

II-034 – TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO EM LAGOA DE ALTA TAXA VISANDO A PRODUÇÃO DE ENERGIA

Paula Peixoto Assemany⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (2010). Mestre em Engenharia Civil, área Sanitária e Ambiental pela Universidade de Viçosa (2013). Doutoranda em Engenharia Civil, área Sanitária e Ambiental na Universidade Federal de Viçosa.

Maria Lúcia Calijuri⁽²⁾

Engenheira Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (1977). Doutora em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo, área de concentração Geotecnia (1988). Professora titular no Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa.

Eduardo de Aguiar do Couto⁽³⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (2010). Mestre em Engenharia Civil, área Sanitária e Ambiental pela Universidade de Viçosa (2012). Doutorando em Engenharia Civil, área Sanitária e Ambiental na Universidade Federal de Viçosa.

Karina Fialho Machado⁽⁴⁾

Graduanda em Engenharia Ambiental na Universidade Federal de Viçosa.

Aníbal Santiago da Fonseca⁽⁵⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (2006). Mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (2008). Doutor em Engenharia Civil, área Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (2013).

Endereço⁽¹⁾: Av. PH Rolfs, s/n – Campus Universitário, DEC/CCE, sala 320 – Viçosa, Minas Gerais – Cep: 36570-000- Brasil. Tel : +55(31) 3899-3098- e-mail : paula_assemany@hotmail.com

RESUMO

Atualmente as microalgas são consideradas promissoras matérias-primas para a produção de bioenergia. A produção de microalgas para fins energéticos utilizando água residuária como meio de cultivo constitui-se em uma interessante estratégia, uma vez que há o tratamento de efluentes, que possibilitará menor aporte de cargas poluidoras aos corpos d'água, além da reciclagem das águas residuárias e dos nutrientes. Nesse estudo objetivou-se avaliar a eficiência de uma lagoa de alta taxa no tratamento de esgoto doméstico, na produção de biomassa e na produção de lipídeos, visando à obtenção de biodiesel. Utilizou-se uma lagoa de alta taxa (LAT), que recebia efluente oriundo de um reator UASB. Para a determinação da eficiência do tratamento de esgoto os seguintes parâmetros foram monitorados: carbono orgânico dissolvido total (CODT), demanda química de oxigênio (DQO filtrada), pH, nitrogênio amoniacal ($N-NH_3$), fósforo total solúvel (PT solúvel) e *Escherichia coli*. A determinação do teor lipídico foi feito com base no rompimento da parede celular das microalgas, com posterior extração dos lipídeos via utilização de solventes e quantificação dos mesmos por gravimetria. A biomassa total foi determinada por meio de análises de sólidos suspensos voláteis. As eficiências de remoção de CODT, DQOf, $N-NH_3$, PT solúvel e *E. coli* foram de 49%, 32%, 82%, 11,6% e 2,4 unidades log, respectivamente. A unidade apresentou produção mediana de biomassa de 12 g/m².dia, com conteúdo de 8% de lipídeos na biomassa seca, produzindo 0,96 g de lipídeo/m².dia. Os resultados demonstraram valores satisfatórios para o tratamento da água residuária, juntamente com uma notável geração lipídica como matéria prima para produção de biodiesel. Conclui-se que o sistema composto por LAT e UASB foi eficaz como meio de produção de biomassa para energia concomitantemente com o tratamento do esgoto doméstico.

PALAVRAS-CHAVE: Lagoa de alta taxa, esgoto doméstico, microalgas, lipídeos, biodiesel.

INTRODUÇÃO

No mercado atual constata-se uma busca por fontes de energia alternativas em substituição aos combustíveis fósseis. Tal procura deve-se a razões econômicas, visto uma iminente escassez devido ao caráter não renovável das fontes de petróleo e seus derivados, além de questões ambientais. Outro fato é a carência de infraestrutura de saneamento no Brasil, uma realidade ainda abrangente. Uma estratégia para suprir tal carência, enquanto se

obtem energia da água residuária, seria atrelar o tratamento do esgoto ao aproveitamento energético de efluente líquido.

