

AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICA DO ESGOTO SANITÁRIO TRATADO EM SISTEMA ALAGADO CONSTRUÍDO EM ESCOCAMENTO VERTICAL (SAC-EV) EM DIFERENTES CAMADAS DO LEITO

Marcelo Dayron Rodrigues Soares (*), Pedro Henrique Rodrigues Gonçalves, Diogo André Pinheiro da Silva, Jonilson Michel Fontes Galvão, Harumy Sales Noguchi

* Instituição de Educação, Agricultura e Ambiente – IEAA/UFAM, e-mail: marelo.dayron@gmail.com

RESUMO

No Brasil a quantidade de esgoto sem tratamento lançados nos corpos receptores é expressivo, o gerenciamento inadequado dos resíduos líquidos causam vários efeitos ao ambiente e a saúde pública. O custo de uma implantação e operação de um sistema de tratamento de esgoto no país ainda configura-se como item crítico. Com base no contexto, o presente estudo teve por objetivo avaliar as características físico-químicas do esgoto sanitário tratado em Sistema Alagado Construído em Escoamento Vertical (SAC – EV) em diferentes camadas do leito composto por duas unidades que operam em paralelo. O SAC – EV foi preenchido com 20 cm de pedra britada nº3; 20 cm de pedra britada nº2 e 20 cm de pedra britada nº1, resultando em uma altura útil de 60 cm de meio suporte (leito). A pesquisa foi desenvolvida em duas etapas. Na primeira foi considerada a fase de aclimatação do sistema. O SAC-EV foi alimentado com esgoto sanitário proveniente da instituição, adquirido da própria fossa, em seguida a realização das análises físicas. Na segunda etapa foi realizada as análises químicas e a investigação experimental visando a remoção de material orgânico e nutrientes. O estudo buscou comparar os parâmetros físico-químicos na recirculação do SAC-EV investigando a sua eficiência na redução de poluentes. A pesquisa foi realizada no período chuvoso. O desempenho e a eficiência do sistema alago construído em escoamento vertical (SAC-EV) foi comprovado, pois a maioria dos parâmetros físico-químicos permaneceram dentro do limite estabelecido pela resolução vigente a CONAMA nº430/ 2011, capazes de satisfazer os requisitos para lançamento de efluentes.

PALAVRAS-CHAVE: Esgoto sanitário, esgoto doméstico, logo de esgoto, efluentes líquidos.

INTRODUÇÃO

A coleta e o tratamento de esgotos, ainda hoje é um desafio no mundo. No Brasil, o índice de atendimento da população total com coleta de esgotos é de apenas 46,2% (SNIS, 2012) e os sistemas individuais de tratamento, como os tanques sépticos, têm sido uma alternativa para destinar adequadamente os efluentes domésticos.

Os sistemas alagados construídos procuram simular algumas das funções de sistemas alagados naturais, em particular a capacidade de degradar matéria orgânica e conter nutrientes, por meio da combinação dos mecanismos físicos, químicos e biológicos encontrados nos ecossistemas alagados naturais (MARQUES, 1999).

Os SACs são reservatórios preenchidos com materiais porosos, de alta condutividade hidráulica, geralmente constituídos por brita, que servem de suporte para o cultivo de macrófitas. No meio suporte, desenvolve-se um biofilme entremeado pelas raízes das plantas que proporciona a degradação de parte da matéria orgânica em solução, além da remoção, por meio de processos físicos, de sólidos sedimentáveis e sólidos suspensos. Assim, no sistema meio poroso-planta — microrganismos, ocorre a depuração dos resíduos (CHAGAS et al., 2012).

Para Haberl (1999), os sistemas de wetlands construídas estão entre as mais promissoras tecnologias para o pós-tratamento de águas residuárias anaerobiamente pré-tratadas, e pode ser aplicada em países em desenvolvimento. Tais

sistemas possuem algumas características importantes, como a utilização de recursos naturais, construção simples, operação e manutenção simplificadas.

A tecnologia de tratamento de águas residuárias em área alagada construída tem crescido muito desde a década de 70. A técnica está baseada em processos bióticos e abióticos. Os processos bióticos contemplam a ação de microrganismos, que crescem aderidos à fração sólida do substrato ou na raiz e no colo das plantas, de mineralizar o material orgânico presente na água residuária, transformar formas químicas (ex. nitrificação-desnitrificação) e das plantas em absorver nutrientes colocados em solução no meio. Os processos abióticos incluem a precipitação química, sedimentação e adsorção de íons no substrato (LIN et al, 2005).

