




## TÉCNICAS DE BIORREMEDIAÇÃO PARA MELHORIA DA QUALIDADE DA LAGOA DO PIQUERI

### Analysis of bioremediation techniques for the improvement of water quality of Piqueri Lagoon

Carolina Matilde de Oliveira, Júlia Freitas Lima, Levy Makoto Ikawa  & Maria Luiza Randoli

Escola Técnica Estadual de São Paulo

\*Autor Correspondente: L.M. Ikawa, e-mail: levymakoto@gmail.com

#### RESUMO

Diante da importância da gestão ambiental dos recursos hídricos, surge a necessidade de se encontrar alternativas possíveis de recuperação para corpos d'água que passam por processos como assoreamento, contaminação e eutrofização. Este artigo tem como objetivo testar técnicas de biorremediação para a lagoa do Piqueri, localizada no bairro do Tatuapé, na Zona Leste de São Paulo. A lagoa se encontra assoreada, tendo uma baixa profundidade, contaminado por *Escherichia coli* e eutrofizada; portanto apresentando condições de qualidade da água impróprias e um risco para a vida aquática presente. Assim, as técnicas apresentadas visam alternativas para a melhoria da lagoa e por meio de agentes biorremediadores paliativos as formas de tratamento de água convencionais.

**Palavras-chave:** Recursos hídricos, Eutrofização, Biorremediação, Contaminação.

#### ABSTRACT

Given the importance of environmental management of water resources, there is a need to find possible alternatives for recovery for water bodies that undergo processes such as silting, contamination and eutrophication. This article aims to test bioremediation techniques for lagoon do Piqueri, located in the neighborhood of Tatuapé, in the East Zone of São Paulo. The lagoon is silted up, with a low depth, eutrophic and contaminated by *Escherichia coli*. Therefore, presenting unsuitable water quality conditions and a risk to the aquatic life in the lagoon. Thus, the techniques aim at alternatives to improve the lagoon through palliative bioremediation agents compared to conventional forms of water treatment.

**Keywords:** Water resources, Lagoon, Eutrophication, Bioremediation, Contamination.

#### INTRODUÇÃO

A água é um elemento fundamental para a saúde humana, por isso a produção e sua qualidade deve ser prioridade na gestão dos sistemas públicos de abastecimento de água (Vieira, 2018). A classificação de recursos hídricos, toma como referência padrões estabelecidos pela Conama (Conselho Nacional do Meio Ambiente), na qual a classificação não é relativa necessariamente ao estado atual do meio, porém as variáveis de qualidade que atendam às demandas da comunidade (Conama, 2005). Desta forma, ao analisar a importância de corpos d'água, pode-se notar o surgimento de grandes centros urbanos ao seu entorno na história da humanidade, por ser um elemento necessário na manutenção da vida de diversas maneiras, sejam elas para consumo, irrigação, lazer e etc. A intensificação da poluição das cidades afeta diretamente a qualidade da água dos corpos hídricos e suas relações biológicas, aumentando a quantidade de nutrientes (ex: fósforo e nitrogênio), os quais, futuramente podem acarretar sua eutrofização. Sendo possível a análise de inúmeros parques urbanos que se encontram nessa situação que se torna mais crítica ao longo dos anos; pode-se exemplificar com o Parque do

Piqueri, localizado na região central de São Paulo, estado de São Paulo, que sofre com as condições da grande metrópole.