Recentes estudos indicam que microalgas possuem características que as tornam matéria prima potencial para a produção de biodiesel, tais como o elevado rendimento para extração de óleo vegetal (Spolaore et al., 2006, Walter et al., 2005 e Chisti, 2007). Uma opção interessante do ponto de vista econômico e ambiental é o reuso de esgoto doméstico urbano, ou outro tipo de efluente, para produção de biomassa algal. Com o cultivo de microalgas realizado em águas residuárias, tem-se diversos benefícios ambientais aliados ao uso de fontes alternativas de energia. Dentre eles, cita-se o tratamento de efluentes, que possibilitará menor aporte de cargas poluidoras aos corpos d'água, além da reciclagem das águas residuárias. Muitos estudos afirmam que para a produção de bioenergia de microalgas, a biomassa deve ser aproveitada de forma integrada no âmbito do conceito de biorrefinaria, ou seja, aproveitamento de energia, calor e produtos de valor agregado. Diante desse conceito, além das diferentes formas de se obter energia, a recuperação de fertilizantes e da água tratada fazem com que o processo seja sustentável economicamente.

A produção de biomassa algal por meio do reuso de água residuária é, via de regra, feita em lagoas de alta taxa (LAT) que são, ao mesmo tempo, usadas para o tratamento desse efluente. Tais unidades, assim como as lagoas de estabilização convencionais, são projetadas para promoverem interação ecológica entre algas e bactérias.

Dessa forma, o objetivo do presente estudo foi avaliar a eficiência de uma lagoa de alta taxa no tratamento de esgoto doméstico, na produção de biomassa e na produção de lipídeos, visando à obtenção de biodiesel.

METODOLOGIA

Descrição do experimento

O experimento foi instalado na Unidade Experimental de Tratamento de Esgotos e Utilização de Efluentes da Violeira (ETE Violeira), no município de Viçosa – MG (20°45'41,4020''S, 42°52'11,9622''O), como apresentado na Figura 1. O clima é considerado do tipo Cwa (clima úmido subtropical) de acordo com a classificação Koppen, com temperatura média anual de 19,4°C e umidade relativa de 81% (INMET, 1990). A precipitação média anual é de cerca de 1221,4 mm, concentrada no período de novembro a março. A estação de tratamento foi constituída por um reator anaeróbio de fluxo ascendente de manta de lodo (Upflow Anaerobic Sludge Blanket - UASB), em escala real, pré-fabricado em aço, vazão média = 115 m³ dia⁻¹ e tempo de detenção hidráulica (TDH) = 7 h. Parte do efluente deste reator (0,25 m³. d⁻¹) foi encaminhada para o sistema piloto de lagoas de alta taxa avaliado neste estudo.

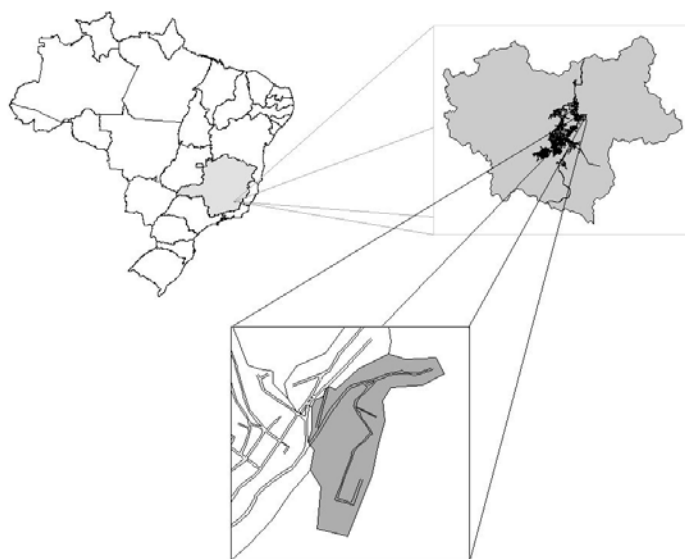


Figura 1: Localização do Bairro da Violeira no município de Viçosa, onde foi realizado o experimento

Foi utilizada uma lagoa de alta taxa como unidade experimental que recebeu efluente do reator UASB. Essa lagoa foi confeccionada em fibra de vidro com tempo de detenção hidráulica de 4 dias, volume útil de 1 m^3 , área superficial de $3,5\text{ m}^2$ e altura de lâmina d'água de 30 cm. Era dotada de pás em PVC que garantiram velocidade de aproximadamente $0,10\text{ m s}^{-1}$. A Figura 2 ilustra a lagoa de alta taxa utilizada nesse estudo.

