

UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL –
MESTRADO

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM GESTÃO E TECNOLOGIA AMBIENTAL

Mateus da Silva Szarblewski

***ALGAL TURF SCRUBBER (ATS): AVALIAÇÃO DAS VARIÁVEIS PARA
OPERAÇÃO DO SISTEMA E DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E
BIOLÓGICAS DA BIOMASSA PERIFÍTICA EM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES
DE NUTRIENTES***

Santa Cruz do Sul

2020

Mateus da Silva Szarblewski

ALGAL TURF SCRUBBER (ATS): AVALIAÇÃO DAS VARIÁVEIS PARA OPERAÇÃO DO SISTEMA E DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E BIOLÓGICAS DA BIOMASSA PERIFÍTICA EM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE NUTRIENTES

Esta dissertação foi apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental – Mestrado e Doutorado, Área de Concentração em Gestão e Tecnologia Ambiental, Linha de Pesquisa em Microbiologia aplicada à Tecnologia Ambiental, Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Tecnologia Ambiental.

Orientadora:

Prof.^a Dr.^a Rosana de Cassia de Souza Schneider.

Coorientadora:

Prof.^a Dr.^a Tiele Medianeira Rizzetti

Santa Cruz do Sul

2020

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado forças e condições de chegar até aqui. Agradeço minha orientadora, Prof^a. Dra. Rosana de Cassia de Souza Schneider e coorientadora, Prof^a. Dra. Tiele Medianeira Rizzetti, e também a Prof^a. Dra Michele Hoeltz, por toda a paciência, apoio e tempo disponibilizado para a orientação deste trabalho.

Agradeço a Adriana Dupont e Carla Heinrich por terem disponibilizado seu tempo para o levantamento de microalgas, resultados imprescindíveis para esse trabalho. As secretárias do PPGTA - Mestrado e Doutorado, Carla Oliveira, Raquel Schultz e Marleti Silveira por toda ajuda e esclarecimentos.

Agraço a Gisele Alves, bolsista do presente projeto, por todo o empenho, organização e dedicação para as coletas, análises e troca de conhecimento. Certamente sua ajuda foi de fundamental importância para a conclusão deste trabalho. Da mesma forma gostaria de agradecer aos meus colegas da Mercur pela ajuda e compreensão, que cobriram minha ausência para que eu pudesse me dedicar à pesquisa. Estendo meu agradecimento aos vigilantes do Lago Dourado Nestor, Alexandre, Valdir e Valdecir por permitirem a coleta de água e cuidarem do sistema instalado no lago sempre avisar quando da ocorrência de algum problema.

Agradeço ao Felipe Martini, pela abertura ao esclarecimento de dúvidas e trocas de ideias. Agradeço também por ter montando o sistema ATS piloto do lago Dourado, que serviu de inspiração para o sistema ATS de laboratório, utilizado no presente trabalho.

Meu agradecimento especial à minha namorada Caroline, que me apoiou durante todo esse período do mestrado, me dando forças para seguir em frente, em busca dos meus objetivos. Agradeço também aos meus amigos, que me apoiaram nessa caminhada e que entenderam o motivo da minha ausência. Sou muito grato pela amizade que cultivamos.

Por último, quero agradecer à minha família, e a família da Caroline, pelo apoio incondicional. Em especial, gostaria de agradecer a minha mãe Rosa Maria Cruz da Silva e aos meus avós Luciana Rodrigues e Leonardo Szarblewski (*in memoriam*) que me criaram e ensinaram o valor do estudo, lembrando-me

sempre, que essa era a única ferramenta que eu tinha se quisesse escolher outro destino para a vida, que não o trabalho na roça.

“Se eu acredito em Deus? Mas que valor poderia ter minha resposta, afirmativa ou não? O que importa é saber se Deus acredita em mim.”

(Mário Quintana, 30 de jul 1906 † 5 maio 1994)

RESUMO

A eutrofização é um fenômeno que ocorre devido ao enriquecimento de corpos de água com nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, oriundos de atividades antrópicas como águas de drenagem agrícola, efluentes industriais e urbanos. Soluções de engenharia ecológica que consideram a capacidade dos organismos vivos de tratar e remediar águas e efluentes contaminados têm sido amplamente estudadas. Um exemplo disso é a tecnologia *algal turf scrubber* (ATS) que usa comunidades fitoplanctônicas. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o comportamento de um sistema ATS, analisando a biomassa perifítica produzida sob diferentes concentrações de nutrientes. Para isso, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre os sistemas ATS desenvolvidos, considerando os principais parâmetros envolvidos para a construção de um equipamento, seguido das condições operacionais do sistema. Verificou-se que a capacidade de remoção de nutrientes em sistemas ATS está relacionada com uma série de variáveis como: fluxo de alimentação do sistema; espécies presentes na biomassa e turbulência da lâmina de água ao passar pelo sistema. Para os experimentos utilizou-se uma solução fertilizante contendo NPK (nitrogênio, fósforo e potássio) na concentração de 1, 2, 3, 4 e 5 g L⁻¹. A maior produtividade de biomassa, $13,3 \pm 2,5$ g m⁻² d⁻¹, foi empregando 5 g L⁻¹ de NPK. O teor lipídico máximo foi de $9,6 \pm 1,45\%$ (m/m), com o potencial de produtividade de óleo estimada em 2.865 L ha⁻¹ ano⁻¹. A concentração de carboidratos foi de $23 \pm 2.5\%$ (m/m); e dentre os ácidos graxos encontrados, o palmítico está em maior abundância, $35,14 \pm 9,35\%$. A produtividade de perifíton apresentou uma correlação positiva com a concentração de nutrientes que entram no sistema, enquanto que a concentração de carboidratos na biomassa mantém-se estável durante todas as taxas de nutrientes estudadas.

Palavras-chave: Algal Turf Scrubber, perifíton, parâmetros operacionais.

