



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu



JOSÉ CARLOS COELHO

**MACRÓFITAS AQUÁTICAS FLUTUANTES NA REMOÇÃO DE
ELEMENTOS QUÍMICOS DE ÁGUA RESIDUÁRIA**

**Botucatu
2017**

JOSÉ CARLOS COELHO

**MACRÓFITAS AQUÁTICAS FLUTUANTES NA REMOÇÃO DE
ELEMENTOS QUÍMICOS DE ÁGUA RESIDUÁRIA**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

Orientador: Hélio Grassi Filho

Coorientador: Roberto Lyra Villas Bôas

**Botucatu
2017**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO -
DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

C672m Coelho, José Carlos , 1972-
Macrófitas aquáticas flutuantes na remoção de elementos químicos de água residuária / José Carlos Coelho.-
Botucatu: : [s.n.], 2017
76 p.: il., color. , grafs., tabs.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2017
Orientador: Hélio Grassi Filho
Coorientador: Roberto Lyra Villas Bôas
Inclui bibliografia

1. Macrófitas aquáticas. 2. Aguapé. 3. Agua - Reuso.
I. Grassi Filho, Hélio. II. Villas Bôas, Roberto Lyra.
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"
(Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas.
III. Título.

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: MACRÓFITAS AQUÁTICAS FLUTUANTES NA REMOÇÃO DE ELEMENTOS QUÍMICOS DE ÁGUA RESIDUÁRIA

AUTOR: JOSÉ CARLOS COELHO

ORIENTADOR: HÉLIO GRASSI FILHO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (IRRIGAÇÃO E DRENAGEM), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. HÉLIO GRASSI FILHO

Depto de Solos e Recursos Ambientais / UNESP - Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu



Prof. Dr. DIRCEU MAXIMINO FERNANDES

Depto de Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu



PROF. DR. CARLOS HENRIQUE DOS SANTOS

Depto de Agronomia / UNIVERSIDADE DO OESTE PAULISTA

Botucatu, 16 de agosto de 2017

OFEREÇO

Á minha família pelo incentivo, paciência e amor.

AGRADECIMENTOS

A minha esposa, Vera e aos meus filhos, Mayara e Lucas, pela colaboração, compreensão e por todo o apoio em todos os momentos, principais motivadores de minha vida e da minha luta.

Aos meus pais, José Alves e Balbina Bueno, pelo amor e ensino dos valores fundamentais que carregarei por toda minha vida.

Ao professor Dr. Hélio Grassi Filho, pela orientação, oportunidades e amizade, imprescindíveis para a realização deste trabalho e cuja amizade e profissionalismo contribuíram para meu desenvolvimento profissional.

Aos professores Dr. Roberto Lyra Villas Boas e Dr. Dirceu Maximino Fernandes, pela co-orientação, sugestões e incentivo.

Ao Prof. Carlos Henrique dos Santos por me incentivar a ideia desta pesquisa.

A aluna Miriam Büchler Tarumoto pelo apoio na estatística e redação deste trabalho.

Ao Departamento de Solos e Recursos Ambientais, docentes e servidores pela oportunidade e apoio para a realização deste trabalho.

Agradeço a todos que de alguma forma colaboraram para realização deste trabalho.

RESUMO

Contribuindo com o desenvolvimento sustentável dentro da proposta de utilizar sistemas naturais de tratamentos de baixo custo, a fim de promover uma alternativa biológica e limpa, conhecer os parâmetros físico-químicos que podem influenciar o desenvolvimento de macrófitas aquáticas flutuantes, é imprescindível conhecer a dinâmica desses vegetais no ambiente ou em meio artificial. Com isso, tendo como hipótese que a espécie de maior biomassa remove uma maior quantidade de elementos químicos, o objetivo do presente trabalho foi embasado no potencial de três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes* e *Salvinia auriculata* em remover os elementos químicos de água residuária. O trabalho de pesquisa foi instalado em casa de vegetação, na Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Faculdade de Ciências Agronômicas - FCA, Campus de Botucatu/UNESP, localizada no município de Botucatu-SP, latitude 22° 51'S, longitude 48° 26'W Grw, e altitude de 740 m em casa de vegetação de polipropileno. Foram realizados dois experimentos com o delineamento experimental inteiramente casualizado, composto pelo controle (somente água residuária sem plantas) e por três espécies de plantas macrófitas aquáticas flutuantes: *Eichhornia crassipes* (Aguapé), *Pistia stratiotes* (Alface) e *Salvinia auriculata* (Salvinia) cultivadas em água residuária. Foram realizadas seis repetições, perfazendo-se 24 unidades experimentais, em cada experimento. No vegetal, foram realizadas as avaliações de potencial de biomassa de plantas, análise química vegetal, acúmulo dos elementos químicos, extração de elementos por massa de planta, enquanto no efluente foi realizada a análise química de elementos. Os dados foram submetidos a análise de variância e aplicação do teste Tukey à 5% de probabilidade para as médias obtidas de planta, utilizando o software SISVAR® e o teste Dunnett a 5% para as médias obtidas dos dados gerados a partir da água residuária, utilizando o software Minitab® 16. As variáveis que apresentaram interação significativa no teste f de probabilidade e o teste de média não identificou sua interação não foram incluídas nas tabelas de desdobramento. As macrófitas aquáticas flutuantes de maior massa alcançaram melhores resultados nas avaliações realizadas. O Aguapé mostrou o melhor desempenho dentre as macrófitas, na maioria dos parâmetros avaliados, e a Alface se igualou ao Aguapé em outros.

Palavras-chave: *Eichhornia crassipes*. *Pistia stratiotes*. *Salvinia auriculata*.
Efluentes

ABSTRACT

Contributing to the sustainable development within the proposal to use natural systems of low cost, in order to promote a clean and biological alternative, to know the physicochemical parameters that can influence the development of floating aquatic macrophytes is essential in the dynamics of these plants in the environment or in Artificial means. The objective of this work was based on the potential of three species of floating aquatic macrophytes *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes* and *Salvinia auriculata* in removing the chemical elements from Wastewater. The research work was carried out in a greenhouse at Experimental Lageado Farm, belonging to the Faculty of Agronomic Sciences - FCA, Campus Botucatu / UNESP, located in the municipality of Botucatu, Sao Paulo State, latitude 22° 51'S, longitude 48° 26'W Grw, And altitude of 740 m in a greenhouse of polypropylene. Two experiments were carried out in a completely randomized experimental design, composed of the control (only wastewater without plants) and three floating aquatic macrophyte species: *Eichhornia crassipes* (Aguapé), *Pistia stratiotes* (Lettuce) and *Salvinia auriculata* (Salvinia) cultivated in wastewater. Six replicates were performed, making up 24 experimental units in each experiment. In the plant, the evaluation of plant biomass potential, chemical plant analysis, efficiency of the use of chemical elements, accumulation of chemical elements, extraction of elements by plant mass, and in the effluent were carried out the chemical analysis of elements. The data were submitted to analysis of variance and Tukey test at 5% probability for the means obtained from the plant using the software SISVAR® and the Dunnett test at 5% for the means obtained from the data generated from the wastewater, Using the software Minitab® 16. The variables that showed significant interaction in the probability test f and the mean test did not identify their interaction were not included in the unfolding tables. The higher mass floating aquatic macrophytes achieved better results in the evaluations. The Aguapé showed the best performance among the macrophytes, in the majority of the evaluated parameters, and the Lettuce equated to the Aguapé in many others.

Keywords: *Eichhornia crassipes*. *Pistia stratiotes*. *Salvinia auriculata*. Effluent

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição da água residuária.....	38
Tabela 2 - Valores médios de massa de matéria fresca inicial (MMFi) e final (MMFf), diferença da matéria fresca inicial e final (MMFf-i), massa de matéria seca (MMS) e produção de biomassa fresca (Produção MMF) e seca (Produção MMS) em três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes cultivadas durante 4 semanas em água residuária (experimento1), Botucatu, SP, 2017.....	44
Tabela 3 - Valores médios de massa de matéria fresca inicial (MMFi) e final (MMFf), diferença da matéria fresca inicial e final (MMFf-i), massa de matéria seca (MMS) e produção de biomassa fresca (Produção MMF) e seca (Produção MMS) em três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes cultivadas durante 3 semanas em água residuária (experimento 2), Botucatu, SP, 2017.....	45
Tabela 4 - Teor de elementos químicos em três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes cultivadas durante 4 semanas em água residuária (eperimento1), Botucatu, SP, 2017.....	46
Tabela 5 - Teor de elementos químicos em três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes cultivadas durante 3 semanas em água residuária (experiemnto2), Botucatu, SP, 2017.....	47
Tabela 6 - Teores de amônio (N-NH ₄), nitrato (N-NO ₃) e relação C/N nos experimento 1 e 2 em três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes cultivadas durante 4 e 3 semanas, respectivamente, em água residuária, Botucatu, SP, 2017.....	48
Tabela 7- Acúmulo de elementos químicos em três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes cultivadas durante 4 semanas em água residuária (experimento1), Botucatu, SP, 2017.....	49
Tabela 8 - Acúmulo de elementos químicos em três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes cultivadas durante 3 semanas em água residuária (experimento2), Botucatu, SP, 2017.....	49
Tabela 9 - Extração de elementos avaliados na água residuária após a 1ª semana do cultivo de três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, Botucatu, SP, 2017.....	50
Tabela 10 - Extração de elementos avaliados na água residuária após a 2ª semana do cultivo de três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, Botucatu, SP, 2017.....	51
Tabela 11 - Extração de elementos avaliados na água residuária após a 3ª semana do cultivo de três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, Botucatu, SP, 2017.....	52
Tabela 12 - Extração de elementos avaliados na água residuária após a 4ª semana do cultivo de três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, Botucatu, SP, 2017.....	52
Tabela 13 - Somatório da extração de elementos avaliados na água residuária em 4 semanas do cultivo de três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, Botucatu, SP, 2017.....	53

Tabela 14 - Redução da concentração de elementos avaliados na água residuária após a 1ª semana do cultivo de três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, Botucatu, SP, 2017.....	54
Tabela 15 - Redução da concentração de elementos avaliados na água residuária após a 2ª semana do cultivo de três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, Botucatu, SP, 2017.....	54
Tabela 16 - Redução da concentração de elementos avaliados na água residuária após a 3ª semana do cultivo de três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, Botucatu, SP, 2017.....	55
Tabela 17 - Redução da concentração de elementos avaliados na água residuária após a 4ª semana do cultivo de três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, Botucatu, SP, 2017.....	55
Tabela 18 - Médias da redução da concentração de elementos avaliados na água residuária em 4 semanas do cultivo de três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, Botucatu, SP, 2017.....	56
Tabela 19 - Valores médios de pH e redução de Condutividade Elétrica (CE) após cada semana e média ao final de 4 semanas no cultivo em três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, Botucatu, SP, 2017.....	56
Tabela 20 - Extração de elementos avaliados na água residuária após a 1ª semana do cultivo de três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, Botucatu, SP, 2017.....	57
Tabela 21 - Extração de elementos avaliados na água residuária após a 2ª semana do cultivo de três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, Botucatu, SP, 2017.....	58
Tabela 22 - Extração de elementos avaliados na água residuária após a 3ª semana do cultivo de três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, Botucatu, SP, 2017.....	58
Tabela 23 - Somatório da extração de elementos avaliados na água residuária em 3 semanas do cultivo de três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, Botucatu, SP, 2017.....	59
Tabela 24 - Redução de elementos avaliados na água residuária após a 1ª semana do cultivo de três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, Botucatu, SP, 2017.....	60
Tabela 25 - Redução de elementos avaliados na água residuária após a 2ª semana do cultivo de três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, Botucatu, SP, 2017.....	60
Tabela 26 - Redução de elementos avaliados na água residuária após a 3ª semana do cultivo de três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, Botucatu, SP, 2017.....	61
Tabela 27 - Média da extração de elementos avaliados na água residuária em 3 semanas do cultivo de três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, Botucatu, SP, 2017.....	61

Tabela 28 - Valores médios de pH e redução de Condutividade Elétrica (CE) após cada semana e a média ao final de 3 semanas no cultivo em três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, Botucatu, SP, 2017.....62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Balanço climático do período de 09 de janeiro a 28 de fevereiro de 2017 referente ao período total de 2 ciclos experimentais.....	34
Figura 2 - <i>Eichhornia crassipes</i> (Aguapé), <i>Pistia stratiotes</i> (Alface), <i>Salvinia auriculata</i> (Salvínia), Botucatu, SP, 2017.....	35
Figura 3. Disposição dos tratamentos em casa de vegetação, Botucatu, SP, 2017.....	35
Figura 4 - Local de coleta de macrófitas aquáticas flutuantes, Rio Tietê, Botucatu, SP, 2017.	36
Figura 5 - Aclimação de macrófitas aquáticas flutuantes em casa de vegetação, Botucatu, SP, 2017.	36
Figura 6 - Seleção e acondicionamento de macrófitas aquáticas flutuantes nas unidades experimentais, Botucatu, SP, 2017.	37
Figura 7 - Recipientes de armazenamento em refrigerador para análise de água.....	38
Figura 8 - Medidas e capacidade em litros de cada unidade experimental utilizada nos experimentos.	39
Figura 9 - Unidades experimentais completas em 50% pelas espécies de macrófitas, Botucatu, SP, 2017.	39
Figura 10 - Separação do material vegetal das três espécies para pesagem, Botucatu, SP, 2017.....	40

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
2.1	ÁGUA RESIDUÁRIA.....	24
2.2	MACRÓFITAS AQUÁTICAS	25
2.2.1	EICHHORNIA CRASSIPES (AGUAPÉ)	28
2.2.2	PISTIA STRATIOTES (ALFACE).....	29
2.2.3	SALVINIA AURICULATA (SALVÍNIA)	29
2.3	FITORREMEDIAÇÃO	30
2.4	DESTINAÇÃO DA BIOMASSA APÓS FITORREMEDIAÇÃO DA ÁGUA RESIDUÁRIA	31
3	MATERIAL E MÉTODOS	34
3.1	LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE EXPERIMENTAL	34
3.2	CARACTERÍSTICAS EXPERIMENTAIS.....	34
3.3	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS	35
3.4	INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO	36
3.4.1	OBTENÇÃO DAS PLÂNTULAS.....	36
3.4.2	TRANSFERÊNCIA DAS PLÂNTULAS	37
3.4.3	ÁGUA RESIDUÁRIA.....	37
3.5	VARIÁVEIS ANALISADAS	39
3.5.1	MASSA DE MATÉRIA FRESCA E SECA DA PLANTA	39
3.5.2	POTENCIAL DE PRODUTIVIDADE DE BIOMASSA (G M ²).....	40
3.5.3	ANÁLISE QUÍMICA VEGETAL.....	41
3.5.4	ACÚMULO DE ELEMENTOS QUÍMICOS	41
3.5.5	EXTRAÇÃO DOS ELEMENTOS QUÍMICOS POR MASSA DA PLANTA	42
3.5.6	ANÁLISE QUÍMICA DO EFLUENTE	42
3.6	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	43
4	RESULTADOS	44
4.1	PARÂMETROS RELACIONADOS À PLANTA.....	44
4.1.1	TEOR DE NUTRIENTES.....	45
4.1.2	ACÚMULO DE ELEMENTOS QUÍMICOS	48
4.2	PARÂMETROS RELACIONADOS À ÁGUA RESIDUÁRIA.....	50
4.2.1	EXPERIMENTO 1.....	50
4.2.2	EXPERIMENTO 2.....	57
5	DISCUSSÃO	63
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
7	CONCLUSÕES.....	67
	REFERÊNCIAS	68

1 INTRODUÇÃO

A escassez dos recursos naturais, devido o crescimento exponencial da população, que adotou o consumismo além da expansão industrial, não se trata somente de quantidade, mas a qualidade dessa disponibilidade ambiental como a eutrofização e poluição de corpos d'água por não ter a destinação correta de efluentes tanto industriais quanto domésticos (PERALTA-ZAMORA et al., 1997; GRECO, 2010; GIORDANO, 2004).

O processo de tratamento de esgotos domésticos surgiu a princípio com o intuito de remover a matéria orgânica e os sólidos, porém, a percepção das demais contaminações proporcionou a demanda na redução de outros constituintes, como nutrientes e organismos patogênicos (GASI; ROSSIN, 1993). Atualmente esse tratamento consiste na separação do esgoto doméstico basicamente em 4 níveis.

O primeiro deles é chamado de preliminar, e consiste na remoção de sólidos suspensos como lixo e partículas minerais. Os demais tratamentos - primário, secundário e o pós tratamento - removem os sólidos dissolvidos, material orgânico, nutrientes e organismos patogênicos, respectivamente. O Brasil e os Estados unidos adotam essa sequencia de tratamentos que geram, conseqüentemente, o lodo e a água residuária (ALAMINO, 2010).

A SABESP atualmente produz, em média, 468 litros de água por segundo para fornecimento externo ou uso interno da Sabesp nas estações Jesus Netto, Barueri e Parque Novo Mundo. Em Botucatu, esse número está em torno de 30 litros por segundo. Essa água pode ter a destinação potável ou não potável, a última inclui usos na agricultura, domésticos, industriais, entre outros além de proporcionar redução nos gastos (SABESP, 2016).

