

II-022 - CONCEPÇÃO E OPERAÇÃO DE UNIDADE PARA CRESCIMENTO DE ALGAS ASSOCIADA COM PÓS-TRATAMENTO DE *WETLANDS* CONSTRUÍDOS (CWS) NO TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS

Elizandro Oliveira Silveira

Biólogo e Mestre em Tecnologia Ambiental UNISC/RS.

Matheus Wink

Químico – UNISC/RS

Lourdes Teresinha Kist

Química, Doutora em Química

Professora do Departamento de Química e Física – UNISC/RS

Ênio Leandro Machado⁽¹⁾

Químico Industrial, Doutor em Engenharia

Professor do Departamento de Química e Física – UNISC/RS

Endereço⁽¹⁾: Avenida Independência, 2293. Bairro Universitário. Santa Cruz do Sul - RS - CEP: 96815-900 - Brasil - Tel: (51) 3717-7545 - e-mail: enio@unisc.br

RESUMO

Foram concebidas, montadas e ajustadas três configurações para operar em batelada com os sistemas integrados Microalgas + *Wetlands* Construídos de Fluxo Vertical (MA + WCFV), tendo as seguintes características: CONFIGURAÇÃO 1 - Combinação de tanque de MA com 90 L de volume útil, com recirculação interna em cone de acrílico e externa com tanque de 20 L também em acrílico, sendo integrado com WCFV com tempo de detenção hidráulico (TDH) de 3 dias com a macrófita *Hymenachne grumosa*. A alimentação do sistema foi direta de tanque equalizador de ETE em escala real com bomba submersa e de fluxo subsuperficial. Na CONFIGURAÇÃO 2 o sistema repete a CONFIGURAÇÃO 1, exceto nas modificações de inclusão de sistema de alimentação própria com bomba submersa, retirada do sistema de recirculação externa do reator MA, e de inclusão de reator anaeróbio (RA-150 L) com tempo de detenção hidráulica de 3 dias. Para a CONFIGURAÇÃO 3, foram agregados dosi RAs e distribuidores para alimentação vertical foram providenciados para todos os sistemas MA, WCFV sistemas de CONTROLE (sem macrófitas). O tempo de recarga de batelada para todos os sistemas foi de 1 hora. A evolução dos sistemas considerou a superação dos problemas seguintes: CONFIGURAÇÃO 1 - Pressão de recarga do tanque anaeróbio; Descontrole de vazão; Excesso de lodo transferido para o leito e, variações abruptas de vazão e manutenção do tanque de acrílico com algas (ruptura de colagem); CONFIGURAÇÃO 2 - Frequência de recarga do tanque anaeróbio; Obstruções mais frequentes do hidrômetro e a Desuniformidade da vazão de carga. A CONFIGURAÇÃO 3 ainda apresentou dados para melhorar, tais como: Impossibilidade de operação do sistema em fluxo contínuo; Drenagem do sistema de lodo não permite remoção completa nos RAs; Impossibilidade de recarga simultânea dos sistemas WCFV, Leito dos Filtros e Algas + WCFV. Mesmo assim, a última configuração vem em operação a 10 meses, mostrando reduções totais de N-NH₃ com concentração inicial de 68 mg L⁻¹ para a configuração RA + MA + WCFV, associando 50% de redução de DQO e 70% de fósforo total. Melhorias para o controle de remoção de algas residuais devem ser feitas para aplicação do WCFV, especialmente quanto a carga volumétrica, que deverá ser testada com até 20 cm dia⁻¹.

PALAVRAS-CHAVE: *Wetlands* construídos, Microalgas, Efluentes urbanos.

INTRODUÇÃO

O uso de *Wetlands* Construídos (WCs) utilizando macrófitas está integrado com as potencialidades de saneamento rural de baixo custo, proporcionando reuso de águas residuárias, recuperação de nutrientes, além do potencial para geração de energia. Ainda assim, pode-se destacar o baixo custo de implantação, a alta produção de biomassa que pode ser utilizada na alimentação animal e a alta eficiência de melhoria dos parâmetros que caracterizam os recursos hídricos (SEZERINO, 2006).

Apesar das inúmeras vantagens que os WCs podem apresentar esta tecnologia ainda carece de pesquisas para efetiva implantação no Brasil, mas vem ganhando espaço na área da Tecnologia Ambiental, principalmente em pesquisas de diversas universidades (SILVEIRA, 2010).

Desde 2013, por iniciativa do grupo de estudos de saneamento descentralizado da UFSC (GESAD), vem sendo organizado o Simpósio Brasileiro sobre *Wetlands* Construídos, com realizações na própria UFSC e recentemente na UTFPR em Curitiba.

