

XI-045 – PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE BIOMASSA ALGAL CULTIVADA EM ESGOTO DOMÉSTICO

Fernanda Pereira da Silva⁽¹⁾

Graduanda em Engenharia 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.

Paula Peixoto Assemany⁽³⁾

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.

Eduardo de Aguiar do Couto⁽⁴⁾

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.

Endereço⁽¹⁾: Av. PH Rolfs, s/n – Campus Universitário, DEC/CCE, sala 320 – Viçosa, Minas Gerais – Cep: 36570-900- Brasil. Tel : +55(31) 3899-3098- e-mail : fernanda.p.silva@ufv.br

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. A proposta desse estudo foi avaliar a produção de biogás através da digestão anaeróbia de biomassa algal cultivada em lagoas de alta taxa, utilizando esgoto doméstico pré-tratado como meio de cultivo. Testes de atividade metanogênica específica (AME), biodegradabilidade anaeróbia e potencial de produção de biogás (PPB) foram realizados, bem como a caracterização do lodo e da biomassa, utilizados respectivamente como inoculo e substrato para a digestão anaeróbia. Resultados indicaram que a relação alimento/microrganismo igual a 8 foi a mais adequada para o teste de AME. Resultados de PPB se mostraram de acordo com a literatura, indicando a viabilidade do uso de esgoto doméstico como meio de cultivo para a produção de biomassa algal para geração de biogás. No entanto, pôde-se observar a difícil degradabilidade da biomassa algal.

PALAVRAS-CHAVE: Microalgas, Bioenergia, Lagoas de Alta Taxa, Digestão Anaeróbia.

INTRODUÇÃO

A busca por fontes renováveis de energia é uma realidade mundial frente ao esgotamento dos combustíveis fósseis, e também aos impactos ambientais por eles ocasionados. No Brasil, já há algum tempo os esforços são direcionados na tentativa de se incorporar biocombustíveis à matriz energética nacional, sobretudo, o biodiesel, através da adição obrigatória do biodiesel ao diesel consumido em todo o território nacional.

Além do biodiesel, o biogás constitui outra forma de biocombustível com grande potencial de utilização em todo país, e pode ser obtido através da digestão anaeróbia de diferentes formas de biomassa. O processo de digestão anaeróbia apresenta como principais vantagens, o fato de ser operacionalmente simples, possuir baixo custo energético e gerar reduzido volume de resíduos.

Adicionalmente à elevada produtividade, a utilização de microalgas para a obtenção de energia apresenta a vantagem de não ser oriunda de fonte alimentícia. O reuso de esgoto doméstico urbano para a produção de biomassa algal se apresenta como uma interessante opção do ponto de vista econômico e ambiental, uma vez que esse efluente possui nutrientes necessários para o desenvolvimento das microalgas.

A biomassa algal, consiste basicamente em carboidratos, lipídeos e proteínas, e se transforma em resíduo após a extração desses componentes; porém ainda mantém certas quantidades que podem ser aproveitadas para a digestão anaeróbia e geração de biogás. O biogás produzido pode ser utilizado como fonte primária de energia para grande parte do processo de produção de biomassa algal, reduzindo assim, os custos de produção do biodiesel e dos demais produtos de alto valor agregado (Yang et al., 2011). Mais do que isso, Sialve et al. (2009) estimam que a digestão anaeróbica desse substrato para a geração de metano, a partir do controle dos diversos parâmetros envolvidos, pode gerar tanta energia quanto a extração de lipídeos. Ainda dentro desse contexto, algumas pesquisas apontam na direção da obtenção de gás hidrogênio a partir da digestão anaeróbica de biomassa algal em dois estágios, o que pode elevar a quantidade de energia obtida em toda a cadeia.

Dessa forma, o objetivo do presente estudo foi avaliar a produção de biogás através da digestão anaeróbia de biomassa algal cultivada em lagoas de alta taxa, utilizando esgoto doméstico pré-tratado como meio de cultivo.