Embora já haja adequação de descarte de lodo e sistemas de tratamento em muitos dos países desenvolvidos, os países em ascensão, apesar de apresentarem grande quantidade de estações de tratamento de esgoto, ainda não possuem alocação de subprodutos, e lançam esse material diretamente nos cursos d'água (KATAYAMA, 2012; ZHAO; BABATUNDE, 2007; ANDREOLI; PINTO, 2001).

No Brasil há em torno de 8 mil estações de tratamento, porém em torno de 70% delas, lança-se o lodo diretamente em corpos d'água (BRASIL, 2008). Portanto, são frequentes episódios de desequilíbrio do ecossistema aquático, com florações de algas, pelo aumento da concentração de nitrogênio (N) e fósforo (P) pelas

condições eutróficas do reservatório reduzindo o oxigênio e com o aumento de massa dificultam o trabalho de turbinas e causam problemas operacionais até nas próprias estações de tratamento, além de propiciar picos de concentração de sólidos e carbono orgânico total na água bruta, e conseqüentemente a degradação de sua qualidade organoléptica, portanto tem-se buscado processos biológicos, que não danifiquem o ambiente, para remoção desses nutrientes (KATAYAMA, 2012; FIGUEIREDO et al., 2007; GRADY; DAIGGER; LIM, 1999).

A maioria das culturas comerciais pode ser suprida nutricionalmente por elementos essenciais e benéficos contidos em água residuária, esta podendo representar uma alternativa viável para atender a demanda hídrica das culturas, considerando a desuniforme distribuição de chuvas, além de reduzir e manejar a poluição e conseqüentemente preservar o ambiente. Portanto, a importância do uso de alternativas tecnologicamente sustentáveis com intuito de reciclar e reutilizar, promovendo efeito benéfico a todos os campos envolvidos, e assim tornar possível a devolução da água polida ao ambiente (SILVA; EYNG, 2013).

Os vegetais, aliados aos sistemas de tratamento, podem ser uma alternativa para o polimento desses efluentes de baixa qualidade ambiental, tendo como características a ciclagem de nutrientes, sendo benéfico ao desenvolvimento da planta e ao ambiente, abrangendo a recuperação de corpos d'água, distribuição mais uniforme de recursos hídricos, o baixo custo e a facilidade de manutenção além de originar produtos de valor agregado a partir da biomassa após a fitorremediação, como por exemplo a compostagem, que faz o uso de lodo juntamente ao material vegetal (ARAUJO et al., 2000; XU; SHEN, 2011).

Nesses sistemas vegetais, o uso de plantas altamente eficazes na absorção e armazenamento de grande quantidade de elementos e com alta taxa de crescimento são mais adequadas, nesses parâmetros se encaixam as macrófitas aquáticas flutuantes com eficiência diferenciada a cada espécie, que são influenciadas também por temperatura, umidade relativa, luminosidade, entre outros fatores, bióticos e abióticos, como, por exemplo, a concentração de elementos químicos no efluente (HENRY-SILVA, 2005, MARTELO; BORRERO, 2012).

Nesse contexto, contribuindo ao desenvolvimento sustentável dentro da proposta de utilizar sistemas naturais de baixo custo, a fim de promover uma alternativa biológica e limpa, conhecer os parâmetros físico-químicos que podem

influenciar o desenvolvimento de macrófitas aquáticas flutuantes é imprescindível na dinâmica desses vegetais no ambiente ou em meio artificial.

O objetivo do presente trabalho foi embasado no potencial de três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes* e *Salvinia auriculata* em remover os elementos químicos de água residuária.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Água residuária

As águas residuárias podem ser definidas como líquido proveniente de uso doméstico, industrial e comercial em diferentes níveis de tratamento, sendo as recém-produzidas turvas, de cor escura, e de forte odor, pode conter sólidos de grandes e pequenas dimensões em flutuação ou suspensão, podem possuir certa periculosidade devido organismos patogênicos (SILVA; MARA, 1979).

Essas águas precisam receber diversos tipos de tratamentos a fim de estarem aptas e não serem prejudiciais ao serem devolvidas aos corpos d'água, contribuindo para que os mananciais não sejam poluídos, preservando-se a saúde da população (VIEIRA; KOVALICZN, 2010).

O tratamento das águas residuárias tem por objetivo retirar o máximo de poluentes possível, com potencial de prejudicar o meio aquático em que são descartados. Compostos orgânicos constituem a maior parte dos poluentes que demandam oxigênio, porém os inorgânicos como o nitrogênio amoniacal e os químicos orgânicos tóxicos, também são potenciais focos de preocupação (GRADY; DAIGGER; LIM, 1999).

Essa remoção de poluentes pode ocorrer física; química e/ou bioquimicamente, por atividade microbiana ou enzimática, por meio de processos anaeróbios, por filtros biológicos de alta taxa, lodos ativados, e ainda, por discos biológicos rotativos e sistemas de lagoas aeróbias e de estabilização, visando principalmente a remoção de matéria orgânica solúvel (BRAILE; CAVALCANTI, 1993; GRADY; DAIGGER; LIM, 1999).

A eutrofização é definida pelo enriquecimento das águas por nutrientes, principalmente nitrogênio (N) e fósforo (P), e desde o seu descobrimento, na década de 1960, há a constante preocupação com a remoção desses nutrientes, que propicia condições para o excessivo desenvolvimento de plantas aquáticas, causando um desequilíbrio do ecossistema aquático e progressiva degeneração da qualidade da água dos corpos lânticos, acarretando o grande problema de desenvolvimento de espécies aquáticas que, em condições específicas são capazes de liberar toxinas prejudiciais, e portanto tem-se buscado processos biológicos, que

não danifiquem o ambiente, para remoção desses nutrientes (FIGUEIREDO et al., 2007; GRADY; DAIGGER; LIM, 1999)

Porém, geralmente esses mecanismos são capazes de retirar a quantidade desses elementos para tornar o efluente aceitável a níveis químicos pela legislação, portanto há a necessidade de um polimento, ou seja, um tratamento alternativo além do convencional, mas, esses chamados de tratamentos terciários, são tidos como um processo oneroso (BRANCO et al., 1995; MORAES; RODRIGUES, 2002; GONZALEZ et al., 2015).

Uma alternativa considerada de baixo custo é o emprego de macrófitas aquáticas flutuantes e sua microbiota que são altamente eficazes na remoção de substâncias tóxicas do ambiente (LIMA et al., 2003).

Os sistemas de tratamento convencional de efluentes são constituídos por uma sequencia de operações e processos como separação, transformação de constituintes, entre outros, e nessa cadeia entra a macrófita aquática, com alto potencial de depuração nos sistemas de tratamento já operantes, ocasionando o aproveitamento da água residuária pelo vegetal, acarretando na conservação da água disponível, possibilitando o aporte e ciclagem de nutrientes, além de reduzir os gastos do agronegócio com fertilizantes, e com isso proporcionando melhores condições para preservação ambiental (OLIVEIRA et al., 2000).

2.2 Macrófitas aquáticas

Wearner e Clements (1938) foram os primeiros autores a mencionarem o termo 'macrófitas aquáticas', definindo-as como herbáceas que crescem na água em solos cobertos por água ou em solos saturados com água, atualmente sua definição se apresenta mais detalhada como a origem da palavra que consiste em macro = grande; fita = planta que são formas macroscópicas de vegetais superiores, enraizadas em ambiente aquático, visíveis a olho nu, cujas partes fotossintetizantes ativas estão permanentemente, ou por diversos meses, todos os anos, total ou parcialmente submersas em água doce ou salobra, ou ainda flutuantes na mesma com grande capacidade de adaptação a diferentes tipos de ambientes (ESTEVES, 1998; WETZEL, 1993; IRGANG; GASTAL JR, 1996).

Esses vegetais podem funcionar como indicadores da qualidade da água, pois são responsáveis por importantes funções nos ecossistemas aquáticos na

participação da ciclagem e estocagem de elementos, constituição de detritos orgânicos, controlando a poluição e eutrofização artificial das águas, além de funcionarem como fonte de matéria orgânica, enquanto vivas ou até mortas na forma de detritos, para organismos, ainda alteram a estrutura espacial dos habitats (ESTEVES; CAMARGO, 1986; POTT; POTT, 2000; ESTEVES, 2011).

Em rios e riachos influenciam na sedimentação e na retenção de nutrientes, nas características físicas e químicas da água e, em alguns casos, podem afetar a velocidade do fluxo da água (ESTEVES, 1998).

As macrófitas aquáticas são as macroalgas, musgos, pteridófitas e angiospermas, de origem terrestre, adaptadas para viver em ambiente aquático ocorrendo tanto em ambientes mais secos da borda de corpos d'água quanto inseridas ou submersas na água (SCREMIN-DIAS et al., 1999).

Esses vegetais tem sua classificação determinada pelo biotipo no ambiente aquático, em basicamente cinco grupos ecológicos. O primeiro é chamado de Macrófitas aquáticas emersas que são enraizadas, porém com as folhas localizadas fora d'água, algumas espécies que compõem esse grupo são a *Eleocharis* sp. e a *Typha domingensis*. Um outro grupo são as Macrófitas aquáticas com folhas flutuantes que possuem as raízes e folhas superficiais a exemplo tem-se as espécies *Nymphaea* sp. e *Nymphoides* sp. O terceiro grupo é composto pelas Macrófitas aquáticas submersas enraizadas que tem seu desenvolvimento totalmente submerso como a *Egeria densa* e a *Mayaca* sp. O próximo grupo são as Macrófitas aquáticas submersas livres que estão submersas porém flutuam na superfície aquática prendendo-se a outras macrófitas como a *Utricularia* sp. E por fim estão as Macrófitas aquáticas flutuantes que, como o próprio nome sugere, flutuam na superfície da água como exemplo, algumas das espécies utilizadas no presente trabalho como a *Pistia stratiotes*, *Eichhornia* sp. (PROBIO, 2008).

Por possuírem uma alta exigência nutricional, tem o potencial para despoluir lagos e rios, por meio da retirada de elementos como o N e o P, gerados no uso industrial e doméstico, formando um sistema físico-biológico em intensa atividade microbiana que podem transformar, por meio de reações, o nitrato em nitrito e posteriormente em nitrogênio gasoso, e na zona anaeróbica, ocorre à remoção da carga orgânica com a decomposição das bactérias anaeróbicas e o P pode ser absorvido pelas macrófitas (NAIME; GARCIA, 2005).

Espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, em geral, possuem grande plasticidade fenotípica, reprodução vegetativa intensa e elevada taxa de crescimento, porém são influenciadas por alguns fatores abióticos como temperatura e fotoperíodo, como exemplo o aquecimento global modificando sistemas biológicos como dessas espécies, incluindo alterações nos ciclos fenológicos, como brotamento de folhas, data de floração, migração e tempo de reprodução, determinando a distribuição geográfica além de afetar a estrutura das comunidades (RUBIM; CAMARGO, 2001; HENRY-SILVA et al., 2008; SANTAMARIA; VAN VIERSSSEN, 1997; SVENSSON; WIGREN-SVENSSON, 1992; ROONEY; KALFF 2000; ROSENZWEIG et al. 2008).

O fato de a maior reserva de água doce mundial se situar no Brasil, pode acarretar na alta diversidade de plantas aquáticas no país sendo as mais comuns em rios e lagos, as espécies *E. crassipes* (aguapé, jacinto d'água, baronesa, rainha dos lagos), a *Pistia stratiotes* (alface d'água), e outras dos gêneros *Salvinia* spp. (samambaia aquática, marrequinha, erva de sapo e murerê) e *Potamogeton* spp., dentre elas, as 3 primeiras serão estudadas na presente pesquisa por serem consideradas com maior potencial depurativos, que desde 1953 tem sido avaliadas, no Instituto alemão Marx Plank, mais de 200.000 espécies de plantas a fim de verificar a sobrevivência e os custos benéficos em efluentes contaminados (RUBIO et al., 2004; ROMITELLI, 1983; SHILTON et al., 2012).

As macrófitas aquáticas são responsáveis pela manutenção e equilíbrio de ambientes aquáticos, contribuindo em transformações físico-químicas e nos mecanismos microbiológicos de remoção dos nutrientes, sendo estes também armazenados em forma de vacúolos de reserva, reduzindo parcialmente a carga de metabólitos provenientes do cultivo de organismos aquáticos, aumentando substancialmente a qualidade da água e portanto vem se constituindo uma alternativa em diversos sistemas de tratamento de efluentes, a exemplo do tratamento de esgoto doméstico e pós-tratamento de efluentes agroindustriais (ZANIBONIFILHO, 1997; SIPAÚBA-TAVARES; FAVERO; BRAGA, 2002; SIPAÚBA-TAVARES; BARROS; BRAGA, 2003; RODELLA et al. 2006; SOUSA et al. 2004; MEES, 2006; REIDEL et al, 2005).

Pela potencialidade que as macrófitas aquáticas apresentam, diversos trabalhos mencionam o aproveitamento de biomassa, como a produção de adobe

(BEZERRA; SILVA; LOPES, 2007), adubação orgânica (SAMPAIO; OLIVEIRA, 2005), compostagem (MEES, 2006) e alimentação animal (EL SAYED, 1999).

O uso de macrófitas aquáticas flutuantes tem destaque entre as tecnologias de tratamento de efluentes, devido seu potencial de remoção de nutrientes das águas residuárias, e o fornecimento de forma lucrativa de reciclar os elementos por meio da produção de uma variedade de produtos de valor agregado a partir da biomassa pós-colheita (XU; SHEN, 2011).

2.2.1 *Eichhornia crassipes* (Aguapé)

Uma das espécies de macrófitas aquáticas mais promissoras para utilização industrial é a *E. crassipes* classificada como uma planta aquática flutuante livre, nativa da América do Sul e pertencente à família Pontederidaceae, que se reproduz por sementes, as quais permanecem viáveis por pelo menos 15 anos no sedimento dos corpos d'água, e de forma vegetativa, via estolões (HOLM; YEO, 1980).

Atualmente, encontra-se amplamente distribuída nas regiões tropicais e subtropicais, e é capaz de fixar em seus tecidos elementos em quantidades superiores às suas necessidades, bem como elementos químicos estranhos ao seu metabolismo e possui elevada capacidade de absorver e tolerar elevadas quantidades de íons de metais pesados (MURAMOTO; OKI, 1983; ROQUETE PINTO et al., 1986; DENÍCULI et al., 2000).

O uso de aguapés em lagoas de estabilização representa não só economia mas a prática da sustentabilidade, por ser uma forma ecológica no tratamento de efluentes industriais ou sanitários, constituindo uma alternativa aparentemente comprovada como sistemas biológicos são altamente eficientes e tem baixo investimento e consumo energético (MOSSÉ et al., 1980; STEWART, 1987; DIAS, 2006).

O aguapé pode ter um aumento de até 15% dia⁻¹ de biomassa fresca acumulando 800 kg ha⁻¹, duplicando-a em seis ou sete dias e em condições adequadas, produz aproximadamente 500 t ha⁻¹ ano⁻¹ de biomassa fresca, com um incremento de volume de 4,8% ao dia (ALVES et al., 2003).

2.2.2 *Pistia stratiotes* (Alface)

Pistia stratiotes (alface-d'água), pertence à família Araceae, é uma macrófita aquática classificada como uma espécie flutuante livre, de distribuição cosmopolita tropical com a capacidade de rápida proliferação por meio de reprodução vegetativa, habilidade para regenerar-se a partir de pequenas porções do talo e independência parcial ou completa das estruturas sexuais de reprodução, por muito tempo e em algumas localidades é considerada indesejada (POTT; POTT, 2000; MARTINS et al., 2002; CANCIAN, 2009).

Foram registrados na literatura alguns locais em que seu crescimento é considerado indesejado, por causar obstrução, e impedir a passagem da água dificultando os processos habituais do sistema, estes são canais de irrigação em Gâmbia, em um braço do reservatório de Itaipu, Brasil e em viveiros de criação de peixes na África, enquanto no Brasil, avarias acarretadas pela multiplicação indeterminada dessa espécie foram observadas em áreas de altas temperaturas e em corpos d'água de baixa qualidade, causadas por ações antropogênicas, tais como a eutrofização e o aquecimento global, que propicia o crescimento de *P. stratiotes* e pode promover a expansão de sua superfície de alcance (TERRY, 1981; THOMAZ et al., 1999; PETR, 2000; LORENZI, 1982), portanto a importância de alcançar alternativas que a reutilizem, como a compostagem.

2.2.3 *Salvinia auriculata* (Salvinia)

A *Salvinia auriculata* é uma macrófita pertencente à família Salviniaceae, classificada como livre e flutuante, muito comum em água doce, sendo, sob condições adequadas, se prolifera em alta velocidade por reprodução assexuada colonizando extensas superfícies de água em um curto espaço de tempo, principalmente em águas paradas e ricas em nutrientes, além de apresentar ampla distribuição geográfica, portanto, pode ser considerada como invasora, por se propagar de forma indesejada em diferentes ecossistemas aquáticos (HENRY-SILVA et al., 2006).

