

Eixo Temático ET-02-004 - Saneamento Ambiental

DOMINÂNCIA DE *Chlorella* sp. EM LAGOAS DE POLIMENTO NO PÓS TRATAMENTO DE EFLUENTE ANAERÓBIO

Maria Virgínia da Conceição Albuquerque¹, Tatiana Gomes de Pontes²,
José Tavares de Sousa³, Valderi Duarte Leite³, Wilton Silva Lopes³

¹Bióloga, Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental - UEPB.

²Tecnóloga em Produção Sucroalcooleira - UFPB. Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental - UEPB.

³Prof. Dr. do Departamento de Engenharia Ambiental - UEPB.

RESUMO

As microalgas e cianobactérias são microrganismos aquáticos com importância ecológica e com alta sensibilidade a mudanças ambientais. Em lagoas de estabilização, esses microrganismos são responsáveis pela estabilidade da relação simbiótica com as bactérias aeróbias, contribuindo direta e indiretamente, nos processos envolvendo remoção de nutrientes e remoção dos microrganismos patogênicos. Este estudo, avaliou a abundância relativa e ocorrência da frequência da comunidade fitoplanctônica em distintas lagoas de polimento no pós tratamento de efluente anaeróbico. A comunidade fitoplanctônica foi composta por 20 táxons distribuídos em cinco classes taxonômicas: Cyanophyceae (7 táxons), Chlorophyceae (5 táxons), Bacillariophyceae (4 táxons), Euglenophyceae (2 táxons) e Zygnemaphyceae (2 táxons). Seis dos 20 táxons foram identificados em nível de espécie (*Cylindropermopsis raciborskii*, *Monoraphidium arcuatum*, *Monoraphidium minutum*, *Phacus longicauda*, *Nitzschia palea*, e *Phacus tortus*) e quatorze em nível de gênero (*Gomphonema* sp, *Navícula* sp, *Cymbella* sp, *Scenedesmus* sp, *Chlorococcum* sp, *Chlorella* sp, *Cosmarium* sp, *Closterium* sp, *Phormidium* sp, *Lynblya* sp, *Gleiterinema* sp, *Microcystis* sp, *Oscillatoria* sp e *Planktothrix* sp). No estudo, o gênero *Chlorella* sp foi dominante e frequente em todas lagoas. Nas lagoas de estabilização, se verifica a predominância de algas verdes (Chlorophyta), destacando-se as microalgas do gênero *Chlorella* sp, que são microrganismos unicelulares, clorofilados, sem flagelos e com grande habilidade de realizar fotossíntese. As espécies de algas *Chlorella* já foram amplamente aplicadas no tratamento de efluentes e mostraram capacidade comprovada de remoção de nitrogênio, fósforo e auxílio aos microrganismos para a redução da matéria orgânica (DQO), com diferentes tempos de detenção hidráulica.

Palavras-chave: Lagoas de Estabilização; Tratamento Biológico; Fitoplâncton.

INTRODUÇÃO

A crescente preocupação em relação aos impactos ocasionados pelo despejo de esgoto in natura e tratado em corpos hídricos, resultou em uma série de legislações ambientais, critérios, políticas e estudos das melhores condições de descarga e do local de despejo, de modo que os impactos sejam minimizados (MARÇAL e SILVA, 2017; LIMA et al., 2018; BU et al., 2019).

Dentre as diversas tecnologias de tratamento de esgoto sanitário, as lagoas de estabilização são grandes bacias rasas cercadas por taludes de terra, onde os esgotos brutos são tratados por processos totalmente naturais envolvendo algas e bactérias. A taxa de oxidação lenta, resultando em tempos de detenção hidráulica (TDH) mais longos, da ordem de dias (MARA, 2004; VON SPERLING, 2014). Esta tecnologia compreende um dos métodos mais importante de tratamento de esgoto em países subdesenvolvidos, como o Brasil, onde há

disponibilidade de terra e a temperatura é mais favorável para o emprego deste método, além dos custos de instalação e operação de sistemas simplificados (MBURU et al., 2013).