MATERIAIS E MÉTODOS

- **Unidade experimental**

O experimento foi instalado no município de Viçosa - MG (20°45'41,4020''S, 42°52'11,9622''O). 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. As LATs recebiam efluente doméstico do UASB que passou por processo prévio de desinfecção ultravioleta. O sistema de desinfecção ultravioleta foi dimensionado para atingir o padrão de 10³ NMP.100mL⁻¹, com dose efetiva adotada de 21 mJ cm⁻² e absorbância de 42%, sugeridas por Gonçalves et al. (2003), que estudaram a remoção de *Escherichia coli* por desinfecção UV em efluentes de UASB. Portanto, a unidade de desinfecção possuiu dose aplicada por volume de 5,64 Wh.m⁻³. As dimensões do reator de desinfecção eram de: 0,16 m de largura, 0,76 m de comprimento, 0,10 m de lâmina d'água, e 8,4 segundos de TDH. Foram instaladas três lâmpadas emersas de radiação UV-C, feitas em tubo de quartzo, potência de 15 W cada, sendo de baixa pressão, com dimensões de 436 mm de comprimento, 26 mm de diâmetro, colocadas no sentido longitudinal. O objetivo da etapa de desinfecção foi o de remoção de organismos predadores de microalgas e competidores por nutrientes, consistindo em melhoria para o crescimento da biomassa algal. As LATs foram confeccionadas em fibra de vidro, com tempo de detenção hidráulica de 4 dias, volume útil de 1 m³, área superficial de 3,5 m² e altura de lâmina d'água de 30 cm. Foram dotadas de pás que garantem velocidade de aproximadamente 0,15 m s⁻¹. A jusante, o efluente foi retido em tanques de sedimentação para separação da biomassa. A Figura 1 apresenta as LATs utilizadas no projeto e as unidades de separação da biomassa algal.

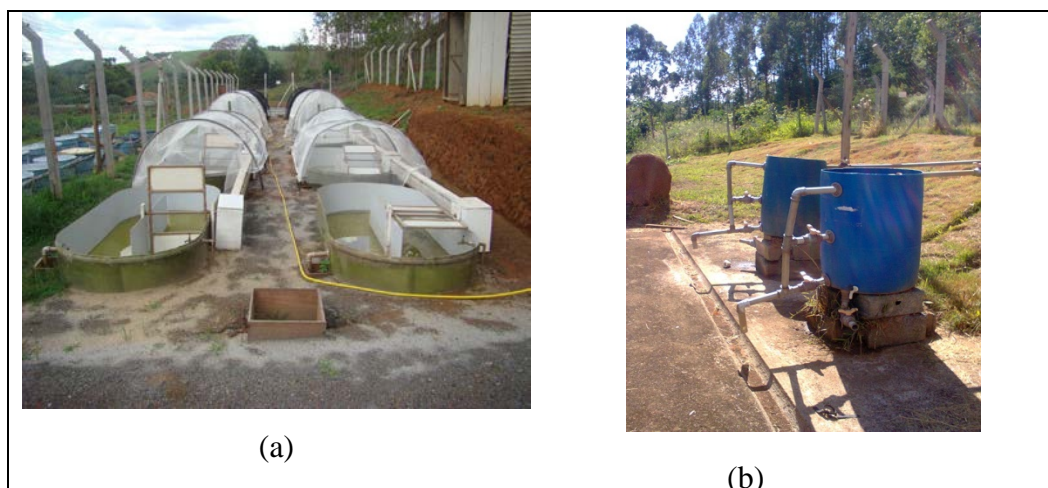


Figura 1: LATs utilizadas para a produção de microalgas a partir do tratamento de esgotos (a) e unidades de separação da biomassa algal (b).

- **Caracterização do inoculo e substrato**

O lodo anaeróbio do reator UASB foi utilizado como inoculo para avaliação da atividade metanogênica específica (AME) e para os testes de biodegradabilidade e potencial de geração de biogás. Como substrato para a digestão anaeróbia foi utilizada a biomassa cultivada nas LATs. A biomassa e o lodo do reator UASB foram caracterizados quanto aos parâmetros físicos e químicos. Foram determinados: umidade, pH, sólidos totais (ST), sólidos totais voláteis (STV), demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio total kjeldahl (NTK), nitrogênio amoniacal (N-amoniacal) e fósforo total (Pt), de acordo com procedimentos adaptados de APHA (2005). O carbono orgânico total (COT) foi estimado pela razão entre os sólidos voláteis e 1,8 (Golueke, 1977). O teor de ácidos orgânicos voláteis (AGV) foi determinado por titulação de acordo com Buchauer (1998).

