

**DESENVOLVIMENTO DE MACRÓFITAS E DESEMPENHO DE
SISTEMAS ALAGADOS CONSTRUÍDOS TRATANDO ESGOTO
BRUTO**

Fernanda Gonçalves de Morais

Montes Claros - MG
Fevereiro - 2024

Fernanda Gonçalves de Moraes

**DESENVOLVIMENTO DE MACRÓFITAS E DESEMPENHO DE
SISTEMAS ALAGADOS CONSTRUÍDOS TRATANDO ESGOTO
BRUTO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Montes Claros como parte das exigências do Curso de Mestrado Acadêmico em Botânica Aplicada, área de concentração em Botânica Aplicada para a obtenção do título de Mestre.

Orientador(a): Profa. Dra. Elka Fabiana Aparecida Almeida

Montes Claros - MG
Fevereiro - 2024

Morais, Fernanda Gonçalves de.

M828d Desenvolvimento de macrófitas e desempenho de sistemas alagados construídos tratando esgoto bruto [manuscrito] / Fernanda Gonçalves de Moraes – Montes Claros, 2024.

70 f. : il.

Bibliografia: f. 59-65.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Montes Claros - Unimontes, Programa de Pós-Graduação em Botânica Aplicada /PPGBOT, 2024.

Orientadora: Profa. Dra. Elka Fabiana Aparecida Almeida.

1. Esgotos. 2. Jardins filtrantes. 3. Wetlands construídos de fluxo superficial. 4. *Cyperus alternifolius*. 5. *Echinodorus grandiflorus*. 6. *Thaumatococcus uliginosum*. I. Almeida, Elka Fabiana Aparecida. II. Universidade Estadual de Montes. III. Título.

Catálogo: Biblioteca Central Professor Antônio Jorge

Fernanda Gonçalves de Morais

**DESENVOLVIMENTO DE MACRÓFITAS E DESEMPENHO DE
SISTEMAS ALAGADOS CONSTRUÍDOS TRATANDO ESGOTO
BRUTO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Montes Claros como parte das exigências do Curso de Mestrado Acadêmico em Botânica Aplicada, área de concentração em Botânica Aplicada para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 29 de fevereiro de 2024.

Profa. Dra. Elka Fabiana Aparecida Almeida - UFMG

Prof. Dr. Fernando Colen – UFMG

Profa. Claudia Fabrino Machado Mattiuz - USP



Orientador(a) Dra. Elka Fabiana Aparecida Almeida

Montes Claros - MG
Fevereiro - 2024

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Deus, por me dar forças nos momentos difíceis até chegar aqui. Agradeço minha orientadora, professora Dra. Elka Fabiana Aparecida Almeida por tanta paciência, dedicação em compartilhar seus conhecimentos e principalmente pela disponibilidade.

Agradeço à toda minha família que sempre me apoiou em seguir mais esta etapa da minha vida profissional. Agradeço a Marlon e Priscila pela ajuda e pelo apoio nos momentos difíceis.

Agradeço à Janine que como aluna de iniciação científica foi fundamental para o desenvolvimento desta pesquisa.

Agradeço ao professor Fernando Colen que se disponibilizou em ajudar desde o planejamento deste trabalho.

Agradeço aos alunos do grupo de estudos GEFLOP, aos professores do PPGBOT da Unimontes, aos professores da UFMG que disponibilizaram seus laboratórios para minhas análises e a CAPES.

Agradeço a COPASA pela parceria fundamental para continuidade do experimento, à todos os funcionários da ETE Vieira que ajudaram na solução dos problemas diários, à instituição de fomento FAPEMIG e todos que de alguma forma contribuíram para a conclusão deste estudo.

RESUMO

No Brasil cerca de 50% do esgoto gerado é descartado sem tratamento e os Sistemas Alagados Construídos (SACs) constituem uma alternativa de baixo custo e elevada eficiência na remoção e estabilização dos agentes poluentes e contaminantes para o meio ambiente. Quando espécies ornamentais são introduzidas nos sistemas, estes podem ser considerados jardins filtrantes e trazem maior bem-estar à população do entorno. Este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho das espécies *Thaumatococcus uliginosus*, *Echinodorus grandiflorus* e *Cyperus alternifolius* em SACs de fluxo superficial no tratamento de esgoto doméstico bruto. O experimento foi realizado com 7 tratamentos e 5 repetições, quatro deles em SACs, incluindo o sistema controle sem plantas e três espécies em vasos com substrato regados com água. Foram realizadas análises químicas do efluente e das plantas e análises biométricas. A análise estatística foi realizada no programa estatístico SISVAR. A eficiência dos SACs foi analisada por 5 meses. Os valores máximos de remoção considerando o volume evapotranspirado e suas respectivas espécies foram: 98,8% DQO com *T. uliginosus*; 99,8% DBO com *E. grandiflorus*; para *E. coli* (6 unidades logarítmicas), fósforo (98,7%); N amoniacal (98,9%); e cloretos (94,5%) com *C. alternifolius* e sólidos sedimentáveis (90%) com todos os SACs. Os SACs atenderam aos requisitos legislativos estaduais nas concentrações médias de parâmetros físico-químicos. Todas as espécies dos SACs, nas condições experimentais avaliadas, apresentaram desenvolvimento relevante submersas no esgoto, com destaque para os parâmetros biométricos e acúmulo de nutrientes que ocorreu de forma mais expressiva em *C. alternifolius* e *T. uliginosus*. Conclui-se que as espécies estudadas apresentam potencial para serem implementadas em SACs de escala real, pois além da funcionalidade no tratamento de esgoto, o uso das espécies em conjunto proporciona um jardim filtrante com todos os benefícios do paisagismo.

Palavras-chave: *Cyperus alternifolius*; *Echinodorus grandiflorus*; Jardins filtrantes; *Thaumatococcus uliginosum*; Wetlands Construídos de Fluxo Superficial.

ABSTRACT

In Brazil, approximately 50% of generated sewage is discharged untreated and Constructed Wetlands (CWs) offer a low-cost and highly efficient alternative for pollutant removal in small populations. When ornamental species are introduced into these systems, they can be considered filter gardens, enhancing well-being to surrounding population. This study aimed to evaluate the performance of the species *Thaumatococcus uliginosum*, *Echinodorus grandiflorus* and *Cyperus alternifolius* in free water surface constructed wetland treating domestic sewage. The experiment consisted in seven treatments with 5 replications, four of them in CWs, including the control system without plants, and the three species in pots with substrate watered with water. Chemical analysis for effluent and species and biometric analysis. Statistical analysis was performed using the SISVAR statistical program. CWs efficiency was assessed over five months and the maximum removal values, considering evapotranspired volume and respective species, were as follows: 98.8% COD with *T. uliginosum*; 99.8% BOD with *E. grandiflorus*; for *E. coli* (6 logarithmic units), phosphorus (98.7%); Ammonium N (98.9%); and chlorides (94.5%) with *C. alternifolius* and Setttable solids (90%) with all CWs. The CWs met state legislative requirements for average physicochemical parameters. Under the evaluated experimental conditions, all CWs species exhibited significant development submerged in sewage, with notable biometric parameters and nutrient accumulation, particularly in *C. alternifolius* and *T. uliginosum*. In conclusion, the studied species have potential for implementation in full-scale CWs, providing not only sewage treatment functionality but also the benefits of landscaping in a filter Garden.

Keywords: *Cyperus alternifolia*; *Echinodorus grandiflorus*; Filter gardens; Free water surface constructed wetlands; *Thaumatococcus uliginosum*.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	16
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
3.1 ANÁLISES BIOMÉTRICAS DAS PLANTAS.....	22
3.2 ANÁLISES QUÍMICAS DAS PLANTAS.....	32
3.3 ANÁLISES DOS EFLUENTES	40
4. REFERÊNCIAS	59
ANEXO 1 - NORMAS DE SUBMISSÃO DA REVISTA.....	66

Artigo formatado de acordo com a Revista Landscape and Ecological Engineering

Development of macrophytes and performance of constructed wetlands treating sewage

Fernanda Gonçalves de Moraes, Elka Fabiana Aparecida Almeida, Fernando Colen, Rúbia

Santos Fonseca

1. INTRODUÇÃO

A demanda crescente por saneamento básico e tratamento adequado do esgoto é um desafio global. Segundo o SNIS (2020), apenas 52,2% de todo o esgoto gerado no Brasil recebe tratamento, gerando sérios impactos nos ecossistemas aquáticos e na qualidade da água. O direcionamento de esgoto não tratado para corpos d'água compromete a saúde dos rios, muitos dos quais são fontes importantes de água para as cidades (da Silva *et al.* 2023). Em dezembro de 2022, novas regulamentações foram implementadas para o tratamento de esgoto, exigindo a remoção de nitrogênio amoniacal. Isso representa um desafio para as companhias com sistemas anaeróbicos, levando-as a considerar a adição de etapas aeróbicas em seus processos (Costa *et al.* 2019).

Considerando a importância do tratamento de esgoto no saneamento básico, na garantia de saúde e na qualidade do efluente tratado para atender a nova legislação, os sistemas de tratamento de esgoto descentralizados podem trazer soluções alternativas. Esse sistema, quando dimensionado para demandas locais, são mais flexíveis e sustentáveis do que as grandes estruturas de tratamento que exigem altos investimentos e ampla infraestrutura. Uma opção de tratamento descentralizado são os Sistemas Alagados Construídos (SACs) que apresentam simplicidade na implantação e manutenção além de não requerer utilização de produtos químicos (Perondi *et al.* 2020).

Outros termos são utilizados para referir a estes sistemas como: wetlands construídos, terras úmidas construídas; leitos plantados, leitos com macrófitas, filtros plantados com macrófitas, jardins filtrantes, leito cultivado com macrófitas, sistemas de zonas de raízes, etc (von Sperling e Sezerino 2018). Os SACs são sistemas de engenharia projetados para utilizar os processos naturais que envolvem a vegetação, o solo e suas populações microbianas associadas ao tratamento de águas residuárias (Trein *et al.* 2015). Nesse sistema, o tratamento

do afluente ocorre por meio de processos físicos, químicos e biológicos (Silva *et al.* 2018). Os SACs necessitam pouco recurso energético, toleram variações na vazão de entrada, permitem reciclagem/reuso da água e nutrientes, possuem ausência de ruídos e atendem aos limites da legislação sobre emissões (Subtil *et al.* 2018).

Esse sistema é utilizado globalmente como uma tecnologia eficaz e sustentável para reduzir a carga orgânica e nutrientes em sistemas de tratamento de efluentes orgânicos (Ferreira 2018). Além disso, os Sistemas Alagados Construídos (SACs) são empregados no tratamento de efluentes industriais com metais pesados, como demonstrado por Thani *et al.* (2020) na remoção de níquel. Suas aplicações também se estendem ao reuso de água e revitalização de rios, conforme Kotsia *et al.* (2020) e Jing *et al.* (2001).

Segundo Sezerino e Pelissari (2021) universidades brasileiras iniciaram publicações sobre SACs em 1990 com aparatos em escala piloto no tratamento de esgotos sanitários e águas residuárias diferentes. As três configurações de SACs mais abordadas na literatura são os SACs de escoamento horizontal subsuperficial, de escoamento vertical e sistema francês, sendo que os SACs de escoamento superficial possuem poucos casos estudados no Brasil (von Sperling e Sezerino 2018). Com relação ao caminho do fluxo no sistema, existem 2 tipos de SACs: subsuperficial e superficial. Nos SACs de fluxo subsuperficial, existem 2 subtipos de acordo com a direção do fluxo: fluxo horizontal (Figura 1 B) ou vertical (Figura 1 C) (Cur e Gajewskaad 2017). No segundo, a água flui lentamente acima do meio suporte de substrato, criando assim uma superfície de água livre (Figura 1 A).

No escoamento horizontal subsuperficial, o líquido a ser tratado atravessa o material filtrante, geralmente composto por brita ou cascalho, predominantemente na direção horizontal e o nível do líquido fica abaixo do nível do meio filtrante. No escoamento vertical, o líquido flui percolando verticalmente nos poros do material filtrante, onde predominam condições

aeróbias devido ao preenchimento do meio filtrante com ar, não com líquido. No sistema francês dois estágios de SAC vertical são colocados em sequência: o primeiro recebe esgoto bruto, enquanto o segundo recebe o efluente tratado do primeiro estágio (von Sperling e Sezerino 2018).

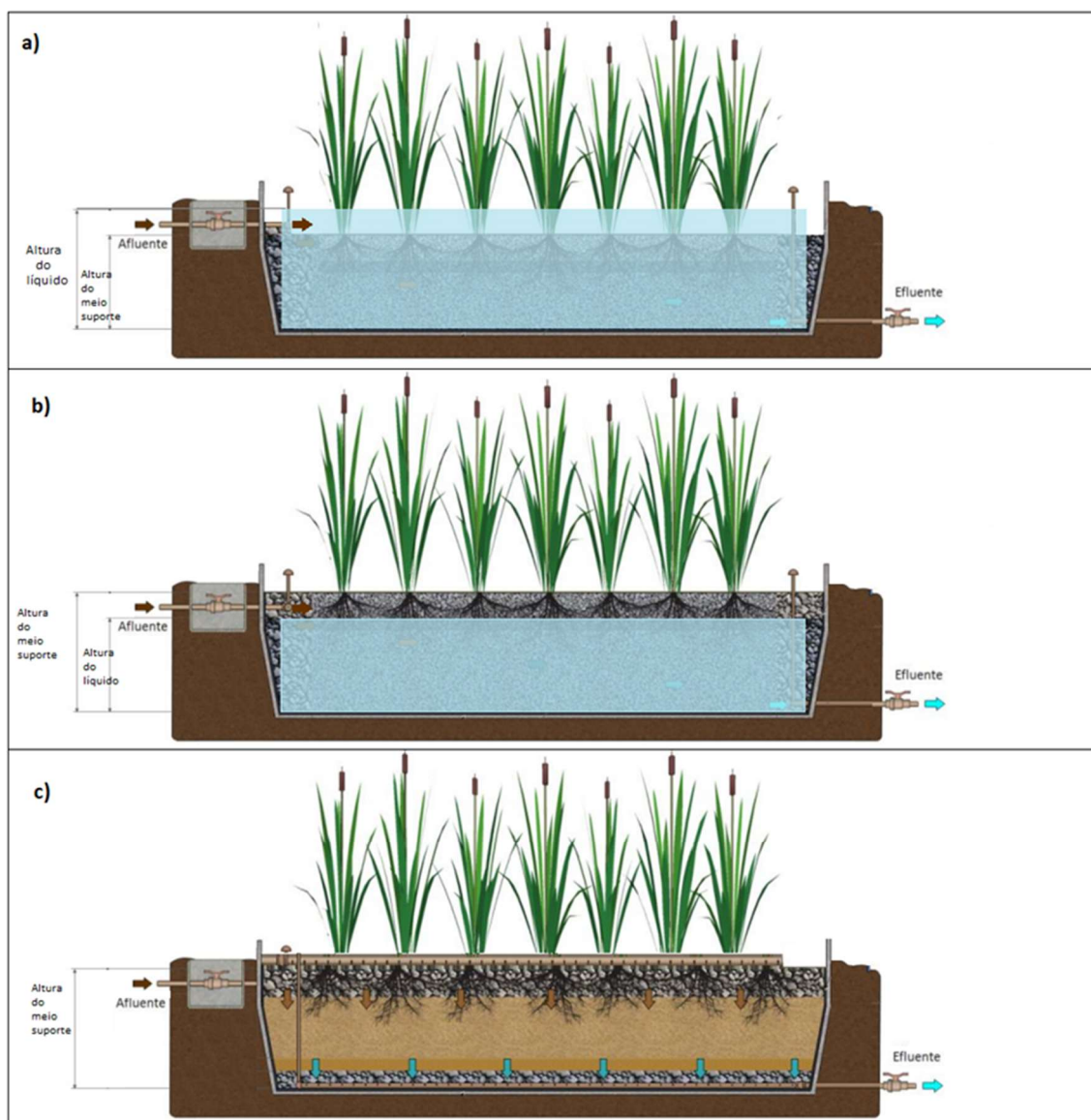


Figura 1: Esquema representativo do perfil longitudinal dos SACs de escoamento superficial (a); horizontal subsuperficial (b); vertical subsuperficial (c). (Adaptado de Von Sperling e Sezerino, 2018).

Normalmente, um Sistema Alagado Construído de Fluxo Superficial plantado com macrófitas emergentes possui de 20–30 cm de meio suporte e uma profundidade de fluido de 20–40 cm (Kadlec e Wallace 2009). Macrófitas são plantas aquáticas que desempenham um papel fundamental em ecossistemas aquáticos, incluindo lagos, rios e sistemas alagados construídos (SACs) (Bentes *et al.* 2024). Essas plantas são caracterizadas por sua capacidade de crescer e se desenvolver em ambientes aquáticos ou em áreas com solos encharcados. Nas áreas de SACs de escoamento superficial, desempenham várias funções ecológicas importantes tais como: promovem a sedimentação, evitando a ressuspensão de partículas; contribuem para o crescimento de perifiton e bactérias; absorção de nutrientes presentes na água; disponibilizam carbono para processos de desnitrificação em sistemas com baixa concentração de carbono durante a decomposição da biomassa (Vymazal 2013); e liberam oxigênio das raízes (Brix 1994).

As espécies mais utilizadas em SACs são *Typha latifolia*, *Phragmites australis*, *Typha angustifolia*, *Juncus effusus*, *Scirpus lacustris*, *Scirpus californicus* e *Phalaris arundinacea* (Vyzamal 2013). O sistema ainda apresenta vantagens paisagísticas, com pesquisas voltadas para o uso de plantas ornamentais em sua construção (Ferreira 2018). De acordo com Kotsia *et al.* (2020) ocorrem dificuldades de aceitação pública dos SACs a depender das macrófitas utilizadas e espécies ornamentais podem valorizar ainda mais o uso desse sistema.

