

II-169 – WETLANDS CONSTRUÍDOS DE FLUXO VERTICAL COM SOLO, PLANTADOS COM AS CULTURAS DO ARROZ, FEIJÃO E MILHO NA REMOÇÃO DE METAIS DE ESGOTOS DOMÉSTICOS

Selma Cistina da Silva⁽¹⁾

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Mestre em Engenharia Civil na área de gerenciamento de Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Doutora em Tecnologia Ambiental pela Universidade de Brasília (UnB). Atualmente Professora do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas (CETEC) da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB).

Ivane Marcley Nascimento Sena⁽²⁾

Engenheira Sanitarista e Ambiental pelo CETEC/UFRB

Maria Lucrecia Gerosa Ramos⁽³⁾

Bióloga - UNESP – Rio Claro; PhD em Ecofisiologia Vegetal, University of Dundee-UK. Atualmente é professora da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da UnB.

Ricardo Silveira Bernardes⁽⁴⁾

Engenheiro Civil – UNICAMP. Especialização em Engenharia Sanitária – IHE-DELFT. Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento – USP e Doutor em Agricultura e Ciências Ambientais – WAU; Professor do Departamento de Engenharia Civil da UnB.

Endereço⁽¹⁾ Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - Rua Rui Barbosa, 710 - Centro - Cruz das Almas/BA - 44.380-000; e-mail: scsilva00@yahoo.com.br.

RESUMO

Os *wetlands* construídos são sistemas naturais de tratamento de efluentes que utilizam o conjunto de solo, planta e microorganismos para o tratamento de águas poluídas. Estes sistemas são bastante eficientes para tratamento secundário, portanto, removem eficientemente bem, matéria orgânica dissolvida e suspensa. Porém, sua eficiência quanto à remoção de metais depende muito das características do meio suporte utilizado. Geralmente estes elementos são removidos pelos processos de adsorção no meio suporte e raízes das plantas e absorção pela planta. Os meios suportes comumente utilizados são areia grossa, cascalho, pedregulho e brita. Neste trabalho foi utilizado como meio suporte o solo Latossolo-Amarelo misturado com areia grossa plantados com as culturas do arroz (*Oryza sativa* L.), do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e do milho (*Zea mays*). O sistema foi operado sob regime de fluxo não saturado, com taxas de aplicação hidráulica constante diária de 4,8cm/d e alimentação intermitente. O esgoto primário foi aplicado nas segundas, quartas e sextas-feiras deixando os outros dias em descanso, para que houvesse a aeração do solo e nitrificação do efluente para posterior reutilização na irrigação de novas culturas. Foi observada a presença de chumbo (Pb) que é um metal pesado não característico de esgotos de origem doméstica e as concentrações de efluentes foram superiores às de afluentes. Os *wetlands* construídos apresentaram eficiências baixas e variadas na remoção de metais traços. Entre os metais analisados, a eficiência ainda foi menor para o chumbo (Pb), cobalto (Co), manganês (Mn) e zinco (Zn). As pequenas concentrações acumuladas nos solos não comprometeram a sua qualidade. As concentrações de metais de efluentes foram compatíveis com os padrões de lançamento em corpos d'água e somente as de Pb e Ni, encontravam-se acima daqueles estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/05 referentes à irrigação de culturas. Notou-se que dependendo das características do solo, como CTC, teor de MO e pH, os metais podem acumular-se nos solos e com o passar do tempo serem lixiviados para os efluentes aumentando as suas concentrações, impedindo, em alguns casos, o reuso dessas águas na agricultura. A remoção de metais foi semelhante para as três culturas, com exceção do manganês, cujas unidades plantadas com a cultura do arroz se mostraram menos eficiente em removê-lo, promovendo o seu acúmulo no solo.

PALAVRAS-CHAVE: Qualidade do solo, metais pesados, irrigação de culturas, esgoto doméstico.

INTRODUÇÃO

Os *wetlands* construídos são sistemas naturais de tratamento de efluentes que utilizam o conjunto de solo, planta e microorganismos para o tratamento de águas poluídas. No tratamento de águas residuárias esses sistemas são projetados com a finalidade de receber esgotos previamente tratados e proporcionar um incremento na sua qualidade. São, portanto, sistemas controlados que simulam e aceleram as condições naturais encontradas nos terrenos alagados naturais. Estes sistemas são bastante eficientes para tratamento secundário, portanto, removem eficientemente bem, matéria orgânica dissolvida e suspensa. Porém, sua eficiência quanto à remoção de sais e metais depende muito das características do meio suporte utilizado. Geralmente estes elementos são removidos pelos processos de por adsorção no meio suporte e raízes das plantas e por absorção pela planta.