No Brasil, 44,3% das estações de tratamento de esgoto domésticos possuem alguma variante das tecnologias de lagoas de estabilização como forma principal ou parcial do tratamento (1178 de 2657 unidades) que apresentam remoções de matéria orgânica entre 60 e maiores que 80% (ANA, 2017). Entretanto, os sistemas de lagoas de estabilização sofrem impactos sobre o desempenho pelo acúmulo de sólidos, floração de algas, flutuações de pH e fatores operacionais (TDH, irradiação solar, carga orgânica aplicada) (BOUZA-DEAÑO e SALAS-RODRÍGUEZ, 2013; SUTHERLAND et al., 2014; OUEDRAOGO et al., 2016; WALLACE et al., 2016; COGGINS et al. 2017; RAGUSH et al., 2017).

Constituindo a comunidade fitoplanctônica, as microalgas e cianobactérias são microorganismos aquáticos com importância ecológica e com alta sensibilidade a mudanças ambientais. Em lagoas de estabilização, esses microorganismos são responsáveis pela estabilidade da relação simbiótica com as bactérias aeróbias, contribuindo direta e indiretamente, nos processos envolvendo remoção de nutrientes (volatilização, precipitação e assimilação) e remoção dos microrganismos patogênicos (AMENGUAL-MORRO et al., 2012).

Segundo Zhang et al. (2010), Chi et al. (2011) e Olguín (2012), a composição química dos efluentes de tratamento anaeróbio de esgoto é adequada para crescimento e desenvolvimento das microalgas. Os compostos nitrogenados são convertidos em amônia, fonte importante de nitrogênio para as microalgas (KASSAB et al., 2010). Outra vantagem, quanto ao uso de efluente anaeróbio para o crescimento de microalgas, é a presença de CO₂ na forma de bicarbonato, além de ácidos orgânicos que são utilizados no crescimento heterotrófico/mixotrófico de algumas microalgas (LARSDOTTER, 2006). A presença de nitrogênio e fósforo nos efluentes é que suporta em grande parte o crescimento algal, sendo o nitrogênio um nutriente essencial e constituinte estrutural da biomassa, podendo alcançar entre 1-10% da massa seca. Enquanto o fósforo, pode atingir de 1-1,5% da massa seca em microalgas, sendo constituinte dos ácidos nucleicos e adenosina fosfatos (RICHMOND, 2004).

OBJETIVO

Avaliar a abundância relativa e ocorrência da frequência da comunidade fitoplanctônica em distintas lagoas de polimento no pós tratamento de efluente anaeróbio.

METODOLOGIA

Local de estudo

A pesquisa foi realizada na Estação Experimental de Tratamento Biológico de Esgotos Sanitários (EXTRABES), localizada na cidade de Campina Grande /PB (07° 14' 22'' S e 35° 53' 05'' W) e monitorado no período de janeiro à agosto de 2015.

Sistema experimental

Constituído de um reator UASB (construído em fibra de vidro; volume de 450 L, tempo de detenção hidráulica (TDH) de oito horas) e quatro lagoas de polimento, sendo duas com fluxo contínuo e duas em regime semi-contínuo (Figura 1). O esgoto bruto (EB) que alimentava o reator UASB provinha do interceptor leste do sistema de esgotamento sanitário da Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba (CAGEPA) em Campina Grande - PB, que passa pelas dependências da EXTRABES e era aduzido para uma caixa de alimentação de 1.000 litros, seguindo com fluxo contínuo, por gravidade até o reator UASB. O efluente desse reator era direcionado para um tanque de equalização (TE) que seguia por gravidade para lagoas de fluxo contínuo (LC₅₇ e LC₄₅) e para uma lagoa de transbordo (LT), com capacidade de 430 litros e TDH de 2,4 dias e alimentava as duas lagoas que funcionavam em sistemas semi-contínuo (LB₄₅ e LB₅₇) (Figura 1).

