



FIXAÇÃO DE CO₂ E ASPECTOS FENOLÓGICOS NO TRATAMENTO DE EFLUENTE URBANO TRATADO POR WETLAND CONSTRUÍDO DE FLUXO VERTICAL EM BATELADA

Júlia Fernanda Radtke

Acadêmica do Curso de Química Industrial – Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC. email: jfernanda@mx2.unisc.br

William Ribeiro

Acadêmico do Curso de Biologia – Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC. e-mail: ribwillian@hotmail.com

Sabine Pommerehn

Bióloga – Universidade de Santa Cruz do Sul-UNISC. email: sabinep@mx2.unisc.br

Elizandro Oliveira Silveira

Biólogo, Mestre em Tecnologia Ambiental – Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC. email elizandrozz@yahoo.com.br

Ênio Leandro Machado⁽¹⁾

Químico Industrial, Doutor em Engenharia – Universidade de Santa Cruz do Sul-UNISC

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

Resumo: A integração de processos semelhantes com ecossistemas vem cada vez mais sendo estudada como forma de remediação para águas residuárias no mundo. Os *Wetlands* Construídos em conjunto com microalgas são um exemplo. Assim sendo, neste trabalho foi investigada a combinação de sistema de microalgas (MA) com *Wetlands* Construídos de Fluxo Vertical (WCFV), considerando aspectos de redução da carga poluente dos efluentes, fenologia no WCFV e de fixação de CO₂ na etapa de fitorremediação. Os sistemas de tratamento foram operados em batelada com alimentação de efluente urbano de tanque equalizador de estação de tratamento de efluentes de universidade. Com tempo de detenção hidráulica de 7 dias foram determinados principalmente as variações das cargas poluentes em termos de DQO, N-NH₄⁺, P total, Cor absorciométrica em 420 e 686 nm, bem como a biomassa gerada em período de três meses para poda da macrófita *Hymenachne grumosa*. Além da redução da ação eutrofizante em termos de N-NH₄⁺ de 100%, a fixação de CO₂ representou ganho ambiental significativo de 2,46 kg CO₂ m⁻² por mês na etapa de WCFV, com produção de biomassa vegetal de 1,6 kg m⁻² por mês.

Palavras-chave: Tratamento de efluentes; Fenologia; Fixação de Carbono.



CARBON FOOTPRINT AND PHENOLOGYCAL ASPECTS IN THE URBAN WASTEWATER TREATMENT BY CONSTRUCTED WETLANDS IN VERTICAL FLOW IN BATCH REGIMEN

Abstract: *The integration of processes similar to ecosystems is increasingly being studied as a form of remediation for wastewater in the world. The Constructed Wetlands in conjunction with microalgae are an example. Therefore, this study investigated the combination of microalgae system (MA) with Constructed Wetlands of Vertical Flow (CWVF) considering ways of reducing the pollution load of wastewater, phenology in WCFV and CO₂ fixation in phytoremediation stage. The treatment systems were operated batchwise with urban sewage feed from equalizer tank from effluent treatment plant in university. With hydraulic retention time of 7 days were mainly determined the variations of pollution loads in terms of COD, N-NH₄⁺, P total, Absorciometric Color at 420 and 686 nm, and the biomass generated in the three months to pruning macrophyte *Hymenachne grumosa*. In addition to reducing the eutrophic action in terms of N-NH₄⁺ in 100%, CO₂ fixation represented significant environmental gain of 2.46 kg CO₂ m⁻² per month in CWVF stage, with production of plant biomass of 1.6 kg m⁻² per month.*