Os meios suportes comumente utilizados nesses sistemas são areia grossa, cascalho, pedregulho e brita, porém eles tornam-se mais atrativos e auto-sustentáveis quando são utilizados materiais reutilizáveis ou facilmente encontrados na própria comunidade. Já foram avaliados solo (SILVA, 2007) e materiais inertes como pneus (ROSTON e COLLAÇO, 2003) e conchas de ostra (VAN KAICK, 2002), os quais apresentaram eficiências satisfatórias na remoção de poluentes.

O solo funciona como tampão natural no controle do transporte de elementos químicos e substâncias para a atmosfera, hidrosfera e biota. O equilíbrio dos metais presentes no solo é importante para manutenção das funções ecológicas e de uma agricultura sustentável (SALOMONS *et al.*, 1995). Com isso os metais-traços devem estar disponíveis no solo, porém em concentrações abaixo dos níveis máximos aceitáveis para que não os contamine.

A concentração de metais-traço na solução do solo é um bom índice de dimensão da fração móvel. Qualquer estresse químico é refletido em variações na concentração dos metais em solução (SALOMONS *et al.*, 1995).

É importante ressaltar que espécies solúveis, trocáveis e queladas (moléculas às quais os metais se ligam formando complexos) dos elementos-traço são os mais móveis no solo, e governam sua disponibilidade para as plantas. O comportamento dos elementos-traço refletido em sua especiação (forma ou espécie química que o mesmo pode assumir) depende grandemente das formas ou compostos adicionados assim como das condições do solo. Como ocorre em solo se houver despejos de esgoto, a concentração das espécies móveis e trocáveis de Zn e Cd diminuem (SALOMONS *et al.*, 1995), isso porque as condições anóxicas provocadas pelos esgotos podem causar a precipitação desses metais.

Os esgotos domésticos geralmente apresentam em sua composição traços de metais, por esse motivo, em tratamentos convencionais não há uma preocupação com relação à remoção desses elementos. Quando o tratamento é realizado por um tipo de sistema que utiliza solo como meio suporte, há uma preocupação quanto ao acúmulo desses elementos no solo, uma vez que certas concentrações podem interferir na sua qualidade e inibir o crescimento de algumas plantas. Nos *wetlands* construídos alguns metais-traços são absorvidos pelas plantas e adsorvido às partículas do solo e nas suas raízes, acumulando-se no solo, ou podem percolar pelo solo ou ser lixiviadas, aumentando as concentrações nos efluentes. Assim, este trabalho propôs-se a avaliar a eficiência dos *wetlands* construídos com meio suporte de solo natural (Latossolo Amarelo), plantados com arroz irrigado (*Oryza sativa* L.), feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e milho (*Zea mays*) na remoção de traços de metais de esgotos domésticos e se a constante aplicação de esgoto para tratamento poderia acumular quantidades desses elementos que pudesse inibir o desenvolvimento da planta utilizada como auxiliar no tratamento.

OBJETIVO

Avaliar o desempenho dos *wetlands* construídos de fluxo vertical utilizando meio suporte de solo (Latossolo-Amarelo), plantados com as culturas do arroz, feijão e milho, na remoção de metais de esgotos domésticos.

METODOLOGIA

Os experimentos foram conduzidos a partir de um sistema composto por 9 (nove) unidades, configurando 3 (três) sub-sistemas, cada um com 3 (Três) repetições. As unidades experimentais foram representadas por caixas d'água plásticas com capacidade de 100 litros. Inicialmente todas elas foram plantadas com a cultura do arroz (*Oryza sativa*) da espécie Primavera. Após o primeiro ciclo da cultura do arroz, cada subsistema composto por 3 unidades (repetições) recebeu um tipo de cultura: arroz (replante), feijão e milho.

O sistema foi operado sob regime de fluxo não saturado, com taxas de aplicação hidráulica constante diária de 4,8cm/d e alimentação intermitente. O esgoto primário foi aplicado nas segundas, quartas e sextas-feiras deixando os outros dias em descanso, para que houvesse a aeração do solo e nitrificação do efluente.