Aspectos de projeto, configuração, manutenção, controle analítico e integração com outros métodos de tratamento vêm ganhando espaço para pesquisas e aplicações do saneamento descentralizado com os sistemas alagados construídos. Experiências com prefeituras, casas de estudantes universitários, unidades de extensão para área rural, especialmente via Emater e Embrapa ganham destaque para inclusão de macrófitas fixas, submersas e flutuantes em unidades de tratamento de esgotos (ZERWES *et al.*, 2015; SILVEIRA, 2015).

Outro aspecto importante das pesquisas consiste no perfil de escala e operação das unidades, especialmente se for considerado o estudo de métodos. Neste caso, unidades em fluxo semi-contínuo (residências) e batelada são interessantes. Fluxos contínuos envolvem normalmente contribuições de condomínios, bairros e cidades. No entanto, pesquisas feitas por Rakoczy, 2011, investigaram a biodegradação do benzeno em WCs de fluxo subsuperficial, considerando taxas de alimentação de 2 L dia⁻¹ e com tempos de detenção hidráulico de 14 dias.

Herrera-Melián, *et al.*, 2012 conceberam também um perfil de sistema de *wetlands* construídos em unidade de bancada. Neste caso o objetivo foi para estudos de degradação do dinitrofenol, considerando a possibilidade de integração de métodos fotoquímicos e alagados construídos. Neste caso a escala de bancada consistiu de frascos de vidro de 0,5 L contendo 300 g de brita e até 150 mL de volume útil para os efluentes. A combinação de sistema Luz Solar/TiO₂ com tempo de detenção de 6h e com 16h para o WC citado anteriormente foi capaz de degradar totalmente 200 mg L⁻¹ do composto aromático dinitrado.

Já Dufresne *et al.*, 2015, trabalharam com WCs em escala de bancada concebendo sistemas com 0,2 m² para estudar os mecanismos de retenção de metais pesados (Ni, Zn e Mn). Isto com uso da planta *Thypha latifolia* e, operando com 1,5 mL min⁻¹ de efluentes da drenagem de minas.

Portanto, com relação aos sistemas de *wetlands* construídos em unidades de batelada e em unidade de bancada, há referências de confiabilidade de pesquisas, sendo adequados para estudos de processos de remediação em efluentes.

Outro aspecto das pesquisas com a fitorremediação é o da integração dos sistemas de WCs com algas. Maddox e Kingsley, 1989, investigaram o tratamento de efluentes da piscicultura, os quais apresentavam algas e demais cargas poluentes em termos de DQO, DBO₅, Nitrogênio total (Nt) e Fósforo total (Pt). Para este caso, o tratamento dos descartes dos tanques de criação de peixes envolveu *wetlands* construídos de fluxo horizontal subsuperficial (com *Eleocharis dulcis*), com cargas volumétricas de 0,15, 0,1 e 0,06 m dia⁻¹. As reduções de DQO e DBO₅ foram de aproximadamente 75%, Pt de 56% e Nt de 64%. O controle da remoção das algas revelou redução entre 25 a 27% para TDHs de 5 e 10 dias.

Lu *et al.*, 2015 referenciam diferentes processos integrados com WCs para o tratamento dos efluentes: reatores anaeróbios + WCs; reator anaeróbio + tanque de aeração + WCs e Filtro Anaeróbio + WCs.

Assim sendo, o objetivo principal deste projeto foi desenvolver estrutura de integração de processos com microalgas e WCs de fluxo vertical, especialmente para reduzir a carga eutrofizante nos alagados construídos e, por consequência, aumentar a capacidade de carga volumétrica para a unidade de fitorremediação.

MATERIAIS E MÉTODOS

Parte do sistema experimental da Figura 1 foi reativada, pois se tratava de instalação utilizada por uma mestranda do PPGTA-UNISC do ano de 2010. Este sistema está instalado na Estação de Tratamento de Esgotos (ETE), no Campus da UNISC/RS. Neste caso foi encaminhada a configuração de Microalgas +

Wetlands Construídos de Fluxo Vertical (MA + WCFV2) e *Wetlands* Construídos Mistos (WCFV1 + WCsFHSS). WCsFHSS (*Wetlands* Construídos de Fluxo Horizontal Subsuperficial). Igualmente foi feito para os sistemas chamados de controle a configuração de meio filtrante idêntico aos sistemas WCFV e WCsFHSS, denominados de CONTROLE 1 (somente o meio filtrante de fluxo vertical) e CONTROLE MISTO (seqüência do meio filtrante com fluxo vertical mais dois meios filtrantes de fluxo horizontais subsuperficiais).

