
Utilização da taboa (*Typha angustifolia*) e Aguapé (*Eichhornia crassipes*) na fitorremediação do Rio Belém, Curitiba-PR

Use of taboa (*Typha angustifolia*) and Waterwater (*Eichhornia crassipes*) in phytoremediation in Rio Belém, Curitiba-PR

Recebimento dos originais: 08/03/2022

Aceitação para publicação: 14/04/2022

Heitor Becchi Rubio

Graduando em Agronomia

Instituição: Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC-PR)

Endereço: R. Imac. Conceição, 1155, Prado Velho, Curitiba - PR, CEP: 80215-901

E-mail: rubioheitor@hotmail.com

Aline Roberta de Carvalho Silvestrin

Doutora em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Paraná

Instituição: Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC-PR)

Endereço: R. Imac. Conceição, 1155, Prado Velho, Curitiba - PR, CEP: 80215-901

E-mail: aline.roberta@pucpr.br

Nayara Guetten Ribaski

Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade Ambiental e Urbana

Instituição: Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Endereço: Curitiba - PR, Brasil

E-mail: nayribaski@hotmail.com

Orcid: 0000-0001-8871-657X

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo verificar a eficiência das plantas macrófitas aguapé (*Eichhornia crassipes*) e a taboa (*Typha angustifolia*) na fitorremediação de efluentes urbanos. A pesquisa foi realizada utilizando-se água coletada no Rio Belém, o qual é utilizado para despejo de resíduos domésticos no município de Curitiba, e desagua no Rio Iguaçu. A coleta foi realizada em local próximo do encontro dos rios. O experimento foi dividido em três tratamentos. O primeiro tratamento foi a testemunha com apenas a água coletada, sem plantas; no segundo foi realizada a implantação dos aguapés, sendo colocadas dez plantas em cada repetição; e o terceiro foram implantadas as taboas, com dez plantas em cada repetição. Foi retirada uma amostra para análise no dia em que foi realizada a coleta da água no Rio Belém, chamada controle. Foram realizadas amostragens dos tratamentos em intervalos de sete dias, totalizando três coletas. Foram realizadas as análises de DBO, DQO, condutividade elétrica, pH, oxigênio dissolvido, metais pesados: alumínio (Al), arsênio (As), cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), manganês (Mn), níquel (Ni), chumbo (Pb), zinco (Zn) e coliformes fecais. A taboa apresentou redução da condutividade elétrica, reduzindo em 42,85% seu teor em relação ao controle. O oxigênio dissolvido obteve aumento significativo com a presença do aguapé e da taboa. O pH do efluente praticamente não foi alterado. A DBO e DQO reduziram significativamente, incluindo a testemunha. Todos os metais ficaram significativamente a baixo do teor máximo tolerado pela legislação. Os coliformes totais não obtiveram diferença com os tratamentos, já a bactéria *Escherichia coli* obteve redução em todos

os tratamentos. Concluiu-se que as plantas possuem eficácia na fitorremediação do Rio Belém, porém quando aplicadas em pequena escala. Para melhorar a qualidade de toda água que desagua no Rio Iguazu, seria necessária uma estação de tratamento.

Palavras-chave: efluentes urbanos, demanda química de oxigênio, demanda bioquímica de oxigênio.

ABSTRAC

*This work aimed to verify the efficiency of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and cattail (*Typha angustifolia*) macrophytes in the phytoremediation of urban effluents. The research was carried out using water collected from the Belém River, which is used to dump domestic waste in the city of Curitiba, and flows into the Iguazu River. The collection was carried out in a place close to the meeting of the rivers. The experiment was divided into three treatments. The first treatment was the control with only the collected water, without plants; in the second, the implantation of the water hyacinth was carried out, with ten plants being placed in each repetition; and the third, the boards were implanted, with ten plants in each repetition. A sample was taken for analysis on the day the water was collected from the Belém River, called control. Treatments were sampled at intervals of seven days, totaling three collections. Analyzes of BOD, COD, electrical conductivity, pH, dissolved oxygen, heavy metals: aluminum (Al), arsenic (As), cadmium (Cd), chromium (Cr), copper (Cu), manganese (Mn), nickel (Ni), lead (Pb), zinc (Zn) and fecal coliforms. Cattail showed a reduction in electrical conductivity, reducing its content by 42.85% in relation to the control. Dissolved oxygen obtained a significant increase with the presence of water hyacinth and cattail. The pH of the effluent was practically unchanged. BOD and COD reduced significantly, including the control. All metals were significantly below the maximum level tolerated by legislation. Total coliforms did not differ between treatments, while *Escherichia coli* bacteria showed a reduction in all treatments. It was concluded that the plants are effective in phytoremediation of the Belém River, but when applied on a small scale. To improve the quality of all the water that flows into the Iguazu River, a treatment plant would be necessary.*

