

1350 - UTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS TRATADAS E EFLUENTE DE DESSANILIZAÇÃO NO CULTIVO DE MICROALGA DUNALIELLA TERTIOLECTA PARA FINS DE BIORREMEDIAÇÃO

Djalma Queiroga de Assis Neto⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela UFCG. Mestre em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais pela UFCG. Pós-Graduando em Engenharia Ambiental e Saneamento Básico pela Universidade Cruzeiro do Sul (UNICSUL). Doutorando em Engenharia Ambiental pela UEPB.

Whelton Brito dos Santos⁽²⁾

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela UEPB. Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela UFCG. Doutor em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais pela UFCG. Professor Substituto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UEPB (DESA/UEPB).

Vera Lucia Antunes de Lima⁽³⁾

Engenheira Agrícola pela UFPB. Mestre em Engenharia Civil pela UFPB. Doutora em Engenharia Agrícola pela UFV. Professora Titular da Universidade Federal de Campina Grande-UFCG/PB.

Weruska Brasileiro Ferreira⁽⁴⁾

Engenheira Química pela UFPB. Mestre em Engenharia Química pela UFCG. Doutora em Engenharia Química pela UFCG. Professora Efetiva do DESA/UEPB. Credenciada no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da UEPB (PPGCTA/UEPB).

Thiago Santos de Almeida Lopes⁽⁵⁾

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela UEPB. Engenheiro de Segurança do Trabalho pela Faculdade do Vale Elvira Dayrell (FAVED). Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Doutorando em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais pela UFCG. Técnico em Laboratório do Departamento de Química da UEPB (DQ/UEPB).

Endereço⁽¹⁾: Rua José Marinho Falcão, 105 - Bodocongó – Campina Grande - PB - CEP: 58430-768 - Brasil - Tel: (83) 99935-7131 - e-mail: djalmaqueiroganeto@gmail.com

RESUMO

A dessalinização de águas subterrâneas salobras é, em muitas localidades da região semiárida, a única solução para o abastecimento de água. Porém, o processo de dessalinização por membrana de osmose inversa produz um rejeito poluente e de difícil tratamento. Outro desafio de igual dimensão diz respeito ao pós-tratamento do efluente produzido pelo tratamento de esgoto doméstico em filtro anaeróbio, para este se adequar as normas de despejo em corpos hídricos. Assim, a biorremediação de águas residuárias, utilizando microalgas, surge como uma opção de tratamento complementar desses efluentes. Assim, a presente pesquisa teve como objetivo avaliar e otimizar o potencial de biorremediação da espécie de microalga *Dunaliella tertiolecta* em meio composto por águas residuárias. O estudo foi conduzido sob condições de laboratório, em Campina Grande – PB utilizando-se do Delineamento Composto Central Rotacionado (DCCR) para a análise estatística. Para o controle das condições de cultivo, três fatores foram escolhidos: Fotoperíodo, pH e Proporção de Efluentes (PDE). Para mensurar a capacidade de biorremediação as variáveis escolhidas foram Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Fósforo Total (PT). Os resultados mostraram uma remoção máxima de DQO de 81,25% e 87,81% de remoção de PT. A partir da análise estatística foi possível confirmar a interação dos fatores de cultivo no desenvolvimento algal e produzir modelos para otimização dos cultivos visando a biorremediação. Concluindo que o uso de meios alternativos para cultivos de microalgas visando biorremediação, mais específico para a espécie *Dunaliella tertiolecta*, é algo viável e de boa eficiência.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de efluentes, Nutrientes, Microbiologia

INTRODUÇÃO

O crescimento populacional ocorrido a partir da revolução industrial transformou a dinâmica da sociedade, tornando populações rurais em majoritariamente urbanas. Este crescimento desordenado ocasionou uma disputa por espaço nos centros urbanos, onde a infraestrutura necessária de saneamento básico não foi atendida suficientemente, principalmente para a população mais pobre (DIAS et al., 2011).

No Brasil, a situação do esgotamento sanitário ainda é precária, onde a coleta encontra-se presente para somente 55% da população e deste apenas 50,8% dos esgotos são tratados, segundo dados coletados em 2020 (SNIS, 2020). A disposição e tratamento incorretos destes efluentes ocasionam eutrofização e redução da qualidade dos corpos hídricos, deixando a água imprópria para usos mais exigentes ou tornando seu tratamento mais oneroso.