A lagoa do parque se encontra em profundo estado de eutrofização e contaminação fecal, inviabilizando a qualidade de vida dos animais e demonstrando urgência para a necessidade de tratamento. Esse deve ser realizado de modo a manter as propriedades originais, por isso, o processo de biorremediação é a melhor alternativa, uma vez que, se baseia na utilização de seres como plantas e microrganismos a fim de recuperar um ambiente contaminado. Do nome podemos concluir algo como “remédio vivo”. É um processo que se faz necessário para remediar contaminação por efluentes. Esse método pode ser implantado em águas superficiais e subterrâneas, solos e efluentes industriais. O modo de tratamento preterido consiste na fitorremediação; a utilização da planta *Moringa oleifera* como agente remediador inserida em sistemas externos a fim de encontrar a técnica de maior eficácia para o Piqueri. Essa se mostrou eficiente pela literatura sendo: excelente como adsorvente, sendo utilizada para a remoção de concomitantes como metais, matéria orgânica e até pesticidas (Sharma, 2008); eficaz na remoção de material em suspensão, amolecimento de águas duras, remoção de turbidez, demanda química de oxigênio (DQO), cor e outros poluentes orgânicos (Gonçalves-Junior et al., 2012); e desinfetante para água potável é um aspecto emergente, porém útil pois muitas literaturas revelaram sua propriedade antibacteriana contra bactérias gram-negativas e gram-positivas (Cardoso et al., 2008; Olson & Fahey, 2011).

Com base nas propriedades e especificidades da planta, foram realizados 5 sistemas distintos, um deles tendo um agente químico para comparação com o método natural, um controle com água mineral e os outros três consistem em distintas aplicações da Moringa: semente de Moringa inteira; extrato de Moringa e biofiltro; extrato de Moringa e solução salina. A partir disso, espera-se analisar métodos para tratamento da lagoa do Piqueri.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na lagoa do Piqueri, que está localizado em um parque público no bairro do Tatuapé, na Zona Leste do município de São Paulo. Possui uma área de 97 272 metros quadrados e uma variada flora e fauna.

Entretanto, a lagoa possui diversos problemas, como a eutrofização (verificável de forma superficial pela coloração verde da superfície da lagoa) e assoreamento da lagoa. Estes, relacionados a superpopulação de *Trachemys dorsalis*, conhecida popularmente como tartaruga-tigre-d'água. Dado ao descontrole populacional da espécie, desequilibrando todo o ecossistema da lagoa.

Foram realizadas aferições de profundidade na lagoa pessoalmente pelos autores e de sua área por imagens de satélite do Geosampa<sup>1</sup> (Figura 1).



Figura 1. Mapa da Região do Parque do Piqueri. (Geosampa)<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Geosampa - site oficial do estado de São Paulo que facilita o acesso aos mapas da cidade.

Ademais, foram feitas aferições com Disco de Secchi ao longo dos mesmos pontos de medições de profundidade, obtendo média de 25 cm para o disco se tornar visível a olho nu (Tabela 1 e 2). Nisto, na literatura existem relações a nível de água do Secchi e turbidez (Falcade et al., 2017).

**Tabela 1.** Níveis de Profundidade, do Disco de Secchi nos pontos P1 a P7.

Pontos Medidos	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Profundidade (cm)	50	70	70	66	66	66	66

**Tabela 2.** Níveis de Profundidade, do Disco de Secchi nos pontos P8 a P14.

Fonte: elaborado pelos autores (2022).

Pontos Medidos	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14
Profundidade (cm)	25	50	66	66	60	60	66

## MONTAGEM DO EXPERIMENTO

Para testar as formas de remediação, e encontrar a melhor para o caso que estudamos, foram utilizados 5 sistemas com diferentes abordagens:

Sistema 0: Semente de Moringa com solução salina.

Sistema 1: Extrato de Moringa macerada com solução salina.

Sistema 2: Extrato de Moringa macerada com biofiltro de cascalho.

Sistema 3: Sulfato de alumínio.

Sistema 4: Controle com água mineral.

Todos os sistemas, com exceção ao de controle, foram montados com a água coletada da lagoa, essa coleta foi realizada em outubro de 2022, durante a primavera.

Em todos esses sistemas foram analisadas as seguintes variáveis: pH, Turbidez, Nitrito, Nitrato, Amônia, Fósforo, Coliformes totais - *Escherichia coli* - feita com o Agar Macconkey - Sólidos totais e temperatura.