Keywords: urban effluents, chemical oxygen demand, biochemical oxygen demand.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019), a população brasileira atingiu, no dia 20/10/2019, a marca de 210.610.062 de habitantes. Ao analisarmos esses dados no âmbito ambiental, mais especificamente na esfera hídrica, pode-se imaginar o tamanho do prejuízo que causamos aos nossos rios, uma vez que as Companhias responsáveis pela filtragem e purificação de todos esses efluentes domésticos (águas residuárias contaminadas basicamente por fezes humanas e de animais, restos de alimento, sabões e detergentes) infelizmente não conseguem realizar esse serviço com êxito.

Além da ineficiência dessas empresas há também o problema do saneamento básico. De acordo com o 22º Diagnóstico de Serviço de Água e Esgotos, realizado pelo Sistema Nacional de

Saneamento em 2016, aproximadamente 45% da população brasileira não possui acesso a redes de saneamento básico. Para resolver esse problema até 2035, R\$ 150 bilhões de reais deveriam ser investidos para universalizar o serviço de saneamento e reduzir a carga orgânica despejada nos rios (AGENCIA BRASIL, 2018).

Contribuindo com o desenvolvimento sustentável e de forma econômica, uma alternativa para o tratamento das redes de esgotos é o uso de plantas macrófitas (COELHO, 2017). As macrófitas aquáticas flutuantes vêm sendo utilizadas com êxito no tratamento de efluentes urbanos (HENRY-SILVA, 2001). Essa capacidade de filtragem de efluentes denomina-se fitorremediação, método que consiste na utilização de plantas para a realização da limpeza de ambientes poluídos (LAMEGO, 2007).

Para comprovar que esse sistema é eficiente, temos um grande exemplo mundial: a recuperação do Rio Sena na França vem sendo feita a partir de jardins filtrantes compostos por macrófitas, com uma área aproximada de 14,5 hectares, sendo construído em um local aonde se situava um antigo lixão, e hoje se transformou no parque *Parc du Chemil de I'lle*, localizado em Nanterre, Paris, o qual foi inaugurado em 2006 (PINHEIRO, 2017)

Em uma entrevista concedida ao programa Cidades e Soluções (SARAIVA, 2011), o diretor da empresa responsável pelo projeto informou que a idéia nasceu como reflexo de acidentes que ocorreram entre os anos de 1998 e 2000, quando após chuvas intensas, milhares de peixes morreram pela alta carga de poluição difusa e falta de oxigênio.

Sabe-se que um dos grandes problemas reside na quantidade abundante de matéria orgânica descartada nos rios, que interfere diretamente na biota aquática. O ciclo é simples: A maior parte da matéria orgânica em decomposição encontra-se no fundo dos corpos d'água, no sedimento, onde a concentração de oxigênio torna-se menor, ocasionando a decomposição anaeróbica dessa matéria orgânica, gerando acidez e gases tóxicos (gás metano e gás sulfídrico, por exemplo), o que torna o ambiente inviável para a sobrevivência da fauna aquática quando ocorre em grande quantidade (SÃO PAULO, 2019).

Planta perene, a *Eichhornia crassipes*, conhecida como aguapé, é uma planta que se desenvolve em todo o país brasileiro, ocupando áreas alagadas, servindo de abrigo para animais aquáticos, porém devida sua fácil propagação, que ocorre por meio de sementes e fragmentos do caule, pode acabar se tornando um problema (MOREIRA, 2010). Segundo REBELATO (2018), a planta pode ser utilizada como despoluidor biológico uma vez que apresenta potencial filtrante na melhora de parâmetros físicoquímicos. Ainda conforme o autor, em um experimento realizado

para filtração da água em Ji-PARANÁ/RO, a *Eichhornia crassipes* obteve êxito na redução de todos os parâmetros físico-químicos analisados (pH, turbidez, condutividade elétrica, NO₂, NH₃ e temperatura), podendo assim ser usada como uma despoluidora biológica.