Keywords: *Wastewater treatment; Phenology; Carbon footprint*

1. INTRODUÇÃO

A concepção de unidades de saneamento recuperadoras de áreas degradadas, ou referenciadas nos mecanismos de funcionamento de ecossistemas equilibrados, vem sendo uma constante nos estudos de tratamento de efluentes por vários pesquisadores. Aspectos como processos com análise de ciclo de vida favorável, especialmente por recuperar energia, permitir circuito fechados para águas residuárias, ou considerar os passivos ambientais dos esgotos como fonte de insumos e matéria prima são citados frequentemente. Alcantara et al., 2015, consideraram a simbiose entre algas e bactérias em concepção de sistema integrado com fotobiorreator/decantador para reduzir COT em 90% e nitrogênio total em 68%. Ramachandra et al, 2016, consideraram experiências com a integração de *wetlands* construídos (WCs) em fluxo horizontal e algas dispostas em reator tipo valo de oxidação. Reduções para DQO, DBO₅, NTK e PO₄³⁻ foram superiores a 60%.

Maddox e Kingsley, 1989, experimentaram a integração inversa dos sistemas de WCs com algas, investigando 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). Neste caso, o tratamento dos efluentes dos tanques de criação de peixes integrou *wetlands* construídos de fluxo horizontal subsuperficial, aplicando a macrófita *Eleocharis dulcis*, com cargas volumétricas de 0,15, 0,1 e 0,06 m dia⁻¹. Diminuições nos valores 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 consideraram aspectos para diferentes integrações com WCs para o tratamento dos efluentes: reatores anaeróbios + WCs; reator anaeróbio + tanque de aeração + WCs e Filtro Anaeróbio + WCs.

Turcius e Papenbrock, 2014, consideram a piscicultura para agregar a criação de peixes e os WCs como forma de polimento sustentável em substituição as unidades tradicionais de remediação com lagoas de polimento, especialmente por integrar os aspectos produtivos do sistema de saneamento.



Com as várias tendências de sustentabilidade para o saneamento de águas residuárias surgem estudos de avaliação dos impactos ambientais positivos, especialmente quando ligadas a fixação de carbono. Grika et al., 2015, estabeleceram valores do impacto comparando estruturas de construção para os WCs que os tornassem menos impactantes, especialmente substituindo as estruturas de concreto por argila compactada e geomantas. No entanto, a contabilidade ambiental de fixação de CO₂ com as macrófitas não foi feita, desconsiderando aspecto favorável ao sistema de fitorremediação. Nestes casos, muitas vezes, os autores consideram que o CO₂ fixado retorna com o ciclo biogeoquímico, não relevando então este aspecto.

Aspectos de efeito estufa também devem ser considerados, especialmente com emissões de N₂O e CH₄. Johansson et al., 2004, consideraram faixas de emissões de 375-1739 mg m⁻² dia⁻¹.

Neste sentido, considerando estudos de CHOEFI et al., 2004, expressões relacionando a fixação de CO₂ foram aplicadas neste trabalho para a contabilidade ambiental positiva dos WCs em sistema integrado com microalgas, bem como os efeitos de redução da carga poluente dos efluentes tratados. Apesar do efeito positivo das microalgas, estas não foram consideradas neste trabalho.

2. METODOLOGIA

2.1. Caracterizações Analíticas e Análise Fenológica

A coleta dos efluentes foi executada considerando o tempo de detenção hidráulica de sete dias para as MA e o WCFV. As amostras foram imediatamente analisadas.

As análises físico-químicas, químicas e biológicas realizadas foram: DQO, N-NH₄⁺, P Solúvel_{total}, cor absorciométrica em 420 e 686 nm, turbidez e pH. Os procedimentos foram executados de acordo com *Standard Methods for Water and Wastewater (2005)*.

A poda do WC foi feita em um intervalo de quatro meses, sendo considerado para este estudo o período de janeiro até abril de 2016. O material foi da poda da *Hymenachne grumosa* acima de 20 cm do leito dos WCs. A secagem foi feita em estufa com temperatura de 50 °C com as folhas da macrófita picadas em tamanho de 4 cm e com valores até peso constante.

Os cálculos para as fixações de CO₂ consideraram o trabalho de CHOEFI et al., 2004.

2.2. Ensaios de Tratamento dos Efluentes

Os ensaios de tratamento foram realizados conforme a Figura 1. Durante o período de 4 meses o sistema da Figura 1 foi operado com tempo de detenção de sete dias (TDHs), sendo mantido o regime de batelada com carga de 30 L no WCFV durante 1 hora.

