



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

GERAÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES NA FABRICAÇÃO DE PROTEÍNA ISOLADA DE SOJA

Sandriane Salvadori¹; Odorico Konrad²; Camila Casaril³; Marluce Lumi³;

Michele Schmitz³

RESUMO

O biogás é uma importante fonte renovável de energia devido à sua composição básica ser o gás metano (CH₄). Entre as fontes de biogás estão os lodos originários de estações de tratamento de efluentes e resíduos da indústria alimentícia. Este estudo objetiva a determinação da potencialidade de geração de biogás a partir do uso de lodo biológico oriundo de estação de tratamento de efluentes de fabricação de proteína isolada de soja, com o uso de bagaço de malte formado no beneficiamento da cevada como substrato secundário. A metodologia adotada foi a quantificação de biogás em escala laboratorial, através do uso de um sistema de medição automatizado. Os resultados apresentaram-se satisfatórios no que se refere à potencialidade de geração de biogás, já que o volume de metano correspondeu a 57,7% do volume total de biogás. O processo de biorreação anaeróbia mostrou ótimo desempenho quanto ao tratamento do substrato utilizado, com eficiência de remoção de DBO de 89,1%, confirmando assim a sua viabilidade no tratamento desse tipo de resíduo com vistas a geração de biogás.

Palavras-chave: Biogás; Metano; Lodo; Energias renováveis.

BIOGAS GENERATION FROM SLUDGE WASTEWATER TREATMENT PLANT FOR THE MANUFACTURE OF ISOLATED SOYBEAN PROTEIN

ABSTRACT

The biogas is an important renewable energy source because of its basic composition, the methane gas (CH₄). Sources of biogas are the sludge originated in wastewater treatment plants and wastes from the food industry. The study aims to determine the potential for biogas generation using the biological sludge from wastewater treatment plant from an industry which produces soybean protein isolate, with the use of marc of malt, which is formed from the barley processing, as a secondary substrate. The biogas was quantified in a laboratory scale through the use of an automated measurement system. Regarding the potential for biogas generation, the results were satisfactory since the volume of methane corresponded of 57.7% of the total biogas volume. The process showed an excellent performance for the treatment of the substrate, with 89.1% efficiency for BOD removal of, in this way confirming its viability for the treatment of such kinds of wastes for biogas generation.

Keywords: Biogas; Methane; Sludge; Renewable energy.

Trabalho recebido em 09/08/2011 e aceito para publicação em 31/05/2012.

¹ Química Industrial, acadêmica de Pós-Graduação em Bases Ecológicas para a Gestão Ambiental da UNIVATES/Lajeado-RS, sandri@universo.univates.br

² Engenheiro Civil, Doutor em Engenharia Ambiental e Sanitária, professor titular da UNIVATES/Lajeado-RS, okonrad@univates.br

³ Acadêmicos de Engenharia Ambiental da UNIVATES/Lajeado-RS

1. INTRODUÇÃO

Com o descobrimento da importância nutricional das proteínas como substância vital para o ser humano e a constatação do grão de soja como ótima fonte de proteína vegetal, iniciou-se por volta da década de 50 a utilização destes grãos para a produção de uma farinha desengordurada destinada à alimentação humana. A composição protéica do grão de soja é de aproximadamente 40%, sendo o único produto de origem vegetal pertencente ao grupo das leguminosas no qual se encontram todos os aminoácidos essenciais, possuindo também um elevado teor de sais minerais, sendo considerado um alimento de alto valor nutritivo (NIKOLOV; FUENTES-GRANADOS, 1999).

A farinha de soja (ou farelo) possui aproximadamente 52% de proteína, 1% de óleo, 4% de fibra bruta, 28% de carboidratos e 6,5% de cinzas, e pode ser utilizada em uma ampla variedade de produtos alimentícios. Ela é a precursora de outros importantes produtos: a proteína concentrada de soja, que é produzida através da remoção dos carboidratos e dos compostos voláteis presentes na farinha a fim de se obter um produto cuja concentração protéica seja de 65-75% (em peso seco); a proteína texturizada de soja,

que é obtida através da extrusão termoplástica da farinha desengordurada de soja ou, até mesmo, da proteína concentrada de soja, a fim de se obter um produto de textura semelhante à carne, com um teor protéico mínimo de 50%; e a proteína isolada de soja, que pode ser considerado o mais complexo entre os três, uma vez que visa à obtenção de um produto basicamente protéico, sendo aceitáveis apenas níveis de proteína superiores a 90% (NIKOLOV; FUENTES-GRANADOS, 1999).