Na montagem dos sistemas foram utilizados três recipientes com capacidade máxima de 4l e dois aquários com capacidade de 10 e 5 litros, todos esses frascos foram limpos com sabão neutro para não haver interferências químicas e/ou contaminações; um compressor de ar capaz de se conectar com três sistemas e duas bombas de aquário (a função desses dispositivos foi de oxigenar e não deixar a água parada, e assim, não correr o risco de apodrecimento do material biológico presente nas amostras); um biofiltro de cascalho, areia e carvão ativado; 15,9 litros de água da lagoa; 3,6 litros de água mineral; 0,14 gramas de sulfato de alumínio; 24 gramas de extrato da folha de Moringa; 0,8 gramas de cloreto de sódio; 10,8 gramas de semente de Moringa macerada.

Para o Sistema 0 - Semente de Moringa: 10,8 gramas de semente de Moringa foram maceradas em um pilão e colocadas em 3,6 litros de água da lagoa, não utilizamos compressão de ar e nem bombas nesse sistema (Figura 2).



**Figura 2.** Sistema 0: Semente de Moringa com solução salina.

Para o Sistema 1 - Extrato de Moringa macerada com solução salina: a solução salina foi preparada 15 minutos antes da montagem, com 0,8 gramas de cloreto de sódio e 300 ml de água mineral. Nesta solução foram acrescentadas 9 gramas de extrato de Moringa e reservado por mais 15 minutos; após esse tempo esse líquido foi colocado dentro do recipiente com capacidade máxima de 4 litros já preenchido com 3,6 litros de água da lagoa e com o compressor de ar funcionando (Figura 3).



**Figura 3.** Sistema 1: Extrato de Moringa macerada com solução salina.

No Sistema 2 - Extrato de Moringa macerada com biofiltro: montado em um recipiente com capacidade de 10 litros, mas apenas 5,1 litros de água foram utilizados; neste mesmo sistema 15,8 gramas de extrato de Moringa e o compressor de ar foram adicionados. Além desses itens, um biofiltro com cascalho de rio, areia e carvão ativado.



**Figura 4.** Sistema 2: Extrato de Moringa macerada com biofiltro de cascalho

O Sistema 3 - Sulfato de alumínio: montado em um recipiente com capacidade máxima de 4 litros, mas apenas 3,6 litros de água foram utilizados; O compressor de ar e 0,14 gramas de sulfato de alumínio também foram inseridos nesse sistema.



**Figura 5.** Sistema 3. Sulfato de alumínio.

Por fim, o Sistema 4 - controle com água mineral: feito em um aquário com 3,6 litro de água mineral para termos uma comparação de resultados com uma água dentro das variáveis ideais.





**Figura 6.** Controle, uso de água mineral.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante os dois meses de funcionamento dos sistemas, foram monitorados níveis de pH, turbidez, Nítrito, Nitrato, Amônia, Fosfato e Coliformes Totais, a partir dos testes comerciais e culturais, como análise do impacto da *Moringa oleifera* e do Sulfato de Alumínio nas amostras da lagoa do Piqueri. Vale ressaltar que os testes comerciais estão submetidos a um macro espectro de medição oferecidos pelo mesmo, isto é, não aferem com a mesma precisão de testes laboratoriais (micro espectro), porém, dão dimensão dos efeitos dos aditivos inseridos nos sistemas montados. Portanto, os resultados são apresentados nas e Tabelas 3 a 8.

Segundo a Tabela 3, os dados iniciais adquiridos da água da lagoa do Piqueri, indicam uma água de caráter neutro, níveis consideráveis de nitrato e fosfato, alta turbidez e amostra com presença de coliformes fecais. Tais dados indicam uma situação crítica, níveis de turbidez fora do esperado, atrelada a eutrofização do corpo hídrico e contaminação por *E. coli*, sendo um risco para a vida aquática presente.

**Tabela 3.** Valores iniciais das variáveis da água da Lagoa do Parque do Piqueri.

Análise	pH	Turbidez (NTU)	Nítrito (ppm)	Nitrato (mg/L)	Amônia (ppm)	Fosfato (mg/L)	Coliformes Totais
08/set	6,7	28,6	0	5	0	0,1	+
07/out	7,3	35	0	5	0	0,1	+

A tabela 4 apresenta dados ao longo de um mês do funcionamento dos sistemas. O Sistema 0 foi desligado e remodelado; a falta de oxigenação no aquário resultou no apodrecimento das sementes. Essas por estarem inteiras, incluindo alas e o tegumento/semente, intensificaram o processo de decomposição. Assim, ao invés de tratar a água, a solução proposta elevou os níveis de amônia e fosfato, gerando maior eutrofização do meio.