ABSTRACT

Algal Turf Scrubber (ATS): evaluation of variables for the system's operation and the physical, chemical and biological properties of periphytical biomass in different nutrient concentrations

Eutrophication is a phenomenon that occurs due to the enrichment of water bodies with nutrients, mainly phosphorus and nitrogen, coming from human activities such as agricultural drainage waters, industrial and urban effluents. Ecological engineering solutions that consider the ability of living organisms to treat and remedy contaminated waters and effluents have been widely studied. An example of this is the algal turf scrubber technology that uses phytoplanktonic communities. The objective of the present work was to evaluate an ATS system's behavior, analyzing the periphytic biomass produced under different concentrations of nutrients. For this, a bibliographic review was carried out on the ATS systems developed, considering the main parameters involved for the construction of equipment, followed by the system's operational conditions. It was found that the ability to remove nutrients in ATS systems is related to a series of variables such as system feed flow, species present in the biomass, and turbulence of the water when passing through the system. For the experiments, a fertilizer solution containing NPK (nitrogen, phosphorus and potassium) in the concentration of 1, 2, 3, 4 and 5 g L⁻¹ was used. The highest biomass productivity, 13.3 ± 2.5 g m⁻² d⁻¹, was using 5 g L⁻¹ of NPK. The maximum lipid content was 9.6 ± 1.45% (w/w), with the potential for oil productivity estimated at 2,865 L ha⁻¹ year⁻¹. The carbohydrate concentration was 23 ± 2.5% (w/w), and among the fatty acids found, palmitic acid is in greater abundance, 35.14 ± 9.35%. The productivity of the periphyton showed a positive correlation with the concentration of nutrients that enter the system. In contrast, the concentration of carbohydrates in the biomass remains stable during all the studied nutrient rates.

Keywords: Algal turf scrubber, periphyton, operational parameters.

LISTA DE FIGURAS

Figure 1: Highlight from bibliometric map of “nutrient removal” and “lake” published in the last 5 years.....	24
Figure 2: Cluster graphic obtained through bibliometric mapping using VOSviewer and keywords related to “algal turf scrubber”.....	25
Figure 3: Correlation between P loading rate and P areal removal rate.....	33
Figure 4: Algal Turf Scrubber on a laboratory scale: left imagen and right scheme.....	44
Figure 5: Evolution of the average pH of the water used in each experiment during the period followed.....	49
Figure 6: Comparison of the average of the water pH between the first day (Day 1) and the last day (Day 7), for each experiment.....	50
Figure 7: Comparison of the average of the water alkalinity between the first day.....	51
Figure 8: Correlation of biomass productivity, in $\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$, for the different concentrations of NPK used in each experiment.....	52
Figure 9: Percentage of total carbohydrates and their respective monosaccharide composition in mg g^{-1} , present in the peripheral biomass.....	55
Figure 10: Percentual of total lipid content found in the harvested biomass by dried weight.	56
Figure 11: Estimated lipid production (ELP) in $\text{L ha}^{-1} \text{y}^{-1}$, based in the results of total lipid content and biomass productivity for each experiment.....	58
Figure 12: Fatty acid methyl esters profile during the experiments.....	59
Figure 13: Number of identified algal taxa per phyla (grey bars) observed on all four ATS replicates: E1, E2, E3 and E4.....	60

LISTA DE TABELAS

Table 1: N and P content in biomass and periphyton productivity.....	27
Table 2: Removal of TP and TN based on the difference in the concentration of nutrients at the inlet flow (influent) and after treated (effluent) in algal turf scrubber systems.....	32
Table 3: Annual costs to nitrogen removal, phosphorous removal, biomass production and the costs to water treatment in ATS systems.....	40
Table 4: Conditions adopted in the experiments, conductivity and total solids dissolved	48
Table 5: Nutrients composition in the dry biomass.....	53
Table 6: Algae taxa found in each phyla.....	60

Lista de abreviaturas, unidades e símbolos

, (vírgula)	Separador de milhares
. (ponto)	Separador de decimais
$\mu\text{s cm}^{-1}$	Microsiemens por centímetro
ATS	Algal Turf Scrubber
B_{dw}	Massa de biomassa seca
cm s^{-1}	Centímetros por segundo
ELP	Produtividade de Lipídeos Estimada
FAME	Ésteres metílicos de ácidos graxos
GEE	Gases de efeito estufa
HLR	Taxa de carga hidráulica
IC	Carbono inorgânico
$\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$	Unidade de medida em quilogramas por hectare por dia
$\text{kg ha}^{-1} \text{y}^{-1}$	Unidade de medida em quilogramas por hectare por ano
$\text{L ha}^{-1} \text{y}^{-1}$	Litros por hectare por ano
LC	Conteúdo Lipídico
m^3	Metros cúbicos
mg kg^{-1}	Miligramas por quilograma
ng L^{-1}	Nanograma por litro
RE	Eficiência de remoção
TDS	Sólidos totais dissolvidos
TN	Nitrogênio total
TP	Fósforo total
$\text{US\$ kg}^{-1} \text{y}^{-1}$	Dólares americanos por quilograma por ano
$\text{US\$ m}^{-3}$	Dólares americanos por metro cúbico
US\$	Dólar americano
w/w	Composição com base na relação massa-massa (m/m)

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
2.	OBJETIVOS.....	Erro! Indicador não definido.
2.1.	Objetivo geral	Erro! Indicador não definido.
2.2.	Objetivos específicos.....	Erro! Indicador não definido.
3.	CAPÍTULO 1 - Project parameters and operating conditions of algal turf scrubbers: A review	Erro! Indicador não definido.
3.1.	Introduction.....	Erro! Indicador não definido.
3.2.	Research methodology.....	Erro! Indicador não definido.
3.3.	Bibliometric analysis: An overview	Erro! Indicador não definido.
3.4.	Operational variables of ATS systems	Erro! Indicador não definido.
3.4.1.	Nutrient requirement and removal efficiency	Erro! Indicador não definido.
3.4.2.	Turf community.....	Erro! Indicador não definido.
3.4.3.	Pulsed conditions	Erro! Indicador não definido.
3.4.4.	Flow rate and hydraulic loading rate	Erro! Indicador não definido.
3.4.5.	Capital costs	Erro! Indicador não definido.
3.5.	Final considerations.....	Erro! Indicador não definido.
3.6.	References	Erro! Indicador não definido.
4.	CAPÍTULO 2 – Composition analysis of periphyton algal turf scrubber under different concentrations of nutrients	Erro! Indicador não definido.
4.1.	Introduction.....	Erro! Indicador não definido.
4.2.	Materials and Methods	Erro! Indicador não definido.