O emprego dessa espécie como bioindicadora de qualidade da água pode ser justificado pelas altas taxas de crescimento e a sensibilidade a agentes tóxicos distintos, porém o ponto de interesse não está apenas na detecção de potenciais

contaminações, mas também recuperar o ambiente (SUÑE et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2001; OUTRIDGE; HUTCHINSON, 1990).

Em condições favoráveis, pode desenvolver biomassa vegetativa na superfície das águas na ordem de aproximadamente $700 \text{ g m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$, enquanto sua decomposição pode levar ao esgotamento do oxigênio dissolvido na água, e a sua cobertura superficial pode impedir a entrada de ar e luminosidade (MARTINS et al., 2002).

Segundo Gonzalez et al., 2015, esta espécie além de possuir elevado potencial na remoção de nutrientes produz alta quantidade de biomassa, portanto recomenda-se o uso de *Salvinia molesta* em tecnologias biológicas para tratamento de efluentes, podendo inclusive reutilizar a água e a biomassa para outros fins, como a compostagem, auxiliando no desenvolvimento sustentável.

Com isso, alguns estudos enfatizam a idéia de avaliação de macrófitas pertencentes a grupos distintos, em busca de obter maiores conhecimentos acumulação de elementos por esses vegetais (ESTEVES, 1998).

2.3 Fitorremediação

Os organismos vivos utilizados na detecção de poluentes em determinada área, respondendo ao estresse a que são submetidos por modificações nos ciclos fenológicos, acúmulo de elementos nos tecidos ou modificações fisiomorfológicas, são denominados bioindicadores (CARRERAS; PIGNATA, 2001; ROSSBACH et al. 1999; WAPPELHORST et al., 2000).

Há basicamente, dois tipos de bioindicadores, os considerados bioindicadores de reação, em que o indivíduo é suscetível ao poluente, apresentando mudanças morfológicas, citológicas, entre outras e os de acumulação, também chamados de fitorremediadores ou fitoextratores, em que as espécies devem ser capazes de acumular concentrações relativamente elevadas de dado poluente sem que o indivíduo seja danificado (MUDD; KOZLOWSKI, 1975, apud SILVA et al., 2000).

No caso de metais pesados, as plantas, em geral, apresentam ampla variação quanto à absorção, que geralmente é realizada pelas raízes, constituindo assim, o principal órgão vegetal envolvido nesse processo, portanto, as maiores concentrações de metais pesados são, também, encontradas nesta parte da planta (HART et al., 1998; GRANT et al., 1998).

Porém, o que ocorre em plantas aquáticas é o contato direto de folhas e solução de absorção que contem elementos poluentes, e portanto, deduz-se que, assim como as raízes, a folha tenha capacidade de absorver elementos, mas esse processo é pouco conhecido, assim como sua influencia sobre os processos vitais das plantas (CAKMAK et al., 2000).

Macrófitas aquáticas flutuantes respondem com maior eficácia na remoção de nutrientes do que às enraizadas, por atuarem diretamente em contato com o corpo d'água além de apresentarem menor sensibilidade a baixas temperaturas, níveis elevados de nutrientes, pragas e doenças (CHENG; STOMP, 2009; IQBAL, 1999).

Em muitos estudos o potencial dessas espécies no tratamento de efluentes tem sido comprovado, principalmente na remoção de elementos, como mostrado por Mohedano et al. (2012) o desempenho da espécie *Lemna valdivianana* para remoção de nutrientes a partir da água residuária proveniente de aquicultura, com eficiência de remoção de P de 94%, enquanto Xu e Shen (2011) mostraram o potencial de *Spirodela oligorrhiza*, constatando remoções na ordem de 89,4% de P a partir de efluentes de dejetos de suínos.

Contudo, o diferencial do sistema consiste na obtenção de subprodutos, a partir da biomassa pós-colheita, como demonstrado por Landesman et al. (2002) na determinação da composição centesimal da biomassa seca de *Lemna gibba*, com teores de proteínas, carboidratos, minerais e lipídeos em valores aproximados 42, 18, 16 e 4%, respectivamente, comprovando o potencial de reutilização da biomassa para a ração animal e até produção de bioetanol.

2.4 Destinação da biomassa após fitorremediação da água residuária

O sistema de tratamento eficiente é definido pelo planejamento e manejo adequados, considerando o custo benefício e aproveitando cada material gerado, com destino adequado da biomassa produzida, que com aplicação de macrófitas aquáticas, tornam-se essenciais unidades de beneficiamento e de armazenamento de biomassa (POMPÊO, 2005).

As macrófitas aquáticas flutuantes após o processo de fitorremediação, podem ser compostados, ou seja, serem submetidas à um processo biológico aeróbio e controlado de decomposição microbiana, de oxidação e oxigenação de uma massa

não homogênea, transformando de resíduos orgânicos em resíduos estabilizados, com propriedades e características completamente diferentes do material que lhe deu origem (BIDONE, 1999; WOLVERTON; McDONALD, 1979; KIEHL, 1998).

Nesse processo, o material passa por três etapas, a primeira descrita pelo desprendimento de calor, vapor d'água e gás carbônico, desenvolvendo ácidos minerais, com efeito danoso sobre as plantas, em que a temperatura necessária é de 25 a 40°C; a segunda etapa abrange a fase de semicura, em que depois de 10 a 20 dias o material entra no estado de estabilização, e o composto atinge temperaturas de 50 a 55°C; a terceira é a fase de maturação, em que ocorre a degradação da matéria orgânica, onde o composto adquire propriedades físicas, químicas e biológicas de húmus, sendo que as alterações essenciais que ocorrem no composto durante o processo de compostagem referem-se à temperatura, umidade, pH e relação carbono/nitrogênio (KIEHL, 1998).

O equilíbrio entre água e o ar é essencial para que o processo ocorra idealmente, obtido mantendo-se umidade em torno de 55% (BIDONE, 1999).

A aeração das leiras é importante como garantia de um ambiente aeróbio, evitando o mau cheiro e moscas, esta pode ser realizada manual ou mecanicamente, mostrado pelo estudo de Wolverton e McDonald (1979) na compostagem de aguapés em leiras de 6 a 8 pés de altura, ou seja, leiras de 1,8 a 2,4 metros, recomendam que as pilhas formadas sejam revolvidas pelo menos uma vez por mês para garantir a aeração e para atingir a compostagem completa sejam mantidas por um período de 3 a 6 meses, dependendo da temperatura e da frequência de revolvimento das leiras.

Segundo Goyal et al. (2005) na compostagem de aguapés em leiras de 0,6 x 0,6 x 0,6 m, durante um período de 3 meses, efetuaram o revolvimento das leiras quinzenalmente nos dois primeiros meses e mensalmente no terceiro mês, com umidade controlada a 60%.

O aguapé empilhado pode ser entreposto com esterco suíno e terra rica em húmus e as leiras reviradas em períodos de 10 a 15 dias, com a fermentação completa do composto ocorrendo num período de 60 a 70 dias, e nesse período, caso o composto não apresente uma coloração marrom escura, típica de terra vegetal, deverá permanecer mais tempo nas leiras de compostagem (MORAES; RODRIGUES, 2002), já Perazza et al. (1985) recomendam o aproveitamento dos aguapés como adubo por meio da mistura com produtos químicos ou estrume.

A velocidade da decomposição ocorre em função da estrutura molecular de cada material como exemplo os materiais ricos em carbono que tem menor taxa de degradação que resíduos úmidos domésticos, devido a relação carbono/nitrogênio (BIDONE, 1999).

O carbono em excesso pode acarretar em maior tempo de compostagem, pois é demandada alta taxa de ciclagem de N, entretanto, a alta concentração de N pode acarretar em volatilização da amônia até que se estabeleça uma relação C/N adequada para a continuidade do processo. A relação C/N considerada adequada no início do período de compostagem é de 25/1 a 35/1 devido a atividade de microrganismos na absorção de C e N sempre na proporção 30/1, independente da relação C/N no material a ser compostado (KIEHL, 1998).

O composto pode trazer benefícios para os solos, principalmente os arenosos, elevando os teores de Ca, N, C e Mg e sua composição, comparada ao composto de lixo e de resíduos vegetais, é superior nos macronutrientes, ou seja, pode acarretar em nutrição adequada às culturas (PERAZZA et al., 1985; RODRIGUES, 1985).

3 MATERIAL E MÉTODOS

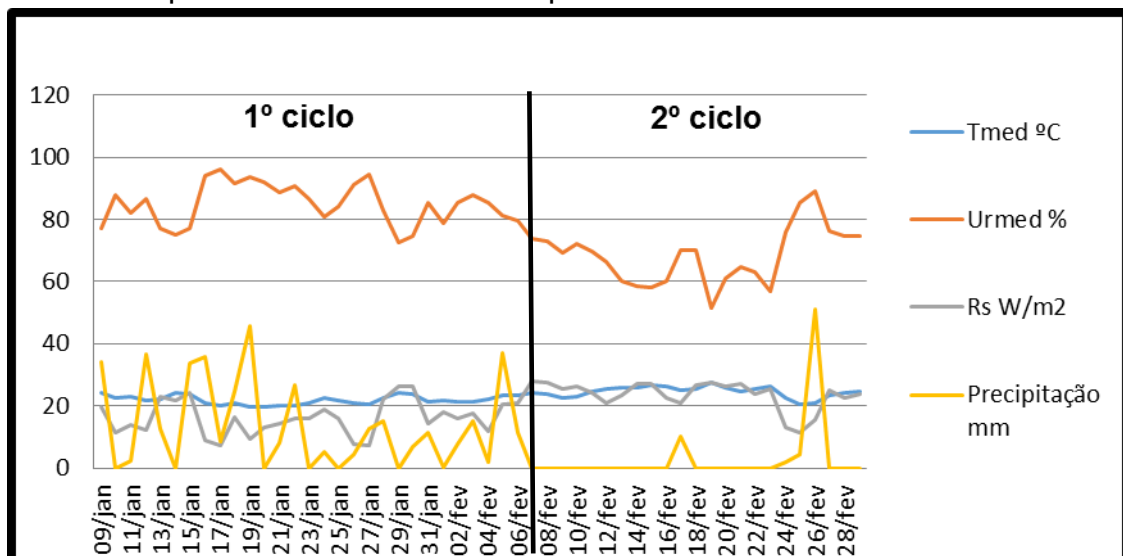
3.1 Localização e características do ambiente experimental

O trabalho de pesquisa foi instalado em túnel plástico de polipropileno, no Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Faculdade de Ciências Agrônômicas - FCA, Campus de Botucatu/UNESP, localizada no município de Botucatu-SP, latitude 22° 51'S, longitude 48° 26'W Grw, e altitude de 740m.

3.2 Características experimentais

O experimento foi constituído de duas fases, a primeira entre 09 de janeiro e 06 de fevereiro de 2017 composto por 4 semanas, denominado de Experimento 1, e de 08 de fevereiro a 01 de março de 2017, constituído de 3 semanas devido ao aumento de massa indiscriminado das espécies que não era compatível à dimensão dos recipientes que compunham a unidade experimental, este denominado de Experimento 2. As dados climáticos foram coletado em uma estação meteorológica do Departamento de Solos e Recursos Ambientais localizada a 40 metros da área do experimento e estão demonstrados na Figura 1.

Figura 1. Balanço climático do período de 09 de janeiro a 28 de fevereiro de 2017 referente ao período total de 2 ciclos experimentais.



3.3 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, composto pelo Controle (somente água residuária, sem plantas) e por três espécies de plantas macrófitas aquáticas flutuantes: *Eichhornia crassipes* (Aguapé), *Pistia stratiotes* (Alface), *Salvinia auriculata* (Salvinia) (Figura 2) cultivadas em água residuária, com seis repetições, perfazendo-se 24 unidades experimentais, a cada experimento Figura 3.

Figura 2. *Eichhornia crassipes* (Aguapé), *Pistia stratiotes* (Alface), *Salvinia auriculata* (Salvinia), Botucatu, SP, 2017.



Figura 3. Disposição dos tratamentos em casa de vegetação, Botucatu, SP, 2017.



3.4 Instalação e condução do experimento

3.4.1 Obtenção das plântulas

As plantas foram coletadas na represa do Rio Tietê no condomínio denominado Rio Bonito, município de Botucatu, SP (Figura 4).

Figura 4. Local de coleta de macrófitas aquáticas flutuantes, Rio Tietê, Botucatu, SP, 2017.



As espécies foram mantidas em uma piscina de 2x2m em casa de vegetação para aclimação por aproximadamente 15 dias (Figura 5).

Figura 5. Aclimação de macrófitas aquáticas flutuantes em casa de vegetação, Botucatu, SP, 2017



3.4.2 Transferência das plântulas

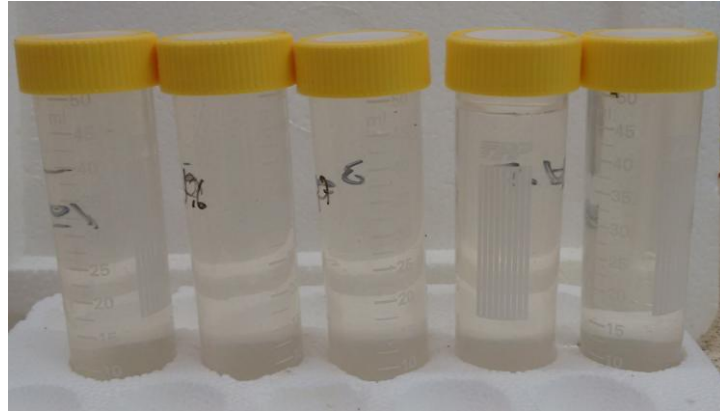
As macrófitas passaram por uma seleção de mudas jovens, em busca de padronizar por (Figura 6), foram transferidas para recipientes plásticos com as dimensões conforme figura 8. No experimento 1, para a espécie aguapé foram utilizadas 10 planta com massa total de média por parcela de 530g, para alface 20 plantas com massa total média de 400g por parcela e para salvinia massa total média de 300g por parcela. No experimento 2, para a espécie aguapé foram utilizadas 10 planta com massa total de média por parcela de 450g, para alface 20 plantas com massa total média de 225g por parcela e para salvinia massa total média de 200g por parcela.

Figura 6. Seleção e acondicionamento de macrófitas aquáticas flutuantes nas unidades experimentais, Botucatu, SP, 2017.



3.4.3 Água residuária

O efluente secundário utilizado foi proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Botucatu, armazenado em caixas d'água de 1000 litros e utilizados semanalmente para a troca das unidades experimentais e análise de elementos. Para isso, as amostras eram armazenadas em frascos plásticos devidamente identificados e acondicionadas em freezer para posterior análise (Figura 7).

Figura 7. Recipientes de armazenamento em freezer para análise de água.

A composição inicial de cada experimento está descrita na Tabela 1.

Tabela 1. Composição da água residuária

Data	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Hg	Mo	Ni	Pb	Se	pH
09/01	< 30	< 30	< 2	< 1,3	< 1,6	< 1,7	< 9	< 3,5	< 4	< 7	< 30	7,23
16/01	< 30	< 30	< 2	< 1,3	< 1,6	< 1,7	< 10	< 3,6	< 4	< 7	< 30	7,28
23/01	< 30	< 30	< 2	< 1,3	< 1,6	< 1,7	< 11	< 3,7	< 4	< 7	< 30	7,37
30/01	< 30	< 30	< 2	< 1,3	< 1,6	< 1,7	< 12	< 3,8	< 4	< 7	< 30	7,27
08/02	< 30	< 30	< 2	< 1,3	< 1,6	< 1,7	< 9	< 3,5	< 4	< 7	< 30	7,86
15/02	< 30	< 30	< 2	< 1,3	< 1,6	< 1,7	< 10	< 3,6	< 4	< 7	< 30	7,81
22/02	< 30	< 30	< 2	< 1,3	< 1,6	< 1,7	< 11	< 3,7	< 4	< 7	< 30	7,75
Data	N	P	K	Ca	Mg	S	Na	Cu	Fe	Mn	Zn	C.E.
												$\mu\text{S cm}^{-1}$
09/01	28	0,28	9,9	13	1,8	9,4	57	0,011	0,02	0,04	0,007	505
16/01	29	0,22	8,6	13	2,0	9,3	39	0,007	0,05	0,01	0,005	477
23/01	29	0,32	9,5	13	1,8	10,6	47	0,005	0,09	0,05	0,004	491
30/01	29	0,24	9,0	11	1,6	9,1	40	0,005	0,08	0,04	0,004	578
08/02	27	0,36	9,8	12	1,9	8,9	41	0,014	0,06	0,04	0,005	575
15/02	25	0,33	9,7	11	1,7	8,4	42	0,013	0,06	0,03	0,005	520
22/02	24	0,30	9,3	12	1,6	6,6	38	0,018	0,07	0,02	0,005	590

A unidade experimental (Figura 8) foi demarcada e os volumes das soluções foram mantidos com variação máxima de 5%. O volume de água evapotranspirado foi repostado com água deionizada.