**Tabela 4.** Sistema 0 - Variáveis da água após o uso da semente de Moringa e Solução Salina.

Análises	08/set	16/set	20/set	27/set	03/out	06/out
pH	6,7	6,8	7,7	7,8	8	6
turbidez (NTU)	28,6	28,6	28,6	36,8	42,3	46,9
Nítrito (ppm)	0	0	0	0	0	1
Nitrato (mg/L)	5	0	0	5	0	0
Amônia (ppm)	0	0,25	2	6,5	6,5	6,5
fosfato (mg/L)	0,1	0,1	0,1	2	2	2
Coliformes Totais	+	.	.	.	.	+

O sistema 1 foi montado com o intuito de ter uma alternativa potencializada para a coagulação paliativa, tendo em vista que a solução salina acelera as propriedades do extrato de Moringa, e os objetivos com esta

técnica foram atingidos, como podemos observar na Tabela 5: coagulação ocorreu de forma satisfatória, diminuindo a turbidez.

A remodelação deste sistema também se viu necessária, e utilizamos da filtragem para retirar os sólidos já sedimentados; após esta ação houve uma melhora nas variáveis.

**Tabela 5.** Sistema 1 - Variáveis da água após uso do extrato de Moringa de Moringa e Solução Salina.

Análises	07/out	10/out	17\10	19/out	01/nov	11/nov
pH	7,3	8,1	7	7,32	8,9	7
Turbidez (NTU)	46,1	26,3	15,8	13,5	10,1	9,8
Nitrito (ppm)	0	0	0	0	> 2,8	1,75
Nitrato (mg/L)	0	0	0	0	20	20
Amônia (ppm)	0	6,5	6,5	5	3,5	3,5
Fósforo (mg/L)	0,1	0,25	0,25	0,25	0,5	20
Coliformes Totais	+	.	.	.	.	+

O Sistema 2 foi montado com a Moringa macerada e a complementação do biofiltro. Como apresentado na Tabela 6, o papel coagulante da Moringa foi cumprido, isto é, houve resultados positivos de sedimentação, porém, a ação do biofiltro não foi eficaz na situação presente, causando uma elevação nas variáveis.

Desta forma, a remodelação do sistema foi necessária: os sedimentos gerados pela ação fitorremediadora foram retirados com a filtração, em seguida, o filtro biológico foi reinserido de modo a cumprir sua função. Após 10 dias de análise, a água filtrada teve decaimento em seus níveis de turbidez, assim como de eutrofização, concluindo que a remodelação do sistema obteve sucesso.

**Tabela 6.** Sistema 2 - Variáveis da água após uso do extrato de Moringa e Biofiltro de Cascalho.

Análises	07/out	10/out	17\10	19/out	01/nov	11/nov
Ph	7,3	8,1	7	7,32	8,9	7
Turbidez (NTU)	46,1	26,3	20,5	13,9	10,6	4,78
Nitrito (ppm)	0	0	0	>2,8	> 2,8	1,75
Nitrato (mg/L)	0	0	0	0	2	0,75
Amônia (ppm)	0	6,5	6,5	5	3,5	3,5
Fósforo (mg/L)	0,1	0,25	0,25	0,25	0,5	2
Coliformes Totais	+	.	.	.	.	+

Para comparação da eficácia de um agente químico e natural, o Sistema 3 de sulfato de alumínio foi montado; esse reagente regula o pH da água e age como coagulante químico. Conforme a Tabela 7, seu papel foi cumprido: houve coagulação lenta da água, assim como diminuição nos níveis de turbidez e do pH. O sistema teve resultados condizentes com sua função.