Em geral, os SACs removem poluentes por meio de processos físicos, como precipitação, sedimentação, filtração e processos biogeoquímicos que reciclam e transformam alguns elementos químicos, como o carbono, o fósforo, o nitrogênio, entre outros. Nos SACs cultivados, o nitrogênio é mobilizado pelos processos físicos de sedimentação e suspensão de partículas, deposição a partir da atmosfera, difusão das formas dissolvidas, assimilação e translocação pelas plantas, volatilização da amônia, adsorção de nitrogênio solúvel pelo meio suporte, migração de organismos e acumulação resultante do decaimento da planta (KADLEC & WALLACE, 2008).

A hipótese desta pesquisa envolve um sistemas de tratamentos de esgoto sanitário de fácil implementação e operação, adequados para cidades de pequeno porte com elevado potencial de aplicação que têm a necessidade de um estudo aprofundado. Neste contexto, os Sistemas Alagados Construídos de Escoamento Vertical -SAC-EV, apresentam-se como uma tecnologia de tratamento natural de baixo custo de implementação, manutenção e operação, além de ser altamente eficaz no tratamento de esgoto sanitário. Desse modo o estudo visa avaliar as características físicas e químicas de esgoto sanitário por meio do tratamento em sistema alagado construído de escoamento vertical.

OBJETIVOS

GERAL

Avaliar as características físico-químicas do esgoto sanitário tratado em Sistema Alagado Construído em Escoamento Vertical (SAC – EV) em diferentes camadas do leito.

ESPECÍFICOS

- I. Avaliar as características físicas do esgoto sanitário no decorrer da infiltração do efluente em cada camada do SAC-EV;
- II. Avaliação das características químicas do esgoto sanitário no decorrer da infiltração do efluente em cada camada do SAC-EV;
- III. Comparara os parâmetros físico-químicos na recirculação do segundo SAC-EV.

METODOLOGIA

O trabalho visou avaliar o tratamento de esgoto sanitário doméstico em Sistema Alagados Construídos em Escoamento Vertical (SAC-EV), composto por duas unidades com escoamento vertical e que operam em paralelo. Esse sistema, segue as características típicas do Sistema Francês (French system) e será projetado de acordo com as recomendações detalhadas por MOLLE et al. (2005) e AERMC (2005).

4.1 Construção do sistema piloto

A figura 1 apresenta a unidade experimental construída ao nível do solo utilizando 2 caixas d'água com volume de 500 L, altura de 80 cm e diâmetro de 110 cm. O material suporte utilizado foi selecionado em função das faixas

granulométricas de brita, areia grossa e areia fina. Desta forma, a Tabela 1 apresenta a altura dos leitos e o material suporte com suas respectivas granulometrias. O SAC-EV foi projetado para receber efluente do tanque séptico do IEAA com vazão de 0,081 L/s.



Figura 1 - Locação do projeto antes do início das atividades e depois de ser implantado.

A – Sistema filtro aeróbio antes da locação do SACV; B – Sistema alagado construído implantado no lugar do filtro aeróbio em operação.

Tabela 1. Composição granulométrica do leito filtrante das unidades do SACV

Camadas	Altura do leito	Fração	Diâmetro médio (mm)
Superior	5cm	Areia fina	0,3
Transição	20cm	Areia grossa	3 - 12
Drenagem	40 cm	Brita	20 - 60

Foram escolhidas tubulações de PVC de 50 mm para o sistema hidráulico das unidades do SAC-EV, para alimentar com efluente do TS e coletar o efluente tratado com tubos perfurados nas laterais dispostos na extensão rente ao fundo do SAC-EV (Figura 2).



Figura 2 - Sistema hidráulico do SACV A - Registro manual para regulagem da vazão; B – Entrada do efluente no SACV.

4.2 Condições de operação do sistema piloto e monitoramento

A pesquisa foi desenvolvida em duas etapas. Na primeira foi considerada a fase de aclimatação do sistema. O SAC-EV foi alimentado com esgoto sanitário proveniente da UFAM/IEAA, adquirido da própria fossa, e realizada alimentação do sistema duas vezes por semana, permanecendo saturado para aperfeiçoar o desenvolvimento do biofilme no meio suporte e promover boa adaptação e crescimento do capim *Brachiaria subquadriflora*. Após a adaptação do vegetal no sistema foi feita a colheita para análise do tecido vegetal com intuito de avaliar a eficiência de remoção da matéria orgânica e nutrientes.

Na segunda etapa foi realizada a investigação da qualidade do efluente em cada leito do sistema para as seguintes análises físico-químicas: pH, temperatura, Condutividade elétrica, Sólidos totais, Sólidos em suspensão voláteis, Turbidez, Oxigênio dissolvido, Nitrogênio Total, Demanda bioquímica de oxigênio e Fósforo. A Tabela 2 apresenta os parâmetros analisados e a metodologia utilizada.