As plantas foram colocadas inicialmente ocupando área de 50% da unidade experimental (Figura 9).

Figura 8. Medidas, área e capacidade de cada unidade experimental utilizada nos experimentos.



Figura 9. Unidades experimentais completas em 50% pelas espécies de macrófitas, Botucatu, SP, 2017.



3.5 Variáveis analisadas

3.5.1 Massa de matéria fresca e seca da planta

Ao final da 4^a semana, para o experimento 1, e da 3^a semana para o experimento 2, foi coletado em cada unidade experimental todo o material vegetal (parte aérea e raiz) (Figura 10). As plantas passaram pela limpeza com água

corrente até eliminação do remanescente de qualquer sedimento presentes no tecido; em seguida foram lavadas com água deionizada.

Foi realizada a pesagem individual de cada unidade para a obtenção da massa de matéria fresca, em seguida houve a pré-secagem das plantas em exposição na bancada por 24 horas. Na sequência, as mesmas foram acondicionadas em sacos de papel kraft e destinadas à estufa de secagem com circulação forçada de ar, a 65°C. Com esta etapa finalizada, as amostras foram pesadas em balança digital semi-analítica, com precisão de duas casas decimais, marca Gehaka, para a obtenção da massa de matéria seca.

Figura 10. Separação do material vegetal das três espécies para pesagem, Botucatu, SP, 2017.



3.5.2 Potencial de produtividade de biomassa (g m⁻²)

A partir da massa de matéria fresca e seca foi realizada uma relação por meio da área superficial da unidade experimental extrapolando-a para metros quadrados, de forma que:

$$PB = \frac{MMS \text{ ou } MMF}{\pi(24,5/100)^2} \quad (1)$$

Em que PB (g m⁻²) é o potencial de produção de biomassa, MMS massa de matéria seca, MMF massa de matéria fresca, e o denominador é a área superficial de cada unidade experimental.

3.5.3 Análise química vegetal

Após a secagem das plantas, as amostras foram destinadas à análise química de tecidos. Foram levadas ao moinho tipo Willey para serem moídas.

Com os procedimentos de preparo das amostras concluídos, as mesmas foram encaminhadas para extração e quantificação dos elementos. As análises dos referidos parâmetros foram realizadas de acordo com os procedimentos descritos por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), iniciando pela Digestão Nitro-perclórica (P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn, Al e Na), o P analisado pelo método de Metavanadato de amônio, o S por Turbidimetria do sulfato de bário, e os demais elementos K, Ca, Mg Cu, Fe, Mn, Zn e Na foram avaliados pelo método de Espectrofotometria de absorção atômica; pela Digestão Sulfúrica analisou-se o N-total pelo método Semi-micro Kjeldahl e Digestão por via seca ou Incineração foi realizada a análise de B pelo método de colorimetria da Azometina H, utilizando-se o Espectrofotômetro VIS.

As análises de carbono foram realizadas no analisador elementar Marca Perkin Elmer modelo 2400 series II.

3.5.4 Acúmulo de elementos químicos

O acúmulo de nutrientes foi calculado pela seguinte expressão:

$$A_{nutrientes} = MSPA \times CN \quad (2)$$

Sendo:

$A_{nutrientes}$ = Acúmulo de elementos químicos (g ou mg planta⁻¹),

MSPA = Massa de matéria seca do material vegetal (g),

CN = Concentração de elementos químicos (g ou mg kg⁻¹).

3.5.5 Extração dos elementos químicos por massa da planta

A partir da massa de matéria fresca das plantas e a diferença da quantidade extraída por cada espécie foi realizada a seguinte relação:

$$EE = \frac{EE(mgL^{-1})}{MMF} \quad (3)$$

Em que EE é a extração de elementos, EE(mg L⁻¹) é a quantidade extraída de cada elemento constatada pela análise da água contida nas unidades experimentais de cada espécie, e MMF é a massa de matéria fresca de cada espécie.

3.5.6 Análise química do efluente

As amostragens do efluente nos tratamentos foram realizadas semanalmente, a partir da instalação do experimento. Para isso, foram coletadas amostras de cada unidade experimental. As amostras foram armazenadas em tubos de polipropileno tipo Falcon com capacidade de 50 mL. Foram realizadas amostragens semanais totalizando 96 amostras coletadas no experimento 1 e 72 amostras no segundo, totalizando 168 amostras no conjunto de todas as coletas semanais (consideradas os 2 ciclos de avaliação).

Após a coleta das amostras e antes do congelamento das mesmas foram realizadas as determinações de condutividade elétrica (CE em $\mu\text{S cm}^{-3}$) e pH, utilizando o condutivímetro digital de bancada marca Mettler Toledo e pH-metro digital marca Micronal, respectivamente. Ao final de cada experimento as amostras foram descongeladas para análise de Al, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn e Na por meio de Espectrofotômetro de Emissão Atômica por Plasma Acoplado Indutivamente marca Perkin-Elmer modelo 8300 e N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻ a partir da adição de Óxido de magnésio e Liga de Devarda, respectivamente e analisados por destilação a vapor.

3.6 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos a análise de variância e aplicação do teste Tukey à 5% de probabilidade para as médias obtidas de planta, utilizando o *software* SISVAR® e o teste Dunnett a 5% para as médias obtidas dos dados gerados a partir da água residuária, utilizando o *software* Minitab® 16. As variáveis que apresentaram interação significativa no teste f de probabilidade e o teste de média não identificou sua interação não foram incluídas nas tabelas de desdobramento.

4 RESULTADOS

4.1 Parâmetros relacionados à planta

Os valores médios de massa de matéria fresca inicial e final, sua diferença, massa de matéria seca e produção de biomassa referentes ao Experimento 1, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Valores médios de massa de matéria fresca inicial (MMFi) e final (MMFf), diferença da matéria fresca inicial e final (MMFf-i), massa de matéria seca (MMS) e produção de biomassa fresca (Produção MMF) e seca (Produção MMS) em três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes cultivadas durante 4 semanas em água residuária (experimento1), Botucatu, SP, 2017.

Espécie	MMFi	MMFf	MMFf-i	MMSf	Produção MMF	Produção MMS
	----- g -----				----- g m ⁻² -----	
Aguapé	529,0 a	1548 a	1019 a	76,52 a	8210 a	405,7 a
Alface	400,7 b	978,1 b	577,4 b	44,64 b	5186 b	236,7 b
Salvília	303,3 c	547,1 c	243,8 c	25,68 c	2901 c	136,2 c
CV (%)	2,94	11,27	18,47	10,31	11,27	10,31

Letras minúsculas diferem entre si pelo teste de Tukey 5%.

A partir desses valores é possível observar que as espécies apresentaram o mesmo comportamento em todas as variáveis, porém o Aguapé apresentou a maior média, diferindo significativamente das demais espécies, seguida da Alface e com a menor média a Salvília (Tabela 2).

A Tabela 3 mostra os valores médios de massa de matéria fresca inicial (MMFi) e final (MMFf), diferença da matéria fresca inicial e final (MMFf-i), massa de matéria seca (MMS) e produção de biomassa fresca (Produção MMF) e seca (Produção MMS) em três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes cultivadas durante 3 semanas em água residuária (Experimento 2), em que pode-se constatar comportamento estatístico semelhante ao do experimento 1, em que o Aguapé apresentou as maiores médias para todas as variáveis, seguido da Alface e as menores médias foram obtidas pela Salvília (Tabela 3).

Tabela 3. Valores médios de massa de matéria fresca inicial (MMFi) e final (MMFf), diferença da matéria fresca inicial e final (MMFf-i), massa de matéria seca (MMS) e produção de biomassa fresca (Produção MMF) e seca (Produção MMS) em três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes cultivadas durante 3 semanas em água residuária (experimento 2), Botucatu, SP, 2017.

Espécie	MMFi	MMFf	MMFf-i	MMSf	Produção MMF	Produção MMS
	----- g -----				----- g m ⁻² -----	
Aguapé	450,3 a	2492 a	2042 a	113,8 a	13215 a	603,3 a
Alface	224,0 b	1080 b	856,1 b	51,82 b	5727 b	274,8 b
Salvília	190,5 c	471,2 c	280,6 c	23,69 c	2498 c	125,6 c
CV (%)	3,66	8,23	10,53	7,67	8,23	7,67

Letras minúsculas diferem entre si pelo teste de Tukey 5%.

4.1.1 Teor de nutrientes

Os valores médios dos elementos químicos contidos nas três espécies de macrófitas estudadas no Experimento 1, estão apresentadas na Tabela 4.

A Salvília apresentou o maior valor médio do teor de N, seguido da Alface e a menor média foi a contida no Aguapé, apresentando diferença significativa (Tabela 4).

Foram observados comportamentos semelhantes para os teores médios de teor de P, K e Cu, em que a Salvília apresentou a maior média, e diferiu significativamente das outras duas espécies, que não diferiram entre si (Tabela 4).

Os teores de Ca e Mg foram maiores para Alface, seguida do Aguapé e a menor média foi apresentada pela Salvília, todas diferindo significativamente (Tabela 4).

A Alface apresentou diferença significativa das outras duas espécies, com a maior média de teor de S (Tabela 4).

Os teores de Na e B foram maiores para Alface, seguida pela Salvília e o Aguapé apresentou a menor média, as três espécies diferindo significativamente entre si (Tabela 4).

Com relação ao Fe, o Aguapé apresentou a maior média, e não diferiu significativamente da Alface, e esta, por sua vez, não diferiu também da Salvília, que apresentou a menor média (Tabela 4).

O teor de Mn foi maior no Aguapé, seguido da Alface e por fim a Salvília, apresentando a menor média, todas diferentes estatisticamente (Tabela 4).

O teor de Zn não apresentou diferença estatística significativa entre as espécies (Tabela 4).

Tabela 4. Teor de elementos químicos em três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes cultivadas durante 4 semanas em água residuária (experimento1), Botucatu, SP, 2017

Espécie	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- g kg ⁻¹ -----					
Aguapé	24,89 c	1,62 b	17,98 b	11,08 b	2,68 b	1,44 b
Alface	31,82 b	2,01 b	16,75 b	16,07 a	3,90 a	1,97 a
Salvília	35,39 a	2,55 a	21,90 a	7,80 c	1,67 c	1,52 b
CV (%)	3,81	14,02	5,11	5,26	2,68	9,53
Espécie	Na	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- mg kg ⁻¹ -----					
Aguapé	14,63 c	26,24 c	26,83 b	3117 a	965,0 a	65,83 ^{ns}
Alface	26,43 a	39,55 a	30,50 b	2717 ab	680,8 b	71,33
Salvília	19,05 b	30,20 b	49,83 a	2450 b	413,5 c	68,33
CV (%)	9,65	5,36	9,99	11,80	11,01	10,55

Letras minúsculas diferem entre si pelo teste de Tukey 5%; ^{ns}: não significativo

Os valores médios do teor de elementos químicos do Experimento 2 estão apresentados na Tabela 5. Nesta é possível observar nos teores de N e P, comportamentos parecidos das espécies, em que a maior média foi apresentada pela Salvília, seguida da Alface e o Aguapé mostrou a menor média, todas diferindo significativamente (Tabela 5).

O teor de K, mostrou as maiores médias nas espécies Alface e Salvília, que não diferiram significativamente entre si, porém apresentaram diferença estatística do Aguapé, que mostrou a menor média (Tabela 5).

A Alface apresentou a maior média para os teores de Ca e Mg, seguida do Aguapé e a Salvília apresentou a menor média, todas as espécies diferindo estatisticamente (Tabela 5).

No teor de S, as três espécies diferiram significativamente, sendo a maior média apresentada pela Alface, seguida da Salvília, e o Aguapé com a menor média (Tabela 5).

A maior média de teor de Na foi apresentada pelo Aguapé, seguido da Alface e a Salvília apresentou a menor média, todas diferentes estatisticamente (Tabela 5).

No teor de B, a maior média foi observada na Alface, que diferiu significativamente das outras duas espécies, que por vez, não diferiram entre si (Tabela 5).

Nos teores de Cu, Mn e Zn, as espécies mostraram comportamento parecido, em que a maior média foi apresentada pela Salvinia, diferindo significativamente das outras duas espécies, que não diferiram entre si, mostrando as menores médias (Tabela 5).

Tabela 5. Teor de elementos químicos em três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes cultivadas durante 3 semanas em água residuária (experimento2), Botucatu, SP, 2017

Espécie	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg ⁻¹					
Aguapé	21,25 c	1,72 c	12,02 b	9,37 b	2,48 b	1,75 c
Alface	28,76 b	2,25 b	20,00 a	18,18 a	3,63 a	2,41 a
Salvinia	33,93 a	3,06 a	18,82 a	6,23 c	1,82 c	2,07 b
CV (%)	3,78	7,90	6,67	5,60	4,88	9,75
Espécie	Na	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg kg ⁻¹					
Aguapé	24,57 a	26,98 b	15,33 b	1461 a	258,8 b	57,00 b
Alface	18,92 b	40,13 a	13,67 b	1277 ab	308,3 b	59,33 b
Salvinia	13,70 c	28,12 b	39,00 a	1141 b	509,0 a	104,5 a
CV (%)	7,75	6,75	11,87	10,87	9,86	6,02

Letras minúsculas diferem entre si pelo teste de Tukey 5%.

O Aguapé apresentou a maior média de teor de Fe, e não diferiu estatisticamente da Alface, que por sua vez não apresentou diferença significativa da Salvinia, que apresentou a menor média diferindo apenas do Aguapé (Tabela 5).

Os teores de amônio (N-NH₄), nitrato (N-NO₃) e relação C/N dos experimentos 1 e 2 estão apresentados na Tabela 6.

A Alface apresentou a maior média no teor de N-NH₄, seguido do Aguapé e a menor média foi observada na Salvinia, todas diferindo significativamente entre si, no experimento 1 (Tabela 6).

Tanto no experimento 1 quanto no 2, a relação C/N apresentou o mesmo comportamento das espécies, em que o Aguapé apresentou a maior média, diferindo estatisticamente das demais espécies, que apresentaram as menores médias (Tabela 6).

O teor de N-NO₃ não apresentou diferença significativa entre as espécies no experimento 1 (Tabela 6).

No teor de N-NH₄ do experimento 2, a maior média foi apresentada pela Alface, que diferiu significativamente dos demais tratamentos, que apresentaram as menores médias, e não diferiram estatisticamente entre si (Tabela 6).

A Alface e Salvínia apresentaram as maiores médias no teor de N-NO₃, não diferindo entre si, porém diferente estatisticamente do Aguapé, que apresentou a menor média (Tabela 6).

Tabela 6. Teores de amônio (N-NH₄), nitrato (N-NO₃) e relação C/N nos experimento 1 e 2 em três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes cultivadas durante 4 e 3 semanas, respectivamente, em água residuária, Botucatu, SP, 2017

Espécie	Experimento 1			Experimento 2		
	N-NH ₄ ----- mg Kg ⁻¹ -----	N-NO ₃	C/N	N-NH ₄ ----- mg Kg ⁻¹ -----	N-NO ₃	C/N
Aguapé	757,9 b	95,2 ^{ns}	15,2 a	270,7 b	0,00 b	14,1 a
Alface	1179,7 a	98,9	10,7 b	729,9 a	89,6 a	10,3 b
Salvínia	259,5 c	69,1	11,2 b	322,9 b	78,4 a	10,2 b
CV (%)	14,63	28,58	4,22	14,16	39,33	5,32

Letras minúsculas diferem entre si pelo teste de Tukey 5%.

4.1.2 Acúmulo de elementos químicos

Os valores médios de acúmulo de elementos químicos do primeiro experimento estão apresentados na Tabela 7.

Os valores do acúmulo de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn e Zn apresentaram o mesmo comportamento, com as maiores médias apresentadas pelo Aguapé, seguido da Alface e as menores médias foram apresentadas pela Salvínia, as três espécies diferindo estatisticamente (Tabela 7).

O acúmulo de Na e B foram maiores para Aguapé e Alface, que não diferiram estatisticamente entre si, mas diferiram da Salvínia, que mostrou as menores médias (Tabela 7).

No acúmulo de Cu, o Aguapé também apresentou a maior média, e diferiu significativamente das demais espécies, porém, estas não diferiram entre si (Tabela 7).

Tabela 7. Acúmulo de elementos químicos em três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes cultivadas durante 4 semanas em água residuária (experimento1), Botucatu, SP, 2017.

Espécie	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- g ue ⁻¹ -----					
Aguapé	1,902 a	0,124 a	1,372 a	0,848 a	0,205 a	0,109 a
Alface	1,419 b	0,089 b	0,982 b	0,718 b	0,174 b	0,088 b
Salvília	0,908 c	0,065 c	0,430 c	0,200 c	0,042 c	0,039 c
CV (%)	9,05	15,07	11,29	13,63	12,66	12,85
Espécie	Na	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- mg ue ⁻¹ -----					
Aguapé	1,130 a	0,002 a	0,002 a	0,237 a	0,073 a	0,005 a
Alface	1,187 a	0,001 a	0,001 b	0,109 b	0,030 b	0,003 b
Salvília	0,490 b	0,000 b	0,001 b	0,069 c	0,010 c	0,001 c
CV (%)	20,54	11,98	14,28	12,91	14,96	12,17

Letras minúsculas diferem entre si pelo teste Tukey 5%. *ue = unidade experimental

Na Tabela 8 estão apresentados os valores médios de acúmulo de elementos químicos em três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes cultivadas durante 3 semanas em água residuária, do experimento 2.