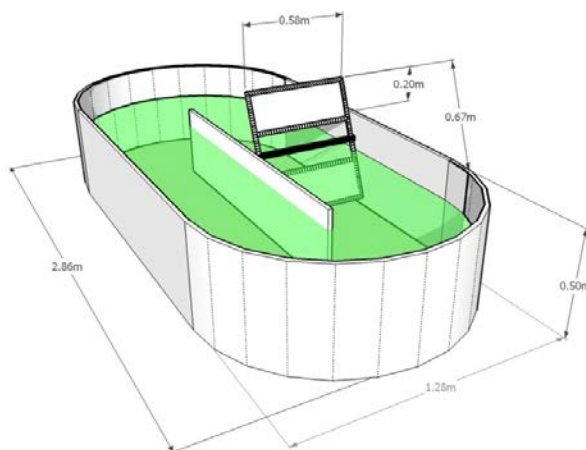


Figura 2: Detalhe da lagoa de alta taxa

Determinação da eficiência do tratamento de esgoto

A amostragem dos efluentes foi realizada semanalmente, durante o período de 31 de janeiro a 26 de junho de 2012. As análises físicas e químicas do afluente e efluente da unidade seguiram, essencialmente, as disposições do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005): DQO filtrada (filtrada a 0,45 mm), pH, nitrogênio amoniacal (N-NH_3) e fósforo total solúvel (PTS). Além disso, analisou-se *Escherichia coli* (*E. coli*) com o emprego de método cromogênico-fluorogênico (Colilert®). Para determinar a concentração de carbono orgânico total dissolvido (COTD) utilizou-se o TOC 5000 Shimadzu.

Determinação do teor lipídico

As coletas foram realizadas com frequência quinzenal, durante o período de 30 de maio a 28 de setembro de 2012. A biomassa coletada na saída da lagoa foi concentrada em centrífuga e submetida à estufa a 70°C por 24 horas para secagem. A análise do teor lipídico consistiu, no rompimento da parede celular, com adição de HCl 3M e posterior extração via solvente com éter de petróleo e metanol. Após a extração, foi feita a lavagem do óleo extraído com adição de acetato de chumbo a 4% para retirada de impurezas e pigmentos. A última etapa foi a quantificação do óleo por gravimetria, com a evaporação de solvente em chapa aquecedora e posterior secagem em estufa por 2 horas a 105°C .

Determinação da biomassa e das produtividades

A biomassa total foi determinada por meio de análises de sólidos suspensos voláteis (SSV), realizadas semanalmente durante o período de 31 de janeiro a 26 de junho de 2012, de acordo com APHA (2005).

A produtividade de biomassa ($\text{g/m}^2\cdot\text{dia}$) total foi obtida por meio das concentrações de SSV. Por sua vez a produtividade lipídica foi obtida multiplicando-se a produtividade mediana de biomassa pelo conteúdo mediano de lipídeos totais na biomassa seca.

RESULTADOS

Eficiência do tratamento de esgoto

Os resultados da eficiência da lagoa de alta taxa no tratamento do esgoto doméstico são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Valores de mediana \pm desvio padrão e de eficiência de remoção das variáveis de qualidade da água do afluente e efluente à LAT.

	Afluente	Efluente LAT	Remoção
pH	6,8 \pm 0,2	7,2 \pm 0,89	
COTD (g m ⁻³)	37,1 \pm 6,5	18,8 \pm 7,5	49,3%
DQOf (g m ⁻³)	102,0 \pm 25,9	69,0 \pm 33,7	32,3%
N-NH ₃ (g m ⁻³)	28,7 \pm 10,2	5,11 \pm 4,1	82,2%
PTS (g m ⁻³)	3,09 \pm 0,9	2,73 \pm 0,8	11,6%
<i>E. coli</i> NMP (100mL) ⁻¹	1,28 x 10 ⁶ \pm 7,2 x 10 ⁶ *	5,06 x 10 ³ \pm 3,4 x 10 ⁵ *	2,4 unid. log