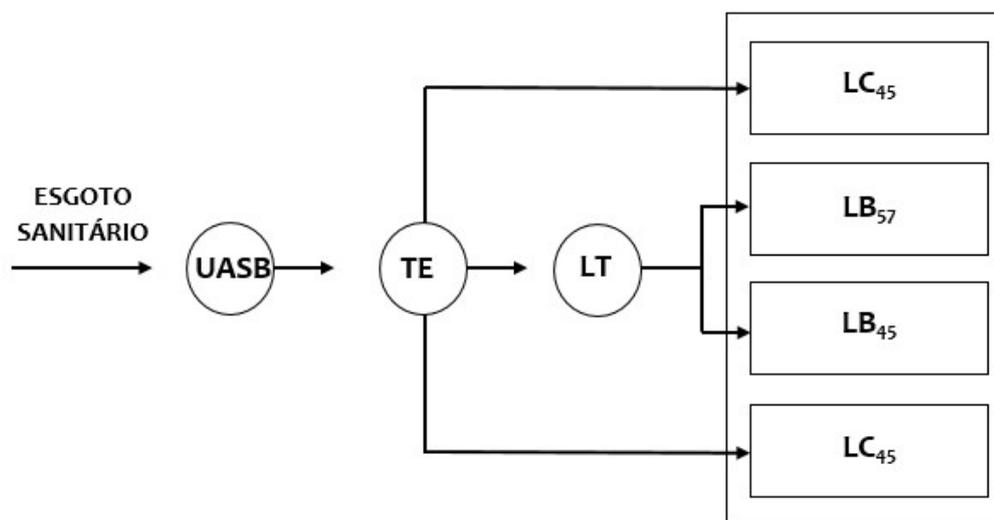


Figura 1. Diagrama do sistema experimental de tratamento do esgoto com lagoas de polimento.

As quatro lagoas foram construídas em alvenaria e suas características são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características das lagoas de polimento.

Lagoas		Profundidade (cm)	Área (m ²)	Volume (L)	TDH (dias)	Vazão (L/dia)	TAS*
LC ₅₇	Contínua	57	2	1140	12	95	53.7
LB ₅₇	semicontínua	57	1.76	1000	10	100	60.8
LB ₄₅	semicontínua	45	1.76	792	10	79	48
LC ₄₅	Contínua	45	1.76	792	12	66	42.4

*TAS: Taxa de Aplicação Superficial (kgDQOfha⁻¹dia⁻¹) DQO_f Demanda Química de Oxigênio Filtrada

Caracterização da comunidade fitoplanctônica

As caracterizações qualitativa e quantitativa da comunidade fitoplanctônica compostas por microalgas e cianobactérias, eram realizadas utilizando um coletor vertical na coluna da massa líquida das quatro lagoas. As amostras foram acondicionadas em frascos de polietileno de 500 ml e preservadas com lugol acético à 4%. A identificação dos organismos foi feita utilizando microscópio binocular, em até 400 vezes de aumento. O sistema de classificação para classes e gêneros seguiu as indicações de Bicudo e Menezes (2006) e para as espécies foram utilizadas chaves de identificação específicas de cada grupo. A contagem do fitoplâncton foi realizada em microscópio invertido com aumento de 400x. A abundância relativa (A) de cada táxon foi calculada a partir da contagem direta dos organismos e os resultados transformados em porcentagens, segundo a Equação 1:

$$A = \frac{N \times 100}{n}$$

Onde:

A: abundância relativa.

N: número de indivíduos dos táxons identificados.

n: número total de indivíduos na amostra.

A frequência de ocorrência (F) foi expressa em porcentagem, levando-se em consideração o número de amostras analisadas (Equação 2).

$$F = \left(\frac{Pa}{P} \right) \times 100$$

Onde:

Pa: número de amostras em que o táxon ocorreu.

P: número total de amostras analisadas.