Outro problema ambiental ocasionado pelo crescimento desordenado populacional é a elevada demanda por água potável para abastecimento desta população. Em muitos lugares a oferta é insuficiente e as localidades se utilizam de fontes de água bruta salobras ou salinas. Para deixar esta água no padrão de potabilidade, a dessalinização surge como uma alternativa viável e já bastante difundida. Porém, o processo de dessalinização por membranas de osmose inversa produz um rejeito com alta concentração de sais e de difícil tratamento e disposição adequada (NEVES et al., 2017).

Assim, uma forma de tratamento complementar alternativo de águas residuárias e ambientalmente sustentável que vêm ganhando espaço é a biorremediação através das microalgas. Microalgas são seres unicelulares capazes de obter alimento de forma autotrófica e heterotrófica e em seu processo metabólico absorvem grandes quantidades de dióxido de carbono, além de diversos nutrientes poluidores presentes em águas residuárias, como nitrogênio e fósforo. Além disso, algumas espécies de microalgas marinhas sobrevivem em ambientes com alto teor salino e seu cultivo reduz a salinidade do meio. Sendo assim uma ferramenta promissora em estudos na área de saneamento (SHIRAZI et al., 2018).

Algumas microalgas estudadas apresentam resultados promissores no quesito biorremediação quanto a capacidade de produção de biocombustíveis, especialmente com relação a espécie *Dunaliella tertiolecta*, espécie marinha capaz de sobreviver em diferentes teores de salinidade, com alta resistência as variações de pH e elevada produção de biomassa (VO et al., 2019; SHIRAZI et al., 2018).

OBJETIVO

O trabalho teve como objetivo avaliar e otimizar o potencial biorremediativo da microalga *Dunaliella tertiolecta* em meio de cultura misto incluindo efluente tratado por filtro anaeróbio e rejeito de dessalinização.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os cultivos foram realizados em 9 dias em Erlenmeyres de 1000mL, com aclimação em cepários à temperatura ambiente (26 ± 2 °C), iluminação por meio de lâmpadas fluorescentes com potência de 40W com períodos de iluminação e escuridão controlados, variando de 10 a 14h e injeção direta de ar comprimido através de bomba de ar, para oxigenação e homogeneização dos cultivos. Os cultivos tiveram duração total de 9 dias, pois após esse período a espécie atinge sua fase de decaimento celular. A correção de pH foi feita utilizando as soluções de hidróxido de sódio (alcalinizante) e ácido sulfúrico (acidificante).

Para o estudo experimental do modelo estatístico e posterior análise e otimização dos dados, foi utilizado o delineamento composto de rotação central (DCCR). Como modelo de segunda ordem, representa a interação entre efeitos principais lineares e não lineares de forma bastante aproximada, utilizando pontos de pivô para estimar efeitos de segunda ordem.

Três fatores ou variáveis independentes foram selecionados juntamente aos seus valores inferior, superior e médio: pH (7, 8,5 e 10), fotoperíodo (10, 12 e 14 horas) e proporção de efluentes (PDE=% de Efluente de filtro anaeróbio – % de Rejeito de dessalinização)(10-40, 25-25 e 40-10), onde os outros 50% do meio foi preenchido pelo meio padrão de cultivo da espécie, F/2 (GUILLARD; HARGRAVES, 1975). O planejamento

experimental resultou em 18 experimentos, sendo 4 pontos centrais. O mesmo pode ser visto com mais detalhes na Tabela 1, que mostra valores codificados e não codificados para os níveis dos fatores selecionados (variáveis independentes).

Tabela 1: Fatores e níveis do Delineamento Composto Central Rotacionado (DCCR).

Fatores	Unidade	Símbolo	Níveis				
			-1,68	-1	0	1	1,68
pH	-	X ₁	6,0	7,0	8,5	10,0	11
Fotoperíodo	h	X ₂	8,6	10,0	12,0	14,0	15,4
PDE*	%	X ₃	0,0:50,0	10,0:40,0	25,0:25,0	40,0:10,0	50,0:0,0

* PDE (Proporção de efluentes) = % Efluente de filtro anaeróbio : % Rejeito de dessalinização

As variáveis dependentes utilizadas para indicar a eficiência do tratamento foram a demanda química de oxigênio (DQO) e fósforo total (PT), que foram medidos no início do cultivo e após 9 dias e então expressos em termos de remoção (%).

