

BIODIGESTÃO DE MISTURAS DE PLANTAS AQUÁTICAS E PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Roberto Guimarães Pereira¹, Fernando Luiz Barbuda de Abreu¹, 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)2629-5579, fax: (55)(21)2717-4446, e.mail: temrobe@vm.uff.br

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

Resumo

Diversos sistemas de geração de energia elétrica utilizam-se de reservatórios de armazenamento de água. Um problema que ocorre constantemente nestes reservatórios é o acúmulo de plantas aquáticas, tais como: *Eichhornia crassipes*; *Eichhornia azurea*; *Pistia stratiotes* e *Salvinia* que pode acarretar sérios problemas ao sistema. Periodicamente, esta biomassa tem que ser removida e disposta de forma adequada, para que não cause contaminação do solo, lençóis freáticos ou que permita a proliferação de vetores. Um possível destino é a utilização da biomassa em um processo de biodigestão, obtendo-se biogás.

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 foram obtidos, utilizando-se um cromatógrafo a gás CG MASTER com detector duplo de ionização de chama (DIC) e condutividade térmica (DCT). Estes resultados mostram um percentual da ordem de 50% de metano no biogás.

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

O processo de biodigestão da mistura das plantas aquáticas: *Eichhornia crassipes*; *Eichhornia azurea*; *Pistia stratiotes* e *Salvinia* demonstra potencial para a obtenção de biogás, com teores consideráveis de metano, de modo a viabilizar o seu aproveitamento.

Introdução

Diversos sistemas de geração de energia elétrica utilizam-se de reservatórios de armazenamento de água. Um problema que ocorre constantemente nestes reservatórios é o acúmulo de plantas aquáticas, tais como: *Eichhornia crassipes*; *Eichhornia azurea*; *Pistia stratiotes* e *Salvinia* que pode acarretar sérios problemas ao sistema. Periodicamente, esta biomassa tem que ser removida e disposta de forma adequada, para que não cause contaminação do solo, lençóis freáticos ou que permita a proliferação de

vetores. Um possível destino é a utilização da biomassa em um processo de biodigestão, obtendo-se biogás.

Praticamente, todas as plantas, resíduos vegetais e animais podem, de algum modo, ser utilizados 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.

O biogás segundo Motta (1986), é uma mistura de metano (CH_4) com dióxido de carbono (CO_2) e pequenas quantidades de gás sulfídrico (H_2S), nitrogênio (N_2), hidrogênio (H_2), Oxigênio (O_2) e monóxido de carbono (CO). O componente mais abundante na mistura é o metano, que corresponde com 50% a 70%. O poder calorífico do metano é da ordem de 35.600 KJ/m^3 , enquanto o poder calorífico do biogás é de 23.000 a 27.200 KJ/m^3 .

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.

Dentre os Biodigestores de sistema contínuo mais conhecidos, destacam-se os modelos chinês e indiano que vêm sendo muito difundidos no Brasil. Cada um destes foi desenvolvido dentro das condições econômicas de cada país.

O modelo chinês é mais rústico, construído geralmente em alvenaria e abaixo do nível do solo. Funciona geralmente com alta pressão que pode variar de acordo com a produção e consumo do biogás, embora disponha de câmara reguladora.

O mais conhecido pela sua funcionalidade é o modelo indiano. Este tem a forma de um poço com a função de tanque digestor. Para o armazenamento do biogás utiliza-se uma campânula flutuante que permite o fornecimento a uma pressão estável.

Material e Método

Montagem do Biodigestor de Bancada

O biodigestor de bancada utilizado no experimento 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 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

Lavar uma cápsula de porcelana com água destilada, levar à mufla a 550°C por 30 minutos e colocar no dessecador até resfriamento total. Pesar 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 – 110°C, permanecendo por 24 horas. Deixar esfriar 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

Levar a cápsula com o material da análise de umidade à mufla e ligá-la mantendo a porta entreaberta para proporcionar adequada aeração. A amostra deve ser aquecida lentamente para ser queimada sem inflamar, pois, se formar labareda poderá ocorrer perda de material; recomendando-se, nesse caso, que a determinação seja repetida. Fechada a porta e alcançada a temperatura de 550°C, manter nessa temperatura por mais uma hora, retirar a cápsula, resfriar em dessecador e pesar 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 de misturas de plantas aquáticas retiradas dos Reservatórios de Santana e Vigário da LIGHT.