- 4.2.1. Algal turf scrubber system: construction and operation **Erro! Indicador não definido.**
- 4.2.2. Experimental setup and periphyton cultivation **Erro! Indicador não definido.**
- 4.2.3. Water analyses..... **Erro! Indicador não definido.**
- 4.2.4. Biomass harvest and productivity **Erro! Indicador não definido.**
- 4.2.5. Biomass: analysis of algae community structure **Erro! Indicador não definido.**
- 4.2.6. Biomass: determination of total carbohydrates, monosaccharides, total lipids, fatty acid and estimated lipid production
Erro! Indicador não definido.
- 4.2.7. Biomass: quantification of macro and micronutrients **Erro! Indicador não definido.**
- 4.2.8. Statistical analysis **Erro! Indicador não definido.**
- 4.3. Results and Discussion **Erro! Indicador não definido.**
- 4.3.1. Conductivity, total dissolved solids, alkalinity and pH **Erro! Indicador não definido.**
- 4.3.2. Evaluate of biomass production.... **Erro! Indicador não definido.**
- 4.3.3. Macro and micronutrients composition of the biomass..... **Erro! Indicador não definido.**
- 4.3.4. Carbohydrates composition **Erro! Indicador não definido.**
- 4.3.5. Total lipid content and estimated lipid production **Erro! Indicador não definido.**
- 4.3.6. Fatty acid methyl esters characterization **Erro! Indicador não definido.**
- 4.3.7. Algal periphyton species..... **Erro! Indicador não definido.**
- 4.4. Conclusions..... **Erro! Indicador não definido.**
- 4.5. References **Erro! Indicador não definido.**

5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	Erro! Indicador não definido.
5.	TRABALHOS FUTUROS	Erro! Indicador não definido.
6.	REFERÊNCIAS	65

1. INTRODUÇÃO

O aumento da população mundial e suas respectivas demandas por recursos naturais, que cresceram de forma mais intensa a partir da revolução industrial, vem causando fortes alterações no equilíbrio e funções ambientais (Smith, Tilman et al. 1999, Smith and Schindler 2009, David, Tortajada et al. 2020). Nesse contexto, tem-se a alteração drástica da superfície global através de práticas de uso do solo em que: florestas são destruídas para a criação de áreas de cultivo e pastagens; e a criação de grandes centros urbanos e indústrias consomem montantes cada vez maiores de combustíveis fósseis e recursos naturais. Como consequência, essas práticas podem levar a contaminação de corpos de água potável e a maior parte dos oceanos (Gries, Redlin et al. 2019).

Neste contexto, a eutrofização foi apontada como um dos exemplos mais visíveis de mudanças na biosfera causadas pelo homem. Este é fenômeno que indica o enriquecimento de corpos de água com nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio, oriundos de atividades antrópicas como águas de drenagem agrícola, efluentes industriais e urbanos (Smith and Schindler 2009, Greaver, Clark et al. 2016).

Um dos principais problemas causados pela eutrofização é o aparecimento de florações de algas em corpos de água, principalmente em ambientes lênticos, o que ocasiona desequilíbrios ecossistêmicos (Sun, Sun et al. 2018). Além disso, a ocorrência de florações de cianobactérias em corpos de água utilizados para o abastecimento humano pode ocasionar problemas de saúde pública em vários países (Calahan, Osenbaugh et al. 2018). Assim, águas superficiais eutrofizadas favorecem eventos de florações de algas e cianobactérias conhecidos como HABs (do inglês *harmful algal blooms*) ou quando há predominância de cianobactérias é cHABs, as quais produzem 2-metilisoborneol (2-MIB) e trans-1,10-dimetil-trans-9-decalol (geosmina-GSM), ambos compostos odoríferos perceptíveis em concentrações muito baixas da ordem de 10 ng L^{-1} (Srinivasan and Sorial 2011, Bullerjahn, McKay et al. 2016). Sistemas de engenharia ecológica, baseados na capacidade que certos ecossistemas possuem em remover nutrientes, vem apresentando bons resultados na redução dos níveis de fósforo e nitrogênio em corpos de água doce e salgada. Entre os principais

sistemas de engenharia ecológica podemos citar os *wetlands* contruídos, as lagoas e tanque abertos, fotobiorreatores e as rampas para a formação de tapetes de algas, denominados algal turf scrubbers - ATS (Adey, Laughinghouse IV et al. 2013, Vymazal 2014, Yun, Cho et al. 2018).

O ATS é um sistema que vem demonstrando ser eficiente na remoção de nitrogênio e fósforo de corpos hídricos e efluentes, ao mesmo tempo que, absorve carbono atmosférico para o seu desenvolvimento (Pizarro, Mulbry et al. 2006). A criação desse sistema se deu na década de 90 e foi inspirado no funcionamento de recifes de corais, os quais possuem as maiores capacidades metabólicas já relatadas no planeta (Adey, Luckett et al. 1993). Além da absorção dos nutrientes e compostos presentes na água é possível utilizar a biomassa gerada no ATS para produção produtos como biocombustíveis, rações e fertilizantes (Sandefur, Matlock et al. 2011).