De acordo com a Coordenação Ambiental do Campus da UNISC, o esgoto drenado para tratamento na ETE é originário dos mictórios e bacias sanitárias, sendo que os restaurantes possuem sistemas de tratamento com caixa separadora de gordura e posterior encaminhamento para a ETE UNISC.

A configuração do sistema de WCs foi constituída de 3 caixas em sequência, posicionadas sobre uma estrutura metálica em forma de degraus, estando a caixa inicial do sistema a 1,4 m do chão; a caixa intermediária a 75 cm do chão e a caixa final a 10 cm do chão.

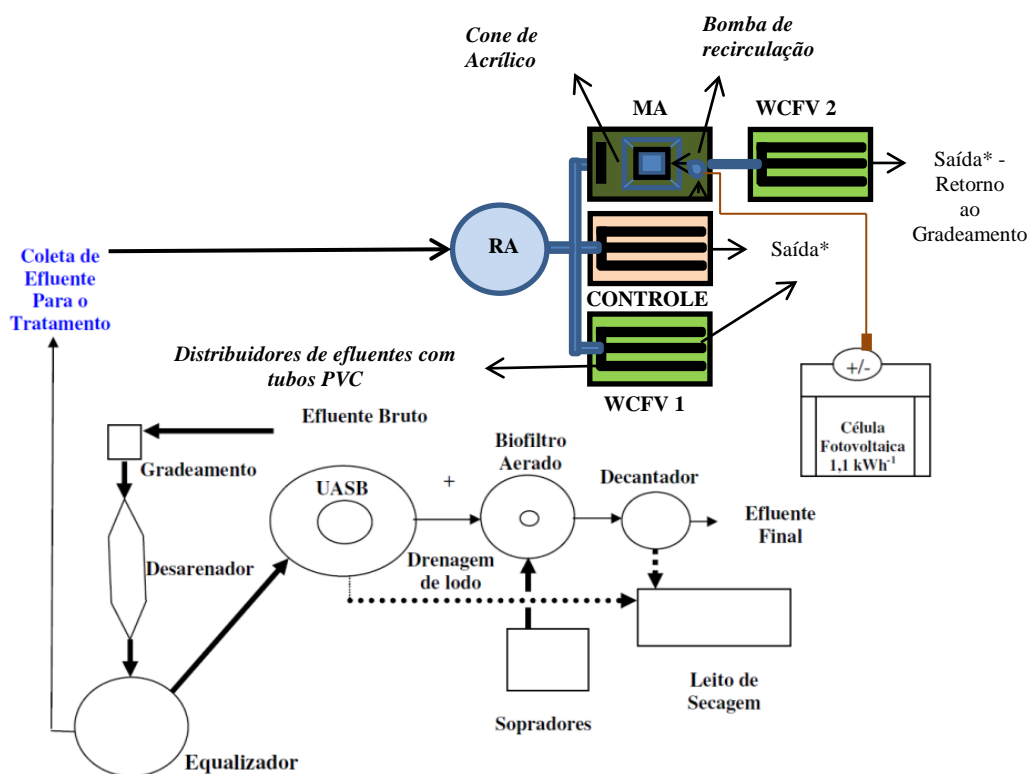


Figura 1: Esquema geral da inserção do Sistema Microalgas + Wetlands Construídos de Fluxo Vertical para as pesquisas com efluentes da ETE UNISC.RA – Reator Anaeróbio.

Assim sendo, no sistema da Figura 1 foram monitorados: Efluente Bruto; CONTROLE; onde as caixas foram preenchidas apenas com areia e brita; MA; WCFV1; WCFV2, WCFV1 + WCsHSS, preenchidos com areia, brita e com a macrofilas (*Hymenachne grumosa*).

A carga dos sistemas foi feita a cada 3 dias em conjunto da coleta das amostras para as análises, com efluente retirado do equalizador da ETE, carregado com 90 litros na primeira caixa de cada sistema. Esses 90 litros foram retirados de um reator anaeróbio, onde o efluente bruto do equalizador permanecia por 3 dias.

