

**ESTUDO DE METAIS PESADOS EM ESGOTO DOMÉSTICO
TRATADO POR WETLAND**

ARISTON MELO JUNIOR¹

¹ Engenheiro Agrícola e Civil pela UNICAMP. Professor Doutor em Engenharia Civil na área de Recursos Hídricos e Energéticos pela UNICAMP, Pós Doutor em Engenharia Sanitária e Ambiental pela UNICAMP e Pós Doutor em Ciências Atmosféricas pela USP. Professor Adjunto das Faculdades Metropolitanas Unidas (FMU).

PATRÍCIA CACHO DO NASCIMENTO²

² Engenheira Civil pela FAAP. Professora Especialista pela FGV em Construção Civil e Coordenadora do curso de Engenharia Civil da FMU.

PAULO SERGIO GERMANO³

³ Engenheiro Mecânico pela FEI. Professor Doutor em Engenharia Mecânica pela USP e Coordenador do curso de Engenharia Mecânica da FMU.

ISABEL SATIE⁴

⁴ Engenheira Civil. Professora Mestre em Engenharia de Produção.

Endereço: Rua Padre Cristóvão Cordeiro, 101, apartamento 12-C, Bairro Artur Alvim, São Paulo, Capital. CEP: 03590-190. Brasil. **E-mail:** juniorariston@gmail.com

RESUMO

Atualmente apenas 10% do esgoto doméstico produzido no Brasil é submetido a algum tipo de tratamento. Ficando um volume de aproximadamente 10 bilhões de litros a serem jogados todos os dias nos rios e córregos do país, provocando grandes impactos ambientais nos recursos hídricos. A implantação de leitos cultivados também conhecidos internacionalmente por *wetlands* representam uma tecnologia eficiente para o tratamento de águas residuárias em locais de baixo poder aquisitivo. O objetivo dessa pesquisa foi avaliar durante 16 semanas (dezembro de 2014 à março de 2015) o grau de eficiência de um sistema piloto de leitos cultivados, instalado na Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP usando para tanto a técnica de Fluorescência de Raios X por Reflexão Total com Radiação Síncrotron (SR-TXRF). Tal estudo torna-se importante pelo fato de que muitos pesquisadores como MELO JÚNIOR (2003); entre outros, estudaram a taxa de remoção de fósforo total, DBO, DQO, coliformes fecais, turbidez, etc., mas não há muitos trabalhos voltados a análise de metais. Para o projeto foram utilizadas macrófitas das espécies: *Typha sp* e *Eleocharis sp* para a depuração do esgoto. Verificando-se, por exemplo, que na entrada do sistema a concentração de Cr variou de 0,050 a 2,9 mg.L⁻¹, enquanto na saída com *Typha sp* a concentração variou de 0,001 à 0,050 mg.L⁻¹ e para a saída com *Eleocharis sp* a taxa variou de 0,003 à 0,500 mg.L⁻¹. Comparando a remoção de P para as duas macrófitas a espécie *Eleocharis sp* apresentou melhor eficiência, pois a remoção média calculada para todo o período de amostragem foi de 71,04%, enquanto para a *Typha sp* o valor obtido ficou em 23,20%.

PALAVRAS-CHAVE: Leito cultivado, meio ambiente, metal pesado.

26º. Encontro Técnico AESABESP

1- INTRODUÇÃO

O recrudescimento da população mundial a partir do século XX, acompanhado do aumento dos parques industriais, trouxe vários problemas para o meio ambiente, entre eles a contaminação dos corpos d'água por resíduos orgânicos e inorgânicos produzidos pela nossa sociedade.

Segundo VASCONCELOS (2002), a contaminação dos corpos d'água por metais pesados (Pb, Cd, As, Hg, etc.) vem recebendo uma grande atenção por parte dos ambientalistas no que diz respeito a sua toxicidade no meio aquático e principalmente à vida humana.

A poluição dos recursos naturais por metais resulta de diferentes atividades econômicas, a maioria delas, industriais.

Em função das suas características intrínsecas, são intensivamente poluidoras, embora fontes agrícolas e a disposição de rejeitos domésticos também contribuam para a liberação de metais no meio ambiente.