No processo de isolamento das proteínas de soja a primeira etapa consiste na extração alcalina, com pH em torno de 9,0, seguindo para uma etapa de centrifugação e obtenção de um extrato alcalino. Após, diminui-se o pH deste extrato para próximo de 4,5 (pH isoelétrico), ponto ideal para uma nova centrifugação e obtenção do precipitado e do sobrenadante (soro). Em seguida, elimina-se o residual ácido por meio de lavagem, seguindo para mais uma etapa de centrifugação, em que são separadas as frações sólida e líquida (HUY, 1999; NIKOLOV; FUENTES-GRANADOS, 1999).

A fração sólida, que é a de interesse, é conduzida à uma etapa de neutralização e aditivação, com o objetivo de elevar o pH da pasta ácida, para que a

proteína se disperse formando uma solução, a fim de facilitar o processamento posterior e alterar a funcionalidade e o desempenho do produto final. Há também a adição de alguns aditivos que influenciam nas características funcionais e/ou nutricionais do produto. A última etapa no processo consiste na pasteurização e secagem, que tem o objetivo de remover a umidade da pasta protéica a fim de reduzir a atividade de água do produto e evitar o desenvolvimento microbiano (NIKOLOV; FUENTES-GRANADOS, 1999).

A fração líquida, composta de proteínas e carboidratos solúveis em meio aquoso, constitui o principal resíduo gerado durante o processo de produção de proteína isolada de soja e é conduzido ao sistema de tratamento de efluentes (NIKOLOV; FUENTES-GRANADOS, 1999).

O efluente gerado na fabricação de proteína isolada de soja exige um sistema de tratamento qualificado para atingir os padrões referentes aos parâmetros impostos pelo órgão ambiental responsável, já que ele possui carga orgânica elevada (em torno de 17.000 mg/L de DQO - Demanda Química de Oxigênio), elevado teor protéico (em torno de 4.200 mg/L) e teores consideráveis de sólidos (em torno de 3.800 mg SST/L –

Sólidos Suspensos Totais/L e 18.000 mg ST/L – Sólidos Totais/L). Normalmente os sistemas de tratamento de efluentes provenientes da fabricação de proteína isolada de soja são constituídos de tratamento físico-químico e biológico, sendo este anaeróbio e aeróbio (CASSINI, 2008).

A biomassa produzida tem possibilidade de utilização na geração de biogás, que é gerado a partir da biodegradação anaeróbia da mesma na ausência de oxigênio, sendo a consequência de uma série de interações metabólicas entre diferentes grupos de microrganismos. É uma importante fonte renovável de energia devido à sua composição básica, o metano (PRASERTSAN; SAJJAKULNUKIT, 2006).

O biogás consiste de 55-80% de metano (CH₄), 20-45% de dióxido de carbono (CO₂), com quantidades inferiores a 1% de gás sulfídrico (H₂S) e outras impurezas como os compostos de enxofre provenientes da matéria orgânica e pequenas proporções de nitrogênio (N₂) e amônia (NH₃) (TRUONG; ABATZOGLOU, 2005). O gás metano é incolor, inodoro, estável e não tóxico. Ele queima com uma chama azul e tem um poder calorífico de 4500-5000 kcal/m³, quando o seu teor de metano varia de 60%

para 70% (MADU; SODEINDE, 2001). Com suas propriedades físicas e químicas semelhantes às de gás natural, embora com um menor teor de metano, o biogás pode ser utilizado como fonte de energia para diversas finalidades, tais como o calor (através da queima em caldeiras), vapor, eletricidade, hidrogênio, etanol, metanol, biodiesel e metano (CHYNOWETH, *et al.*, 2001).