Os parâmetros analisados para caracterização do efluente bruto e pós tratamento foram, DBO₅, Nitrogênio Amoniacal, Fósforo Total, DQO, Condutividade, pH, Espectrofotometria, Turbidez. A referência de controle das algas foi com unidades absorciométricas em 686 nm, sendo para a cor predominante dos WCs feita com o

controle em 420 nm. Exceto o controle de cores absorciométricas, todos os demais parâmetros foram referenciados com o *Standard Methods*, 2005.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Desenvolvimento de configurações e operação dos sistemas microalgas e wetlands construídos

O início das atividades foi direcionado para programar a ETE de escala piloto associada com a ETE em escala real da UNISC situada no campus central. Neste caso o estudo das configurações objetivou verificar controle de vazões de alimentação, estabelecendo tempos de carga para o sistema em semi-batelada, bem como o tempo de detenção hidráulico mínimo referendado nas literaturas que também trabalham em regime semelhante (Herrera-Melián, *et al.*, 2012; Dufresne *et al.*, 2015).

O primeiro sistema de partida é apresentado na Figura 2, sendo ainda mantida a alimentação para fluxo horizontal em todos os WCs.

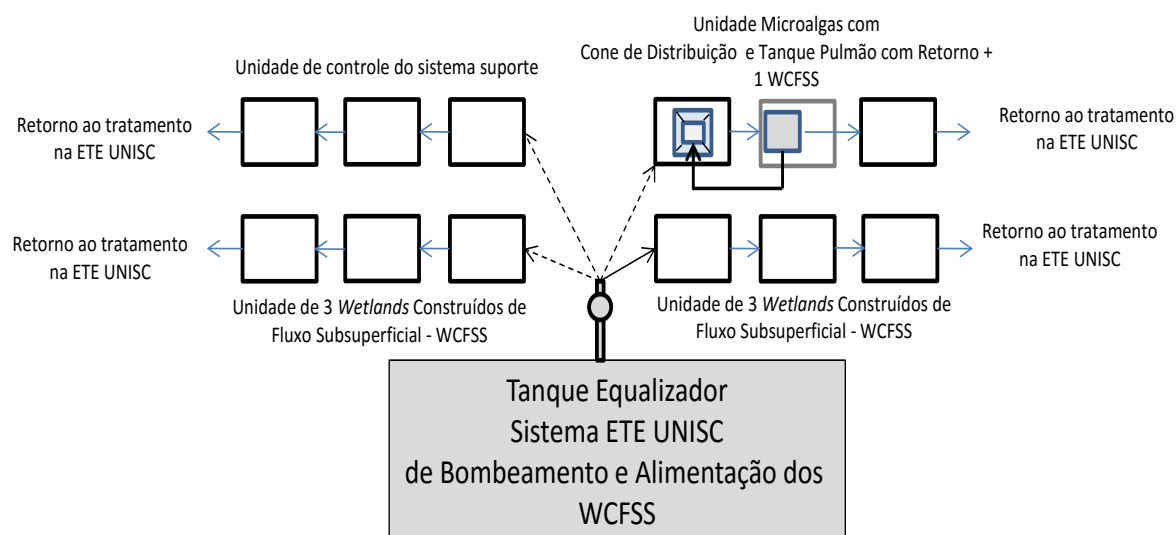


Figura 2: CONFIGURAÇÃO 1 – Fluxograma do sistema para início do controle sistemático da integração MA + WCFV.

A maior dificuldade para a primeira configuração foi a de manter uniforme a alimentação, dadas às variações de preenchimento do tanque de equalização da ETE em escala real, pois deste ponto é retirado o efluente para a alimentação do sistema. Aqui também foi iniciada a partida do sistema de MA, composto também por alimentação com recirculação em reator tipo coluna com 20 L. Este detalhamento pode ser visto na Figura 3.



Figura 3: Detalhe do sistema de MA com recirculação externa em reator tipo coluna com volume útil de 20 L. TQR – Tanque de Recirculação. CONFIGURAÇÃO 1.

Com a configuração da Figura 3 dois pontos importantes foram observados: o desenvolvimento das microalgas (gêneros de microalgas identificados foram *Desmodesmus*, *Scenedesmus* e *Chlorella*), o período de sombreamento de 5 horas (configuração da ETE UNISC, limitante sem facilidades para resolução), os riscos de ruptura do tanque de acrílico e o que mais foi considerado: a configuração desejada para reproduzir em um futuro, o sistema em escala real, que terá somente o cone de recirculação.

O sistema da configuração 1 (Figura 3) operou 2 meses.

Assim sendo, foi considerada a evolução do sistema para a Figura 4.

