



PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS E DE MANIPUEIRA

BIOGAS PRODUCTION FROM LIGNOCELLULOSIC WASTE AND MANIPUEIRA

Maria Caroline da Silva Nogueira¹, Ronielly Barbosa Soares², Brayan Sebastian Aguiar Paraíso³, Jéssica Brenda de Souza Libório⁴, Lázaro Sátiro de Jesus⁵, Luan Icaro Freitas Pinto⁶, Romildo Nicolau Alves⁷

¹ Acadêmica de Agronomia do Instituto Federal de Roraima, Campus Novo Paraíso, e-mail: coroline10b68@gmail.com

² Acadêmico de Agronomia do Instituto Federal de Roraima, Campus Novo Paraíso, e-mail: roniellybsoares@gmail.com

³ Acadêmico de Agronomia do Instituto Federal de Roraima, Campus Novo Paraíso, e-mail: brayan.paraíso2012@gmail.com

⁴ Acadêmica de Agronomia do Instituto Federal de Roraima, Campus Novo Paraíso, e-mail: jessicaliborio18@gmail.com

⁵ Professor do Instituto Federal de Roraima Campus Novo Paraíso, e-mail: lazaro.satiro@ifrr.edu.br

⁶ Professor do Instituto Federal de Roraima Campus Novo Paraíso, e-mail: luan.pinto@ifrr.edu.br

⁷ Professor do Instituto Federal de Roraima Campus Novo Paraíso, e-mail: romildo.alves@ifrr.edu.br

Info

Recebido: 07/2022

Publicado: 02/2023

DOI: 10.37951/2358-260X.2023v10i1.6454

ISSN: 2358-260X

Palavras-Chave

Biogás, Co-digestão, Roraima

Keywords:

Biogas, Co-digestion, Roraima

Resumo

A produção de biogás no estado de Roraima ainda é insignificante. Isso se deve basicamente à baixa difusão do conhecimento em relação ao potencial de geração de energia a partir do biogás, bem como as poucas pesquisas desenvolvidas. Tentando preencher a lacuna de ausência de pesquisas na área de biogás, o presente trabalho teve como objetivo avaliar materiais orgânicos quanto ao potencial de produção de biogás. Os materiais orgânicos utilizados foram: esterco de suíno (ES), folhas de gliricídia (G) (*Gliricidia Sepium*), capim elefante (CE) (*Pennisetum purpureum* Schum) e manipueira (M). Com esses materiais os seguintes tratamentos foram definidos: Trat 1: G + ES; Trat 2: ES; Trat 3: CE + ES + M; Trat 4: M + ES; Trat 5: CE + ES e Trat 6: M. Foram construídos biorreatores PVC de 200 mm de diâmetro, altura de 60 cm. Na

base do biorreator foi instalado um cano de 20 mm com um registro, para coleta dos materiais. Na parte superior foi inserido um cano de 50 mm para alimentação e uma saída de gás para medição do gás. Para o abastecimento dos biorreatores os materiais orgânicos gliricídia e capim elefantes foram coletados no espaço agroecológico do Núcleo de Estudo, Pesquisa, Extensão em Agroecologia (NEPEAGRO) do Campus Novo Paraíso. Esses materiais foram passados em uma forrageira e em seguida levados para a montagem do experimento. O esterco de suíno foi coletado da pocilga do Campus e a manipueira foi adquirida de produtores de farinha locais. Para o abastecimento dos biorreatores utilizou-se 50% água + 25% material orgânico + 25% de inoculante. O inoculante utilizado foi o esterco de ovino. O biodigestor tinha 60 cm de altura, onde 40 cm foram ocupados com o material e água e os 20 cm foram deixados livres para funcionar com gasômetro. A medição do gás foi medida utilizando um pote de vidro (2 L) com duas mangueiras fixadas na tampa. A medição do gás foi realizada por deslocamento da água. A água deslocada era coletada em uma proveta de 1000 ml. É importante destacar que o volume quantificado considera todos os gases produzidos durante o processo de biodigestão. Foram determinadas as seguintes variáveis: pH, matéria seca e o volume de gás produzido. Os resultados obtidos mostraram o potencial de produção dos materiais vegetais quando misturados com esterco de suíno. Os tratamentos que receberam capim elefante e gliricídia foram os que mais produziram biogás.