A *Typha angustifolia* é outra macrófita com grande potencial fitorremediador, podendo chegar a 3 metros de altura, se desenvolve em água doce e se prolifera facilmente (PINHEIRO, 2017). Planta herbácea perene, cresce em brejos e regiões alagadas, apresentando um caule com uma porção rizomatosa rastejante e outra ereta que transporta as folhas. Constatou-se que a mesma juntamente com a planta *Phragmites australis*, no sistema subsuperficial, proporcionaram no que se refere ao tratamento de esgotos residenciais resultados com remoções superiores a 60% para índices de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), cor aparente, nitrogênio amoniacal, fosfatos, coliformes termotolerantes e turbidez (ABRANTES, 2009).

2 OBJETIVO

Verificar a capacidade fitorremediadora que o aguapé (*Eichhornia crassipes*) e a taboa (*Typha angustifolia*) possuem, possibilitando assim uma alternativa que melhore a qualidade da água que deságua do Rio Belém no Rio Iguazu. Buscando-se uma alternativa para ajudar a tornar o Rio Iguazú propício novamente para a sobrevivência dos peixes e outros animais aquáticos, sem investir milhões em Estações de Tratamento.

3 MATERIAL E MÉTODOS

A coleta de água para a pesquisa foi realizada no Rio Belém (25°31'11,6"S 49°13'31,7"W) no dia 27 de setembro de 2019, por meio de uma bomba de água e alocada em um reservatório IBC com capacidade de 1000 litros (Figura 1).

Figura 1: Coleta de água no Rio Belém.



Fonte: os autores (2019).

Após coletada, a água foi transportada para a Fazenda Gralha Azul, sediada na Fazenda

Rio Grande – PR, onde foi dividida em 8 caixas dentro de uma estufa. Cada caixa recebeu a quantidade aproximada de 100 litros (Figura 2).

Figura 2: Coleta de água no Rio Belém.



Fonte: o autor (2019).

No dia seguinte, foi realizada a coleta das plantas aguapé e taboa no bairro Campo do Santana (25°36'35,9"S 49°18'05,2"), em uma cava do Rio Iguaçu, e levadas para serem transplantadas nas caixas já preparadas com a água coletada (Figura 3).

Figura 3: Coleta de água no Rio Belém.



Fonte: o autor (2019).

A pesquisa foi realizada com três tratamentos. O primeiro foi a testemunha, com duas repetições e a água coletada, sem plantas. No segundo, com três repetições, foi realizada a implantação dos aguapés, sendo colocadas dez plantas em cada repetição, e o terceiro, também com três repetições, foram implantadas as taboas, com dez plantas em cada repetição.

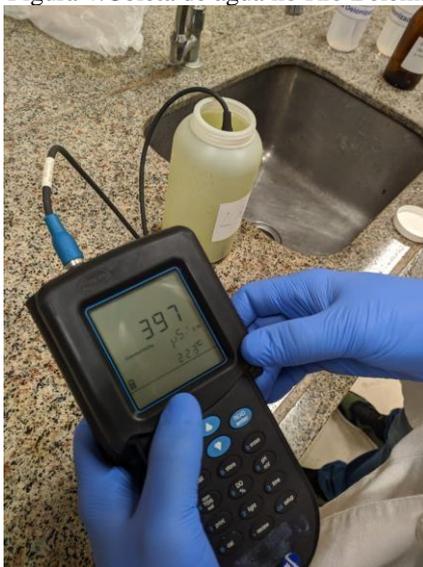
Foi retirada uma amostragem da água para análise no dia em que foi realizada a coleta no Rio Belém, sem a implantação das macrófitas. A amostragem e análise das outras amostras ocorreu em um intervalo de sete dias cada, de todos os tratamentos, resultando em três coletas.

As amostras de água foram encaminhadas ao Laboratório de Análises Ambientais da PUCPR. Foram realizadas as análises de DBO, DQO, condutividade elétrica, pH, oxigênio dissolvido, metais pesados (Al, As, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn) e coliformes fecais.

Na medição do pH foi utilizado o pHmetro, um medidor de potencial hidrogeniônico (pH), indicando a neutralidade ou acidez de uma solução. Ele é composto por um eletrodo conectado a um potenciômetro (APHA, 2012). Basta colocar o eletrodo dentro do recipiente com a água coletada e o valor sai instantaneamente.

Para aferir a condutividade elétrica, foi utilizado o condutivímetro (Figura 4). Assim como o pHmetro, possui um eletrodo que averigua rapidamente o resultado.

Figura 4: Coleta de água no Rio Belém.



Fonte: o autor (2019).

O oxigênio dissolvido foi medido pelo oxímetro, que faz a medição através do método eletromagnético, que consiste na mediação de corrente elétrica devido a redução eletroquímica do

oxigênio ($O_2 \rightleftharpoons OH^-$) da amostra. A corrente elétrica é linearmente proporcional à concentração de oxigênio (APHA, 2012).