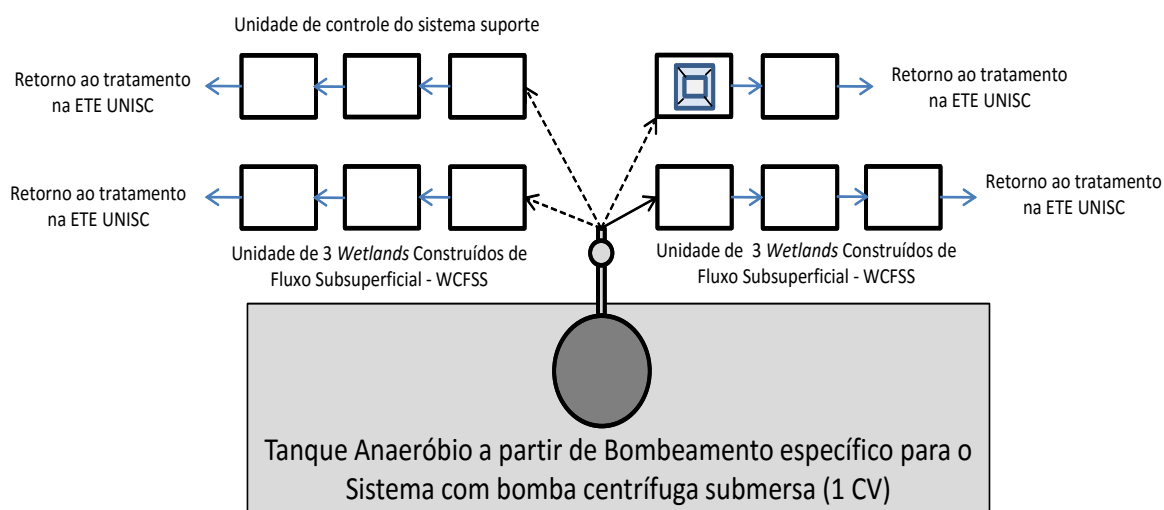


Figura 4. CONFIGURAÇÃO 2 do sistema para início do controle sistemático da integração MA + WCFV (MA com taxa de recirculação de $0,1 \text{ L min}^{-1} \text{ m}^{-2}$).

A segunda configuração ajustou a alimentação do sistema piloto MA + WCFV e sistemas associados (CONTROLE, WCsFHSS) com linha própria de abastecimento, investindo em bomba submersa e painel próprio de controle, criando assim, oportunidade de repetitividade da operação.

Também foi eliminado o sistema de TQR da Figura 3. O detalhamento do sistema pode se visto na Figura 5.



Figura 5.: Detalhe do sistema de MA sem recirculação externa em reator tipo coluna na CONFIGURAÇÃO 2.

Com a CONFIGURAÇÃO 2 o problema remanescente foi para a quantidade de efluente a partir do tanque anaeróbio. Cada carga do sistema envolveu 30 L para o MA e 90 para os demais sistemas, ou seja, a CONFIGURAÇÃO 2 ainda carecia de maior volume útil para o Reator Anaeróbio – RA. Assim foi feita a CONFIGURAÇÃO 3, evoluindo para o quinto e sexto mês de ensaios de operacionalidade da ETE piloto.

A configuração apresentada na Figura 6 também trouxe melhorias de segurança, sendo que as unidades de estrutura metálica foram reforçadas, impedindo riscos de quedas.