Os contaminantes presentes no biogás são altamente indesejáveis em sistemas de combustão devido à sua conversão em compostos altamente corrosivos e perigosos para o ambiente, sendo essencial a sua remoção antes de qualquer utilização (ABATZOGLOU; BOIVIN, 2009). O enriquecimento de metano no biogás para aumentar o poder calorífico e eliminar o gás de efeito estufa pode ser alcançado pela remoção de dióxido de carbono, sendo que o mesmo pode ser utilizado como um meio refrigerante eficaz (SARKAR; BOSE, 2007).

Fazendo-se uma equivalência em termos de produção de biogás com outros tipos de combustíveis, para 1 m³ de biogás produzido tem-se aproximadamente: 0,613 L de gasolina; 0,579 L de querosene; 0,553 L de óleo diesel; 0,454 L de GLP (gás liquefeito de petróleo); 1,536 Kg de lenha;

0,790 L de álcool hidratado; 1,428 Kw de eletricidade (OLIVER *et al.*, 2008).

O processo de produção de biogás é complexo e sensível, pois vários grupos de microrganismos estão envolvidos. Os processos importantes na digestão anaeróbia são a hidrólise, a fermentação, a acetogênese e a metanogênese, onde a hidrólise é sujeita ao processo de fermentação, enquanto a acetogênese e a metanogênese são vinculadas. A etapa de hidrólise é um processo extra-celular e onde as bactérias fermentativas hidrolíticas excretam enzimas para catalisar a hidrólise de matérias orgânicas complexas em unidades menores e os substratos hidrolisados são então utilizados pelas bactérias fermentativas. Produtos da fermentação, tais como, acetato de hidrogênio e dióxido de carbono podem ser usados diretamente por bactérias metanogênicas, produzindo metano e dióxido de carbono, enquanto outros reduzem mais produtos, tais como álcoois superiores e ácidos graxos voláteis que são oxidados pelas bactérias acetogênicas juntamente com as metanogênicas (BOE, 2006).

As fontes para a produção de biogás abrangem uma vasta gama de matérias-primas, incluindo os resíduos animais, resíduos domésticos, resíduos vegetais, lodo de esgotos domésticos e

industriais, águas residuais e aterros (KAPDI et al., 2005). Portanto, além de eliminar os resíduos de formas adequadas para ajudar a resolver os problemas de poluição, o processo de produção de biogás irá também fornecer uma fonte de energia barata e renovável, contribuindo para a conservação dos recursos fósseis, como gás natural, petróleo ou carvão, que estão se esgotando rapidamente (LIMMEECHOKCHAI; CHAWANA, 2007; PRASERTSAN; SAJJAKULNUKIT, 2006).

Entre as fontes de biogás estão os lodos originários de estações de tratamento de efluentes (ETE) e resíduos da indústria alimentícia, nos quais se enquadra o bagaço de malte, formado no beneficiamento da cevada. O resíduo úmido de cervejaria é resultante da fase inicial do processo de fabricação de cervejas, e apresenta-se na forma de cascas ou de farelo, com umidade em torno de 80%. A cevada é um dos materiais mais cultivados, sendo considerado o quinto em importância no mundo (VIEIRA; BRAZ, 2009).

Ao mesmo tempo, a biodigestão produz adubo e água para uso na irrigação agrícola. Diferentemente de outras formas de energia renovável, os sistemas de produção de biogás são relativamente simples e podem operar em grandes e

pequenas escalas em áreas urbanas ou rurais (GUNNERSON; STUCKEY, 1986; TALEGHANI; KIA, 2005), ou seja, não há nenhuma limitação geográfica para o emprego desta tecnologia, sendo um aspecto importante que quase todo o investimento realizado é no processo inicial, com custos operacionais e de matéria-prima muito baixos (AMIGUN; VON BLOTTNITZ, 2007).