A determinação dos coliformes foi obtida pelo método de Colilert, que consiste na quantificação dos coliformes totais e fecais presentes em uma dada amostra, através da mistura entre a amostra e o reagente colilert patenteado, com posterior transferência da solução para uma cartela estéril com 100ml (Figura 5), a qual é selada e mantida incubada a 2°C durante 24h (1º leitura) e 48h (2º leitura – confirmação). Os resultados são obtidos pela relação de valores positivos entre os quadrados maiores e menores da cartela, com aqueles verificados na tabela padrão para o Teste de Colilert (APHA, 2012).

Figura 5: Coleta de água no Rio Belém



Fonte: o autor (2019).

Para verificação da DBO (demanda bioquímica de oxigênio), foi utilizado o sistema manométrico (Foto 6), que é constituído por um microprocessador sem mercúrio que permite a determinação da DBO de acordo com a pressão exercida dentro do frasco. Os microrganismos, ao degradarem o material orgânico, consomem o oxigênio de dentro do frasco ocorrendo uma redução da pressão. Essa redução é identificada pelo sensor e é diretamente proporcional ao material orgânico presente no frasco. As medidas da diferença da pressão devem ser realizadas e registradas após cinco dias de incubação (APHA, 2012).

Figura 6: Frascos com microprocessadores



Fonte: o autor (2019).

A DQO (demanda química de oxigênio), foi realizada pelo método do refluxo, onde a matéria orgânica e inorgânica da amostra é oxidada por uma quantidade elevada de dicromato de potássio em meio ácido, depositada em um tubo de ensaio fechado que é mantido aquecido durante duas horas (Foto 7), com a presença de um catalisador de sulfato de prata, que resulta na oxidação de mais de 95% da matéria orgânica, restando basicamente apenas a matéria inorgânica na amostra (APHA, 2012).

Figura 7: Recipiente usado para manter os tubos de ensaio aquecidos.



Fonte: o autor (2019).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A condutividade elétrica é a medida direta da quantidade de íons encontrados na água. Quando os valores da condutividade estão elevados isso significa que altas taxas de decomposição da matéria orgânica estão ocorrendo, e isso serve como um parâmetro para a quantidade de nutrientes disponíveis ou até mesmo indício de problemas com poluição da água. Enquanto que as águas naturais apresentam teores de condutividade na faixa de 10 a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, em ambientes poluídos por esgotos domésticos ou industriais os valores podem chegar a 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (BRASIL, 2014).

Tabela 1 – Análise do processo de fitorremediação realizado pelas plantas aguapé e taboa na condutividade elétrica da água do Rio Belém.

	1º coleta	2º coleta	3º coleta
Controle	490 c	490 d	490 c
Testemunha	393 b	438,5 c	481 c
Aguapé	389,66 b	360,33 b	343,66 b
Taboa	353 a	291,33 a	284 a

Espécie Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

*Médias seguidas por letras diferentes na vertical representam diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos (Tukey, $p < 0,05$).

Com base no valor do Controle, pode-se observar que a planta com maior eficiência na redução da condutividade elétrica foi a taboa, com redução de 42,85% comparado ao controle, enquanto a testemunha apresentou redução de 1,83% em relação ao controle (Tabela 1).

Tabela 2 – Análise do processo de fitorremediação realizado pelas plantas aguapé e taboa no oxigênio dissolvido da água do Rio Belém.

Espécie	Oxigênio dissolvido (mg/L)					
	1º coleta		2º coleta		3º coleta	
CONTROLE	2,49	a	2,49	a	2,49	a
TESTEMUNHA	3,65	ab	4,55	b	5,35	b
AGUAPÉ	4,51	b	7,22	c	7,71	c
TABOA	5,45	c	7,35	c	7,95	c

*Médias seguidas por letras diferentes na vertical representam diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos (Tukey, $p < 0,05$).

O oxigênio dissolvido (OD) é um fator limitante para manutenção da vida aquática e de processos de autodepuração em sistemas aquáticos naturais e estações de tratamento de esgotos.

Durante a degradação da matéria orgânica, as bactérias fazem uso do oxigênio nos seus processos respiratórios, podendo vir a causar uma redução de sua concentração no meio (CETESB, 2019). Uma das causas mais frequentes de mortandade é a queda na concentração de oxigênio nos corpos d'água. O valor mínimo de oxigênio dissolvido (OD) para a preservação da vida aquática, estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 é de 5,0 mg/L

Considerando-se o valor do controle (Tabela 2), que é inviável para a sobrevivência de qualquer espécie de peixe nativo da nossa região, tanto o aguapé quanto a taboa obtiveram valores significativos na melhora de oxigênio dissolvido, otimizando em mais de três vezes o valor obtido. Ao final do período do experimento, a testemunha também atingiu valores aceitáveis de oxigênio dissolvido.