A escolha da vegetação usada nos SACs está relacionada a vários aspectos, incluindo a tolerância a ambientes saturados de água, a velocidade de crescimento da planta e a necessidade de manutenção com podas (Sezerino *et al.* 2015). No entanto, as plantas nativas, por serem mais adaptadas às condições edafoclimáticas locais, são as mais indicadas para uso nos SACs. Embora o fluxo superficial possa acomodar um volume maior de efluentes, é necessário investigar espécies vegetais capazes de se adaptar às exigências específicas. *Thaumatococcus*

uliginosum (Mayo) Sakur. *et al* pertencente à família Araceae, conhecida por filodendro, possui ocorrência em uma diversidade de ambientes do Cerrado, desde matas úmidas, brejos, matas ciliares até em afloramentos rochosos (Mayo, 1989). Essa diversidade de habitats demonstra seu potencial para uso em SACs (Santos, 2011). Estudos sobre SACs empregando plantas da família Araceae obtiveram bons resultados na remoção de poluentes. Thani *et al.* (2020) demonstrou que a *Alocasia puber* plantada em SACs é adequada para tratar águas residuárias contaminadas com níquel podendo chegar em 95,6% de remoção do contaminante. Segundo Calheiros (2021) foi possível obter até 99% de eficiência de remoção de DQO em um SAC plantado com *Zantedeschia aethiopica*.

Outra espécie nativa do Brasil com tolerância à ambientes alagados é a *Echinodorus grandiflorus* (Cham & Schltl) Micheli, popularmente conhecida como chapéu de couro que possui aplicações medicinais contra hipertensão (Marques 2016). A espécie *E. grandiflorus* é da família Alismataceae e se apresenta como planta herbácea aquática, perene, acaule, rizomatosa, variando seu comprimento entre 0,5 e 0,9m de altura. A espécie *E. grandiflorus* tem ocorrência preferencialmente em terrenos alagados e em mananciais aquáticos e possui ocorrência confirmada em diversas regiões brasileiras. Considerada macrófita aquática, emersa ou flutuante na superfície da água, está presente em ambientes de água doce como solos úmidos, canais de irrigação, lavouras de arroz inundado, banhados, baixadas, lagos e rios (Cordazzo 1995, Coradin *et al.* 2011).

Outra espécie de grande potencial para SACs, já avaliada em diversas pesquisas com SACs é *Cyperus alternifolius* L. conhecida como sombrinha chinesa que também tolera ambientes alagados, uma herbácea da família Cyperaceae, nativa de Madagascar, perene, rizomatosa, ereta, cespitosa, aquática, de 0,5 a 1,5 metros de altura e de folhagem ornamental (Matzenauer 2020).

Tendo em vista as vantagens dos SACs e do potencial de cultivo de plantas tolerantes a ambientes alagados nesse sistema, o objetivo deste trabalho é avaliar de forma preliminar o desempenho das espécies *T. uliginosum*, *E. grandiflorus*, e *C. alternifolius* em SACs de fluxo superficial no tratamento de esgoto doméstico.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Estação de Tratamento de Esgoto da Companhia de Saneamento de Minas Gerais – Copasa MG - ETE Vieira em Montes Claros, Coordenadas geográficas 16° 41'S, 43° 50'O, altitude 646 m, no período de novembro de 2022 a abril de 2023. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, considerado tropical de savana, com inverno seco e verão chuvoso. As plantas foram dispostas em ambiente bem ventilado com altura de 6 m, coberto com telhas metálicas e laterais abertas. Foram avaliados sete tratamentos, quatro deles em SACs de fluxo superficial e três sistemas de cultivo de plantas em vasos com substrato irrigados com água potável tratada pela Copasa conforme. O experimento foi em delineamento inteiramente casualizado com cinco repetições e uma planta por parcela. Os tratamentos em SACs variaram de acordo com as espécies cultivadas e a testemunha consistiu em tubos sem plantas (Tabela 1).

Tabela 1: Descrição dos tratamentos utilizados no experimento.

Tratamento	Descrição
1	Tubo PVC com brita recebendo esgoto sem planta (testemunha)
2	Tubo PVC com brita recebendo esgoto com a planta <i>C. alternifolius</i> .
3	Tubo PVC com brita recebendo esgoto com a planta <i>T. uliginosum</i> .
4	Tubo PVC com brita recebendo esgoto com a planta <i>E. grandiflorus</i> .
5	Vaso com substrato e a planta <i>C. alternifolius</i> irrigada com água tratada.
6	Vaso com substrato e a planta <i>T. uliginosum</i> irrigada com água tratada.
7	Vaso com substrato e a planta <i>E. grandiflorus</i> irrigada com água tratada.

As plantas foram dispostas na área central superior dos tubos, seguindo o mesmo nível da brita. Os tubos foram abastecidos manualmente com esgoto bruto pela abertura superior, de forma que as plantas ficassem submersas por uma lâmina de 5 cm (Figura 2 A).

As unidades experimentais de SACs foram constituídas por 20 recipientes de PVC de 200 mm de diâmetro e 50 cm de altura, com fluxo vertical superficial e base de concreto (Figura 2 A e B). O sistema de drenagem de água residuária consistiu em uma camada de 40 cm de brita zero, sendo este o meio suporte das plantas, um tubo de 5 cm de altura e 20 mm de diâmetro e forrado no fundo com uma manta drenante (Figura 2 C). As unidades experimentais foram mantidas sobre três paletes para dar a altura que possibilitou a coleta do efluente.

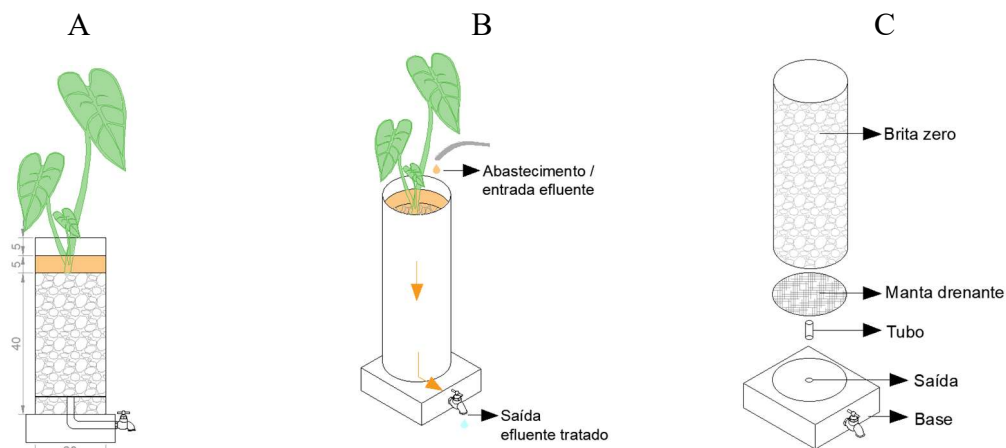


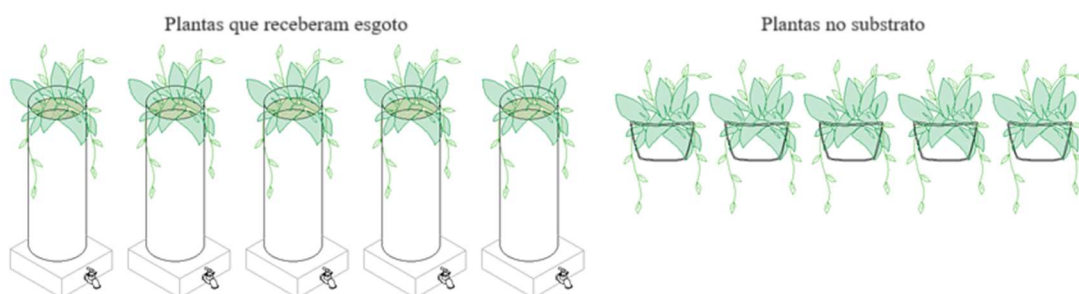
Figura 2: Representação esquemática das medidas do sistema (A); fluxo da água residuária no tubo de PVC (B); Camadas do sistema de drenagem (C). Fonte: Fernanda G. Morais.

Para observar o desenvolvimento das plantas na ausência do esgoto, as três espécies do estudo foram cultivadas no mesmo ambiente em substrato comercial Mogifertil, composto por bagaço de cana, turfa, casca de pinus, serragem e composto orgânico, e regadas 3 vezes por semana com água tratada pela Copasa (Figura 3). Dessa forma, o experimento totalizou sete tratamentos. As mudas utilizadas no experimento foram produzidas no Viveiro de Mudas do ICA - UFMG.

SAC com *C. alternifolius* (sombriinha chinesa)



SAC com *E. grandiflorus* (chapéu de couro).



SAC com *T. uliginosum* (filodendro)



SAC Grupo controle sem planta.

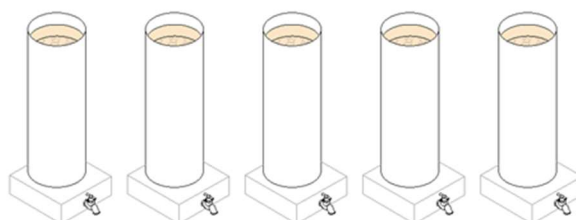


Figura 3: Desenho dos tratamentos aplicados no estudo. Fonte: Fernanda G. Morais.

O abastecimento do sistema foi realizado em batelada com esgoto bruto coletado na ETE Vieira e introduzido pela parte superior dos recipientes até atingir 5 cm acima do nível da

brita, com Tempo de Detenção Hidráulica – TDH – de 7 dias. A cada 7 dias foi realizado o descarte do efluente tratado por uma torneira (figura 2) na parte inferior dos tubos.

O efluente da saída dos tubos foi coletado mensalmente em amostras compostas para cada um dos 4 SACs e encaminhado ao laboratório da Copasa em Montes Claros. Os efluentes coletados foram analisados quanto à: DQO (Demanda Química de Oxigênio); DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio); Sólidos Sedimentáveis; pH; Condutividade Elétrica; *E. coli*; fósforo; nitrato; nitrogênio amoniacal; agentes tensoativos e cloretos. O esgoto bruto também foi analisado na mesma época para comparação da eficiência do sistema. Para uma análise mais fiel das eficiências de remoção considerou-se a redução de volume de efluente que ocorreu no sistema decorrente da evapotranspiração. Para isso foi calculado a carga de cada parâmetro multiplicando sua concentração de entrada com o volume de entrada, e também a concentração de saída multiplicada pelo volume de saída. As eficiências de remoção foram calculadas subtraindo da carga afluente de cada parâmetro a carga efluente e depois dividindo pela carga afluente.

Ao longo do experimento foram coletados dados de altura das plantas e número de folhas em todos os tratamentos. As outras análises com relação ao desenvolvimento das plantas foram realizadas ao final dos 5 meses de experimento: área foliar e número de brotos. No final do experimento as plantas foram coletadas e levadas para o Instituto de Ciências Agrárias da UFMG para realização de análise de matéria fresca (MF) e matéria seca (MS) da parte aérea e das raízes. As amostras frescas foram seccionadas e a massa foi determinada em balança de precisão logo após a coleta das plantas e em seguida acondicionadas em sacos de papel craft e dispostas em estufa de circulação forçada de ar a 70° C até atingir peso constante e posteriormente verificada a massa. Após esse procedimento as amostras foram trituradas em moinho tipo Willey. As análises de macro e micronutrientes: N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn,

Zn, B e Na de parte aérea e raízes foram feitas pelo Laboratório de Análise Foliar da Universidade Federal de Lavras. O cálculo do acúmulo dos nutrientes (g planta^{-1}) foi feito multiplicando a concentração (g kg^{-1}) pela massa seca (g planta^{-1}), dividindo por 1000g. A medição da área foliar de todas as plantas foi feita através do software Image J.

Foram coletados dados da estação meteorológica convencional INMET 83437 distante 1,6 km do local do experimento (Tabela 2).

Tabela 2: Dados meteorológicos do período experimental. Fonte: INMET, 2023.

Médias mensais dos dados meteorológicos durante o experimento ocorrido em 2022/2023						
Mês	Dias	Temp (°C)	Um. (%)	Nebulosidade (Décimos)	Insolação (h)	Chuva Acumulada (mm)
NOV	7	24,76	71,99	7,41	5,19	420
DEZ	37	24,46	78,79	7,91	3,79	288,7
JAN	67	24,80	77,06	6,52	5,81	327,2
FEV	97	27,49	61,53	3,87	9,25	2,6
MAR	127	27,52	57,19	3,98	8,48	5,2
ABR	157	26,68	63,23	5,21	7,04	61,8

Os resultados das análises de MF, MS, número de brotos, área foliar e resultados dos teores e acúmulos de nutrientes foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo Teste Scott-Knott a 5% de significância. Para número de folhas e altura da planta foi realizada regressão polinomial utilizando o programa estatístico SISVAR (Ferreira 2019). Foi realizada análise descritiva dos resultados de efluentes de saída apresentados em gráficos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ANÁLISES BIOMÉTRICAS DAS PLANTAS

Todas as plantas cultivadas em esgoto bruto se adaptaram ao ambiente alagado e apresentaram desenvolvimento sem anomalias durante o período experimental avaliado (Figura 4).



Figura 4: Imagem do início (A) e final (B) do experimental mostrando o desenvolvimento das espécies no período estudado. (Autores)

Para as avaliações biométricas das plantas observou-se que as espécies cultivadas no esgoto se desenvolveram melhor que as cultivadas em substrato e irrigadas com água (Figura 5). Estes resultados devem-se ao fato de que as plantas se mostraram resistentes ao ambiente alagado com altas concentrações de poluentes e variações temporais de conteúdo inerentes ao uso de esgoto bruto, diferente das pesquisas realizadas com efluente sintético como (Kotsia *et al.* 2020). Comportamentos diferentes das plantas ocorreram com Pelissari (2013) ao estudar SAC de fluxo vertical com *Typha domingensis* Pers, pois houve dificuldade de adaptação das macrófitas ao sistema necessitando reposição de mudas perdidas em um período de 5 meses.

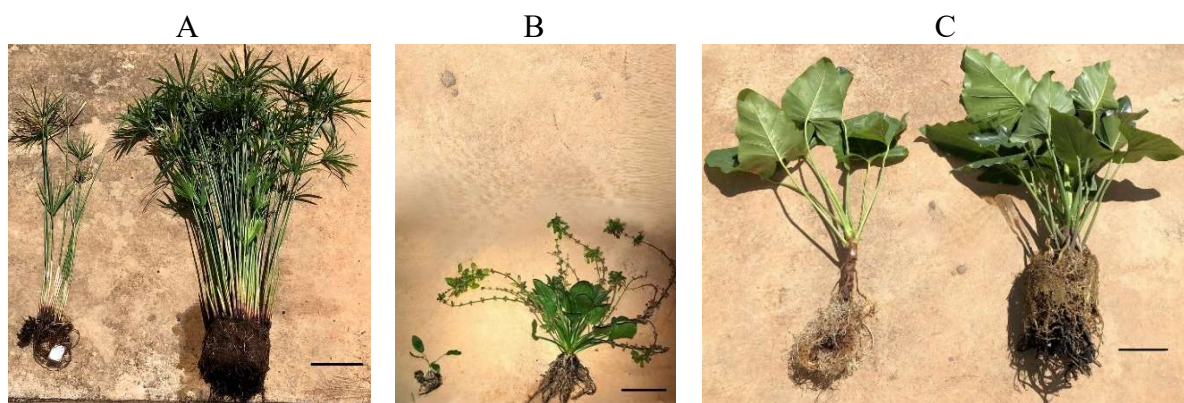


Figura 5: Comparação entre as plantas no substrato à esquerda e que receberam esgoto à direita após 5 meses de experimento: sombrinha chinesa (A), chapéu de couro (B) e filodendro (C).

Ocorreu diferença significativa entre os tratamentos tanto para matéria fresca quanto seca e observou-se que dentre as espécies avaliadas, a que mostrou melhor desempenho foi a sombrinha chinesa seguida do filodendro. Para matéria fresca e seca da parte aérea (Figura 6) é possível observar também o quanto a sombrinha chinesa teve um desenvolvimento mais expressivo no esgoto do que no substrato, mostrando o potencial da planta para SACs (Figura 6 A). Da mesma família da sombrinha chinesa, o papiro - *Cyperus papyrus* – alcançou boa produção de biomassa em estudos com SACs no Brasil principalmente na primavera (Colares *et al.* 2023).