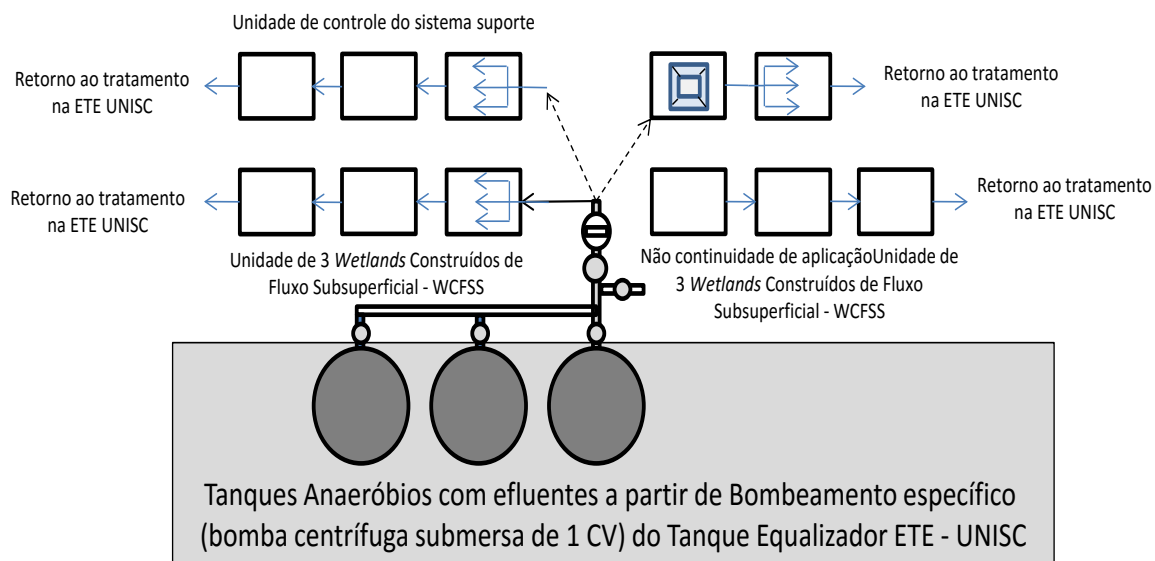


Figura 6: CONFIGURAÇÃO 3 do sistema para início do controle sistemático da integração MA + WCFV.

A CONFIGURAÇÃO 3 traz também as modificações definitivas de alimentar somente três sistemas sequenciais, facilitando a operacionalidade de carga, bem como, aplicação de alimentação vertical para os primeiros tanques dos WCs. Este sistema operou mais dois meses, fechando o ciclo dos seis primeiros meses de propósito das atividades.

Na Figura 7 apresenta-se o detalhe do sistema de cargas do efluente.



Figura 7. Detalhe do sistema de RA interligado para alimentação das unidades MA e WCs.

Desempenho do sistema MA + WCFV1 - CONFIGURAÇÃO 3

Considerando os 10 meses da segunda etapa de operação, foram monitorados o desempenho da CONFIGURAÇÃO 3 conforme os parâmetros de carga poluentes DQO, fósforo total e nitrogênio amoniacal. Os resultados podem ser vistos na sequência da Figura 8.