As médias do acúmulo para todos os elementos, exceto Cu, apresentaram comportamentos parecidos, em que as maiores médias foram apresentadas pelo Aguapé, seguido da Alface e a Salvília apresentou as menores médias, todas diferentes estatisticamente (Tabela 8).

Tabela 8. Acúmulo de elementos químicos em três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes cultivadas durante 3 semanas em água residuária (experimento2), Botucatu, SP, 2017

Espécie	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- g ue ⁻¹ -----					
Aguapé	2,414 a	0,195 a	1,364 a	1,064 a	0,282 a	0,198 a
Alface	1,487 b	0,115 b	1,036 b	0,940 b	0,188 b	0,124 b
Salvília	0,802 c	0,072 c	0,447 c	0,147 c	0,043 c	0,049 c
CV (%)	5,61	13,86	8,25	7,82	7,76	12,02
Espécie	Na	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- mg ue ⁻¹ -----					
Aguapé	2,800 a	0,003 a	0,001 a	0,066 a	0,029 a	0,006 a
Alface	0,986 b	0,002 b	0,001 b	0,066 b	0,015 b	0,003 b
Salvília	0,326 c	0,001 c	0,001 b	0,026 c	0,012 c	0,002 c
CV (%)	13,72	12,27	17,52	15,83	10,17	6,66

Letras minúsculas diferem entre si pelo teste de Tukey 5%. * ue = unidade experimental

O acúmulo de Cu foi maior no Aguapé que diferiu estatisticamente das outras duas espécies, que apresentaram as menores médias e não diferiram entre si estatisticamente (Tabela 8).

4.2 Parâmetros relacionados à água residuária

4.2.1 Experimento 1

Na primeira semana do experimento 1, as maiores médias para N e K foram proporcionadas pela presença do Aguapé, que diferiu estatisticamente do controle (Tabela 9).

Em Alface, as maiores médias foram para Ca, Mg, S e Na, apresentando diferença significativa do controle (Tabela 9).

Na extração de Al, a maior média foi apresentada pela Salvinia, que também diferiu do controle (Tabela 9).

E em Mn e Zn, as maiores médias foram de Aguapé e Alface, que não diferiram significativamente entre si, nem do controle (Tabela 9).

Os demais elementos, P, Cu e Fe, não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos, porém apresentaram espécies que diferiram estatisticamente do controle (Tabela 9).

Tabela 9. Extração de elementos avaliados na água residuária após a 1ª semana do cultivo de três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, Botucatu, SP, 2017

		N	P	K	Ca	Mg	S
		----- mg L ⁻¹ -----					
Controle		10,08	0,07	0,69	0,80	0,28	0,74
Espécie	Aguapé	19,23 a*	0,20 ^{ns*}	3,00 a*	2,76 b*	0,22 b	1,23 b
	Alface	15,28 b*	0,21 *	1,32 b*	3,93 a*	1,00 a*	2,21 a*
	Salvinia	13,36 b*	0,21 *	0,77 c	0,87 b	0,14 b	0,76 b
CV (%)		11,06	6,98	10,71	12,67	23,87	28,85
		Al	Na	Cu	Fe	Mn	Zn
		----- mg L ⁻¹ -----					
Controle		0,003	6,09	0,001	0,008	0,016	0,003
Espécie	Aguapé	0,006 b*	8,40 b	0,002 ^{ns*}	0,01 ^{ns*}	0,035 a*	0,002 a
	Alface	0,007 b*	14,28 a*	0,002	0,01 *	0,038 a*	0,003 a
	Salvinia	0,009 a*	7,04 b	0,002	0,01 *	0,024 b	0,000 b*
CV (%)		19,50	18,69	38,00	10,53	22,50	47,92

Letras minúsculas diferem entre si pelo teste de Tukey 5%; ^{ns}: não significativo. *: difere significativamente do controle no teste de Dunnett a 5%.

Relacionada à 2ª semana do experimento 1, a Tabela 10, mostra as médias de extração de elementos químicos.

Tabela 10. Extração de elementos avaliados na água residuária após a 2ª semana do cultivo de três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, Botucatu, SP, 2017

		N	P	K	Ca	Mg	S
		----- mg L ⁻¹ -----					
Controle		12,9	0,03	1,05	1,46	0,16	1,12
Espécie	Aguapé	18,7 a*	0,13 ^{ns*}	6,86 a*	1,80 a	0,29 b	1,70 a*
	Alface	15,1 b*	0,14 *	3,23 b*	1,40 a	0,97 a*	1,62 ab*
	Salvília	14,5 b*	0,14 *	3,24 b*	0,62 b*	0,32 b	1,15 b
CV (%)		6,51	7,75	23,55	33,05	24,89	22,44
		Al	Na	Cu	Fe	Mn	Zn
		----- mg L ⁻¹ -----					
Controle		0,003	4,07	0,00	0,04	0,009	0,0022
Espécie	Aguapé	0,001 ^{ns*}	2,14 ^{ns*}	0,00 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,007 b	0,0003 ^{ns*}
	Alface	0,001 *	2,41 *	0,00	0,04	0,010 a	0,0001 *
	Salvília	0,001 *	3,07	0,00	0,04	0,000 c*	0,0000 *
CV (%)		23,61	32,54	0,00	10,77	16,88	228,04

Letras minúsculas diferem entre si pelo teste de Tukey 5%; ^{ns}: não significativo. *: difere significativamente do controle no teste de Dunnett a 5%.

O Aguapé apresentou as maiores médias na extração de N e K, e juntamente com a Alface, pois não diferiram significativamente, na extração de Ca e S, e a Alface apresentou as maiores médias na extração de Mg e Mn, diferido estatisticamente das demais espécies (Tabela 10).

A extração de P, Al, Na e Zn não apresentaram diferença significativa entre as espécies, porém diferiram do controle. Já em Cu e Fe, os tratamentos não diferiram estatisticamente entre as espécies e nem do controle (Tabela 10).

A Tabela 11 mostra as maiores médias do Aguapé para a extração de N, K e Ca na 3ª semana do experimento 1, enquanto na extração de Mg, Mn e Zn as maiores médias foram apresentadas pelo Aguapé e pela Alface e foram semelhantes estatisticamente.

Na extração de P, a média do tratamento representado pelo Aguapé foi semelhante à da Salvília, e para Al, a maior média obtida foi na Salvília (Tabela 11).

Os valores médios de extração de P, S, Na e Cu não diferiram significativamente nos tratamentos, porém foram diferentes do controle, exceto o Cu (Tabela 11).

Tabela 11. Extração de elementos avaliados na água residuária após a 3ª semana do cultivo de três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, Botucatu, SP, 2017

		N	P	K	Ca	Mg	S
		----- mg L ⁻¹ -----					
Controle		13,75	0,04	0,64	1,04	0,30	0,51
Espécie	Aguapé	20,60 a*	0,27 ^{ns*}	7,95 a*	3,79 a*	0,82 a*	2,36 ^{ns*}
	Alface	17,57 b*	0,27 *	2,58 b*	1,76 b*	0,95 a*	2,59 *
	Salvinia	16,80 b*	0,27 *	2,14 b	1,06 b	0,18 b	1,88 *
CV (%)		7,10	5,72	28,32	21,19	25,47	29,98
		Al	Na	Cu	Fe	Mn	Zn
		----- mg L ⁻¹ -----					
Controle		0,008	0,82	0,00	0,08	0,04	0,001
Espécie	Aguapé	0,009 b	4,64 ^{ns*}	0,00 ^{ns}	0,08 b	0,04 a	0,001 a
	Alface	0,008 b	4,18 *	0,00	0,08 ab	0,05 a	0,001 ab
	Salvinia	0,015 a*	4,62 *	0,00	0,09 a*	0,03 b*	0,000 b*
CV (%)		16,65	24,38	177,48	6,65	11,71	120,93

Letras minúsculas diferem entre si pelo teste de Tukey 5%; ^{ns}: não significativo. *: difere significativamente do controle no teste de Dunnett a 5%.

Na 4ª semana, o Aguapé apresentou as maiores médias na extração de N e Ca, e semelhante estatisticamente à Alface em K, Mg, S e Na. Enquanto a Salvinia mostrou as maiores médias na extração de Al e Mn (Tabela 12).

Os tratamentos não apresentaram diferença significativa na extração de P, Cu, Fe e Zn, porém, com exceção do Cu, diferiram significativamente do controle (Tabela 12).

Tabela 12. Extração de elementos avaliados na água residuária após a 4ª semana do cultivo de três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, Botucatu, SP, 2017

		N	P	K	Ca	Mg	S
		----- mg L ⁻¹ -----					
Controle		12,46	0,03	0,39	0,00	0,00	0,92
Espécie	Aguapé	26,58 a*	0,20 ^{ns*}	8,37 a*	1,82 a*	0,89 a*	3,09 a*
	Alface	21,49 b*	0,20 *	8,17 a*	0,84 b*	0,76 a*	2,51 a*
	Salvinia	17,15 c*	0,20 *	0,45 b	0,00 c	0,03 b	0,86 b
CV (%)		5,31	6,39	6,70	31,92	16,79	31,66
		Al	Na	Cu	Fe	Mn	Zn
		----- mg L ⁻¹ -----					
Controle		0,008	5,08	0,002	0,058	0,02	0,00
Espécie	Aguapé	0,009 b	6,99 a	0,000 ^{ns*}	0,052 ^{ns}	0,01 b*	0,00 ^{ns*}
	Alface	0,009 b	6,86 a	0,001 *	0,061	0,02 b	0,00 *
	Salvinia	0,014 a*	2,38 b*	0,000 *	0,064	0,03 a	0,00 *
CV (%)		24,43	22,73	148,32	25,34	23,53	0,00

Letras minúsculas diferem entre si pelo teste de Tukey 5%; ^{ns}: não significativo. *: difere significativamente do controle no teste de Dunnett a 5%.

O somatório das médias de extração de elementos avaliados na água residuária em 4 semanas do cultivo de três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, referentes ao experimento 1, estão apresentados na Tabela 13.

Na Tabela 13, pode-se observar que o Aguapé mostrou as maiores médias de extração de N, K e Ca e com semelhança estatística à Alface, na extração de S e Zn. A Alface se destaca na extração de Mg, Na e Mn e a Salvinia em Al, diferindo significativamente dos demais tratamentos.

A extração de P não apresentou diferença significativa entre os tratamentos, porém todas as espécies foram estatisticamente diferentes do controle. Enquanto Cu e Fe não apresentaram diferenças estatísticas (Tabela 17).

Tabela 13. Somatório da extração de elementos avaliados na água residuária em 4 semanas do cultivo de três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, Botucatu, SP, 2017

		N	P	K	Ca	Mg	S
		----- mg L ⁻¹ -----					
Controle		49,2	0,17	2,77	3,30	0,75	3,28
Espécie	Aguapé	85,1 a*	0,79 ^{ns} *	26,2 a*	10,2 a*	2,23 b*	8,37 a*
	Alface	69,4 b*	0,81 *	15,3 b*	7,93 b*	3,69 a*	8,94 a*
	Salvinia	62,0 c*	0,82 *	6,60 c*	2,55 c	0,66 c	4,66 b*
CV (%)		4,45	2,72	10,94	8,01	15,37	13,59
		Al	Na	Cu	Fe	Mn	Zn
		----- mg L ⁻¹ -----					
Controle		0,02	16,07	0,003	0,18	0,09	0,007
Espécie	Aguapé	0,03 b*	22,2 b*	0,003 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,10 b	0,003 a*
	Alface	0,03 b*	27,7 a*	0,003	0,20	0,11 a*	0,003 a*
	Salvinia	0,05 a*	17,1 c	0,003	0,21	0,09 c	0,000 b*
CV (%)		10,86	8,96	43,98	8,92	6,58	44,50

Letras minúsculas diferem entre si pelo teste de Tukey 5%; ^{ns}: não significativo. *: difere significativamente do controle no teste de Dunnett a 5%.

Na primeira semana do experimento 1, as maiores reduções para N e K foram proporcionadas pela presença do Aguapé, que diferiu estatisticamente do controle (Tabela 14).

Em Alface, as maiores reduções foram para Ca e Mg, apresentando diferença significativa do controle (Tabela 14).

Os demais elementos, P, S e Na, não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos, porém apresentaram espécies que diferiram estatisticamente do controle (Tabela 14).

Tabela 14. Redução da concentração de elementos avaliados na água residuária após a 1ª semana do cultivo de três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, Botucatu, SP, 2017

	N	P	K	Ca %	Mg	S	Na
Controle	36,36	24,94	6,33	6,35	15,80	7,90	9,50
Espécie							
Aguapé	69,36a*	71,21 ^{ns} *	30,21a*	21,77a*	9,37b	13,13 ^{ns}	12,44 ^{ns}
Alface	55,13b*	74,30*	13,10ab	31,04a*	56,40a*	23,63*	24,96
Salvínia	48,91c*	75,16*	4,75b	6,89b	7,29b	8,18	11,39
CV (%)	11,92	6,83	72,91	47,51	51,84	73,71	81,63

Letras minúsculas diferem entre si pelo teste de Tukey 5%; ^{ns}: não significativo. *: difere significativamente do controle no teste de Dunnett a 5%.

Relacionado à 2ª semana do experimento 1, a Tabela 15, mostra as médias de redução de elementos químicos.

Tabela 15. Redução da concentração de elementos avaliados na água residuária após a 2ª semana do cultivo de três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, Botucatu, SP, 2017

	N	P	K	Ca %	Mg	S	Na
Controle	44,18	15,14	12,10	11,52	8,03	12,09	10,38
Espécie							
Aguapé	63,88a*	59,54 ^{ns} *	79,37a*	13,96 ^{ns}	14,33b	18,38 ^{ns}	3,59 ^{ns}
Alface	51,44b*	66,50*	37,43b*	9,62	47,96a*	16,89	2,36
Salvínia	49,44b*	64,31*	37,55b*	3,36	15,67b	11,01	5,86
CV (%)	6,69	7,69	23,30	111,33a	35,37	80,76	253,78

Letras minúsculas diferem entre si pelo teste de Tukey 5%; ^{ns}: não significativo. *: difere significativamente do controle no teste de Dunnett a 5%.

O Aguapé apresentou as maiores médias na redução de N e K, e juntamente com a Alface, pois não diferiram significativamente, na redução de Ca e S, e a Alface apresentou as maiores médias na redução de Mg, diferido estatisticamente das demais espécies (Tabela 15).

A redução de P os tratamentos não apresentaram diferença significativa entre as espécies, porém diferiram do controle. Já em Na os tratamentos não diferiram estatisticamente entre as espécies e nem do controle (Tabela 15).

A Tabela 16 mostra as maiores reduções do Aguapé para o N, K e Ca na 3ª semana do experimento 1, enquanto na redução de Mg as maiores médias foram apresentadas pelo Aguapé e pela Alface e foram semelhantes estatisticamente.

Tabela 16. Redução da concentração de elementos avaliados na água residuária após a 3ª semana do cultivo de três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, Botucatu, SP, 2017

	N	P	K	Ca %	Mg	S	Na
Controle	47,69	12,15	0,71	7,02	16,45	1,21	-3,89
Espécie							
Aguapé	71,44a*	83,83 ^{ns*}	83,58a*	29,30a*	44,64a*	22,33 ^{ns*}	4,19 ^{ns}
Alface	60,92b*	83,09*	27,08b*	13,59b	51,64a*	24,56*	3,92
Salvinia	58,25b*	83,54*	22,46b*	7,85b	9,36b	17,80*	7,46
CV (%)	7,09	5,62	28,30	56,66	25,91	52,20	307,81

Letras minúsculas diferem entre si pelo teste de Tukey 5%; ^{ns}: não significativo. *: difere significativamente do controle no teste de Dunnett a 5%.

Os valores médios de redução de P e S não diferiram significativamente nos tratamentos, porém foram diferentes do controle (Tabela 16).

Já em Na os tratamentos não diferiram estatisticamente entre as espécies e nem do controle (Tabela 16).

Na 4ª semana, o Aguapé apresentou as maiores médias na redução de N e semelhante estatisticamente à Alface em K, Ca, Mg e S (Tabela 17).

Os tratamentos não apresentaram diferença significativa na redução de P, porém, diferiram significativamente do controle. Já em Na os tratamentos não diferiram estatisticamente entre as espécies e nem do controle (Tabela 17).