Abstract

Biogas production in the state of Roraima, Brazil, is still insignificant. This is basically due to the low diffusion of knowledge regarding the potential for generating energy from biogas, as well as the few researches evaluate organic materials regarding the potential of biogas production. The organic materials used were: swine manure (ES), gliricidia leaves (G) (*Gliricidia Sepium*), elephant grass (CE) (*Pennisetum purpureum* Schum.) and manipueira (M). With these materials the following treatments were defined: Treat 1: G + ES; Treat 2: ES; Treat 3: CE + ES + M; Treat 4: M + ES; Treat 5: CE + ES; and Treat 6: M. Bioreactors of PVC with a diameter of 200mm and a height of 60 cm were built. A 20 mm pipe was inserted for supply with a register was installed at the base of the bioreactor to collect the materials. In the upper part, a 50 mm pipe was inserted for supply and a gas outlet for gas measurement. To supply the bioreactors, the organic materials gliricidia and elephant grass were collected in the agroecological space of the Nucleus of Study, Research, Extension in Agroecology (NEPEAGRO) of the IFRR - Novo Paraíso Campus. These materials were passed on a forage and then taken to set up the experiment. Swine manure was collected from the Campus pigsty and manipueira was purchased from local flour producers. To supply the bioreactors, 50% water + 25% organic material + 25% inoculant was used. The inoculant used was sheep manure. The digester was 60 cm high, where 40 cm were occupied with material and water and the 20 cm were left free to work with a gasometer. The gas measurement was measured using a glass jar (2 L) with two hoses attached to the lid. Gas measurement was performed by water displacement. The displaced water was collected in a 1000 ml beaker. It is important to highlight that the quantified volume considers all the gases produced during the biodigestion process. The following variables were determined: pH, dry matter and the volume of gas produced. The results obtained showed the production potential of plant materials when mixed with swine manure. The treatments that received elephant grass and gliricidia were the ones that produced the most biogas.

INTRODUÇÃO

Energias renováveis são, por definição, limpas e sustentáveis e possuem o potencial de superar a degradação gradual das tradicionais energias fósseis e os seus impactos ambientais associados (CHEN et al., 2010). Essas fontes oferecem diversas opções com as quais é possível suprir a demanda de energia, principalmente quando considerados conjuntamente os aspectos sociais e ambientais para o desenvolvimento econômico (PEREIRA et al., 2012). Nos últimos anos, o uso de fontes de energias renováveis como eólica, solar, biomassa e hidrelétrica, cresceu substancialmente ao redor do mundo (BLAZEJCZAK et al., 2014; CHEN et al., 2010; HAHN et al., 2014).

Entretanto, algumas destas fontes, como a energia solar e a energia eólica, podem apresentar uma geração intermitente, além de uma disponibilidade variável e apenas parcialmente previsível, podendo variar tanto espacialmente quanto temporalmente (EHRlich, 2013; SCHABER; STEINKE; HAMACHER, 2012). Alternativas para assegurar o fornecimento contínuo de energia e a estabilidade da rede são necessárias e os processos de digestão anaeróbica podem ser uma solução para esses problemas (SZARKA et al., 2013). Conhecida e utilizada por muitas décadas, a digestão anaeróbica tem recebido interesse renovado ultimamente por causa do aumento do consumo de energia, dos incentivos à produção de energia renovável e da necessidade de reduzir as emissões de gases do efeito estufa (DEUBLEIN; STEINJAUSER, 2008). Além disso, devido às suas características de pequeno porte, a energia a partir da biomassa está disponível de maneira descentralizada e largamente distribuída, podendo desta forma contribuir para a estabilização da rede (MAUKY et al., 2015).

O tratamento anaeróbico foi relatado em meados do século XIX como sendo um método útil

para a redução da natureza putrescível do material orgânico suspenso removido de águas residuárias municipais. Desde então a aplicação de tecnologias anaeróbicas tem crescido devido à possibilidade de tratamento de uma ampla variedade de resíduos orgânicos agrícolas, industriais e municipais; e pelo fato de gerar como subproduto o gás metano, o qual pode ser usado como combustível para ajudar a compensar a crescente demanda por energia (McCARTY, 1981).