O uso de sistemas ATS vem sendo estudado em diversos países como Estados Unidos, China, Áustria e Brasil, como forma de biorremediação de diferentes tipos de efluentes como: efluentes de bovinocultura leiteira, suinocultura, *runoff* agrícola, efluentes domésticos e industriais (D'Aiuto, Patt et al. 2015, Sindelar, Yap et al. 2015, Jerney, Mayr et al. 2016). No entanto, para que um sistema ATS seja instalado de forma adequada e gere resultados esperados, uma série de fatores devem ser considerados, entre os quais estão: custos operacionais, produtividade de perifíton, composição da biomassa, capacidade de remoção de nutrientes e condições de operação do sistema (Kesaano and Sims 2014).

Assim, para a implementação de um sistema ATS e obtenção de uma maior eficiência é necessário conhecer os principais parâmetros e características operacionais desse sistema, bem como, estudar o comportamento e composição da comunidade perifítica que cresce em um ATS sob concentrações de nutrientes controladas. Nesse contexto, esta dissertação encontra-se organizada em forma de dois artigos escritos em língua inglesa. O primeiro, é um artigo de revisão bibliográfica sobre os parâmetros que são mais relevantes para a operação do sistema ATS, abordando a composição química e biológica do perifíton, condições de fluxo, rendimento de biomassa e uma breve contextualização sobre os custos operacionais. No segundo artigo encontram-se os resultados de

experimentos com o sistema ATS em escala laboratorial operado com diferentes concentrações de nutrientes.

4. REFERÊNCIAS

- Adey, W. (2008). "Algal Turf Scrubbers: Cleaning Water While Capturing Solar Energy."
- Adey, W., C. Lockett and K. Jensen (1993). "Phosphorus removal from natural waters using controlled algal production." Restoration Ecology **1**(1): 29-39.
- Adey, W. H., P. C. Kangas and W. Mulbry (2011). "Algal turf scrubbing: cleaning surface waters with solar energy while producing a biofuel." Bioscience **61**(6): 434-441.
- Adey, W. H., H. D. Laughinghouse IV, J. B. Miller, L. A. C. Hayek, J. G. Thompson, S. Bertman, K. Hampel and S. J. Puvanendran (2013). "Algal turf scrubber (ATS) flowways on the Great Wicomico River, Chesapeake Bay: productivity, algal community structure, substrate and chemistry." Journal of phycology **49**(3): 489-501.
- Adey, W. H. and K. Loveland (2011). Dynamic aquaria: building living ecosystems, Elsevier.
- Allen, J., S. Unlu, Y. Demirel, P. Black and W. Riekhof (2018). "Integration of biology, ecology and engineering for sustainable algal-based biofuel and bioproduct biorefinery." Bioresources and Bioprocessing **5**(1): 47.
- American Public Health, A. (1998). "Alkalinity (2320)/titration method." Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater: 2-26.
- Arnon, S., A. I. Packman, C. G. Peterson and K. A. Gray (2007). "Effects of overlying velocity on periphyton structure and denitrification." Journal of Geophysical Research: Biogeosciences **112**(G1).
- Barsanti, L. and P. Gualtieri (2018). "Is exploitation of microalgae economically and energetically sustainable?" Algal research **31**: 107-115.
- Bashar, R., K. Gungor, K. G. Karthikeyan and P. Barak (2018). "Cost effectiveness of phosphorus removal processes in municipal wastewater treatment." Chemosphere **197**: 280-290.
- Becker, F. G., R. A. Ramos and L. de Azevedo Moura (2007). Biodiversidade: regiões da Lagoa do Casamento e dos Butiazais de Tapes, planície costeira do Rio Grande do Sul, Ministério do Meio Ambiente Brazil.
- Blersch, D. M., P. C. Kangas and W. W. Mulbry (2013). "Turbulence and nutrient interactions that control benthic algal production in an engineered cultivation raceway." Algal Research **2**(2): 107-112.
- Boelee, N. C., H. Temmink, M. Janssen, C. J. N. Buisman and R. H. Wijffels (2011). "Nitrogen and phosphorus removal from municipal wastewater effluent using microalgal biofilms." Water research **45**(18): 5925-5933.
- Bohutskyi, P., S. Chow, B. Ketter, C. F. Shek, D. Yacar, Y. Tang, M. Zivojnovich, M. J. Betenbaugh and E. J. Bouwer (2016). "Phytoremediation of agriculture runoff by filamentous algae poly-culture for biomethane production, and nutrient recovery for secondary cultivation of lipid generating microalgae." Bioresource technology **222**: 294-308.
- Boyd, C. E., C. S. Tucker and B. Somridhivej (2016). "Alkalinity and hardness: critical but elusive concepts in aquaculture." Journal of the World Aquaculture Society **47**(1): 6-41.
- Bullerjahn, G. S., R. M. McKay, T. W. Davis, D. B. Baker, G. L. Boyer, L. V. D'Anglada, G. J. Doucette, J. C. Ho, E. G. Irwin, C. L. Kling, R. M. Kudela, R. Kurmayer, A. M. Michalak, J. D. Ortiz, T. G. Otten, H. W. Paerl, B. Qin, B. L. Sohngen, R. P. Stumpf, P. M. Visser and S. W. Wilhelm (2016). "Global solutions to

regional problems: Collecting global expertise to address the problem of harmful cyanobacterial blooms. A Lake Erie case study." Harmful Algae **54**: 223-238.

Cai, T., S. Y. Park and Y. Li (2013). "Nutrient recovery from wastewater streams by microalgae: status and prospects." Renewable and Sustainable Energy Reviews **19**: 360-369.

Calahan, D., E. Osenbaugh and W. Adey (2018). "Expanded algal cultivation can reverse key planetary boundary transgressions." Heliyon **4**(2): e00538.

Cao, W. and Y. Zhang (2014). "Removal of nitrogen (N) from hypereutrophic waters by ecological floating beds (EFBs) with various substrates." Ecological engineering **62**: 148-152.

Carmo, C. A. F. d. S., W. S. de Araujo, A. C. d. C. Bernardi and M. F. C. Saldanha (2000). "Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos." Embrapa Solos-Circular Técnica (INFOTECA-E).

