

II-116 - MECANISMO DE REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA EM WETLANDS CONSTRUÍDOS COM SOLO (LATOSSOLO VERMELHO AMARELO) NO TRATAMENTO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS

Selma Cristina da Silva⁽¹⁾

Engenheira Sanitarista e Ambiental – EP/UFBA. Especialização em Gerenciamento de Recursos Hídricos – EP/UFBA. Mestrado em Recursos Hídricos – DEC/UFCG. Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos – FT/UnB. Professora Adjunto I – CETEC/UFRB

Ricardo Silveira Bernardes

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.

Maria Lucrécia Gerosa Ramos

Graduação em Agronomia - UnB; MsC em Ciências Agrárias – UnB. Atualmente é Pesquisadora em propriedade industrial do Instituto Nacional da Propriedade Industrial e Professora da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da UnB.

Endereço⁽¹⁾: Rua José Lino de Queiroz, s/n, Apto 05 – Assembleia, Cruz das Almas – Ba – CEP: 44380-000 – Brasil – Tel: +55 (75) 3621-4314 Fax: +55 (75) 3621-9362 - e-mail scsilva00@yahoo.com.br.

RESUMO

Os *wetlands* construídos são sistemas desenvolvidos pelo homem que tentam imitar os processos ecológicos encontrados nos ecossistemas naturais (zonas úmidas, várzeas, brejos, banhados ou zonas alagadiças), nos quais a purificação dos esgotos é realizada pelo complexo: solo (meio suporte)-microrganismos-plantas por meio de mecanismos físicos, químicos e biológicos. Os meios suportes mais tradicionalmente utilizados são areia grossa, cascalho, pedregulho e brita. Nessa pesquisa foi utilizado como meio suporte o solo natural (Latossolo Vermelho-Amarelo) misturado com areia média lavada, na proporção, respectivamente, de 1,5:1,0 e a planta auxiliar no tratamento foi o arroz irrigado (*Oryza sativa* L.). As unidades experimentais foram representadas por bombonas plásticas com capacidade de 200L contendo tubulação de drenagem para coleta dos efluentes tratados e piezômetros para a medida da perda de carga dos solos. O esgoto foi aplicado nas segundas, quartas e sextas-feiras com alimentação por fluxo vertical sob regime não saturado e durante os outros dias as unidades experimentais ficavam em descanso para que ocorresse a aeração do solo. Foram realizadas análises de amostra dos esgotos afluente e efluentes produzidos pelas unidades experimentais *wetlands* construídos e controles com frequência de coleta das amostras quinzenal. As análises dos teores de matéria orgânica dos solos foram realizadas antes do início da aplicação dos esgotos e no final do primeiro ciclo da cultura do arroz. Os resultados mostraram que durante o início da aplicação do esgoto, houve uma redução nos teores de matéria orgânica (MO) nativa do solo. Esse fato deveu-se possivelmente a adição de resíduos orgânicos via esgoto que estimulou a atividade dos microrganismos decompositores, os quais além de consumir toda a matéria orgânica presente no esgoto, também, podem ter degradado a matéria orgânica nativa do solo. A atividade dos microrganismos decompositores aumentou proporcionalmente a taxa de aplicação de esgoto, porém taxas muito elevadas indicam uma tendência à inibição dessa atividade.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de Esgoto, *Wetlands* Construídos, remoção de Matéria Orgânica, Solo.

INTRODUÇÃO

Os *wetlands* construídos são sistemas desenvolvidos pelo homem que tentam imitar os processos ecológicos encontrados nos ecossistemas naturais (zonas úmidas, várzeas, brejos, banhados ou zonas alagadiças). Esses sistemas utilizam o princípio de solo úmido cultivado, no qual o solo ou outro meio suporte inerte (brita e areia grossa), os microrganismos e a zona de raízes das plantas são responsáveis pela despoluição das águas residuárias e podem desempenhar algumas funções semelhantes ao tratamento convencional dos esgotos domésticos, por meio de processos físicos, químicos e biológicos. O tratamento natural com sistemas *wetlands* construídos é mais indicado para pequenas comunidades. Nesse tipo de sistema é possível obter tratamento terciário em uma única unidade, com custos bastante reduzidos.