O solo utilizado foi o Latossolo-Amarelo, natural do município de Cruz das Almas-Ba, o qual foi misturado com areia grossa, na proporção de 2:1, a fim de garantir a condutividade hidráulica necessária para manutenção da vazão a ser tratada.

O monitoramento da qualidade dos esgotos afluentes e efluentes e dos solos das unidades experimentais foi realizado por meio de coleta e análises, antes e após cada ciclo das culturas. As análises químicas os esgotos afluentes e efluentes e do solo foram realizadas no Laboratório do SENAI-CETIND por se tratar de um laboratório certificado.

RESULTADOS

Durante o 1º ciclo de operação do sistema, utilizando somente a cultura do arroz, no esgoto afluente não foi constatado a presença de cádmio (Cd) e nem de cromo (Cr), porém, observou-se a presença de chumbo (Pb) que é um metal pesado não característico de esgotos de origem doméstica (Tabelas 1).

A partir dos resultados das Tabelas 1 e 2, nota-se que houve variação de remoção em cada unidade experimental, interferindo na qualidade da água de reúso armazenada no reservatório, correspondente a mistura dos efluentes de todas as unidades experimentais dos dois sistemas. Em algumas unidades as concentrações de alguns dos elementos no afluente foram inferiores a dos efluentes em função da variação de remoção de cada unidade experimental. O acréscimo nas concentrações efluentes se deve a maior lixiviação desses elementos que estavam acumulados no solo pelo processo de adsorção e que foram liberados com a continuidade da aplicação do esgoto para tratamento.

Tabela 1. Concentrações de metais afluentes e efluentes às unidades *wetlands* construídos do Sistema 2 no início do ciclo da cultura do arroz.

Parâmetro	Concentração afluente (mg/L)	Concentração efluente (mg/L)			
		R1	R2	R3	Média
Cd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Zn	0,180	0,070	0,100	0,180	0,117
Ni	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014
Cu	0,019	0,007	0,004	0,005	0,005
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Pb	0,026	0,038	0,030	0,032	0,033
Mn	0,065	0,010	0,005	0,021	0,012
Co	0,012	0,012	0,010	0,012	0,011

Obs: manganês (Mn), níquel (Ni), cobalto (Co), Cobre (Cu), zinco (Zn), chumbo (Pb), Cromo (Cr) e Cádmio (Cd). R1, R2, R3 – Repetições 1, 2, e 3.

Tabela 2. Concentrações de metais afluentes e efluentes às unidades wetlands construídos do sistema 2, no final do ciclo da cultura do arroz.

Parâmetro	Concentração afluente (mg/L)	Concentração efluente (mg/L)			
		R1	R2	R3	Média
Cd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Zn	0,166	0,192	0,078	0,180	0,150
Ni	0,009	0,015	0,013	0,012	0,013
Cu	0,030	0,009	0,007	0,007	0,008
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Pb	0,054	0,044	0,046	0,050	0,047
Mn	0,068	0,058	0,062	0,046	0,055
Co	0,012	0,160	0,014	0,014	0,630

Obs: manganês (Mn), níquel (Ni), cobalto (Co), Cobre (Cu), zinco (Zn), chumbo (Pb), Cromo (Cr) e Cádmiu (Cd). R1, R2 e R3 – Repetições 1, 2 e 3.

Nota-se, pelas concentrações de Mn e Cu dos efluentes que as unidades experimentais dos dois sistemas apresentaram boa eficiência de remoção desses parâmetros, enquanto para o Zn, o sistema 1 foi mais eficiente que o sistema 2. Os sistemas não se mostraram eficientes na remoção de Ni, Co e Pb.

A disponibilidade dos metais no solo depende da forma química sob a qual o metal se apresenta e das características do solo como pH, teor de matéria orgânica (MO), CTC e percentagem de argila (Mulchi *et al.* 1991). Como pode ser observado na Tabela 3 a CTC e os teores de MO do solo, que eram baixos, passaram a aumentar após a aplicação do esgoto para tratamento e o pH reduziu, apresentando-se levemente ácido. Em função dessas condições grande parte de Ni, Co e Pb, que tinham sido acumuladas no solo foram lixiviadas para os efluentes, pois os solos eram pobres em MO e possuíam pH menor que 7,0, favorecendo a lixiviação desses elementos do solo.

