água (0,5%), solo desprotegido (0,3%), afloramento rochoso (0,09%), mineração (0,08%), macrófitas (0,03%) e pequenas centrais hidrelétricas (0,01%). As áreas de florestas correspondem a 16,9% de cobertura, e áreas campestres são 5,86%. Apesar da mineração ocupar uma fração de área muito pequena, causa diversos impactos, como vazamento de lagoas de retenção de rejeitos, que por exemplo, já ocorreram no rio Pomba, lançando metais pesados provenientes dos rejeitos de mineração. Mas os grandes responsáveis pelos impactos recorrentes que deterioram a qualidade de água do rio são os lançamentos de esgoto *in natura* pelas regiões urbanizadas, além das pastagens e o uso de fertilizantes das regiões agrícolas. A área de cobertura de macrófitas é relativa principalmente ao reservatório da UHE da Barra do Braúna, tendo em vista que esse reservatório já teve até 1/3 do seu espelho d'água coberto por elas (GUEDES *et al.*, 2012; MOLISANI *et al.*, 2000; SILVA, 2014).

O reservatório da UHE da Barra do Braúna está localizado entre os municípios de Recreio (margem direita) e Laranjal (margem esquerda), no estado de Minas Gerais. O início da construção da UHE da Barra do Braúna foi no ano de 2009, e as operações iniciadas no ano de 2011. O reservatório possui uma área total de 12,5 km<sup>2</sup>, com um volume de 2.687.200 m<sup>3</sup>. No reservatório são encontradas três espécies de macrófitas flutuantes *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes* e a *Salvinia auriculata* (IEF, 2012)

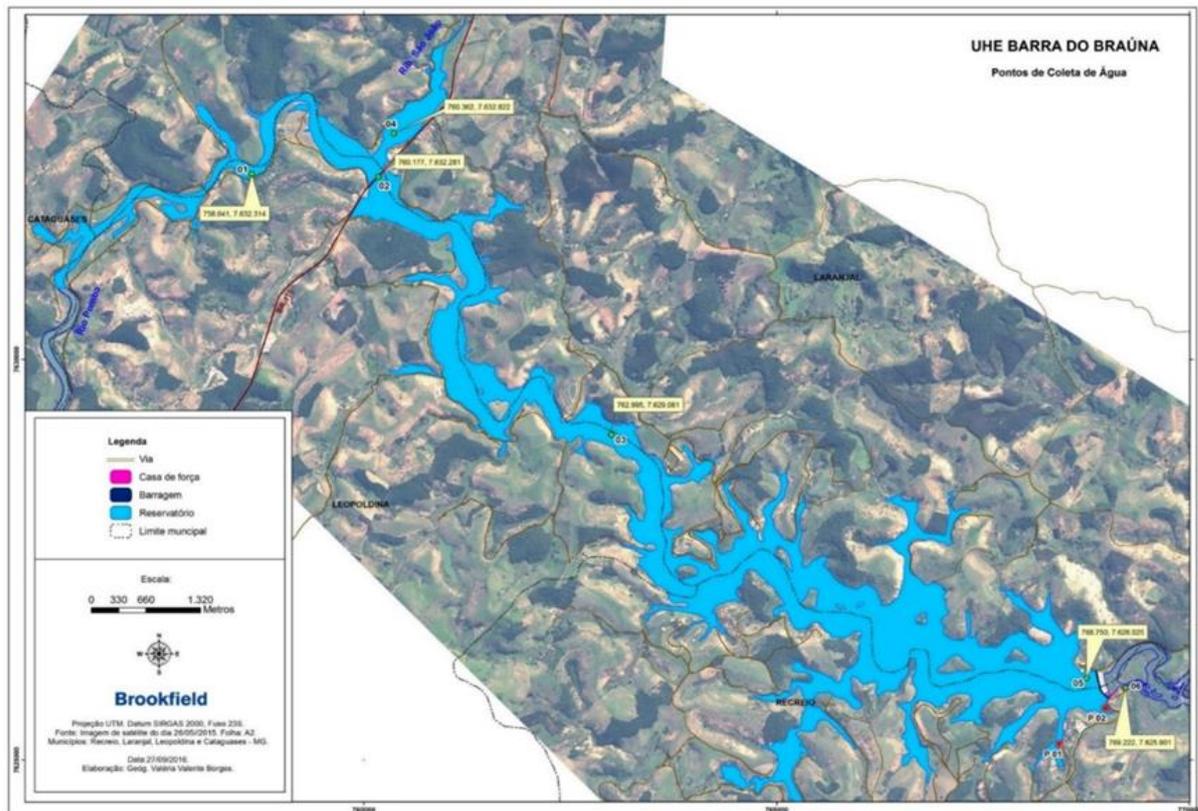


Figura 1: Mapa do UHE da Barra do Braúna.

### 1.3. MACRÓFITAS

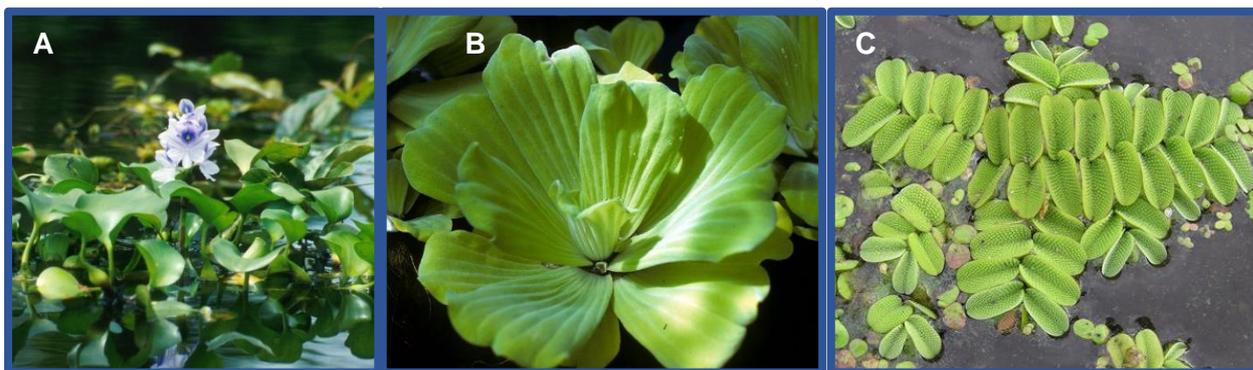
Segundo Esteves (2011), macrófita é um termo genérico, independente de aspectos taxonômicos, utilizado para definir organismos fotossintéticos aquáticos que podem ser vistos a olho nu, que habitam desde brejos até ambientes verdadeiramente aquáticos. Existem diversos tipos e espécies de macrófitas, com adaptações para colonizar as diversas regiões dos ambientes aquáticos. As macrófitas são classificadas em anfíbias, emergentes, flutuantes e submersas.

A *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms é uma espécie de macrófita flutuante originária da Bacia Amazônica, monocotiledônea, da Classe das Commelinales, pertencente à Família Pontederiaceae (Figura 2-A). Já está distribuída mundialmente, exceto na Groenlândia e Oceania. Habitam ambientes periodicamente alagados. Podem ser caracterizadas como ervas daninhas em reservatórios e lagos artificiais, pois possui um intenso crescimento, colonizando rapidamente os ambientes onde está presente, podendo até cobrir completamente o espelho d'água (BARRETT E FORNO, 1982; REZANIA *et al.*, 2015; SOUZA E LORENZI, 2012).

A *Pistia stratiotes* L. é uma espécie de macrófita flutuante de origem incerta, mas possui distribuição mundial, sendo encontrada em todas as regiões tropicais da América,

África e Ásia (Figura 2-B). É uma monocotiledônea, pertencente a Classe Liliopsida e a Família Araceae. Podem ser caracterizadas como erva daninha, colonizando rapidamente os ambientes onde habita (GUPTA *et al.*, 2010).

A *Salvinia auriculata* Aubl. é uma macrófita flutuante pertencente ao Filo Pteridophyta, Ordem Hydropteridales, Família Salviniaceae (Figura 2-C). É originária da região Sudeste do Brasil. Já se encontra distribuída em alguns países da América, África e Ásia (FORNO, 1983).