Esses sistemas são também conhecidos como: zonas de raízes (“root zone”), leito de raízes, (“reed beds”), leitos cultivados, terras úmidas artificiais, terras úmidas construídas, áreas alagadas construídas, leitos cultivados com macrófitas, fito-ETARs, fitolagunagem, filtros plantados com macrófitas, leitos percolantes cultivados e solo-planta. Nesses sistemas, o esgoto passa pela zona de raízes na área de terreno previamente preparada e plantada, possibilitando o contato do esgoto com as raízes das plantas que têm capacidade de permitir o movimento eficiente de oxigênio atmosférico até o sistema radicular através de espaços internos ociosos (aerênquimas). Desse modo, se estabelecem grandes quantidades de bactérias aeróbias hospedeiras em torno da área da raiz, que fornecem nutrientes para o desenvolvimento da planta, reduzindo a carga orgânica do esgoto e assim tratando-o. Nas áreas do solo afastadas da raiz predomina a anaerobiose favorecendo a desnitrificação do nitrato (Duarte, 2002). Essas áreas poderão ser aeróbias se o sistema for de fluxo vertical com a aplicação intermitente da carga hidráulica, se forem operados sob condições não saturadas. Nesse tipo de sistema, a transferência de oxigênio não é somente realizada pelas raízes, mas também, por difusão e/ou fluxo convectivo do ar.

Geralmente os meios suportes desses sistemas são de areia grossa, cascalho, pedregulho e brita. Porém já foram avaliados materiais inertes como pneus (Roston e Collaço, 2003) e conchas de ostra (van Kaick, 2002), os quais apresentaram eficiências satisfatórias na remoção de poluentes.

Estes sistemas possuem auto-sustentabilidade assegurada pelos benefícios financeiros e ambientais. Os financeiros ocorrem com a comercialização da biomassa vegetal e/ou dos grãos produzidos e com a redução dos custos, com a aquisição e o transporte de materiais quando utilizados aqueles existentes na própria comunidade. Os recursos arrecadados podem ser empregados na administração e manutenção dos sistemas. Os ambientais, evitando a contaminação dos corpos d’água superficiais pelo lançamento de esgotos com concentrações elevadas de poluentes e outros problemas que podem ser causados pelos desmatamentos e impermeabilização da área para a instalação de outros tipos de sistemas de tratamento.

Segundo Silvestre e Pedro-de-Jesus (2002), essa tecnologia possui condições para formar um sistema de tratamento bastante completo e eficiente. O seu sucesso já foi comprovado pelo seu histórico, pois os primeiros estudos sobre *wetlands* construídos iniciaram-se na Europa na década de 1950 e nos Estados Unidos na década de 1960 aumentando as pesquisas entre 1970 e 1980.

No Brasil, a utilização dos *wetlands* construídos vem sendo difundida, e estudada por diversas instituições de pesquisa: Instituto de Ecologia Aplicada (IEA) de Piracicaba – SP; Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina – EPAGRI; Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária – IPA; e universidades públicas – por meio do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB) e projetos de pesquisa e extensão, dos programas de pós-graduação, ampliando o número de espécies de macrófitas, meios suportes e formas de operação que podem ser utilizadas para estabelecer a melhor configuração do sistema. Contudo, o número de unidades implantadas ainda é limitado, embora a utilização desses sistemas para tratamento de esgotos domésticos tenha crescido nos últimos anos.

Nessa pesquisa foi utilizado como meio suporte o solo do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo, misturado com areia média, plantado ou não com arroz irrigado (*Oryza Sativa* L.). As unidades experimentais plantadas representavam as *wetlands* construídas e as sem plantas, os controles. Essas unidades foram alimentadas intermitentemente com esgoto doméstico primário durante um período de 9 (nove) meses.