O sistema integrado MA + WCFV foi formado por caixa para proliferação de microalgas de 200L de volume útil, inserida com cone de acrílico como distribuidor de recirculação (dimensões de 20L), com bomba submersa com capacidade para 1,5 m h⁻¹ de coluna d'água, alimentada por célula fotovoltaica. O WCFV foi composto por caixa de polietileno de 200L, preenchido com brita n° 4 e n° 1, areia e macrófitas emergentes (*Hymenachne grumosa*) (SILVEIRA, 2016).

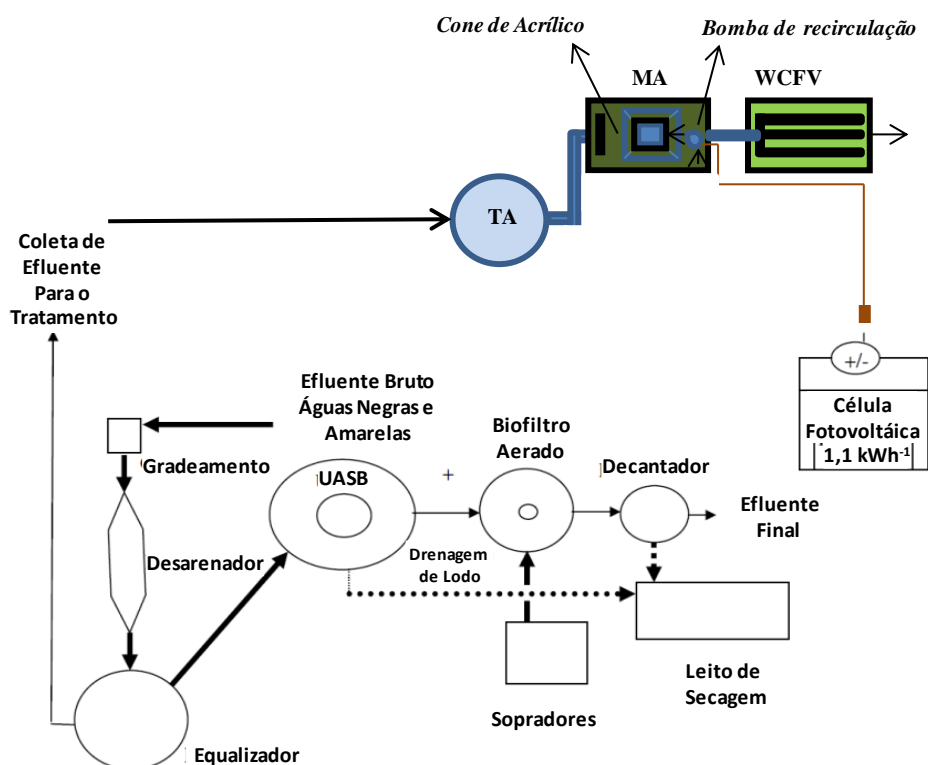


Figura 1: Esquema geral da inserção do sistema Microalgas + Wetlands Construídos de Fluxo Vertical para as pesquisas com efluentes da ETE UNISC. TA – Tanque Anaeróbio.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Caracterização dos efluentes nas etapas TA + MA + WCFV

Os parâmetros gerais apresentados na Figura 1 definem eficiência maior para remoção do nitrogênio amoniacal, considerando que a unidade MA estabelece potencialidades de assimilação do íon NH_4^+ ; a oxidação para NH_2OH ; a geração de N_2O e N_2 elimináveis na fase gasosa (ALCANTARA et al., 2015). Outro aspecto que deve ser considerado é que estudos realizados por Silveira, 2016, não agregam valores de expressivos de NTK, NO_3^- e NO_2^- nos efluentes tratados, reforçando a ganho de redução do agente eutrofizante analisado.