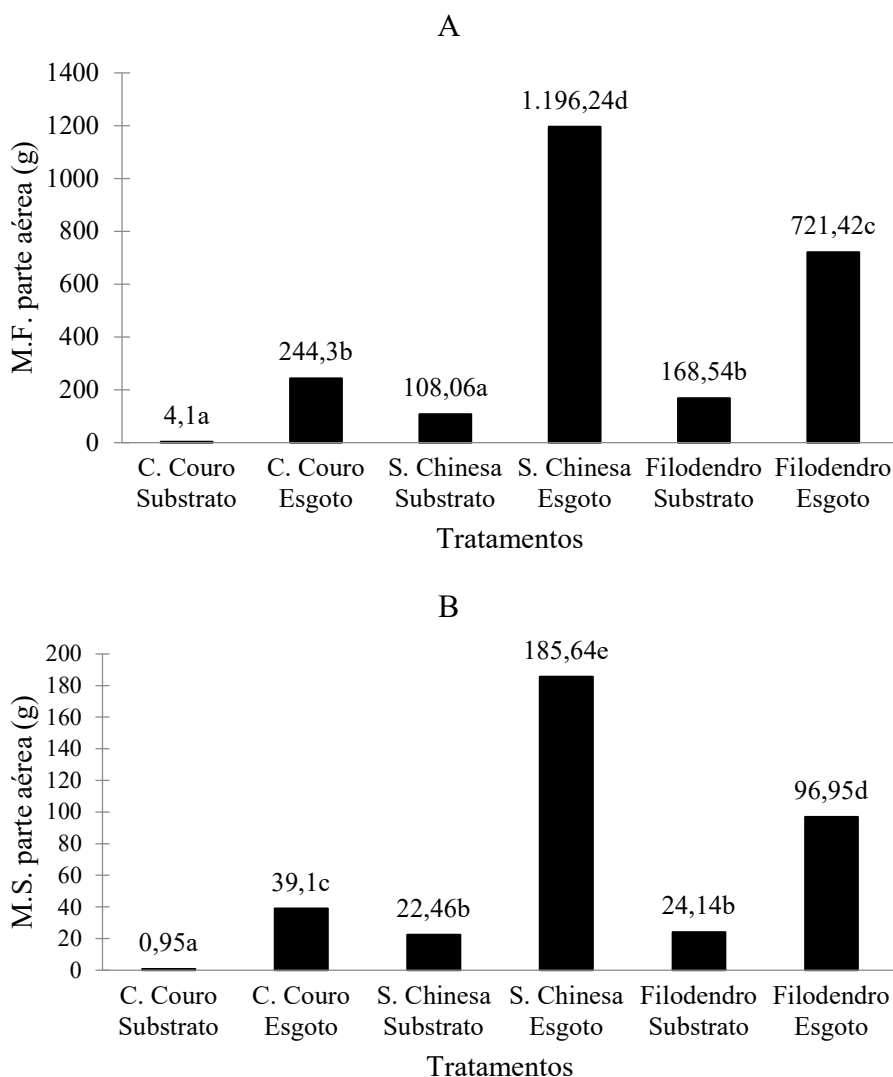


Figura 6: Matéria fresca (A) e seca (B) da parte aérea das três espécies estudadas em substrato comercial e em SACs. (Autores)

O chapéu de couro em SAC proporcionou maior produção de matéria seca da parte aérea quando comparado às plantas da mesma espécie cultivadas em vaso com substrato. O chapéu de couro é uma planta de porte menor que as demais espécies estudadas. Essa planta atinge comprimento médio de 38 cm (Santos *et al.* 2017), por isso apresentou menor matéria seca, entretanto, apresentou melhor desempenho para este parâmetro que as outras duas espécies estudadas em substrato comercial.

Na avaliação das raízes, o filodendro destacou-se com a maior produção de matéria fresca e seca quando cultivado em esgoto, diferindo estatisticamente das demais espécies (Figura 7). O filodendro é uma planta que apresenta raízes mais longas e espessas quando comparado às outras macrófitas, o que pode explicar o resultado. As raízes apresentam importante função para que os SACs possam ter eficiência em decorrência do biofilme que vai se formando ao longo do tempo.

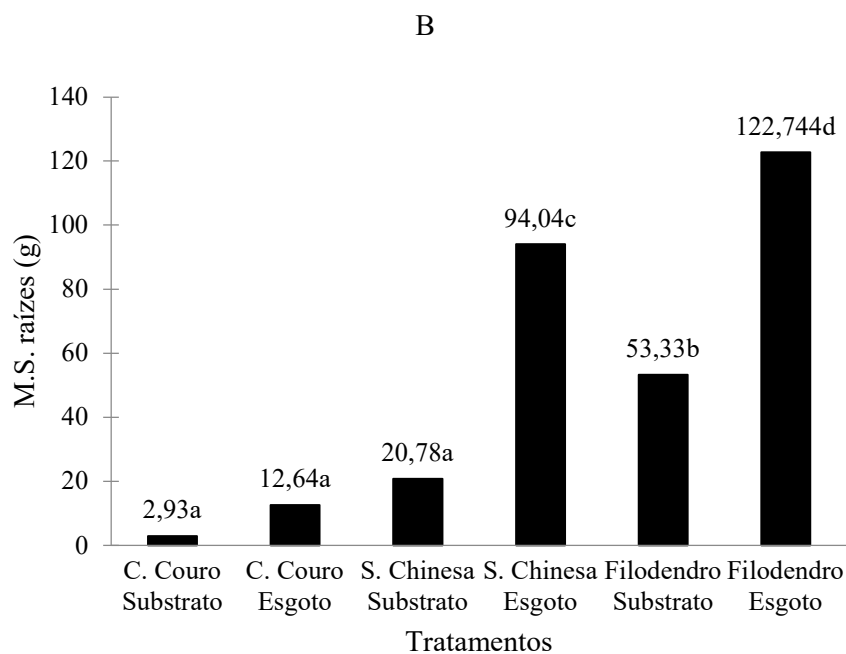
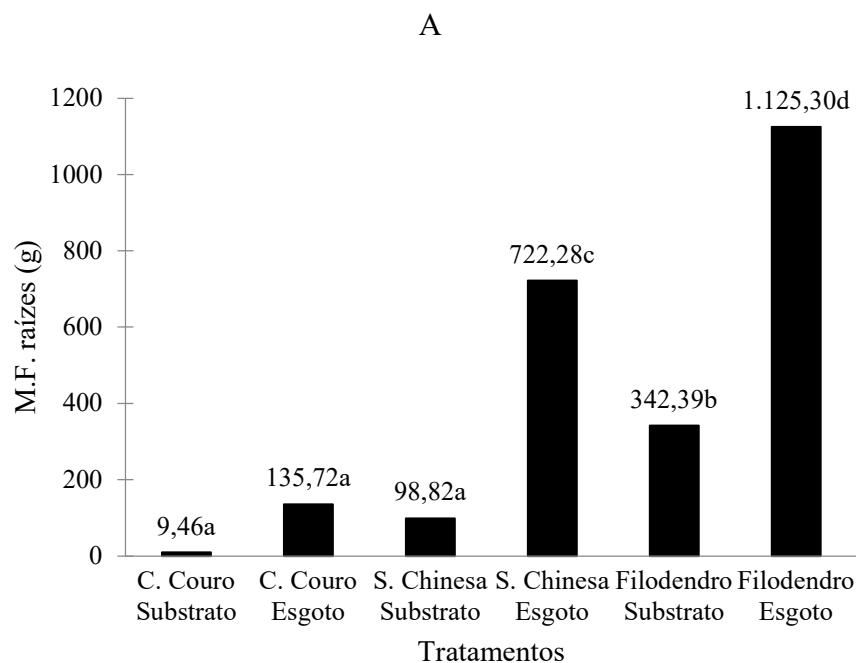


Figura 7: Matéria fresca (A) e seca (B) das raízes das espécies cultivadas no experimento em esgoto e em substrato comercial. (Autores)

Assim como observado na parte aérea, o chapéu de couro teve menor produção de matéria fresca e seca da raiz quando cultivado no substrato. Quando cultivado no esgoto, essa espécie se desenvolveu melhor, mas as outras espécies apresentaram resultados superiores. Como já mencionado, isso se deve em decorrência do chapéu de couro ser naturalmente uma planta de porte menor que as outras estudadas, como é possível ver na figura 8. Então, mesmo com a alta disponibilidade de nutrientes do esgoto, não houve crescimento das raízes suficiente para se diferir estatisticamente das plantas cultivadas no substrato. As raízes do chapéu de couro são menores (Figura 8 C), possuem uma única camada de células com fina camada de cutícula (Santos 2017). Entretanto, o chapéu de couro apresentou elevado potencial ornamental para composição paisagística de SACs em decorrência da beleza e exuberância de suas folhas e flores (Figura 8 A e B).



Figura 8: Fotografia do chapéu de couro mostrando seu potencial ornamental e numerosas folhas (A), suas flores (B), e raiz (C). (Autores).

A sombrinha chinesa e o filodendro também apresentaram elevado potencial ornamental e associado a elevada produção de matéria seca de folhas e raízes, mostram que são espécies de possível eficiência em SACs (Figura 9).



Figura 9: Potencial ornamental de sombrinha chinesa (A) e filodendro (B). (Autores).

Na Figura 10 é possível observar as diferenças de área superficial das folhas da sombrinha chinesa e do chapéu de couro no grupo controle e no grupo que recebeu esgoto, embora seja notória as variações entre os grupos, estatisticamente não houve diferença.

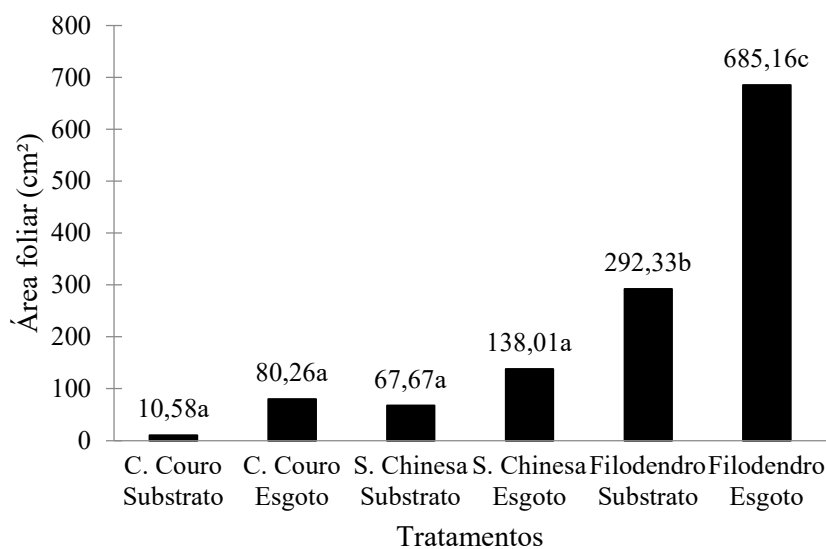


Figura 10: Valores de área foliar das espécies cultivadas no experimento em esgoto e em substrato comercial. As colunas com mesma letra não apresentaram diferença significativa. (Autores)

Em função do formato das folhas (Figura 11), a área foliar da sombrinha chinesa no esgoto não diferiu estatisticamente do grupo controle pois a sua massa fica concentrada nos pecíolos que não ocupam grandes áreas superficiais. A sombrinha chinesa possui folhas estreitas com uma haste ao centro lembrando a forma de sombrinha (Costa *et al.* 2007).

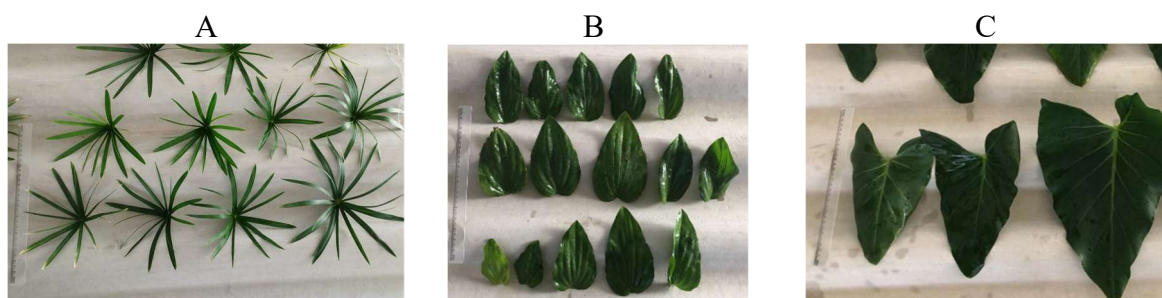


Figura 11: Comparação entre as formas e tamanhos de área foliar das espécies que receberam esgoto: sombrinha chinesa (A), filodendro (B) e chapéu de couro (C).

A Figura 12 mostra que a sombrinha chinesa que recebeu esgoto foi a espécie que se destacou no número de brotos, tendo média cinco vezes maior que as demais e foi a única que teve diferença estatística entre eles. Isso se dá ao fato de que a sombrinha chinesa possui crescimento acelerado (Costa *et al.* 2007), o que é bastante vantajoso para a sua utilização em SACs, pois a planta tem hábito entouceirante (Lorenzi e Souza 2005) e pode ocupar uma extensa área no sistema, evitando a necessidade de investimento em grande número de mudas.

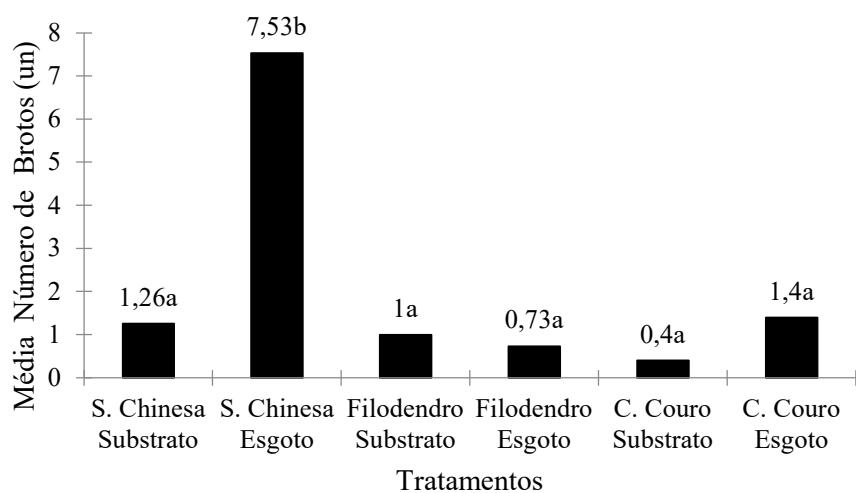


Figura 12: Número de brotos das espécies estudadas em cultivo no esgoto bruto ou substrato comercial. As colunas com mesma letra não apresentaram diferença significativa. (Autores)

Observou-se que as macrófitas cultivadas em esgoto tiveram incremento constante no número de folhas ao longo do período experimental avaliado (Figura 13). O aumento no número de folhas favorece o desenvolvimento da planta em decorrência de maior área fotossintética. Pode-se inferir que o esgoto possibilitou maior aporte nutricional às plantas, resultando no expressivo desenvolvimento das mesmas.

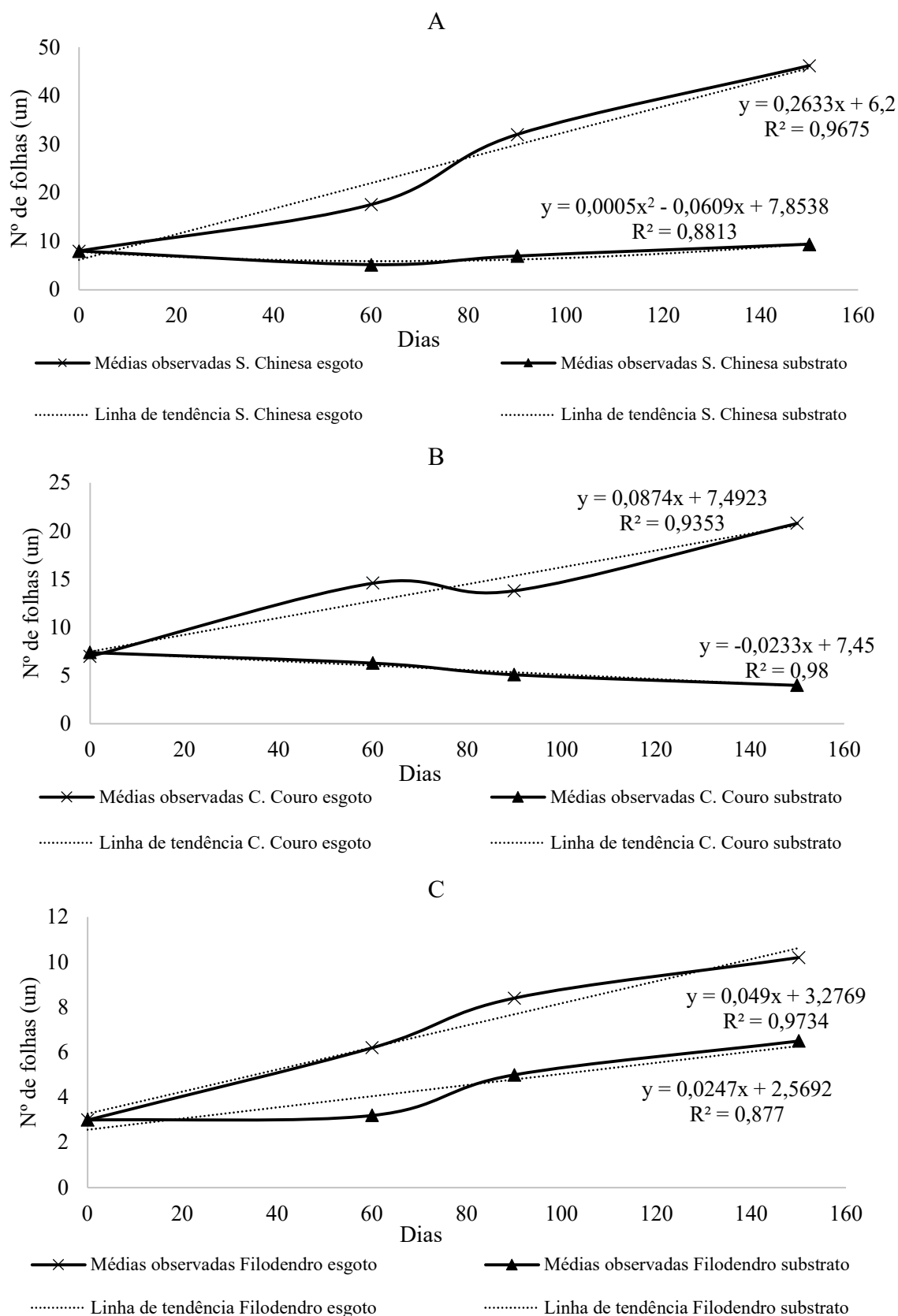


Figura 13: Incremento do número de folhas de sombrinha chinesa (A), chapéu de couro (B) e filodendro (C) cultivados em esgoto ou substrato comercial durante 154 dias de avaliação.