A frequência de ocorrência das espécies foi avaliada baseada na classificação de Lobo e Leighton (1986), considerando constante quando superior a 50%, comum de 10% a 50%, e rara até 10%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No estudo, a comunidade fitoplanctônica foi composta por 20 táxons distribuídos em cinco classes taxonômicas (Tabela 1).

Tabela 1. Composição e frequência de ocorrência da comunidade fitoplanctônica observadas do monitoramento da massa líquida de lagoas de polimento.

Táxons	Frequência nas lagoas			
	LC ₅₇	LB ₅₇	LB ₄₅	LC ₄₅
Clorophyceae				
<i>Monoraphidium arcuatum</i>	CT	CM	CT	CT
<i>Monoraphidium minutum</i>	CT	CT	CT	CM
<i>Scenedesmus sp</i>	R	CM	CM	CM
<i>Chlorococcum sp</i>	CT	CT	CM	R
<i>Chlorella sp</i>	CT	CT	CT	CT
Cyanophyceae				
<i>Microcystis sp</i>	CT	CM	CM	CM
<i>Planktothrix sp</i>	CM	CM	CM	CT
<i>Oscillatoria</i>	CM	CT	CM	CT
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	CM	CT	CT	CM
<i>Phormidium sp</i>	CM	CM	R	CM
<i>Gleiterinema sp</i>	CM	CM	CM	CM
<i>Lyngbya sp</i>	ND	CM	CM	R
Euglenophyceae				
<i>Phacus longicauda</i>	CT	CT	CT	CT
<i>Phacus tortus</i>	R	CM	CT	CT
Baccillariophyceae				
<i>Gomphonema sp</i>	CM	R	R	R
<i>Navícula sp</i>	R	CM	CT	CM
<i>Nitzschia palea</i>	CM	CM	CT	CM
<i>Cymbella sp</i>	ND	ND	R	R
Zygnemaphyceae				
<i>Cosmarium sp</i>	CM	ND	R	R
<i>Closterium sp</i>	R	ND	ND	ND

* CT: Constante; CM: Comum; R: Raro; ND: Não Detectado.

A diversidade e densidade dos microrganismos do fitoplâncton está diretamente relacionada à carga orgânica afluyente e à disponibilidade de nutrientes. O tempo de residência, aliado ao fluxo de afluyente também contribuem na distribuição espacial (horizontal e vertical)

do fitoplâncton (REYNOLDS, 2006; FRANCESCHINI et al., 2010). A lagoa de transbordo com TDH de 2,4 dias propiciou o desenvolvimento de biomassa algal, intensificando o processo fotossintético, além disso, a lagoa de transbordo contribuiu com a sedimentação de sólidos suspensos advindo do efluente do reator UASB.

A comunidade fitoplanctônica foi composta por 20 táxons distribuídos em cinco classes taxonômicas: Cyanophyceae (7 táxons), Chlorophyceae (5 táxons), Bacillariophyceae (4 táxons), Euglenophyceae (2 táxons) e Zygnemaphyceae (2 táxons). Seis dos 20 táxons foram identificados em nível de espécie (*Cylindropermopsis raciborkii*, *Monoraphidium arcuatum*, *Monoraphidium minutum*, *Phacus longicauda*, *Nitzschia palea*, e *Phacus tortus*) e quatorze em nível de gênero (*Gomphonema sp*, *Navícula sp*, *Cymbella sp*, *Scenedesmus sp*, *Chlorococcum sp*, *Chlorella sp*, *Cosmarium sp*, *Closterium sp*, *Phormidium sp*, *Lynblya sp*, *Gleiterinema sp*, *Microcystis sp*, *Oscillatoria sp* e *Planktothrix sp*) (Tabela 1).

Para o tratamento de águas residuárias as principais espécies são dos gêneros *Chlamydomonas*, *Euglenas* e *Chlorellas*, pertencente ao grupo das clorofíceas. Os dois primeiros gêneros são normalmente os primeiros a aparecer na lagoa, tendendo a ser dominantes nos períodos frios, e possuindo flagelos, o que lhes confere a capacidade de locomoção (otimizando a posição com relação à incidência da luz e à temperatura) (VON SPERLING, 2013).