**Figura 2: Espécies de macrófitas flutuantes do reservatório da UHE da Barra do Braúna. A – *Eichhornia crassipes*; B – *Pistia stratiotes*; C – *Salvinia auriculata*.**

A *International Union for Conservation of Nature* (IUCN) considera a *E. crassipes* uma das 100 espécies invasoras mais agressivas. Ela é responsável por diversos prejuízos aos ambientes aquáticos, alterando a dinâmica do fitoplâncton dos ambientes onde foi introduzida, e é responsável por grandes perdas econômicas, impedindo a circulação de embarcações, a pesca e atrapalhando o funcionamento de UHEs. Esses mesmos impactos que a *E. crassipes* gera, também pode ser gerado quando outras espécies de macrófitas flutuantes que são introduzidas nos ambientes aquáticos (SCIENCEDIRECT, BASIN E AMERICA, 2013).

Apesar de a *E. crassipes*, *P. stratiotes* e a *S. auriculata* serem espécies invasoras e potenciais causadoras de prejuízos econômicos, diversos usos têm sido propostos para essas macrófitas. Um dos principais usos propostos é a utilização dessas macrófitas como removedoras de nutrientes (N e P) de ambientes eutrofizados ou de efluentes, tendo em vista que a absorção de nutrientes por essas plantas é um processo fisiológico natural. Além da remoção de nutrientes, elas também reduzem a demanda química e bioquímica de oxigênio, turbidez e concentração de clorofila-a. Mas um efeito negativo pode ser a diminuição da concentração de O<sub>2</sub> dissolvido pela inibição do fitoplâncton ou pela formação de uma barreira física na superfície da água que impede a dispersão dos gases na água (HENARES E CAMARGO, 2014; LU, FU E YIN, 2008; QIN *et al.*, 2016).

As macrófitas flutuantes também tem a capacidade de remover outros tipos de poluentes além de nutrientes. Foi visto por diversos autores que a *E. crassipes* é capaz de remover os metais Cu, Cd, Pb, Zn, As, Al, Cr, Fe, Hg, Ni, Mn, Ag, Ba e Mo (AURANGZEB *et*

*al.*, 2014; FAZAL, ZHANG E MEHMOOD, 2015; SEKOMO *et al.*, 2012). Foi visto também que a *P. stratiotes* tem a capacidade de remover diversos íons metálicos como Pb, Cd, Fe, Mn, Na, Ni, Cr, Cu, Zn, Al, Ca, Cd, Co, K, Mg (LU *et al.*, 2011; VESELÝ, TLUSTOŠ E SZÁKOVÁ, 2011). Assim como a *E. crassipes* e *P. stratiotes* diversas espécies do gênero *Salvinia* também tem capacidade de remoção de íons metálicos como Cr, Fe, Ni, Cu, Cd, Co, Zn, Mn, Cr, Pb e Zn (DHIR *et al.*, 2009). Além da capacidade de remoção de íons metálicos, as macrófitas flutuantes também tem capacidade de remover outros poluentes, como por exemplo, moléculas orgânicas. Já foi visto a capacidade da *E. crassipes* em remover corantes de efluentes e formaldeído de efluentes (GONG *et al.*, 2018; MISHRA E MAITI, 2017). Também já foi visto a capacidade de *E. crassipes* e *P. stratiotes* em remover produtos farmacêuticos e de cuidado pessoal (LIN E LI, 2016).

A capacidade dos organismos vegetais em remover compostos considerados poluentes é definido como fitorremediação. Esses poluentes podem estar presentes no solo ou água. A aplicação de plantas em fitorremediação é feita principalmente para a remoção de metais pesados, mas podem ser utilizadas também para a remoção de diversos outros poluentes. (KUMAR *et al.*, 2018)

#### **1.4. GESTÃO AMBIENTAL DE RESERVATÓRIOS**

Quando as macrófitas flutuantes são inseridas em um ambiente aquático, ou se ocorre um crescimento exacerbado, mesmo sendo nativas daquele ambiente, gera conflitos para os usos múltiplos desse corpo d'água. Quando é construída uma barragem em um rio para formar um reservatório, como por exemplo, para geração de energia, a hidrodinâmica desse ambiente sofre uma mudança, deixando o ambiente de ser tipicamente lótico, e passando a apresentar características semelhantes a um corpo lêntico. O ambiente lêntico favorece não apenas um maior crescimento do fitoplâncton, mas também é um ambiente propício ao crescimento de macrófitas flutuantes (YANG *et al.*, 2017).

O problema da colonização pelas macrófitas flutuantes é agravado se a água desse reservatório possui uma grande concentração de nutrientes, o que pode favorecer a cobertura de grandes áreas desse ambiente por macrófitas, e dependendo do seu tamanho e características, pode ter sua superfície praticamente coberta por elas. Dessa forma, os usos múltiplos desses reservatórios ficam prejudicados, e pode ocorrer conflitos com pescadores e a população local com os administradores da UHE, como tem ocorrido na UHE da Barra do Braúna, onde a extensa cobertura de macrófitas no reservatório, que já chegou a ocupar 1/3 da superfície do reservatório, tem prejudicado seu uso pelos pescadores, pois esses não conseguem navegar pelas águas do reservatório e realizar a pesca (LEOPOLDINENSE,

2014). Além disso, as macrófitas podem ser um complicador para a operação das UHEs, bloqueando turbinas e tomadas d'água, o que pode levar a grandes prejuízos operacionais com altos gastos pelas usinas em manutenção (VINÍCIUS *et al.*, 2003). Devido a esses fatores, é necessária uma gestão ambiental dos problemas gerados pelas macrófitas nesses ambientes.

A gestão ambiental, segundo BARBIERI (2016) é definida como:

Gestão ambiental compreende as diretrizes e as atividades administrativas realizadas por uma organização para alcançar efeitos positivos sobre o meio ambiente, ou seja, para reduzir, eliminar ou compensar os problemas ambientais decorrentes da sua atuação e evitar que outros ocorram no futuro.

Diversas propostas de gestão ambiental têm sido feitas para os reservatórios colonizados por macrófitas flutuantes. A remoção mecânica das macrófitas com uso de maquinário específico é uma das técnicas mais utilizadas. A eficiência do processo depende da morfologia do reservatório e do tamanho da cobertura vegetal. Além disso, possui alto custo para a sua execução (BARBOSA E GENTIL, 2009). O controle biológico também é uma das propostas para o controle do crescimento das macrófitas. Diversas iniciativas têm sido feitas nesse sentido, pois é uma técnica que causaria poucos danos ao ambiente, pois faz-se uso de um inseto herbívoro, comumente chamado de *weevil*, que naturalmente ataca esse tipo de planta. Essa técnica possui um custo reduzido, tendo em vista que o controle envolve a soltura desses animais para que eles ataquem as plantas e eles causam danos as folhas das plantas, o que prejudica a sobrevivência delas, e assim elas acabam por morrer (FIREHUN *et al.*, 2015). Outra técnica utilizada é o uso de herbicidas para o controle das macrófitas. Essa técnica envolve riscos, pois é inserido no ambiente substâncias que podem vir a contaminar as águas, criando outro problema ambiental além das macrófitas (HILL, COETZEE E UECKERMANN, 2012).

Segundo relatório da Agência da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (AGEVAP), a gestão das macrófitas nos reservatórios da bacia do rio Paraíba do Sul é feito de acordo com as características do local, já que a colonização por macrófitas pode ocorrer nas margens por macrófitas emergentes, ou podem se formar bancos flutuantes, e esses bancos flutuantes pode ter macrófitas emergentes crescendo de forma epífita, sendo assim, cada situação requer uma forma diferente de remoção. No reservatórios de Santa Fé, Santana, Vigário, todos localizados no rio Paraíba do Sul, é feita a remoção mecânica das macrófitas, com o uso de colheitadeiras, e são utilizadas para remover os bancos de macrófitas flutuantes, e também as macrófitas enraizadas nas margens, e cada uma é feita utilizando maquinário específico. No reservatório da Barra do Braúna, as macrófitas também são removidas de

forma mecânica. Segundo o mesmo relatório da AGEVAP, o custo de remoção por hectare varia entre R\$ 7.000,00 a R\$ 11.000,00. O relatório também informa que a biomassa removida desses reservatórios ainda não tem uma destinação adequada, sendo tratado como passivo ambiental (AGEVAP, 2011). Dessa forma é necessário propor usos para a biomassa removida dos reservatórios, pois elas possuem grande potencial de utilização em diversos fins.