Resultados do Primeiro Experimento de Biodigestão da Mistura das Plantas Aquáticas: Eichhornia crassipes; Eichhornia azurea; Pistia stratiotes e Salvinia

A Tabela 1 ilustra a evolução do primeiro experimento de biodigestão da mistura das plantas aquáticas: Eichhornia crassipes; Eichhornia azurea; Pistia stratiotes e Salvinia. Foi utilizado no reator 2591 g de mistura de plantas aquáticas trituradas e 1100 g de lodo de estação de tratamento de esgoto doméstico.

Tabela 1. Biodigestão da mistura das plantas aquáticas: *Eichhornia crassipes*; *Eichhornia azurea*; *Pistia stratiotes* e *Salvinia* – primeiro experimento.

DATA	EVOLUÇÃO DO EXPERIMENTO
20/06/2003	Início do experimento
09/07/2003	Presença de gás no reator: 49,3% de CH ₄
16/07/2003	Presença de gás no reator: 54,6% de CH ₄

Os resultados das análises do gás do reator feitas em 09/07/2003 e 16/07/2003 em um cromatógrafo a gás CG MASTER com detector duplo de ionização de chama (DIC) e condutividade térmica (DCT), encontram-se nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2. Composição do biogás da mistura das plantas aquáticas: *Eichhornia crassipes*; *Eichhornia azurea*; *Pistia stratiotes* e *Salvinia* após 19 dias de biodigestão.- em 09/07/2003

COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS DE MISTURA DE PLANTAS AQUÁTICAS (APÓS 19 DIAS DE BIODIGESTÃO)	ANÁLISE (% em volume)
O ₂	1,8
N ₂	5,5
CH ₄	49,3
CO ₂	41,8
CO	0,03

Tabela 3. Composição do biogás da mistura das plantas aquáticas: *Eichhornia crassipes*; *Eichhornia azurea*; *Pistia stratiotes* e *Salvinia* após 26 dias de biodigestão.- em 16/07/2003

COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS DE MISTURA DE PLANTAS AQUÁTICAS (APÓS 26 DIAS DE BIODIGESTÃO)	ANÁLISE (% em volume)
O ₂	2,1
N ₂	6,1
CH ₄	54,6

CO ₂	35,8
CO	0,06

Também, foram feitas análises para a determinação de umidade, matéria orgânica total, resíduo mineral e carbono orgânico, da pasta do biodigestor, no início do experimento, conforme mostram as Tabelas 4 e 5.

Tabela 4. Pesagem para determinação de parâmetros do processo de biodigestão da mistura das plantas aquáticas: *Eichhornia crassipes*; *Eichhornia azurea*; *Pistia stratiotes* e *Salvinia* .

PESOS (g)	PASTA DO BIODIGESTOR (no início do experimento)
P1	56,7128
P2	66,7128
P3	57,3030
P4	56,9144

Tabela 5. Parâmetros do processo de biodigestão da mistura das plantas aquáticas: *Eichhornia crassipes*; *Eichhornia azurea*; *Pistia stratiotes* e *Salvinia*

ANÁLISE (%)	PASTA DO BIODIGESTOR (no início do experimento)
Umidade	94,09
Matéria Orgânica Total	65,84
Resíduo Mineral	34,15
Carbono Orgânico	36,58

Resultados do Segundo Experimento de Biodigestão da Mistura das Plantas Aquáticas: Eichhornia crassipes; Eichhornia azurea; Pistia stratiotes e Salvinia

A Tabela 6 ilustra a evolução do segundo experimento de biodigestão da mistura das plantas aquáticas: *Eichhornia crassipes*; *Eichhornia azurea*; *Pistia stratiotes* e *Salvinia*. Foi utilizado no reator 3421,16 g de mistura de plantas aquáticas trituradas e 1273,72 g de lodo de estação de tratamento de esgoto doméstico.

Tabela 6. Biodigestão da mistura das plantas aquáticas: *Eichhornia crassipes*; *Eichhornia azurea*; *Pistia stratiotes* e *Salvinia* (com lodo) – segundo experimento.

DATA	EVOLUÇÃO DO EXPERIMENTO
25/07/2003	Início do experimento
30/07/2003	Presença de gás no reator: 31,0% de CH ₄
06/08/2003	Presença de gás no reator: 45,3% de CH ₄
13/08/2003	Presença de gás no reator: 45,7% de CH ₄
20/08/2003	Presença de gás no reator: 44,5% de CH ₄
27/08/2003	Presença de gás no reator: 41,7% de CH ₄

Os resultados das análises do gás do reator feitas em 30/07/2003, 06/08/2003, 13/08/2003, 20/08/2003 e 27/08/2003, 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 11.