Até a década de 1930, os dois sistemas clássicos mais utilizados eram o tanque séptico e o tanque Imhoff, os quais se caracterizam pelo fluxo horizontal de águas residuárias através do sistema na parte superior, enquanto o lodo anaeróbico descansa/sedimenta na parte inferior dos tanques. Foi também nesta década que o uso de tanques de digestão aquecidos tornou possível o uso do metano produzido no processo anaeróbico (McCARTY, 1981; van HAANDEL et al., 2006).

O biogás tem origem em um processo biológico. A matéria orgânica, quando decomposta em meio anaeróbico, produz biogás. Esse processo é muito comum na natureza e ocorre, por exemplo, em pântanos, fundos de lagos, esterqueiras e no rúmen dos animais ruminantes. Por meio de diversos microrganismos, a matéria orgânica é convertida em biogás. O biogás pode ser utilizado para geração de energia.

O biogás é composto por metano (50% - 75% em volume) e dióxido de carbono (25% - 50% em volume), o mesmo também contém, em menor quantidade, hidrogênio, sulfeto de hidrogênio e amônia. A sua composição é influenciada principalmente pelos substratos utilizados. Os dejetos suínos têm melhor rendimento, cerca de 560 m³ de biogás, com percentual de gás metano de 50%, demonstrando que a produção de biogás a partir de dejetos suínos é maior em relação aos dejetos citados. Salienta-se que a produção de

metano pode variar dentro das espécies devido a sua alimentação, visto que animais confinados tendem a produzir quantidades maiores de metano (ARAÚJO, 2017).

O sistema avaliado considera a combinação de materiais in natura e o uso final do biogás na produção de calor, potência e transporte de combustível.

Sistemas de biogás conduzem a ganhos ambientais devido ao benefício indireto do manejo do solo e a manipulação de produtos dos resíduos orgânicos, como redução da lixiviação de nitrogênio, amônia e metano. Esses ganhos ambientais são mais relevantes do que os benefícios ambientais diretos, como substituição de combustíveis fósseis pelo biogás, que gera redução de dióxido de carbono e poluentes no ar. Segundo os autores, esses benefícios indiretos raramente são considerados, quando se avalia o biogás do ponto de vista ambiental (BÖRJESSON & BERGLUND, 2007).

Sendo assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar materiais orgânicos quanto ao potencial de produção de biogás.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Roraima (IFRR) /Campus Novo Paraíso, na Vila de Novo Paraíso, Km 512, BR 174, no município de Caracaraí. O Campus encontra-se nas seguintes coordenadas geográficas: latitude 1° 15' 01,46", longitude 60° 29' 12,30" e uma altitude de 83,09 m.

Os materiais orgânicos utilizados foram: esterco de suíno (ES), folhas de gliricídia (G) (*Gliricidia Sepium*), capim elefante (CE) (*Pennisetum purpureum* Schum) e manipueira (M). Com esses materiais os seguintes tratamentos foram definidos: Trat 1: G + ES; Trat 2: ES; Trat 3: CE + ES + M; Trat 4: M + ES; Trat 5: CE + ES e Trat 6: M. Foram construídos biorreatores

PVC de 200 mm de diâmetro, altura de 60 cm. Na base do biorreator foi instalado um cano de 20 mm com um registro, para coleta dos materiais. Na parte superior foi inserido um cano de 50 mm para alimentação e uma saída de gás para medição do gás.

Para o abastecimento dos biorreatores os materiais orgânicos gliricídia e capim elefantes foram coletados no espaço agroecológico do Núcleo de Estudo, Pesquisa, Extensão em Agroecologia (NEPEAGRO) do *Campus* Novo Paraíso. Esses materiais foram passados em uma forrageira e em seguida levados para a montagem do experimento. O esterco de suíno foi coletado da pocilga do *Campus* e a manipueira foi adquirida de produtores de farinha locais. Para o abastecimento dos biorreatores utilizou-se 50% água + 25% material orgânico + 25% de inoculante. O inoculante utilizado foi o esterco de ovino. O biodigestor tinha 60 cm de altura, onde 40 cm foram ocupados com o material e água e os 20 cm foram deixados livres para funcionar com gasômetro.

