

II-287 – INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO NAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS EM SISTEMA ALAGADO CONSTRUÍDO DE ESCOAMENTO HORIZONTAL SUBSUPERFICIAL TRATANDO ESGOTO DOMÉSTICO APÓS REATOR UASB

Gabriel Rodrigues Vasconcellos⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade FUMEC. Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

André Baxter Barreto

Biólogo Sanitarista pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas). Doutorando e mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Marcos von Sperling

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Mestre em Engenharia Sanitária pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Doutor em Engenharia Ambiental pelo Imperial College (Universidade de Londres). Professor Titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Endereço⁽¹⁾: Rua Curvelo, 183 – Lundcéia II – Lagoa Santa – MG – CEP: 33400-000 – Brasil – Tel: (31) 9591-3131 – e-mail: gabrielvasconcellos183@hotmail.com

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar as condições ambientais (potencial redox, oxigênio dissolvido e pH) em dois Sistemas Alagados Construídos (SAC), um plantado com *Typha latifolia* e um não plantado, ambos de escoamento horizontal subsuperficial. Os SAC atuaram como unidade de pós-tratamento de efluente de um reator tipo UASB recebendo esgotos sanitários. O equivalente populacional aproximado de cada unidade é 50 habitantes. Ambas operam há aproximadamente oito anos com uma vazão de 7,5 m³/d. O leito das duas unidades encontra-se em avançado estado de colmatagem. Cada SAC apresenta 25 m de comprimento, 3 m de largura e 0,4 m de altura, empregando escória de alto forno como meio suporte. O monitoramento do potencial redox, oxigênio dissolvido e pH foi realizado em dois pontos ao longo do comprimento de cada leito (região de entrada e região de saída do leito), objetivando avaliar a influência da vegetação no comportamento do sistema. Os resultados indicam predominância de condições redutoras no SAC. A presença da vegetação elevou os valores de potencial redox e reduziu os valores de pH, mantendo-os próximos à neutralidade. Foram observadas maiores concentrações e flutuações de oxigênio dissolvido no SAC não plantado. Os valores de potencial redox, oxigênio dissolvido e pH foram mais elevados na região de saída de ambos os SAC. O SAC não plantado apresentou menores concentrações de carbono, nitrogênio e sulfato quando comparadas aos valores do SAC plantado.

PALAVRAS-CHAVE: *Wetlands* construídos, escoamento horizontal subsuperficial, tratamento de águas residuárias, leito colmatado, potencial redox.

INTRODUÇÃO

Os Sistemas Alagados Construídos (SAC), também conhecidos internacionalmente como *Constructed Wetlands*, são sistemas naturais projetados para remover poluentes em águas residuárias recriando, em ambiente controlado, processos que ocorrem em pântanos naturais, utilizando uma combinação de plantas, microrganismos e meio suporte (VYMAZAL, 2010). Sua utilização tem sido comum em vários países, devido às elevadas eficiências de remoção, facilidade construtiva, simplicidade operacional, além de oferecer ao local implantado harmonia paisagística.

Segundo Kadlec e Wallace (2009), à medida que os estudos em SAC vão se desenvolvendo, observa-se a necessidade de aprimorar a compreensão sobre a função das plantas nos processos de tratamento e no desenvolvimento de microrganismos. É preciso compreender também, se as condições ambientais (potencial

redox, oxigênio dissolvido, pH, etc.) influenciam a incorporação de oxigênio pelas plantas, a mudança da comunidade microbológica e o comportamento do sistema.

As plantas exercem um importante papel nos processos de tratamento dos SAC. Os efeitos mais importantes, segundo Brix (1997), são proporcionar área superficial para crescimento de microrganismos; absorver nutrientes; incorporar oxigênio no meio líquido; estabilizar a superfície dos SAC; oferecer boas condições para filtração; e embelezamento paisagístico.

Pesquisas recentes (LANGERGRABER e ŠIMŮNEK, 2012; SAMSÓ e GARCÍA, 2013) vêm demonstrando que o papel da vegetação nos SAC é importante, visto que através da liberação de oxigênio e exsudatos radiculares as plantas criam micronichos ecológicos aumentando a diversidade, atividade e densidade microbiana nos leitos. Entretanto, ainda há questões a serem esclarecidas quanto a esta participação no processo de tratamento.

Visando avaliar a participação da vegetação no comportamento do sistema, o presente trabalho investiga as variações de potencial redox, oxigênio dissolvido e pH no líquido intersticial em dois sistemas alagados construídos, um plantado com *Typha latifolia* e outro não plantado, ambos tratando esgotos sanitários após reator UASB.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi realizado no Centro de Pesquisa e Treinamento em Saneamento (CePTS) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) em parceria com a Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA). O CePTS localiza-se na Estação de Tratamento de Esgotos do Arrudas (ETE Arrudas), no município de Belo Horizonte – MG (coordenadas 19°53'42" S e 43°52'42" W). A ETE Arrudas recebe a maior parte dos esgotos gerados na bacia do Ribeirão Arrudas, englobando as cidades de Belo Horizonte e Contagem. Uma pequena parte da vazão da ETE Arrudas é direcionada para o CePTS.