O mesmo comportamento foi observado para altura da planta, pois todas as macrófitas estudadas apresentaram maior incremento em altura ao longo do tempo quando cultivadas em SAC (Figura 14).

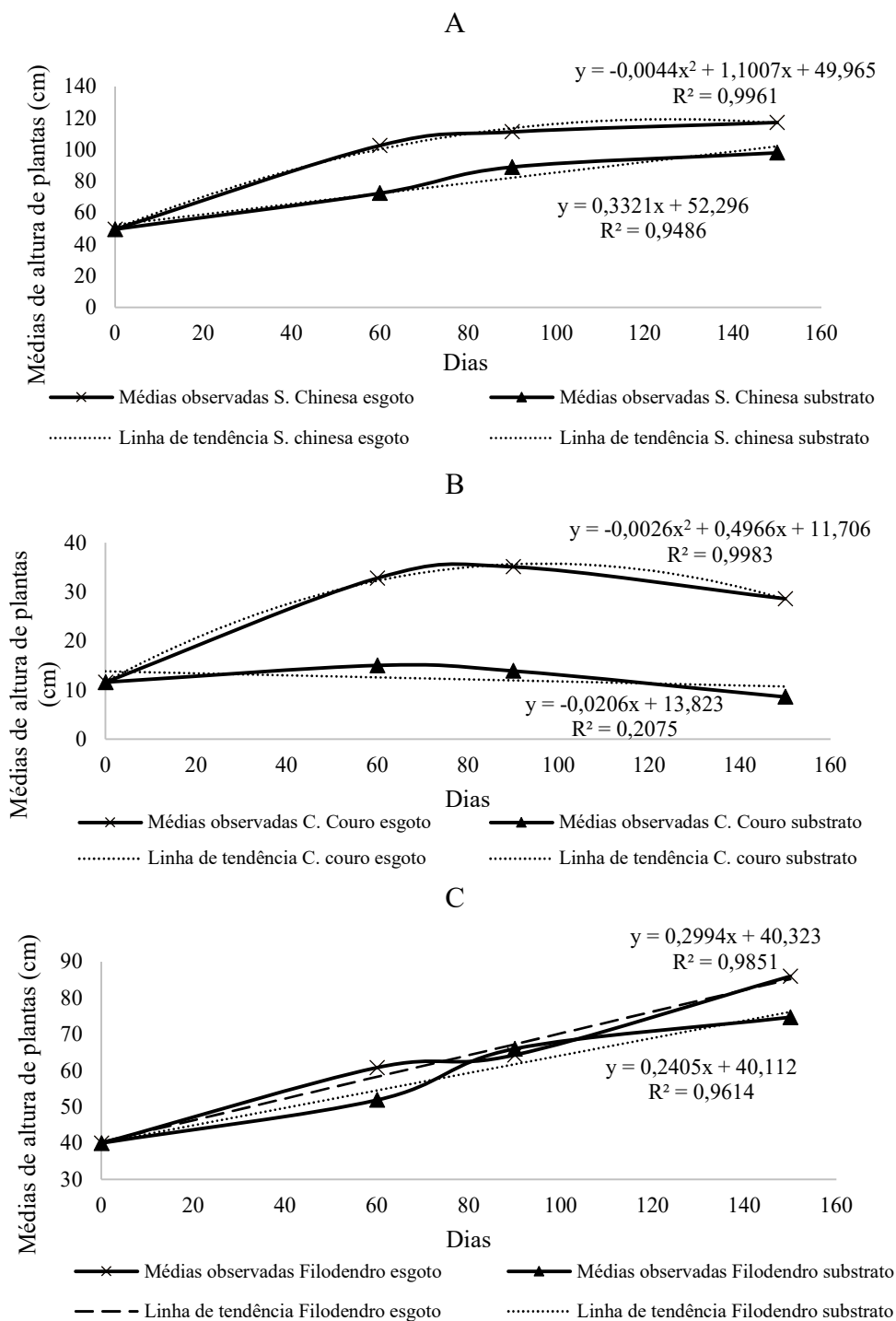


Figura 14: Incremento em altura de sombrinha chinesa (A), chapéu de couro (B) e filodendro (C) cultivados em esgoto ou substrato comercial durante 160 dias de avaliação.

O desenvolvimento das plantas mostra que o esgoto doméstico bruto, mesmo que com altas concentrações de poluentes e contaminantes, foi uma fonte de nutrientes, principalmente com relação à matéria orgânica. O esgoto tem sido bastante estudado em diversas pesquisas para aplicação na agricultura em decorrência de sua composição. De maneira geral, o lodo de esgoto é a principal matéria-prima utilizada para fornecer nutrientes para as plantas após tratamentos específicos para evitar problemas com metais pesados, micro-organismos e outros componentes indesejáveis. O interesse dos pesquisadores em relação ao lodo de esgoto se dá em decorrência de sua importância na utilização agrícola, pois possibilita melhoria nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo e principalmente no aumento da matéria orgânica (Bonini, Alves e Montanari 2015; Sampaio *et al.* 2012).

Resultados de maior desenvolvimento das plantas e melhor resposta econômica foram encontrados por Berton e Nogueira (2010). Santos *et al.* (2014) relatam que o teor de nutrientes no solo aumenta, consideravelmente, por meio da aplicação desse material que possibilita maior ganho econômico quanto à aplicação de fertilizantes químicos. Além do uso de lodo de esgoto, o biocavão produzido a partir desse material tem sido produzido e utilizado com resultados promissores (Song *et al.* 2014; Agrafioti *et al.* 2013).

Além disso, as plantas, que na natureza são encontradas em ambientes alagados e que receberam esgoto, tiveram abundante disponibilidade de água, pois ficaram submersas no efluente por uma altura de 5 cm, ao contrário das plantas no substrato que eram regadas com água três vezes por semana. Isto fez com que a produção de biomassa tivesse grande diferença entre estes dois grupos. Em períodos de seca, quando as plantas são submetidas ao estresse hídrico seu desenvolvimento fica limitado, pois este é um recurso essencial para elas (Campos *et al.* 2021).

Corroborando com esta premissa, nota-se que ao longo do tempo as plantas no esgoto estabilizaram seu crescimento assim que houve diminuição na umidade do ar, por diminuição das chuvas e aumento da radiação solar (Tabela 2). Foi possível observar que o volume de esgoto no sistema diminuía mais rápido do que nos primeiros meses, fazendo com que antes do seu reabastecimento, em 7 dias, o seu nível estava abaixo das raízes das plantas dificultando o alcance delas. Além das mudanças climáticas, nos últimos meses as plantas estavam com mais folhas acarretando aumento na evapotranspiração fazendo com que nos últimos meses, restasse pouco efluente nos sistemas.

3.2 ANÁLISES QUÍMICAS DAS PLANTAS

As análises de macronutrientes da parte aérea encontram-se na tabela 3 e não foi considerado dados para chapéu de couro no substrato, pois houve um ataque de pragas apenas nesse tratamento no final do experimento e dessa forma não houve amostra suficiente.

O chapéu de couro apresentou um bom potencial de fitorremediação como os encontrados por *Sagittaria montevidensis*, também da família Alismataceae, quando submetida a uma área de contaminação apresentou nas raízes valores de Na, Zn, S, K próximos aos encontrados em SAC. Porém por estar em uma área de alta concentração de micronutrientes, os valores de Fe, Cu, Mn, Ca, Mg e P foram superiores (Demarco *et al.* 2019). Embora neste mesmo estudo todos os micronutrientes analisados na parte aérea apresentaram a mesma faixa de valores que o chapéu de couro no SAC, que pode indicar que são espécies com pouca translocação de nutrientes para parte aérea, assim o que é absorvido através da fitorremediação se mantém nas raízes que é a parte de contato com os efluentes.

Tabela 3: Valores médios de teores e acúmulos de N, P, K, Ca, Mg e S na parte aérea de macrófitas cultivadas em esgoto bruto ou substrato comercial.

Médias Macronutrientes Parte Aérea						
Tratamentos	S. chinesa substrato	S. chinesa esgoto	Filodendro substrato	Filodendro esgoto	Chapéu de couro esgoto	CV (%)
MS (g)	22,5	185,6	24,5	96,9	39,1	18,15
Teor N (g kg ⁻¹)	10,1 a	22,4 c	16,5 b	27,1 d	34,2 e	9,46
Acúmulo N (g planta ⁻¹)	0,22 a	4,11 d	0,4 a	2,6 c	1,3 b	11,72
Teor P (g kg ⁻¹)	1,7 a	2,3 b	3,5 c	2,5 b	5,6 d	9,84
Acúmulo P (g planta ⁻¹)	0,04 a	0,4 d	0,09 b	0,2 c	0,2 c	15,73
Teor K (g kg ⁻¹)	20,2 b	12,3 a	28,1 c	14,9 a	23,2 b	16,62
Acúmulo K (g planta ⁻¹)	0,45 a	2,3 d	0,7 b	1,4 c	0,9 b	15,17
Teor Ca (g kg ⁻¹)	5,5 a	5,3 a	17,8 c	17,2 c	15,7 b	9,87
Acúmulo Ca (g planta ⁻¹)	0,12 a	0,98 c	0,4 b	1,65 d	0,6 b	18,92
Teor Mg (g kg ⁻¹)	1,9 a	2,2 a	2,9 b	1,9 a	2,9 b	8,02
Acúmulo Mg (g planta ⁻¹)	0,04 a	0,41 d	0,07 a	0,19 c	0,11 b	20,11
Teor S (g kg ⁻¹)	1,7 a	3,2 b	3,5 b	5,4 d	4,5 c	15,91
Acúmulo S (g planta ⁻¹)	0,03 a	0,59 c	0,09 a	0,51 c	0,17 b	24,1

Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste Skott Knott a 5% de probabilidade.

Para micronutrientes na parte aérea (Tabela 4) não ocorreu aumento de cobre no filodendro cultivado em SAC com baixo valor de acúmulo. Da mesma família do filodendro, a *Zantedeschia aethiopica* não apresentou teores de cobre nem no grupo controle nem em SAC tratando efluente com metais pesados para parte aérea (Macci *et al.* 2014), nas raízes os resultados foram bem próximos dos encontrados no filodendro (Tabela 6).

Tabela 4: Valores médios de teores e acúmulos de B, Cu, Mn, Zn, Fe e Na na parte aérea de macrófitas cultivadas em esgoto bruto ou substrato comercial.

Médias Micronutrientes Parte Aérea						
Tratamentos	S. chinesa substrato	S. chinesa esgoto	Filodendro substrato	Filodendro esgoto	Chapéu de couro esgoto	CV (%)
MS (g)	22,5	185,6	24,5	96,9	39,1	18,15
Teor B (mg kg ⁻¹)	0,25 a	1,2 a	14,9 b	13,1 b	24,0 c	40,41
Acúmulo B (mg planta ⁻¹)	0,005 a	0,22 a	0,36 a	1,3 b	0,95 b	48,64
Teor Cu (mg kg ⁻¹)	6,6 b	3,6 a	10,9 c	1,9 a	3,4 a	34,91
Acúmulo Cu (mg planta ⁻¹)	0,14 a	0,67 b	0,28 a	0,18 a	0,13 a	36,75
Teor Mn (mg kg ⁻¹)	13,25 a	55,49 b	40,56 b	45,97 b	38,60 b	33,58
Acúmulo Mn (mg planta ⁻¹)	0,3 a	10,4 c	0,9 a	4,5 b	1,5 a	40,79
Teor Zn (mg kg ⁻¹)	24,43 a	43,37 b	64,61 c	31,93 a	48,50 b	22,55
Acúmulo Zn (mg planta ⁻¹)	0,54 a	7,95 b	1,66 a	3,14 a	1,90 a	46,57
Teor Fe (mg kg ⁻¹)	124,15 a	144,00 a	237,10 a	107,50 a	406,40 b	69,95
Acúmulo Fe (mg planta ⁻¹)	2,8 a	26,6 b	4,9 a	10,2 a	16,7 b	64,06
Teor Na (mg kg ⁻¹)	1260,4 a	16959d	4974,1 b	11509,1 c	2782,4 a	15,11
Acúmulo Na (mg planta ⁻¹)	28,9 a	3157,9 c	134,3 a	1108,8 b	109,3 a	25,74

Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste Skott Knott a 5% de probabilidade.

O teor de zinco no filodendro foi maior quando cultivado no substrato, porém ao considerar a massa da planta no acúmulo, o zinco foi maior para o filodendro em SAC, mostrando remoção deste metal no esgoto. *Z. aethiopica* apresentou valores similares de zinco nas raízes e parte aérea do grupo controle com os valores do filodendro neste estudo, porém no SAC os valores encontrados por Macci (2014) foram maiores por ter utilizado efluente com altas concentrações de metais - 3.6 mg Cu L⁻¹ e 9 mg Zn L⁻¹ -. Ainda que os valores tenham sido maiores em valor de teor, nota-se que quando analisados em acúmulo o filodendro em SAC se sobressai, o cálculo de acúmulo não foi analisado por Macci (2014).

Tabela 5: Valores médios de teores e acúmulos de N, P, K, Ca, Mg e S nas raízes de macrófitas cultivadas em esgoto bruto ou substrato comercial.

Médias Macronutrientes Parte Raiz						
Tratamentos	S. chinesa substrato	S. chinesa esgoto	Filodendro substrato	Filodendro esgoto	Chapéu de couro esgoto	CV (%)
MS (g)	20,8	94	53,5	123	12,6	23,1
Teor N (g kg ⁻¹)	6,93 a	16,06 b	8,28 a	20,52 c	29,62 d	13,91
Acúmulo N (g planta ⁻¹)	0,14 a	1,49 c	0,44 b	2,46 d	0,37 b	17,77
Teor P (g kg ⁻¹)	2,00 a	2,06 a	4,81 c	3,98 b	3,78 b	18,91
Acúmulo P (g planta ⁻¹)	0,41 a	0,19 b	0,25 c	0,48 d	0,04 a	22,74
Teor K (g kg ⁻¹)	9,85 b	3,27 a	16,96 d	12,49 c	12,82 c	16,15
Acúmulo K (g planta ⁻¹)	0,20 a	0,31 b	0,90 c	1,51 d	0,15 a	24,23
Teor Ca (g kg ⁻¹)	10,64 a	30,62 b	18,54 a	29,08 b	23,96 b	26,17
Acúmulo Ca (g planta ⁻¹)	0,22 a	2,90 b	0,97 a	3,63 b	0,30 a	50,79
Teor Mg (g kg ⁻¹)	1,73 a	2,33 b	3,27 c	2,94 c	2,95 c	16,78
Acúmulo Mg (g planta ⁻¹)	0,03 a	0,21 b	0,16 b	0,36 c	0,03 a	30,6
Teor S (g kg ⁻¹)	1,25 a	3,10 b	1,75 a	6,00 c	7,90 d	23,74
Acúmulo S (g planta ⁻¹)	0,03 a	0,30 b	0,09 a	0,70 c	0,10 a	29,6

Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste Skott Knott a 5% de probabilidade.

Nos teores de cálcio na parte de raiz (Tabela 5) as médias se diferiram significativamente entre as plantas cultivadas no substrato e as plantas cultivadas no esgoto, sendo este segundo os maiores valores.

O teor de cobre na parte raiz do filodendro no substrato foi o único que se diferiu estatisticamente e foi a maior média. Essas informações indicam que o filodendro é capaz de absorver quantidades consideráveis de cobre e que no esgoto não havia valores expressivos deste metal quando comparado ao substrato, pois a absorção nesse último foi bem maior (Tabela 6). Bonanno e Cirelli (2017) observaram valores de cobre em raízes de espécies de *Typha* duas

vezes menor, entre 12,8 e 18,5 mg kg⁻¹ no verão em SACs de tratamento de efluentes contaminados com metais.

Tabela 6: Valores médios de teores e acúmulos de B, Cu, Mn, Zn, Fe e Na em raízes de macrófitas cultivadas em esgoto bruto ou substrato comercial.

Tratamentos	Média Micronutrientes Parte Raiz					
	S. chinesa substrato	S. chinesa esgoto	Filodendro substrato	Filodendro esgoto	Chapéu de couro esgoto	CV (%)
MS (g)	20,8 a	94,0 c	53,5 b	122,8 d	12,64 a	23,13
Teor B (g kg ⁻¹)	11,90 a	16,80 a	21,60 b	23,70 b	20,9 b	25,05
Acúmulo B (g planta ⁻¹)	0,24 a	1,60 b	1,12 b	2,92 c	0,26 a	34,3
Teor Cu (g kg ⁻¹)	12,2 a	8,32 a	38,00 b	4,90 a	16,03 a	60,25
Acúmulo Cu (g planta ⁻¹)	0,25 a	0,79 a	1,92 b	0,60 a	0,20 a	61,19
Teor Mn (g kg ⁻¹)	35,18 a	42,66 a	22,34 a	28,75 a	256,2 b	58,8
Acúmulo Mn (g planta ⁻¹)	0,73 a	4,11 b	1,20 a	3,65 b	3,11 b	68,31
Teor Zn (g kg ⁻¹)	33,43 a	50,77 a	51,44 a	39,28 a	206,3 b	19,48
Acúmulo Zn (g planta ⁻¹)	0,68 a	2,67 b	2,62 b	4,75 c	4,86 c	23,81
Teor Fe (g kg ⁻¹)	916,56 a	1940,72 b	787,09 a	1216,86 a	3963,3 c	30,06
Acúmulo Fe (g planta ⁻¹)	19,62 a	183,88 b	42,37 a	147,86 b	49,88 a	38,06
Teor Na (g kg ⁻¹)	1741,6 a	7426,3 c	3533,4 b	9491,1 c	8290,5 c	20,39
Acúmulo Na (g planta ⁻¹)	36,6 a	189,75 a	692,6 b	1158,8 c	102,85 a	28,83

Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste Skott Knott a 5% de probabilidade.