Tabela 3. CTC, MO e pH na camada de 0-10cm dos solos antes e após o 1º ciclo de operação do wetlands Construídos do sistema 2.

Identificação das unidades	CTC (cmol/dm ³)	MO (g/kg)	pH
R1	3,9	6,52	7,3
R2	2,77	3,10	5,9
R3	4,08	6,31	6,5
R4	3,31	2,79	6,6
R5	3,63	3,62	6,1
R6	3,62	3,21	5,8
R7	3,29	3,93	6,2
R8	4,71	5,69	6,7
R9	2,96	4,86	5
MÉDIA	3,59	4,45	6,2
Antes da aplicação do esgoto	2,78	3,10	7,4

Obs: R1 a R9 – Repetições.

As concentrações de metais-traços de Pb, Cu, Mn, Ni e Zn presentes nos efluentes não impedem o lançamento destes efluentes em corpos d'água receptores, uma vez que estão abaixo dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 430/2011 (Tabela 4), que estabelece os padrões de lançamento de efluentes nos corpos d'água. Para o elemento Cobalto (Co) não existem padrões nesta resolução, supondo-se que o lançamento não comprometeria a qualidade do corpo d'água receptor.

Considerando os limites máximos permissíveis para os parâmetros inorgânicos (Tabela 4) de águas utilizadas para irrigação, de acordo com suas classes de uso, percebe-se que os efluentes produzidos pelas unidades

wetlands construídos, após 5 (cinco) meses de operação, apresentavam concentrações de metais-traços compatíveis com rios classificados em Classe 1 (Co, Mn e Ni) e Classe 3 (Cu), que podem ser destinados a irrigação de culturas. Contudo, as concentrações de Pb encontravam-se pouco acima dos limites aceitáveis para tal finalidade. Portanto, a reutilização desses efluentes na irrigação de outras culturas deve ser realizada de forma cautelosa, pois a presença do chumbo (Pb) poderá inibir o crescimento da planta que receberá essa água de irrigação.

Tabela 4. Máximos permissíveis da concentração de elementos conforme a resolução CONAMA nº 430/11 e 357/05.

Parâmetros inorgânicos	Máximos permissíveis (mg. L-1)			
	Lançamento (Res. CONAMA 430/11)	Irrigação (Res. CONAMA 357/05)		
		Classes		
		1	2	3
Chumbo (Pb)	0,5	0,010	0,010	0,033
Cobre (Cu)	1,0	0,009	0,009	0,013
Manganês (Mn)	1,0	0,100	0,100	0,500
Níquel (Ni)	2,0	0,025	0,025	0,025
Zinco (Zn)	5	0,180	0,180	5,000
Cobalto (Co)	-	0,050	0,050	0,200

No final da operação dos sistemas, notou-se que as concentrações de metais afluentes e efluentes (Tabela 5) foram inferiores aos limites de quantificação dos métodos e também àqueles estabelecidos pela Resolução nº 430/11 para lançamento nos corpos d'água (Tabela 4). Embora, os efluentes tenha apresentado concentrações de Ni e Pb, superiores (Tabela 5) àquelas estabelecidas para irrigação de culturas (Tabela 4), estas foram menores do que o limite de detecção dos métodos, impossibilitando a comparação com valores estabelecidos para irrigação de culturas.

Independente do tipo de planta utilizada, o desempenho das unidades *wetlands* construídas, a remoção de metais foi semelhante, com exceção do manganês, cujas unidades plantadas com a cultura do arroz se mostraram menos eficiente em removê-lo, promovendo o seu acúmulo no solo.

Tabela 5. Concentrações de metais (mg/L) do afluente e efluente dos *wetlands* construídos do sistema 2 no 4º ciclo de operação dos sistemas.

Parâmetro	Concentração afluente (mg/L)	Concentração efluente (mg/L)		
		Arroz	Feijão	Milho
Cádmio (Cd)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Zinco (Zn)	<0,02	<0,20	<0,20	<0,20
Níquel (Ni)	<0,16	<0,16	<0,16	<0,16
Cromo (Cr)	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07
Chumbo (Pb)	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Manganês (Mn)	0,08	0,31	<0,03	<0,03
Cobalto (Co)	<0,11	<0,11	<0,11	<0,11

Embora as concentrações afluentes e efluentes de metais estivessem abaixo dos limites de quantificação dos métodos, observa-se que houve acúmulo nos solos dos dois sistemas (Tabelas 6) não havendo diferenças significativas entre as unidades plantadas com as diferentes culturas (Arroz, Feijão e Milho), com exceção do manganês cujos solos do Sistema 1, acumularam uma maior quantidade.