Características dos Sistemas Alagados Construídos

A presente pesquisa estudou dois unidades de SAC de escoamento horizontal subsuperficial recebendo efluente de um reator tipo UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*). O esgoto, antes de ser encaminhado para as unidades de estudo, passa por tratamento preliminar da ETE Arrudas, composto por sistema de gradeamento (grade grossa e fina) e desarenador.

O reator UASB apresenta um volume útil de 22 m³, operando com vazão de 80 m³/d, resultando em Tempo de Detenção Hidráulica (TDH) médio de 6,6 horas. Parte do efluente do reator UASB é encaminhada para os dois SAC de escoamento horizontal subsuperficial, sendo uma unidade plantada com *Thypha latifolia* (taboa) e outra unidade não plantada (unidade controle). Ambas as unidades utilizam escória de alto forno como meio suporte, com d₁₀=19 mm e um volume de vazios de 40% (DORNELAS, 2008).

Os SAC operam desde junho de 2007, em paralelo, e cada um recebe uma vazão de aproximadamente 7,5 m³/d, com TDH aproximado de 1,45 e 1,06 dias para o SAC plantado e SAC não plantado, respectivamente. Cada unidade foi dimensionada para um equivalente populacional de 50 habitantes. O sistema está no oitavo ano de operação (de 2007 a 2014), e atualmente os dois leitos encontram-se em elevado estágio de colmatção, fato este demonstrado pelo escoamento superficial por praticamente todo o comprimento dos leitos. Os detalhes construtivos de cada SAC estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1: Características construtivas de cada Sistema Alagado Construído.

Parâmetro	Valor
Comprimento do leito (m)	25,0
Largura do leito (m)	3,0
Altura do leito (m)	0,4
Inclinação longitudinal do fundo (%)	0,5
Volume total de meio suporte em cada leito (m ³)	27,6

Na presente pesquisa, as amostras do líquido intersticial no meio suporte foram coletadas em pequenos poços de sucção instalados no leito. A cada ponto de monitoramento foi atribuída uma letra. O fluxograma do sistema e a localização dos pontos de monitoramento estão ilustrados na Figura 1.

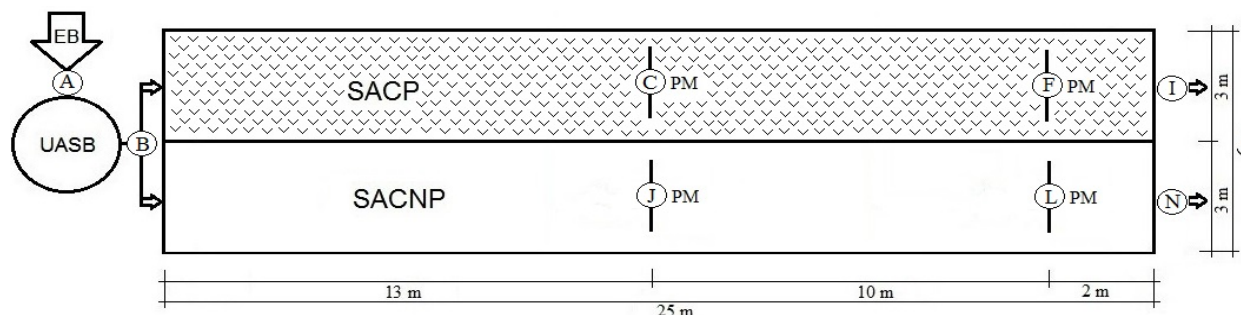


Figura 1: Vista em planta do Sistema Alagado Construído, com dimensões e localização de pontos de monitoramento. Observação: desenho fora de escala. Legenda: EB=Esgoto Bruto; UASB=Upflow Anaerobic Sludge Blanket; SACP=Sistema Alagado Construído Plantado; SACNP=Sistema Alagado Construído Não Plantado; PM=Poço de Monitoramento.

Os pontos de monitoramento estão descritos abaixo:

- Ponto A – esgoto bruto;
- Ponto B – efluente do reator UASB (afluente aos SAC);
- Ponto C – poço de monitoramento a 13 metros da entrada do SAC plantado (região central);
- Ponto F – poço de monitoramento a 23 metros da entrada do SAC plantado (região de saída);
- Ponto I – efluente SAC plantado;
- Ponto J – poço de monitoramento a 13 metros da entrada do SAC não plantado (região central);
- Ponto L – poço de monitoramento a 23 metros da entrada do SAC não plantado (região saída);
- Ponto N – efluente SAC não plantado.