## **1.5. JUSTIFICATIVA**

A eutrofização dos corpos d'água brasileiros é um problema crescente. Nos reservatórios eutrofizados, as macrófitas flutuantes podem ser geradoras de diversos problemas, gerando diversos conflitos. As macrófitas sendo organismos que crescem naturalmente nesses ambientes, são responsáveis pela remoção de nutrientes da coluna d'água. Uma das formas de se utilizar as macrófitas na gestão ambiental, é manejá-las para o controle da eutrofização desses ambientes. Dessa forma o estudo das macrófitas e sua composição química podem ser uma ferramenta para avaliar a fitorremediação efetuada pelas macrófitas, sendo possível quantificar a quantidade de nutrientes removidos da água, e propor que forma esses nutrientes da biomassa das macrófitas possam ser utilizados evitando o desperdício da biomassa, evitando a geração de passivos ambientais.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GERAL**

O presente trabalho tem como objetivo geral avaliar a composição química de um banco de macrófitas flutuantes do reservatório da UHE da Barra do Braúna e determinar o estoque de nutrientes armazenado na biomassa de um banco de macrófitas de forma a estimar a fitorremediação realizada pelo banco macrófitas, e propor usos para a biomassa.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar a biomassa seca, concentração de matéria orgânica total, carbono, fósforo total e nitrogênio total das espécies de macrófita flutuante do banco de macrófitas;
  
- Estimar a cobertura vegetal do banco de macrófitas no dia da amostragem;
  
- Estimar a fitorremediação realizada pelo banco de macrófitas;
  
- Propor usos para a biomassa do banco de macrófitas em função das atividades econômicas local.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. COLETA DAS AMOSTRAS

A coleta das amostras do banco de macrófitas foi realizada utilizando um *quadrat*, construído com tubos de PVC, com cada lado possuindo 1 m de comprimento, possuindo uma área total de 1 m<sup>2</sup>. Para realizar a amostragem, o *quadrat* foi lançado sobre o banco de macrófitas (Figura 1) nos locais escolhidos para amostragem.

Os pontos amostrais escolhidos para coleta das amostras no banco de macrófitas estão mostrados na Figura 2. O critério utilizado para a escolha dos pontos amostrais foram os pontos em que foi possível ter acesso ao banco, sendo retirado um *quadrat* de cada ponto amostral, resultando num total de três amostras. As amostras foram coletadas no dia 11 de abril de 2018.



Figura 3: Amostragem do banco de macrófitas.



**Figura 4: Pontos de coleta no banco de macrófitas**

### **3.1.1. PROCESSAMENTO DAS AMOSTRAS**

As amostras coletadas foram trazidas para o Laboratório de Ecofisiologia e Toxicologia de Cianobactérias (LETC), da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) para o processamento. Primeiramente foi realizado em cada amostra uma separação das diferentes espécies presentes. As macrófitas foram processadas com todo o conteúdo que estava aderido às suas raízes. Em seguida, as amostras foram colocadas em estufa à 60°C para secagem. O material foi mantido em estufa até apresentar peso constante. Após esse processo, o material foi processado em moinho para ser transformado em pó e ser homogeneizado.

### **3.1.2. BIOMASSA SECA**

Ao fim do processo de secagem na estufa, para determinar a quantidade de biomassa seca (BS) obtida das amostras, elas foram submetidas à gravimetria. Para estimar a biomassa seca por área das amostras analisadas, foi feita a razão da biomassa seca dos *quadrat* pela área dos mesmo (1m<sup>2</sup>) (POMPÊO E MOSCHINI-CARLOS, 2003).

## **3.2. CARACTERIZAÇÃO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS MACRÓFITAS**

### **3.2.1. CONCENTRAÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA TOTAL**

Para avaliar a concentração de matéria orgânica total ( $MO_{total}$ ) presente nas amostras de macrófitas, foi separado do material de cada uma das amostras, três alíquotas de 0,1 g de massa de cada uma das espécies de macrófita. Essas alíquotas foram colocadas em cadinhos de cerâmica e submetido a calcinação em mufla à 400°C por 4 horas. Após o processo de calcinação, o cadinho com as cinzas restantes foi pesado. Para calcular a concentração de  $MO_{total}$ , fez-se a subtração do valor da massa da amostra antes e depois da calcinação (POMPÊO, M. L. M.; MOSCHINI-CARLOS, 2003).

### **3.2.2. CONCENTRAÇÃO DE CARBONO TOTAL**

Para quantificar a concentração de carbono total ( $C_{total}$ ) presente nas macrófitas, foi feito o cálculo a partir da concentração de  $MO_{total}$ , calculando o percentual de carbono a partir dos valores de matéria orgânica vegetal determinado por SHAW (1959).

### **3.2.3. CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO TOTAL**

Para quantificar a concentração de fósforo total ( $P_{total}$ ) presente nas amostras de macrófitas, foi separado de cada uma das amostras, três alíquotas de 0,1 g de massa de cada espécie de macrófita. As alíquotas foram colocadas em cadinhos de cerâmica e submetido a calcinação em mufla à 400°C por 4 horas. O material calcinado obtido foi suspenso em 25 mL de solução de ácido clorídrico a 1 N. A mistura formada foi diluída em água MiQ até um volume final de 100 mL. A mistura foi aquecida por 15 minutos à 100°C em placa aquecedora. Em seguida a mistura foi filtrada em filtro de celulose. O volume de filtrado obtido foi submetido ao método de STRICKLAND & PARSONS (1965) para detectar o fósforo dissolvido da solução obtida (POMPÊO, M. L. M.; MOSCHINI-CARLOS, 2003).

### **3.2.4. CONCENTRAÇÃO DE NITROGÊNIO TOTAL**

Para quantificar a concentração de nitrogênio total ( $N_{total}$ ) presente nas amostras de macrófitas, foi separado de cada uma das amostras, três alíquotas de 0,3 g de massa de cada espécie de macrófita. As alíquotas foram colocadas em tubos de vidro e foi submetido a digestão ácida utilizando 0,15 g de catalizador misto (composição: 2 g de selênio, 80 g de

$K_2SO_4$  e 5 g de  $CuSO_4$ ) e 5 mL de ácido sulfúrico. As amostras foram aquecidas em bloco digestor até a temperatura de 350°C e foram mantidas a essa temperatura até que a mistura ficasse incolor. Em seguida o material foi diluído em água Mili-Q até atingir o volume de 50 mL. Uma alíquota de 4 mL das amostras diluídas foi levada ao destilador e foi acrescentado um volume de 15 mL de solução de NaOH a 46%. As amostras foram destiladas, e o conteúdo coletado da destilação foi adicionado a 10 mL de solução de ácido bórico adicionado de solução reveladora (composição: vermelho de metila 0,66%, verde de bromocresol 0,33% diluído em etilenoglicol). Ao fim do processo, as amostras foram tituladas com solução de ácido sulfúrico 0,01 N para mudar a cor de verde para vermelho (ALLEN *et al.*, 1974).

### **3.3. DIMENSIONAMENTO DO BANCO DE MACRÓFITAS**

Para realizar o dimensionamento do banco de macrófitas de onde as amostras foram retiradas, foram utilizadas imagens fornecidas pelo *software* Google Earth Pro (versão 7.1.8.3036) e fotografias retidas do local de coleta para serem utilizadas como referenciais. Com essas informações, foi feita a delimitação da extensão do banco de macrófitas no dia das coletas (11/ 04/ 2018) nas imagens de satélite. A medição da área ocupada pelo banco de macrófitas também foi feita utilizando o *software* Google Earth Pro, utilizando ferramentas disponibilizadas no próprio programa.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. ESPÉCIES DE MACRÓFITAS IDENTIFICADAS

As espécies de macrófitas flutuantes presentes nas amostras coletadas no banco de macrófitas analisado da UHE da Barra do Braúna foram as seguintes: *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes* e *Salvinia auriculata*.

### 4.2. BIOMASSA SECA

O resultado obtido de biomassa seca das amostras coletas está descrito a seguir. Na Figura 5, está descrito os valores de biomassa seca de cada espécie de macrófita encontrada nas amostras. Na Figura 6 estão descritos os valores de biomassa seca total presentes nas amostras. A *E. crassipes* foi a espécie com maior quantidade média de biomassa seca presente nas amostras com  $468,3 \pm 37,0$  g/m<sup>2</sup>, equivalente a 88,5% do total de biomassa seca. A *P. stratiotes* foi a segunda espécie com maior biomassa seca média, com  $49,5 \pm 2,4$  g/m<sup>2</sup>, equivalente a 9,3% do total. A espécie com menor biomassa seca média foi a *S. auriculata*, com  $11,2 \pm 5,9$  g/m<sup>2</sup>, com apenas 2,1% do total de biomassa seca. A biomassa seca total por área foi de  $0,53 \pm 0,03$  kg/m<sup>2</sup>.