Tabela 3 – Análise do processo de fitorremediação realizado pelas plantas aguapé e taboa no pH da água do Rio Belém.

Espécie	pH*		
	1º coleta	2º coleta	3º coleta
CONTROLE	7,88 a	7,88 a	7,82 a
TESTEMUNHA	8,58 a	9,08 b	8,82 a
AGUAPÉ	8,39 a	9,03 b	8,04 a
TABOA	8,22 a	8,84 b	7,88 a

*Médias seguidas por letras diferentes na vertical representam diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos (Tukey, $p < 0,05$).

Com a diminuição do pH da água, os peixes apresentaram uma maior frequência respiratória, passando a abocanhar o ar na superfície; em pH extremamente baixo, têm morte imediata. Ocorrem variações nas tolerâncias de espécie para espécie a diferentes pHs, mas valores entre 7 e 8 são, geralmente, considerados adequados para peixes de água doce. Valores de pH abaixo de 5, indicando acidez, podem provocar mortandades e pHs alcalinos entre 9 e 10 podem ser prejudiciais em certas ocasiões. Águas com pH acima de 10 são consideradas letais para a grande maioria dos peixes (CETESB, 2019). A Resolução CONAMA 357/05 estipula que a faixa de pH deve ser de 6,0 a 9,0 para a preservação da vida aquática.

Com base na Resolução CONAMA supracitada, o pH da amostra do controle se encontra nos níveis adequados para a sobrevivência de peixes e outros animais aquáticos. A taboa e o aguapé não alteraram significativamente o valor do pH, fator positivo uma vez que o resultado do controle foi adequado (Tabela 3).

Tabela 4 – Análise do processo de fitorremediação realizado pelas plantas aguapé e taboa na DQO da água do Rio Belém.

Espécie	DQO*		
	1º coleta	2º coleta	3º coleta
CONTROLE	203 d	203 A	203 a
TESTEMUNHA	35,50 a	52 A	81,66 a
AGUAPÉ	148,66 c	123 A	96 a
TABOA	110 b	74 A	87 a

*Médias seguidas por letras diferentes na vertical representam diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos (Tukey, $p < 0,05$).

Tabela 5 – Análise do processo de fitorremediação realizado pelas plantas aguapé e taboa na DBO da água do Rio Belém.

Tratamentos	DBO*		
	1º coleta	2º coleta	3º coleta
CONTROLE	40 b	40 a	40 a
TESTEMUNHA	17,5 a	1 a	2,5 a
AGUAPÉ	15 a	1 a	1,6 a
TABOA	26, ab	1,6 a	5 a

*Médias seguidas por letras diferentes na vertical representam diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos (Tukey, $p < 0,05$).

A DBO é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbia para uma forma inorgânica estável. Já a DQO é a quantidade de oxigênio necessária para oxidação da matéria orgânica por um agente químico. O aumento do seu valor numa estação de tratamento de esgoto ou corpo d'água se deve principalmente a despejos de origem industrial (PHILIPPI, 2004). A DBO é o parâmetro fundamental para o controle da poluição das águas por matéria orgânica. Na legislação federal, com a Resolução nº 357 do CONAMA, são impostos os limites máximos de DBO de 3, 5 e 10 mg/L para as águas doces de classe 1, 2 e 3 e os limites mínimos de oxigênio dissolvido de 6, 5, 4 e 2 mg/L, para as águas doces de classes 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Deve-se observar que as relações DQO/DBO são diferentes para os diversos efluentes e que, para um mesmo efluente, a relação se altera mediante tratamento, especialmente o biológico. Desta forma, um efluente bruto que apresente relação DQO/DBO igual a 3/1, poderá, por exemplo, apresentar relação da ordem de 10/1 após tratamento biológico, que provoca maior redução na DBO (PIVELI, 2019). Com base na Tabela 4, pode-se observar que os tratamentos com aguapé e taboa responderam de forma positiva e gradual na redução da DQO, e a testemunha, ao contrário, apresentou resultados crescentes para o parâmetro. Na Tabela 5,

também observamos um resultado positivo na redução da DBO nos tratamentos em que as plantas estão inseridas, porém, nesse caso, a testemunha também apresentou resultados positivos.