Estrutura de campo

Foram instalados quatro poços de monitoramento (PM) em dois pontos do comprimento dos SAC plantado e não plantado. Os dois primeiros poços localizam-se a 13 m da entrada das unidades (região central), aproximadamente metade do comprimento, e os outros dois poços a 23 m da entrada das unidades (região de saída). Os poços são construídos em tubos de PVC com 1/2" de diâmetro, com furos de 2 mm de diâmetro com espaçamento de 10 cm. Cada poço apresenta 2 metros de largura e foi instalado perpendicularmente à direção do escoamento do leito. Foram posicionados a 25 cm de profundidade, aproximadamente metade da altura útil do leito. A metodologia de construção do poço de monitoramento empregou conceitos de amostragem de baixa vazão (ABNT NBR 15847:2010) e adaptações da metodologia de amostragem proposta por Nivala *et al.* (2013). Uma bomba peristáltica retirava o líquido intersticial dos SAC por meio dos poços de monitoramento e conduzia para uma célula de fluxo, onde uma sonda multiparamétrica marca YSI modelo 600 XLM realizava a leitura dos parâmetros de interesse. A estrutura operou retirando líquido intersticial do meio suporte em fluxo contínuo, sendo a vazão de operação da bomba de aproximadamente 450 ml/min.

Parâmetros de monitoramento

A sonda multiparamétrica realizava medições contínuas de potencial redox (Eh), potencial hidrogeniônico (pH) e oxigênio dissolvido (OD), em intervalos de 15 min. A coleta dos dados foi realizada nos meses de agosto a outubro de 2014. O número de dados coletados foi de 2.564 para o reator UASB; 1.151 para SACP central; 1.029 para SACP saída; 1.379 para SACNP central e 1.253 para SACNP saída. Os pontos de medição destes parâmetros podem ser observados na Figura 1, e foram realizados na região central do SAC plantado (ponto C), região de saída do SAC plantado (ponto F), região central do SAC não plantado (ponto J) e região de saída do SAC não plantado (ponto L). As leituras de Eh e pH foram realizadas através de um sensor pH/POR, utilizando um eletrodo de prata/cloreto de prata (Ag/AgCl). Para converter o potencial redox em referência ao eletrodo padrão de hidrogênio (SHE), foram adicionados 200 mV às leituras de POR, visando corrigir o potencial redox para o eletrodo padrão, conforme nota técnica do fabricante (YSI, 2001). O sensor de pH/POR possui capacidade de leitura de POR de -999 a +999 mV, com precisão de ± 20 mV, e capacidade

de leitura de pH de 0 a 14 com precisão de $\pm 0,2$. As leituras de OD foram realizadas por um sensor óptico (luminescência), com capacidade de leitura de 0 a 50 mg/L e precisão de $\pm 0,2$ mg/L. A calibração dos sensores para todos os parâmetros investigados foi realizada antes do monitoramento. Para calibração dos sensores, foram utilizadas soluções padrão de referência fornecidas pelo fabricante.

Além dos parâmetros supracitados, foram realizadas análises de Carbono Total (CT), Carbono Orgânico Total (COT), Carbono Inorgânico Total (CIT), Nitrogênio Total (NT), íon amônio (N-NH_4^+) e íon sulfato (S-SO_4^{2-}) em todos os pontos de coleta. As análises de carbono e nitrogênio foram realizadas em um analisador de COT, marca Shimadzu, modelo TOC-VCPN. Os íons foram analisados em um Cromatógrafo Iônico Metrohm 850 Professional IC AnCat MCS. A coleta para análise dos principais íons e, quantificação de carbono e nitrogênio foi realizada de forma simples no mesmo período de monitoramento do potencial redox, oxigênio dissolvido e pH. O período de coleta abrangeu os meses de agosto a outubro de 2014, com um total de sete amostras. Todas as análises deste trabalho foram realizadas de acordo com os procedimentos descritos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA; AWWA; WEF, 2005).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A comparação entre o SAC plantado e não plantado teve como objetivo investigar se a presença da vegetação altera as condições ambientais (em termos de potencial redox, oxigênio dissolvido e pH) e influência as eficiências de remoção de carbono, nitrogênio e sulfato.

Principais íons

A Figura 2 apresenta os resultados obtidos para os íons mais significativos para a presente pesquisa. Estes parâmetros foram selecionados por serem indicadores de metabolismo dos principais grupos microbianos envolvidos nos SAC, e estarem intimamente relacionados às condições oxirredutoras e concentração de oxigênio no meio.