Tabela 17. Redução da concentração de elementos avaliados na água residuária após a 4ª semana do cultivo de três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, Botucatu, SP, 2017

	N	P	K	Ca %	Mg	S	Na
Controle	43,63	13,90	2,50	-20,19	-20,96	9,87	9,86
Espécie							
Aguapé	93,06a*	82,58 ^{ns*}	92,80a*	17,08a*	54,30a*	34,12a*	17,13 ^{ns}
Alface	75,25b*	82,08*	90,54a*	5,74a*	46,37a*	27,78a	11,5
Salvinia	60,05c*	84,48*	0,00b	-25,43b	-9,75b	8,52b	-1,54
CV (%)	5,18	6,18	12,18	-1357,58	28,73	54,99	22,93

Letras minúsculas diferem entre si pelo teste de Tukey 5%; ^{ns}: não significativo. *: difere significativamente do controle no teste de Dunnett a 5%.

As médias de redução da concentração de elementos avaliados na água residuária em 4 semanas do cultivo de três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, referentes ao experimento 1, estão apresentados na Tabela 18.

Na Tabela 18, pode-se observar que o Aguapé mostrou as maiores médias de redução de N, K e Na e com semelhança estatística à Alface, na extração de Ca e S.

A Alface se destaca na extração de Mg, diferindo significativamente dos demais tratamentos e não do controle.

A redução de P não apresentou diferença significativa entre os tratamentos, porém todas as espécies foram estatisticamente diferentes do controle (Tabela 18).

Tabela 18. Médias da redução da concentração de elementos avaliados na água residuária em 4 semanas do cultivo de três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, Botucatu, SP, 2017

		N	P	K	Ca %	Mg	S	Na
Controle		42,96	16,53	5,41	1,17	4,83	7,77	42,96
Espécie	Aguapé	74,43a*	74,29 ^{ns} *	71,49a*	20,53a*	30,66b*	21,99a*	74,43a*
	Alface	60,68b*	76,49*	42,04b*	15,00a*	50,59a*	23,22a*	60,68b*
	Salvília	54,16c*	76,87*	16,19c*	-1,83b	5,64c	11,38b	54,16c*
CV (%)		4,44	2,90	15,44	48,25	21,344	30,57	4,44

Letras minúsculas diferem entre si pelo teste de Tukey 5%; ^{ns}: não significativo. *: difere significativamente do controle no teste de Dunnett a 5%.

Relacionado aos valores médios de pH, a Alface apresentou as maiores médias na 1^a, 2^a, 3^a semana e a média final, e foi estatisticamente semelhante à Salvília na 4^a semana (Tabela 19).

Tabela 19. Valores médios de pH e redução de Condutividade Elétrica (CE) após cada semana e a média ao final de 4 semanas no cultivo em três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, Botucatu, SP, 2017

		pH				
		1	2	3	4	Média
Inicial		7,2	7,3	7,4	7,3	
Controle		7,9	8,8	8,8	7,6	8,3
Espécie	Aguapé	6,8 b*	6,7 b*	6,7 b*	6,5 b*	6,7 b*
	Alface	6,9 a*	6,9 a*	6,9 a*	6,7 a*	6,8 a*
	Salvília	6,6 c*	6,4 c*	6,4 c*	6,8 a*	6,6 c*
CV (%)		1,01	1,46	1,46	1,10	0,97
		CE				
		1	2	3	4	Média
Inicial						
Controle		7,39	30,05	32,04	35,01	26,12
Espécie	Aguapé	35,64 a*	43,54 a*	45,15 a*	63,00 a*	46,83 a*
	Alface	28,35 b*	34,52 b	36,39 b	54,15 a*	38,35 b*
	Salvília	24,72 c*	33,16 b	35,06 b	36,53 b	32,37 c*
CV (%)		6,87	9,38	8,69	16,91	8,16

Letras minúsculas diferem entre si pelo teste de Tukey 5%; ^{ns}: não significativo. *: difere significativamente do controle no teste de Dunnett a 5%.

A maior média de CE na 1^a, 2^a, 3^a semana e a somatória de 4 semanas foi apresentada pelo Aguapé, e na 4^a semana teve sua média estatisticamente semelhante à Alface (Tabela 19).

4.2.2 Experimento 2

A Tabela 20 mostra a extração de elementos na 1ª semana do experimento 2. Na extração de N e Mg, o Aguapé apresentou as maiores médias, enquanto a mesma mostrou semelhança estatística à Alface na extração de K, Na e Mn.

Tabela 20. Extração de elementos avaliados na água residuária após a 1ª semana do cultivo de três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, Botucatu, SP, 2017

		N	P	K	Ca	Mg	S
		mg L ⁻¹					
Controle		13,28	0,04	0,48	2,41	0,60	0,90
Espécie	Aguapé	24,59 a*	0,34 ^{ns*}	9,04 a*	5,60 b*	1,78 a*	1,50 b*
	Alface	22,07 b*	0,35 *	9,04 a*	7,43 a*	1,55 b*	2,68 a*
	Salvília	18,99 c*	0,34 *	5,49 b*	1,62 c	1,14 c*	1,67 b*
CV (%)		4,47	3,11	6,10	23,99	4,72	21,86
		Al	Na	Cu	Fe	Mn	Zn
		mg L ⁻¹					
Controle		0,002	0,61	0,04	0,014	0,04	0,002
Espécie	Aguapé	0,002 b	7,36 ab*	0,01 ^{ns*}	0,008 b*	0,03 a*	0,002 ^{ns}
	Alface	0,002 b	10,07 a*	0,01 *	0,002 c*	0,03 ab*	0,002
	Salvília	0,007 a*	6,05 b*	0,01 *	0,011 a*	0,02 b*	0,002
CV (%)		22,29	26,00	12,43	22,03	30,72	41,96

Letras minúsculas diferem entre si pelo teste de Tukey 5%; ^{ns}: não significativo. *: difere significativamente do controle no teste de Dunnett a 5%.

A alface apresentou as maiores médias na extração de Ca e S e a Salvília em Al e Fe, diferindo significativamente dos demais tratamentos (Tabela 20).

A extração de P e Cu não apresentaram diferenças estatísticas nas espécies, porém diferiram do controle, enquanto Zn não apresentou diferença estatística (Tabela 20).

As médias de extração de elementos avaliados na água residuária após a 2ª semana do cultivo de três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, estão apresentadas na Tabela 21.

Na Tabela 21 pode-se constatar as maiores médias da extração de N, K, S, P, Na e Zn pelo Aguapé, e o mesmo se assemelha estatisticamente à Alface com as maiores médias na extração de Ca, Mg, Cu e Mn. A Salvília apresenta as maiores médias para Al e Fe.

Tabela 21. Extração de elementos avaliados na água residuária após a 2ª semana do cultivo de três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, Botucatu, SP, 2017

		N	P	K	Ca	Mg	S
		mg L ⁻¹					
Controle		12,69	0,04	1,05	0,08	0,49	0,41
Espécie	Aguapé	22,56 a*	0,32 a*	9,43 a*	8,37 a*	1,67 a*	4,02 a*
	Alface	20,86 b*	0,30 b*	8,64 b*	8,42 a*	1,49 a*	2,32 b*
	Salvília	18,38 c*	0,30 b*	6,58 c*	0,31 b	1,07 b*	1,23 c*
CV (%)		4,19	2,35	4,18	11,54	11,16	14,20
		Al	Na	Cu	Fe	Mn	Zn
		mg L ⁻¹					
Controle		0,001	2,12	0,003	0,01	0,029	0,001
Espécie	Aguapé	0,001 b	28,95 a*	0,010 a*	0,04 b*	0,029 a	0,001 a
	Alface	0,000 b	10,09 b*	0,008 ab*	0,04 b*	0,027 a*	0,000 b*
	Salvília	0,004 a*	9,10 b*	0,007 b*	0,05 a*	0,025 b*	0,000 b*
CV (%)		31,29	10,00	15,94	9,52	4,55	75,89

Letras minúsculas diferem entre si pelo teste de Tukey 5%; ns: não significativo. *: difere significativamente do controle no teste de Dunnett a 5%.

A Tabela 22 mostra as médias de valores referentes à Extração de elementos avaliados na água residuária após a 3ª semana do cultivo de três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes.

O Aguapé mostra as maiores médias na extração de N, K, Ca, Mg, Na e Zn e se assemelha estatisticamente à Alface na extração de P, S e Cu, enquanto a Salvília apresenta médias maiores em Al e Fe. E o Mn não apresenta diferenças significativas (Tabela 22).

Tabela 22. Extração de elementos avaliados na água residuária após a 3ª semana do cultivo de três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, Botucatu, SP, 2017

		N	P	K	Ca	Mg	S
		mg L ⁻¹					
Controle		11,15	0,00	0,90	0,69	0,05	0,24
Espécie	Aguapé	21,84 a*	0,29 a*	9,08 a*	8,61 a*	1,60 a*	1,40 a*
	Alface	18,60 b*	0,28 ab*	7,68 b*	6,41 b*	0,69 b*	1,21 a*
	Salvília	14,19 c*	0,27 b*	1,04 c	0,43 c	0,43 c*	0,17 b
CV (%)		4,13	3,44	13,23	17,85	9,77	28,82
		Al	Na	Cu	Fe	Mn	Zn
		mg L ⁻¹					
Controle		0,009	3,60	0,004	0,00	0,021	0,000
Espécie	Aguapé	0,002 c*	23,36 a*	0,012 a*	0,03 b*	0,019 ^{ns}	0,001 a
	Alface	0,005 b*	3,42 b	0,010 a*	0,04 b*	0,015 *	0,000 b
	Salvília	0,010 a	1,86 b	0,002 b	0,05 a*	0,015 *	0,000 b
CV (%)		14,73	14,26	26,14	21,64	17,15	189,74

Letras minúsculas diferem entre si pelo teste de Tukey 5%; ns: não significativo. *: difere significativamente do controle no teste de Dunnett a 5%.

Na Tabela 23, pode-se observar o somatório dos valores médios de extração de elementos avaliados na água residuária em 3 semanas do cultivo de três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes.

O somatório das médias de extração de elementos avaliados na água residuária em 4 semanas do cultivo de três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, referentes ao experimento 1, estão apresentados na Tabela 23.

Tabela 23. Somatório da extração de elementos avaliados na água residuária em 3 semanas do cultivo de três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, Botucatu, SP, 2017

		N	P	K	Ca	Mg	S
		mg L ⁻¹					
Controle		37,1	0,09	2,43	3,18	1,14	1,55
Espécie	Aguapé	69,0 a*	0,94 a*	27,5 a*	22,6 a*	5,06 a*	6,92 a*
	Alface	61,5 b*	0,93 ab*	25,4 b*	22,3 a*	3,73 b*	6,22 a*
	Salvinia	50,6 c*	0,91 b*	13,1 c*	2,37 b	2,64 c*	3,06 b*
CV (%)		3,28	1,91	4,62	14,41	6,77	12,62
		Al	Na	Cu	Fe	Mn	Zn
		mg L ⁻¹					
Controle		0,01	6,33	0,01	0,03	0,09	0,004
Espécie	Aguapé	0,006 b*	59,68 a*	0,03 a*	0,08 b*	0,08 a*	0,004 ^{ns}
	Alface	0,008 b*	23,58 b*	0,03 a*	0,08 b*	0,07 ab*	0,003
	Salvinia	0,021 a*	17,01 c*	0,02 b*	0,11 a*	0,06 b*	0,002 *
CV (%)		12,75	8,31	11,81	10,75	14,48	53,78

Letras minúsculas diferem entre si pelo teste de Tukey 5%; ^{ns}: não significativo. *: difere significativamente do controle no teste de Dunnett a 5%.

Analisando a Tabela 23, observa-se as maiores médias de extração de N, K, Mg e Na pelo Aguapé, que se assemelha à Alface nas maiores médias para P, Ca, S, Cu e Mn, enquanto a Salvinia se destaca na extração de Al e Fe. O Zn não apresenta diferenças estatísticas entre as espécies.

Observa-se, a partir da Tabela 23, as maiores médias de pH nas semanas 2 e 3 e na média das 3 semanas, foram apresentadas pela Alface e Salvinia. Todas as variáveis diferiram estatisticamente do controle.

A Tabela 24 mostra a redução de elementos na 1ª semana do experimento 2. Na redução de N e Mg, o Aguapé apresentou as maiores médias, enquanto a mesma mostrou semelhança estatística à Alface na redução de K e Ca.

Tabela 24. Redução da concentração de elementos avaliados na água residuária após a 1ª semana do cultivo de três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, Botucatu, SP, 2017

		N	P	K	Ca %	Mg	S	Na
Controle		49,39	12,24	3,62	19,50	31,78	7,21	0,24
Espécie	Aguapé	91,49a*	92,71 ^{ns} *	92,29a*	45,25a*	94,73a*	16,89b*	18,16 ^{ns} *
	Alface	82,12b*	95,25*	92,30a*	60,07a*	82,23b*	30,27a*	24,83*
	Salvinia	70,66c*	94,08*	56,12b*	11,04b	60,42c*	18,81b*	13,96*
CV (%)		4,45	3,13	6,06	27,64	4,86	21,32	79,59

Letras minúsculas diferem entre si pelo teste de Tukey 5%; ^{ns}: não significativo. *: difere significativamente do controle no teste de Dunnett a 5%.

A alface apresentou as maiores médias na redução de S diferindo significativamente dos demais tratamentos (Tabela 24).

A redução de P e Na não apresentaram diferenças estatísticas nas espécies, porém diferiram do controle (Tabela 24).

As médias de redução da concentração de elementos avaliados na água residuária após a 2ª semana do cultivo de três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, estão apresentadas na Tabela 25.

Na Tabela 25 pode-se constatar as maiores médias da redução de N, P, K S e Na pelo Aguapé, e o mesmo se assemelha estatisticamente à Alface com as maiores médias na redução de Ca e Mg.

Tabela 25. Redução de elementos avaliados na água residuária após a 2ª semana do cultivo de três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, Botucatu, SP, 2017

		N	P	K	Ca %	Mg	S	Na
Controle		50,65	12,37	10,85	-7,90	29,15	4,12	5,05
Espécie	Aguapé	90,04a*	98,34a*	97,49a*	74,12a*	98,96a*	47,89a*	69,00a*
	Alface	83,24b*	93,49b*	89,39b*	74,58a*	88,21a*	26,51b*	21,86b
	Salvinia	69,37c*	93,17b*	68,08c*	-1,69b	63,57b*	13,71b	21,69b
CV (%)		4,14	2,48	4,25	11,54	11,12	48,47	37,69

Letras minúsculas diferem entre si pelo teste de Tukey 5%. *: difere significativamente do controle no teste de Dunnett a 5%.

A Tabela 26 mostra as médias de valores referentes à redução de elementos avaliados na água residuária após a 3ª semana do cultivo de três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes.

O Aguapé mostra as maiores médias na redução de N, K, Ca, Mg e Na e se assemelha estatisticamente à Alface na redução de P e S (Tabela 26).

Tabela 26. Redução de elementos avaliados na água residuária após a 3ª semana do cultivo de três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, Botucatu, SP, 2017

	N	P	K	Ca %	Mg	S	Na
Controle	45,79	-28,47	7,74	-0,74	-4,20	-2,02	8,52
Espécie							
Aguapé	89,66a*	96,86a*	97,09a*	73,50a*	97,30a*	21,23a*	61,18a*
Alface	76,34b*	93,80a*	82,20b*	54,73b*	39,87b*	18,35a*	7,21bb
Salvília	58,24c*	91,02b*	9,04c	1,05c	24,23b*	-3,12b	3,57c
CV (%)	4,05	3,43	15,37	20,07	9,77	98,36	37,65

Letras minúsculas diferem entre si pelo teste de Tukey 5%. *: difere significativamente do controle no teste de Dunnett a 5%.

Na Tabela 27, pode-se observar as médias de redução da concentração de elementos avaliados na água residuária em 3 semanas do cultivo de três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes.

Tabela 27. Médias da redução da concentração de elementos avaliados na água residuária em 3 semanas do cultivo de três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, Botucatu, SP, 2017

	N	P	K	Ca %	Mg	S	Na
Controle	48,61	-1,28	7,40	3,62	18,91	3,10	4,60
Espécie							
Aguapé	90,40a*	95,97a*	95,62a*	64,29a*	97,00a*	28,67a*	49,45a*
Alface	80,57b*	94,18ab*	87,97b*	63,13a*	70,10b*	25,04ab*	17,97b*
Salvília	66,09c*	92,76b*	44,41c*	3,47b	49,41c*	9,80c	13,07c*
CV (%)	3,38	1,82	5,02	17,02	13,09	49,38	51,64

Analisando a Tabela 27, observa-se as maiores médias de redução de N, P, K, Mg, S e Na pelo Aguapé, que se assemelha à Alface nas maiores médias para Ca.

Observa-se, a partir da Tabela 28, as maiores médias de pH nas semanas 2 e 3 e na média das 3 semanas, foram apresentadas pela Alface e Salvília. Todas as variáveis diferiram estatisticamente do controle.

Relacionado à CE, na primeira semana houve semelhança estatística entre Aguapé e Alface e nas demais variáveis, as maiores médias foram apresentadas pelo Aguapé (Tabela 28).