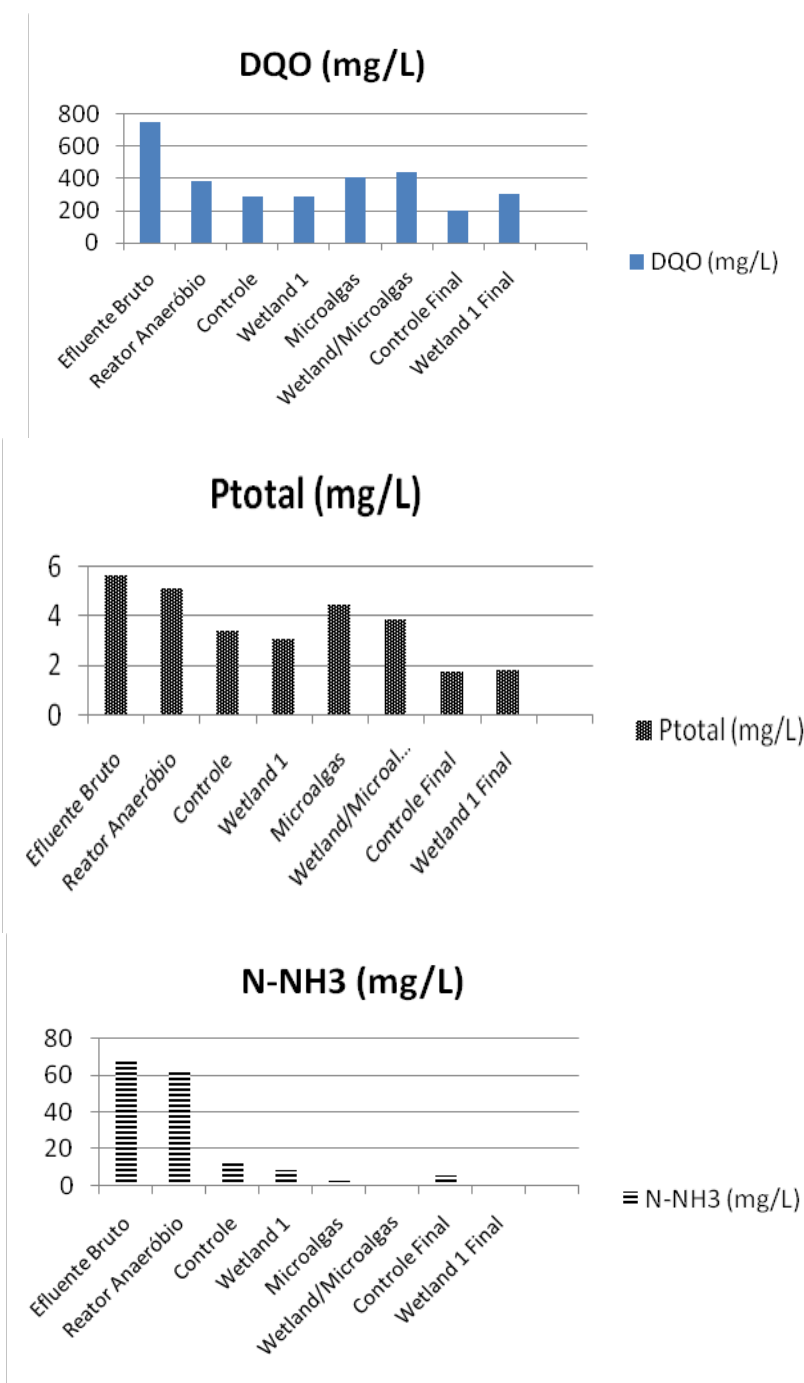


Figura 8: Perfil do desempenho quanto a redução dos parâmetros de carga DQO, fósforo total e nitrogênio amoniacal para os sistemas da CONFIGURAÇÃO 3.

Os dados da Figura 8 demonstram que a efetividade da redução de carga eutrofizante é maior para o $\text{N-NH}_3/\text{NH}_4^+$, especialmente porque o método de medida por via de titulação não está com as interferências do método ótico para determinar fósforo total. Neste caso, a turbidez residual não foi eliminada, o que provoca a interferência positiva.

Os demais dados de controle geral podem ser vistos na Tabela 1, reunindo a referência da avaliação preliminar da geração de microalgas no sistema MA.

Tabela 1: Parâmetros de controle adicionais as sistemas da CONFIGURAÇÃO 3.

	pH	Condutividade (μScm^{-1})	Turbidez (UT)	Espectrofotometria*
Efluente Bruto	7,65	1005,17	193,62	0,71
REATOR ANAERÓBIO	6,98	1107,09	50,14	0,21
CONTROLE1	5,92	636,28	13,80	0,05
CONTROLE MISTO	6,28	618,01	0,82	0,03
WCFV 1	5,72	528,88	11,53	0,24
WCFV 1 +2 WCsFHSS	6,50	677,43	2,77	0,08
MA - Microalgas	8,49	671,13	73,49	0,57 ⁺⁺
WCFV 2 – Pós Algas	6,65	888,69	59,04	0,74 ⁺⁺
*Leitura feita em 420nm, e para amostras contendo microalgas ⁺⁺ , 686nm.				

As reduções de turbidez e condutividade refletem a biomassa reduzida após o processo anaeróbio, especialmente para o WCFV 1 e para o MA, indicando que melhor efetividade de fitorremediação no sistema WCFV2 poderá remover ação eutrofizante com fósforo total advindo do sistema coloidal das algas.

CONCLUSÕES

A melhor desenho para operação de desempenho do sistema MA + WCFV 1 foi obtida com a chamada CONFIGURAÇÃO 3, agregando melhor controle para reprodutibilidade dos dados e segurança operacional. Especialmente o reator MA está adequado para reprodução dos dados em escala real, pois está simplificado para distribuição dos efluentes em filmes capazes de permitir em vazões de $0,1 \text{ L min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ a taxa de desenvolvimento das algas em tempos de detenção de 3 dias.

Reduções totais de $\text{N-NH}_3/\text{NH}_4^+$, revelam que o sistema MA + WCFV 1 tem potencial para controle da eutrofização, sendo que para o controle do agente eutrofizante mais crítico, o fósforo, melhorias de controle operacional e analítico devem ser feitas, especialmente quanto aos parâmetros de carga e também no controle da interferência dos colóides no método ótico.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq (projeto 481620/2013-30), FAPERGS e UNISC com os financiamentos para a pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Method 990. n. 12 Official methods of analysis of AOAC International. 17. ed. Gaithersburg: AOAC International, p. 22-23. 2000.
2. APHA/AWWA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21. ed. Washington: APHA/AWWA/WEF, 2005.
3. COLLETTA, Vanessa Dalla. Avaliação ecotoxicológica da eficiência da detoxificação do efluente tratado pela estação de tratamento de esgoto da Universidade de Santa Cruz do Sul, RS, Brasil. 2008. 100 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental - Mestrado) - Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2008.