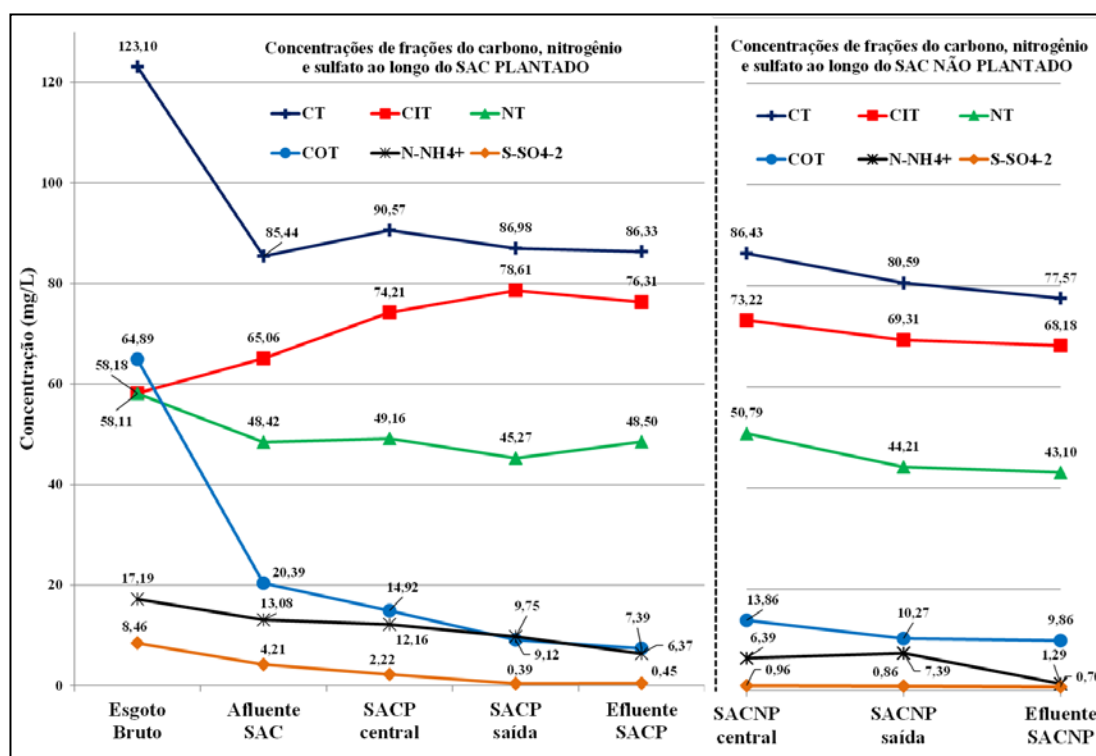


Figura 2: Concentrações dos principais parâmetros monitorados. Obs.: O gráfico apresenta os valores das medianas das concentrações. Legenda: SAC=sistema alagado construído; SACP=sistema alagado construído plantado; SACNP=sistema alagado construído não plantado; CT=carbono total; CIT=carbono inorgânico total; COT=carbono orgânico total; NT=nitrogênio total; N-NH4+=íon amônio; S-SO4-2=íon sulfato.

Pela Figura 2, é possível observar uma redução nas concentrações de CT, resultados em coerência com os valores de COT e CI. A maior parcela do carbono orgânico foi removida pelo reator UASB, sistema que antecede os SAC. Apesar de o número de dados ser baixo ($n=7$), percebe-se que a unidade plantada apresentou menores concentrações de carbono total e carbono inorgânico total que a unidade não plantada. Este fato é coerente com a presença da zona de raiz das plantas, que acrescenta exsudatos radiculares, material orgânico vegetal e gás carbônico (CO_2).

Observa-se, através dos resultados dos principais íons, que os SAC operam em condições redutoras/anaeróbias, favorecendo o metabolismo das bactérias redutoras de sulfato. Este fato é comprovado pela redução nas concentrações do íon sulfato, em ambas unidades (plantada e não plantada). Observa-se ainda, que a remoção de amônio no SAC não plantado foi maior que no SAC plantado. Apesar disso, houve pouca remoção em ambas as unidades, pois a nitrificação é um processo realizado por bactérias aeróbias. Os resultados de remoção de sulfato e pouca remoção de amônio são coerentes com os resultados obtidos no monitoramento do potencial redox e oxigênio dissolvido, apresentados a seguir.

Nota-se ainda que a remoção de nitrogênio total e amônio no SAC não plantado foi superior ao SAC plantado. Contudo a eficiência de remoção foi baixa em ambas as unidades, corroborando com a hipótese de que não há metabolismo aeróbio significativo, haja visto o ambiente redutor.