**Tabela 7.** Sistema 3 - Variáveis da água após uso do sulfato de Alumínio.

Análises	07/out	10/out	17/10	19/out	01/nov	11/nov
Ph	7,3	9,6	5	7,61	7,3	7,3
Turbidez (NTU)	46,1	26,4	14,2	36,4	7,5	7,5
Nitrito (ppm)	0	0	0	0,25	0,25	0,25
Nitrato (mg/L)	0	0	0	2,5	5	5
Amônia (ppm)	0	0,15	1,0	0,5	0,5	0,5

A Tabela 8 apresenta dados do sistema controle que demonstrou variáveis dentro do esperado e sua única função está relacionada a comparar suas variáveis com as amostras do sistema.

**Tabela 8:** Sistema 4 - Variáveis da água no controle, água mineral.

Análises	16/set	20/set	27/set	07/out	10/out	19/out	01/nov	11/nov
Ph	6,8	8,1	8,1	8	8,1	7,6	8,1	8,1
Turbidez (NTU)	0,2	0,19	0,2	0,19	0,19	0,2	0,2	0,19
Nitrito (ppm)	0	0	0	0	0	0	0	0
Nitrato (mg/L)	0	0	0	0	0	0	0	0
Amônia (ppm)	0	0	0	0	0	0	0	0
Fósforo (mg/L)	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Coliformes Totais	-	.	.	.	.	.	.	-

Observando os dados obtidos, é possível enxergar um eventual aumento dos níveis de turbidez em sistemas com extrato de Moringa em pó; isso se deve ao efeito inicial da Moringa e a coloração de seu extrato hidrossolúvel, contudo, esses níveis diminuem ao longo do tempo graças ao seu efeito coagulante, floculando os sedimentos para o fundo dos sistemas. Ademais, com os dados, se torna mais evidente as complicações relacionadas à superpopulação de tartarugas tigre-d'água, diante a contaminação de *E. coli*, tornando-se um ambiente insalubre para essa e demais espécies.

Vale salientar o papel do biofiltro do sistema II, que obteve maior eficiência quando os sedimentos dos sistemas foram filtrados, diminuindo os níveis de Turbidez e Amônia. Contudo, como verificável nos dados apresentados, a *Moringa oleifera* não conseguiu tratar a contaminação por *E. Coli* da água de nenhum dos sistemas, dito isto, é necessário um manejo sanitário. Para esse manejo, foram feitas duas reuniões com a Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente da cidade de São Paulo, para denunciar a contaminação e propor uma intervenção sanitária na lagoa.

Constatou-se, conforme os testes e discussões realizadas, que as alternativas paliativas ao coagulante químico demonstraram um nível insatisfatório para o tratamento da qualidade bioquímica da lagoa, verificado pelo aumento dos níveis de Nitrato, Amônia e Nitrito (Este chegando até dados acima da escala comercial). Além disso, nenhum dos métodos obteve êxito em tratar *Escherichia coli*.

Contudo, é verificável a eficiência da *Moringa oleifera* como coagulante paliativo ao Sulfato de Alumínio, obtendo dados satisfatórios na queda da turbidez da água. Uma vez que o extrato de Moringa com a solução salina (NaCl) teve resultados dois dias antes que a ação do Sulfato de Alumínio, este que, por sua vez, levou dez dias para coagular e não manteve propriedades originais do corpo hídrico, diferente da biorremediação dos métodos paliativos.

Vale salientar que foi utilizado o extrato de *Moringa oleifera*, pois a semente apodreceu nos sistemas iniciais, causando alterações na amostra. No entanto, é necessário um sistema de captação dos sedimentos após sua floculação, semelhante a filtração que foi realizada nos sistemas do experimento, uma vez que, métodos de filtração e biofiltro auxiliaram na diminuição da amônia. Assim, como não é possível fazer a filtração manual na lagoa, uma das soluções seriam animais detritívoros, mas devido a contaminação por *E. Coli*, a introdução de mais animais no local não é concebível.

Uma solução para a melhora da lagoa foi debatida, considerando os resultados apresentados, cuja, as técnicas implementadas não se mostraram suficientes. Sugere-se a construção de uma lagoa artificial no Piqueri; este projeto parte do esvaziamento da lagoa original e da criação de um sistema aquático similar temporário que estaria a uma distância de 30m, onde se situa uma caixa d'água, para a remoção das espécies aquáticas que necessitam de tratamento zootécnico e veterinário, dada a contaminação por *E. coli*. Além disso, efetuar a calagem do solo, a fim de descontaminar o mesmo e, uma vez que, o corpo hídrico se encontra assoreado, sugere-se um aumento da profundidade.