- **Atividade metanogênica específica (AME)**

Os testes de AME foram usados para caracterizar a atividade do inoculo e seguiram os procedimentos descritos por Jawed e Tare (1999), com modificações descritas em Viana (2011). Os ensaios foram conduzidos em frascos com volume útil de 200 mL preenchidos com lodo anaeróbio (5 g/L), glicose (substrato) 2,5 g/L, solução tampão (bicarbonato de sódio em proporção de 1 gNaHCO₃ por cada gDQO/L) e água destilada. Além disso, foram adicionados nutrientes e micronutrientes de acordo com Viana (2011). Após o fechamento dos frascos realizou-se a injeção de gás composto de 80% de N₂ e 20% de CO₂ durante 5 minutos, para expurga do oxigênio. A produção de biogás foi monitorada diariamente em uma garrafa de Mariotte preenchida com solução salina (NaCl, pH=2). Os testes foram conduzidos a 35±2°C sob agitação contínua (120rpm) em incubadora TE-420 da marca TECNAL. Todos os experimentos foram feitos em duplicata e testando-se a melhor relação Alimento/Microrganismo (A/M = 4 (x4), 6 (x6) e 8 (x8)), além do frasco controle sem adição de substrato para mensurar a respiração endógena dos microrganismos (x0). A AME foi calculada pela inclinação da curva de produção acumulada de metano, através da identificação do trecho linear e por ajuste de regressão linear simples com auxílio do software estatístico R, versão 3.0.2 (Development Core 2013).

- **Teste de biodegradabilidade anaeróbia**

Os ensaios de biodegradabilidade anaeróbia da biomassa algal foram realizados sob as mesmas condições que os testes de AME. Entretanto, o substrato usado em substituição a glicose foi a biomassa algal residual. A equação usada para calcular a biodegradabilidade segue abaixo:

$$BIO = \frac{DQO_{30} - DQO_{30\text{controle}}}{DQO_{\text{biomassa}}} \times 100 \quad \text{equação (1)}$$

em que:

BIO é biodegradabilidade da amostra (%); DQO₃₀ é o volume total de biogás produzido no frasco contendo biomassa, em termos de DQO (há 35°C, 0,395 litros de metano corresponde a 1g de DQO); DQO₃₀controle é o volume total de biogás produzido no frasco controle em termos de DQO(g) e DQO_{glicose} é a massa inicial de biomassa(em gramas de DQO) adicionada a cada reator.

- **Teste de potencial de produção de biogás (PPB)**

O potencial de produção de biogás (PPB) pode ser calculado baseando-se na produção acumulada de metano após o período de tempo e na massa de substrato utilizada nos testes. A unidade utilizada para representar o PPB será de litros biogás/ g de biomassa adicionada, a ser calculado de acordo:

$$PPB = \frac{V_{30} - V_{controle\ 30}}{m_{0biomassa}} \quad \text{equação (2)}$$

em que:

V₃₀ representa o volume de biogás produzido no frasco contendo biomassa ao final de 30 dias (em litros); V_{controle30} é o volume de biogás produzido pelo frasco controle (sem adição de substrato) ao final do mesmo tempo (em litros) e m_{0biomassa} é a massa inicial (STV, em gramas) de biomassa no frasco.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

- **Caracterização do inoculo e substrato**

A Tabela 1 apresenta os resultados (valores médios) das análises de caracterização do lodo do UASB utilizado como inoculo e da biomassa algal.

Tabela 1: Caracterização do inoculo e do substrato para a digestão anaeróbia.

	INOCULO	BIOMASSA ALGAL
pH	7,2	7,03
Umidade (%)	95,65	99,51
AGV (mg/L)	139,1	---
ST (mg/L)	43.435,79	21.055,12
STV (mg/L)	29.159,53	12.104,97
NTK (mg/L)	1.968,19	3.272,76
N-amoniaco (mg/L)	267,26	Ausente
N orgânico (mg/L)	1.761,39	3.272,76
Pt (mg/L)	299,68	645,26
COT (mg/L)	11.335,00	4.323,05
DQO (mg/L)	329.232,18	44.909,61

De acordo com a Tabela 1 pode-se observar que o lodo utilizado como inoculo apresentou umidade de 95,65% e valor médio de pH de 7,2. O valor de STV foi superior a 29.000 mg/L, com elevado valor de DQO, superando 320.000 mg/L. A biomassa utilizada como substrato apresentou uma relação C:N de 14:1, considerando a DQO como medida de carbono. Essa relação varia de 4-9, dependendo da espécie de microalga (Geider e Roche, 2002). De acordo com Speece (1996), relações C/N menores que 20 são consideradas desbalanceadas para a digestão anaeróbia, levando principalmente à liberação de amônia e consequentemente à inibição da digestão. O teor de umidade ideal para se alcançar uma eficiente digestão, é entre 80 e 90% (McKendry, 2002), faixa não atingida para a biomassa utilizada como substrato.

- **AME**

Os testes de AME foram realizados em duplicata de duração de 30 dias para cada relação A/M. Todos os testes apresentaram um bom ajuste para o modelo Logístico com coeficiente de correlação de no mínimo 0,95. A Figura 2 apresenta um exemplo do ajuste do modelo de regressão não linear para os dados experimentais.