Potencial redox (Eh)

O potencial redox retrata as condições oxirredutoras do sistema, mostrando qual é a tendência do meio, redução ou oxidação. Ao se interpretar os valores, deve-se destacar que todos os dados de potencial redox estão apresentados como Eh, ou seja, são 200 mV superiores aos valores que seriam expressos como POR (potencial de oxirredução), devido à correção para o eletrodo de referência. A Figura 3 apresenta os resultados do monitoramento do potencial redox nos pontos monitorados. Nota-se que os valores de potencial redox são negativos, portanto o eixo das ordenadas inicia-se em -400 mV.

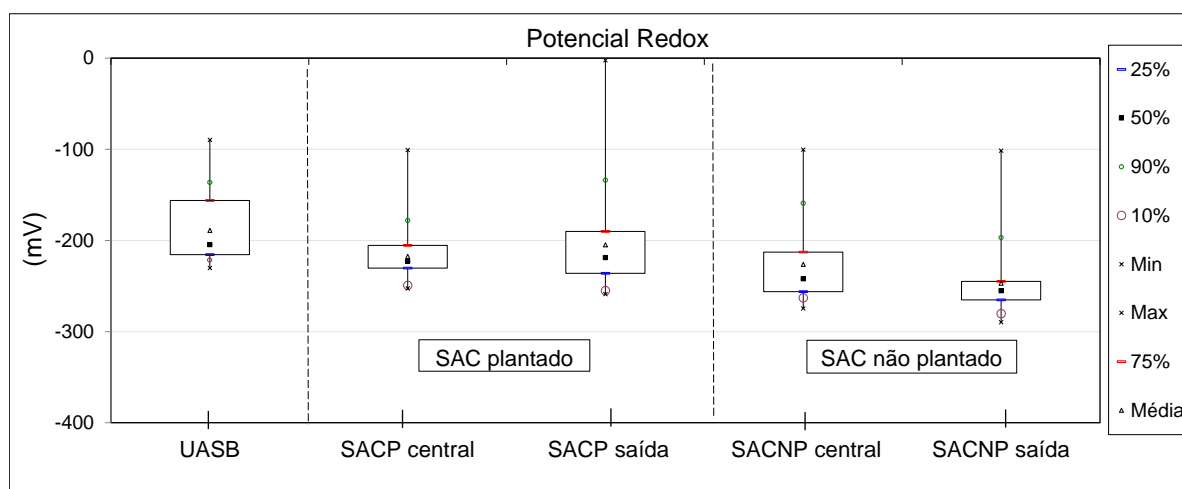


Figura 3: Gráfico box-plot dos dados de potencial redox (Eh) nos pontos monitorados.

Os resultados negativos de potencial redox indicam que o meio apresenta condições redutoras (metabolismo anaeróbio), favorecendo o crescimento de microrganismos fermentativos, metanogênicos e redutores de sulfato. Os valores de potencial redox retratam a atual condição do sistema com elevado estado de colmatação, devido ao longo período de operação. Os resultados observados não favorecem condições anóxicas (faixa de -100 a +100 mV), pois os valores médios encontram-se abaixo de -200 mV (faixa anaeróbia). Contudo, nota-se pela Figura 3, que os valores máximos de potencial redox do SAC plantado na região de saída, apresentam flutuações na faixa anóxica, indicando que a vegetação pode favorecer a ocorrência de condições anóxicas em determinados momentos, mesmo sendo predominantemente condições anaeróbias.

Pela Figura 3, nota-se ainda que a mediana dos valores do efluente do reator UASB encontra-se menos negativa que a dos demais pontos monitorados. Este fato pode estar atribuído à degradação anaeróbia que continua a ser realizada no SAC, levando o potencial redox para valores mais negativos. As condições de

colmatação do leito também podem levar o líquido a permanecer em maior contato com ambiente redutor, deslocando o potencial redox para valores mais negativos.

Ainda, pela Figura 3, é possível perceber que os valores de potencial redox do SAC plantado encontram-se ligeiramente superiores aos valores do potencial redox do SAC não plantado. Estes resultados estão coerentes com a literatura, indicando que a vegetação pode contribuir para elevar o potencial redox, através da liberação de oxigênio pelos aerênquimas, favorecendo o crescimento de microrganismos aeróbios (GAGNON *et al.*, 2007; FAULWETTER *et al.*, 2009; LAI *et al.*, 2012). No entanto, as condições de elevadas cargas orgânicas superficiais e volumétricas aplicadas aos SAC, impedem que o oxigênio fornecido pelas plantas eleve o potencial redox e torne o meio menos redutor. Apesar das poucas diferenças observadas, sob as atuais condições operacionais e de colmatação do leito, as plantas influenciaram os resultados de potencial redox.