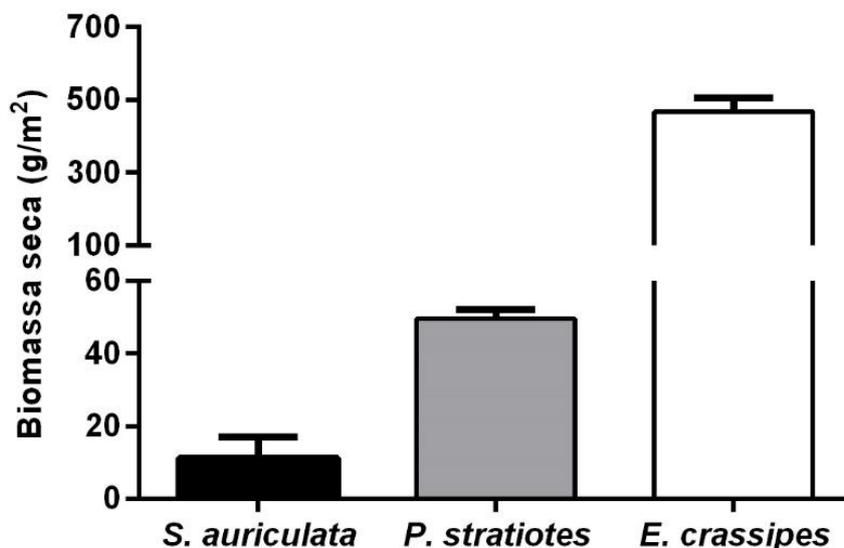


Figura 5: Biomassa seca de cada espécie de macrófita.



Figura 6: Biomassa seca por m<sup>2</sup>.

#### 4.3. CONCENTRAÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA TOTAL

O resultado obtido da concentração de MO<sub>total</sub> das amostras está descrito a seguir na Figura 7 e 8. Na Figura 7 está descrito a concentração de MO<sub>total</sub> de cada espécie encontrada nas amostras. Na Figura 8 está descrito a concentração de MO<sub>total</sub> das amostras por m<sup>2</sup>. As três espécies tiveram uma concentração semelhante de MO<sub>total</sub>. A *S. auriculata* e a *P. stratiotes* apresentaram valores médios de concentração de MO<sub>total</sub> de 0,5 ± 0,03 g/g de BS e 0,5 ± 0,03 g/g de BS, respectivamente. A *E. crassipes* apresentou um valor médio de MO<sub>total</sub> de 0,6 ± 0,05 g/g de BS, valor maior do que as outras duas espécies. O valor de MO<sub>total</sub> por área foi de 0,30 ± 0,010 kg/m<sup>2</sup>.

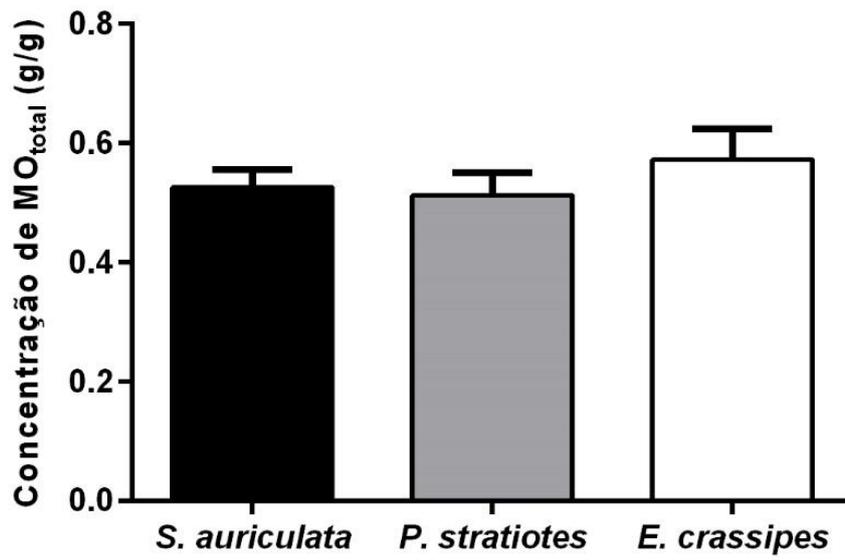


Figura 7: Concentração de MO<sub>total</sub> de cada espécie de macrófita.

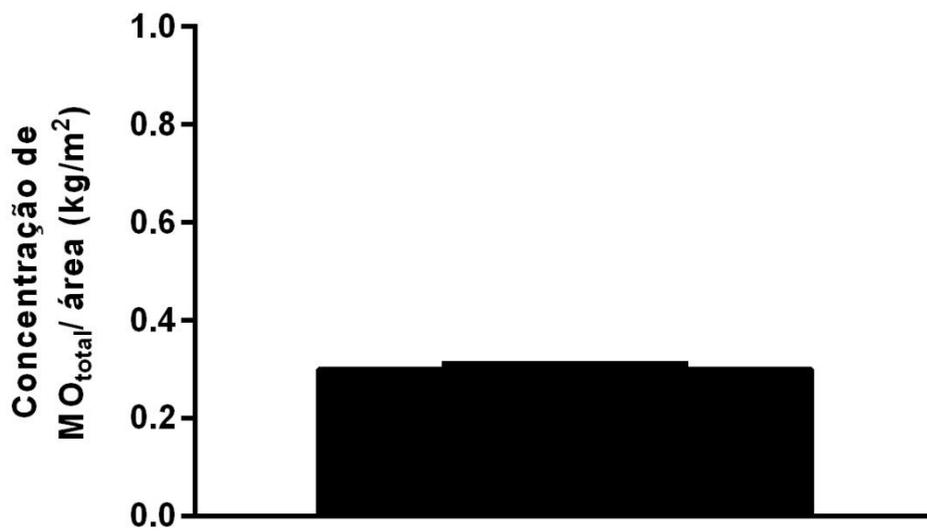


Figura 8: Concentração de MO<sub>total</sub> por m<sup>2</sup>.

#### 4.4. CONCENTRAÇÃO DE CARBONO TOTAL

A concentração de  $C_{total}$  calculado nas amostras está descrito nas figuras 9 e 10. Na figura 7 está descrito a concentração de  $C_{total}$  de cada espécie de macrófita encontrada. Na Figura 8 está descrito a concentração de  $C_{total}$  por  $m^2$  encontrado em cada uma das amostras analisadas. A *S. auriculata*, *P. stratiotes* e *E. crassipes* apresentaram valores semelhantes de  $C_{total}$ , sendo  $0,22 \pm 0,01$  g/g de MO,  $0,22 \pm 0,02$  g/g de MO e  $0,24 \pm 0,02$  g/g de MO, respectivamente. O valor de  $C_{total}$  por área foi de  $126,3 \pm 4,2$  g/ $m^2$ .

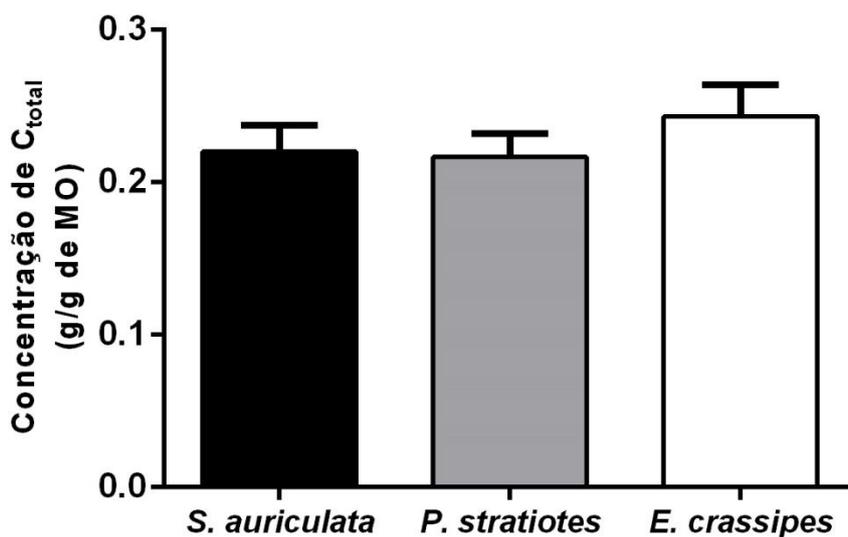


Figura 9: Concentração de C de cada espécie de macrófita.