Foi realizada uma coleta no período chuvoso para cada leito do SAC – EV totalizando em 4 amostras.

Tabela 2. Parâmetros analisados e métodos utilizados.

Parâmetro Avaliado	Unidade	Método Analítico
pH	-	Potenciométrico
ST	mg/L	Gravimétrico
Turbidez	mg/L	Espectrofotométrico – Salicilato
DBO ₅	mg/L	Método Sulfanilínico
OD	mg/L	Eletrométrico
P	mg/L	Espectrofotômetro
NT	mg/L	Titulométrico
Coliformes termotolerantes	NMP/100L	

pH – Potencial hidrogeniônico; T – Temperatura; CE – Condutividade elétrica; DBO – Demanda bioquímica de oxigênio; OD – Oxigênio dissolvido; NT – Nitrogênio Total; P – Fósforo.

RESULTADOS/DISCUSSÃO

A síntese dos resultados do monitoramento dos parâmetros físico-químicos está disposta na Tabela 3, contendo as médias aritméticas de cada parâmetro analisado. É notório que em geral, as mudanças na operação do sistema em cada leito e a presença das plantas foram fundamentais para o seu desempenho, já que ocorreu uma queda nos valores das concentrações de efluentes e um aumento da eficiência de remoção de poluentes.

Tabela 3. Resultados das análises dos parâmetros físico-químicos no período chuvoso.

Parâmetros	Unidade	P1	P2	P3	P4
pH	-	7,8	7,6	7,6	7,0
ST	mg/L	250	220	200	190
Turbidez	mg/L	68,1	34,3	33,1	24,4
DBO ₅	mg/L	55,29	28,32	27,64	27,29
OD	mg/L	2,0	2,1	4,1	4,3
P	mg/L	10,65	9,55	8,15	5,35
NT	mg/L	10,21	16,81	9,51	3,15
Coliformes termotolerantes	NMP/100L	3,2x10 ⁵	2,8x10 ⁴	1,9x10 ⁴	1,4x10 ⁴

pH – Potencial hidrogeniônico; T – Temperatura; CE – Condutividade elétrica; DBO – Demanda bioquímica de oxigênio; OD – Oxigênio dissolvido; NT – Nitrogênio Total; P – Fósforo.

Potencial Hidrogeniônico

Os valores de pH apresentaram diminuição do ponto P1 até P4. Essa diminuição, segundo Von Sperling (2005), é devido as bactérias formadoras de ácidos que fracionam a matéria orgânica e produz ácidos voláteis, resultando, conseqüentemente, em aumento de acidez do meio e redução de pH. A diminuição do pH explica a presença de microrganismos no sistema.

O pH é um parâmetro importante em muitos estudos no campo do saneamento ambiental por influir em diversos equilíbrios químicos que ocorrem naturalmente ou em processos unitários de tratamento de efluentes (CETESB, 2009). O resultado do pH apresentou variação entre 7,0 a 7,8 mantendo o caráter neutro (pH = 7), o que também está dentro do esperado para efluentes de esgoto sanitários de acordo com Von Sperling (2005). Os valores do efluente tratado encontram-se dentro do exigido pela resolução CONAMA nº 430/2011 que estabelece faixa para lançamento de efluente com pH dentro 5 á 9.

SÓLIDOS TOTAIS

De acordo com Piveli (2010), os sólidos totais estão dentre os parâmetros utilizados para caracterizar fisicamente as águas. Embora sejam parâmetros físicos, fornecem indicações preliminares importantes para a caracterização da qualidade química da água, como os níveis de sólidos em suspensão, e as concentrações de sólidos dissolvidos.

Ao longo do tratamento, foi notado o decaimento das concentrações de sólidos totais. Observe-se que o valor do P3 (200 mg/L) ficou próximo ao do P4 (190 mg/L), isso indica que toda a remoção aconteceu no P3.

TURBIDEZ

A turbidez representa a propriedade óptica de absorção e de reflexão da luz, e serve como um importante parâmetro das condições adequadas para consumo da água. A turbidez é causada por partículas sólidas em suspensão, como argila e matéria orgânica, que forma colóides e interferem na propagação de luz pela água.

Dentro do sistema é possível notar um considerável decaimento dos índices de turbidez partindo do ponto P1 (68,1 mg), passando posteriormente pelos pontos P2 (34,3 mg), P3 (31,1 mg) até chegar ao ponto P4 (24,4 mg). Contudo, não foi possível atingir o valor máximo permitido que é de 5 NTU, por vezes convertida em mg.