Dentre as diferentes opções de sistemas tratamento de efluentes, encontra-se o sistema de tratamento por leitos cultivados.

Um sistema simples, que, com o auxílio de macrófitas (também conhecidas pelo termo hidrófitas), promovem a depuração do esgoto doméstico gerando uma quantidade mínima de biossólidos.

Possibilitando a eliminação desse esgoto tratado, quanto a compostos orgânicos e inorgânicos, nos corpos d'água.

Os leitos cultivados são conhecidos mundialmente por *wetlands* e representam uma tecnologia emergente, de baixo custo energético, eficiente e estético.

2- OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi acompanhar o grau de remoção de metais pesados e outros elementos químicos numa estação piloto de tratamento baseado no uso de leitos cultivados.

3- MATERIAL E MÉTODO

Utilizou-se um sistema piloto de leitos cultivados projetado e operacional no campo experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) da UNICAMP, sendo alimentado por parte do esgoto doméstico da própria faculdade.

O sistema de leitos cultivados possui 6 compartimentos, sendo três de área superficial quadrada (2x2m) e três de área superficial retangular (4x1m).

Cada compartimento tem uma área superficial de 4 m², tendo ainda a adoção de dois cultivares de macrófitas: *Typha sp* e *Eleocharis sp* em quatro compartimentos, ficando dois (um retangular e outro quadrado) apenas com material suporte (brita) para controle.

Utilizaram-se os compartimentos de perfil quadrado (2x2m) com os cultivares das espécies *Typha sp* e *Eleocharis sp*.

A escolha do compartimento quadrado foi resultante de que as plantas emergentes encontravam-se dispostas de forma mais homogênea o que não ocorreu no compartimento retangular.

As amostras foram coletadas durante o período de dezembro de 2014 até março de 2015, num total de 16 semanas, com a finalidade de se verificar o comportamento do sistema quanto a remoção de metais presentes no esgoto.

A Figura 1 apresenta a planta piloto da estação de tratamento alternativo.

26º. Encontro Técnico AESABESP

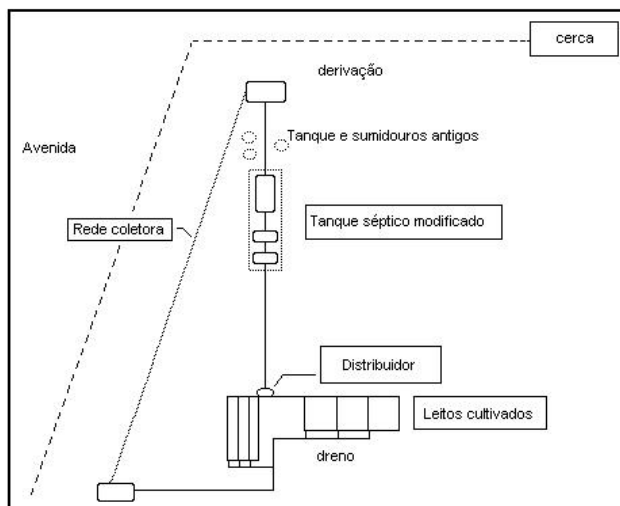


Figura 1: Esquema geral da planta piloto do local.

A amostragem foi semanal com retiradas de amostras no afluente e efluente para a verificação da eficiência do sistema, resultando num total de 48 amostras de esgoto.

Essas foram filtradas em membrana de acetato de celulose ($0,45 \mu\text{m}$ de porosidade).

Após a filtragem, foi tomada uma alíquota de 1 mL de cada amostra filtrada e posteriormente adicionado $100 \mu\text{L}$ ($102,5 \text{ mg.L}^{-1}$) de uma solução padrão de Gálio (Ga), necessário para a análise de metais pela técnica utilizada.

Uma alíquota de $5,0 \mu\text{L}$ da solução resultante foi colocada em discos de lucite (Perspex), que foram secadas com o auxílio de lâmpada infravermelha.

As amostras posteriormente foram acondicionadas em placas de Petri para proteção e transporte até o Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS) para posterior análise por Fluorescência de Raios X por Reflexão Total com Radiação Síncrotron (SR-TXRF) para análise dos metais.