Metais podem ser introduzidos nos ecossistemas aquáticos de maneira natural ou artificial. Naturalmente, por meio do aporte atmosférico e chuvas, pela liberação e transporte a partir da rocha matriz ou outros compartimentos do solo onde estão naturalmente (PAULA, 2006). De modo artificial, por fontes antropogênicas de diversos ramos: esgoto in natura de zonas urbanas, efluentes de indústrias, atividades agrícolas, e rejeitos de áreas de mineração e garimpos (CAJUSTE *et al.*, 1991). No Brasil, a resolução CONAMA nº 430 de 13 de maio de 2011, que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, regulamentam quais os níveis máximos de metais que os efluentes podem possuir para que seja permitido seu desague nos rios.

Tabela 6 – Análise do processo de fitorremediação realizado pelas plantas aguapé e taboa no alumínio da água do Rio Belém.

Tratamentos	Alumínio		
	1º coleta	2º coleta	3º coleta
CONTROLE	0,15776 a	0,157766 ab	0,005434 a
TESTEMUNHA	0,21928 a	0,166346 ab	0,006427 a
AGUAPÉ	0,08667 a	0,089323 a	0,004453 a
TABOA	0,29521 a	0,222984 b	0,007221 a

*Médias seguidas por letras diferentes na vertical representam diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos (Tukey, $p < 0,05$)

Tabela 7 – Análise do processo de fitorremediação realizado pelas plantas aguapé e taboa no arsênio da água do Rio Belém.

Tratamentos	Arsênio		
	1º coleta	2º coleta	3º coleta
CONTROLE	0,00642 a	0,00942 bc	0,00543 a
TESTEMUNHA	0,00445 a	0,00237 a	0,00432 a
AGUAPE	0,00722 a	0,01491 c	0,01036 a
TABOA	0,00543 a	0,00543 ab	0,00464 a

*Médias seguidas por letras diferentes na vertical representam diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos (Tukey, $p < 0,05$)

Tabela 8 – Análise do processo de fitorremediação realizado pelas plantas aguapé e taboa no cádmio da água do Rio Belém.

Tratamentos	Cádmio		
	1º coleta	2º coleta	3º coleta
CONTROLE	0 a	0 a	0 a
TESTEMUNHA	0,00024 a	0,00018 a	0,00025 a
AGUAPÉ	0,00107 a	0,00021 a	0,00026 a
TABOA	0,00265 a	0,00533 a	0,00027 a

*Médias seguidas por letras diferentes na vertical representam diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos (Tukey, $p < 0,05$)

Tabela 9 – Análise do processo de fitorremediação realizado pelas plantas aguapé e taboa no cromo da água do Rio Belém.

Tratamentos	Cromo		
	1º coleta	2º coleta	3º coleta
CONTROLE	0,00152 a	0,00152 a	0,00152 a
TESTEMUNHA	0,01599 a	0,04039 a	0,00614 a
AGUAPÉ	0,00982 a	0,00590 a	0,00589 a
TABOA	0,01629 a	0,04525 a	0,00738 a

*Médias seguidas por letras diferentes na vertical representam diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos (Tukey, $p < 0,05$)

Tabela 10 – Análise do processo de fitorremediação realizado pelas plantas aguapé e taboa no cobre da água do Rio Belém.

Tratamentos	Cobre		
	1º coleta	2º coleta	3º coleta
CONTROLE	0,02505 a	0,02505 c	0,02950 a
TESTEMUNHA	0,00688 a	0,00296 a	0,02505 a
AGUAPÉ	0,01130 a	0,00298 a	0,02613 a
TABOA	0,01528 a	0,01001 b	0,02689 a

*Médias seguidas por letras diferentes na vertical representam diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos (Tukey, $p < 0,05$)

Tabela 11 – Análise do processo de fitorremediação realizado pelas plantas aguapé e taboa no manganês da água do Rio Belém.

Tratamentos	Manganês*		
	1º coleta	2º coleta	3º coleta
CONTROLE	0,24870 b	0,24870 b	0,41410 a
TESTEMUNHA	0,03781 a	0,03417 a	0,02994 a
AGUAPÉ	0,02116 a	0,02068 a	0,02672 a
TABOA	0,05077 a	0,05341 a	0,24870 a

*Médias seguidas por letras diferentes na vertical representam diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos (Tukey, $p < 0,05$)

Tabela 12 – Análise do processo de fitorremediação realizado pelas plantas aguapé e taboa no chumbo da água do Rio Belém.