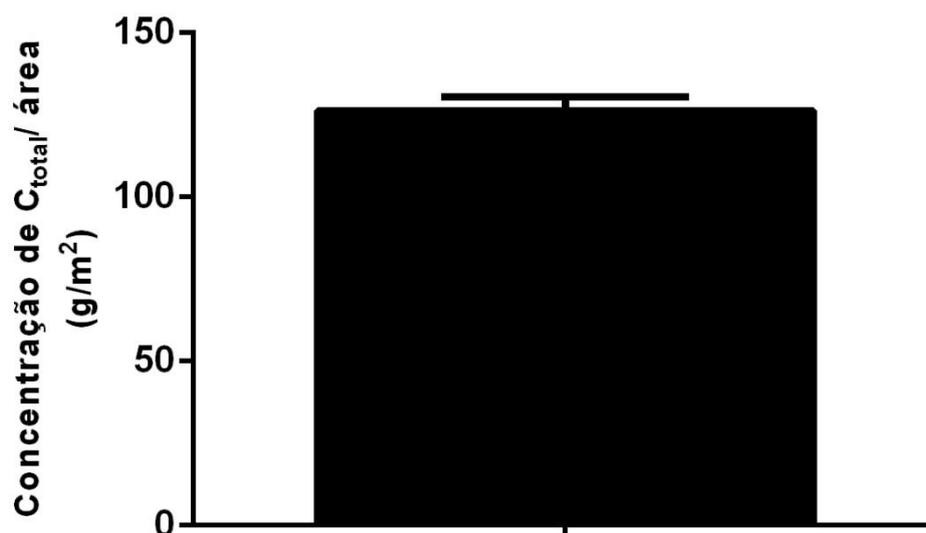


Figura 10: Concentração de C por m<sup>2</sup>.

#### 4.5. CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO TOTAL

A concentração de P<sub>total</sub> encontrado nas amostras está descrito nas Figuras 11 e 12. Na Figura 11 está descrito a concentração de P<sub>total</sub> de cada espécie de macrófita encontrada. Na Figura 12 está descrito o valor de concentração de P<sub>total</sub> por m<sup>2</sup> encontrado em cada uma das amostras analisadas. A *S. auriculata* e a *E. crassipes* apresentaram valores de P<sub>total</sub> médio de  $0,2 \pm 0,02 \mu\text{g/g}$  e  $0,2 \pm 0,04 \mu\text{g/g}$ . A *P. stratiotes* apresentou a menor concentração de P<sub>total</sub> médio, com um valor de  $0,09 \pm 0,03 \mu\text{g/g}$ . O valor de P<sub>total</sub> por área teve um valor de  $0,31 \pm 0,04 \text{ g/m}^2$ .

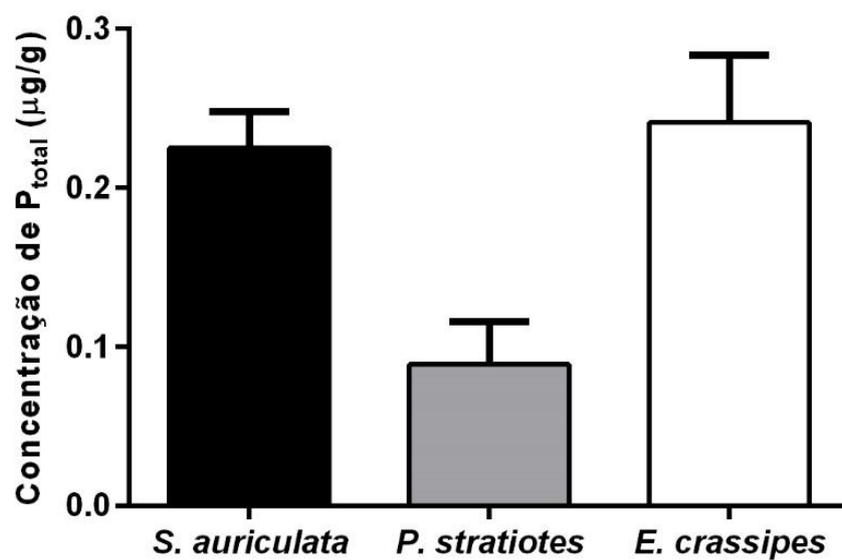


Figura 11: Concentração de  $P_{total}$  de cada espécie de macrófita.



Figura 12: Concentração de  $P_{total}$  por  $\text{m}^2$ .

#### 4.6. CONCENTRAÇÃO DE NITROGÊNIO TOTAL

A concentração de  $N_{total}$  encontrado nas amostras está descrito nas Figuras 13 e 14. Na Figura 8 está descrito a concentração de  $N_{total}$  de cada espécie de macrófita encontrada. Na Figura 9 está descrito a concentração de  $N_{total}$  por  $m^2$  encontrado em cada uma das amostras analisadas. Os valores de  $N_{total}$  entre as espécies teve uma variação pequena, sendo a *P. stratiotes* e a *S. auriculata* foram as espécies com maior concentração de  $N_{total}$ , com valores de  $3,63 \pm 0,77 \mu\text{g/g}$  e  $3,48 \pm 0,10 \mu\text{g/g}$ , respectivamente. A *E. crassipes* foi a espécie com o menor valor, com  $2,46 \pm 0,41 \mu\text{g/g}$ . O valor do  $N_{total}$  por área foi de  $1,37 \pm 0,19 \text{ g/m}^2$ .

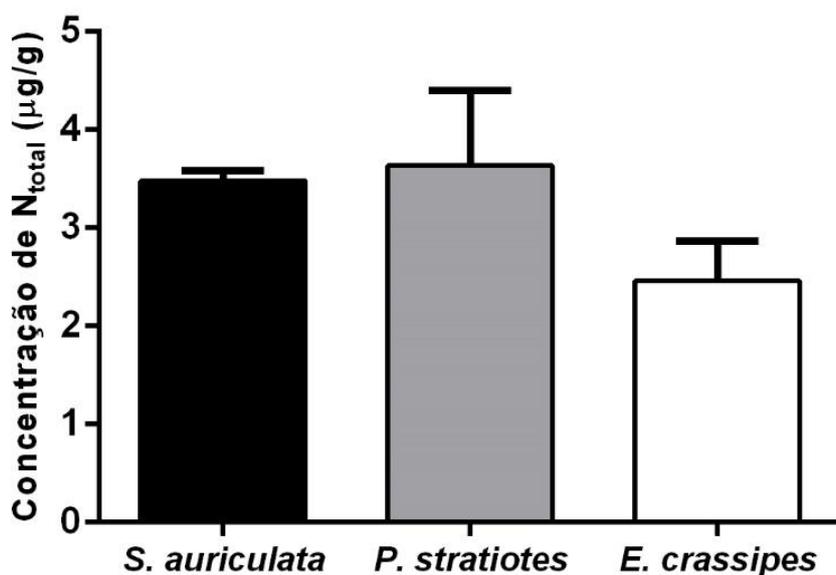


Figura 13: Concentração de  $N_{total}$  de cada espécie de macrófita.

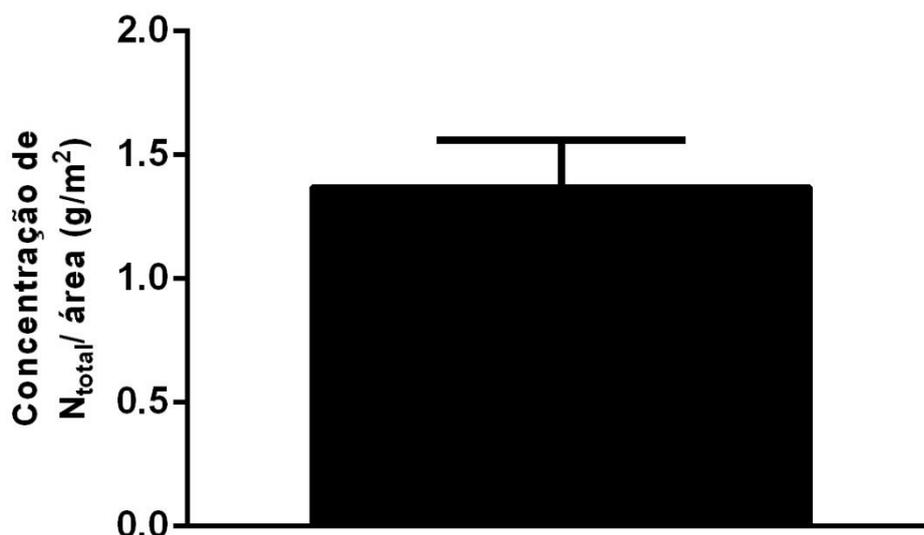


Figura 14: Concentração de  $N_{total}$  por  $m^2$ .