O ciclo de produção de biogás representa um sistema integrado da produção de energias renováveis, utilização de recursos, tratamento de resíduos orgânicos e reciclagem de nutrientes e da redistribuição, gerando benefícios ambientais e agrícolas interligados, como a produção de energia renovável, conservando os recursos, a reciclagem dos resíduos baratos e ambientalmente saudáveis (orgânicos), a menor emissão de gases de efeito estufa, a melhor qualidade da água, a redução de patógenos através do saneamento, melhoria da eficiência da adubação (HOLM-NIELSEN *et al.*, 1997), menos incômodo dos odores e moscas, além de trazer vantagens econômicas para os agricultores (BIRKMOSE, 2007).

O objetivo deste estudo foi determinar a potencialidade de geração de biogás a partir do uso de lodo biológico de ETE oriundo de empresa do ramo

alimentício especializada na fabricação de proteína isolada de soja, com o uso de bagaço de malte como substrato secundário.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho, em parceria com a Bremil Indústria de Produtos Alimentícios Ltda, foi desenvolvido no Laboratório de Biorreatores do Centro Universitário UNIVATES, Lajeado/RS, que adota uma metodologia de quantificação de biogás em escala laboratorial, através do uso de um sistema de medição automatizado.

O efluente bruto proveniente da atividade industrial da fabricação de proteína isolada de soja é recebido em uma peneira estática, passando por um medidor de vazão Calha Parshall, seguindo para um tanque decantador primário e após a um tanque de equalização, onde é feito o ajuste de pH para a próxima etapa, a flotação. O efluente tratado na etapa de flotação é encaminhado para um reator acidogênico, onde ocorre o tratamento biológico anaeróbio e, em seguida, para dois reatores metanogênicos, de onde foi coletado o inóculo utilizado neste estudo. O efluente tratado nestes reatores segue para um reator aeróbio com sistema de ar difuso (lodos ativados), sendo encaminhado após a uma lagoa aerada, retornando ao reator

aeróbio e deste seguindo para o decantador secundário, onde ocorre a separação do lodo biológico da parte líquida. O lodo decantado retorna ao reator aeróbio enquanto houver equilíbrio do sistema e a quantidade excedente é descartada em um tanque de adensamento de lodo para desaguamento e sua destinação final é em solo agrícola, onde é empregado como fertilizante. Neste ponto foi realizada a coleta de lodo utilizado no estudo como substrato, sendo a geração mensal deste resíduo de 300 m³. O efluente tratado, após sair do tanque de decantação, é conduzido por gravidade a outro tanque de decantação, seguindo para uma lagoa de polimento, sendo liberado ao corpo receptor, passando por uma Calha Parshall.

Como substrato secundário empregou-se o bagaço de malte originário da produção artesanal de uma cervejaria, em virtude de sua ampla disponibilidade e devido ao mesmo promover uma melhora da relação carbono/nitrogênio no início do processo.

O equipamento utilizado no processo de quantificação do biogás é um circuito eletrônico que registra a passagem do biogás pelo sistema a medida que este é gerado dentro do reator e alcança um dispositivo de vidro que apresenta o formato de U e possui um sensor óptico responsável pela leitura do biogás. Na

Figura 1 visualiza-se o sistema de quantificação de biogás. O volume de biogás é determinado através da equação combinada dos gases ideais, que descreve

que a relação entre a temperatura, a pressão e o volume de um gás é constante (HALLIDAY *et al.*, 2009).



Figura 1. Sistema de quantificação de biogás em escala laboratorial.

O experimento foi conduzido em uma incubadora bacteriológica (Figura 2), na qual manteve-se a temperatura constante de 35 °C durante o período total de teste, 30 dias. Duas amostras foram analisadas em triplicatas, perfazendo as mesmas um total de 6 reatores, com volume de 600 mL em cada. Visando o atendimento dos objetivos do estudo, duas triplicatas (amostras) representaram: (I)

uma mistura de 30 % v/v de inóculo com substrato, composto por 20% v/v de malte e 50% v/v de lodo proveniente do descarte do tanque decantador secundário de lodo ativado do processo de tratamento de efluentes descrito anteriormente; (II) triplicata controle, que continha apenas o inóculo.