*média geométrica \pm desvio padrão

Obteve-se nesse estudo uma eficiência de remoção de COTD e DQO de 49% e 32%, respectivamente. Outros estudos, como o de Park e Craggs (2010) e de Craggs et al. (2012) demonstraram altas porcentagens de remoção de matéria orgânica, entre 84 a 91%. Porém, essas duas pesquisas apresentaram matérias orgânicas em termos de DBO₅ filtrada. Diferentemente, o afluente às LAT deste estudo, por ter passado por um sistema de tratamento anaeróbio, apresentou menor biodegradabilidade, portanto menor remoção. Esses resultados corroboram com os de García et al., (2006), que encontraram remoção de matéria orgânica, em termos de DQO, de 35 a 38% para LATs operando com 3 e 7 dias de TDH, respectivamente. Eles também atribuíram esses valores de eficiência de remoção por utilizarem efluente urbano previamente tratado.

Quanto a remoção de nitrogênio amoniacal, constatou-se nesse estudo uma porcentagem de 82%. Os mecanismos de remoção de nitrogênio amoniacal em lagoas de alta taxa são na verdade mecanismos de conversão à outras formas de nitrogênio. Especificamente no caso desse trabalho pode-se afirmar devido aos baixos valores de pH encontrados, que os principais mecanismos de conversão foram incorporação pela biomassa e conversão à nitrato. Craggs et al. (2012) citaram remoção de 64-67% de N-NH₄ para LATs com TDH de 4 dias e García et al. (2000) relataram eficiências de remoção de N-NH₄ de 57 a 73 % em LATs operando com tempo de detenção hidráulica de 3 a 7 dias, respectivamente. Lagoas abertas com TDH de 10 dias, utilizadas para produção de microalgas e remoção de nutrientes, alcançaram efluentes com 1,37 mg L⁻¹ (NTK) segundo Sturm e Lamer (2011).

Os principais mecanismos de remoção de fósforo em lagoas de alta taxa são a incorporação pela biomassa algal e a precipitação química (Picot et al., 1991). A remoção de fósforo total solúvel foi de 11,6% no presente estudo, valor inferior aos reportados por Craggs et al. (2012), de 14 a 24%. Essa menor remoção de fósforo total solúvel pode ser explicada pelos baixos valores de pH medidos na lagoa (valor médio de 7,2), não suficientes para a ocorrência da precipitação química desse elemento.

Uma remoção de 2,4 unidades log foi observada para *E. coli*, conforme Tabela 1. Essa remoção foi próxima a reportada nas pesquisas de Craggs et al. (2012), aproximadamente 2 unidades log, que avaliaram LAT em escala de hectares, mas diferentes de pesquisas em menores escalas que apresentaram remoção de aproximadamente 1,0 unidade logarítmica.

Produção de biomassa algal e teor lipídico

As Figuras 3a e 3b apresentam respectivamente a concentração de sólidos suspensos voláteis e produtividade de biomassa na lagoa de alta taxa estudada.