No acúmulo total de macronutrientes por planta, considerando o somatório dos dados de parte aérea e raiz (Tabela 7), destaca-se o desempenho notável da sombrinha chinesa e do filodendro, ambos cultivados em esgoto. Estes resultados, aliados aos dados biométricos que evidenciam o significativo desenvolvimento das plantas em comparação com aquelas cultivadas no substrato e à ausência de sintomas de toxidez nessas plantas, reforçam o potencial destas espécies para serem utilizadas em Sistemas Alagados Construídos (SACs).

Tabela 7: Valores médios de acúmulos totais de macronutrientes em macrófitas cultivadas em esgoto bruto ou substrato comercial.

Acúmulo total de macronutrientes (g/planta)						
Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
S. chinesa substrato	0,36	0,45	0,65	0,34	0,07	0,06
S. chinesa esgoto	5,6	0,59	2,61	3,88	0,62	0,89
Filodendro substrato	0,84	0,34	1,60	1,37	0,23	0,18
Filodendro esgoto	5,06	0,68	2,91	5,28	0,55	1,21
C. couro esgoto	1,67	0,24	1,05	0,9	0,14	0,27

Dentre os macronutrientes de maior importância nos critérios de tratamento de água de esgoto destacam-se o N e P. Levando em consideração o espaçamento de 50 cm entre plantas que seria adequado para o cultivo dessas macrófitas em um SAC em escala real de 100 m x 42 m (4200 m²) por exemplo, a densidade de plantas suficiente para cobrir essa área seria de 16.800 plantas. Dessa forma, a sombrinha chinesa, que nesse trabalho mostrou acúmulo de 5,6 g de N e 0,59 g de P por planta (Tabela 7), teria o potencial de acumular 94,08 kg de N e 9 kg de P em um SAC na escala real exemplificada. Já o filodendro que acumulou 5,06 g de N e 0,68 g de P por planta, quando cultivado em SAC em dimensões reais nas mesmas condições citadas para a sombrinha chinesa, teria o potencial de acumular 85 kg de N e 11 kg de P.

Dentre os micronutrientes estudados, o Na é o que apresenta importância no tratamento de esgoto, pois geralmente é encontrado em alta concentração. O Na é aferido pela concentração de cloretos que é detectada no esgoto e conforme figura 18 apresenta-se bem elevada na ETE da Copasa em que o experimento foi conduzido. Entretanto, observa-se o alto potencial que as espécies sombrinha chinesa e filodendro apresentaram em acumular esse sal nas condições experimentais estudadas (Tabela 8).

Tabela 8: Valores médios de acúmulos totais de micronutrientes em macrófitas cultivadas em SAC ou substrato comercial.

Acúmulo total de micronutrientes (mg/planta)						
Tratamentos	B	Cu	Mn	Zn	Fe	Na
S. chinesa substrato	0,25	0,39	1,03	1,22	22,4	65,5
S. chinesa esgoto	1,82	1,46	14,51	10,62	210	3.851
Filodendro substrato	1,48	2,2	2,1	4,28	47,3	324,1
Filodendro esgoto	4,22	0,78	8,15	7,89	158	2.268
C. couro esgoto	1,21	0,33	4,61	6,76	66,6	212,2

Também, levando em consideração a densidade de plantas 16.800 em um SAC em tamanho real de 4200 m², a sombrinha chinesa que nesse trabalho mostrou acúmulo de 3.851 mg de Na por planta (Tabela 8), teria o potencial de acumular 64,70 Kg de Na. Já o filodendro que acumulou 2.268 mg de Na por planta, quando cultivado em SACs em dimensões reais nas mesmas condições citadas para sombrinha chinesa, teria o potencial de acumular 38 Kg de Na. Dessa forma, pode-se inferir que os SACs com as espécies estudadas mostraram eficiência no acúmulo de macro e micronutrientes, tanto na parte aérea quanto nas raízes.

3.3 ANÁLISES DOS EFLUENTES

O lançamento de efluentes em corpos receptores pode causar um grande impacto ambiental e interfere na capacidade de autodepuração de rios que é a capacidade de reestabelecer o equilíbrio no meio aquático (von Sperling 1996). Por isso há limites legislativos nacional e estaduais de alguns parâmetros para o lançamento de efluentes em rios, no caso do esgoto doméstico seu tratamento deve respeitar os valores definidos pela Deliberação Normativa do Conselho Estadual de Política Ambiental e do Conselho Estadual De Recursos Hídricos De Minas Gerais (DN COPAM-CERH) 08/2022 e apresentados na Tabela 9.

Tabela 9: Valores médios de concentração de parâmetros no afluente, nos SACs e limites estabelecidos na DN COPAM-CERH 08/2022.

Resumo das concentrações médias dos tratamentos e limites da DN COPAM-CERH/22						
Parâmetro	Afluente	Controle	Sombrinha chinesa	Chapéu de couro	Filodendro	Limites COPAM/22
DBO (mg/L)	254,6	15,3	21,6	11,5	14,8	60
DQO (mg/L)	549,5	66,2	89,3	53	53,3	180
N-NH ₃ / N-NH ₄ (mg/L)	51,3	28,2	14,9	26,3	18,3	20
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	2,5E+7	5,6E+3	3,4E+3	3,8E+3	3,4E+3	1,0E+3
Fósforo (mg/L)	6,0	3,8	1,9	2,5	2,25	0,05
Sólidos sedimentáveis (mL/L)	3,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	1
ATA (mg/L LAS)	3,5	1,11	1,16	0,68	1,2	2,0*
Nitrato (mgNO ₃ .N/L)	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	
pH	7,1	7,5	7,3	7,1	7,2	5 a 9
Cloretos (mg/L)	71,6	92,5	98,5	110,1	101,9	-

* Exceto para sistemas públicos de tratamentos de esgotos sanitários.

Observou-se diferentes variações das características do afluente analisado ao longo do tempo em decorrência de fatores não controláveis, como chuvas conforme dados meteorológicos apresentados (Tabela 2) e tipo de esgoto recebido pela COPASA. O segundo mês de experimento caracterizou-se por menores concentrações de DBO, DQO, nitrogênio amoniacal e fósforo na solução afluente aos sistemas e conseqüentemente menores eficiências de remoção.

A Figura 15 apresenta os resultados de concentração e eficiência de remoção de nitrogênio amoniacal. As concentrações de nitrogênio amoniacal apresentaram comportamento inconstante durante o período analisado, entretanto para a maioria das avaliações os SACs proporcionaram boa eficiência de remoção.

Os sistemas com chapéu de couro e filodendro mantiveram quase todos os meses dentro do novo limite da DN COPAM-CERH 08/2022, que preconiza que efluentes de ETEs devem

estar abaixo de 20mg/L de N. amoniacal para lançamento em corpos d'água (Figura 15). Quando se associa uma etapa de tratamento antecedendo os SACs estes resultados são ainda melhores como visto por Colares (2019). Ao reduzir a carga de matéria orgânica, DQO/DBO, que entra no SAC há uma menor competição das bactérias heterotróficas, que degradam matéria orgânica consumindo H⁺, com as bactérias nitrificantes, que também precisam de H⁺ para consumir N amoniacal. Ao diminuir esta competição há maior disponibilidade de H⁺ para atuação das bactérias nitrificantes. Para remoção de N. amoniacal é necessária uma etapa aeróbia no tratamento de esgoto pois há consumo de oxigênio no processo de nitrificação (Costa *et al.* 2019). Assim ETEs que realizam apenas processos anaeróbios precisarão se readequar para atender este novo limite.

Estudos similares em SACs por Hernandez *et al.* (2017) encontraram remoção de nitrogênio amoniacal entre 24 e 30% para tratar água de um rio poluído, sendo inferior similar aos valores encontrados neste estudo. A remoção de nitrogênio amoniacal é maior em SACs de fluxo vertical, onde há melhores condições de meio suporte não saturado para ocorrer a nitrificação, mas também é possível observar até 40% de remoção em SACs horizontais recebendo efluente de tratamento primário (von Sperling e Sezerino 2018).

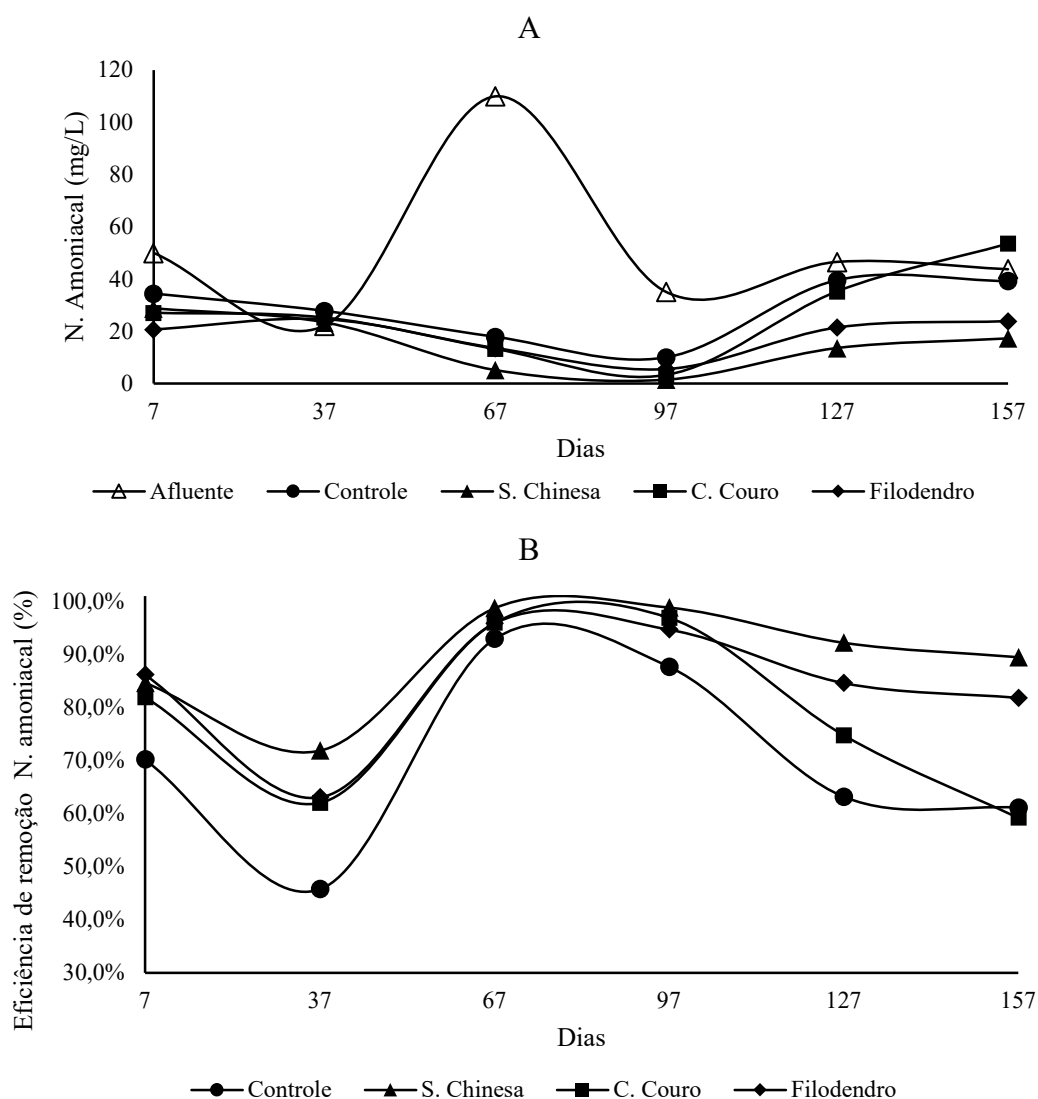


Figura 15: Concentração N. amoniacal (A) e eficiência de remoção de N. amoniacal (B).

As concentrações médias de DBO nos efluentes seguiram constantes entre 22 e 15 mg L⁻¹ sendo estes valores cerca de dez vezes menores que os valores afluentes. No quarto mês de experimento, o tratamento com a planta chapéu de couro chegou a alcançar 99,8% de remoção de DBO (Figura 16).

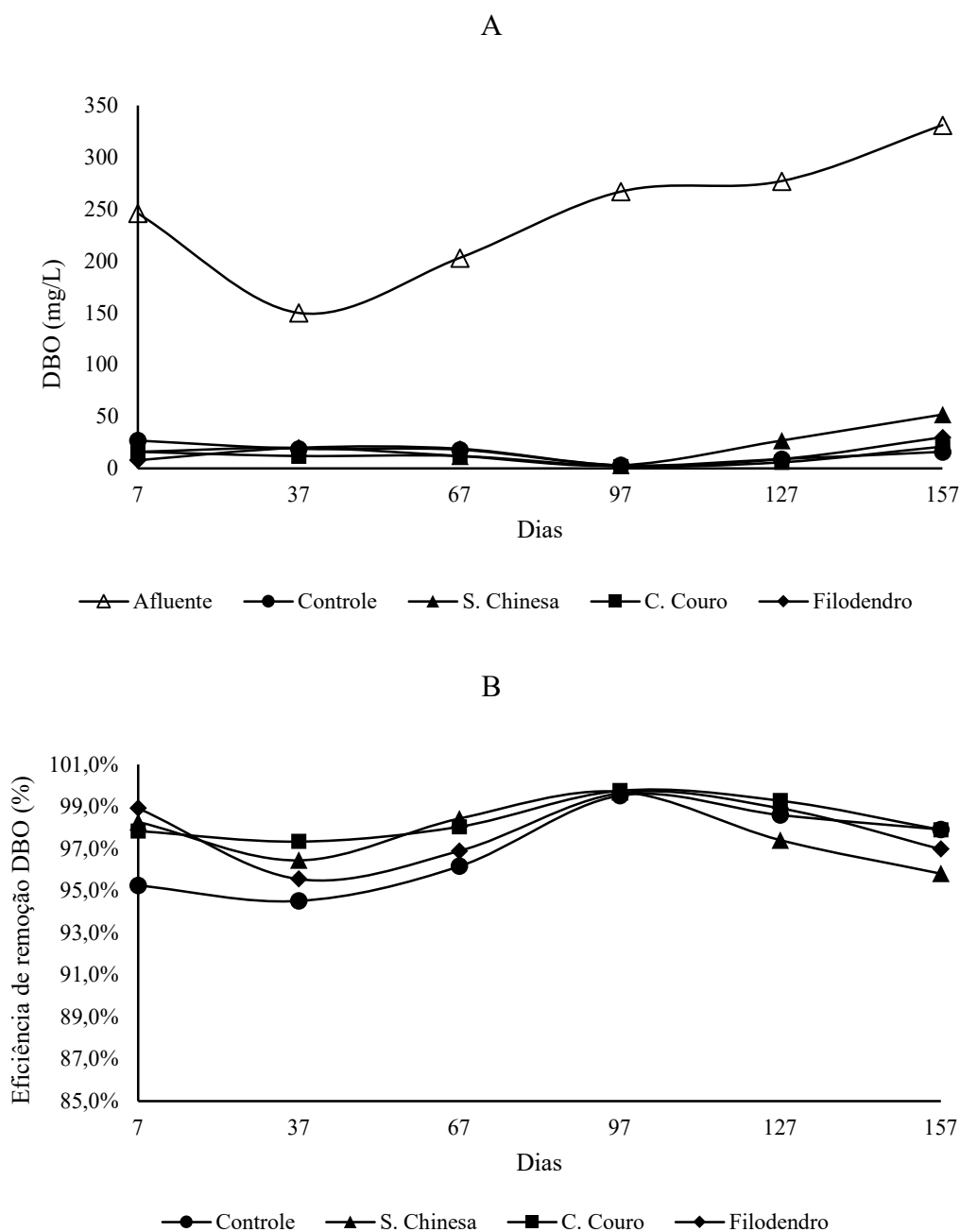


Figura 16: Concentração de DBO (A) e Eficiência de Remoção de DBO (B) nos efluentes e afluente.

O material carbonáceo expresso em termos de DQO se manteve três vezes menor nos efluentes quando comparados com o afluente em todo o período do experimento. A eficiência de remoção variou entre 91,8 e 98,8% (Figura 17). Todos os SACs apresentaram remoção de matéria orgânica (DQO/DBO) eficientes para atender os padrões de lançamento em Minas Gerais definidos pela DN COPAM-CERH 08/2022. Os valores de remoção obtidos estão dentro

do esperado quando comparados com Collares *et al.* (2021), que ao utilizar a mesma estrutura de SACs recebendo efluente suíno removeu entre 70 e 97% de DQO com capim tifton na brita. Também apresentou boa eficiência na remoção de matéria orgânica no pós-tratamento de esgoto doméstico como observado Brasil *et al.* (2005) que obtiveram média de remoção de 90% de DQO em SACs após tratamento de tanque séptico. O segundo mês de experimento caracterizou-se por menores concentrações de DBO, DQO, nitrogênio amoniacal e fósforo na solução afluente aos sistemas e conseqüentemente menores eficiências de remoção.