Carpenter, R. C., J. M. Hackney and W. H. Adey (1991). "Measurements of primary productivity and nitrogenase activity of coral reef algae in a chamber incorporating oscillatory flow." Limnology and Oceanography **36**(1): 40-49.

Castillejo, P., S. Chamorro, L. Paz, C. Heinrich, I. Carrillo, J. G. Salazar, J. C. Navarro and E. A. Lobo (2018). "Response of epilithic diatom communities to environmental gradients along an Ecuadorian Andean River." Comptes rendus biologies **341**(4): 256-263.

Chen, H., J. Wang, Y. Zheng, J. Zhan, C. He and Q. Wang (2018). "Algal biofuel production coupled bioremediation of biomass power plant wastes based on *Chlorella* sp. C2 cultivation." Applied Energy **211**: 296-305.

Chen, H. and Q. Wang (2020). "Microalgae-based nitrogen bioremediation." Algal Research **46**: 101775.

Chen, N., J. Li, Y. Wu, P. C. Kangas, B. Huang, C. Yu and Z. Chen (2015). "Nutrient removal at a drinking water reservoir in China with an algal floway." Ecological Engineering **84**: 506-514.

Choi, O. K., Z. Hendren, G. D. Kim, D. Dong and J. W. Lee (2020). "Influence of activated sludge derived-extracellular polymeric substance (ASD-EPS) as bio-flocculation of microalgae for biofuel recovery." Algal Research **45**: 101736.

Christenson, L. and R. Sims (2011). "Production and harvesting of microalgae for wastewater treatment, biofuels, and bioproducts." Biotechnology advances **29**(6): 686-702.

Craggs, R. J., W. H. Adey, K. R. Jenson, M. S. S. John, F. B. Green and W. J. Oswald (1996). "Phosphorus removal from wastewater using an algal turf scrubber." Water Science Technology **33**(7): 191-198.

Craggs, R. J., W. H. Adey, B. K. Jessup and W. J. Oswald (1996). "A controlled stream mesocosm for tertiary treatment of sewage." Ecological Engineering **6**(1-3): 149-169 %@ 0925-8574.

Craggs, R. L. (2001). "Wastewater treatment by algal turf scrubbing." Water Science and Technology **44**(11-12): 427-433.

Czarczyk, K. and K. Myszka (2007). "Biosynthesis of extracellular polymeric substances (EPS) and its role in microbial biofilm formation." Polish Journal of Environmental Studies **16**(6).

d MetzEltin, L.-B. "h. & garcía-ro-dríguEz, f.(2005): Diatoms of Uruguay. Compared with other taxa from South America and elsewhere." LangE-BERtaLoT, h.(ed.): Iconographia diatomologica. Annotated diatom micrographs **15**.

D'Aiuto, P. E., J. M. Patt, J. P. Albano, R. G. Shatters and T. J. Evens (2015). "Algal turf scrubbers: Periphyton production and nutrient recovery on a South Florida citrus farm." Ecological Engineering **75**: 404-412.

David, V., S. Tortajada, N. Savoye, M. Breret, N. Lachaussée, O. Philippine, F.-X. Robin and C. Dupuy (2020). "Impact of human activities on the spatio-seasonal dynamics of plankton diversity in drained marshes and consequences on eutrophication." Water Research **170**: 115287.

Davis, R., C. Kinchin, J. Markham, E. Tan, L. Laurens, D. Sexton, D. Knorr, P. Schoen and J. Lukas (2014). Process design and economics for the conversion of algal biomass to biofuels: algal biomass fractionation to lipid-and carbohydrate-derived fuel products, National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States).

de Souza Celente, G., G. S. Colares, É. L. Machado and E. A. Lobo (2019). "Algae turf scrubber and vertical constructed wetlands combined system for decentralized secondary wastewater treatment." Environmental Science and Pollution Research **26**(10): 9931-9937.

Delgado, C., I. Pardo and L. García (2012). "Diatom communities as indicators of ecological status in Mediterranean temporary streams (Balearic Islands, Spain)." Ecological Indicators **15**(1): 131-139.

DeRose, K., C. DeMill, R. W. Davis and J. C. Quinn (2019). "Integrated techno economic and life cycle assessment of the conversion of high productivity, low lipid algae to renewable fuels." Algal research **38**: 101412.

Geider, R. J. and J. La Roche (2002). "Redfield revisited: variability of C [ratio] N [ratio] P in marine microalgae and its biochemical basis." European Journal of Phycology **37**(1): 1-17.

González, C., J. Marciniak, S. Villaverde, C. Leon, P. A. Garcia and R. Munoz (2008). "Efficient nutrient removal from swine manure in a tubular biofilm photo-bioreactor using algae-bacteria consortia." Water Science and Technology **58**(1): 95-102.

Greaver, T. L., C. M. Clark, J. E. Compton, D. Vallano, A. F. Talhelm, C. P. Weaver, L. E. Band, J. S. Baron, E. A. Davidson and C. L. Tague (2016). "Key ecological responses to nitrogen are altered by climate change." Nature Climate Change **6**(9): 836-843.

Gries, T., M. Redlin and J. E. Ugarte (2019). "Human-induced climate change: the impact of land-use change." Theoretical and applied climatology **135**(3-4): 1031-1044.

Gross, M., D. Jarboe and Z. Wen (2015). "Biofilm-based algal cultivation systems." Applied microbiology and biotechnology **99**(14): 5781-5789.

Grossart, H. P., F. Levold, M. Allgaier, M. Simon and T. Brinkhoff (2005). "Marine diatom species harbour distinct bacterial communities." Environmental Microbiology **7**(6): 860-873.

Hess, D., L. M. Wendt, B. D. Wahlen, J. E. Aston, H. Hu and J. C. Quinn (2019). "Techno-economic analysis of ash removal in biomass harvested from algal turf scrubbers." Biomass and bioenergy **123**: 149-158.