A medição do gás foi medida utilizando um pote de vidro (2 L) com duas mangueiras fixadas na tampa. Uma mangueira toca o fundo pote e outra ficou apenas na tampa do pote. Foi adicionado água até o meio do pote. A medição do gás foi realizada por deslocamento da água. A água deslocada era coletada em uma proveta de 1000 ml. É importante destacar que o volume quantificado considera todos os gases produzidos durante o processo de biodigestão.

Foram determinadas as seguintes variáveis: pH, matéria seca e o volume de gás produzido. Amostra do material em digestão foi coletada em copo de 50 ml e em seguida levado para o laboratório onde era medido o pH, utilizando um pHgâmetro HI 2221 marca HANNA. Uma subamostra era colocada em uma placa de petri e levada a estufa de ventilação forçada a 65 °C por 48 horas. A matéria seca foi determinada por diferença de peso. O volume de gás foi determinado

como citado acima. As variáveis foram organizadas em tabelas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, destaca-se os valores de pH do tratamento manipueira (M). Esse tratamento apresentou valores muito ácidos, o que de certa forma

já era esperado visto os altos teores de ácido cianídrico. Os baixos valores de pH na manipueira, levou a não produção de biogás (Tabela 3). Os demais tratamentos apresentaram valores razoáveis de pH. A própria manipueira (M) quando misturada com esterco de suíno (ES), tratamento ES + M, apresentou valor de pH considerado bom para a produção de biogás.

Tabela 1: Valores de pH nos biorreatores

Coleta	DAIE ⁽⁷⁾						
		G + ES	ES ⁽²⁾	CE+ES+M ⁽³⁾	ES+M ⁽⁴⁾	CE+ES ⁽⁵⁾	M ⁽⁶⁾
22/01/2021	0	5,9	5,9	5,8	5,2	6,3	3,3
04/02/2021	13	8,2	8,1	8,0	8,2	7,7	3,7
14/02/2021	23	7,1	5,9	5,9	5,9	7,2	3,6

⁽¹⁾G+ES: Gliricidia + Esterco de Suíno; ⁽²⁾ES: Esterco de Suíno; ⁽³⁾CE+ES+M: Capim Elefante + Esterco de Suíno + Manipueira; ⁽⁴⁾ES+M: Esterco de Suíno + Manipueira; ⁽⁵⁾CE+ES: Capim Elefante + Esterco de Suíno; ⁽⁶⁾M: Manipueira; ⁽⁷⁾DAIE: Dias Após o Início do Experimento.

Um ponto a se observar é que os tratamentos que receberam matéria vegetal, tais como G + ES e o CE + ES, apresentaram valores de pH considerados ótimos para a produção de biogás. Essa observação se fortalece quando se observa os valores de biogás produzidos por esses tratamentos. Esses tratamentos foram os que mais apresentaram produção de biogás acumulado (Tabela 3).

Em relação à produção de matéria seca nos biorreatores, sabe-se que o valor > 6% é considerado ideal para produção de biogás. Ou seja, a junção de um pH > 6,0 e a matéria seca > 6% é a combinação ideal para produção do gás. Obviamente, a temperatura e a agitação também são fatores de suma importância para a otimização da produção do gás, no entanto, Souza et al. (2005) e Ortolani et al. (1991) observaram em seus trabalhos que o manejo de biodigestores anaeróbicos sem agitação proporcionou maior produção de biogás quando comparado com os sistemas com agitação. Como é corroborado por Jordan et al. (2020), que avaliou o potencial de produção do biogás de resíduos provenientes da criação de tilápia em sistema aquapônico, em sua pesquisa foi utilizado uma mini

motobomba de máquina de lavar roupas para realização da agitação em intervalos de 45 min, sendo agitado por 15 min, o que proporcionou uma melhor homogeneização da biomassa contida nos reatores, porém, a produção de metano obteve baixos valores em comparação a real capacidade dos biodigestores. No entanto, a temperatura e agitação não foram avaliadas no presente trabalho.