No estudo, o gênero *Chlorella sp* foi dominante e frequente em todas lagoas (Tabela 1). Segundo Marcon (2005) nas lagoas de estabilização, se verifica a predominância de algas verdes (Chlorophyta), destacando-se as microalgas do gênero *Chlorella sp*, que são microorganismos unicelulares, clorofilados, sem flagelos e com grande habilidade de realizar fotossíntese. As *Chlorellas* apresentam formato esférico e um tamanho em torno de 2 a 10 micrometros de diâmetro. No planeta existem pelo menos dez espécies desse gênero, sendo a mais conhecida a *Chlorella pyrenoidosa* (PASQUALI, 2018).

As espécies de algas *Chlorella* já foram amplamente aplicadas no tratamento de efluentes e mostraram capacidade comprovada de remoção de nitrogênio, fósforo e auxílio aos microorganismos para a redução da matéria orgânica (DQO), com diferentes tempos de detenção (variando de 10 a 42 dias), misturando-se com bactérias ou não (BENETTI, 2017). Segundo Wang et al. (2010), em estudos realizados em quatro tipos de águas residuárias: antes do decantador primário (1), após o decantador primário (2), após do tanque de lodo ativado (3) e água residual gerada na centrífuga de lodo (4), as taxas de remoção de $\text{NH}_4\text{-N}$ pela *Chlorella sp*. foi de 82,4%, 74,7% e 78,3% para as águas residuárias 1, 2 e 4, respectivamente. Para a 3, teve-se 62,5% de remoção de $\text{NO}_3\text{-N}$. Para as águas residuárias 1, 2 e 4, foi retirado 83,2%, 90,6%, e 85,6% de fósforo e 50,9%, 56,5%, e 83,0% de carbono orgânico dissolvido (COD). As taxas de crescimento específico médio no período exponencial foram de 0,412; 0,429; 0,343 e 0,948 dia^{-1} para águas residuais 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

Sete táxons de espécies de cianobactérias foram encontradas nas quatro lagoas analisadas. As cianobactérias são comumente encontradas em ambientes eutróficos, como lagoas de estabilização, e merecem atenção devido ao seu potencial para produzir toxinas (KOTUT et al., 2010; PASTICH et al., 2016). Na maioria das cianobactérias, a glicose o glicogênio, acumulado durante o dia como um produto de crescimento fotoautotróficos, serve como fonte de energia durante a noite e é classificado através do oxidante (STAL e MOEZELAAR, 1997).

A biomassa algal, representada pela comunidade fitoplanctônica pode ser removida e utilizada na agricultura, piscicultura, produção de biocombustíveis (biodiesel, bioetanol e biogás), no processo de fixação do CO_2 , nas indústrias e em outros fins (AHMAD et al., 2011; LEE et al., 2010). Dentre esses, destaca-se a utilização da biomassa de microalgas como fonte de energia renovável, isso porque novas alternativas de produção de biocombustíveis utilizando as microalgas vêm sendo estudadas e desenvolvidas, por razão delas terem uma elevada capacidade de reprodução por unidade de área e tempo. Além disso, algumas espécies armazenam elevado teor de lipídios ou amido, que pode ser utilizado para a produção de biodiesel ou etanol respectivamente (TABATABAEI et al., 2011).

Segundo Hu et al. (2008), as microalgas que pertencem aos grupos Bacillariophyceae produzem ácidos graxos de C16: 0 e C16: 1; as Chlorophyceae, ácidos graxos de C16: 0 e C18: 1; nas Euglenophyceae, C16: 0, C16: 1 e C18: 1; nas C16: 0, C16: 1 e C18: 1 em cianobactérias. De acordo com a literatura, as espécies *Synechocystis* sp., *Chlorella* sp. e *Synechococcus* sp., que mais predominaram na lagoa, apresentam um grande potencial de acúmulo de lipídeos em suas células. Os estudos mostram que o material lipídico extraído dessas espécies apresenta predominância de ácidos graxos saturados e poli-insaturados (KARATAY; DONMEZ, 2011; KAIWANARPORN, 2012; MORIOKA, 2014).