#### 4.7. PERCENTUAL DE $MO_{total}$ , $C$ , $N_{total}$ E $P_{total}$ DAS MACRÓFITAS

Os valores percentuais de  $MO_{total}$ ,  $C_{total}$ ,  $N_{total}$  e  $P_{total}$  de cada espécie está descrito na Tabela 1. A *E. crassipes* que apresentou os maiores percentuais de  $MO_{total}$  e  $P_{total}$ , sendo 57,8% e 0,02%, respectivamente. A *P. stratiotes* e *S. auriculata* apresentaram percentuais semelhantes de  $MO_{total}$ , com 51,3% e 52,7%, mas a *P. stratiotes* teve um percentual de  $P_{total}$  de 0,01%, menor que o da *S. auriculata*, que foi de 0,02%. A *S. auriculata* e a *P. stratiotes* apresentaram os maiores percentuais de  $N_{total}$ , com 0,35% e 0,36%, respectivamente. A *E. crassipes* teve o menor percentual de  $N_{total}$ , com 0,25%.

**Tabela 1:** Percentual de  $MO_{total}$ ,  $N_{total}$  e  $P_{total}$  na biomassa de cada espécie de macrófita

Espécie	$MO_{total}$ (%)	$C_{total}$ (%)	$N_{total}$ (%)	$P_{total}$ (%)
<i>S. auriculata</i>	52,7	42,0	0,23	0,04
<i>P. stratiotes</i>	51,3	42,0	0,36	0,02
<i>E. crassipes</i>	57,8	42,0	0,25	0,06

#### 4.8. DIMENSIONAMENTO DA COBERTURA VEGETAL DO BANCO DE MACRÓFITAS

O dimensionamento do banco feito com o *software* Google Earth, está mostrado na Figura 10. A figura formada pela linha amarela, delimita a região ocupada pelo banco de macrófitas no dia da coleta. A área ocupada pelo banco de macrófitas no dia da coleta foi de 783.185 m<sup>2</sup> ou 0,78 km<sup>2</sup>.



**Figura 11: Dimensionamento da cobertura vegetal do banco de macrófitas.** Imagem obtida do *software* Google Earth (versão 7.1.8.3036). A área de cobertura do banco foi definida utilizando fotografias retiradas do local como referência, no dia de coleta. A delimitação (linha amarela) e medição da área de cobertura do banco foi feita utilizando ferramentas disponibilizadas no Google Earth. A área total de cobertura medida foi  $A = 783.185 \text{ m}^2 = 0,78 \text{ km}^2$ .

#### 4.9. ESTIMATIVA DA FITORREMEDIAÇÃO RELIZADA PELAS MACRÓFITAS

A estimativa da fitorremediação realizada pelas macrófitas está descrito na Tabela 2. A biomassa seca total estimada produzida pelo banco de macrófitas foi de 412,7 kg/ m<sup>2</sup>, sendo a concentração de MO<sub>total</sub> estimada nessa biomassa de 234,5 kg/km<sup>2</sup>, equivalendo a 56,8% do total. A quantidade de N e P incorporados na biomassa das macrófitas, são dados pelos valores de N<sub>total</sub> e P<sub>total</sub> estimadas presente no banco de macrófitas, que foram de 1,1 kg/km<sup>2</sup> e 0,1 kg/km<sup>2</sup>, respectivamente, equivalendo a 0,46 e 0,02% do total.

**Tabela 2:** Relação de biomassa seca, MO<sub>total</sub>, N<sub>total</sub> e P<sub>total</sub> por área de cobertura total do banco de macrófitas

Parâmetro	Quantidade (kg/m <sup>2</sup> )	Porcentagem (%)
Biomassa seca	412.672,0	100
MO <sub>total</sub>	234.566,4	56,84
N <sub>total</sub>	1.069,5	0,46
P <sub>total</sub>	246,3	0,06

## 5. DISCUSSÃO

A análise da composição química de macrófitas aquáticas é uma importante ferramenta para a avaliação da qualidade da composição desses organismos e das possíveis aplicações tecnológica deles.

Nas análises realizadas, as macrófitas flutuantes da UHE da Barra do Braúna possuem composição similar em relação ao conteúdo de  $MO_{total}$ . O  $P_{total}$  em *P. stratiotes* foi menor quando comparado com a *E. crassipes* e *S. auriculata*. O conteúdo de  $N_{total}$  foi maior em *P. stratiotes* e *S. auriculata* quando comparado com *E. crassipes*. Mas quando observamos os valores de biomassa seca, a *E. crassipes* foi a espécie dominante no banco de macrófitas, representando 87,5% do total de biomassa seca, portanto ela é a responsável por influenciar majoritariamente a composição total do banco.

Quando comparado com dados disponíveis na literatura, os valores de  $MO_{total}$  da *E. crassipes* foi maior do que o encontrado por (REIS, 2012), que encontrou valores entre 29,40% a 42,17%. Já o conteúdo de  $P_{total}$  encontrado foi menor do que o encontrado por ROCHA *et al.* (2014), em *E. crassipes* e *P. stratiotes*, mas foi igual para *Salvinia*. O valor de  $P_{total}$  encontrado na *E. crassipes* foi menor do que o encontrado REIS (2012) e BOYD (1969). Mas segundo ROCHA *et al.* (2014), o conteúdo de  $P_{total}$  em macrófitas aquáticas varia de 0,01% a 0,82%. Assim, os valores de  $P_{total}$  se encontram dentro da faixa de concentração normal. Os valores de  $N_{total}$  da *S. auriculata* se encontram dentro da faixa observada por ROOM E THOMAS (1986). Os valores de  $N_{total}$  em *E. crassipes* foram menores do que a faixa observada por REIS (2012). Mas os valores de  $P_{total}$  e  $N_{total}$  variam de acordo com a fase de vida da planta e das condições nutricionais do meio em que se encontram.

**Tabela 3:** Coletânea de dados de  $MO_{total}$ ,  $N_{total}$  e  $P_{total}$  das macrófitas estudadas

Espécie	$MO_{total}$ (%)	$N_{total}$ (%)	$P_{total}$ (%)	Referência
<i>E. crassipes</i> , <i>P. stratiotes</i> , <i>S. auriculata</i>	-	-	0,13; 0,12; 0,04	ROCHA <i>et al.</i> (2014)
<i>E. crassipes</i>	29,40 a 42,17	0,87 a 2,05	0,03 a 0,1	REIS (2012)
<i>E. crassipes</i> , <i>P. stratiotes</i>	-	-	0,4; 0,3	BOYD (1969)
<i>Salvinia sp.</i>	-	0,062 a 4	0,03 a 1,07	ROOM E THOMAS (1986)

Mas o que poderemos constatar é que as macrófitas são responsáveis pela fitorremediação no reservatório, e o banco de macrófitas analisado foi capaz de remover 1,1 kg/m<sup>2</sup> de N e 0,1 kg/m<sup>2</sup> de P, sendo nesse caso o P o nutriente mais importante em ser removido, pois não possui fase gasosa. Além disso, a biomassa incorporou 98 kg de C, ou seja, além de atuar como fitorremediadoras no ambiente aquático, elas são responsáveis pela remoção de carbono atmosférico, e como o aumento da biomassa nessas plantas ocorre de forma muito rápida, elas podem ser importantes sequestradoras de carbono atmosférico.