Ao observar a Tabela 2, verificam-se valores de matéria seca variáveis. No caso do tratamento manipueira (M) não foi possível nem a determinação da mesma. Em relação aos demais valores de matéria seca destacam-se os valores do esterco de suíno (ES) que apresentaram baixa variação entre uma coleta e outra. Os outros tratamentos variaram bastante entre coletas (Tabela 2).

Os dados de produção de biogás foram promissores quando se utilizou material vegetal. O capim elefante e o esterco de suíno (CE + ES) produziu mais de 4.000,00 cm³ do que o tratamento esterco de suíno (ES) sozinho. Quando se trabalhou com a gliricídia, observou também produção elevada de

biogás. Aliás, os tratamentos com capim elefante e gliricídia foram os que mais produziram.

Tabela 2: Matéria seca nos biorreatores

Coleta	DAIE ⁽⁷⁾	Tratamentos					
		G+ES ⁽¹⁾	ES ⁽²⁾	CE+ES+M ⁽³⁾	ES+M ⁽⁴⁾	CE+ES ⁽⁵⁾	M ⁽⁶⁾
-----%-----							
22/01/2021	0	6,4	11,8	1,3	5,2	1,9	-
04/02/2021	13	3,9	10,3	2,0	3,2	24,2	-

⁽¹⁾G+ES: Gliricídia + Esterco de Suíno; ⁽²⁾ES: Esterco de Suíno; ⁽³⁾CE+ES+M: Capim Elefante + Esterco de Suíno + Manipueira; ⁽⁴⁾ES+M: Esterco de Suíno + Manipueira; ⁽⁵⁾CE+ES: Capim Elefante + Esterco de Suíno; ⁽⁶⁾M: Manipueira; ⁽⁷⁾DAIE: Dias Após o Início do Experimento.

O tratamento manipueira (M) não produziu biogás, devido o baixo pH (Tabela 1). Já o tratamento capim elefante + esterco de suíno + manipueira (CE + ES + M) também não produziu biogás. Por outro lado, o tratamento esterco de suíno + manipueira (ES + M) chegou a produzir biogás, para esse tratamento, após 33 dias, ocorreu a produção de biogás. Vale destacar que,

o esterco de suíno possui um pH acima de 7,0, quando colocado em contato com a manipueira o pH se equilibrou em um valor onde foi possível a atividade dos microrganismos produtores de biogás. Obviamente, o equilíbrio adequado de pH vai depender das proporções utilizadas, por exemplo, no presente trabalho utilizou 50% de esterco de suíno e 50% de manipueira.

Tabela 3: Produção acumulada de biogás

Coleta	DAIE ⁽⁷⁾	Tratamentos					
		G+ES ⁽¹⁾	ES ⁽²⁾	CE+ES+M ⁽³⁾	ES+M ⁽⁴⁾	CE+ES ⁽⁵⁾	M ⁽⁶⁾
-----cm ³ -----							
22/01/2021	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
26/01/2021	4	0,0	50,0	0,0	0,0	100	0,0
29/01/2021	7	0,0	550,0	0,0	0,0	690,0	0,0
06/02/2021	15	1.040,0	1.050,0	0,0	0,0	1.480,0	0,0
24/02/2021	33	3.440,0	2.360,0	0,0	860,0	4.430,0	0,0
09/03/2021	46	6.440,0	4.410,0	0,0	2.310,0	7.980,0	0,0
27/03/2021	64	9.440,0	6.140,0	0,0	3.460,0	11.530,0	0,0

⁽¹⁾G+ES: Gliricídia + Esterco de Suíno; ⁽²⁾ES: Esterco de Suíno; ⁽³⁾CE+ES+M: Capim Elefante + Esterco de Suíno + Manipueira; ⁽⁴⁾ES+M: Esterco de Suíno + Manipueira; ⁽⁵⁾CE+ES: Capim Elefante + Esterco de Suíno; ⁽⁶⁾M: Manipueira; ⁽⁷⁾DAIE: Dias Após o Início do Experimento.

CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que as fontes orgânicas de origem vegetal possuem enorme potencial para produção de biogás.