Ao longo da aplicação dos esgotos domésticos para o tratamento, observou-se que a pequena quantidade de MO presente no solo, foi reduzida e aos poucos passou a ser acumulada novamente. A MO é a principal responsável pela CTC dos solos. Ela atua como reservatório de nutrientes (ex: cálcio, magnésio e potássio) melhorando o seu aproveitamento pelas plantas, amenizando assim, as perdas para as camadas mais profundas do solo.

A MO fornece carbono como fonte de energia para os microrganismos, promovendo a ciclagem de nutrientes; interage com metais, óxidos e hidróxidos metálicos, atuando como trocador de íons e estocadores de nitrogênio, fósforo e enxofre (Schnitzer, 1991 *apud* Martinazzo, 2006). Outra característica da MO é a liberação de ácidos orgânicos durante sua decomposição, que podem complexar o Al monomérico ou se ligar às cargas elétricas dos óxidos de ferro e alumínio, diminuindo assim, os sítios de adsorção de P (Haynes e Mokolobate, 2001 *apud* Martinazzo, 2006).

Nos esgotos domésticos, a MO é encontrada em solução - representada pelos sólidos orgânicos dissolvidos (rapidamente biodegradáveis), e em suspensão - relativa aos sólidos suspensos no meio líquido (lentamente biodegradáveis). A fração em solução é utilizada diretamente pelas bactérias heterotróficas - principais responsáveis pela redução da DBO nos sistemas de leitos cultivados (Valentim, 2003). A fração em suspensão é solubilizada pelo mecanismo de hidrólise, realizado pela atuação de enzimas intra e extracelulares produzidas pelas bactérias e que servem de catalisadoras nas reações de oxidação (Metcalf e Eddy, 1991).

Nos sistemas *wetlands* construídos os principais responsáveis pela remoção da matéria orgânica (MO) são os microrganismos (aeróbios, facultativos e anaeróbios) que a utiliza em seu ciclo vital, obtendo dela a energia necessária para síntese celular, mobilidade, transporte de materiais e outras funções. Logo, a matéria orgânica solúvel ou suspensa é removida pela degradação microbiana. Esses microrganismos são geralmente associados ao lodo ou película que se desenvolve na superfície das partículas do solo e da planta.

METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida a partir de três sistemas, cada um com 6 (seis) unidades experimentais, em escala reduzida, totalizando 18 (dezoito) unidades. Estas unidades eram representadas por uma bombona plástica cilíndrica (tambores) com capacidade de 200 litros, altura de 0,87m, diâmetro interno de 0,60m e com área superficial de 0,26 m².

Nos tambores foram feitos orifícios com diâmetros de 10 e 40mm onde se inseriram, respectivamente, os bicos metálicos e as tubulações de drenagem do esgoto tratado. Nos bicos metálicos, acoplaram-se os piezômetros para as medidas das perdas de carga os quais foram fixados em uma peça de madeira e alinhados em ordem crescente do primeiro ao último piezômetro.

As tubulações de drenagem funcionavam individualmente (em paralelo), porém eram interligadas por tubulações principais, com extremidades vedadas por capes, que coletavam os efluentes descartados de todas as unidades experimentais. Estas unidades eram apoiadas em plataformas de madeira sustentadas por pequenos pilares de tijolo.

Os sistemas foram instalados no pátio da Estação de Tratamento de Esgoto de Brasília – ETEB Norte, da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – CAESB. O esgoto afluente era proveniente do decantador primário.

Cada sistema era composto por três unidades experimentais plantadas (*wetlands* construídos) e três sem plantas (controle). Esses sistemas 1, 2 e 3 foram operados sob condição não saturada com taxa de aplicação hidráulica variável, respectivamente, 4cm/d, 8cm/d e 15cm/d e com alimentação intermitente alternada. Estas taxas foram aplicadas nas segundas, quartas e sextas-feiras, durante os nove meses. Os dias de descanso favoreciam a aeração dos solos, necessária à oxidação do nitrogênio total a nitrato (nitrificação).