Modelos de regressão linear e quadrática foram usados para explicar estatisticamente a relação entre variáveis independentes e dependentes. A compatibilidade do modelo foi testada pela ANOVA, e as previsões de condições ótimas de crescimento foram feitas pela função desirability que tenta combinar fatores de modo que todas as variáveis de resposta fossem maximizadas simultaneamente. Os resultados de desirability foram analisados com base na escala de Harrington (RIBARDO; ALLEN, 2003). Em todo o trabalho estatístico foi utilizado o software Statistica® 10.0 (STATSOFT, 2011).

RESULTADOS OBTIDOS

Os valores iniciais de DQO variaram entre 269,23 e 687,02 mg.L⁻¹, para as diferentes configurações de cultivo. Os valores finais ficaram entre 75,47 e 419,84 mg.L⁻¹, ao fim dos 9 dias de cultivo. Para a variável PT os valores iniciais oscilaram entre 5,4 e 8,0 mg.L⁻¹ e os finais entre 0,81 e 4,03 mg.L⁻¹.

A taxa de remoção máxima de DQO obtida foi observada no cultivo com pH igual a 7, fotoperíodo de 14 horas e PDE de 40-10 %. Já os valores mínimos foram obtidos no cultivo com pH igual a 11, fotoperíodo de 12 horas e PDE de 25-25 %.

Tratando-se da remoção de PT os valores superiores de remoção foram vistos no cultivo a pH igual a 8,5, fotoperíodo de 12 horas e PDE de 25-25 %. E os dados com menor remoção observada de PT aconteceram com pH igual a 8,5, fotoperíodo de 12 horas e PDE de 0-50 %.

A partir dos dados de remoção obtidos, as Equações 1 e 2 apresentam os modelos de regressão, para as variáveis remoção de PT (R_{PT}) e DQO (R_{DQO}).

$$R_{PT} = -4,31X_1^2 - 1,93X_2^2 - 0,051X_3^2 + 75,81X_1 + 47,30X_2 + 2,53X_3 - 569,26 \quad \text{equação (1)}$$

$$R_{DQO} = -4,45X_1^2 - 1,34X_2^2 - 0,051X_3^2 + 66,99X_1 + 37,98X_2 + 2,43X_3 - 480,38 \quad \text{equação (2)}$$

Onde, X₁ corresponde ao pH, adimensional; X₂ é o Fotoperíodo, em horas (h) e X₃ o PDE (% do efluente de filtro anaeróbio, sendo a do rejeito de dessalinização o valor complementar para 50%).

A partir da ANOVA, pode-se verificar que os modelos foram significativos com nível de confiança de 95%, com R² igual a 0,8481 para o modelo de DQO e 0,7108 para o modelo de PT e através do teste F foi observado que o modelo para DQO além de significativo, pode ser considerado preditivo.

A partir dos modelos estatísticos foram construídas as superfícies de resposta para as variáveis dependentes em estudo, DQO e PT, para a espécie *D. tertiolecta*, encontradas na Figura 1.