Hoffman, J., R. C. Pate, T. Drennen and J. C. Quinn (2017). "Techno-economic assessment of open microalgae production systems." Algal research **23**: 51-57.

Hoh, D., S. Watson and E. Kan (2016). "Algal biofilm reactors for integrated wastewater treatment and biofuel production: a review." Chemical Engineering Journal **287**: 466-473.

Hu, Q., M. Sommerfeld, E. Jarvis, M. Ghirardi, M. Posewitz, M. Seibert and A. Darzins (2008). "Microalgal triacylglycerols as feedstocks for biofuel production: perspectives and advances." The plant journal **54**(4): 621-639.

Hydromentia, S. (2005). "154 Pilot Single Stage Algal Turf Scrubber (ATS) Final Report." South Florida Water Management District.

Jerney, J., M. Mayr and M. Schagerl (2016). "Biofilm scrubbing for restoration—algae community composition and succession in artificial streams."

Johnson, M. B. and Z. Wen (2010). "Development of an attached microalgal growth system for biofuel production." Applied microbiology and biotechnology **85**(3): 525-534.

Kadir, W. N. A., M. K. Lam, Y. Uemura, J. W. Lim and K. T. Lee (2018). "Harvesting and pre-treatment of microalgae cultivated in wastewater for biodiesel production: a review." Energy conversion and management **171**: 1416-1429.

Kangas, P. and W. Mulbry (2014). "Nutrient removal from agricultural drainage water using algal turf scrubbers and solar power." Bioresource technology **152**: 484-489.

Kangas, P., W. Mulbry, P. Klavon, H. D. Laughinghouse and W. Adey (2017). "High diversity within the periphyton community of an algal turf scrubber on the Susquehanna River." Ecological engineering **108**: 564-572.

Kantawanichkul, S., S. Kladprasert and H. Brix (2009). "Treatment of high-strength wastewater in tropical vertical flow constructed wetlands planted with *Typha angustifolia* and *Cyperus involucratus*." Ecological engineering **35**(2): 238-247.

Katarzyna, L., G. Sai and O. A. Singh (2015). "Non-enclosure methods for non-suspended microalgae cultivation: literature review and research needs." Renewable and Sustainable Energy Reviews **42**: 1418-1427.

Kebede-Westhead, E., C. Pizarro and W. W. Mulbry (2006). "Treatment of swine manure effluent using freshwater algae: production, nutrient recovery, and elemental composition of algal biomass at four effluent loading rates." Journal of applied phycology **18**(1): 41-46.

Kebede-westhead, E., C. Pizarro, W. W. Mulbry and A. C. Wilkie (2003). "Production and Nutrient Removal by Periphyton Grown Under Different Loading Rates of Anaerobically Digested Flushed Dairy Manure 1." Journal of Phycology **39**(6): 1275-1282.

Kesaano, M., R. D. Gardner, K. Moll, E. Lauchnor, R. Gerlach, B. M. Peyton and R. C. Sims (2015). "Dissolved inorganic carbon enhanced growth, nutrient uptake, and lipid accumulation in wastewater grown microalgal biofilms." Bioresource technology **180**: 7-15.

Kesaano, M. and R. C. Sims (2014). "Algal biofilm based technology for wastewater treatment." Algal Research **5**: 231-240.

Knud-Hansen, C. F. and D. Clair (1998). Pond fertilization: ecological approach and practical application, Pond Dynamics/Aquaculture Collaborative Research Support Program, Oregon

Kumar, D. and B. Singh (2019). "Algal biorefinery: An integrated approach for sustainable biodiesel production." Biomass and Bioenergy **131**: 105398.

Le Moal, M., C. Gascuel-Oudou, A. Ménesguen, Y. Souchon, C. Étrillard, A. Levain, F. Moatar, A. Pannard, P. Souchu and A. Lefebvre (2019). "Eutrophication: A new wine in an old bottle?" Science of the total environment **651**: 1-11.

Lewis Jr, W. M., W. A. Wurtsbaugh and H. W. Paerl (2011). "Rationale for control of anthropogenic nitrogen and phosphorus to reduce eutrophication of inland waters." Environmental science & technology **45**(24): 10300-10305.

Liu, J., B. Danneels, P. Vanormelingen and W. Vyverman (2016). "Nutrient removal from horticultural wastewater by benthic filamentous algae *Klebsormidium* sp., *Stigeoclonium* spp. and their communities: From laboratory flask to outdoor Algal Turf Scrubber (ATS)." Water Research **92**: 61-68.

Liu, J., B. Pemberton, J. Lewis, P. J. Scales and G. J. O. Martin (2019). "Wastewater treatment using filamentous algae—A review." Bioresource Technology: 122556.

Liu, J., Y. Wu, C. Wu, K. Muylaert, W. Vyverman, H.-Q. Yu, R. Muñoz and B. Rittmann (2017). "Advanced nutrient removal from surface water by a consortium of attached microalgae and bacteria: A review." Bioresource Technology **241**: 1127-1137.

Liu, N., Y. Yang, F. Li, F. Ge and Y. Kuang (2016). "Importance of controlling pH-dependent dissolved inorganic carbon to prevent algal bloom outbreaks." Bioresource Technology **220**: 246-252.

Lobo, E. A., C. E. Wetzel, M. Schuch and L. Ector (2014). "Diatomáceas epilíticas como indicadores da qualidade da água em sistemas lóticos subtropicais e temperados brasileiros." EDUNISC, Santa Cruz do Sul.

Marella, T. K., A. Datta, M. D. Patil, S. Dixit and A. Tiwari (2019). "Biodiesel production through algal cultivation in urban wastewater using algal floway." Bioresource technology **280**: 222-228.

Marion, J. W., F. Zhang, D. Cutting and J. Lee (2017). "Associations between county-level land cover classes and cyanobacteria blooms in the United States." Ecological Engineering **108**: 556-563.