3.1 Principais características do anel de armazenamento e da estação de fluorescência de raios X do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron

- Energia do elétron no anel de armazenamento: 1,37 GeV;
- Campo magnético do dipolo D09B: 1,65 T;
- Anel de armazenamento de elétrons: 93,2 m de perímetro e 30 m de diâmetro;
- Acelerador linear de elétrons: 18 m;
- Energia crítica do fóton: 2,08 keV;
- Frequência de revolução dos elétrons no anel de armazenamento: 3,2 MHz;
- Fluxo de fótons, à 8 keV, em uma área de 20 mm^2 : $4,2 \times 10^9$ fótons/s;
- Feixe policromático (branco) ou seleção de energia entre 3 e 14 keV, utilizando cristal monocromador de silício (111);
- Alto grau de polarização do feixe;
- Detectores semicondutores, de Si (Li), com resolução de 165 eV à 5,9 keV e de Ge (HP), com resolução de 150 eV à 5,9 keV;
- Posicionamento da amostra utilizando um sistema semi-automático, com movimento tridimensional.

Na Figura 2 tem-se uma foto geral do laboratório, onde se observa o anel de armazenamento coberto por um conjunto de placas de concreto (para blindagem) de 30 cm de espessura.

26º. Encontro Técnico AESABESP



Figura 2: Vista geral do anel de armazenamento do feixe de Luz síncrotron do LNLS.

A excitação das amostras pela técnica SR-TXRF foi por um tempo de 100 segundos enquanto que na detecção foi empregado um detector semicondutor de Ge hiperpuro, com resolução de 150 eV a 5,9 keV.

Segundo SIMABUCO (1993) na SR-TXRF não há a ocorrência do efeito matriz e, portanto, existe uma relação linear entre a intensidade fluorescente (I_i) e a concentração do elemento i presente nas amostras, expressa pela equação 1.

$$I_i = S_{Ri} \cdot C_i \quad \text{Equação 1}$$

Onde: S_{Ri} = sensibilidade relativa para o elemento i

RESULTADOS OBTIDOS

A sensibilidade elementar foi calculada usando cinco soluções padrões com elementos conhecidos e em diferentes concentrações, acrescidos do elemento gálio (Ga) usado como padrão interno.

Foram determinadas as sensibilidade experimentais para os elementos contidos nas soluções e os resultados obtidos são apresentados na tabela 1.

Tabela 1: Sensibilidade experimental para a série K.

Número Atômico (Z)	Elemento Químico	Sensibilidade relativa experimental
19	K	0,051170
20	Ca	0,076287
22	Ti	0,159690
24	Cr	0,301810
26	Fe	0,501466
28	Ni	0,713218
30	Zn	0,845466
31	Ga	0,852609
34	Se	0,618315
38	Sr	0,158471

Com os dados da tabela 1 foi obtido o gráfico da Figura 3 que representa a sensibilidade relativa para os elementos na faixa de interesse de estudo.

26º. Encontro Técnico AESABESP

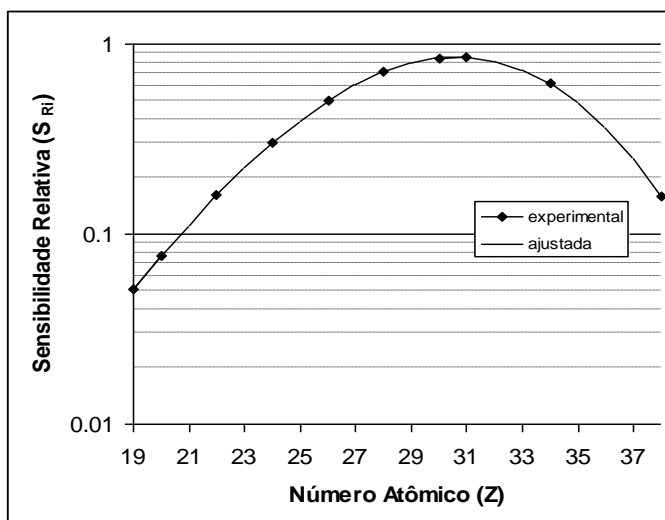


Figura 3: Curva da sensibilidade relativa (S_{Ri}) para série K utilizando SR-TXRF.