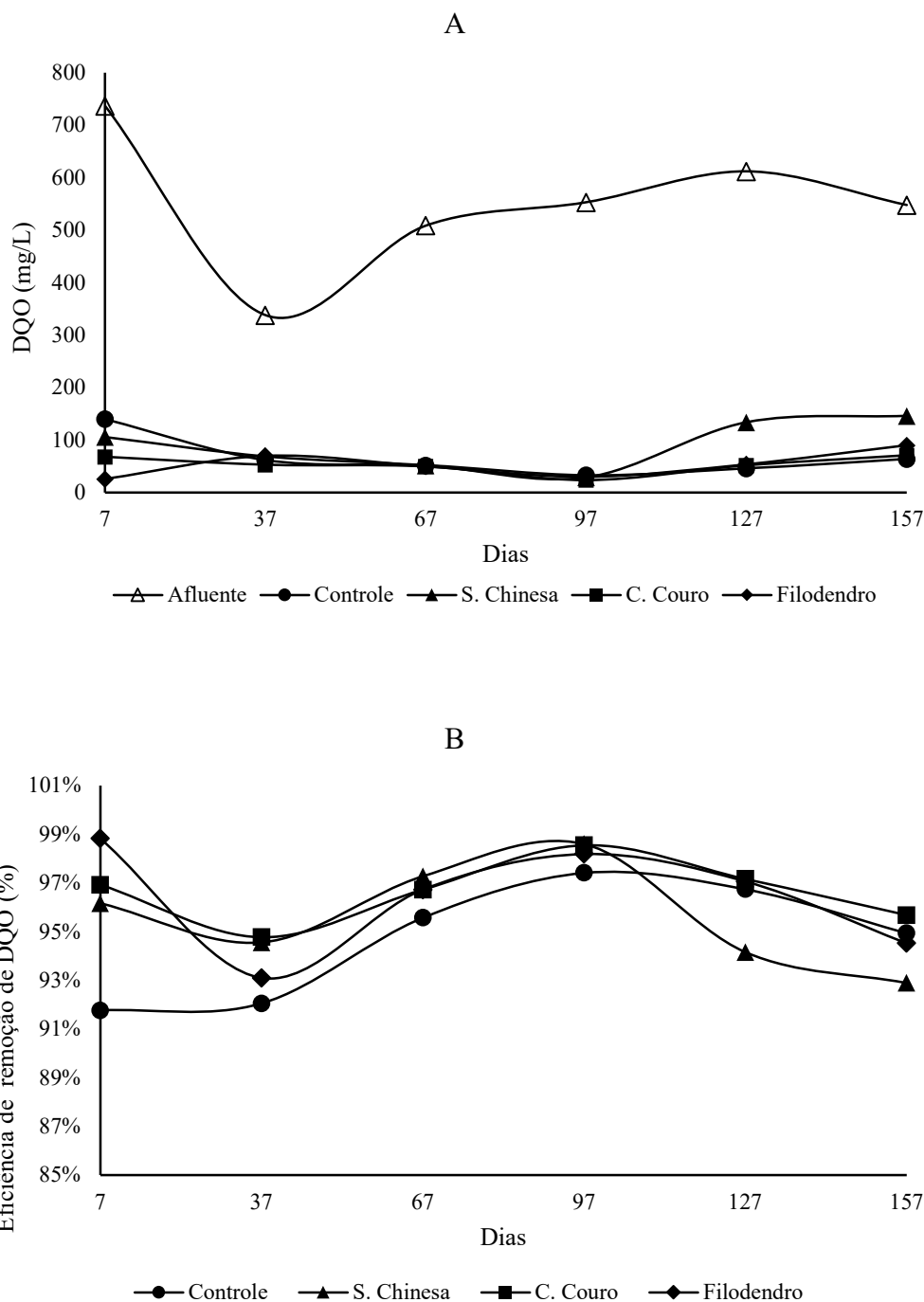


Figura 17: Concentração DQO (A) e Eficiência de remoção de DQO (B).

Concentrações de *E. coli* medidas em NMP.100mL⁻¹ foram constantemente altas no afluente. Os SACs foram eficientes na remoção e o maior valor de redução registrado foi de 6 unidades log no sistema da sombrinha chinesa (Figura 18). Os processos comumente utilizados para tratar esgoto são bastante eficientes na remoção de sólidos suspensos e matéria orgânica,

porém nem tanto na remoção de microrganismos causadores de doenças. São necessárias eficiências de remoção de coliformes acima de 90% para se ter baixas concentrações efluentes, devido as elevadas concentrações em esgoto bruto (von Sperling 1996). *E. coli* é uma das bactérias também utilizadas como indicadoras de contaminação fecal e possui limites de concentração na legislação (CETESB 2019).

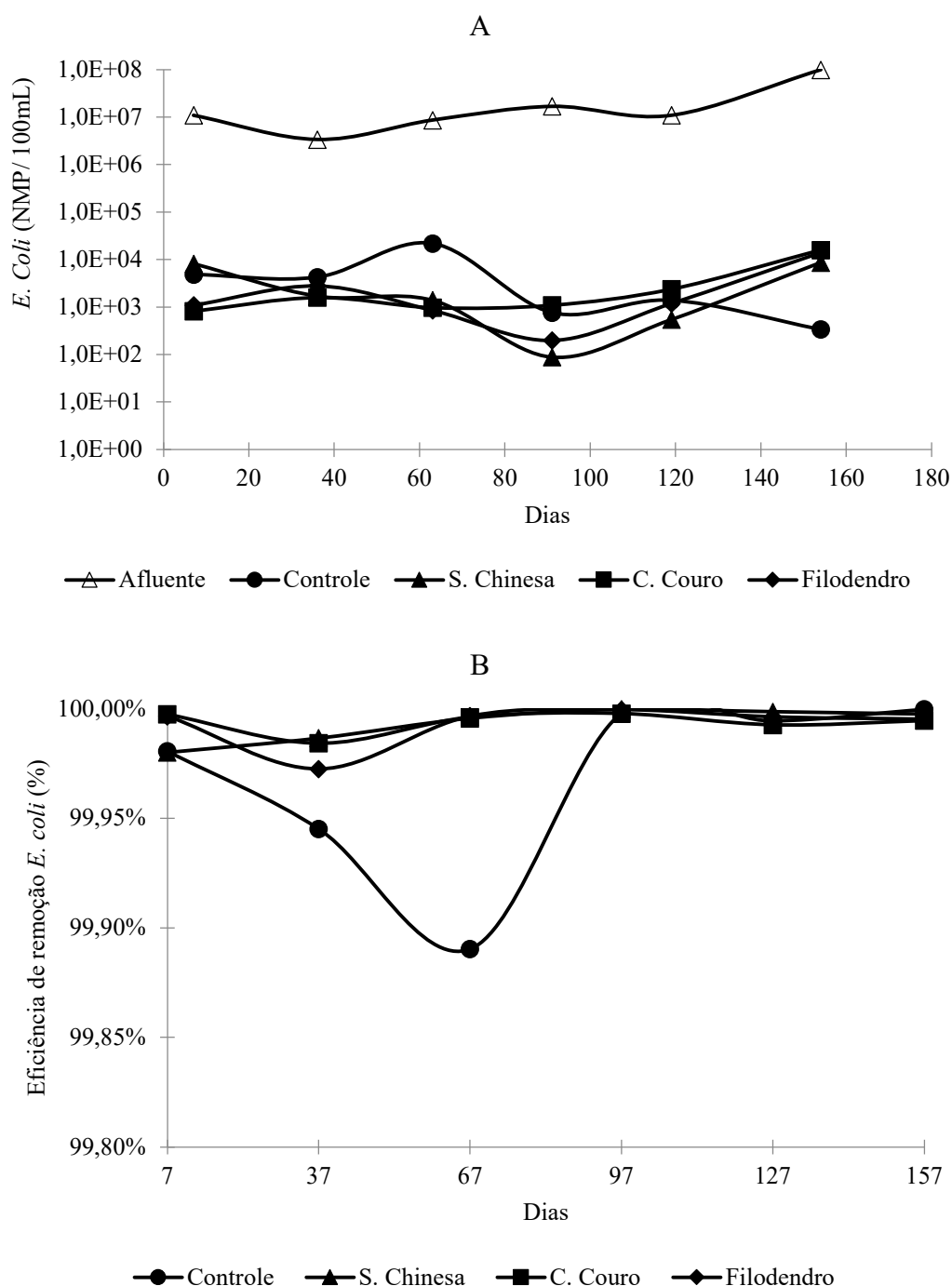


Figura 18: Concentração de *E. coli* (A) e eficiência de remoção de *E. coli* (B) nos efluentes e afluente.

Concentrações de fósforo tiveram uma suave queda até o quarto mês de experimento, seguido de um aumento de até 50% no último e sexto mês (Figura 19). O sistema com sombrinha chinesa alcançou o valor máximo de 98,7% de remoção de fósforo no quarto mês e

esse dado está de acordo com o acúmulo do nutriente da planta conforme observado na Tabela 7. A diminuição na concentração de fósforo total e de ATA (Agentes Tensoativos) têm sua relevância na diminuição da formação de espuma no efluente tratado, que interfere na penetração de radiação solar no leito do rio receptor e minimiza a potencialidade de ocorrência de eutrofização em corpos d'água. Estes compostos estão relacionados com detergentes e produtos de limpeza, que são comumente encontrados no esgoto doméstico.

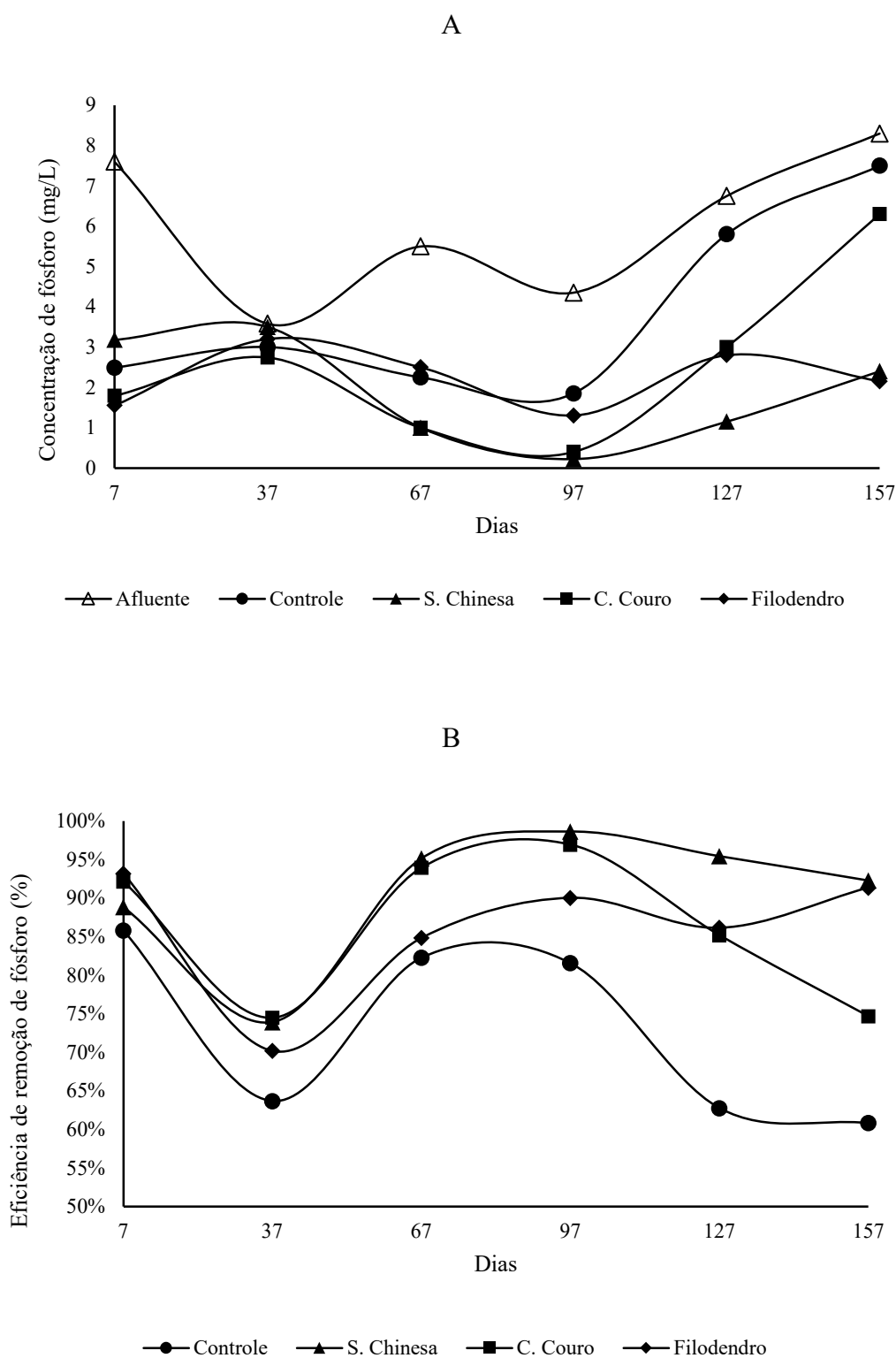


Figura 19: Concentração de Fósforo (A) e Eficiência de Remoção de Fósforo (B) no afluente e efluentes.

Destaca-se na Tabela 10 baixos teores de sólidos sedimentáveis sendo todas as concentrações efluentes abaixo do limite mínimo de detecção do método ($< 0,5\text{mg L}^{-1}$).

Tabela 10: Concentração de Sólidos Sedimentáveis nos efluentes e afluente.

Concentração de Sólidos Sedimentáveis (mL/L)					
Dias	Afluente	Controle	Sombrinha chinesa	C. Couro	Filodendro
7	5	$<0,5$	$<0,5$	$<0,5$	$<0,5$
36	0,7	$<0,5$	$<0,5$	$<0,5$	$<0,5$
63	4	$<0,5$	$<0,5$	$<0,5$	$<0,5$
91	2	$<0,5$	$<0,5$	$<0,5$	$<0,5$
119	4,5	$<0,5$	$<0,5$	$<0,5$	$<0,5$
154	5	$<0,5$	$<0,5$	$<0,5$	$<0,5$

A quantidade de cloreto (Figura 20) foi acumulada no sistema e pode estar relacionada com uso de sal de cozinha, cloreto de sódio, que vai para o esgoto doméstico e com a evapotranspiração das plantas, que ao diminuir a quantidade de líquido nos SACs faz com que a concentração aumente.

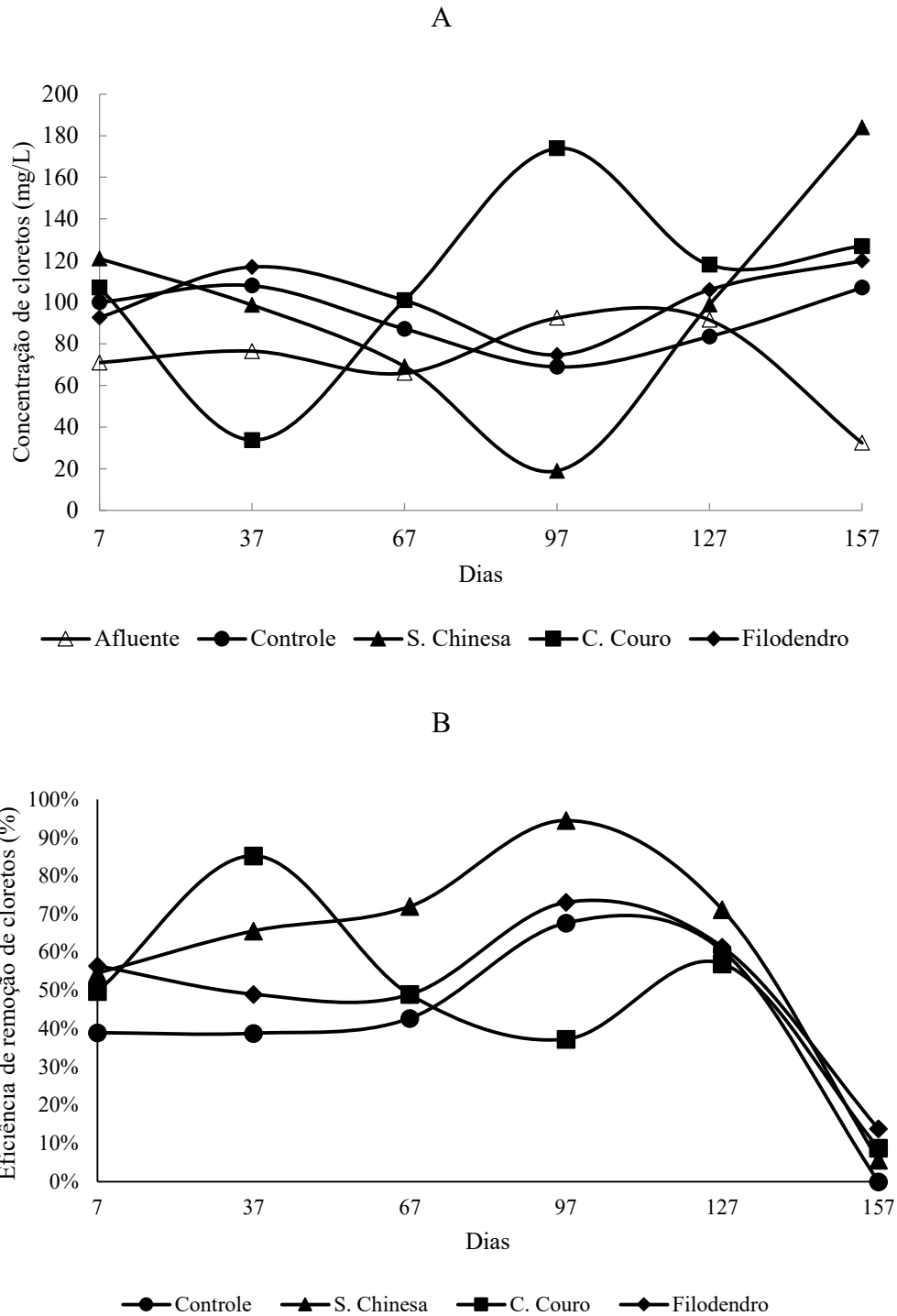


Figura 20: Concentração de Clorofetos (A) e Eficiência de Remoção de Clorofetos (B) nos efluentes e afluente.