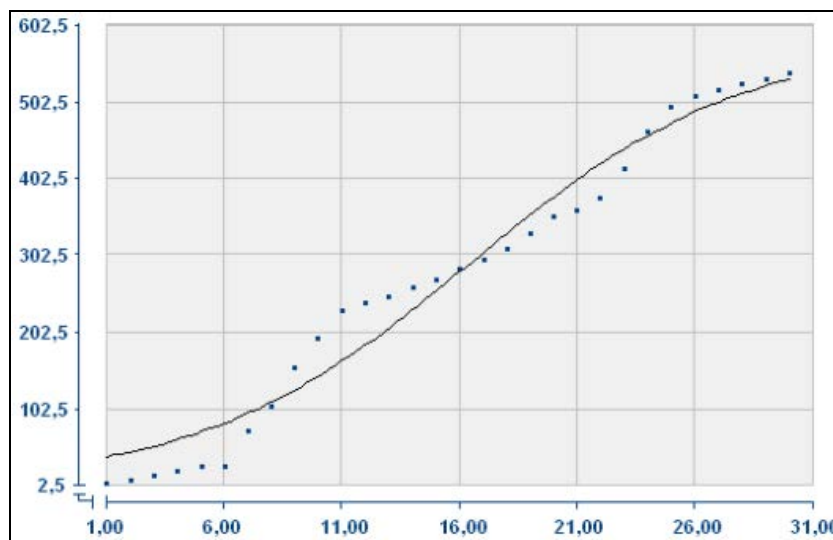


Figura 2: Exemplo do ajuste do modelo de regressão não linear (Logística) para a produção acumulada de metano observada no cálculo da AME. Eixo y: produção acumulada de metano (mL); eixo x: tempo (dias).

A Tabela 2 apresenta os resultados dos testes de AME para as diferentes relações A/M, utilizando lodo de reator UASB de tratamento de esgoto como inoculo.

Tabela 2: Resultados dos testes de AME (média) para as diferentes relações A/M.

	RELAÇÃO A/M		
	X4	X6	X8
Biogás após 30dias (mL)	380,41	332,81	339,67
mLbiogás/g STV.dia	38,64	47,35	55,47
AME(gDQO/gSTV.d)	0,10	0,12	0,14

Utilizando a glicose como substrato, as relações X6 e X8 foram as que se mostraram mais produtivas, com maiores valores de AME. Os resultados obtidos nesse estudo para a AME do lodo anaeróbio utilizado como inoculo se mostraram coerentes com valores típicos de AME reportados em literatura (Florentino et al., 2010; Louzada et al., 2005) para lodo de tratamento de esgoto doméstico.

- **Testes de biodegradabilidade anaeróbia e potencial de produção de biogás**

A Tabela 3 apresenta os resultados da biodegradabilidade anaeróbia e do PPB para cada relação A/M.

Tabela 3: Resultados de produção de biogás utilizando a biomassa algal como substrato.

	RELAÇÃO A/M		
	X4	X6	X8
Biogás após 30dias (mL)	530,35	389,05	355,55
PPB (m³biogás/kg STV)	0,23	0,15	0,13
BIO (%)	20,22	14,01	11,64

Percebe-se uma baixa biodegradabilidade anaeróbia da biomassa oriunda da LAT, com valores médios de 11,64, 14,01 e 20,22% para as relações A/M de 8, 6 e 4, respectivamente. A difícil degradação anaeróbia foi também refletida no PPB, com valores médios de geração de metano de 0,13, 0,15 e 0,23 m³biogás/kg STV para as relações A/M 8, 6 e 4, respectivamente. Mussnug et al. (2010) em estudos de digestão com diversas espécies de microalgas afirmaram que o grau de degradação da célula é fator crucial para a eficiente conversão de biomassa algal em biogás.

Os valores de PPB encontrados nessa pesquisa estão de acordo com os reportados em literatura. Alzate et al. (2012) relataram produções de metano, variando de 0,188 a 0,395 m³/kg SV, dependendo da razão A/M e do pré-tratamento aplicado à biomassa. Ramos-Suárez e Carreras (2014) apresentaram resultados de produção de metano de 0,14 m³/kg SV para biomassa bruta. Ehimen et al. (2011) obtiveram produções de biogás de 0,295 e 0,308 m³/kg SV na digestão anaeróbia de biomassa algal a 35°C e relação A/M de 12,44 e a 40 °C e relação A/M de 8,53, respectivamente. No entanto, ressalta-se a escassez de literatura de estudos de digestão anaeróbia de biomassa algal (Alzate et al., 2012; Alzate et al., 2014). Lacuna ainda mais pronunciada é observada em relação a estudos sobre o potencial de geração de metano a partir de biomassa algal cultivada em águas residuárias.