Através do ajuste dos dados apresentados no gráfico da Figura 1, foi obtida a equação que relaciona a sensibilidade relativa com o número atômico (Z) para cada elemento, sendo a equação 2 e o coeficiente de determinação (R^2), apresentados a seguir.

$$S_{Ri} = \exp(-9,71415025 + 0,10144873 \cdot Z + 0,0238887 \cdot Z^2 - 5,55444762 \cdot 10^{-4} \cdot Z^3) \quad \text{Equação 2}$$

$$R^2 = 0,98855$$

Obtida a curva de sensibilidade, juntamente com os dados levantados em laboratório por SR-TXRF, foram determinadas as concentrações dos elementos presentes no afluente do esgoto do leito cultivado (Tabela 2).

Tabela 2: Concentração ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) dos elementos químicos presentes nas amostras de entrada.

PERÍODO (semanas)	P	S	Cl	K	Cr	Mn	Fe	Zn
1	6,59	10,21	55,8	271,5	0,700	1,41	16,46	5,60
2	9,35	31,24	121,3	43,6	0,080	0,09	1,80	0,65
3	11,10	76,85	245,8	57,7	0,120	0,08	1,81	0,50
4	7,20	24,51	129,2	55,3	0,098	0,08	1,95	0,60
5	7,20	42,16	183,3	48,8	0,130	0,07	0,97	1,10
6	0,95	24,66	164,3	43,5	0,068	0,14	3,80	2,50
7	3,45	32,68	215,3	413,3	2,900	0,59	9,12	1,30
8	0,60	22,97	168,1	196,5	1,440	0,70	13,11	1,50
9	1,00	16,72	147,0	36,1	0,070	0,06	0,70	0,70
10	1,20	20,33	183,3	36,0	0,120	1,02	6,90	1,00
11	0,50	24,55	225,4	69,0	0,660	1,05	7,65	3,00
12	0,50	13,47	123,3	35,1	0,140	0,08	1,56	0,70
13	0,60	18,32	180,5	37,3	0,080	0,40	3,05	0,40
14	0,60	21,00	206,7	37,7	0,120	1,02	2,30	0,40
15	0,60	27,74	302,4	59,6	0,130	0,08	1,93	0,52
16	0,80	17,59	205,1	43,1	0,050	0,15	3,54	1,40

Os elementos detectados nas amostras de efluente do sistema de leito cultivado com as espécies: *Eleocharis sp.* e *Typha sp.* são apresentados nas tabelas 3 e 4 respectivamente.

26º. Encontro Técnico AESABESP

Tabela 3: Concentração (mg.L⁻¹) dos elementos no efluente do leito com *Eleocharis sp.*

PERÍODO (semanas)	P	S	Cl	K	Cr	Mn	Fe	Zn
1	2,10	8,56	18,5	81,5	0,007	0,12	1,08	0,27
2	7,66	7,83	40,2	19,2	0,030	0,06	0,81	0,33
3	9,09	11,74	81,4	15,7	0,014	0,06	0,65	0,24
4	5,90	6,14	39,5	35,9	0,008	0,04	0,98	0,25
5	6,68	10,56	60,7	15,0	0,003	0,04	0,45	0,21
6	0,32	6,18	54,4	23,5	0,017	0,08	1,66	0,39
7	2,95	8,19	71,3	44,8	0,500	0,05	1,49	0,24
8	0,40	5,75	55,7	41,6	0,200	0,03	1,39	0,18
9	0,70	4,19	48,7	12,4	0,007	0,02	0,34	0,19
10	0,02	5,09	60,7	13,7	0,015	0,02	0,74	0,27
11	0,07	6,15	74,7	48,7	0,320	0,05	2,33	1,12
12	0,20	3,38	40,8	20,1	0,013	0,02	0,77	0,36
13	0,45	4,59	59,8	17,0	0,007	0,02	1,28	0,19
14	0,27	5,26	68,5	15,3	0,011	0,02	0,72	0,18
15	0,20	6,95	100,2	21,6	0,050	0,02	0,50	0,25
16	0,10	4,41	68,0	22,5	0,030	0,06	0,60	0,37