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO

A demanda química de oxigênio (DQO) determina a quantidade de oxigênio dissolvido equivalente à quantidade de matéria orgânica (MO) possível de ser oxidada por um agente oxidante forte. Esse agente comumente utilizado é o dicromato de potássio em meio ácido, que na presença do catalizador sulfato de prata, oxida de uma única vez as espécies de carbono orgânico e inorgânico presente na amostra. A DQO é um dos parâmetros mais utilizados para se avaliar o grau de poluição dos corpos receptores e de efluentes. (DUBBER; GRAY, 2010; BARCELLA, 2016).

Houve um decaimento nos valores de DBO do ponto P1 até P2. Do ponto P2 até P4 a variação foi pequena, O decaimento deste parâmetro mostra que a matéria orgânica está sendo consumida, e conseqüentemente está ocorrendo uma diminuição da carga de matéria orgânica.

OXIGÊNIO DISSOLVIDO

O oxigênio dissolvido (OD) refere-se ao oxigênio molecular (O₂) dissolvido na água. É um parâmetro que caracteriza a qualidade da água, havendo uma concentração de saturação em água relacionada com as variáveis da pressão atmosférica, da salinidade, temperatura e das atividades biológicas e, de forma indireta, de interferências antrópicas, como o lançamento de efluentes nos cursos d'água. A unidade de OD utilizada é mg/L (PINTO, 2007).

Ao avaliar a concentração de OD no sistema de tratamento SAC-EV verificou-se que o menor valor obtido foi em P1 (2,0 mg). Durante a passagem pelas outras camadas do sistema o ponto P2 apresentou (2,1 mg). No SAC-EV onde foram verificados os pontos P3 e P4, constatou-se um aumento expressivo dos valores médios de OD 4,1 e 4,3 mg/L. Isso devido a presença da vegetação atribuindo principalmente ao transporte do gás ao sistema de raízes e à rizosfera através do seu tecido formado por arênquimas (LAWSON, 1985; STOTTMEISTER *et al.*, 2003).

FÓSFORO

Mota e Von Sperling (2009) afirmam que o fósforo não apresenta implicações sanitárias na qualidade da água. Entretanto, sua importância está associada principalmente por ser um nutriente essencial para o crescimento dos microrganismos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica e por ser indispensável para o crescimento de algas, podendo, por isso, em certas condições, conduzir a fenômenos de eutrofização acelerada.

Os valores referentes as concentrações de Fósforo no sistema estão apresentados na tabela 3. Os pontos P1, P2, P3 apresentaram valores consideravelmente altos 10,65, 9,55 e 8,15 mg/L, respectivamente, todavia, isso provavelmente ocorreu devido a rotina de alunos e funcionários da Universidade que utilizam bastante produtos como detergente e sabão líquido que contém fosfatos em sua composição, para realizarem a limpeza do local e em processos de higienização. Já no ponto P4 5,35 mg/L notou-se uma satisfatória redução na concentração de Fósforo, tudo isso graças a cobertura da vegetação que possibilitou a remoção desse parâmetro. De acordo com Chung *et al.* (2007) a presença das plantas poderia efetivamente remover fosfatos (P-PO₄-) pois este está prontamente disponível para a absorção.

NITROGÊNIO

Observou-se uma variação consideravelmente alta nos valores de nitrogênio dentro do sistema SAC-EV. Ao adentrar no sistema passando pelo ponto P1 até P2 houve um crescimento no valor deste parâmetro de 10,21 até 16,81 mg/L, em seguida ao passar pelos pontos P3 e P4 onde apresentou valores médios de 9,51 e 3,15 mg/L onde houve uma redução aceitável nos valores deste parâmetro. Podemos associar esse decaimento ao desenvolvimento da vegetação dentro do sistema, uma vez que esta fez o uso metabólico deste elemento para se desenvolver e crescer.

COLIFORMES TERMOTOLERANTES

Os resultados de coliformes termotolerantes apresentam decaimento em seu valor com médias $3,2 \times 10^5$, $2,8 \times 10^4$, $1,9 \times 10^4$, $1,4 \times 10^4$. Mesmo com a redução dos valores de Coliformes estudados pelo SAC, tais valores ainda se encontram acima dos valores exigidos pela Resolução (CONAMA nº 274, 2000), a qual determina que não deverá ser excedido um limite de 200 coliformes termotolerantes por 100 mililitros de água.