4. CONSEMA – CONSELHO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE - Resolução n. 128/2006. Disponível em: <<http://www.sema.rs.gov.br/upload/Resolucao%20CONSEMA%20245-2010.pdf>>. Acesso em: junho de 2014.
5. DUARTE, Marcos Daniel. Caracterização da rotulagem ambiental de produtos. Dissertação de Mestrado, UFSC, Florianópolis, SC, 1997.
6. DUFRESNE, K., NECULITA, C. , BRISSON, J. AND GENTY, T. Metal Retention Mechanisms in Pilot-Scale Constructed Wetlands Receiving Acid Mine Drainage, 10 th International Conference on Acid Rock Drainage and IMWA Annual Conference, 1-10, 2015.
7. DUPONT, Adriana. Avaliação da eficiência da Estação de Tratamento de Esgoto da Universidade de Santa Cruz do Sul, RS, Brasil. 2010. 159 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental) - Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2010.
8. HERRERA-MELIÁN, J.A., MARTÍN-RODRÍGUEZ, A.J., ORTEGA-MÉNDEZ, A., ARAÑA, J., DOÑA-RODRÍGUEZ, J.M., PÉREZ-PEÑA, J. Degradation and detoxification of 4-nitrophenol by advanced oxidation technologies and bench-scale constructed wetlands Journal of Environmental Management 105, 53-60, 2012.
9. HORN, Tamara Bianca. Integração de sistemas *wetlands* construídos + fotoozonização catalítica no tratamento de efluentes de campus universitário. 2011. 157 f. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental- Mestrado) - Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2011.
10. LU, S., PEI, L., BAI, X. Study on method of domestic wastewater treatment through new-type multi-layer artificial wetland international journal of hydrogen energy 40 11207 and 11214, 2015.
11. MACHADO, A. P. et al. Life cycle assessment of wastewater treatment options for small and decentralized communities. Water Science & Technology Vol 56 No 3 pp 15–22, 2007.
12. MADDOX, J. J. and KINGSLEY, J. B. Waste treatment for confined swine with na integrated artificial wetland and aquaculture system, Chapter 14. In: HAMMER, D. A. Constructed etlands for wastewater treatment: municipal, industrial and agricultural, CRC Press, 628 págs., 1988.
13. MUNOZ, Ivan, et al. *Life cycle assessment of a coupled solar photocatalytic–biological process for wastewater treatment*. Lisboa, 2006.
14. PHILIPPI, L. S.; SEZERINO, P. H. Aplicação de sistemas tipo *wetlands* no tratamento de águas residuárias: utilização de filtros plantados com macrófitas. Florianópolis: Editora do Autor, 2004.
15. SEZERINO, P. H. Potencialidade dos filtros plantados com macrófitas (*constructed wetlands*) no pós-tratamento de lagoas de estabilização sob condições de clima subtropical. 2006. 171 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
16. SILVEIRA, Daniele. Estudos Fenológicos da macrófita *Hymenachne grumosa* (Magnoliophyta- Poaceae) na aplicação de *Wetlands* construídos para o tratamento de efluentes secundários de campus universitário. 2010. 103 f. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental- Mestrado) - Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2010.
17. SILVEIRA, E. O. ; WINK, M. ; ZERWES, F. V. ; John, J. ; MACHADO, Ê.L. . Sistema integrado de tratamento de efluentes urbanos com microalgas e *wetlands* construídos. In: Segundo Simpósio Brasileiro Sobre *Wetlands* Construídos, 2015, Curitiba. Segundo Simpósio Brasileiro Sobre *Wetlands* Construídos. Curitiba: UTFPR, v. 2. p. 1-10, 2015.
18. TAVARES, Flávia de Almeida. Eficiência da *Lemna* sp. no tratamento de efluentes de suinocultura e sua utilização como fonte alternativa de alimento para tilápias. 2004. 106 f. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Aqüicultura – Mestrado) - Universidade de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.
19. 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. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2002. Dissertação de Mestrado 28p.
20. ZERWES, Filipe Vargas. *Sistema de tratamento e reúso de águas residuárias em Pequenas propriedades rurais: acompanhamento e operação de Estação no vale do rio pardo – RS*. 2013. 69 f. Dissertação (Programa de Pós- Graduação em Tecnologia Ambiental – Mestrado, Área de Concentração em Gestão e Tecnologia Ambiental) -Universidade de Santa Cruz do Sul, 2013.
21. ZERWES, F. V. ; KERN, D. ; [LUTTERBECK, C. A.](#) ; [KIST, Lourdes Teresinha](#) ; MACHADO, Ê. L. . Avaliação citogenética do tratamento com o processo uasb/biofiltro anaeróbio/*wetlands* construídos de fluxo subsuperficial (WCFSS) de efluentes de propriedade rural. Revista Engenharia e Construção Civil, v. 2, p. 52-60, 2015.