Tabela 7. Composição do biogás da mistura das plantas aquáticas: *Eichhornia crassipes*; *Eichhornia azurea*; *Pistia stratiotes* e *Salvinia* (com lodo) após 5 dias de biodigestão.- em 30/07/2003

COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS DE MISTURA DE PLANTAS AQUÁTICAS (APÓS 5 DIAS DE BIODIGESTÃO)	ANÁLISE (% em volume)
O ₂	0,78
N ₂	2,3
CH ₄	31,0
CO ₂	65,1
CO	0,03

Tabela 8. Composição do biogás da mistura das plantas aquáticas: *Eichhornia crassipes*; *Eichhornia azurea*; *Pistia stratiotes* e *Salvinia* (com lodo) após 12 dias de biodigestão.- em 06/08/2003

COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS DE MISTURA DE PLANTAS AQUÁTICAS (APÓS 12 DIAS DE BIODIGESTÃO)	ANÁLISE (% em volume)
O ₂	1,7
N ₂	4,9
CH ₄	45,3
CO ₂	47,0
CO	0,09

Tabela 9. Composição do biogás da mistura das plantas aquáticas: *Eichhornia crassipes*; *Eichhornia azurea*; *Pistia stratiotes* e *Salvinia* (com lodo) após 19 dias de biodigestão.- em 13/08/2003

COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS DE MISTURA DE PLANTAS AQUÁTICAS (APÓS 19 DIAS DE BIODIGESTÃO)	ANÁLISE (% em volume)
O ₂	1,2
N ₂	3,5

CH ₄	45,7
CO ₂	47,7
CO	0,01

Tabela 10. Composição do biogás da mistura das plantas aquáticas: *Eichhornia crassipes*; *Eichhornia azurea*; *Pistia stratiotes* e *Salvinia* (com lodo) após 26 dias de biodigestão.- em 20/08/2003

COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS DE MISTURA DE PLANTAS AQUÁTICAS (APÓS 26 DIAS DE BIODIGESTÃO)	ANÁLISE (% em volume)
O ₂	1,4
N ₂	5,5
CH ₄	44,5
CO ₂	48,5
CO	0,03

Tabela 11. Composição do biogás da mistura das plantas aquáticas: *Eichhornia crassipes*; *Eichhornia azurea*; *Pistia stratiotes* e *Salvinia* (com lodo) após 33 dias de biodigestão.- em 27/08/2003

COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS DE MISTURA DE PLANTAS AQUÁTICAS (APÓS 33 DIAS DE BIODIGESTÃO)	ANÁLISE (% em volume)
O ₂	1,4
N ₂	5,5
CH ₄	41,7
CO ₂	51,5
CO	0,02

Também, foram feitas análises para a determinação de umidade, matéria orgânica total, resíduo mineral e carbono orgânico, da pasta do biodigestor, no início do experimento, conforme mostram as Tabelas 12 e 13.

Tabela 12. Pesagem para determinação de parâmetros do processo de biodigestão da mistura das plantas aquáticas: *Eichhornia crassipes*; *Eichhornia azurea*; *Pistia stratiotes* e *Salvinia* (com lodo)

PESOS (g)	PASTA DO BIODIGESTOR (no início do experimento)
P1	39,9740

P2	49,1070
P3	40,5720
P4	40,1831

Tabela 13. Parâmetros do processo de biodigestão da mistura das plantas aquáticas: *Eichhornia crassipes*; *Eichhornia azurea*; *Pistia stratiotes* e *Salvinia* (com lodo)

ANÁLISE (%)	PASTA DO BIODIGESTOR (no início do experimento)
Umidade	93,45
Matéria Orgânica Total	59,80
Resíduo Mineral	34,96
Carbono Orgânico	33,22

Resultados do Terceiro Experimento de Biodigestão da Mistura das Plantas Áquáticas: *Eichhornia crassipes*; *Eichhornia azurea*; *Pistia stratiotes* e *Salvinia*

A Tabela 14 ilustra a evolução do terceiro experimento de biodigestão da mistura das plantas aquáticas: *Eichhornia crassipes*; *Eichhornia azurea*; *Pistia stratiotes* e *Salvinia*. Foi utilizado no reator 1355,17 g de mistura de plantas aquáticas trituradas. Neste experimento, nenhuma quantidade de lodo foi adicionada a pasta, com a finalidade de comparar-se o processo de biodigestão com experimentos nos quais foram adicionadas pequenas quantidades de lodo à pasta da planta triturada

Tabela 14. Biodigestão da mistura das plantas aquáticas: *Eichhornia crassipes*; *Eichhornia azurea*; *Pistia stratiotes* e *Salvinia* (sem lodo) – terceiro experimento.