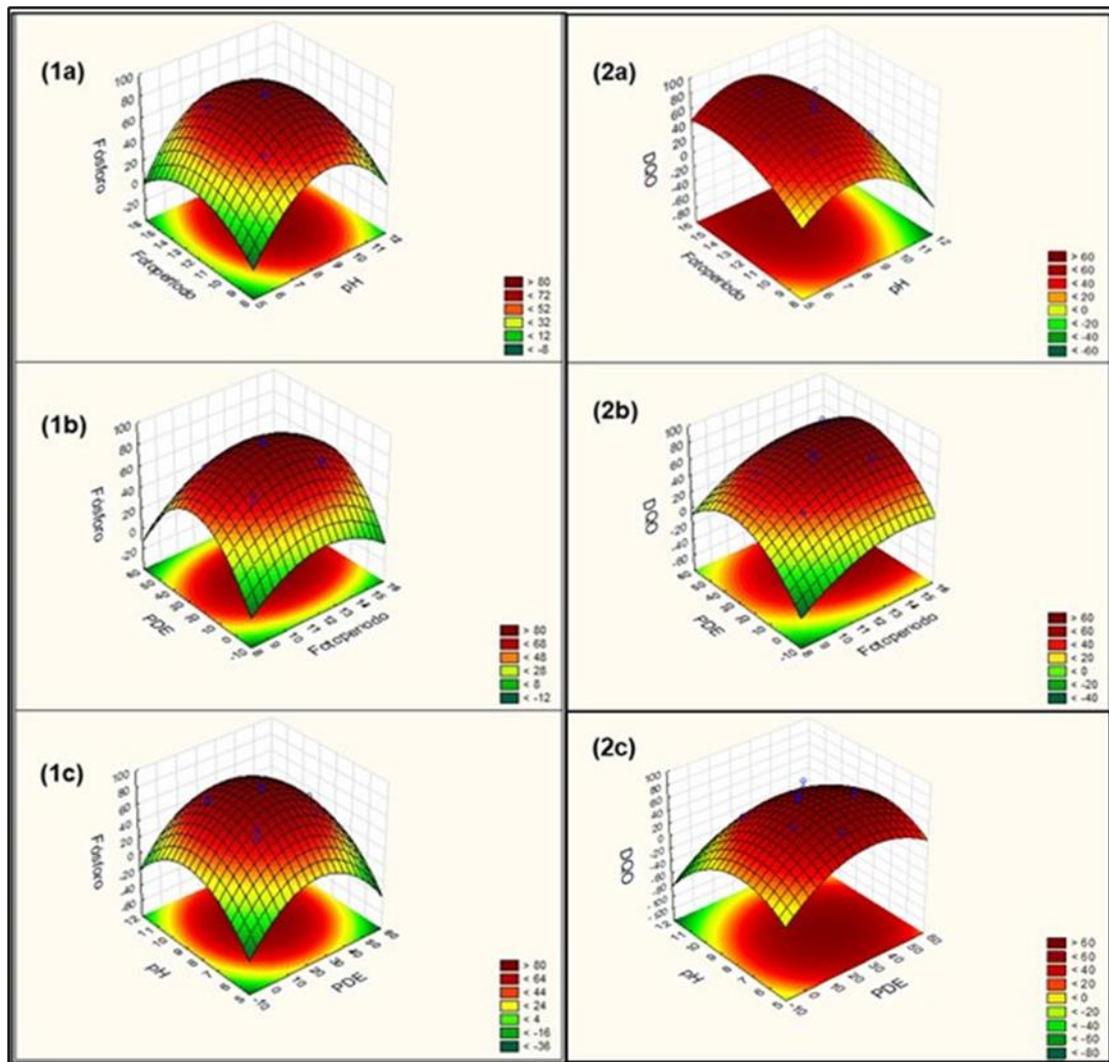


Figura 1 – Superfícies de respostas das remoções de Demanda Química de Oxigênio (DQO) (1a, 1b, 1c) e Fósforo Total (PT) (2a, 2b, 2c) em função das variáveis independentes pH, fotoperíodo e proporção de efluentes (PDE), para a espécie *Dunaliella tertiolecta*.

A partir dos modelos ajustados, foi aplicada a função *desirability*, para a obtenção da condição ótima das variáveis independentes para se obter a máxima remoção de DQO e PT, por meio do tratamento com *Dunaliella tertiolecta*. Os gráficos de desejabilidade podem ser vistos na Figura 2.