Os nutrientes removidos da água do reservatório pelas macrófitas podem ser utilizadas em diversas aplicações sustentáveis para o aproveitamento da biomassa. Uma dessas aplicações é utilizar como alimentação de animais de produção como suínos e bovinos. Diversos testes vêm sendo realizados para avaliar a viabilidade de utilizar a *E. crassipes*, *P. stratiotes* e *S. auriculata* na alimentação desses animais. Os resultados desses estudos mostram que essas macrófitas tem alto valor nutritivo, com alta quantidade de proteínas e minerais, apesar de o seu conteúdo de lignina e polifenóis reduzir a digestibilidade do conteúdo vegetal (ABOUD, KIDUNDA E OSARYA, 2005; BOYD, 1969; LETERME *et al.*, 2009). Esse uso das macrófitas se mostra útil e viável na região onde a UHE da Barra do Braúna se encontra, pois é uma região como já dito anteriormente, onde a pecuária de gado leiteiro e de corte é a principal atividade econômica, sendo possível o uso dessa biomassa como ração em tempos que a disponibilidade de pasto diminui devido à estiagem que acontece no inverno.

Estudos também mostram que a biomassa das macrófitas podem ser utilizadas como fertilizante orgânico. O alto conteúdo de matéria orgânica presente ajuda a recuperar e condicionar solos degradados, além de fornecer N e P, além de outros minerais como K e Mg (CHUKWUKA E OMOTAYO, 2008; GUSAIN, PANDEY E SUTHAR, 2018). Essa é uma outra aplicação que pode ser feita da biomassa das macrófitas, pois a região da UHE possui um longo histórico de degradação do solo, com a perda da cobertura vegetal original de Mata Atlântica, para dar lugar a plantações de café já no início do século XIX. Juntamente a pecuária foi introduzida na região, e é atividade econômica predominante. Em consequência disso, os solos se encontram em estado avançado de degradação (SOUZA *et al.*, 2008). A utilização da biomassa de macrófitas pode servir como condicionador do solo, possibilitando a sua recuperação com programas de reflorestamento da região.

Outras aplicações para a biomassa de macrófitas também tem sido sugerida. Uma delas é a transformação da biomassa de *E. crassipes* em biocarvão para a utilização em tratamento de água para remoção de P e Cr, e também para condicionamento de solo para plantações (CAI *et al.*, 2017; MASTO *et al.*, 2013; YU *et al.*, 2018). Também tem sido feito estudos para avaliar o uso da biomassa de *E. crassipes* na fabricação de tijolos de cerâmica

e concreto (FARIA, MAZZO E JACOB, 2002; GOEL E KALAMDHAD, 2018; OKWADHA E MAKOMELE, 2018).

A produção de biocombustíveis também é uma alternativa para o uso sustentável da biomassa das macrófitas. Diversos estudos têm sido feitos para avaliar a capacidade de *E. crassipes* e *P. stratiotes* para a geração de biogás, bioetanol e biohidrogênio (BARUA, GOUD E KALAMDHAD, 2018; GANGULY, CHATTERJEE E DEY, 2012; MISHIMA *et al.*, 2008; MTHETHWA *et al.*, 2018; PRIYA *et al.*, 2018).

A gestão ambiental do reservatório da UHE da Barra do Braúna por meio da remoção mecânica da biomassa das macrófitas pode gerar um grande volume de resíduos sólidos, mas esse pode ser aproveitados de diversas formas, dependendo das tecnologias disponíveis e demandas da região. Mas o conteúdo de metais pesados deve ser avaliado também, tendo em vista que o rio Pomba é um rio que sofre com constante contaminação de resíduos de mineração à montante do reservatório. A remoção também tem que ser feita de forma controlada, mantendo-se um percentual de cobertura vegetal, para inibir o crescimento de cianobactérias, que podem vir a dominar no ambiente, gerando contaminação no ambiente com cianotoxinas, sendo um risco à saúde pública, tendo em vista que a água do rio Pomba é usado no abastecimento de cidades à jusante do reservatório.

## 6. CONCLUSÕES

A partir dos resultados discutidos nesse trabalho podemos fazer as seguintes conclusões:

- As macrófitas flutuantes do reservatório da UHE da Barra do Braúna possuem  $MO_{total}$ ,  $N_{total}$  e  $P_{total}$  semelhante aos dados disponíveis na literatura;
- Os bancos de macrófitas atuam como fitorremediadores, removendo nutrientes do reservatório, diminuindo a eutrofização;
- O resíduo sólido gerado pela remoção da biomassa de macrófitas pode ser utilizado como fertilizante orgânico e alimento para gado na região da UHE.

## 7. REFERÊNCIAS

- ABOUD, A. A. O.; KIDUNDA, R. S.; OSARYA, J. Potential of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) in ruminant nutrition in Tanzania. **Livestock Research for Rural Development**, v. 17, 2005.
- ALLEN, S. E. *et al.* **Chemical analysis of ecological material**. [s.l.: s.n.].
- AURANGZEB, N. *et al.* Phytoremediation Potential of Aquatic Herbs From Steel Foundry Effluent. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 31, n. 4, p. 881–886, 2014.
- BARBIERI, J. C. **Gestão Ambiental Empresarial: conceitos, modelos e instrumentos**. 4. ed. [s.l.] Saraiva, 2016.
- BARBOSA, A.; GENTIL, I. Histórico do manejo de Macrófitas Aquáticas no Reservatório Guarapiranga. **Anais II Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: Recuperação de Áreas Degradadas, Serviços Ambientais e Sustentabilidade**, p. 585–592, 2009.
- BARRETO, L. V. *et al.* EUTROFIZAÇÃO EM RIOS BRASILEIROS Luciano. **Enciclopedia Biosfera**, v. 9, n. 16, p. 55–60, 2013.
- BARRETT, S. C. H.; FORNO, I. W. Style morph distribution in new world populations of *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms-Laubach (water hyacinth). **Aquatic Botany**, v. 13, n. C, p. 299–306, 1982.
- BARUA, V. B.; GOUD, V. V.; KALAMDHAD, A. S. Microbial pretreatment of water hyacinth for enhanced hydrolysis followed by biogas production. **Renewable Energy**, v. 126, p. 21–29, 1 out. 2018.
- BOYD, C. E. The nutritive value of three species of water weeds. **Economic Botany**, v. 23, n. 2, p. 123–127, 1969.
- CAI, R. *et al.* Phosphate reclaim from simulated and real eutrophic water by magnetic biochar derived from water hyacinth. **Journal of Environmental Management**, v. 187, p. 212–219, 1 fev. 2017.
- CHUKWUKA, K. S.; OMOTAYO, O. E. Effects of *Tithonia* green manure and water hyacinth compost application on nutrient depleted soil in South-Western Nigeria. **International Journal of Soil Science**, v. 3, n. 2, p. 69–74, 2008.
- DHIR, B. *et al.* Physiological and antioxidant responses of *Salvinia natans* exposed to chromium-rich wastewater. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 72, n. 6, p. 1790–1797, 1 set. 2009.
- ESTEVES, F. D. A. **Fundamentos de Limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: [s.n.].
- FARIA, O. B.; MAZZO, F. C.; JACOB, N. B. Avaliação da resistência á compressão de adobe, produzido com adição de biomassa de macrófitas aquáticas, após o ensaio de absorção de água. **III ENECS – ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS AVALIAÇÃO**, 2002.
- FAZAL, S.; ZHANG, B.; MEHMOOD, Q. Biological treatment of combined industrial wastewater. **Ecological Engineering**, v. 84, p. 551–558, 1 nov. 2015.
- FIREHUN, Y. *et al.* Adaptability of two weevils (*Neochetina bruchi* and *Neochetina eichhorniae*) with potential to control water hyacinth in the Rift Valley of Ethiopia. **Crop Protection**, v. 76, p. 75–82, 1 out. 2015.
- FLORESTAS, I. E. DE. PARECER ÚNICO DE COMPENSAÇÃO AMBIENTAL GCA/DIAP

Nº149/2012. 2012.

FORNO, I. W. Native distribution of the *Salvinia auriculata* complex and keys to species identification. **Aquatic Botany**, v. 17, n. 1, p. 71–83, 1983.

GANGULY, A.; CHATTERJEE, P. K.; DEY, A. Studies on ethanol production from water hyacinth—A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 1, p. 966–972, 1 jan. 2012.

GOEL, G.; KALAMDHAD, A. S. A practical proposal for utilisation of water hyacinth: Recycling in fired bricks. **Journal of Cleaner Production**, v. 190, p. 261–271, 20 jul. 2018.

GONG, Y. *et al.* Sustainable removal of formaldehyde using controllable water hyacinth. **Journal of Cleaner Production**, v. 181, p. 1–7, 20 abr. 2018.