Em um sistema óxico e anóxico não há reduções significativas para os íons Fe^{2+} , NO_2^- , agregando os valores elevados de DQO também para os ácidos húmicos e fúlvicos. Como também podem ser observadas na Figura 1, as reduções de DQO passam a ser significativas apenas na quarta amostragem. A referência para os valores de absorvância em 420 nm que aumentaram especialmente pós WCFV são associados aos ácidos orgânicos comentados anteriormente.

Já a ineficiência do processo para reduções de fósforo total podem ser associados aos ciclos da fase *plateau* na etapa de tratamento das MA, pois neste caso a resolubilização do agente eutrofizante pode ocorrer, contribuindo para concentração e aumento dos valores também na etapa WCFV (HODAI et al., 2014).

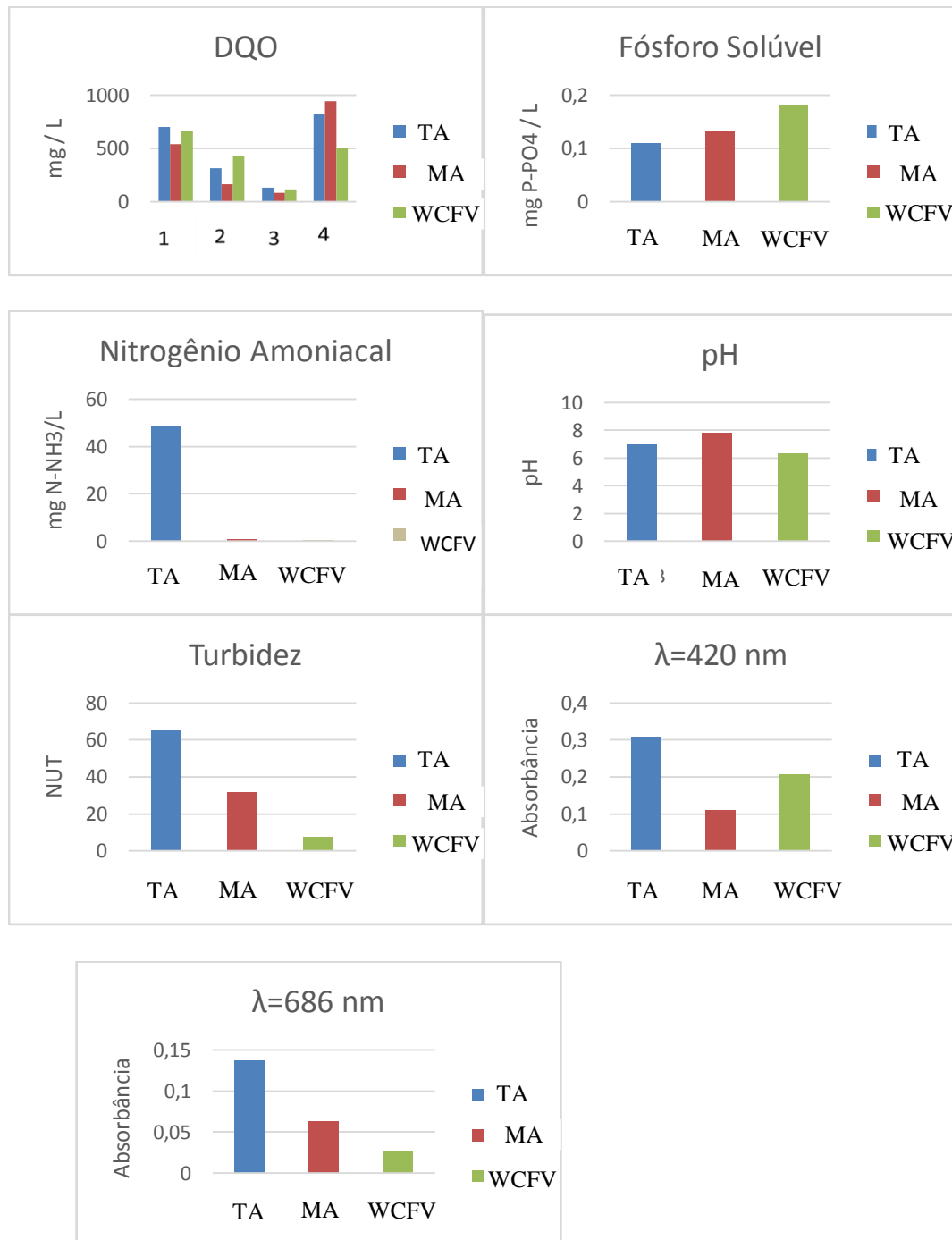


Figura 1: Avaliações dos parâmetros gerais no sistema integrado TA + MA + WCFV.

Assim sendo, ações de experimentação de diferentes TDHs para ajustes das fases aclimatação, propagação e *plateau* na etapa MA, bem como ajuste de fator de carga de 20 cm dia⁻¹ no WCFV devem ser consideradas para melhor desempenho do sistema.

3.2 Caracterização da biomassa gerada pelos Wetlands Construídos

Um dos fatores que justificam a aplicação do sistema integrado utilizando WCs pode ser demonstrado quando a biomassa gerada é considerada ou quantificada, esta biomassa, depois de realizados os devidos estudos toxicológicos, pode ser utilizada como alimento para animais ou ainda ser utilizada em outras aplicações voltadas a conversão em bioprodutos (Figura 2).



Figura 2: Exemplo de geração de biomassa dos WCs (foto do autor dos WCFV da unidade da Figura 1).

Como forma de quantificação da biomassa gerada no WCFV estudado foi calculada a massa média gerada a partir da determinação da coleta (poda) a uma altura de cerca de 0,20m acima da superfície do meio suporte dos *Wetlands* Construídos, considerando a massa úmida e a massa seca (massa úmida/ massa seca). A quantidade de massa seca obtida pode ser observada na Tabela 1, após quatro meses da primeira poda do sistema WCFV. Também nesta Tabela podem ser observados os dados de fixação de CO₂, considerando as expressões de CHOHI et al., 2004 com base nos cálculos de massa seca.



