

PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DA PLANTA AQUÁTICA *EICHHORNIA CRASSIPES*

Roberto Guimarães Pereira¹, José Gonçalves da Silva¹, Jorge Fernandes Filho¹, Maria Cristina Duarte Eiras Pereira¹, Ricardo Bichara de Melo²

¹Universidade Federal Fluminense, Departamento de Engenharia Mecânica e Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica,
Rua Passo da Pátria 156, Niterói, RJ, Brasil, CEP 24210-240,
tel.: (55)(21)2629-5583, fax: (55)(21)2717-4446, e.mail: temrobe@vm.uff.br

²Light Serviços de Eletricidade S. A., rbmelo@light.com.br

RESUMO

Praticamente todas as plantas e resíduos vegetais e animais podem, de algum modo, ser utilizadas como fonte de energia. A biodigestão anaeróbia destes materiais é uma opção, obtendo-se o biogás. Além do gás obtido no processo, produz-se, no interior do biodigestor um excelente fertilizante.

A planta aquática *Eichhornia crassipes* é encontrada em grandes quantidades em diversos corpos hídricos, tais como reservatórios, lagos e lagoas, se tornando na maior parte das vezes um grande problema sendo necessário a sua retirada sistemática da água, sem na maior parte das vezes ter um destino adequado.

O biodigestor de bancada utilizado no experimento de biodigestão das plantas aquáticas é composto por um reator que contém a biomassa, onde é produzido o biogás, e um reservatório para o monitoramento da produção de biogás. O Reator encontra-se dentro de um recipiente contendo água que pode ser aquecida através de uma resistência elétrica, com a finalidade de manter a temperatura no interior do reator em torno de 35 °C.

Os resultados das análises do gás do reator feitas em um cromatógrafo a gás CG MASTER com detector duplo de ionização de chama (DIC) e condutividade térmica (DCT) mostram um percentual da ordem de 50% de metano no biogás.

O processo de biodigestão da planta aquática: *Eichhornia crassipes* mostra potencial para a obtenção de biogás, com teores consideráveis de metano, de modo a viabilizar o seu aproveitamento.

Também, foram feitas análises para a determinação de umidade, matéria orgânica total, resíduo mineral e carbono orgânico, da biomassa contida no biodigestor..

Introdução

A planta aquática *Eichhornia crassipes* (Martius) Solms tem origem cosmopolita, com ampla distribuição pantropical (Joly, 1985). No Brasil pode ser encontrada nos estados: Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Mato Grosso, Pernambuco, Pará, Amazonas, Rondônia e Maranhão. Na América do Sul além do Brasil pode ser encontrada na Argentina, Uruguai, Bolívia, Chile, Colômbia. Na América Central pode ser encontrada no Equador, Caribe, Costa Rica, Nicarágua, Honduras. Na América do Norte apresenta-se dissiminada por quase todo os Estados Unidos e parte do Canadá. Na Europa, em países como Portugal, França, Espanha. Também existem relatos de sua presença na África, Ásia, Japão, Austrália e Oceania (Gopal, 1987). Recebe algumas denominações: jacinto d'água doce, aguapé e lírio aquático.

Embora a *Eichhornia crassipes* se reproduza tanto vegetativamente como sexualmente, a propagação vegetativa, apresenta-se como a forma de reprodução mais importante para que a espécie se espalhe e colonize diversas áreas do Globo. O desenvolvimento por estolões vem sido bem estudado e descrito, desde o início do séc. XVIII. É um tipo de desenvolvimento rápido, principalmente quando as condições climáticas e alimentares são favoráveis (altas temperaturas e fartura de material nutritivo). Geralmente desenvolve-se no indivíduo um pequeno rebento em forma de pecíolo, emitindo na parte superior uma ou mais folhas que se desenvolvem a medida que a planta cresce até atingir o seu tamanho natural, e para a parte inferior raízes fasciculadas.

A planta, também, pode se reproduzir por sementes. Este tipo de reprodução é importante, porque as sementes podem permanecer dormentes por meses, resistindo as condições adversas ambientais.

Em áreas poluídas, multiplica-se extraordinariamente por estolões, formando massa compacta que chega a dificultar a navegação de pequenas embarcações (Notare, 1992) ou causar prejuízos às turbinas de reservatórios de hidrelétricas.