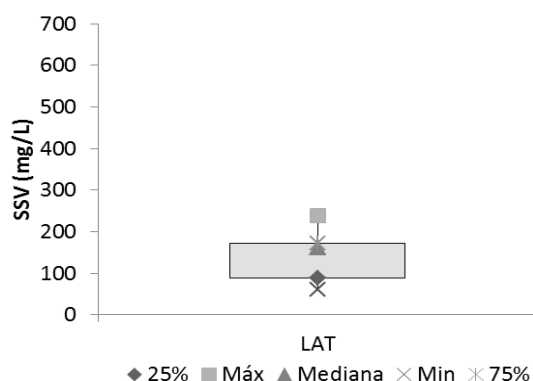


Figura 3a: Concentração de SSV

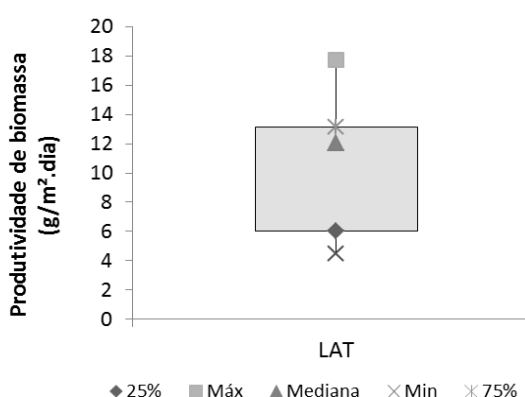


Figura 3b: Produtividade de biomassa

Como pode ser observado na Figura 3a, a concentração mediana de SSV foi de 162 mg/L, com valor máximo de 239 e mínimo de 60 mg/L. Woertz et al. (2009) obtiveram concentrações de SSV de 700-800 mg/L em reatores de bancada com tempo de detenção de 3 e 4 dias, tratando esgoto doméstico misturado com efluente de laticínios com adição de CO₂. Para o tratamento testemunha, sem a adição de CO₂, a concentração média de SSV ficou em torno de 200 mg/L, valor próximo ao encontrado no presente estudo. Chinnasamy et al. (2010), em escala laboratorial, apresentaram resultados de até 1.470 mg/L de SSV, no nono dia de cultivo com elevada adição de CO₂ a 25°C no esgoto doméstico. Os resultados de SSV do presente estudo foram inferiores aos reportados em literatura, principalmente devido a não suplementação com uma fonte externa de carbono.

A Figura 4 apresenta o conteúdo lipídico da biomassa produzida na lagoa estudada.

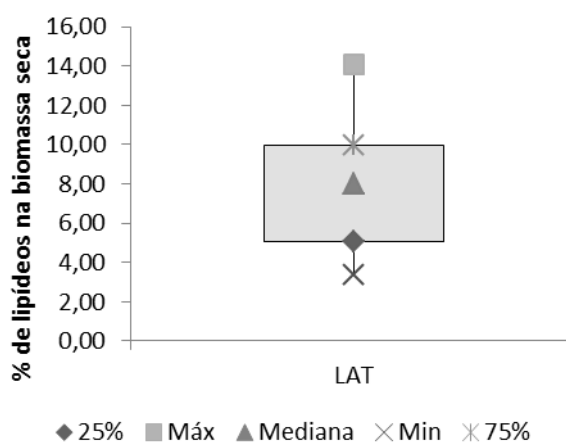


Figura 4: Conteúdo lipídico

De acordo com a Figura 4 é possível observar o acúmulo de lipídeos na unidade de valores medianos de 8%.

Pela análise de sólidos suspensos voláteis tem-se que a produtividade mediana de biomassa total foi de 12,0 g/m².dia, portanto pode-se afirmar que a lagoa estudada apresentou potencial de produção de 0,96 g lipídeo/m².dia.

Esses resultados são superiores aos descritos por Chinnasamy et al. (2010) que desenvolveram estudos com efluente bruto de indústrias de carpetes misturado com efluente doméstico. A biomassa foi cultivada em lagoas de alta taxa de 950 litros, com adição de CO₂ e nitrogênio. O potencial de produção de biomassa algal foi de aproximadamente 9 a 18 toneladas por hectares por ano e o rendimento lipídico ficou em torno de 7% do peso seco. Os resultados foram, porém, inferiores aos reportados por Woertz et al. (2009). Os autores determinaram o conteúdo lipídico de um consórcio de algas originalmente isolado de lagoas de tratamento de águas residuais, e cultivado em efluente de esterco bovino digerido anaerobicamente em reatores ao ar livre.

Após 6 dias de crescimento, o pico de acumulação de lipídeos atingiu 14 a 29% da massa seca, correspondendo a uma produtividade lipídica de 2,8g/m².dia. E também foram inferiores aos valores observados por Park e Craggs (2010), de 16,7 g m⁻² dia⁻¹, para uma lagoa de alta taxa com o mesmo tempo de detenção hidráulica de 4 dias.

Ressalta-se que tais pesquisadores operaram unidades com adição de CO₂ puro, suprimindo a necessidade de CO₂ das algas e gerando gasto adicional de energia, fato que não ocorreu no presente estudo.