Tabela 1: Quantificação média da biomassa gerada e CO₂ fixado no período de 4 meses dos *Wetlands* Construídos.

Processo WCFV	Biomassa úmida Média kg m ⁻²	Bioassa seca Média kg m ⁻²
TDH = 7 dias; COV (DQO) = 4,8 g m ⁻² dia ⁻¹ ; <i>Hymenachne grumosa</i> ; Altura da coluna d'água filtrante de 40 cm; Poda a cada quatro meses para 0,2 m de altura.	8,36	6,25
		Percentual Aproximado de Carbono (m/m) Analisado por Horn, 2011. 43 CO₂ fixado m⁻² por mês 2,46 kg

Os resultados obtidos representaram comportamento semelhante aos descritos em pesquisas já realizadas utilizando esta macrófita como fitorremediadora, demonstrando obter uma produção de biomassa relativamente alta neste tipo de aplicação (SILVEIRA, 2010 e HORN, 2011). No entanto, a diferença das pesquisas citadas anteriormente é diretamente relacionada com as taxas de produção em kg m⁻². No caso do trabalho desenvolvido por Horn (2011) a taxa de produção de biomassa no *Wetland* Construído foi de 1,6 kg m⁻² no período de 4 meses, enquanto que para o sistema MA + WCFV foi 4 vezes maior.

A diferença para este maior rendimento se deve ao regime de operação do sistema, uma vez que a presente pesquisa foi realizada em batelada, enquanto que Horn (2011) utilizou fluxo contínuo.

Futuros estudos devem considerar a contribuição da unidade de MA, reforçando a fixação desta biomassa na unidade de WCFV.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A redução especialmente do potencial eutrofizante devido ao nitrogênio amoniacal dos efluentes urbanos estudados foi o que manteve maior eficiência dos ensaios de remediação MA + WCFV. Especialmente o sistema óxico /anóxico da unidade MA proporcionou este aspecto.