O meio suporte utilizado foi o solo natural (Latossolo Vermelho-Amarelo) misturado com areia média, na proporção, respectivamente, de 1,0:1,5 para garantir uma condutividade hidráulica adequada necessária ao tratamento. A planta auxiliar no tratamento foi o arroz (*Oryza sativa* L.).

As sementes do arroz (*Oryza sativa* L.) foram semeadas na Estação Biológica da UnB em um canteiro de 5m de comprimento, 0,80m de largura e 0,10m de altura, deixando 0,01m de borda livre para evitar perdas de solo e de água durante a irrigação. O solo foi adubado e posteriormente procedeu-se a semeadura e saturação do solo para facilitar a germinação. Posteriormente foram abertas covas no solo ao longo do canteiro e cada uma recebeu 7 (sete) sementes, a uma profundidade de aproximadamente 1,0 cm. O canteiro foi irrigado duas vezes por dia. A germinação ocorreu 9 (nove) dias após a semeadura. O transplante das mudas para as unidades experimentais foi efetuado 25 (vinte e cinco) dias após a germinação quando essas unidades passaram a receber o esgoto para tratamento.

A aplicação dos esgotos nas unidades experimentais foi por fluxo vertical e o monitoramento dos processos de remoção de matéria orgânica, realizado por meio de análises de amostras do esgoto afluente e dos efluentes com frequência quinzenal, bem como de análises de amostras das camadas de 0-5cm dos solos utilizados como substratos (meios suportes) antes e após o primeiro ciclo da cultura do arroz.

O procedimento de coleta, preservação das amostras e análises das amostras dos afluentes e efluentes aos sistemas foi realizado com base nas recomendações e métodos do “Standard Methods for Examination of Water and Wastewater” (APHA-AWWA-WPCF, 1985).

As análises dos teores de matéria orgânica (MO) dos solos foram realizadas pelo laboratório da empresa Solo Química. A metodologia de análise seguiu os procedimentos do “Manual de Métodos de análise química para avaliação da fertilidade do solo” da EMBRAPA.

RESULTADOS

A remoção da MO presente no esgoto ocorreu a partir do processo de mineralização pelos microrganismos decompositores produzindo e liberando gases como N_2 ou N_2O e CO_2 para a atmosfera e pelo acúmulo no solo.

No período estudado, foram lixiviadas para os efluentes concentrações médias de DBO inferiores a 3mg/L (Tabela 1).

Tabela 1. Concentrações médias afluentes e efluentes \pm desvio padrão, e eficiências médias de remoção de DBO das unidades *wetlands* construídos e controles dos sistemas 1, 2 e 3 (Dez/05-Abr/06).

Sistema	qh (cm/d)	Wetlands construídos		Controles	
		mg/L	%	mg/L	%
1	4	$1,58 \pm 1,41$	98,95	$1,44 \pm 1,64$	99,04
2	8	$1,17 \pm 0,78$	99,22	$1,60 \pm 1,12$	98,94
3	15	$1,32 \pm 1,30$	99,12	$0,96 \pm 0,86$	99,36
Concentração de DBO afluente (mg/L)		$150,45 \pm 30,30$			

qh – Taxa de aplicação hidráulica do esgoto.

As eficiências médias de remoção das unidades *wetlands* construídos e controles variaram entre, aproximadamente, 97 e 99%. Os efluentes produzidos possuíam concentrações de DBO comparáveis àquelas estabelecidas pela Resolução CONAMA 357/05 (Brasil, 2005) para rios de classes 1 e 2 que devem conter, no máximo, respectivamente, 3 e 5mg/L de DBO.

• Acúmulo e mineralização da MO nos solos

Durante os primeiros cinco meses de operação dos sistemas houve redução dos teores de MO dos solos (Tabela 2).

Tabela 2. Quantidade de MO adicionada via aplicação do esgoto e aquela remanescente na camada de 0-5cm do solo, após o 1º ciclo da cultura do arroz (Dez/05-Abr/06).