No entanto, mesmo com valores discretos de produtividade lipídica, a biomassa produzida em lagoa de alta taxa apresentou um grande potencial como matéria prima para produção de biodiesel, se comparada com as tradicionais culturas oleaginosas. A soja, cultura mais utilizada no país como matéria prima para o biodiesel, possui 18% de conteúdo lipídico com produtividade de 562 kg biodiesel/ha.ano (Mata et al., 2010), enquanto a biomassa aqui estudada apresentou produtividade de 2453 kg biodiesel/ha.ano, ou seja, aproximadamente 4 vezes maior. Além da maior produtividade, destacam-se vantagens como a contínua produção, a não concorrência com culturas alimentares e a não utilização de terras aráveis e água potável no cultivo de microalgas para fins energéticos.

CONCLUSÕES

As eficiências de remoção de COTD, DQO, N-NH₃, PT solúvel e *E. coli* foram de 49%, 32%, 82%, 11,6% e 2,4 unidades log, respectivamente. Os resultados de desempenho no tratamento de água residuária da lagoa de alta taxa estudada foram próximos aos de outros resultados da literatura, demonstrando a replicabilidade deste sistema. Considerando o vasto uso de reatores UASB no mundo inteiro, e principalmente em países de clima mais quente, fica notável a aplicabilidade de sistemas, com a devida remoção dos sólidos gerados após as lagoas.

A unidade apresentou produção mediana significativa de biomassa de 12 g/m².d, com conteúdo de 8% de lipídeos na biomassa seca, produzindo 0,96 g de lipídeo/m².d. Destaca-se então, o potencial promissor da utilização de microalgas como matéria prima para produção de biodiesel, apresentando produtividade superior, cerca de 4 vezes à produtividade da soja.

Por fim, os resultados permitem dizer que o sistema composto por UASB e LAT age de maneira integrada no tratamento de esgoto e na geração de energia, representando alternativa importante de investimento para o desenvolvimento do país nessas duas áreas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington: Byrd Prepress Springfield. 1134p. 2005
2. CHINNASAMY, S., BHATNAGAR, A., HUNT, R.W., DAS, K.C. Microalgae cultivation in a wastewater dominated by carpet mill effluents for biofuel applications. Bioresour. Technol., v. 101, p 3097–3105. 2010.
3. CHISTI, Y. Biodiesel from microalgae. Biotechnology Advances, v. 25, p 294–306, 2007.
4. CRAGGS, R.J., SUTHERLAND, D., CAMPBELL, H. Hectare-scale demonstration of high rate algal ponds for enhanced wastewater treatment and biofuel production. Journal of Applied Phycology, n.24, p 329-337. 2012.
5. GARCÍA, J., GREEN, B.F., LUNDQUIST, T., MUJERIEGO, R., HERNÁNDEZ-MARINÉ, M., OSWALD, W.J. Long term diurnal variations in contaminant removal in high rate ponds treating urban wastewater. Bioresource Technology, n. 97, p 1709-1715. 2006.
6. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, INMET. Normais Climatológicas 61/90. Instituto Nacional de Meteorologia, Brasília. 1990.
7. MATA, T.M., MARTINS, A.A., CAETANO, N.S. Microalgae for biodiesel production and other applications: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, n. 14, p 217-232. 2010.
8. PARK, J.B.K., CRAGGS, R.J. Wastewater treatment and algal production in high rate algal ponds with carbon dioxide addition. Water Sci Technol, v. 61, p. 633–639. 2010.

9. PICOT, B., HALOUANO, H.E., CASELLAS, C., MOERSIDIK, S., BONToux, J. Nutrient removal by high rate pond system in a Mediterranean climate (France). *Water Science Technology*, n. 23, p 1535-1541. 1991.
10. SPOLAORE, P., JOANNIS-CASSAN, C., DURAN, E., ISAMBERT, A. Commercial Applications of Microalgae. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, v. 101, p 87-96. 2006.
11. STURM, B.S.M., LAMER, S.L. An energy evaluation of coupling nutrient removal from wastewater with algal biomass production. *Applied Energy*, v. 88, n. 329, p 796-799. 2010.
12. WALTER, T.L., PURTON, S., BECKER, D.K., COLLET, C. Microalgae as bioreactor. *Plant Cell Rep*, v. 24, p 629-641, 2005.
13. WOERTZ, I., FEFFER, A., LUNDQUIST, T., NELSON, Y. Algae grown on dairy and municipal wastewater for simultaneous nutrient removal and lipid production for biofuel feedstock. *Journal of Environmental Engineering*, v. 135, p 1115–1122. 2009.