Oxigênio dissolvido (OD)

O oxigênio dissolvido é um parâmetro de difícil mensuração em ambientes predominantemente redutores, como no caso do SAC em estudo, pois seu consumo pelos microrganismos presentes no sistema é imediato (NIVALA *et al.*, 2012), e as concentrações são usualmente baixas. Em virtude das condições redutoras dos SAC, tal como evidenciado pelos valores negativos do potencial redox, pequenas concentrações de OD foram medidas, como apresentado na Figura 4. Observa-se que todos os valores permanecem inferiores a 0,30 mg/L.

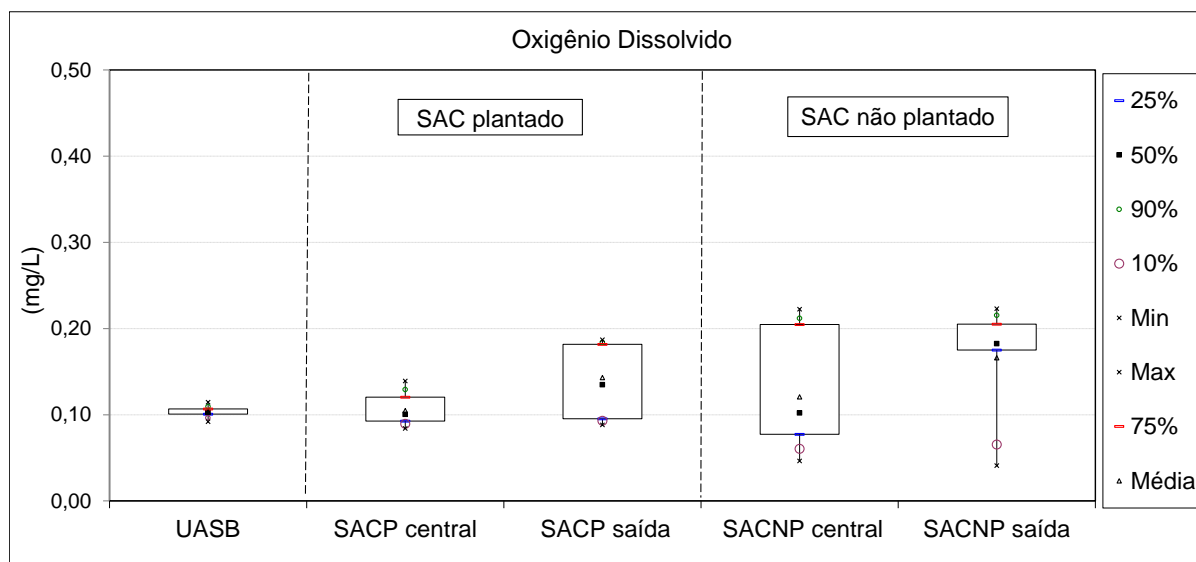


Figura 4: Gráfico box-plot dos dados de oxigênio dissolvido (OD) nos pontos monitorados.

Pela Figura 4, é possível notar que os valores de oxigênio dissolvido do SAC não plantado são ligeiramente superiores aos valores no SAC plantado. Este fato sugere que a demanda de oxigênio exercida pela biomassa do sistema plantado pode ser maior do que no sistema não plantado. Vários estudos mostram que a presença das plantas favorece a atividade, diversidade e densidade de microrganismos no meio (OTTOVA *et al.*, 1997; MÜNCH *et al.*, 2005; GAGNON *et al.*, 2007; FAULWETTER *et al.*, 2009; LAI *et al.*, 2012; LANGERGRABER e ŠIMŮNEK, 2012) e por consequência um maior consumo devido à atividade aeróbia (bactérias heterotróficas e autotróficas nitrificantes).

Observa-se que as variações das concentrações de OD no SAC plantado são menores que no SAC não plantado, indicando uma maior estabilidade no sistema ou um maior consumo pela biomassa presente. Como era de se esperar, as concentrações de oxigênio dissolvido na região de saída do SAC plantado e não plantado foram maiores que as concentrações de OD na região central, evidenciando uma redução na demanda de oxigênio pela degradação da matéria orgânica nos trechos a montante.

Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH é um parâmetro de interesse, pois representa a concentração de íons hidrogênio H^+ , indicando as condições de acidez, neutralidade ou alcalinidade do efluente. A Figura 5 apresenta os resultados do monitoramento do pH no SAC plantado e não plantado, no período avaliado.