Sistema	qh (cm/d)	Teor de MO (g MO/kg de solo)		MO remanescente no solo (g MO/kg de solo)	
		Efluente	Solo + esgoto	Wetland construído	Controle
1	4	0,33	7,73	5,20	3,27
2	8	0,73	8,13	6,47	6,63
3	15	1,34	8,74	7,20	7,07
MO no solo antes da aplicação do esgoto (g/kg de solo)		7,40			

qh – Taxa de aplicação hidráulica do esgoto.

Nos período em questão (1º ciclo da cultura do arroz - Dez/05-Abr/06), os microrganismos edáficos estavam se readaptando às novas condições ambientais as quais os solos foram expostos pela aplicação do esgoto. Nesse novo ambiente, possivelmente houve um desequilíbrio na população de microrganismos e a MO presente no esgoto não foi suficiente para o metabolismo e eles então, passaram a utilizar a MO nativa do solo (Tabela 2).

O decréscimo e acréscimo nos teores de MO do solo refletiram nos teores de COT, reduzindo-os (Tabela 3), o que se denomina de “positive priming effect” ou efeito “priming” positivo (Silva, 2005).

Tabela 3. Quantidade de COT adicionada via aplicação do esgoto e aquela remanescente na camada de 0-5cm, após o 1º ciclo da cultura do arroz (Dez/05-Abr/06).

Sistema	qh (cm/d)	COT remanescente no solo (g/kg de solo)		C Biomassa (mg/kg de solo)				C perdido (mg CO ₂ /kg de solo.dia)			
		Wetland construído	Controle	Wetland construído		Controle		Wetland construído		Controle	
				mg/kg	%	mg/kg	%	mg/kg	%	mg/kg	%
1	4	3,43	2,80	38,68 aA	1,13	58,71 aA	1,43	6,03	0,18	3,34	0,08
2	8	3,37	3,87	82,18 aB	2,44	146,09 bB	3,77	11,17	0,33	8,90	0,23
3	15	4,20	4,10	83,77 aB	1,99	109,16 bC	2,66	15,06	0,36	14,66	0,38
COT (g/kg) no solo Antes da aplicação do esgoto		4,3									

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas linhas (comparação entre *wetlands* e controles) e as maiúsculas nas colunas (comparação entre as taxas de aplicação do efluente), não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); qh – Taxa de aplicação hidráulica do esgoto; qh – Taxa de aplicação hidráulica do esgoto.

Nas unidades *wetlands* construídos, a imobilização microbiana do C na camada de 0-5cm dos solos do sistema 1 foi significativamente maior do que nos sistemas 2 e 3, cujas quantidades imobilizadas não apresentaram diferenças significativas entre si. Nos controles, com o aumento da taxa de aplicação, a quantidade de C imobilizada pelos microrganismos entre os sistemas aumentou significativamente, enquanto nos *wetlands* construídos a quantidade de C imobilizado no sistema 1 foi significativamente maior do que a imobilizadas pelos sistemas 2 e 3 (Tabela 3).

Aplicando-se uma taxa de esgoto de 4cm/d, a influência da planta sobre a imobilização microbiana do C na camada de 0-5cm dos solos não foi significativa. Porém, aplicando-se taxas superiores (8 e 15cm/d), notou-se que com a presença da planta, a quantidade de C imobilizada reduziu significativamente.

• Atividade microbiana

De acordo com os resultados da Tabela 4, dobrando-se a taxa de aplicação de esgoto de 4cm/d para 8cm/d nos *wetlands* construídos (com planta), a atividade microbiana quase duplicou, aumentando em, aproximadamente, 85%. O acréscimo na atividade microbiana, quando praticamente se dobra a taxa de 8cm/d para 15cm/d, foi somente, aproximadamente, de 35%. Isso mostra a tendência do aumento da taxa de esgoto aplicada, passar a não causar efeito significativo, ou, até mesmo inibir a atividade microbiana.