Tabela 28. Valores médios de pH e redução de Condutividade Elétrica (CE) após cada semana e a média ao final de 3 semanas no cultivo em três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, Botucatu, SP, 2017.

		pH			
		1	2	3	Média
Inicial		7,9	7,8	7,8	
Controle		9,4	10,9	8,9	9,7
Espécies	Aguapé	6,9 ^{ns*}	6,4 b*	6,3 b*	6,5 b*
	Alface	6,9 *	6,7 ab*	6,8 a*	6,8 a*
	Salvília	6,9 *	6,9 a*	6,8 a*	6,8 a*
CV (%)		1,08	3,13	1,83	1,49
		CE			
		1	2	3	Média
Inicial					
Controle		46,78	17,34	39,15	34,42
Espécie	Aguapé	63,65 a*	78,37 a*	86,10 a*	76,04 a*
	Alface	58,64 a*	53,65 b*	50,82 b*	54,37 b*
	Salvília	46,81b	34,58 c*	34,46 c	38,62 c
CV (%)		10,50	5,83	7,72	5,22

Letras minúsculas diferem entre si pelo teste Tukey 5%; ^{ns}: não significativo. *: difere significativamente do controle no teste de Dunnett a 5%.

5 DISCUSSÃO

As macrófitas aquáticas e flutuantes de maior massa aguapé e alface alcançaram melhores resultados nas avaliações realizadas.

Em trinta dias de desenvolvimento o aguapé em água residuária, em condições de baixa radiação solar durante o primeiro experimento, praticamente dobrou sua biomassa, e em alta radiação solar, constatou-se o aumento de 4,5 vezes de sua massa inicial, isso concorda com o encontrado por Alves et al. (2003) em que observou o aumento em 15% de biomassa por dia nessa espécie, alcançando o acúmulo de 800 kg por hectare, ou seja, em condições adequadas de desenvolvimento pode atingir a produção de aproximadamente 500 t ha⁻¹ ano⁻¹ de biomassa.

Segundo Camargo et al. (2006) a espécie é de classificação ecológica, como flutuante, emersa, enraizada, livres, etc., as interações competitivas, as condições abióticas como o clima, que inclui luminosidade, temperatura, turbidez da água, disponibilidade de nutrientes, entre outros, regem os diferentes comportamentos de desenvolvimento de macrófitas relacionados principalmente à produção de biomassa e taxas de crescimento.

A produção de biomassa de macrófitas aquáticas flutuantes pode ser proporcional às condições nutricionais e climáticas às quais são expostas como temperatura, à radiação solar e disponibilidade de nutrientes. Portanto, as espécies classificadas como emersas e flutuantes mostram mais alta produtividade relacionadas às classificadas como submersas e com folhas flutuantes (ESTEVES, 1998; BARKO; SMART, 1983; MENENDEZ; PEÑUELAS, 1993; MENENDEZ; SANCHEZ, 1998; CAMARGO et al., 2003).

Whiteman e Room (1991) mostraram que macrófitas podem apresentar alta tolerância às amplitudes térmicas, porém o melhor desempenho de *P. estratiotes* foi constatado à 25°C (CANCIAN, 2007). Segundo Mees (2006), no inverno, a remoção de elementos diminuiu radicalmente, podendo relacionar-se ao efeito das variações sazonais em clima, temperatura, umidade e radiação solar (MEES, 2006).

Além disso, a qualidade nutricional do efluente também pode influenciar no desempenho das macrófitas, como altos teores de P e N proporcionaram à *S. molesta* em 2,7 dias o dobro de biomassa (FINLAYSON, 1984; SESHAVATHARAM, 1990; HENRY-SILVA; CAMARGO, 2005).

As ações antrópicas, como a produção de efluentes orgânicos, podem acarretar, em condições adequadas de desenvolvimento desses vegetais, que discute da maior disponibilidade de elementos, promovendo maior produção de macrófitas aquáticas nos ecossistemas (SESHAVATHARAM, 1990)

Porém, em se tratando de uma condição de fitorremediação, suscetível à exposição a um meio em desequilíbrio nutricional que pode causar um crescimento excessivo, e por consequência, em condições de crescimento natural em corpos d'água pode ser prejudicial.

Henry-Silva (2001) constatou que a *E. crassipes* e a *P. stratiotes* em condições de alta disponibilidade de nitrogênio e fósforo apresentaram maiores taxas de crescimento, corroborando com o encontrado no presente trabalho.

Enquanto que o Aguapé se destaca na eficiência de extração da maioria dos elementos, como observado nos dois experimentos. Isso pode estar relacionado à absorção direta de N pela macrófita, sendo a produção primária e a alta concentração deste nutriente diretamente proporcionais (SOOKNAH; WILKIE , 2004; BIUDES; CAMARGO, 2008; GONZALEZ et al., 2015).

Segundo Pistori (2009), o acúmulo de N e P na biomassa foi maior em *E. crassipes*, podendo-se constatar que, comparado as espécies *P. stratiotes* e *S. molesta*, pode apresentar maior eficiência no polimento de efluentes, corroborando com resultados encontrados no presente trabalho, não só para N e P, como também para os demais nutrientes essenciais e elementos como o Na.

Na cultura do eucalipto cultivada em efluentes tratados, Rezende (2003) foi constatado que o uso do efluente proporcionou aumento de biomassa e taxa de crescimento de plantas além de promover a suficiência nutricional da cultura, Isso também foi constatado por outros autores para várias culturas (FEIGIN et al., 1978; FITZPATRICK et al., 1986; MAURER; DAVIES, 1993; AL-JALLOUD et al., 1995; SANDRI, 2003)

Segundo Esteves (1998), o macronutriente P é um dos responsáveis pela eutrofização artificial de ecossistemas aquáticos. Observou-se no presente estudo que a concentração média de 29 mg/L de P na água residuária utilizada, proporcionou desenvolvimento adequado e mostrou acúmulo satisfatório.

Considerando o destino dado à água residuária, visto como uma via de mão dupla em que há o aproveitamento de seus nutrientes pelas plantas que poderão ter um destino como compostagem, e a partir de então gerar um novo uso, além do

polimento desse efluente, os tratamentos (USEPA, 2013) custam em torno de US\$ 50 a 212 kg⁻¹ P total removido de águas residuárias por meio do processo de precipitação química, que além de perder esse nutriente essencial para a produção de alimentos, acarreta em uso de recursos para contenção deste.

Estima-se em torno de US\$ 33.600.000 ano⁻¹, recuperando e comercializando em média 33,6 toneladas geradas por uma suposta indústria e os valores equivalentes de fosfato de amônio no mercado internacional (US\$ 1,000 t⁻¹), na possível reutilização deste nutriente na forma de adubo.

Esta análise comparativa evidencia que no médio-longo prazo, será imperativa a consolidação de tecnologias sustentáveis para o gerenciamento deste elemento, através de processos que equilibrem os vetores meio ambiente, sociedade e economia (MARONEZE et al., 2014).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em estudos futuros, em busca de menores variações nos parâmetros analisados e do aprimoramento nas variações relacionadas à água residuária como decantação e surgimento de algas e lodo que podem aumentar essa variação, propomos alterar os tratamentos, a forma em que é realizado o tratamento controle pois isso pode ter gerado menor uniformidade nos tratamentos. Além disso, esses vegetais podem ter um limite de absorção, em que ao invés de realizarem a fitorremediação acabam por liberar os elementos já absorvidos para a água novamente.

7 CONCLUSÕES

Dentre as macrófitas aquáticas flutuante o aguapé (*Eichhornia crassipes*) obteve a maior produção de massa e maior acúmulo de elementos mesmo o teor variando entre as espécies.

O aguapé (*Eichhornia crassipes*) mostrou o melhor desempenho dentre as macrófitas, na redução da concentração dos elementos da água residuária, N 90,4%, P 96,0%, K 95,6%, Ca 64,3%, Mg 97,0%, S 28,7% e Na 49,5%.

Sendo o nitrogênio e o fósforo os principais responsáveis pela eutrofização da água, no presente trabalho o aguapé (*Eichhornia crassipes*) seguido do alface d' água (*Pistia stratiotes*) se mostrou o mais eficiente na redução da concentração desses elementos.

As macrofitas aquáticas estudadas, principalmente o aguapé (*Eichhornia crassipes*), demonstraram grande potencial no polimento de efluente de esgoto tratado. Porém, mais estudos são necessários para a obtenção de resultados mais conclusivos.

REFERÊNCIAS

- AL-JALOUD, A. A.; HUSSAIN, G.; AL-SAATI, A. J.; KARIMULLA, S. Effect of wastewater irrigation on mineral composition of corn and sorghum plants in a pot experiment. **Journal of Plant Nutrition**, v.18, n.8, p.1677-1692, 1995.
- ALAMINO, R.C.J. **A utilização de lodo de esgoto como alternativa sustentável na recuperação de solos degradados: viabilidade, avaliação e disponibilidade de metais**. 2010. 221 f. Tese (Doutorado) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.
- ALVES, E.; CARDOSO, L. R.; SCRAVONI, J. L. R.; FERREIRA, L. C.; BOARO, C. S. F.; CAETANO, A. C. Avaliação fisiológica e bioquímica de plantas de aguapé (*Eichhornia crassipes*) cultivadas em níveis excessivos de nutrientes. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 21, n. esp., p. 27-35, 2003.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19.ed. Washington: APHA, 1995.
- ANDREOLI, C. V.; PINTO, M. A. T. Introdução. In: ANDREOLI, Cleverson Vitório (org.). **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: RiMa, ABES, 2001.
- APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington, USA: **American Public Health Association**, 2005.1134p.
- ARAUJO, B.S.; PIMENTEL, J.M.B.; PLETSCHE, M. Estudos sobre a tolerância das culturas de raízes geneticamente transformadas de *Daucus carota* ao fenol e seus derivados clorados, aminado e nitrogenado. **23ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química**. SBQ: Poços de Caldas- MG, maio de 2000.
- BEZERRA, T. P.; SILVA, C. P.; LOPES, J. P. Utilização da macrófita aquática *Egeria densa* PLANCHON, 1849 (Hydrocharitaceae) na produção de tijolos para a construção civil. **Revista Brasileira de Engenharia Pesca**, Maranhão, v. 2, n. 1, p. 113-127, 2007.
- BINI, L. M.; THOMAZ, S. M. Prediction of *Egeria najas* and *Egeria densa* occurrence in a large subtropical reservoir (Itaipu Reservoir, Brazil-Paraguay). **Aquatic Botany**, Amsterdam, v. 83, n. 3, p. 227–238, 2005.
- BIUDES, J.F.V. e CAMARGO, A.F.M. Estudos dos fatores limitantes à produção primária por macrófitas aquáticas no Brasil. **Oecol. Bras.**, 12 (1): 7-19. 2008..
- BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento e águas residuárias industriais**. São Paulo: CETESB,1993. 764 p.
- BRANCO, S. M.; BERNARDES, R. S. Culturas hidropônicas como forma de remoção e reciclagem de nutrientes minerais dos efluentes de sistemas de tratamento de esgotos. **Revista DAE**, São Paulo. n.134, p. 113-115. 1983.
- BRASIL. **Lei nº 12305**, de 02/08/2010. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>>. Acesso em: 11 mar 2017.

CAKMAK, I.; WELCH, R.M.; HART, J.; NORVELL, W.A.; OZTURK, L. & KOCHIAN, L.V. Uptake and retranslocation of leaf-applied cadmium (^{109}Cd) in diploid, tetraploid and hexaploid wheats. **Journal of Experimental Botany**, 51:221-226, 2000.

CAMARGO, A. F. M.; PEZZATO, M. M.; HENRY-SILVA, G. G; ASSUMPÇÃO, A. M. Primary production of *utricularia foliosa* L., *Egeria densa* planchon and *Cabomba furcata* schult & schult. from rivers of the coastal plain of the State of São Paulo, Brazil. **Hydrobiologia**, Netherlands, v. 570, n. 13 ref., p. 35–39, 2006.

CANCIAN, L.F. 2007. **Crescimento das macrófitas aquáticas flutuantes Pistia stratiotes e Salvinia molesta em diferentes condições de temperatura e fotoperíodo**. Dissertação de Mestrado. UNESP, Jaboticabal, Brasil. 55p.

CARR, G. M.; DUTHIE, H. C.; TAYLOR, W. D. Models of aquatic plant productivity: a review of the factors that influence growth. **Aquatic Botany**, Amsterdam, v. 59, n. 3, p. 195-215, 1997.

CARRILLO, Y.; GUARÍN, A.; GUILLOT, G. Biomass distribution, growth and decay of *Egeria densa* in a tropical high-mountain reservoir (NEUSA, Colombia) **Aquatic Botany**, Amsterdam, v. 85, n. 1, p. 7-15, 2006.

CARVALHO, F. T.; VELINI, E. D.; CAVENAGHI, A. L.; NEGRISOLI, E.; CASTRO, R. M. Influência da turbidez da água do rio Tietê na ocorrência de plantas aquáticas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, n. 2, 359-362. 2005.

CEMA – Conselho Estadual do Meio Ambiente. **Resolução n.º 070** de 11 agosto de 2009. Disponível em:<http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao_ambiental/Legislacao_estadual/RESOLUCOES/resolucao_cema_70_2009.pdf> Acesso em: 19/01/15.

CHENG, J. J.; STOMP, A. M. Growing duckweed to recover nutrients from wastewaters and for production of fuel ethanol and animal feed. **CLEAN: Soil, Air Water**, v. 37, p. 17- 26, 2009. <http://dx.doi.org/10.1002/clen.200800210>

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n.º 357**, de 17 de março de 2005. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 03/03/2014.

DENÍCULI, W. et al. Uso de aguapés na redução de sólidos totais de águas residuárias da suinocultura. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 8, n. 1, p. 38-51, 2000.

DIAS, S. M. Tratamento de efluentes em zonas húmidas construídas ou leito de Macrófitas. **Boletim de Biotecnologia**, Portugal. n. 60, 1998. Disponível em: <<http://www.aseeb.isr.ist.utl.pt/dct/EcoEro/TratamentoEfluentes/sld013.htm>>. Acesso em: 13 fev. 2006.

EL SAYED, A. F. M. Alternative dietary protein sources for farmed tilapia, *Oreochromis ssp*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 179, n. 1-4, p. 149-168, 1999.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de liminologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 602 p.

FEIGIN, A.; BIELORAI, H.; DAG, Y.; KIPNIS, T.; GISKIN, M. The nitrogen factor in the management of effluent- irrigated soils. **Soil Science**, v.125, n.4, p.248-254, 1978.

FERREIRA, D. F. **Sisvar: Sistema de Análise de Variância**. Lavras: UFLA, 2006.

FIGUEIRÊDO, M.C.B.; TEIXEIRA, A.S.; ARAÚJO, L.F.P.; ROSA, M.F.; PAULINO, W.D.; MOTA, S.; de ARAÚJO, J.C. (2007) Avaliação da vulnerabilidade ambiental de reservatórios à eutrofização. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 12, n. 4, p. 399-409.

FINLAYSON, C. M. Growth of *Salvinia molesta* in lake Moondarra, Mount Isa, Australia. **Aquatic Botany**, Amsterdam, v. 18, 257-262. 1984.

FITZPATRICK, G.; DONSELMAN, H.; CARTER, N. S. Interactive effects of sewage effluent irrigation and supplemental fertilization on container-grown trees. **HortScience**, v.21, n.1, p.92-93, 1986.

GASSI, T.M.T.; ROSSIN, A.C. Remoção de microrganismos indicadores e patogênicos em reator UASB operando com esgotos domésticos. In: XVII **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, 1993.

GIORDANO, G. **Tratamento e controle de efluentes industriais**. Apostila de Curso. Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente/UERJ, 2004. Rio de Janeiro, RJ, Brasil . Disponível em: <http://72.29.69.19/~nead/disci/gesamb/doc/mod7/2.pdf> Acesso em: 26/04/2017.

GONZALEZ, A. C. et al. Utilização de macrófita aquática na purificação de efluente industrial. In: XII Congresso Nacional do Meio Ambiente de Poços De Caldas, 2015, **Anais...** Poços de Caldas, MG, 2015. p. 1 - 8.

GRADY, C. P. L. et al. **Biological Wastewater Treatment**. 2. ed. New York: Marcel Dekker, 1999.1076 p.

GRANT, C.A.; BUCKLEY, W.T.; BAILEY, L.D. & SELLES, F. Cadmium accumulation in crops. **Canadian Journal of Plant Science**, 78:1-17, 1998.

GRECO, M.F.P.S. **Estudo exploratório de macrófitas aquáticas: potencial de fitorremediação (N-NH₃) e de aproveitamento de biomassa**. 2010. p.101. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, Santa Cruz do Sul, RS.

HART, J.J.; WELCH, R.M.; NORVELL, W.A.; SULLIVAN, L.A. & KOCHIAN, L.V. Characterization of cadmium binding, uptake, and translocation in intact seedlings of bread and durum wheat cultivars. **Plant Physiology**, 116:1413-1420. 1998.

HENRY-SILVA, G. G.; CAMARGO, A. F. M. Composição química de macrófitas aquáticas flutuantes utilizadas no tratamento de efluentes de aquicultura. **Planta Daninha**, v. 24, n. 1, p. 21-28, 2006.