Martini, F. A., A. Rubert, M. P. de Souza, L. T. Kist, M. Hoeltz, L. B. Benitez, T. M. Rizzetti, P. D. Gressler and R. d. C. de Souza Schneider (2019). "Periphytic biomass composition and exploitation from algae turf scrubber system." SN Applied Sciences **1**(7): 765.

Martini, F. A., A. Rubert, M. P. de Souza, L. T. Kist, M. Hoeltz, L. B. Benitez, T. M. Rizzetti, P. D. Gressler and R. d. C. d. S. Schneider (2019). "Periphytic biomass composition and exploitation from algae turf scrubber system." SN Applied Sciences **1**(7): 765.

Mayr, M., J. Jerney and M. Schagerl (2015). "Combating planktonic algae with benthic algae." Ecological Engineering **74**: 310-318.

Metzeltin, D. (2007). "Tropical diatoms of South America II. Special remarks on biogeographic disjunction." Iconogr. Diatomol. **18**: 1-877.

Metzeltin, D., H. Lange-Bertalot and F. Gacía-Rodórguez (2005). "Diatoms of Uruguay compared with other taxa from South America and elsewhere. 736 pp." Iconographia Diatomologica **15**.

Mulbry, W., P. Kangas and S. Kondrad (2010). "Toward scrubbing the bay: Nutrient removal using small algal turf scrubbers on Chesapeake Bay tributaries." Ecological Engineering **36**(4): 536-541.

Mulbry, W., S. Kondrad and J. Buyer (2008). "Treatment of dairy and swine manure effluents using freshwater algae: fatty acid content and composition of algal biomass at different manure loading rates." Journal of applied phycology **20**(6): 1079-1085.

Mulbry, W., S. Kondrad, C. Pizarro and E. Kebede-Westhead (2008). "Treatment of dairy manure effluent using freshwater algae: algal productivity and recovery of manure nutrients using pilot-scale algal turf scrubbers." Bioresource technology **99**(17): 8137-8142.

Munoz, R. and B. Guieysse (2006). "Algal–bacterial processes for the treatment of hazardous contaminants: a review." Water research **40**(15): 2799-2815.

Nhat, P. V. H., H. H. Ngo, W. S. Guo, S. W. Chang, D. D. Nguyen, P. D. Nguyen, X. T. Bui, X. B. Zhang and J. B. Guo (2018). "Can algae-based technologies be an affordable green process for biofuel production and wastewater remediation?" Bioresource technology **256**: 491-501.

Niccolai, A., G. Chini Zittelli, L. Rodolfi, N. Biondi and M. R. Tredici (2019). "Microalgae of interest as food source: Biochemical composition and digestibility." Algal Research **42**: 101617.

Ortiz-Tena, J. G., B. Rühmann, D. Schieder and V. Sieber (2016). "Revealing the diversity of algal monosaccharides: Fast carbohydrate fingerprinting of microalgae using crude biomass and showcasing sugar distribution in *Chlorella vulgaris* by biomass fractionation." Algal Research **17**: 227-235.

Pacheco, M. M., M. Hoeltz, M. S. A. Moraes and R. C. S. Schneider (2015). "Microalgae: Cultivation techniques and wastewater phycoremediation." Journal of Environmental Science and Health, Part A **50**(6): 585-601.

Paerl, H. W. and V. J. Paul (2012). "Climate change: links to global expansion of harmful cyanobacteria." Water research **46**(5): 1349-1363.

Perendeci, N. A., V. Yılmaz, B. Ertit Taştan, S. Gökgöl, M. Fardinpoor, A. Namlı and J. P. Steyer (2019). "Correlations between biochemical composition and biogas production during anaerobic digestion of microalgae and cyanobacteria isolated from different sources of Turkey." Bioresource Technology **281**: 209-216.

Pittman, J. K., A. P. Dean and O. Osundeko (2011). "The potential of sustainable algal biofuel production using wastewater resources." Bioresource technology **102**(1): 17-25.

Pizarro, C., W. Mulbry, D. Bliersch and P. Kangas (2006). "An economic assessment of algal turf scrubber technology for treatment of dairy manure effluent." Ecological engineering **26**(4): 321-327 %@ 0925-8574.

Posadas, E., S. Bochon, M. Coca, M. C. García-González, P. A. García-Encina and R. Muñoz (2014). "Microalgae-based agro-industrial wastewater treatment: a preliminary screening of biodegradability." Journal of applied phycology **26**(6): 2335-2345.

Ray, N. E., D. E. Terlizzi and P. C. Kangas (2015). "Nitrogen and phosphorus removal by the Algal Turf Scrubber at an oyster aquaculture facility." Ecological engineering **78**: 27-32.

Remmers, I. M., R. H. Wijffels, M. J. Barbosa and P. P. Lamers (2018). "Can we approach theoretical lipid yields in microalgae?" Trends in biotechnology **36**(3): 265-276.

Sandefur, H. N., M. D. Matlock and T. A. Costello (2011). "Seasonal productivity of a periphytic algal community for biofuel feedstock generation and nutrient treatment." Ecological engineering **37**(10): 1476-1480.

Sano, D., A. Hodges and R. Degner (2005). "Economic analysis of water treatments for phosphorus removal in Florida." University of Florida, IFAS. (7 March 2011).

Sant'Anna, C. L. (2006). Manual ilustrado para identificação e contagem de cianobactérias planctônicas de águas continentais brasileiras, Interciência; São Paulo: Sociedade Brasileira de Ficologia.

Schnurr, P. J. and D. G. Allen (2015). "Factors affecting algae biofilm growth and lipid production: A review." Renewable and Sustainable Energy Reviews **52**: 418-429.

Sekar, R., V. P. Venugopalan, K. K. Satpathy, K. V. K. Nair and V. N. R. Rao (2004). Laboratory studies on adhesion of microalgae to hard substrates. Asian Pacific Phycology in the 21st Century: Prospects and Challenges, Springer: 109-116.