GUEDES, H. A. S. *et al.* Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água do Rio Pomba, MG Application of multivariate statistical analysis in the study of water quality in the Pomba River (MG). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. July 2014, p. 558–563, 2012.

GUPTA, R. *et al.* *Pistia stratiotes* (Jalkumbhi). **Pharmacognosy Reviews**, v. 4, n. 8, p. 153, 2010.

GUSAIN, R.; PANDEY, B.; SUTHAR, S. Composting as a sustainable option for managing biomass of aquatic weed *Pistia*: A biological hazard to aquatic system. **Journal of Cleaner Production**, v. 177, p. 803–812, 10 mar. 2018.

HENARES, M. N. P.; CAMARGO, A. F. M. Treatment efficiency of effluent prawn culture by wetland with floating aquatic macrophytes arranged in series. **Brazilian journal of biology = Revista brasileira de biologia**, v. 74, n. 4, p. 906–912, 2014.

HILL, M. P.; COETZEE, J. A.; UECKERMANN, C. Toxic effect of herbicides used for water hyacinth control on two insects released for its biological control in South Africa. **Biocontrol Science and Technology**, v. 22, n. 11, p. 1321–1333, 1 nov. 2012.

HUANG, J. *et al.* When and where to reduce nutrient for controlling harmful algal blooms in large eutrophic lake Chaohu, China? **Ecological Indicators**, v. 89, p. 808–817, 1 jun. 2018.

KUMAR, K. *et al.* Mechanistic understanding and holistic approach of phytoremediation: A review on application and future prospects. **Ecological Engineering**, v. 120, n. May, p. 274–298, 2018.

LEOPOLDINENSE. **Leitor denuncia que plantas aquáticas estão prejudicando a pesca na represa de Barra do Braúna.**

LETERME, P. *et al.* Nutritional value of aquatic ferns (*Azolla filiculoides* Lam. and *Salvinia molesta* Mitchell) in pigs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 149, n. 1–2, p. 135–148, 2 mar. 2009.

LIN, Y.-L.; LI, B.-K. Removal of pharmaceuticals and personal care products by *Eichhornia crassipes* and *Pistia stratiotes*. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, v. 58, p. 318–323, 1 jan. 2016.

LU, J.; FU, Z.; YIN, Z. Performance of a water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) system in the treatment of wastewater from a duck farm and the effects of using water hyacinth as duck feed. **Journal of Environmental Sciences**, v. 20, n. 5, p. 513–519, 2008.

LU, Q. *et al.* Uptake and distribution of metals by water lettuce (*Pistia stratiotes* L.). **Environmental Science and Pollution Research**, v. 18, n. 6, p. 978–986, 2011.

MASTO, R. E. *et al.* Biochar from water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and its impact on soil

biological activity. **CATENA**, v. 111, p. 64–71, 1 dez. 2013.

MISHIMA, D. *et al.* Ethanol production from candidate energy crops: Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and water lettuce (*Pistia stratiotes* L.). **Bioresource Technology**, v. 99, n. 7, p. 2495–2500, 1 maio 2008.

MISHRA, S.; MAITI, A. The efficiency of *Eichhornia crassipes* in the removal of organic and inorganic pollutants from wastewater: a review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 9, p. 7921–7937, 2017.

MOLISANI, M. M. *et al.* Heavy Metals in Sediments of the Lower Paraíba do Sul River and Estuary, R. J., Brazil. **Bull. Environ. Contam. Toxicol.**, v. 63, n. 1999, p. 682–690, 2000.

MTHETHWA, N. P. *et al.* Utilization of *Pistia stratiotes* (aquatic weed) for fermentative biohydrogen: Electron-equivalent balance, stoichiometry, and cost estimation. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 43, n. 17, p. 8243–8255, 26 abr. 2018.

OKWADHA, G. D. O.; MAKOMELE, D. M. Evaluation of water hyacinth extract as an admixture in concrete production. **Journal of Building Engineering**, v. 16, p. 129–133, 1 mar. 2018.

POMPÊO, M. L. M.; MOSCHINI-CARLOS, V. **Macrófitas aquáticas e perifíton, aspectos ecológicos e metodológicos**. São Carlos: RiMa, 2003.

POMPÊO, M. L. M.; MOSCHINI-CARLOS, V. **Macrófitas aquáticas e perifíton, aspectos ecológicos e metodológicos**. São Carlos: [s.n.].

PRIYA, P. *et al.* Biomethanation of water hyacinth biomass. **Bioresource Technology**, v. 255, p. 288–292, 1 maio 2018.

QIN, H. *et al.* Site test of phytoremediation of an open pond contaminated with domestic sewage using water hyacinth and water lettuce. **Ecological Engineering**, v. 95, p. 753–762, 2016.

REIS, R. B. B. **Composição Química de *Eichhornia crassipes* ( Mart .) Solms no rio Almada - Bahia**. [s.l: s.n.].

REZANIA, S. *et al.* Perspectives of phytoremediation using water hyacinth for removal of heavy metals, organic and inorganic pollutants in wastewater. **Journal of Environmental Management**, v. 163, p. 125–133, 2015.

ROCHA, R. J. DA S. *et al.* TOTAL PHOSPHORUS DETERMINATION IN AQUATIC PLANTS USING AN. **Maringá**, v. 23, p. 69–74, 2014.

ROOM, P. M.; THOMAS, P. A. Nitrogen, phosphorus and potassium in *Salvinia molesta* Mitchell in the field: effects of weather, insect damage, fertilizers and age. **Aquatic Botany**, v. 24, n. 3, p. 213–232, 1 jun. 1986.

SCIENCEDIRECT, S.; BASIN, A.; AMERICA, S. Water hyacinth – Can its aggressive invasion be controlled? **Environmental Development**, v. 7, p. 139–154, 2013.

SEKOMO, C. B. *et al.* Heavy metal removal by combining anaerobic upflow packed bed reactors with water hyacinth ponds. **Environmental Technology**, v. 33, n. 12, p. 1455–1464, 1 jun. 2012.

SHAW, K. DETERMINATION OF ORGANIC CARBON IN SOIL AND PLANT MATERIAL. **Journal of Soil Science**, v. 10, n. 2, 1959.

SILVA, R. R. DA. BACIA DO RIO POMBA ( MG ): USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E IMPACTOS AMBIENTAIS NOS BACIA DO RIO POMBA ( MG ): USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E IMPACTOS AMBIENTAIS NOS RECURSOS HÍDRICOS Roselir Ribeiro da Silva. p. 110, 2014.

SMITH, V. Eutrophication of freshwater and coastal marine ecosystems a global problem. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 10, n. 2, p. 126–139, 2003.

SMITH, V. H.; SCHINDLER, D. W. Eutrophication science: where do we go from here? **Trends in Ecology & Evolution**, v. 24, n. 4, p. 201–207, 1 abr. 2009.

SOUZA, E. DE *et al.* **Uso do solo na zona da mata, Minas Gerais**XIII Simpósio Nacional de Geografia Física Aplicada. **Anais...**2008

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica Sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias Fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, baseado em APG III**. 3ª edição ed. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2012.

STRICKLAND, J.D.H. & PARSONS, T. R. A manual of sea water analyses, with special reference to the more common micronutrients and to particulate organic material. **Fisheries Research Board of Canada**, n. 125, p. 203, 1965.

VESELÝ, T.; TLUSTOŠ, P.; SZÁKOVÁ, J. The Use of Water Lettuce (*Pistia Stratiotes* L.) for Rhizofiltration of a Highly Polluted Solution by Cadmium and Lead. **International Journal of Phytoremediation**, v. 13, n. 9, p. 859–872, 1 out. 2011.

VINÍCIUS, C. *et al.* Problemas com infestação de macrófitas aquáticas na área de influência da usina hidrelétrica de itá. **ACTA SCIENTIAE**, v. 5, n. 1, p. 87–92, 2003.

WALTER K., D. *et al.* Policy Analysis Eutrophication of U . S . Freshwaters : Damages. **Environmental Science & Technology**, v. 43, n. 1, p. 8, 2009.

YANG, J. R. *et al.* Disturbance-induced phytoplankton regime shifts and recovery of cyanobacteria dominance in two subtropical reservoirs. **Water Research**, v. 120, p. 52–63, 1 set. 2017.

YU, J. *et al.* Enhanced removal of Cr(VI) from aqueous solution by supported ZnO nanoparticles on biochar derived from waste water hyacinth. **Chemosphere**, v. 195, p. 632–640, 1 mar. 2018.