Tratamentos	Chumbo*		
	1º coleta	2º coleta	3º coleta
CONTROLE	0,00145 a	0,00145 a	0,00145 a
TESTEMUNHA	0,00224 a	0,00342 a	0,00207 a
AGUAPÉ	0,00102 a	0,00120 a	0,00105 a
TABOA	0,00022 a	0,00097 a	0,00004 a

*Médias seguidas por letras diferentes na vertical representam diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos (Tukey, $p < 0,05$)

Tabela 13 – Análise do processo de fitorremediação realizado pelas plantas aguapé e taboa no zinco da água do Rio Belém.

Tratamentos	Zinco*		
	1º coleta	2º coleta	3º coleta
CONTROLE	0,09385 ab	0,09385 a	0,03762 a
TESTEMUNHA	0,12363 b	0,11142 a	0,09385 b
AGUAPÉ	0,05867 a	0,03678 a	0,03092 a
TABOA	0,06618 a	0,04409 a	0,03268 a

*Médias seguidas por letras diferentes na vertical representam diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos (Tukey, $p < 0,05$)

Conforme a resolução supracitada, todos os metais estão significativamente abaixo do teor máximo tolerado pela legislação. Até mesmo o controle não apresenta riscos à vida aquática quando analisado de forma isolada (Tabela 6, Tabela 7, Tabela 8, Tabela 9, Tabela 10, Tabela 11, Tabela 12, Tabela 13).

Tabela 14 – Análise do processo de fitorremediação realizado pelas plantas aguapé e taboa no zinco da água do Rio Belém.

Tratamentos	Coliformes Totais*		
	1º coleta	2º coleta	3º coleta
CONTROLE	>240 a	>240 a	>240 a
TESTEMUNHA	>240 a	>240 a	>240 a
AGUAPÉ	>240 a	>240 a	>240 a
TABOA	>240 a	>240 a	>240 a

*Médias seguidas por letras diferentes na vertical representam diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos (Tukey, $p < 0,05$)

Tabela 15 – Análise do processo de fitorremediação realizado pelas plantas aguapé e taboa no zinco da água do Rio Belém.

Tratamentos	<i>Escherichia coli</i> *		
	1º coleta	2º coleta	3º coleta
CONTROLE	40,0 b	40 a	40 a
TESTEMUNHA	17,5 a	1 a	2,5 a
AGUAPÉ	15,0 a	1 a	1,6 a
TABOA	26,0 ab	1,6 a	5 a

*Médias seguidas por letras diferentes na vertical representam diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos (Tukey, $p < 0,05$)

A presença de coliformes totais não é único parâmetro a ser utilizado para indicar a contaminação fecal, pois este grupo inclui diversos gêneros e espécies de bactérias não entéricas como *Serratia* e *Aeromonas*. É possível observar isso comparando as Tabelas 14 e 15. No entanto, a sua presença e número são indicativos da qualidade higiênico-sanitária de um produto. A *Escherichia coli* é uma das bactérias que compõem os coliformes totais. Por se encontrar em um meio de matéria orgânica, automaticamente participa do ciclo de redução de oxigênio nas águas. Além disso, é uma das responsáveis por doenças intestinais e infecção urinária em seres humanos. Conforme Portaria Nº 1.469 de 29 de dezembro de 2000, a água que possuir qualquer quantidade dessa bactéria em 100 ml de água é imprópria para consumo. Foi possível observar na Tabela 15 que houve uma redução significativa nos tratamentos, não se podendo afirmar que o aguapé e a taboa foram responsáveis por isso uma vez que a testemunha apresentou um resultado muito próximo dos tratamentos com plantas.

5 CONCLUSÃO

Com base no experimento realizado, pode-se afirmar que o aguapé e a taboa possuem eficácia na fitorremediação do Rio Belém. A condutividade elétrica, o oxigênio dissolvido, bem como a DBO e DQO obtiveram melhoras com a colocação das plantas, embora a DBO e DQO também tenham tido resultados satisfatórios na testemunha. Não é necessário realizar a fitorremediação de metais pesados já que os níveis encontrados nas análises estão inferiores aos parâmetros instituídos em legislação. No entanto, pelo experimento ter sido instalado em um ambiente fechado, sem a adição de novos efluentes urbanos, durante um período de 30 dias, conclui-se que se torna inviável a utilização dessas plantas para descontaminação de toda água do Rio Belém que deságua no Rio Iguaçu. Assim como na França, pode-se pensar na instalação de jardins filtrantes utilizando essas plantas para melhorar a qualidade da água que deságua no Rio Iguaçu, mas considerando o volume total, necessita-se de uma estação de tratamento.