Este efeito de acúmulo ocasiona toxidez para as plantas com queima de folhas. Em alguns momentos isto ocorreu com folhas maiores do chapéu de couro, porém a planta resistiu bem gerando sempre novas folhas, sem que isso prejudicasse seu desenvolvimento. Além disso, as concentrações de sódio nas plantas mostram que ele foi bem absorvido, chegando a 3851 mg/ planta, mostrando que as alterações na concentração estão realmente relacionadas com a diminuição de líquido no sistema. Em um sistema de escala real, onde são implementadas centenas de plantas, este valor de sódio absorvido se torna ainda mais relevante na remoção de contaminantes.

Os resultados de cloretos corroboram com valores mais altos de condutividade elétrica (Figura 21), que é diretamente proporcional à quantidade de íons em solução. Portanto uma maior concentração de cloretos faz com que a condutividade elétrica também seja maior.

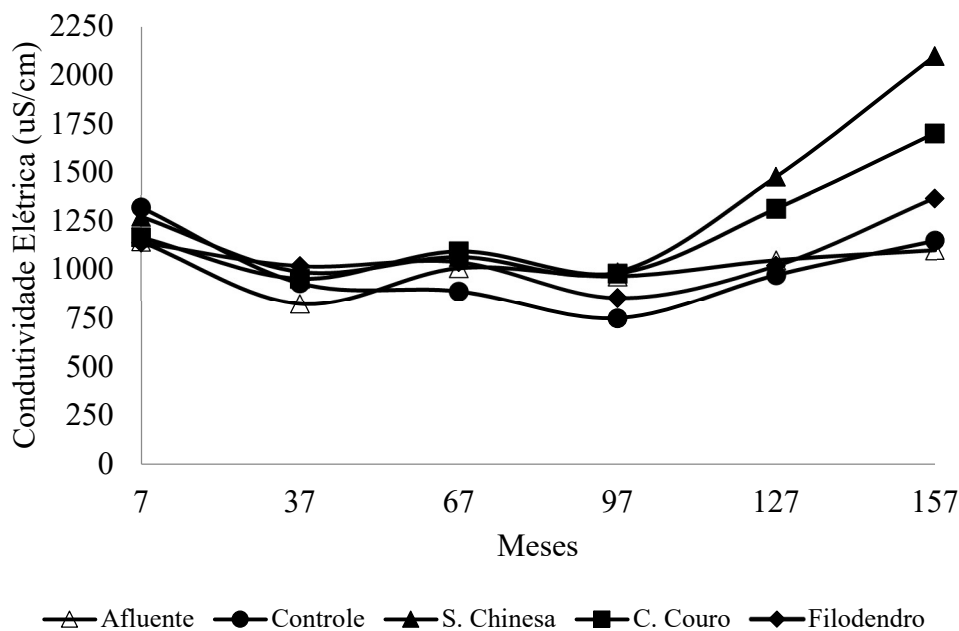


Figura 21: Valores de condutividade elétrica no afluyente e efluentes.

Os valores de pH ficaram ligeiramente acima do afluyente demonstrando atividade de bactérias nitrificantes, como descrito anteriormente (Figura 22).

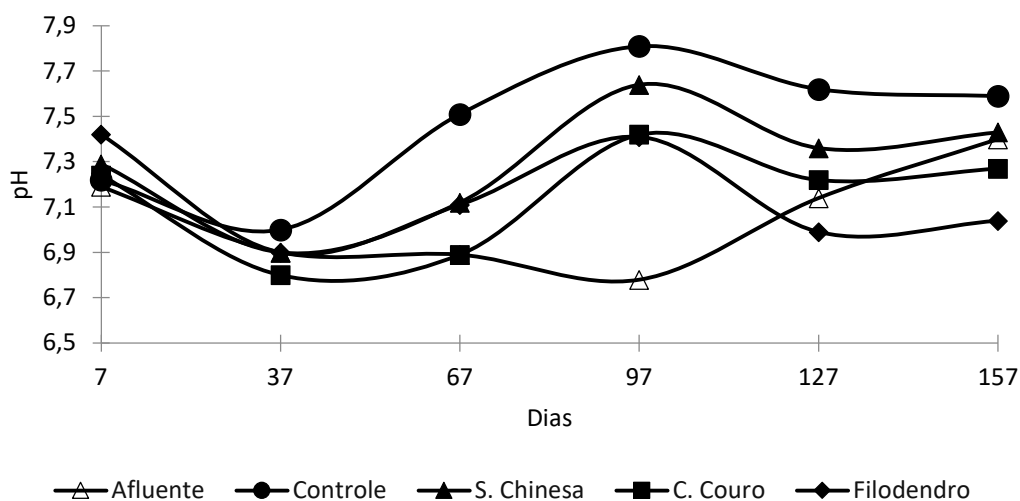


Figura 22: Valores e pH nos efluentes e alfluente.

As concentrações de agentes tensoativos (Figura 23) oscilaram sem seguir um comportamento padrão, sendo que todos os efluentes dos sistemas mantiveram valores inferiores a 3 mg.L^{-1} LAS. A maior remoção foi com a planta *T. uliginosum* com 97,5%.

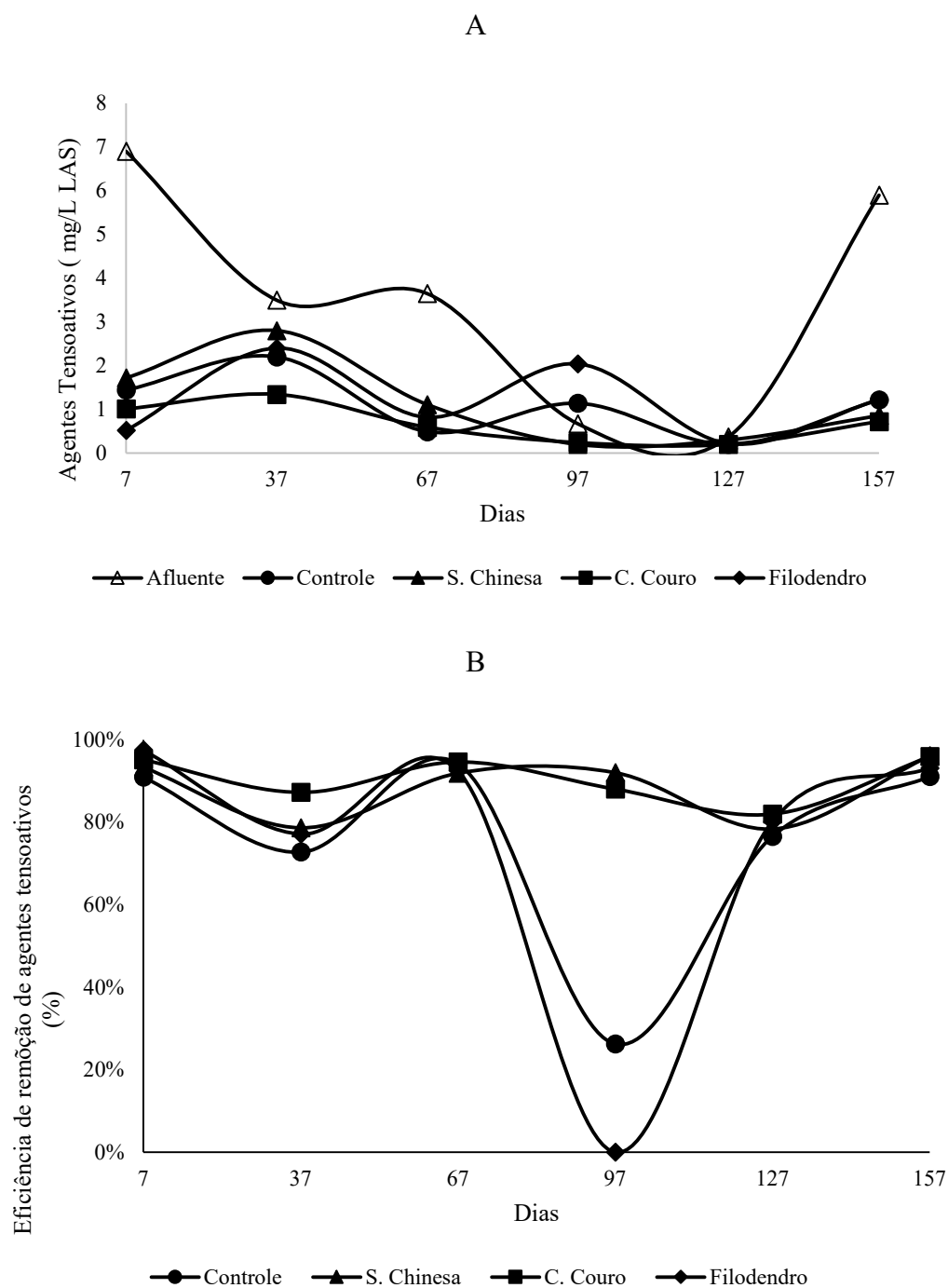


Figura 23: Concentração de Agentes tensoativos (A) e Eficiência de Remoção de Agentes tensoativos (B) nos efluentes e afluente.

As macrófitas estudadas: chapéu de couro, sombrinha chinesa e filodendro apresentam elevado potencial de uso em SACs, com destaque para a sombrinha chinesa que na maioria dos

parâmetros avaliados destacou-se das demais. Entretanto em um SAC seria conveniente manter a diversificação, pois a monocultura possui muitas desvantagens e uma delas é a possibilidade de ocorrência de doenças nas plantas e redução da biodiversidade. Além disso, como a composição do esgoto doméstico pode variar devido à instabilidade inerentes ao sistema, pode ocorrer queima das folhas em um aumento repentino por cloretos por exemplo e a diversificação é uma alternativa para amenizar os danos em um SAC.

Como o filodendro apresentou potencial de remoção de diversos elementos e mostrou excelente desenvolvimento sem qualquer sintoma de toxidez, também seria uma espécie que poderia compor um SAC em escala real em uma ETE. É importante destacar que o filodendro nativo da região Norte de Minas encontrada em campo rupestre e o uso de uma espécie dessa natureza na composição paisagística de um SAC apresenta muitas vantagens, dentre elas a valorização regional e a melhor adaptação da planta às condições locais.

O chapéu de couro, apesar de ter menor desenvolvimento e menores acúmulos de nutrientes no período experimental, também possui elevado potencial, pois teve resultados favoráveis na remoção de contaminantes, possibilitando que o efluente tenha valores permitidos pela legislação.

As três espécies de plantas utilizadas se desenvolveram bem nas condições propostas, ou seja, submersas em esgoto bruto e mostrou que possuem potencial para serem utilizadas em SACs em escala real. Importante salientar que mesmo a oscilação das concentrações afluentes não causaram perda de nenhuma espécie, sendo que as melhores remoções de nutrientes foram com sombrinha chinesa e filodendro. A produção de biomassa maior em plantas que receberam esgoto do que as plantas do substrato indicam que ademais ocorreram alguns sinais de queimas nas folhas de chapéu de couro, não foram impactos suficientes para prejudicarem seu crescimento. Altos valores de sódio poderiam ter causado a perda de macrófitas. A sombrinha

chinesa e filodendro possuem alta capacidade de remoção de sódio, que é uma informação importante no tratamento de efluentes domésticos tendo em vista sua comum utilização na culinária, através do cloreto de sódio.

Devido a mudança em 2022 na legislação mineira que passou a incluir limite na concentração de nitrogênio amoniacal para lançamentos de efluentes, alternativas de sistemas aeróbios no tratamento de esgoto como este proposto, ganham importância neste setor. Os Sistemas Alagados Construídos, além de ser de fácil manuseio, não requerem altos investimentos em estruturas e produtos químicos.

Pesquisas para buscar soluções tecnológicas para tratamento de água de esgoto de forma ecologicamente correta são de grande importância e o SAC é uma alternativa promissora para esse fim. Já existem muitos SACs sendo utilizados em vários países. Só na França são mais de 3.500 SACs tratando esgoto bruto municipal. No Brasil existem SACs, mas ainda de forma pouco significativa perante a importância ecológica e econômica desse tipo de tratamento (Wetlands 2020). Ainda não há diretrizes normatizadas brasileiras para dimensionamento de SACs, mas muitos estudos e pesquisa já foram feitos embora não tanto quanto na literatura internacional que já possui informações sobre uso de SACs de forma consolidada, tendo como base milhares de estudos em escala real por anos (von Sperling e Sezerino 2018).

Tanto o filodendro como a sombrinha chinesa e chapéu de couro são espécies ornamentais devido às características de suas folhas e pela arquitetura das plantas. Dessa forma, por meio desse trabalho foi possível detectar que as três macrófitas poderiam ser utilizadas na composição de um SAC, resultando em um jardim aquático que seria funcional pelos benefícios observados do ponto de vista de remoção de elementos não desejáveis no processo de tratamento do esgoto e também do ponto de vista estético. A qualidade de vida está diretamente relacionada com o ambiente em que o ser humano convive e uma ETE com um jardim aquático,

além de trazer benefícios para a biodiversidade, também possibilita que os funcionários tenham um local de trabalho mais agradável.

As plantas utilizadas não apresentaram nenhum efeito prejudicial quanto ao fluxo superficial, agregando ao tratamento de efluentes a possibilidade de diminuir demanda por área, em comparação ao fluxo subterrâneo, e integração paisagística. Isto amplia também o uso de plantas ornamentais como proposta de melhoria na aceitação social em sistemas de tratamento descentralizados, como em hotéis e pousadas, onde há maior fluxo de pessoas, que necessitem regularizar a destinação de seus efluentes (Kotsia *et al.* 2020).

Como esta tecnologia se baseia em muitos processos ecossistêmicos naturais, é importante que se tenham resultados no Brasil de SACs superficiais, pois o clima influencia na forma como o sistema vai se desenvolver.

CONCLUSÕES

Thaumatococcus uliginosum, *Echinodorus grandiflorus* e *Cyperus alternifolius* se desenvolvem de forma expressiva submersas em esgoto bruto sem apresentar sintomas de toxidez e atenderam aos requisitos legislativos estaduais nas concentrações médias de parâmetros físico-químicos.

As espécies estudadas apresentam potencial para serem implementadas em SACs de escala real, pois além da funcionalidade no tratamento de esgoto doméstico, o uso das espécies em conjunto proporciona um jardim filtrante com todos os benefícios do paisagismo.

4. REFERÊNCIAS

- Agrafioti E, Bouras G, Kalderis D, Diamapoulos E (2013) Biochar production by sewage sludge pyrolysis. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 72-78.
- Berton RS, Nogueira TAR (2010) Uso do lodo de esgoto na agricultura. In: *Uso agrícola de lodo de esgoto: avaliação após a resolução nº 375 do CONAMA*. Coscione, A. Botucatu: FEPAF. 407p.
- Bentes MV, Lima RA, Moura OS (2024) Aquatic plants in the northern region (Brazil): an integrative bibliographic survey. *Revista EDUCamazônia -Educação Sociedade e Meio Ambiente*, Humaitá 17:633-664.
- Bonanno G, Cirelli G L (2017) Comparative analysis of element concentrations and translocation in three wetland congener plants: *Typha domingensis*, *Typha latifolia* and *Typha angustifolia*. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 143:92-10.

Bonini CSB, Alves MC, Montanari R (2015) Lodo de esgoto e adubação mineral na recuperação de atributos químicos de solo degradado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 19(4)388-393.

Brasil M da S, Matos AT de, Soares AA, Ferreira PA (2005) Qualidade do efluente de sistemas alagados construídos, utilizados no tratamento de esgoto doméstico. *Rev bras eng agríc ambient* 9:133–7. Available from: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v9nsupp133-137>

Brix H (1994) Functions of macrophytes in constructed wetlands. 1994. *Water Science and Technology* 29:71-78.

Campos AJ de M, Santos SM, Nacarath IRFF (2021) Estresse hídrico nas plantas: uma revisão. *Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento*. 10(15) e311101523155. doi:10.33448/rsd-v10i15.23155.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2019) Rastreamento de fontes de contaminação fecal humana e animal em amostras ambientais empregando métodos fenotípicos e genotípicos. <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2021/09/Rastreamento-de-Fontes-de-Contaminacao-Fecal-Humana-e-Animal.pdf>. Accessed 12 February 2024.

Collares MFA, Colen F, Menegali I, Tinini RC dos R, Silva LF da (2021) performance of constructed wetlands cultivated with tifton 85 (*Cynodon Dactylon* Pers.). *Research, Society and Development*. doi:10.33448/rsd-v10i5.15518.

Colares, G. S. *et al.* (2023) Influence of loading rates and feeding conditions on hybrid constructed wetlands integrated with microbial fuel cells. *Ecological Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2023.107014>

Coradin L, Siminski A, Reis A (2011) Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro – Região Sul. 934p. ISBN 978-85-7738-153-1

Cordazzo CV, Seeliger U (1995) Guia ilustrado da vegetação costeira no extremo sul do Brasil. Furg. 275p. ISBN 85-85042-22-2.

Costa AS, Willadino L, Loges V, Nogueira LC (2007) Sombrinha chinesa *Cyperus alternifolius* como folhagem de corte: perda de massa fresca e critério de notas para e avaliação de durabilidade. Embrapa.

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/131441/1/Sombrinha-chinesa.pdf>.

Accessed 7 February 2024

Costa GB, da Silva IP, Queluz JGT, Garcia ML (2019) Efeito de diferentes taxas de aeração na remoção de nitrogênio total e DQO em alagados construídos de fluxo subsuperficial horizontal aerados intermitentemente. *Holos Environment*. 19(4):672–687.