CONCLUSÃO

As lagoas de estabilização correspondem a um sistema alternativo importante para tratamento de águas residuárias, devido à baixos custos de construção, fácil operação e grande eficiência remoção de poluentes. A comunidade fitoplanctônica que cresce nestas lagoas tem um papel fundamental na produção de oxigênio que é exigido por processos aeróbicos estabilização da matéria orgânica. A predominância de várias espécies depende de sua capacidade de adaptar-se às condições ambientais básicas. Neste estudo verificou-se que a espécie *Chlorella* sp, foi observada com dominância e frequência em todas as lagoas. Espécies de *Chlorella* sp já foram amplamente aplicadas no tratamento de efluentes e mostraram capacidade comprovada de remoção de nutrientes orgânicos e auxílio aos microrganismos para a redução da matéria orgânica (DQO), com diferentes tempos de detenção hidráulica.

REFERÊNCIAS

- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA. **Atlas esgotos:** despoluição de bacias hidrográficas. Brasília, Agência Nacional de águas, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2017.
- AHMAD, A. L.; MAT YASIN, N.H.M.; DEREK,C.J.C.; LIM J.K. Microalgae as a sustainable energy source for biodiesel production: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, p. 584-593, 2011.
- AMENGUAL-MORRO,C.; NIELL,G.M.; MARTINEZ-TABERNER,A. Phytoplankton as bioindicator for waste stabilization ponds. **Journal of Environmental Management**, v. 95, p. 71-76, 2012.
- BENETTI, A. D. Tratamento de efluentes: características físicas, químicas e biológicas de águas naturais, potável e residuária. 14 ago. 2017, 22 dez. 2017. (Notas de Aula).
- BICUDO. C.E.M.; MENEZES, M. **Gêneros de algas de águas continentais do Brasil:** chave para identificação e descrições. São Carlos: RIMA, 2006.
- BOUZA-DEAÑO, R.; SALAS-RODRÍGUEZ, J. J. Distribution and spatial variability of sludges in a wastewater stabilization pond system without desludging for a long period of time. **Ecological Engineering**, v. 50, p. 5-12, 2013.
- BU, H.; SONG, X.; ZHANG, Y. Using multivariate statistical analyses to identify and evaluate the main sources of contamination in a polluted river near to the Liaodong Bay in Northeast China. **Environmental Pollution**, v. 245, p. 1058- 1070, 2019.
- CHI, Z.; ZHENG, Y.; JIANG, A.; CHEN, S. Lipid by culturing oleaginous yeast and algae with food waste and municipal wastewater in an integrated process. **Appl Biochem Biotech**, v. 165, p. 442-453, 2011.
- COGGINS, L. X.; GHISALBERTI, M.; GHADOUANI, A. Sludge accumulation and distribution impact the hydraulic performance in waste stabilization ponds. **Water Research**, v. 110, p. 354-365, 2017.

HU, Q.; SOMMERFELD, M.; JARVIS, E.; GHIRARDI, M.; POSEWITZ, M.; SEIBERT, M.; DARZINS, A. Microalgal triacylglycerols as feedstocks for biofuel production: perspectives and advances. *The Plant Journal*, v.54, p. 621– 639, 2008.

KAIWAN-ARPORN, P.; HAI, P.D.; THU, N.T; ANNACHHATRE, A.P. Cultivation of cyanobacteria for extraction of lipids. **Biomass and Bioenergy**, v. 44, p. 142-149, 2012.

KARATAY, S.E.; DONMEZ, G. Microbial oil production from thermophile cyanobacteria for biodiesel production. **Applied Energy**, v. 88, p. 3632–3635, 2011.