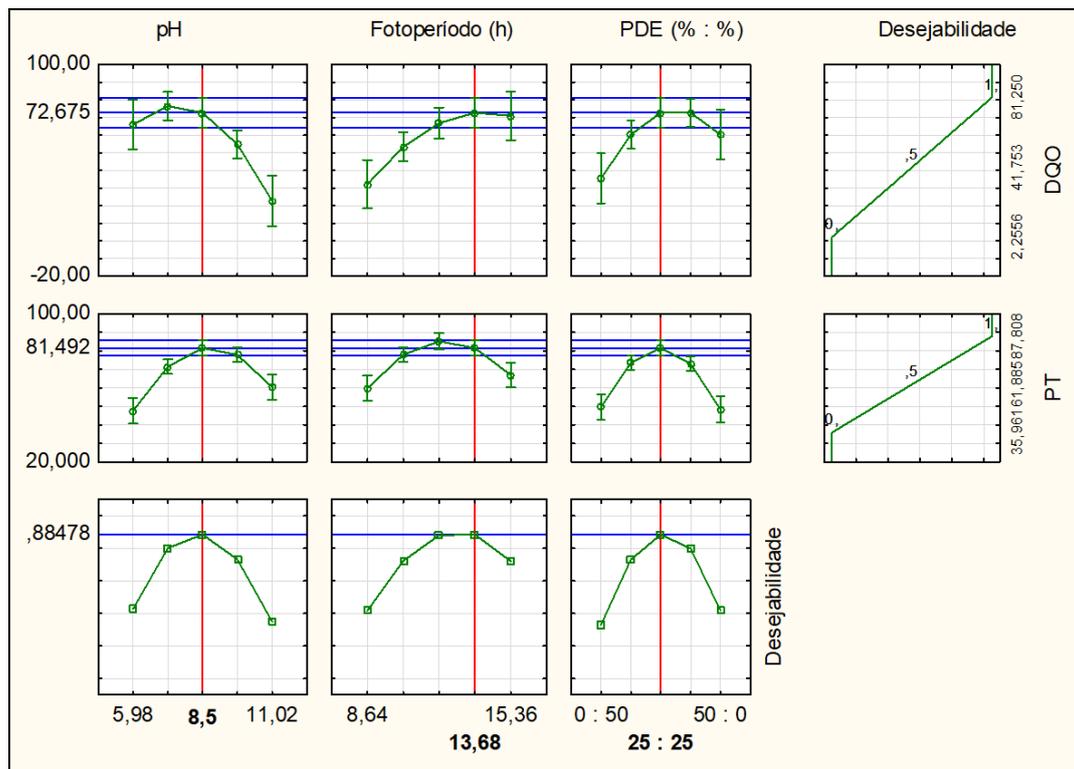


Figura 2 – Perfil dos valores preditos e da desejabilidade para as variáveis Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Fósforo Total (PT) para a espécie *Dunaliella tertiolecta*.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nota-se que as remoções de DQO realizadas pela *D. tertiolecta* chegaram a valores máximos de 81,25% e para a remoção de PT os valores chegaram a 87,81%. Santos et al. (2020) ao cultivarem a *D. tertiolecta* em meio contendo efluente de reator do tipo UASB conseguiram uma remoção de DQO de 40,23%. Andreotti et al. (2017) estudando a capacidade de biorremediação de nutrientes da espécie *D. tertiolecta* em água residuária de aquicultura, chegaram a valores máximos próximos a 90% de remoção de fósforo. Outros nutrientes foram observados terem reduções significativas de nutrientes através da *D. tertiolecta* (AKBARZADEH; SHARIATI, 2014; WU et al., 2017; SHIRAZI et al., 2018). Estes estudos mostram que os resultados da presente pesquisa foram promissores, pois performaram valores compatíveis ou superiores aos estudos em comparação.

Para a remoção de PT, percebe-se que os resultados se mantiveram próximo aos valores médios das variáveis independentes (pH de 8,5, fotoperíodo de 12 horas e PDE de 0-50 %). Isso indica que as variáveis além de ter influência na remoção do nutriente, que as faixas de variação das variáveis independentes foram as melhores estando os valores ótimos dentro delas.

Já sobre a remoção de DQO, são percebidos resultados mais satisfatórios em pH mais baixo, próximos a 6, em fotoperíodos mais elevados, em torno de 13h e em PDE médios de 25%. Esse fotoperíodo corrobora para a aplicação do tratamento em larga escala (raceway) na região nordeste, onde a iluminação natural em ampla parte do ano gira em torno deste valor (ANEEL, 2020).