Tabela 6. Concentrações de metais (mg/L) nas camadas de 0-10cm dos solos das unidades experimentais *wetlands* construídos do sistema 2, após o 4º ciclo de operação dos sistemas.

ID	Parâmetro						
	Cd	Zn	Ni	Cr	Pb	Mn	Co
1A	<0,49	11,30	<11,00	9,90	<4,50	30,40	<16,00
3A	<0,49	10,60	<11,00	8,20	<4,50	18,20	<16,00
5A	<0,49	14,10	<11,00	6,50	<4,50	27,90	<16,00
Média	<0,49	12,00	<11,00	8,20	<4,50	25,50	<16,00
2F	<0,49	10,40	<11,00	11,50	<4,50	20,40	<16,00
6F	<0,49	12,00	<11,00	<6,50	<4,50	26,90	<16,00
8F	<0,49	10,00	<11,00	<6,50	<4,50	19,10	<16,00
Média	<0,49	10,80	<11,00	8,17	<4,50	22,13	<16,00
4M	<0,49	10,50	<11,00	8,90	<4,50	17,30	<16,00
7M	<0,49	8,50	<11,00	<6,50	<4,50	11,90	<16,00
9M	<0,49	8,10	<11,00	<6,50	<4,50	11,80	<16,00
Média	<0,49	9,03	<11,00	7,30	<4,50	13,67	<16,00

Obs: A - Arroz; F - Feijão, M – Milho. Manganês (Mn), níquel (Ni), cobalto (Co), Cobre (Cu), zinco (Zn), chumbo (Pb), Cromo (Cr) e Cádmiio (Cd)

CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

Os *wetlands* construídos apresentaram eficiências baixas e variadas na remoção de metais traços. Entre os metais analisados, a eficiência ainda foi menor para o chumbo (Pb), cobalto (Co), manganês (Mn) e zinco (Zn). As pequenas concentrações acumuladas nos solos não comprometeram a sua qualidade.

Os efluentes apresentaram qualidade com relação a metais compatível com os padrões de lançamento em corpos d'água e somente as concentrações de Pb e Ni, encontravam-se acima daqueles estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/05 referentes a irrigação de culturas. Notou-se que dependendo das características do solo, como CTC, teor de MO e pH, os metais podem acumular-se nos solos e com o passar do tempo serem lixiviados para os efluentes aumentando as suas concentrações e em alguns casos impedindo o reuso dessas águas na agricultura.

Recomenda-se que as pesquisas continuem a fim de se observar o comportamento do sistema em condições diferenciadas de operação e de se obter parâmetros de projetos para sistemas *wetlands* construídos que utiliza como meio suporte o solo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Estabelece a classificação de águas doces, salobras e salinas. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 2005.
- BRASIL. Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 2005.
- MULCHI, C. L., ADAMU, C. A., BELL, P. F., CHANEY, R. L. Residual heavy metal concentrations in sludge-amended coastal plain soils: I. Comparason of extractants. Communications in Soil Science and Plant Analysis, London, v.22, p .919-941, 1991.
- ROSTON, D. M. e COLLAÇO, A. B. "Leitos cultivados: pneu picado como meio suport". Anais do 22º Congresso Brasileiro de Engenharia sanitária e ambiental, Joinville, Santa Catarina, Brasil, 2003.
- SALOMONS, W, FORTNNER, U, MADER, P. "Heavy Metal Problems and Solution". Springer Verlang, 412p, 1995.
- SILVA, S. C. "Wetlands Construídos" de Fluxo Vertical com Meio Suporte de Solo Natural Modificado no Tratamento de Esgotos Domésticos. Tese de Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos,



Publicação PTARH.TD-003/07, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 205p, 2007.

7. VAN KAICK, T. S. Estação de Tratamento de Esgoto por Meio de Zona de Raízes: Uma Proposta de Tecnologia Apropriada para Saneamento Básico no Litoral do Paraná. Dissertação de Mestrado, Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Universidade Federal do Paraná, 116p, 2002.