Ajustes quanto a remoção de fósforo total devem ser repensados com as etapas de desenvolvimento das microalgas, já sendo conhecidas referências de tempo para as etapas de aclimatação, propagação e *plateau* que devem ser melhor definidas no sistema. Para o sistema WCFV deve ser controlada a carga de P total m⁻² dia⁻¹ não supere 0,2 g.

A fixação de carbono no processo foi efetiva quanto a etapa WCFV. No entanto, estudo mais completo deve ser feita explorando a quantidade de biomassa das algas que efetivamente é gerada e retida na etapa MA.



Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro concedido pela FAPERGS, UNISC e CNPq para bolsas de iniciação científica e em especial ao CNPq pelos projetos 481620 / 2013-3, 307257/2015-0 e 406200/2015-7.

5. REFERÊNCIAS

ALCÁNTARA, C.; DOMÍNGUEZ, J. M.; GARCÍA, D.; BLANCO, S.; PÉREZ, R.; GARCÍA-ENCINA, P. A.; MUÑOZ, R. Evaluation of wastewater treatment in a novel anoxic-aerobic algal-bacterial photobioreactor with biomass recycling through carbon and nitrogen mass balances **Bioresource Technology**, **191**, 173–186, 2015.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21. ed. Washington: APHA/AWWA/WEF, 2005.

CHOHFI, F. M.; DUPAS, F. A.; LORA, E. E. S. Balanço, análise de emissão e seqüestro de CO₂ na geração de eletricidade excedente no setor sucro-alcooleiro. **An. 5. Enc. Energ. Meio Rural**, 2004.

GKIKI, D.; GIKAS, G. D.; TSIHRINTZIS, V. A. Environmental footprint of constructed wetlands treating wastewater *Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, **Volume 50, Issue 6**, 2015

HODAI, Z. HORVÁTH, G. HANÁK, L. BOCSI R. Separation methods in the algae technology hungarian **Journal of Industry and Chemistry Veszprém vol. 40(1) pp. 5–8, 2012.**

HORN, T. B. **Integração de sistemas wetlands construídos + fotoozonização catalítica no tratamento de efluentes de campus universitário**. Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental, Universidade de Santa Cruz do Sul, p. 157, 2011.

JOHANSSON, A.E.; GUSTAVSSON, A.M., OQUIST, M.G., SVENSSON, B.H. Methane emissions from a constructed wetland treating wastewater—seasonal and spatial distribution and dependence on edaphic factors. **Water Research** **38** 3960–3970, 2004.

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.

MADDOX, J. J. and KINGSLEY, J. B. Waste treatment for confined swine with an integrated artificial wetland and aquaculture system, Chapter 14. In: HAMMER, D. A. *Constructed wetlands for wastewater treatment: municipal, industrial and agricultural*, **CRC Press**, 628 págs., 1988.

RAMACHANDRA, T. V.; MAHAPATRA, D. M.; BHAT, S.; ASULABHA K. S.; AITHAL, B. H. Integrated wetlands ecosystem: sustainable model to mitigate water crisis in bangalore **Technical Report - April 2014 DOI: 10.13140/RG.2.1.1466.4169**

SILVEIRA, Elizandro Oliveira. **Sistema integrado reator anaeróbio+microalgas+wetlands construídos no tratamento de efluentes urbanos**. 2016. 119 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental – Mestrado) - Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2016.

TURCIOS, A. E.; PAPENBROCK, J. Sustainable Treatment of Aquaculture Effluents—What Can We Learn from the Past for the Future? **Sustainability**, **6**, 836-856; 2014. doi:10.3390/su6020836



10° Simpósio
Internacional de
Qualidade Ambiental

Regulamentação Ambiental,
Desenvolvimento e Inovação

19 a 21 de outubro de 2016
Prédio 41 | PUCRS | Porto Alegre/RS



REALIZAÇÃO



CORREALIZAÇÃO



INFORMAÇÕES

abes-rs@abes-rs.org.br
51 3212.1375