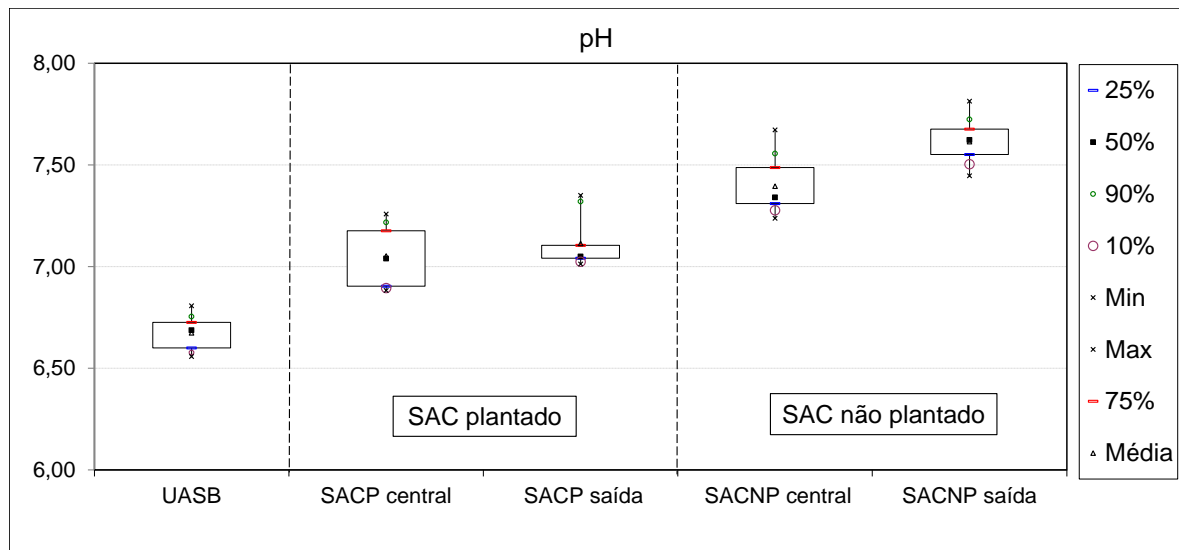


Figura 5: Gráfico box-plot dos dados de pH nos pontos monitorados.

Pela Figura 5, é possível notar que os valores de pH dos SAC plantado e não plantado são superiores aos valores de pH do reator UASB. Segundo de Paoli (2010), este fato ocorre devido ao fornecimento de componentes alcalinos, como o CaO e MgO presentes na escória de alto forno. Dependendo da escória utilizada, os valores de pH podem se elevar a ponto de necessitar de correção antes de seu lançamento no corpo receptor.

Observa-se que os valores de pH do SAC não plantado estão superiores aos valores de pH do SAC plantado, tanto da região central quanto da região de saída. Estes resultados estão em conformidade com os descritos em Tao e Wang (2009), que observaram que uma comunidade de *Typha latifolia* utilizada em SAC de fluxo superficial manteve o pH próximo à neutralidade, quando comparado com o mesmo sistema sem plantas.

Acredita-se que os processos de decomposição e respiração dos microrganismos no SAC plantado reduz o pH do meio, pois há liberação de CO_2 , e consequentemente a formação de ácido carbônico e íons hidrogênio. Este processo também pode ocorrer pela respiração das raízes das plantas. Além disso, as plantas liberam substâncias orgânicas que podem ser convertidas em ácidos húmicos, reduzindo o pH.

Os valores de pH da região de saída do SAC plantado e não plantado permaneceram superiores aos valores de pH da região central. Os resultados de pH reforçam os indícios da diversidade microbiana ser maior na unidade plantada e o possível papel das plantas neste parâmetro.

CONCLUSÕES

Houve predominância de condições redutoras em ambos os SAC em todos os pontos monitorados, fato demonstrado pelos valores negativos de potencial redox. Os valores de potencial redox do SAC plantado encontraram-se ligeiramente superiores aos valores do potencial redox do SAC não plantado, indicando que a vegetação contribui para o aumento do potencial redox no meio. A vegetação favoreceu flutuações do potencial redox em regiões anóxicas na região de saída do SAC plantado.

As concentrações de oxigênio dissolvido no SAC não plantado mantiveram-se superiores às concentrações de oxigênio dissolvido no SAC plantado, mesmo que por uma pequena diferença. Este fato pode ser atribuído à demanda de oxigênio exercida pela biomassa do sistema plantado ser maior do que no sistema não plantado.

Apesar dos baixos valores de oxigênio dissolvido, foi possível observar diferenças entre a unidade plantada e não plantada e a atuação das plantas neste parâmetro.

Os dados de pH do SAC não plantado mantiveram-se superiores aos do SAC plantado, demonstrando que a vegetação mantém o pH do líquido intersticial próximo à neutralidade. Assim como esperado, os valores de pH, junto com os de potencial redox e oxigênio dissolvido foram mais elevados na região de saída do SAC plantado e não plantado.