Ao proliferar-se em demasia em um recurso hídrico pode propiciar a proliferação de insetos, diminuir a luminosidade, assim como diminuir a taxa de oxigênio dissolvido no recurso hídrico, causando desequilíbrio ecológico e alterando significativamente as comunidades de invertebrados e vertebrados (Gopal, 1987).

O crescimento em demasia da *Eichhornia crassipes* pode ser controlado através de um controle químico ou biológico ou mecânico.

O controle químico, apesar de agir eficazmente impedindo o crescimento e desenvolvimento da biomassa da planta tem como fator negativo, o fato de alterar a qualidade da água, causar intoxicações ou até a morte dos seres aquáticos. Além disto, apresenta um custo relativamente alto, dependendo da área onde é aplicado. Sendo assim várias tentativas e estudos têm sido feitos com controles biológicos que, também, podem trazer sérios problemas, alterando o equilíbrio ecológico da região.

O controle mecânico consiste em remover a biomassa por um processo manual ou utilizando-se máquinas. Em ambos os casos, geram-se grandes quantidades de passivos ambientais, que muitas das vezes são depositados no solo sem nenhum controle e cuidados especiais, podendo causar a contaminação do solo, de lençóis freáticos e, ainda, possibilitar a proliferação de vetores. Assim, torna-se essencial um destino adequado a esta biomassa.

A biodigestão anaeróbia destes materiais é uma opção, obtendo-se o biogás. Além do gás obtido no processo, produz-se, no interior do biodigestor um excelente fertilizante.

O biogás, segundo Motta (1986), é uma mistura de metano (CH₄) com dióxido de carbono (CO₂) e pequenas quantidades de gás sulfídrico (H₂S), nitrogênio (N₂), hidrogênio (H₂), oxigênio (O₂) e monóxido de carbono (CO). O componente mais abundante na

mistura é o metano, que contribui com 50% a 70%. O poder calorífico do metano é da ordem de 35.600 KJ/m³, enquanto o poder calorífico do biogás é de 23.000 a 27.200 KJ/m³.

Há dois sistemas básicos, o contínuo e o de batelada. O primeiro apropriado para a maioria das biomassas, recebe cargas diárias ou periódicas e descarrega a massa já fermentada automaticamente por vasos comunicantes em pleno funcionamento. O biodigestor de sistema batelada, específico para materiais orgânicos de decomposição lenta e de longo período de produção, recebe a carga total, retendo-a, até complementar o processo da biodigestão, sendo então esvaziado e recarregado novamente. Este é construído geralmente com grandes dimensões.

O processo anaeróbio baseia-se na utilização de microorganismos na completa ausência de oxigênio livre, para a degradação da matéria orgânica (Chernicharo, 1997)

Os principais microorganismos empregados no processo anaeróbio são as bactérias anaeróbias ou facultativas. A capacidade de uma bactéria anaeróbia decompor um determinado substrato é específica, dependendo principalmente das enzimas que possui. As enzimas, responsáveis pelas reações do processo de decomposição, apresentam alto grau de especificidade.

A eficiência global de conversão da matéria orgânica em produtos estabilizados, depende da eficiência de cada reação e do equilíbrio entre diversas espécies e entre os grupos de bactérias presentes no sistema anaeróbio. A velocidade de cada reação influi na velocidade do processo, e as reações mais lentas denominadas etapas limitadas, irão determinar a velocidade da reação global.

A sequência de reações do processo anaeróbio sugere sua divisão em etapas que sejam convenientes para sua compreensão, porém a realidade biológica é mais complexa. Entre os microorganismos existem interações tão estreitas que, por exemplo, a atividade dos microorganismos metanogênicos influi decididamente sobre os produtos de outras etapas, inclusive sobre a hidrólise.

A digestão anaeróbia ocorre a partir de quatro grupos de bactérias, que são as seguintes:

- a) Grupo I: bactérias hidrolíticas, as quais convertem uma variedade de moléculas orgânicas complexas (polissacarídeos, lipídios e proteínas), a um amplo espectro de produtos finais (ácido acético, H₂ e CO₂, compostos com único carbono, ácidos orgânicos maiores que ácido acético e compostos neutros maiores que metanol);
- b) Grupo II: bactérias acetogênicas produtoras de hidrogênio que converte ácidos orgânicos maiores que ácido acético (butirato, propinato, etc.) e compostos neutros maiores que o metanol. (etanol, propanol, etc), hidrogênio, acetato e dióxido de carbono;
- c) Grupo III: bactérias homoacetogênicas, as quais podem converter um espectro muito amplo de compostos orgânicos de um ou de vários carbono a ácido acético;
- d) Grupo IV: bactérias metanogênicas, as quais convertem H₂, CO₂, compostos de um carbono (metanol, CO₂, metilaminas) e acetato em metano.