AGRADECIMENTOS

- Ao Instituto Federal de Roraima e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela a bolsa de estudo;
- Ao Núcleo de Estudo, Pesquisa, Extensão e Agroecologia do IFRR/*Campus* Novo Paraíso pela disponibilidade do espaço para se desenvolver o trabalho;

- A todos que direto ou indiretamente viabilizaram o desenvolvimento do presente trabalho.

REFERÊNCIAS

- Araújo L.M. Efeito da carga orgânica volumétrica sobre a produção de biogás utilizando-se dejetos de suíno em diferentes configurações de reatores anaeróbios. Paraná. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. 2017. 68p. (Dissertação de Mestrado).
- Blazejczak J.; Braun FG.; Edler D.; Schill WP. Economic effects of renewable energy expansion: A model-based analysis for Germany. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, n° 40, p. 1070–1080, 2014.
- Börjesson P.; Berglund M. Environmental systems analysis of biogas systems - Part II: The environmental impact of replacing various reference systems. *Biomass and Bioenergy*, Oxford, v.21, n.2, p.326-344, 2007.
- Chen F.; Lu S.; Wang E.; Tseng K. Renewable energy in Taiwan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, n° 14, p. 2029–2038, 2010.
- Deublein, D. (Ed); Steinjauser A (Ed). *Biogas from Waste and Renewable Resources - An Introduction*. Weinheim: Wiley-VCH, 2008. 450 p.
- Ehrlich, R. *Renewable Energy – A First Course*. Boca Raton: CRC Press, 2013. 464 p.
- Hahn H.; Kremer BK.; Hartmann K.; Wachendorf M. Review of concepts for a demand-driven biogas supply for flexible power generation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, n°29, p. 383–393, 2014.
- Jordan, R. A.; Martins, V. P. .; Almeida, A. C. dos S. .; Oliveira, F. C. de .; Quequeto, W. D.; Siqueira, V. C.; Martins, E. A. S. .; Santos, R. C. . Potential for production of biogas from waste arising from the creation of tilapia in the aquaponic system. *Research, Society and Development*, [S. l.], v. 9, n. 9, p. e155997131, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i9.7131.
- Mauky E.; Jacobi HF.; Liebetrau J.; Nelles M. Flexible biogas production for demand-driven energy supply – Feeding strategies and types of substrates. *Bioresource Technology*, n° 178, p. 262-269, 2015.
- Mccarty PL. One hundred years of anaerobic treatment. In: *Anaerobic Digestion*. Hughes DE.; Stafford DA.; Wheatley BI.; Baader W.; Lettinga G.; Nyns EJ.; Verstraete W.; Wentworth RL. (Eds.) Elsevier Biomedical Press Inc., Amsterdam, p. 3-22, 1981.
- ME-LE Biogas GmbH. *Akademie*. Torgelow, Alemanha. 2018. 100p. (Apostille).
- Ortolani AF., Benincasa M., & Lucas Júnior., J. *Biodigestores rurais modelos indiano, chinês e batelada*. Jaboticabal: FUNEP, 1991. 35p. (Boletim Técnico).
- Scarlat N., Dallemand JF.; FAHL F. *Biogas: Developments and perspectives in Europe*. *Renewable Energy*. 129: 457-472. 2018.
- Schaber K.; Steinke F.; Hamacher T. Transmission grid extensions for the integration of variable renewable energies in Europe: Who benefits where? *Energy Policy*, n° 43, p. 123–135, 2012.
- Souza CF., Lucas Júnior JD., & Ferreira WP. (2005). *Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos sob efeito de três temperaturas e dois níveis de agitação do substrato: considerações sobre a partida*. *Engenharia Agrícola*, 25(2), 530-539. doi: 10.1590/S0100-69162005000200 027
- Szarka N.; Scholwin F.; Trommler M.; Jacobi HF.; Eichhorn M.; Ortwein A.; Thrän D. A novel role for bioenergy: A flexible, demand-oriented power supply. *Energy*, n° 61, p. 18-26, 2013.
- van Haandel A.; Kato MT.; Cavalcanti P.F.F.; Florencio L. Anaerobic reactor design concepts for the treatment of domestic wastewater. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, v. 5, p. 21-38, 2006.