KASSAB, G.; HALALSHEH, M.; KLAPWIJK, A.; FAYYAD, M.; VAN LIER, J.B. Sequential anaerobic-aerobic treatment for domestic wastewater: A review. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 3299-3310, 2010.

LARSDOTTER, K. Wastewater treatment with microalgae – a literature review. **Vatten**, v. 62, p. 31-38, 2006.

LEE, J.Y; YOO, C; JUN, S.Y; AHN, C.Y; OH, H.M. Comparison of several methods for effective lipid extraction from microalgae. **Bioresource Technology**, v. 101, p. S75-S77, 2010.

LIMA, B. P.; MAMEDE, G. L.; NETO, I. E. L. Monitoramento e modelagem da qualidade de água em uma bacia hidrográfica semiárida. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 1, p. 125-135, 2018.

LOBO, E.; LEIGHTON, G. Estructuras comunitárias de lãs fitocenosis planctônicas de los sistemas de desembocaduras de rios e y esteros de la zona central de Chile. **Revista Biología Marinha**, v. 22, p. 1-29, 1986.

MARA, D. **Domestic wastewater treatment in developing countries**. London: Earthscan Publications, 2004.

MARCON, A. E. **Remoção de coliformes fecais com microalgas (*Chlorella*) imobilizadas em matriz de alginato de cálcio**. 2005. 62f. Dissertação (Mestrado em Engenharia sanitária) – Universidade Federal do Norte, 2005.

MARÇAL, D. A.; SILVA, C. E. Avaliação do impacto do efluente da estação de tratamento de esgoto ETE-Pirajá sobre o Rio Parnaíba, Teresina (PI). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 4, p. 761-772, 2017.

MBURU, N.; TEBITENDWA, S. M.; van BRUGGEN, J. J. A.; ROUSSEAU, D. P. L.; LENS, P. N. L. Performance comparison and economics analysis of waste stabilization ponds and horizontal subsurface flow constructed wetlands treating domestic wastewater: a case study of the Juja sewage treatment works. **Journal of Environmental Management**, v. 128, p. 220-225, 2013.

MORIOKA, L.R.I.; MATOS, A.P.; OLIVO, G.; SANT'ANNA, E.S. Floculação de chlorella sp. produzida em concentrado de dessalinização e estudo de método de extração de lipídeos intracelulares. **Química Nova**, v. 37, p. 44-49, 2014.

OLGUÍN, E. J. Dual purpose microalgae-bacteria-based systems that treat wastewater and produce biodiesel and chemical products within a Biorefinery. **Biotechnol Adv**, v. 30, p. 1031-1046, 2012.

PASQUALI, Adriano. Qual é a origem da *Chlorella*? Disponível em: <<http://www.paversul.com.br/origem-da-chlorella/>> Acesso em: 11 de Outubro de 2018

RAGUSH, C. M.; POLTAROWICZ, J. M.; LYWOOD, J.; GAGNON, G. A.; HANSEN, L. T.; JAMIESON, R. C. Environmental and operational factors affecting carbon removal in model artic waste stabilization ponds. **Ecological Engineering**, v. 98, p. 91-97, 2017.

RICHMOND, A. **Handbook of microalgal culture**: Biotechnology and applied phycology. New York: Blackwell, 2004.

SUTHERLAND, D. L.; TURNBULL, M. H.; CRAGGS, R. J. Increased pond depth improves algal productivity and nutrient removal in wastewater treatment high rate algal ponds. **Water Research**, v. 53, p. 271-281, 2014.

TABATABAEI, M.; TOHIDFAR, M. JOUZANI, G.S.; SAFARNEJAD, M.; PAZOUKI, M. Biodiesel production from genetically engineered microalgae: Future of bioenergy in Iran. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.15, p. 1918-1927, 2011.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. 2014.

WALLACE, J.; CHAMPAGNE, P.; HALL, G. Multivariate statistical analysis of water chemistry conditions in three wastewater stabilization ponds with algae blooms and pH fluctuations. **Water Research**, v. 96, p. 156-165, 2016.