Material e Método

Montagem do Biodigestor de Bancada

O biodigestor de bancada utilizado no experimento é composto por um reator, que contém a biomassa e onde é produzido o biogás, e um reservatório para o monitoramento da produção de biogás. O Reator encontra-se dentro de um reservatório contendo água. Esta pode ser aquecida através de uma resistência térmica, que mantém a temperatura no interior do reator em torno de 35 °C.

O procedimento adotado contempla basicamente as seguintes etapas:

- Triturar totalmente em liquidificador industrial as plantas aquáticas (raiz, caule e folhas);
- Encher o reator com a pasta das plantas;
- Encher, com água e sal, o reservatório para monitoramento da produção de biogás;
- Vedar o aparato experimental.

Determinação da Umidade

Para se determinar a umidade na biomassa, deve-se:

- Lavar uma cápsula de porcelana com água destilada e posteriormente leva-la à mufla a uma temperatura de 550°C por 30 minutos;
- Colocar a cápsula no dessecador até resfriamento total. Pesar a cápsula obtendo-se P_1 ;
- Pesar uma porção de amostra, obtendo-se P_2 ;
- Levar a cápsula contendo a amostra à estufa, graduada para a faixa de 100 a 110°C, permanecendo por 24 horas. Resfriar no dessecador por 30 minutos e pesar obtendo-se P_3 (Kiehl,1985).

$$Umidade(\%) = (P_2 - P_3) \times 100 / (P_2 - P_1) \quad (1)$$

Determinação da Matéria Orgânica Total

Para a determinação da matéria orgânica total, deve-se

- Levar a cápsula com o material da análise de umidade à mufla e ligá-la mantendo a porta entre-aberta para proporcionar adequada aeração. Aquecer lentamente a amostra para que a mesma seja queimada sem inflamar, pois, se formar labareda poderá ocorrer perda de material; recomendando-se, nesse caso, que a determinação seja repetida;
- Fechar a porta da mufla uma vez alcançada a temperatura de 550°C, mantendo essa temperatura por mais uma hora;
- Retirar a cápsula da mufla, resfriar em dessecador e pesar obtendo-se P_4 (Kiehl,1985).

$$MO_{total}(\%) = (P_3 - P_4) \times 100 / (P_3 - P_1) \quad (2)$$

Determinação do Resíduo Mineral

O resíduo mineral que restou na cápsula é geralmente designado como cinza ou cinza bruta ou materiais não voláteis ou ainda, resíduo mineral total. A determinação do resíduo mineral total é feita por simples cálculo a partir dos dados da análise de matéria orgânica total (Kiehl, 1985).

$$R_{mineral}(\%) = (P_4 - P_1) \times 100 / (P_3 - P_1) \quad (3)$$

Determinação do Carbono Orgânico

A determinação do teor de carbono orgânico é feita dividindo-se o resultado da matéria orgânica total pelo fator 1,8.

$$C_{orgânico}(\%) = MO_{total}(\%) / 1,8 \quad (4)$$

Resultados

A seguir são apresentados os resultados da biodigestão anaeróbia das plantas aquáticas (*Eichhornia crassipes*) retiradas dos Reservatórios de Santana e Vigário da Light, localizados em Pirai, no Estado do Rio de Janeiro.

Biodigestão da Planta Aquática Eichhornia crassipes (com lodo)

A tabela 1 ilustra a evolução do experimento de biodigestão da planta aquática *Eichhornia crassipes* (com lodo). Foi utilizado no reator 2000 mL de aguapé triturado e 500 mL de lodo de estação de tratamento de esgoto doméstico.

Tabela 1. Biodigestão da Planta Aquática *Eichhornia crassipes* (com lodo).

DATA	EVOLUÇÃO DO EXPERIMENTO
17/04/2003	Início do experimento
20/05/2003	Presença de gás no reservatório, atestado pelo fluxo de gás após abertura da pinça de vedação

Coletou-se em 21/05/2003, com o auxílio de uma seringa própria o gás no interior do reator. Este foi analisado no dia 22/05/2003 em um cromatógrafo a gás CG MASTER com

detector duplo de ionização de chama (DIC) e condutividade térmica (DCT). Os resultados encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2. Composição do biogás da Planta Aquática *Eichhornia crassipes* (com lodo) após 34 dias de biodigestão – em 22/05/03.

COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS DA PLANTA AQUÁTICA <i>EICHHORNIA CRASSIPES</i> (APÓS 34 DIAS DE BIODIGESTÃO)	ANÁLISE (% em volume)
O ₂	5,3
N ₂	16,7
CH ₄	28,95
CO ₂	48,95
CO	0,1

Coletou-se, novamente em 06/06/2003, com o auxílio de uma seringa própria o gás no interior do reator, sendo o gás analisado no mesmo dia em um cromatógrafo a gás CG MASTER com detector duplo de ionização de chama (DIC) e condutividade térmica (DCT). Os resultados encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3. Composição do biogás da Planta Aquática *Eichhornia crassipes* (com lodo) após 50 dias de biodigestão.- em 06/06/03

COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS DA PLANTA AQUÁTICA <i>EICHHORNIA CRASSIPES</i> (APÓS 50 DIAS DE BIODIGESTÃO)	ANÁLISE (% em volume)
O ₂	2,8
N ₂	9,5
CH ₄	41,65

CO ₂	46,05
-----------------	-------

Também, foram feitas análises para a determinação de umidade, matéria orgânica total, resíduo mineral e carbono orgânico, da planta aquática *Eichhornia crassipes* e do lodo de estação de tratamento de efluente, antes da biodigestão, e da pasta do biodigestor, após 50 dias de biodigestão, conforme mostram as Tabelas 4 e 5.

Tabela 4. Pesagem para determinação de parâmetros do processo de biodigestão da Planta Aquática *Eichhornia crassipes*

PESOS (g)	MATERIAIS		
	<i>Planta Aquática <u>Eichhornia crassipes</u> (antes da biodigestão)</i>	<i>Lodo de estação de tratamento de esgoto (antes da biodigestão)</i>	<i>Pasta do biodigestor (após 50 dias de biodigestão)</i>
P ₁	61,5483	58,4497	66,6785
P ₂	76,7943	74,0197	77,7384
P ₃	62,6577	60,3907	67,3876
P ₄	62,0831	59,4090	66,9787

Tabela 5. Parâmetros do processo de biodigestão da Planta Aquática *Eichhornia crassipes*

ANÁLISE (%)	MATERIAIS		
	<i>Planta Aquática <u>Eichhornia crassipes</u> (antes da biodigestão)</i>	<i>Lodo de estação de tratamento de esgoto (antes da biodigestão)</i>	<i>Pasta do biodigestor (após 50 dias de biodigestão)</i>
Umidade	92,4	87,5	93,6
Matéria Orgânica Total	51,8	50,6	57,7
Resíduo Mineral	48,2	49,4	42,3
Carbono Orgânico	28,8	28,1	32,0

Biodigestão da Planta Aquática Eichhornia crassipes (sem lodo)

A Tabela 6 ilustra a evolução do experimento de biodigestão da planta aquática Eichhornia crassipes (sem lodo). Foi utilizado no reator 2500 L da planta aquática triturada. Neste experimento, nenhuma quantidade de lodo foi adicionada a pasta, com a finalidade de comparar-se o processo de biodigestão com experimentos anteriores nos quais foram adicionadas pequenas quantidades de lodo à pasta da planta triturada.

Tabela 6. Biodigestão da planta aquática: Eichhornia crassipes (sem lodo)

DATA	EVOLUÇÃO DO EXPERIMENTO
25/07/2003	Início do experimento
08/08/2003	Presença de gás no reator: 21,7% de CH ₄
15/08/2003	Presença de gás no reator: 33,1% de CH ₄
22/08/2003	Presença de gás no reator: 40,3% de CH ₄
29/08/2003	Presença de gás no reator: 25,7% de CH ₄

Os resultados das análises do gás do reator feitas em 08/08/2003, 15/08/2003, 22/08/2003 e 29/08/2003, em um cromatógrafo a gás CG MASTER com detector duplo de ionização de chama (DIC) e condutividade térmica (DCT), encontram-se nas Tabelas 7 a 10.