CONCLUSÃO

O desempenho e a eficiência do sistema alago construído em escoamento vertical (SAC-EV) foi comprovado, pois a maioria dos parâmetros físico-químicos permaneceram dentro do limite estabelecido pela resolução vigente a CONAMA nº430/ 2011, capazes de satisfazer os requisitos para lançamento de efluentes, indicando a confiabilidade desse sistema.

No decorrer do estudo foi notado também o desempenho das plantas dentro do sistema alago construído, onde indubitavelmente tiveram influência direta na remoção de matéria orgânica. Contudo, para confirmar ainda mais a eficiência da *Brachiaria subquadripara*, seria necessário um estudo mais detalhado acerca desta vegetação na remoção de matéria orgânica dentro de um sistema SAC-EV.

O SAC-EV apresentou desempenho similar com ao encontrado em bibliografia. O sistema também apresentou um custo relativamente baixo e uma fácil implantação, sendo possível a instalação em cidades pequenas para que possam dispor de um tratamento de esgoto sanitário eficiente.

Espera-se que muitas outras pesquisas acerca deste tema possam ser feitas e que os pesquisadores estudem mais a fundo essa estratégia.

REFERÊNCIAS

1. BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**, n. 239, de 14 de dezembro de 2011, p. 39-46. Brasília, 2011.
2. CHAGAS, R.C.; MATOS, A.T.; CECON, P.R.; LO MONACO, P.A.V.; ZAPAROLLI, B.R. Remoção de coliformes em sistemas alagados construídos cultivados com lírio-amarelo (*Hemerocallis fava*). **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.20, n.02, p.142-150, mar./abr. 2012.
3. CHUNG, A. K. C. Nitrogen and phosphate mass balance in a sub-surface flow constructed wetland for treating municipal wastewater. *Ecol. Eng.*, 2007.
4. DORNELAS, F. L. **Avaliação do desempenho de wetlands horizontais subsuperficiais como pós-tratamento de efluentes de reatores UASB**. Dissertação de mestrado do Programa de pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, UFMG. 2008.

5. KADLEC, R.H.; WALLACE, S.D. Treatment wetlands. 2 ed. Boca Raton: CRC Press, 2008. 1.016p.
6. LANA, L. C. O. **Remoção de poluentes em um sistema alagado construído de escoamento vertical com alimentação em pulso**. Dissertação - Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) - Programa de pós-graduação em saneamento, meio ambiente e recursos hídricos. Belo Horizonte, 2013.
7. LAWSON, G. J. **Cultivating reeds for root zone treatment of sewage**. Project Report 965, Inst. Terrestrial Ecol., Cumbria, UK. 1985.
8. LIN, Y.F. et al. Performance of a constructed wetland treating intensive shrimp aquaculture wastewater under high hydraulic loading rate. **Environmental Pollution**, v.134, pp.411-421, 2005.
9. MARQUES, D. M. Terras úmidas construídas de fluxo subsuperficial. In: CAMPOS, J. R (Coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Projeto PROSAB, Rio de Janeiro, ABES, p 409-435, 1999.
10. MOLLE, P.; LIÉNARD, A.; BOUTIN, C.; MERLIN, G.; IWEMA, A. How to treat raw sewage with constructed wetlands: an overview of the French systems. **Water Science & Technology**, v.51, n.9, p.11-21, 2005.
11. SNIS, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2010**. MCIDADES. Brasília: 448 p. 2012.
12. STOTTMEISTER, U. *et al.* Effects of plants and microorganisms in constructed wetlands for wastewater treatment. **Biotechnology Advances**, 22, p. 93-117. 2003.
13. VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: princípios básicos do tratamento de esgotos**. 2. ed. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 2005. 211 p.
14. CETESB. **Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas de Amostragem**. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. São Paulo, p. 44. 2009.
15. PIVELI, P. D. R. P. **Aula 10 - Oxigênio Dissolvido e Matéria Orgânica em Águas**. [s. l.], p. 12. 2010.
16. PINTO, M. C. F. **Manual medição in loco**. 2007. Disponível em:
<http://www.cprm.gov.br/pgagem/manual_medicoes_T_%20pH_OD.pdf>. Acesso em: 18 out. 2019.
17. LAWSON, G. J. **Cultivating reeds for root zone treatment of sewage**. Project Report 965, Inst. Terrestrial Ecol., Cumbria, UK. 1985.

-
18. CHUNG, A. K. C. Nitrogen and phosphate mass balance in a sub-surface flow constructed wetland for treating municipal wastewater. *Ecol. Eng.*, 2007.
 19. STOTTMEISTER, U. *et al.* Effects of plants and microorganisms in constructed wetlands for wastewater treatment. *Biotechnology Advances*, 22, p. 93-117. 2003.