Tabela 4: Concentração (mg.L⁻¹) dos elementos no efluente do leito com *Typha sp.*

PERÍODO (semanas)	P	S	Cl	K	Cr	Mn	Fe	Zn
1	2,49	1,20	34,83	14,11	0,001	0,17	1,01	0,25
2	1,69	3,64	17,14	22,32	0,040	0,02	0,94	0,31
3	2,01	3,70	14,76	29,58	0,004	0,02	0,70	0,22
4	1,30	5,23	84,40	18,41	0,003	0,04	0,91	0,23
5	0,52	1,80	47,70	25,00	0,070	0,02	0,42	0,19
6	0,63	6,14	28,28	20,50	0,050	0,05	1,54	0,36
7	0,50	5,77	47,00	22,94	0,002	0,06	1,93	0,22
8	0,20	5,14	18,05	21,32	0,003	0,38	1,29	0,17
9	0,30	2,70	26,50	18,47	0,008	0,03	0,32	0,18
10	0,20	2,74	51,10	18,47	0,043	0,94	0,30	0,25
11	0,40	3,42	11,04	20,97	0,016	0,06	5,18	1,05
12	0,30	1,60	60,00	14,93	0,011	0,03	0,57	0,22
13	0,15	3,73	57,20	19,12	0,005	0,02	1,62	0,18
14	0,33	4,08	37,40	19,29	0,030	0,02	0,94	0,16
15	0,40	1,89	58,20	30,54	0,013	0,05	0,18	0,26
16	0,70	7,32	46,40	20,52	0,005	0,04	1,08	0,43

O valor médio ao longo das 16 semanas para as duas espécies pode ser observado na Tabela 5.

Tabela 5: Eficiência média para os dois leitos com diferentes macrófitas, para o período estudado.

Elemento Químico	Remoção (%)	
	<i>Eleocharis sp.</i>	<i>Typha sp.</i>
P	71,04	23,20
S	24,70	14,14
Cl	33,01	22,40
K	30,22	22,67
Cr	17,84	4,40
Mn	10,11	27,78
Fe	20,60	24,70
Zn	23,05	21,40

26º. Encontro Técnico AESABESP

CONCLUSÕES

Baseado nos valores médios pode-se observar que existe diferença significativa na remoção nas duas espécies de macrófitas para os elementos P, S, Fe e Zn.

Para S e Cr a remoção foi mais efetiva para a espécie *Eleocharis sp*, enquanto que a *Typha sp.* não teve a mesma eficiência.

Para o fósforo a *Eleocharis sp* apresentou melhor eficiência, sendo que a pior eficiência na remoção de metal ocorreu para a *Typha sp.*, onde ficou em 4,40%.

Porém mesmo para esse valor o sistema mostrou-se eficiente, pois devido à alta toxicidade desse elemento, qualquer remoção é benéfica ao ecossistema.

As concentrações de Cr, Mn, Fe e Zn foram comparadas com os valores estabelecidos pela CETESB, e pode-se observar que para estes elementos as concentrações na saída do sistema tanto para a *Eleocharis sp.* quanto para a *Typha sp.* estão abaixo dos limites máximos permitidos, assim podendo o esgoto após o tratamento ser descartado diretamente no corpo d'água e/ou utilizado num sistema de irrigação por sulco, por exemplo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MELO JÚNIOR, A.S. Dinâmica da remoção de nutrientes em alagados construídos com *Typha sp.* 2003. 295f. **Tese de Mestrado** – FEAGRI, UNICAMP, São Paulo.

SIMABUCO, S. M. Emprego da fluorescência de raios-X por Dispersão de energia no estudo da dinâmica da vinhaça no solo. 1993. 153 f. **Tese de Doutorado** – IPEN/CNEN, USP, São Paulo.

VASCONCELOS, Y. Revista Pesquisa Fapesp. nº 75, 65pg. 2002.