<https://doi.org/10.14295/holos.v19i4.12358>

Cur K, Gajewskaad M (2017) The use of constructed wetlands for the treatment of industrial wastewater. *Journal of Water and Land Development*. doi:10.1515/jwld-2017-0058.

da Silva RM, Botezelli L, Riondet-Costa DRT, Leite IC da S (2023) Rios urbanos em poços de caldas, minas gerais: indicadores de sustentabilidade e segurança ambiental. *Revista Contemporânea*. doi:10.56083/RCV3N11-048.

Demarco CF, Afonso TF, Pieniz S, Quadro MS, Camargo FA de O, Andreazza, R (2019) Phytoremediation of heavy metals and nutrients by the *Sagittaria montevidensis* into an anthropogenic contaminated site at Southern of Brazil. *Jornal Internacional de Fitorremediação* 21 (11):1145–1152.

Ferreira KL (2018) Avaliação de sistema wetlands construídos no tratamento de efluentes utilizando a macrófita *Crinum Americanum*. Universidade Federal do Pampa. 2018. 48 p.

Ferreira DF (2019) Sisvar: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Brazilian Journal of Biometrics*, 37(4):529-535.

Hernandez ME *et al.* (2017) Greenhouse gas emissions and pollutant removal in treatment wetlands with ornamental plants under subtropical conditions. *Ecological Engineering* 114:88–95.

INMET (2023) Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em agosto de 2023.

Jing, SR Yin-Feng Lin, Der-Yuan Lee, Tze-Wen Wang (2001) Nutrient removal from polluted river water by using constructed wetlands. *Bioresource Technology*. 76(2):131-135.

Kadlec RH, Wallace S (2009) *Treatment wetlands*. CRC press,

Kotsia D, Deligianni A, Fyllas N, Stasinakis AS, Fountoulakis, MS (2020). Converting treatment wetlands into “treatment gardens”: Use of ornamental plants for greywater treatment. *Science of The Total Environment*. 744. 140889. 10.1016/j.scitotenv.2020.140889.

Liang Y, Zhu H, Banuelos G, Yan B, Zhou Q, Yu X, Cheng X (2017) Constructed wetlands for saline wastewater treatment: a review. *Ecological Engineering* 98:275-285.

Lorenzi H, Souza HM (2005) *Plantas ornamentais no Brasil: arbustivas, herbáceas e trepadeiras*. 4ª ed. Nova Odessa, SP: Editora Plantarum, 1.120 p.

Macci C, Peruzzi E, Doni S, Iannelli R, Masciandaro G (2014) Ornamental plants for micropollutant removal in wetland systems. *Environ Sci Pollut Res* 22:2406–2415
<https://doi.org/10.1007/s11356-014-2949-x>.

Marques AM (2016) Potencial químico e farmacológico de *Echinodorus grandiflorus*: uma espécie de uso popular com grande potencial para o desenvolvimento de um fitomedicamento no país. 2016. Rio de Janeiro. FIOCRUZ.

Matzenauer W, Pereira-Silva L, Hefler SM (2020) *Cyperus* in Flora do Brasil 2020. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil2020.jbrj.gov.br/FB17135>.

Mayo SJ (1989) Observations of gynoecial structure in *Philodendron* (Araceae). *Botanical Journal of the Linnean Society* 100(2): 139-172. 1989.

Minas Gerais (2022) Deliberação Normativa COPAM-CERH nº 8, de 21 de novembro de 2022. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Belo Horizonte, 2 dezembro 2022.

Pelissari C (2013) Tratamento de efluente proveniente da bovinocultura de leite empregando wetlands construídos de escoamento subsuperficial. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental, Área de Recursos Hídricos e Saneamento, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) 147 p.

Perondi T, Wolff DB, Decezaro ST, Araújo RK de (2020) Wetlands construídos para o tratamento de esgoto doméstico: uma análise comparativa do custo do ciclo de vida. *Ambiente Construído*. 20(2):175- 189.

Sampaio TF, Guerrini IA, Backes C, Heliodoro JCA, Ronchi HS, Tanganelli KM, Carvalho NC, Oliveira FC (2012) Lodo de esgoto na recuperação de áreas degradadas: efeito nas características físicas do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 36:1637-1645

Santos APBA (2011) A beleza, a popularidade, a toxicidade e a importância econômica de espécies de aráceas. *Revista Virtual de Química*. 3(3):181-195.

Santos FEV, Kunz SH, Caldeira MVW, Azevedo CHS, Rangel OJP (2014) Características químicas de substratos formulados com lodo de esgoto para produção de mudas florestais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 18(9):971-979.

Santos RR, Fonseca FSA, Fonseca RS, Martins ER (2017) Fenologia e quimiodiversidade do ‘Chapéu-de-couro’ (*Echinodorus grandiflorus* e *Echinodorus macrophyllus*). *Caderno de Ciências Agrárias*. 9(3):115-118.

Sezerino PH, Pelissari C (2021) Wetlands construídos como ecotecnologia para o tratamento de águas residuárias: experiências brasileiras. ISBN 978-65-5861-293-3 Curitiba: Brazil Publishing.

Sezerino PH, Bento AP, Decezaro ST, Magri ME, Philippi LS (2015) Experiências brasileiras com wetlands construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais. *Eng Sanit Ambient*. 20(1):151–8.

Silva SC, Ramos MLG, Bernardes RS (2018) Removal of salts in built wetlands in primary domestic sewage treatment. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)*. 6(1):125-138.

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2022) Serviço de Diagnóstico temático serviços de água e esgoto. <https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a->

informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_AE_SNIS_2023.pdf.

Accessed 10 February 2024.

Song XD, Xue XY, Chen DZ, He PJ, Dai XH (2014) Application of biochar from sewage sludge to plant cultivation: Influence of pyrolysis temperature and biochar-to-soil ratio on yield and heavy metal accumulation. *Chemosphere*. 109:213-220.

Subtil EL, Benassi RF, Coelho LH, Jesus TA (2018) Manual de sistemas de Wetlands construídas para o Tratamento de Esgotos Sanitário: Implantação, Operação e Manutenção. Universidade Federal do ABC. Ministério da Saúde. FUNASA. Sabesp.

Thani NSM, Ghazi RM, Wahab IRA, Amin MFM, Hamzah Z, Yusoff NRN (2020) Optimization of phytoremediation of nickel by *alocasia puber* using response surface methodology. *Water (Basel)*. 12(10):2707.

Trein CM, Pelissari C, Hoffmann H, Platzer CJ, Sezerino PH. (2015) Tratamento descentralizado de esgotos de empreendimento comercial e residencial empregando a ecotecnologia dos wetlandsconstruídos. *Ambient constr*. 15(4):351–67.

Von Sperling M (1996) Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 2. Ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. 243 p.

Von Sperling MV, Sezerino PH (2018) Dimensionamento de wetlands construídos no Brasil. *Boletim Wetlands Brasil*. 65 p. ISSN 2359-0548.

Vymazal, J (2013) Emergent plants used in free water surface constructed wetlands: A review. *Ecological Engineering*. 61(B):582-592. ISSN 0925-8574.

ANEXO 1 - NORMAS DE SUBMISSÃO DA REVISTA

- **Instructions for authors**
- **Manuscript submission**

Submission of a manuscript implies: that the work described has not been published before; that it is not under consideration for publication anywhere else; that its publication has been approved by all co-authors, if any, as well as by the responsible authorities – tacitly or explicitly – at the institute where the work has been carried out. The publisher will not be held legally responsible should there be any claims for compensation.

- **Permissions**

Authors wishing to include figures, tables, or text passages that have already been published elsewhere are required to obtain permission from the copyright owner(s) and to include evidence that such permission has been granted when submitting their papers. Any material received without such evidence will be assumed to originate from the authors.

- **Manuscript preparation**

All manuscripts are subject to peer review and accepted papers will be copy edited. Manuscripts must be written in English. Authors whose first language is not English are urged to have their manuscript read by a colleague who is a native English speaker and is familiar with their field of work before submitting the paper.

Scientific names: Give Latin names in full, together with the naming authority at first mention in the main text. Alternatively, where there are many species, cite a Flora or check-list. Do not give authorities for species cited from published references.

Manufacturers' names: Special pieces of equipment should be described such that a reader can trace specifications by writing to the manufacturer; thus: "Data were collected using a solid-state data logger (CR21X, Campbell Scientific, Utah, USA)." Where commercially available software has been used, details of the supplier should be given in parentheses or the reference given in full in the reference list.

Units and symbols: Authors should use the International System of Units (S.I., Systeme International d'Unites; see Quantities, Units and Symbols, 2nd edn (1975) The Royal Society, London). Use the negative index for units, e.g. number of insects g⁻¹ dry wt (also note there is no period for wt). Mathematical expressions should contain symbols, not abbreviations. If the paper contains many symbols, they should be defined as early in the text as possible, or within the Materials and methods section.

Abbreviations should be defined at first mention in the abstract and again in the main body of the text and used consistently thereafter.

Essential footnotes to the text should be numbered consecutively and placed at the bottom of the page to which they refer.

Original paper, Short communications, and Technical Reports should contain the following sections in the following order: Title page, Abstract, Keywords, Introduction, Materials and Methods, Results, Discussion, and References. Do not combine sections (e.g., Results and Discussion).

- **Title page:** Include name(s) of author(s), a concise and informative title (do not include the authorities for any taxonomic names), affiliation(s) and address(es) of the author(s), e-mail address, telephone and fax numbers of the corresponding author. No text should be included in the title page.
- **Abstract (no more than 250 words):** a statement of the purpose of the paper and the main results, conclusions, and recommendations, using clear, factual, statements. In all types of papers, the abstract should include the context and need for the work; the approach

and methods used; and should outline the main results and the wider implications and relevance to management or policy.

- Keywords (no more than six): do not include words used in the article title.
- Introduction: state the reason for the work, the context, and the hypotheses being tested.
- Materials and methods: include sufficient details for the work to be repeated.
- Results: state the results, drawing attention to important details in tables and figures.
- Discussion: point out the importance of the results in the context of previous studies. Where appropriate, set out recommendations for management or policy.
- Acknowledgments: Be brief.

Please include, at the end of the acknowledgments, a declaration that the experiments comply with the current laws of the country in which they were performed.

- Figure captions: provide a list of the captions at the end of the text.

Manuscripts should be submitted in a Word file (docx or doc format). The text should be 1.5-line spaced in single-column format. Use a consistent font throughout (for example Times New Roman). Use 12-point type (use symbol palette for additional characters). Use the automatic page-numbering function to number the pages. Use the automatic line-numbering function. Do not use field functions. Use tab stops or other commands for indents, not the space bar. Use the table function, not spreadsheets, to make tables. Use the equation editor or MathType for equations.

The Chief Editors reserve the right to reject manuscripts that do not comply with the above-mentioned requirement. The corresponding author will be held responsible for false statements or for failure to fulfill the above-mentioned requirements.

- **References**
- **Citation**

Cite references in the text by name and year in parentheses. Some examples:

- Negotiation research spans many disciplines (Thompson 1990).
- This result was later contradicted by Becker and Seligman (1996).
- This effect has been widely studied (Abbott 1991; Barakat et al. 1995; Kelso and Smith 1998; Medvec et al. 1999).
- **Reference list**

The list of references should only include works that are cited in the text and that have been published or accepted for publication. Personal communications and unpublished works should only be mentioned in the text. Do not use footnotes or endnotes as a substitute for a reference list.

Reference list entries should be alphabetized by the last names of the first author of each work.

- Journal article

Gamelin FX, Baquet G, Berthoin S, Thevenet D, Nourry C, Nottin S, Bosquet L (2009) Effect of high intensity intermittent training on heart rate variability in prepubescent children. *Eur J Appl Physiol* 105:731-738.

Ideally, the names of all authors should be provided, but the usage of “et al.” in long author lists will also be accepted: Smith J, Jones M Jr, Houghton L et al. (1999) Future of health insurance. *N Engl J Med* 965:325–329

- Article by DOI

Slifka MK, Whitton JL (2000) Clinical implications of dysregulated cytokine production. *J Mol Med*. doi:10.1007/s001090000086

- Book

South J, Blass B (2001) *The future of modern genomics*. Blackwell, London

- Book chapter

Brown B, Aaron M (2001) The politics of nature. In: Smith J (ed) The rise of modern genomics, 3rd edn. Wiley, New York, pp 230-257

- Online document

Cartwright J (2007) Big stars have weather too. IOP Publishing PhysicsWeb. <http://physicsweb.org/articles/news/11/6/16/1>. Accessed 26 June 2007

- Dissertation

Trent JW (1975) Experimental acute renal failure. Dissertation, University of California
Always use the standard abbreviation of a journal's name according to the ISSN List of Title Word Abbreviations, see <http://www.issn.org/services/online-services/access-to-the-ltwa/>.

If you are unsure, please use the full journal title.

For authors using EndNote, Springer provides an output style that supports the formatting of in-text citations and reference list.

- **Tables**

- All tables are to be numbered using Arabic numerals.
- Tables should always be cited in text in consecutive numerical order.
- For each table, please supply a table title. The table title should explain clearly and concisely the components of the table.
- Identify any previously published material by giving the original source in the form of a reference at the end of the table title.
- Footnotes to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data) and included beneath the table body.
- Each table should be on a separate page.

- **Artwork**

Electronic figure submission • Supply all figures electronically. • Indicate what graphics program was used to create the artwork. • For vector graphics, the preferred format is EPS; for halftones, please use TIFF format. MS Office files are also acceptable. • Vector graphics containing fonts must have the fonts embedded in the files. • Name your figure files with "Fig" and the figure number, e.g., Fig1.eps.

Line art • Definition: Black and white graphic with no shading. • Do not use faint lines and/or lettering and check that all lines and lettering within the figures are legible at final size. • All lines should be at least 0.1 mm (0.3 pt) wide. • Line drawings should have a minimum resolution of 1200 dpi.

Halftone art • Definition: Photographs, drawings, or paintings with fine shading, etc. • If any magnification is used in the photographs, indicate this by using scale bars within the figures themselves. • Halftones should have a minimum resolution of 300 dpi.

Combination art • Definition: a combination of halftone and line art, e.g., halftones containing line drawing, extensive lettering, color diagrams, etc. • Combination artwork should have a minimum resolution of 600 dpi.

Color art • Color art is free of charge for online publication. • If black and white will be shown in the print version, make sure that the main information will still be visible. Many colors are not distinguishable from one another when converted to black and white. A simple way to check this is to make a xerographic copy to see if the necessary distinctions between the different colors are still apparent. • If the figures will be printed in black and white, do not refer to color in the captions. • Color illustrations should be submitted as RGB (8 bits per channel).

Figure lettering • To add lettering, it is best to use Helvetica or Arial (sans serif fonts). • Keep lettering consistently sized throughout your final-sized artwork, usually about 2–3 mm (8–12 pt). • Variance of type size within an illustration should be minimal, e.g., do not use 8-pt type on an axis and 20-pt type for the axis label. • Avoid effects such as shading, outline letters, etc.

•Do not include titles or captions in your illustrations. They should be placed at the end of the text.

Figure numbering •All figures are to be numbered using Arabic numerals. •Figures should always be cited in the text in consecutive numerical order. •Figure parts should be denoted by lowercase letters (a, b, c, etc.). If illustrations are supplied with uppercase labeling, lowercase letters will still be used in the figure captions and citations. •If an appendix appears in your article/chapter and it contains one or more figures, continue the consecutive numbering of the main text. Do not number the appendix figures, "A1, A2, A3, etc."

Figure captions •Each figure should have a concise caption describing accurately what the figure depicts. •Figure captions begin with the term Fig. in bold type, followed by the figure number, also in bold type. •No punctuation is to be included after the number, nor is any punctuation to be placed at the end of the caption. •Identify all elements found in the figure in the figure caption; and use boxes, circles, etc., as coordinate points in graphs. •Identify previously published material by giving the original source in the form of a reference citation at the end of the figure caption. •The list of figure captions must be placed at the end of the text.

Figure placement and size •When preparing your figures, size figures to fit in the column width. •Figures should be 39 mm, 84 mm, 129 mm, or 174 mm wide and not higher than 234 mm. •The publisher reserves the right to reduce or enlarge figures. •All figure parts should be grouped in a plate on one page. •Each figure should be provided on a separate page.

- **Electronic Supplementary Material**

Electronic supplementary material will be published in the online version only. It may consist of

- Information that cannot be printed: animations, video clips, sound recordings
- Information that is more convenient in electronic form: sequences, spectral data, etc.
- Large original data, e.g. additional tables, illustrations, etc.
 - Submission
- Supply all supplementary material in standard file formats.
- To accommodate user downloads, please keep in mind that larger-sized files may require very long download times and that some users may experience other problems during downloading.
 - Audio, video, and animations
- Always use MPEG-1 (.mpg) format.
 - Text and presentations
- Submit your material in PDF format; .doc or .ppt files are not suitable for long-term viability.
- A collection of figures may also be combined in a PDF file.
 - Spreadsheets
- Spreadsheets should be converted to PDF if no interaction with the data is intended.
- If the readers should be encouraged to make their own calculations, spreadsheets should be submitted as .xls files (MS Excel).
 - Specialized formats
- Specialized formats such as .pdb (chemical), .wrl (VRML), .nb (Mathematica notebook), and .tex can also be supplied.
 - Collecting multiple files
- It is possible to collect multiple files in a .zip or .gz file.
 - Numbering
- If supplying any supplementary material, the text must make specific mention of the material as a citation, similar to that of figures and tables (e.g., ". . . as shown in Animation 3").
- Name your files accordingly, e.g., Animation3.mpg.
 - Captions

-
- For each supplementary material, please supply a concise caption describing the content of the file.
 - Processing of supplementary files
 - Electronic supplementary material will be published as received from the author without any conversion, editing, or reformatting.