Figura 2. Representação dos reatores em incubadora bacteriológica.

O percentual de metano contido nas amostras foi determinado a partir da injeção diária de 20 mL de biogás retirado de cada reator através de uma seringa, em um instrumento específico para a medição

da concentração de metano em gases, denominado Advanced Gasmitter, desenvolvido pela PRONOVA Analytentechnik GmbH & Co (Figura 3).



Figura 3. Sensor Advanced Gasmitter, empregado para a qualificação do biogás através da medição do percentual de metano.

A Amostra I foi submetida a análises físico-químicas de Carbono orgânico, Nitrogênio total, Fósforo total, Potássio, pH, Sólidos totais (ST) e Voláteis (SV), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO). As mesmas análises foram repetidas na conclusão do experimento, a fim de se avaliar a eficácia do processo de biorreação. Para a determinação desses parâmetros adotou-se metodologias propostas em Standard Methods for the

Examination of Water and Wastewater (2005), entretanto para a definição da DBO empregou-se o sistema Oxitop® Respirometric BOD5 – WTW.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 4, são apresentados os resultados referentes à geração de biogás nas duas amostras. Observa-se o volume de biogás total, bem como o volume correspondente a metano e demais gases presentes no biogás.

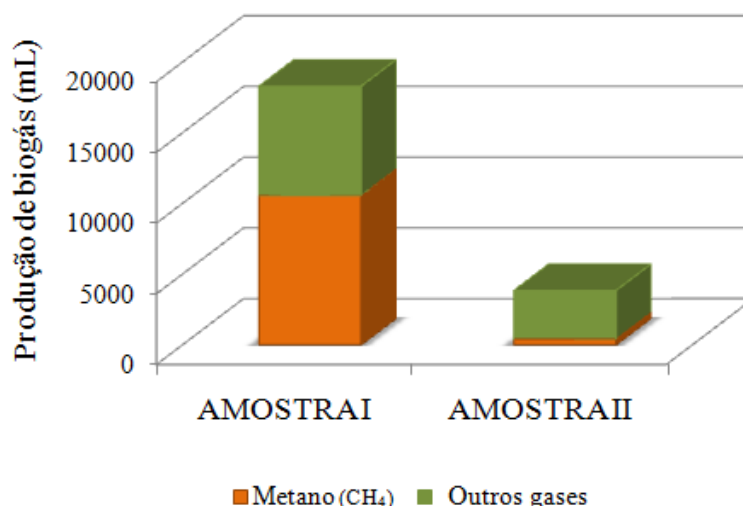


Figura 4. Volume de biogás e de metano gerados nas duas amostras.

Na Amostra I, composta por uma mistura entre inóculo e substrato, produziu-se um total de 18.284,4 mL de biogás ao longo do período, dos quais 57,7% corresponderam a metano (CH₄). Enquanto isso, na Amostra II (amostra controle) gerou-se 3.833,8 mL de biogás

sendo 10,1% o teor de metano presente. Esses valores representam um incremento de 376,9% com relação ao volume total de biogás e 2608,9% nos teores de metano. Nesse sentido, fica evidenciado que o inóculo utilizado encontrava-se numa fase estabilizada em termos de potencial para a

produção de biogás, apresentando-se em uma situação desejada que permitisse seu uso em inoculação de reatores anaeróbios e não como substrato nos mesmos.

Com referência a análise da geração de biogás no período especificamente na Amostra I, cuja representação se encontra na Figura 5, fica evidenciada a potencialidade com relação ao percentual de metano presente nessa amostra. O percentual máximo diário de metano

observado foi de 70,3% no 15º dia de experimento e notou-se que os valores se mantiveram entre 60 e 70% na maior parte do período (6º ao 29º dias) exceto nos três primeiros dias do experimento, intervalo de tempo este que correspondeu à fase inicial da digestão anaeróbia, na qual a estabilidade do processo ainda não havia sido alcançada e consequentemente a produção de metano é reduzida.