HENRY-SILVA, G. G.; CAMARGO, A. F. M. Efficiency of aquatic macrophytes to treat Nile tilapia pond effluents. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 63, n. 5, p.433-438, 2006.

HENRY-SILVA, G.G. e CAMARGO, A.F.M. Interações ecológicas entre as macrófitas aquáticas flutuantes *Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes*. **Hoehnea** 32 (3) 445– 452. 2005.

HENRY-SILVA, G.G. **Tratamento de efluentes de carcinicultura por macrófitas aquáticas (*Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes*) e aproveitamento da biomassa vegetal em rações pra tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)**. 2005. p.132. Tese (Doutorado em Aqüicultura) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP.

HENRY-SILVA, G.G.; PEZZATO, M.M. & CAMARGO, A.F.M. 2008. Growth of free-floating aquatic macrophytes in different concentrations of nutrients. **Hydrobiologia** 610: 153-160.

HIDALGO, J.C.; MONTANO, J.J.; ESTRADA, M.S. Recientes aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas. (Aplicações recentes de tratamento de águas residuais com plantas aquáticas). **Theoria**, Vol. 14 (1): 2005.

HOLM, L.; YEO, R. The biology, control and utilization of aquatic weeds. Part I. **Weeds Today**, p. 7-13, 1980.

HUSSAR, G. J.; PARADELA, A. L.; JONAS, T. C.; GOMES, J. P. R. Tratamento da água de escoamento de tanques de piscicultura através de leitos cultivados de vazão subsuperficial: Análise da qualidade física e química. **Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal**, v. 2, n. 1, p. 46-59, jan./dez. 2005.

IQBAL, S. Duckweed aquaculture: potentials possibilities and limitations for combined wastewater treatment and animal feed production in developing contries. **Switzerland: Sandec**, 1999. Online. Disponível em: Acesso em set. 2012.

KATAYAMA, V.T. **Quantificação da produção de lodo de estações de tratamento de água de ciclo completo: uma análise crítica**. 2012. 139 p. Dissertação (mestrado) Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012.

LANDESMAN, L.; CHANG, J.; YAMAMOTO, Y.; GOODWIN, J. Nutritional value of wastewater grown duckweed for fish and shrimp feed. **World Aquaculture**, v. 33, p. 39- 40, 2002. <http://dx.doi.org/10.13031/2013.9953>

LIMA, et al. Crescimento e absorção de alguns elementos químicos em aguapé, alface da água e lentilha da água, no período de inverno, em Pinhais-PR. SEMINÁRIO DO PROJETO INTERDISCIPLINAR SOBRE EUTROFIZAÇÃO DE ÁGUAS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO NA BACIA DO ALTÍSSIMO IGUAÇU, 4, 2003, Curitiba-PR. **Resumos...** Curitiba-PR: Companhia de Saneamento do Paraná, 2003. p.1-3.

LORENZI, H. 1982. **Plantas daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas, tóxicas e medicinais**. Nova Odessa, Instituto Plantarum.

MARONEZE, M. M.; Zepka, L. Q.; Vieira, J. G.; Queiroz, M. I. Jacob-Lopes, E. A tecnologia de remoção de fósforo: gerenciamento do elemento em resíduos industriais. **Rev. Ambient. Água**. vol. 9 n. 3, p. 445. Taubaté - Jul./Sep 2014.

MARTELO, J. e BORRERO, J.A.L. Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales; una revisión del estado del arte. (Macrófitas flutuantes no tratamento de

águas residuárias, uma revisão do estado da arte). **Ingeniería y Ciencia**, ing. cienc. v.8, n. 15, 221–243. 2012.

MARTINS, A. T.; PITELLI, R. A. Efeitos do manejo de *Eichhornia crassipes* sobre a qualidade da água em condições de mesocosmos. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 233-242, 2005.

MARTINS, D. et al. Controle químico de *Pistia stratiotes*, *Eichhornia crassipes* e *Salvinia molesta* em caixas d'água. **Planta daninha**, Viçosa, v. 20, n. spe, p. 83-88, 2002. Available from

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582002000400010&lng=en&nrm=iso>. access on 24 Apr. 2017.
<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582002000400010>.

MAURER, M. A.; DAVIES, F. S. Microsprinkler irrigation of young “Redblush” grapefruit trees using reclaimed water. **HortScience**, v.28, n.12, p.1157-1161, 1993.

MAZZEO, N.; RODRIGUEZ-GALLEGO, L.; KRUK, C.; MEERHOFF, M.; GORGA, J.; LACERROT, G.; QUINTANS, F.; LOUTERIRO, M.; LARREA, D.; GARCIA-RODRIGUEZ F. Effects of *Egeria densa* planch. Beds on a shallow lake without piscivorous fish. **Hydrobiology, Netherlands**, v. 506, n. 1, p. 591-602, 2003.

MOHEDANO, R. A.; COSTA, R. H. R.; TAVARES, F. A.; BELLI FILHO, P. High nutrient removal rate from swine wastes and protein biomass production by full-scale duckweed ponds. **Bioresource Technology**, v. 112, p. 98-104, 2012.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2012.02.083>

MORAES, A. J.; RODRIGUES, J. B. **Remoção de fósforo com uso de macrófitas em lagoa facultativa de frigorífico**. Medianeira, 2002. 52 f. Monografia (Graduação em Tecnologia Ambiental) - Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná.

MOSSÉ et al. Utilização de lagoas de maturação com aguapé (*Eichhornia crassipes*) na remoção de algas e coliformes em efluentes de lagoas de estabilização. **Revista Engenharia Sanitária**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 1, p. 72-76, 1980.

MURAMOTO, S. & OKI, Y. Removal of some heavy metals from polluted water by water hyacinth. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, 30:170-177, 1983.

NAIME, R.; GARCIA A. C. **Estudos tecnológicos. Utilização de enraizadas no tratamento de efluentes agroindustriais**, vol. 1, n. 2, p. 9-20, 2005.

OLIVEIRA, J. A. et al. Absorção e acúmulo de cádmio e seus efeitos sobre o crescimento relativo de plantas de salvinia e aguapé. **R. Bras. Fisiol. Vegetal**, v. 13, n. 3, p. 329-341, 2001.

OLIVEIRA, N. M. B.; SAMPAIO, E. V. S. B.; PEREIRA, S. M. B.; MOURA JUNIOR, A.M. Capacidade de regeneração de *Egeria densa* nos reservatórios de Paulo Afonso, BA. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 363-369, 2005.

OLIVEIRA, R. A. et al. Redução da demanda bioquímica de oxigênio de águas residuárias da suinocultura com o emprego da macrófita aquática. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande. v. 4, n. 1, p. 81-86, 2000.

- OUTRIDGE, P.M. & HUTCHINSON, T.C. Effects of cadmium on integration and resource allocation in the clonal fern *Salvinia molesta*. **Oecologia**, 84:215-223, 1990.
- PEDRALLI, G. **Aguapé: biologia, manejo e uso sustentado**. Estudos de Biologia, PUC-PR, Curitiba, v. 4, n. 40, p. 33- 53, 1996.
- PERALTA-ZAMORA, P.; ESPÓSITO, E.; REYES, J.; DURAN, N. Remediação de efluentes derivados da indústria de papel e celulose. Tratamento Biológico e fotocatalítico. **Química Nova**. v.20, n.2, 186-190. 1997.
- PETR, T. 2000. Interactions between fish and aquatic macrophytes in inland waters. A review. **FAO Fishers Technical Paper**. 396, Rome. FAO
- PILON, J. & SANTAMARÍA, L. 2002. Clonal variation in morphological and physiological responses to irradiance and photoperiod for the aquatic angiosperm *Potamogeton pectinatus*. **Journal of Ecology** **90**: 859-870.
- PISTORI, R. E. T. 2009. **Crescimento das macrófitas aquáticas flutuantes *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, *Pistia stratiotes* L. e *Salvinia molesta* (Mitchell) em diferentes concentrações de nutrientes**. Tese de Doutorado. Centro de Aquicultura, UNESP (CAUNESP), Jaboticabal.
- POTT, V.J.; POTT, A. 2000. **Plantas Aquáticas do Pantanal**. Corumbá, MS, Embrapa: Centro de Pesquisa Agropecuária do Pantanal.
- PROGRAMA DE BIODIVERSIDADE. **Introdução – Macrófitas**. Disponível em: <http://www.ufscar.br/~probio/intro_kat.html>.
- REIDEL, A.; DAMASCENO, S.; ZENATTI, D.C.; SAMPAIO, S. C.; FEIDEN, A.; QUEIROZ, M. M. F. Utilização de efluente de frigorífico, tratado com macrófitas aquáticas, no cultivo de tilápias do Nilo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**: suplemento, Campina Grande, v. 9, supl., p. 181-185, 2005.
- REIDEL, A.; GÜTHS, R.; FEIDEN, A.; DAMASCENO, S.; CUNHA, F.; SIGNOR, A. A. Produção de biomassa de aguapé (*Eichhornia crassipes*) Mart. Solms. Fertilizados com diferentes adubos. **Varia Scientia**, Cascavel, v. 3, n. 6, p. 95 101, 2003.
- REZENDE, A. A. P. **Fertirrigação do eucalipto com efluente tratado de fábrica de celulose kraft branqueada**. Viçosa: UFV. 2003, 152p. Tese Doutorado
- RODELLA, R. A.; COSTA, N. V.; COSTA, L. D. N. C.; MARTINS, D. Diferenciação entre *Egeria densa* e *Egeria najas* pelos caracteres anatômicos foliares. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 211-220, 2006.
- ROMITELLI, M. S. Remoção de fósforo em efluentes secundários com emprego de macrófitas aquáticas do gênero *eichhornia*. **Revista DAE**, São Paulo, n. 133, p. 66-88, 1983.
- ROONEY, N. & KALFF, J. 2000. Inter-annual variation in submerged macrophyte community biomass and distribution: the influence of temperature and lake morphometry. **Aquatic Botany** **68**: 321-335.

ROQUETE PINTO, C. L. et al. Utilização de planta aquática “*Eichhornia crassipes*” (aguapé) para controle da poluição e aproveitamento industrial. Uma tecnologia alternativa. **Informativo INT**, Rio de Janeiro. v. 18, n. 37, p. 26-32, set/dez, 1986.

ROSENZWEIG, C.; KAROLY, D.; VICARELLI, M.; NEOFOTIS, P.; WU, Q.; CASASSA, G.; MENZEL, A.; ROOT, T.L.; ESTRELLA, N.; SEGUIN, B.; TRYJANOWSKI, P.; LIU, C.; RAWLINS, S. & IMESON, A. 2008. Attributing physical and biological impacts to anthropogenic climate change. **Nature** **453**: 353-358.

RUBIM, M.A.L. & CAMARGO, A.F.M. 2001. Taxa de crescimento específico da macrófita aquática *Salvinia molesta* em um braço do rio Preto, Itanhaém, São Paulo. **Acta Limnologica Brasiliensia** **13**: 61-73.

RUBIO, J. et al. Plantas Aquáticas: sorventes naturais. **Revista Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 35, n. 205, p. 68-71, 2004.

SAMPAIO, E. V. S. B.; OLIVEIRA, N. M. B. Aproveitamento da macrófita aquática *Egeria densa* como adubo orgânico. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 169-174, 2005.

SANDRI, S. **Irrigação da cultura da alface com água residuária tratada com leitões cultivados com macrófita**. Campinas: UNICAMP. 186p, 2003. Tese Doutorado

SANTAMARIA & VAN VIERSEN, W. 1997. Photosynthetic temperature responses of fresh- and brackish-water macrophytes: a review. **Aquatic Botany** **58**: 135-150.

SCHNEIDER, O.; SERETI, V.; EDING, E. H.; VERRETH, J. A. J. Analysis of nutrient flows in integrated intensive aquaculture systems. **Aquacultural Engineering**, Amsterdam, v. 32, n.3-4, p. 379-401, 2005.

SCHULZ, C.; GELBRECHT, J.; RENNERT, B. Constructed wetlands with free water surface for treatment of aquaculture effluents. **Journal Applied Ichthyology**. Berlin, v. 20, n. 1, p. 64-70. 2004.

SCHULZ, C.; GELBRECHT, J.; RENNERT, B. Treatment of rainbow trout farm effluents in constructed wetland with emergent plants and subsurface horizontal water flow. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 217, n. 1-4, p. 207-221, 2003.

SESHAVATHARAM, V. Traditional uses and problem of noxious growth. In: Gopal, B. (Ed.). **Ecology and management of aquatic vegetation in the Indian subcontinent**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1990. Cap. 9, p. 201-218.

SHILTON, A.; POWELL, N.; GUIEYSSE, B. Plant based phosphorus recovery from wastewater via algae and macrophytes. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 23, p. 884-889, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.copbio.2012.07.002>

SILVA, F.K. e EYNG, J. Tratamento de águas residuais de indústria de laticínios: Um estudo comparativo entre os métodos de tratamento com biofiltro e com o sistema convencional de lagoas. **R. gest. sust. ambient.**, Florianópolis, v. 1, n. 2, p. 4 – 22, 2013.

- SILVA, L. C.; AZEVEDO, A. A.; SILVA, E. A. M. Flúor em chuva simulada: sintomatologia e efeitos sobre a estrutura foliar e o crescimento de plantas arbóreas. **R. Bras. Bot.**, v. 23, n. 4, p. 385-393, 2000.
- SILVA, S. A.; MARA D. D. **Tratamentos biológicos de águas residuais: lagoas de estabilização**. 1. ed. Rio de Janeiro: ABES, 1979.
- SIPAÚBA-TAVARES, L. H.; BARROS, A. F.; BRAGA, F. M. S. Effects of floating macrophyte cover on the water quality in fishpond. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 25, n. 1, p. 101-106, 2003.
- SIPAÚBA-TAVARES, L. H.; FAVERO, E. G. P.; BRAGA, F. M. S. Utilization of macrophyte biofilter in effluent from aquaculture: I. floating plant. **Brazilian Journal Biology**, São Carlos, v. 62, n. 4a, p. 713-723, 2002.
- SOOKNAH, R.D.; WILKIE, A.C. Nutrient removal by floating aquatic macrophytes cultured in anaerobically digested flushed dairy manure wastewater. **Ecol. Eng.**, v. 22, n.1, 27-42. 2004.
- SOUSA, J. T.; HAANDEL, V. A.; LIMA, E. P. C.; HENRIQUE, I. N. Utilização de wetland construído no póstratamento de esgotos domésticos pré-tratados em reator UASB. **Engenharia Sanitária Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 4, p. 285-290, out./dez. 2004.
- STEWART, E. A. et al. Review of operations and performance data on five water hyacinth based treatment systems in Flórida. In: REDDY K. R.; SMITH, W. H. **Aquatic plants for water treatment and resource recovery**. Florida: Magnolia Publishing. 1987. p. 279-294.
- SUÑE, N. et al. Cadmium and chromium removal kinetics from solution by two aquatic macrophytes. **Environ. Poll.**, v. 145, p. 467-473, 2007.
- SVENSSON, R. & WIGREN-SVENSSON, M. 1992. Effects of cooling water discharge on the vegetation in the Forsmark Biotest Basin, Sweden. **Aquatic Botany** 42: 121-141.
- TERRY, P.J. 1981. Weeds and their control in the Gambia. **Tropical Pest Management** 27: 44-52.
- THOMAZ, S.M.; BINI, L.M.; SOUZA, M.C.; KITA, K.K. & CAMARGO, A.F.M. 1999. Aquatic macrophytes of Itaipu Reservoir, Brazil: survey of species and ecological considerations. **Brazilian Archives of Biology and Technology** 42: 15-22.
- van der HOEK, W.; HASSAN, U. M.; ENSINK, J. H. J.; FEENSTRA, S.; RASCHID-SALLY, L.; MUNIR, S.; ASLAM, R.; ALIM, N.; HUSSAIN, R.; MATSUNO, Y. **Urban Wastewater: A valuable resource for agriculture. a case study from horoonabad**, Pakistan. Research Report 63. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute. 2002. 20p.
- VIEIRA, Luciane Maria Martini; KOVALICZN, Rosilda Aparecida. **Tratamento de efluentes domésticos com plantas macrófitas**. Ponta Grossa, 2009.
- WEAVER, J.E. AND CLEMENTS, F.E. (1938) **Plant Ecology**. 2nd Edition, McGraw-Hill Book Co., 601.

WHITEMAN, J.B.; ROOM, P.M. Temperatures lethal to *Salvinia molesta* Mitchell. ***Aquat. Bot.*** 1 40 : 27-35. 1991.

XU, J.; SHEN, G. Growing duckweed in swine wastewater for nutrient recovery and biomass production. ***Bioresource Technology***, v. 102, p. 848-853, 2011.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2010.09.003>

ZHAO, Y. Q.; BABATUNDE, A. O. (2007). Constructive approaches toward water treatment works sludge management: an international review of beneficial reuses. Critical Review in ***Environmental Science and Technology***, v. 37, p. 129–164.