CONCLUSÕES

A biomassa algal produzida em LATs utilizando esgoto doméstico se mostrou um substrato eficiente para produção de biogás através da digestão anaeróbia. Resultados de caracterização da biomassa mostraram que assim como esperado, a biomassa algal advinda da LAT apresentou uma baixa relação C:N, o que pode inibir a digestão através da liberação de amônia, além de apresentar teor de umidade superior ao ideal. Resultados indicaram que relações maiores de A/M (6 e 8) foram as mais adequadas para os testes de AME para o lodo de reator UASB utilizado como inoculo. Resultados de PPB se mostraram de acordo com a literatura, indicando a viabilidade do uso de esgoto doméstico como meio de cultivo para a produção de biomassa algal para fins energéticos. No entanto, pôde-se observar a difícil degradabilidade anaeróbia da biomassa algal.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo financiamento do estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALZATE, M.E., MUÑOZ, R., ROGALLA, F., FDZ-POLANCO, F., PÉREZ-ELVIRA, S.I. Biochemical methane potential of microalgae: influence of substrate to inoculum ratio, biomass concentration and pretreatment. *Bioresource. Technology*, 123, p. 488–494, 2012,
2. ALZATE, M.E., MUÑOZ, R., ROGALLA, F., FDZ-POLANCO, F., PÉREZ-ELVIRA, S.I. Biochemical methane potential of microalgae biomass after lipid extraction. *Chemical Engineering Journal*, v. 243, p. 405-410, 2014.
3. APHA. Standard Methods for examination of water and wastewater. Washington: American Water Work Association, Water Environmental Federation. 2005.
4. BUCHAUER, K. A comparison of two simple titration procedures to determine volatile fatty acids in influents to waste-water and sludge treatment process. *Water S.A.*, v. 24, n.1, p 49-56, 1998.
5. EHIMEN, E.A., SUN, Z.F., CARRINGTON, C.G., BIRCH EJ, EATON-RYE, J.J. Anaerobic digestion of microalgae residues resulting from the biodiesel production process. *Applied Energy*, 88, p. 3454 – 3463, 2011.
6. FLORENTINO, H.O., BISCARO, A.F.V., PASSOS, J.R.S. Funções Sigmodais aplicadas na determinação da Atividade Metanogênica Específica – AME. *Revista Brasileira de Biomassa*, 28, p 141-150, 2010.
7. GEIDER, R.J., ROCHE, J.L. Redfield revisited: variability of C:N:P in marine microalgae and its biochemical basis. *European Journal of Phycology*, 37, p. 1-17, 2002.
8. GOLUEKE, C.G. Biological Reclamation of Solid Wastes. Emmaus, PA: Rodale Press, 1977.

9. GONÇALVES, R.F., FILHO, B.C., CHERNICHARO, C.A.L., LAPOLI, F. R., AISSE, M.M., PIVELI, R.P. Desinfecção por radiação ultravioleta. In: GONÇALVES, Ricardo Franci. Desinfecção de Efluentes Sanitários. Vitória: ABES, p. 209-276, 2003.
10. LOUZADA, A.G., DA SILVA, A.L.B., LUBE, L.M., GONÇALVES, R.F., CASSINI, S.T. Avaliação da Biodegradabilidade de lodos com condicionamento hidrolítico provenientes do sistema ETE-UFES. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, Campo Grande-MS. 2005.
11. MCKENDRY, P. Energy production from biomass (part 2): conversion technologies. Bioresource Technology, 83, p. 47–54, 2002.
12. MUSSGUG, J.H., KLASSEN, V., SCHLUTER, A., KRUSE, O. Microalgae as a substrate for fermentative biogas production in a combined biorefinery concept. Journal of Biotechnology, 150, p. 51-56, 2010.
13. RAMOS-SUÁREZ, J.L., CARRERAS, N. Use of microalgae residues for biogas production. Chemical Engineering Journal, 242, p. 86-95, 2014.
14. SIALVE, B., BERNET, N., BERNARD, O. Anaerobic digestion of microalgae as a necessary step to make microalgal biodiesel sustainable. Biotechnology Advances, 27, p. 409 – 416, 2009.
15. SPEECE, R.E. Anaerobic biotechnology for industrial wastewaters. Nashville: Archae press. 1996.
16. VIANA, M. B. Produção de biogás a partir do glicerol. Dissertação de mestrado-Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 2011.