Apesar das concentrações de carbono, nitrogênio e sulfato encontradas no efluente do SAC não plantado serem inferiores às concentrações do SAC plantado, a vegetação demonstrou uma importante influência nas condições ambientais (Eh, pH e OD). Contudo, a vegetação não demonstrou alterações expressivas no desempenho e eficiência do sistema plantado, provavelmente devido às elevadas cargas orgânicas superficial e volumétrica impostas ao sistema e ao avançado do processo de colmatação do leito. Acredita-se que o estoque de matéria orgânica presente nos interstícios do meio poroso exerce forte demanda de oxigênio e outros aceptores de elétrons, favorecendo o metabolismo dos grupos anaeróbios e redutores de sulfato, conforme a sequência metabólica microbiana.

AGRADECIMENTOS

Os autores do trabalho agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e à Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) por todo apoio e envolvimento no desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT NBR 15847:2010. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento - Métodos de purga*. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.
2. APHA. AWWA. WEF. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington, D.C.: American Public Health Association. American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 2005.
3. BRIX, H. *Macrophytes play a role in constructed treatment wetlands?* Water Science and Technology, v. 35, p. 11–17, 1997.
4. DE PAOLI, André Cordeiro. *Análise de desempenho e comportamento de wetlands horizontais de fluxo subsuperficial baseado em modelos hidráulicos e cinéticos*. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais. 149p. 2010.
5. DORNELAS, Filipe Lima. *Avaliação do desempenho de wetlands horizontais subsuperficiais como pós-tratamento de efluentes de reatores UASB*. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais. 101p. 2008.
6. FAULWETTER, J. L.; GAGNON, V.; SUNDBERG, C.; CHAZARENC, F.; BURR, M. D.; BRISSON, J.; CAMPER, A. K.; STEIN, O. R. *Microbial processes influencing performance of treatment wetlands: A review*. Ecological Engineering, v. 35, p. 18, 2009.
7. GAGNON, V.; CHAZARENC, F.; COMEAU, Y.; BRISSON, J. *Influence of macrophyte species on microbial density and activity in constructed wetlands*. Water Science and Technology. v. 56, n. 3, p. 249-254, 2007.
8. KADLEC, R. H.; WALLACE, S. D. *Treatment Wetland*. Second Edition. p.1016. 2009.
9. LAI, W. L. ; ZHANG, Y. ; CHEN, Z. H. *Radial oxygen loss, photosynthesis and nutrient removal of 35 wetland plants*. Ecological Engineering. v. 39, p. 24-30, 2012.
10. LANGERGRABER G.; ŠIMŮNEK J. *Reactive transport modeling of subsurface flow constructed wetlands using the hydrus wetland module*. Vadose Zone Journal, v. 11, 14 p., 2012.
11. LANGERGRABER G.; ŠIMŮNEK J. *Reactive transport modeling of subsurface flow constructed wetlands using the hydrus wetland module*. Vadose Zone Journal, v. 11, 14 p., 2012.
12. MÜNCH, Ch.; KUSCHK, P.; RÖSKE, I. *Root stimulated nitrogen removal: only a local effect or important for water treatment?* Water Science and Technology. v. 51, n. 9, p. 185 - 192, 2005.

13. NIVALA, J.; HEADLEY, T.; WALLACE, S.; BERNHARD, K.; BRIX, H.; AFFERDEN, M.; MÜLLER, R. A. *Comparative analysis of constructed wetlands: The design and construction of the ecotechnology research facility in Langenreichenbach, Germany*. Ecological Engineering – 2472, p. 17, 2013.
14. NIVALA, J.; WALLACE, S.; HEADLEY, T.; KASSA, K.; BRIX, H.; VAN AFFERDEN, M.; MÜLLER, R. *Oxygen transfer and consumption in subsurface flow treatment wetlands*. Ecological Engineering. V.61, p. 544-554, 2012.
15. NIVALA, J.; WALLACE, S.; HEADLEY, T.; KASSA, K.; BRIX, H.; VAN AFFERDEN, M.; MÜLLER, R. *Oxygen transfer and consumption in subsurface flow treatment wetlands*. Ecological Engineering. V.61, p. 544-554, 2012.
16. OTTOVÁ, V.; BALCAROVÁ, J.; VYMAZAL, J. *Microbial characteristics of constructed wetlands*. Water Science and Technology, v.35, N. 5, p.117-123, 1997.
17. SAMSÓ, R.; GARCÍA, J. *Bacteria distribution and dynamics in constructed wetlands based on modelling results*. Science of the Total Environment 461-462, 2013.
18. TAO, W., WANG, J. *Effects of vegetation, limestone and aeration on nitrification, anammox and denitrification in wetland treatment systems*. Ecological Engineering, 35, 836-842. 2009.
19. VYMAZAL, Jan. *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment*. Water, 2, 530-549, 2010.
20. YSI. *Measuring ORP on YSI 6-Series Sondes: Tips, Cautions and Limitations*. Tech note, YSI Environmental, 5 p., 2001.