Tabela 4. Médias dos valores da atividade microbiana nas camadas de 0-5 dos solos das unidades *wetlands* construídos e controles dos sistemas 1, 2 e 3, após o 1º ciclo da cultura do arroz Dez/05-Abr/06.

Sistema	qh (cm/d)	Wetlands construídos	Controles
1	4	6,03 bA	3,34 aA
2	8	11,17 bB	8,90 aB
3	15	15,06 aC	14,12 aC

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas linhas (comparação entre *wetlands* e controles) e as maiúsculas nas colunas (comparação entre as taxas de aplicação do efluente), não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); qh – Taxa de aplicação hidráulica do esgoto.

Nos solos dos controles (sem planta) o aumento da taxa de aplicação de 8cm/d para 15cm/d proporcionou um acréscimo na atividade microbiana de 65%. Esses resultados sugerem que um aumento exagerado na taxa de aplicação de esgoto em solos plantados pode inibir a atividade microbiana, enquanto que em solos sem planta se tem maior flexibilidade para acréscimos das cargas a serem aplicadas.

CONCLUSÕES

- Apesar de ter ocorrido inicialmente um decréscimo nos teores de MO e C nos solos, ao longo do segundo ciclo da cultura do arroz, foi observado um gradativo aumento dos teores de MO e C nos solos, passando a melhorar as suas propriedades.
- A menor imobilização microbiana do C nos solos plantados (*wetlands* construídos) contribui para o controle da colmatação do solo;
- A maior atividade microbiana favoreceu a ciclagem mais rápida dos nutrientes;
- A aplicação de taxas elevadas de esgoto em áreas pequenas pode reduzir a eficiência do tratamento dos esgotos em curto prazo, uma vez que limita a atividade microbiana, que tem papel fundamental no processo de remoção de poluentes, pois os resultados dessa pesquisa mostraram que a aplicação de grandes cargas de esgotos causa maior inibição da atividade microbiana em solos plantados (*wetlands* construídos) do que em solos sem planta (controles).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA-AWWA-WPCF: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 16th edition, American Public Health Association, Washington, DC, 1268p, 1985.
2. 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.
3. Duarte, S. Estudo das Potencialidades das Zonas Húmidas Artificiais no Tratamento de Efluentes Aquícolas, Monografia de final de Curso, Departamento de Engenharia Biológica e Química, Licenciatura em Engenharia do Ambiente, Portugal, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 2002.
4. Martinazzo, R. Diagnóstico da Fertilidade de Solos em Áreas sob Plantio Direto Consolidado. Dissertação de mestrado, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, 84p, 2006.
5. Metcalf e Eddy. Wastewater Engineering Treatment, Disposal and Reuse. 3 Ed. New York. McGraw-Hill. 1334p, 1991.
6. Roston, D. M. e Collaço, A. B. Leitões cultivados: pneu picado como meio suporte. Anais do 22º Congresso Brasileiro de Engenharia sanitária e ambiental, Joinville, Santa Catarina, Brasil, 2003.
7. Silva, F. A. M. Qualidade de compostos orgânicos produzidos com resíduos do processamento de plantas medicinais. Tese de Doutorado, Faculdade de Ciências Agronômicas, Departamento de Energia na Agricultura, Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", 102p, 2005.
8. Silvestre, A. e Pedro-de-Jesus, M. Tratamento de Águas Residuais Domésticas em Zonas Húmidas Artificiais. Monografia de Final de Curso, Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Biológica e Química, 2002.
9. Valentim, M. A. A. Desempenho de Leitões Cultivados ("Constructed Wetland") para Tratamento de Esgoto: Contribuições para Concepção e Operação. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 233p, 2003.
10. van Kaick, T. S. Estação de Tratamento de Esgoto por Meio de Zona de Raízes: Uma Proposta de Tecnologia Adequada para Saneamento Básico no Litoral do Paraná. Dissertação de Mestrado, Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Universidade Federal do Paraná, 116p, 2002.