Durante este processo, é necessário descobrir a fonte de contaminação por *E. coli*; a hipótese da fonte contaminante é a lixiviação de fezes de animais domésticos que circulam pelo parque. Desta forma, um revestimento com Manta Bidim, areia e cascalho é necessário para que a lagoa possa ser ativada novamente, com os animais saudáveis e água limpa em seu local original. Por fim, é necessário um sistema de ciclagem para que a lagoa se mantenha em boas condições bioquímicas.

Desta forma, foi orçado o valor dessa intervenção na lagoa indicado na Tabela 9.

**Tabela 9:** Valores da Nova Lagoa

Item	Preço Referência	Quantidade	Total
Manta Bidim	R\$ 4,00 m <sup>2</sup>	1808,52 m <sup>2</sup>	R\$ 7.234,08
Areia	R\$ 120,00 m <sup>3</sup>	180,852m <sup>3</sup>	R\$21.702,24
Cascalho	R\$ 200,00 m <sup>3</sup>	180,852m <sup>3</sup>	R\$ 36.170,40
Bomba 16k L/h	R\$ 930,00	4	R\$ 3720,00
Sist. Filtração 10k L/h	R\$ 11277,86	7	R\$ 78945,02
Água/caminhão pipa	R\$ 0,055/ L	128 kL	R\$7150,00
Gastos Totais:	-	-	R\$154.922,10

## REFERÊNCIAS

- Conama (2005). Resolução 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama). DOU nº 53/2005. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/>
- Cordeiro Cardoso, K., Bergamasco, R., Sala Cossich, E., & Konradt Moraes, L.C. (2008). Otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação da água bruta por meio da *Moringa oleifera* Lam. *Acta Scientiarum. Technology*, 30(2). DOI <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v30i2.5493>
- Falcade, D.R., Mannich, M., & Colombo, G. T. (2017). Tubo de turbidez para determinação de baixo custo da turbidez em corpos d'água superficiais. *Rega*, 14(5): 1-8. DOI: 10.21168/reg.v14e5
- Geosampa (s.d.). (2022). *Sistema de Consulta do Mapa Digital da Cidade de São Paulo*. Geosampa.prefeitura.sp.gov.br. Disponível em: [https://geosampa.prefeitura.sp.gov.br/PaginasPublicas/\\_SBC.aspx](https://geosampa.prefeitura.sp.gov.br/PaginasPublicas/_SBC.aspx)
- Gonçalves-Junior, A.C., Meneghel, A.P. , Rubio, F. , Strey, L. , Dragunski, D.C. & Coelho, G.F. (2013). Applicability of *Moringa oleifera* lam. pie as an adsorbent for removal of heavy metals from waters. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17 (1): 94-99. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000100013>



Olson, M.E., & Fahey, J. W. (2011). *Moringa oleifera*: un árbol multiusos para las zonas tropicales secas. *Revista Mexicana Biodiversidade*, 82(4): 1071-1082. Disponível em: <https://www.scielo.org.mx/pdf/rmbiodiv/v82n4/v82n4a1.pdf>

Sharma, P. (2008). Removal of Cd (II) and Pb (II) from aqueous environment using *Moringa Oleifera* seeds as biosorbent: A low cost and ecofriendly technique for water purification. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 61(2-3), 107110. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12666-008-0027-0>.

UFRN (2017). *Determinação de Macro e Micronutrientes de Frutos de Moringa Oleifera La-marck (parede interna e externa das cas-ca) e Sementes*. Disponível em: <https://docplayer.com.br/79338334-Universidade-federal-do-rio-grande-do-norte-centro-de-ciencias-exatas-e-da-terra-instituto-de-quimica-programa-de-pos-graduacao-em-quimica.html>

Vieira, J.M.P. (2018). *Água e Saúde Pública*. Edições Silabo: Lisboa.