REFERÊNCIAS

ABRANTES, L.L.M. **Tratamento de esgotos sanitários em sistema alagados construídos utilizando *Typha Angustifolia* e *Phragmites australis***. Dissertação (Mestrado em Engenharia do meio ambiente) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, p.142. 2009.

APHA, AWWA. Standard methods for the examination of water and wastewater, 2012, 22th edition, American Public Health Association, DC.

BRASIL. FUNASA. (Ed.). **MANUAL DE CONTROLE DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA TÉCNICOS QUE TRABALHAM EM ETAS**. Manaus: Funasa, 2014. 116 slides, color. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/site/wpcontent/files_mf/manualcont_quali_agua_tecnicos_trab_emetas.pdf>. Acesso em: 22 out. 2019.

BRASIL. IBGE. (Org.). **Projeção da população do Brasil e das Unidades da Federação**. 2019. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>>. Acesso em: 20 out. 2019.

CAJUSTE, L. J.; CARRILLO, G. R.; COTA G. E.; LAIRD, R. J. The distribution of metals from wastewater in the Mexican Valley of Mezquital. *Water, Air, and Soil Pollution*, v. 57- 58, p. 763-771,1991.

CETESB (São Paulo) (Org.). **Oxigênio Dissolvido**. 2019. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/mortandade-peixes/alteracoes-fisicas-e-quimicas/oxigeniodissolvido/>>. Acesso em: 22 out. 2019.

COELHO, J.C. **Macrófitas aquáticas flutuantes na remoção de elementos químicos de água residuária**. Dissertação (Mestrado em agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP. Botucatu, p. 78. 2017. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/151881/coelho_jc_me_bot.pdf?sequence=3&isAllowed=y PAG27 >. Acesso em: 19 out. 2019.

HENRY-SILVA, G. G. **Utilização de macrófitas aquáticas flutuantes (*Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes* e *Salvinia molesta*) no tratamento de efluentes de piscicultura e possibilidades de aproveitamento da biomassa vegetal**. Dissertação (Mestrado em Aqüicultura em Águas Continentais) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, p.79.2001.

LAMEGO, F.P; VIDAL, R.A. Fitorremediação: plantas como agentes de despoluição: **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v.17, p.9-18, jan/dez. 2007.

MOREIRA, H.J.C; BRAGANÇA, H.B.N. **Manual de identificação de plantas infestantes – cultivos de verão**. Ed: 1. Local: Campinas, 2010. 326 p

PAULA, M. Inimigo invisível: metais pesados e a saúde humana. *Tchê-Química*, v. 3, n. 6, p. 37-44, 2006.

PHILIPPI, Junior, Arlindo, Romero, ANDRADE, Marcelo de, COLLET, Bruna Gilda. Curso de

Gestão Ambiental. São Paulo: Malone, 2004

PINHEIRO, M.B. **Plantas para infraestrutura verde e o papel da vegetação no tratamento das águas urbanas de São Paulo.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Universidade De São Paulo, São Paulo, p.227 e 367. 2017.

PIVELI, Roque Passos. **QUALIDADE DAS ÁGUAS E POLUIÇÃO: ASPECTOS FÍSICOQUÍMICOS: OXIGÊNIO DISSOLVIDO E MATÉRIA ORGÂNICA EM ÁGUAS.** Disponível em:
<file:///C:/Users/sr/Downloads/Fasc%20C3%ADculo%2010%20%20Oxig%20C3%AAnio%20Dissolvido%20e%20Mat%20C3%A9ria%20Org%20C3%A2nica.pdf
>. Acesso em: 22 out. 2019.

SÃO PAULO. CETESB. (Org.). **Matéria Orgânica e Nutrientes.** 2019. Disponível em:
<<https://cetesb.sp.gov.br/mortandade-peixes/alteracoes-fisicas-e-quimicas/materiaorganica-e-nutrientes/#targetText=A%20mat%20C3%A9ria%20org%20C3%A2nica%20sofre%20um,do%20oxig%20C3%AAnio%20presente%20no%20meio.&targetText=O%20processo%20de%20enriquecimento%20das,vinhoto%20C%20acarretando%20graves%20problemas%20ambientais.>>. Acesso em: 19 out. 2019.

SARAIVA, MARINA. **Cidades e Soluções - Jardins Filtrantes.** Globo News. 22 set. 2011. Disponível em:< <http://g1.globo.com/globo-news/cidades-esolucoes/platb/2011/09/22/jardins-filtrantes/>>. Acesso em: 19 out. 2019.