Shuba, E. S. and D. Kifle (2018). "Microalgae to biofuels: 'Promising' alternative and renewable energy, review." Renewable and Sustainable Energy Reviews **81**: 743-755.

Silvever, S., Y. Kawakami, N. Kanno, H. Kasai, A. Shiimoto, S. Katakura and S. Nagai (2019). "Toxic HAB species from the Sea of Okhotsk detected by a metagenetic approach, seasonality and environmental drivers." Harmful Algae **87**: 101631.

Sindelar, H. R., J. N. Yap, T. H. Boyer and M. T. Brown (2015). "Algae scrubbers for phosphorus removal in impaired waters." Ecological Engineering **85**: 144-158.

Siville, B. and W. J. Boeing (2020). "Optimization of algal turf scrubber (ATS) technology through targeted harvest rate." Bioresource Technology Reports **9**: 100360.

Sluiter, J. B., R. O. Ruiz, C. J. Scarlata, A. D. Sluiter and D. W. Templeton (2010). "Compositional analysis of lignocellulosic feedstocks. 1. Review and description of methods." Journal of agricultural and food chemistry **58**(16): 9043-9053.

Smith, V. H. and D. W. Schindler (2009). "Eutrophication science: where do we go from here?" Trends in ecology & evolution **24**(4): 201-207.

Smith, V. H., G. D. Tilman and J. C. Nekola (1999). "Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems." Environmental pollution **100**(1-3): 179-196.

Srinivasan, R. and G. A. Sorial (2011). "Treatment of taste and odor causing compounds 2-methyl isoborneol and geosmin in drinking water: A critical review." Journal of Environmental Sciences **23**(1): 1-13.

Suganya, T., M. Varman, H. H. Masjuki and S. Renganathan (2016). "Macroalgae and microalgae as a potential source for commercial applications along with biofuels production: a biorefinery approach." Renewable and Sustainable Energy Reviews **55**: 909-941.

Sukačová, K. and J. Červený (2017). "Can algal biotechnology bring effective solution for closing the phosphorus cycle? Use of algae for nutrient removal—review of past trends and future perspectives in the context of nutrient recovery." European Journal of Environmental Sciences **7**(1).

Sun, R., P. Sun, J. Zhang, S. Esquivel-Elizondo and Y. Wu (2018). "Microorganisms-based methods for harmful algal blooms control: A review." Bioresource Technology **248**: 12-20.

Suparmaniam, U., M. K. Lam, Y. Uemura, J. W. Lim, K. T. Lee and S. H. Shuit (2019). "Insights into the microalgae cultivation technology and harvesting process for biofuel production: A review." Renewable and Sustainable Energy Reviews **115**: 109361.

Sutherland, D. L. and R. J. Craggs (2017). "Utilising periphytic algae as nutrient removal systems for the treatment of diffuse nutrient pollution in waterways." Algal research **25**: 496-506.

Tang, C.-C., Y. Tian, Z.-W. He, W. Zuo and J. Zhang (2018). "Performance and mechanism of a novel algal-bacterial symbiosis system based on sequencing batch suspended biofilm reactor treating domestic wastewater." Bioresource technology **265**: 422-431.

Templeton, D. W., M. Quinn, S. Van Wychen, D. Hyman and L. M. L. Laurens (2012). "Separation and quantification of microalgal carbohydrates." Journal of Chromatography A **1270**: 225-234.

- USEPA (2007). "Method 3051A microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils." Z. Für Anal. Chem **111**: 362-366.
- Valeta, J. and M. Verdegem (2015). "Removal of nitrogen by Algal Turf Scrubber Technology in recirculating aquaculture system." Aquaculture Research **46**(4): 945-951.
- Vymazal, J. (2007). "Removal of nutrients in various types of constructed wetlands." Science of the total environment **380**(1-3): 48-65.
- Vymazal, J. (2014). "Constructed wetlands for treatment of industrial wastewaters: a review." Ecological Engineering **73**: 724-751.
- Waghmare, A., S. Patil, J. G. LeBlanc, S. Sonawane and S. S. Arya (2018). "Comparative assessment of algal oil with other vegetable oils for deep frying." Algal research **31**: 99-106.
- Wang, J.-H., L.-L. Zhuang, X.-Q. Xu, V. M. Deantes-Espinosa, X.-X. Wang and H.-Y. Hu (2018). "Microalgal attachment and attached systems for biomass production and wastewater treatment." Renewable and Sustainable Energy Reviews **92**: 331-342.
- Wurtsbaugh, W. A., H. W. Paerl and W. K. Dodds (2019). "Nutrients, eutrophication and harmful algal blooms along the freshwater to marine continuum." Wiley Interdisciplinary Reviews: Water **6**(5): e1373.
- Yan, Z., P. C. Kangas, X. Yuan, Y. Chen, Y. Zhang, J. Li, Y. Su, X. Gao and N. Chen (2018). "Flow conditions influence nutrient removal at an artificial lake and a drinking water reservoir with an algal floway." Algal Research **35**: 245-252.
- York, P. V. and L. R. Johnson (2002). The Freshwater Algal Flora of the British Isles: An Identification Guide to Freshwater and Terrestrial Algae, Cambridge University Press.
- Yun, J.-H., D.-H. Cho, B. Lee, H.-S. Kim and Y. K. Chang (2018). "Application of biosurfactant from *Bacillus subtilis* C9 for controlling cladoceran grazers in algal cultivation systems." Scientific reports **8**(1): 1-13.
- Yun, J.-H., D.-H. Cho, S. Lee, J. Heo, Q.-G. Tran, Y. K. Chang and H.-S. Kim (2018). "Hybrid operation of photobioreactor and wastewater-fed open raceway ponds enhances the dominance of target algal species and algal biomass production." Algal research **29**: 319-329.
- Zhao, Y., X. Xiong, C. Wu, Y. Xia, J. Li and Y. Wu (2018). "Influence of light and temperature on the development and denitrification potential of periphytic biofilms." Science of The Total Environment **613-614**: 1430-1437.