Tabela 7. Composição do biogás da planta aquática: Eichhornia crassipes (sem lodo) após 14 dias de biodigestão.- em 08/08/2003

COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS	ANÁLISE
----------------------	---------

DA PLANTA AQUÁTICA <u>EICHHORNIA CRASSIPES</u> (APÓS 14 DIAS DE BIODIGESTÃO)	(% em volume)
O ₂	7,1
N ₂	22,
CH ₄	21,7
CO ₂	48,3
CO	0,15

Tabela 8. Composição do biogás da planta aquática: Eichhornia crassipes (sem lodo) após 21 dias de biodigestão.- em 15/08/2003

COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS DA PLANTA AQUÁTICA <u>EICHHORNIA CRASSIPES</u> (APÓS 21 DIAS DE BIODIGESTÃO)	ANÁLISE (% em volume)
O ₂	3,6
N ₂	12,4
CH ₄	33,1
CO ₂	50,8
CO	0,05

Tabela 9. Composição do biogás da planta aquática: Eichhornia crassipes (sem lodo) após 28 dias de biodigestão.- em 22/08/2003

COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS DA PLANTA AQUÁTICA <u>EICHHORNIA CRASSIPES</u> (APÓS 28 DIAS DE BIODIGESTÃO)	ANÁLISE (% em volume)
O ₂	1,2
N ₂	5,4
CH ₄	40,3
CO ₂	52,9
CO	0,08

Tabela 10. Composição do biogás da planta aquática: Eichhornia crassipes (sem lodo) após 35 dias de biodigestão.- em 29/08/2003

COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS DA PLANTA AQUÁTICA <u>EICHHORNIA CRASSIPES</u> (APÓS 35 DIAS DE BIODIGESTÃO)	ANÁLISE (% em volume)
O ₂	2,6
N ₂	9,0
CH ₄	25,7
CO ₂	62,6
CO	0,03

Conclusões

No processo de biodigestão da plantas aquática: Eichhornia crassipes, obteve-se biogás, com teores consideráveis de Metano, de modo a viabilizar o seu aproveitamento. Além disso, conforme verificado nos experimentos não é necessário adicionar nenhuma

quantidade de lodo à pasta da planta, uma vez que o processo sem lodo teve ótimo desempenho quando comparado ao caso em que se adicionou lodo à pasta da planta.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq e à LIGHT pelo apoio financeiro prestado.

Referências Bibliográficas

Chernicharo, C. A. L., Reatores Anaeróbios, UFMG, 1997

Gopal, B. Water hyacinth. New York: Elsevier. 1987.

Joly, Aylthon Brandão. Botânica: introdução à taxonomia vegetal. São Paulo: Ed. nacional. 1985.

Kiehl, E. J., Fertilizantes Orgânicos, Ed. Agronômica Séries Ltda, SP, 1985.

Motta, F. S., Produza sua Energia – Biodigestores Anaeróbios, Recife Gráfica Editora S. A., 1986

Notare, Marcelo. Plantas Hidrófilas e seu Cultivo em Aquário. Brasil: Edições Sulamérica.1992.

Currículo Resumido dos Autores

Roberto Guimarães Pereira:

Formação: Engenheiro Mecânico, Mestre em Ciências em Engenharia Mecânica, Doutor em Ciências em Engenharia Mecânica.

Atuação Profissional: Professor Adjunto 4 no Departamento de Engenharia Mecânica e no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, na Universidade Federal Fluminense

Linhas de Pesquisa: Energia e Reologia

José Gonçalves da Silva

Formação: Engenheiro Civil, Mestrando em Engenharia Mecânica

Atuação Profissional: Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, na Universidade Federal Fluminense

Jorge Fernandes Filho

Formação: Químico e Biólogo.

Atuação Profissional: Controle de Qualidade e Gerência Laboratorial, Colaborador em Projetos de Pesquisa no Departamento de Engenharia Mecânica e no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, na Universidade Federal Fluminense

Maria Cristina Duarte Eiras Pereira

Formação: Bióloga, Mestre em Morfologia

Atuação Profissional: Professora de Ensino Médio no Colégio Marista São José – RJ e Colaboradora em Projetos de Pesquisa no Departamento de Engenharia Mecânica e no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, na Universidade Federal Fluminense

Linhas de Pesquisa: Botânica, Ecologia, Morfologia Vegetal e Animal

Ricardo Bichara de Melo

Formação: Engenheiro Mecânico.

Atuação Profissional: Meio Ambiente e Gerência de Usina na Light Serviços de Eletricidade S. A.