DATA	EVOLUÇÃO DO EXPERIMENTO
30/07/2003	Início do experimento
06/08/2003	Presença de gás no reator: 39,9% de CH ₄
13/08/2003	Presença de gás no reator: 48,7% de CH ₄
20/08/2003	Presença de gás no reator: 47,0% de CH ₄
27/08/2003	Presença de gás no reator: 47,7% de CH ₄

Os resultados das análises do gás do reator feitas em 06/08/2003, 13/08/2003, 20/08/2003 e 27/08/2003, em um cromatógrafo a gás CG MASTER com detector duplo de ionização de chama (DIC) e condutividade térmica (DCT), encontram-se nas Tabelas 15 a 18.

Tabela 15. Composição do biogás da mistura das plantas aquáticas: *Eichhornia crassipes*; *Eichhornia azurea*; *Pistia stratiotes* e *Salvinia* (sem lodo) após 7 dias de biodigestão.- em 06/08/2003

COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS DE MISTURA DE PLANTAS AQUÁTICAS (APÓS 7 DIAS DE BIODIGESTÃO)	ANÁLISE (% em volume)
O ₂	0,9
N ₂	2,7
CH ₄	39,9
CO ₂	55,3
CO	0,05

Tabela 16. Composição do biogás da mistura das plantas aquáticas: *Eichhornia crassipes*; *Eichhornia azurea*; *Pistia stratiotes* e *Salvinia* (sem lodo) após 14 dias de biodigestão.- em 13/08/2003

COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS DE MISTURA DE PLANTAS AQUÁTICAS (APÓS 14 DIAS DE BIODIGESTÃO)	ANÁLISE (% em volume)
O ₂	1,0
N ₂	3,1
CH ₄	48,7
CO ₂	45,1
CO	0,02

Tabela 17. Composição do biogás da mistura das plantas aquáticas: *Eichhornia crassipes*; *Eichhornia azurea*; *Pistia stratiotes* e *Salvinia* (sem lodo) após 21 dias de biodigestão.- em 20/08/2003

COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS DE MISTURA DE PLANTAS AQUÁTICAS (APÓS 21 DIAS DE BIODIGESTÃO)	ANÁLISE (% em volume)
O ₂	1,3
N ₂	4,1
CH ₄	47,0

CO ₂	46,2
CO	0,05

Tabela 18. Composição do biogás da mistura das plantas aquáticas: *Eichhornia crassipes*; *Eichhornia azurea*; *Pistia stratiotes* e *Salvinia* (sem lodo) após 28 dias de biodigestão.- em 27/08/2003

COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS DE MISTURA DE PLANTAS AQUÁTICAS (APÓS 28 DIAS DE BIODIGESTÃO)	ANÁLISE (% em volume)
O ₂	1,2
N ₂	3,7
CH ₄	47,7
CO ₂	45,7
CO	0,02

Também, foram feitas análises para a determinação de umidade, matéria orgânica total, resíduo mineral e carbono orgânico, da pasta do biodigestor, no início do experimento, conforme mostram as Tabelas 19 e 20.

Tabela 19. Pesagem para determinação de parâmetros do processo de biodigestão da mistura das plantas aquáticas: *Eichhornia crassipes*; *Eichhornia azurea*; *Pistia stratiotes* e *Salvinia* (sem lodo)

PESOS (g)	PASTA DO BIODIGESTOR (no início do experimento)
P1	56,7163
P2	67,1887
P3	57,3221
P4	56,8762

Tabela 20. Parâmetros do processo de biodigestão da mistura das plantas aquáticas: *Eichhornia crassipes*; *Eichhornia azurea*; *Pistia stratiotes* e *Salvinia* (sem lodo)

ANÁLISE (%)	PASTA DO BIODIGESTOR (no início do experimento)
Umidade	94,21
Matéria Orgânica Total	73,60
Resíduo Mineral	26,39
Carbono Orgânico	40,8

Conclusões

No processo de biodigestão da mistura das plantas aquáticas: *Eichhornia crassipes*; *Eichhornia azurea*; *Pistia stratiotes* e *Salvinia*, obteve-se biogás, com teores consideráveis de Metano, viabilizando o seu aproveitamento. Além disso, também, constatou-se nos experimentos que não é necessário adicionar nenhuma quantidade de lodo à pasta da mistura das plantas, uma vez que o processo sem lodo teve ótimo desempenho quando comparado ao caso em que se adicionou lodo à pasta da mistura das plantas. Verificou-se, ainda, que a maior quantidade de Metano no biogás ocorreu com 14 dias de biodigestão no caso da mistura das plantas aquáticas sem a utilização de lodo.

Agradecimentos

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

Referências Bibliográficas

- 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

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

Fernando Luiz Barbuda de Abreu

Formação: Engenheiro Têxtil, 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.