Os resultados mostraram remediação máxima teórica de 72,68% da DQO e de 81,49% do PT. Para chegar a estes resultados, os cultivos devem ser reproduzidos em pH básico de 8,5, em fotoperíodo de 13,68 horas de luz e PDE de 25% cada de efluente de filtro anaeróbio e rejeito de dessalinização. Apesar de ser uma espécie marinha, os resultados mostram que a presença do efluente de filtro anaeróbio beneficiou a espécie. A espécie se adaptou mais a biorremediação em meio básico (8,5) e tempo de luz superior (13,68h).

A desejabilidade total para essa configuração de cultivo foi de 0,885, o que configura um resultado aceitável e excelente (qualidade incomum ou desempenho bem além do que está disponível no mercado) na escala de Harrington (RIBARDO; ALLEN, 2003). Os resultados obtidos na desejabilidade para a espécie mostra que as variáveis de biorremediação são otimizadas com configurações de cultivos similares.

CONCLUSÕES

Foi possível concluir a partir da análise dos resultados que:

- As condições e cultivos estabelecidos na pesquisa e os resultados mostraram que a espécie possui grande capacidade biorremediativa de efluentes;
- Todos os modelos estatísticos foram significantes, como também foi percebido pelos modelos gerados que os fatores independentes de cultivo influenciam fortemente na capacidade biorremediativa da microalga, chegando a valores ótimos de cultivo para tanto as variáveis individualmente, como para a otimização conjunta delas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AKBARZADEH, N.; SHARIATI, M. Aluminum remediation from medium by *Dunaliella*. *Ecological Engineering*, v. 67, p. 76-79, 2014.
2. ANDREOTTI V.; CHINDRIS, A.; BRUNDU, G.; VALLAINC, D.; FRANCAVILLA, M.; GARCÍA, J. Bioremediation of aquaculture wastewater from *Mugil cephalus* (Linnaeus, 1758) with different microalgae species. *Chemistry and Ecology*, v.37, p.750-761, 2017.
3. ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Tabela 3.1: Duração solar do dia, em horas, em diferentes latitudes e períodos do ano. *Atlas de Energia Solar*. Acesso em 12 de Abril de 2020. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/energia_solar/3_2.htm
4. DIAS, F. A.; GOMES, L. A.; ALKMIM, J. K. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL URBANA DA BACIA DO RIBEIRÃO DO LIPA ATRAVÉS DE INDICADORES, CUIABÁ/MT. *Sociedade & Natureza*, v. 23, n. 1, p. 127-147. Abril de 2011.
5. GUILLARD, R. R. L.; HARGRAVES, P. E. *Stichochrysis immobilis* is a diatom, not a chrysophyte. *Phycologia*, v.32, p.234-236, 1993.
6. NEVES, A. L. R.; ALVES, M. P.; DE LACERDA, C. F.; GHEYI, H. R. Aspectos socioambientais e qualidade da água de dessalinizadores nas comunidades rurais de Pentecoste-CE. *Revista Ambiente e Água*, v. 12, n. 1, p. 124-135, 2017.
7. RIBARDO, C.; ALLEN, T. T. An alternative desirability function for achieving “six sigma” quality. *Quality and Reliability Engineering International*, v. 19, n. 3, p. 227-240, 2003.
8. SANTOS; W. B.; FERREIRA, W. B.; SILVA, N. F.; SOARES, E. J. S.; TORQUATO, A. L.; LIMA, V. L. A. Potencial da microalga *Dunaliella Tertiolecta* BUTCHER na geração de biocombustíveis e biorremediação de efluente de reator anaeróbio. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 11, n. 4, p. 191-204, 2020.
9. SHIRAZI, S. A.; RASTEGARY, J.; AGHAJANI, M.; GHASSEMI, A. Simultaneous biomass production and water desalination concentrate treatment by using microalgae. *Desalination and Water Treatment*, v. 135, p. 101-107, 2018.
10. SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. *Glossário de Indicadores - Água e Esgotos*. 2020.
11. STATSOFT, I. *STATISTICA (Data Analysis Software System)*. Disponível em: www.statsoft.com, versão 7, 2011.
12. VO, H. N. P.; NGO, H. H.; GUO, W.; et al. Microalgae for saline wastewater treatment: a critical review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 2019.
13. WU, K. C.; YAU, Y. H.; HO, K. C. Capability of microalgae for local saline sewage treatment towards biodiesel production. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, v.82, 2017.