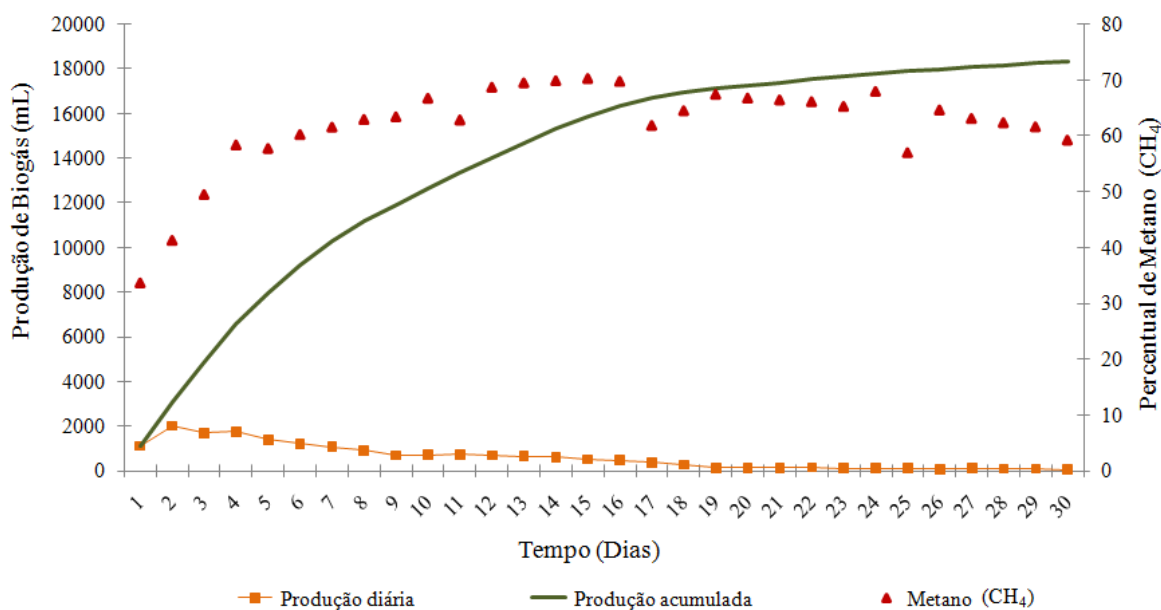


Figura 5. Produção de biogás diária e acumulada na Amostra I.

No que se refere a geração diária de biogás, observou-se os volumes médios de 609,5 mL dia⁻¹ para a Amostra I e 22 mL dia⁻¹ para a Amostra II. Nesse sentido, nota-se que a quantidade diária de biogás

obtida na Amostra I é 1.225% superior aos resultados obtidos por Cabello *et al.*, (2009), que verificaram a produção máxima de biogás 0,046 L dia⁻¹ ou 46 mL dia⁻¹ a partir de vinhaça produzida pela

agroindústria canavieira, contudo, os autores mencionam no mesmo trabalho que tiveram problemas com a leitura da quantidade de biogás gerado no experimento por eles avaliado. Dessa forma, acredita-se que o percentual aqui apresentado não seja um valor preciso. Além disso, Schoenhals, Frare e Sarmiento (2007) obtiveram o resultado de 0,32 L dia¹ de biogás em reatores anaeróbios avaliando a produção de biogás com efluentes da suinocultura.

No entanto, os maiores volumes de biogás gerados, quando considerada a produção diária, foram verificados no

período inicial do experimento (Figura 5), sendo que até o 7º dia os valores foram superiores a 1.000 mL diário, verificando-se o valor máximo de 2006 mL de biogás no segundo dia do teste. A partir disso, a geração diária de biogás sofreu decréscimos até alcançar o nível de 56 mL dia⁻¹ no 30º dia.

No Quadro 1 são apresentados os resultados obtidos referentes às análises físico-químicas da Amostra I, especificamente devido ao seu desempenho com relação à geração de biogás.

Quadro 1. Análises físico-químicas da Amostra I (pré e pós experimentação)

Parâmetro	Amostra I	
	Fase	
	Pré experimentação	Pós experimentação
Ph	7,16	7,76
Sólidos totais (%)	7,54	5,69
Sólidos voláteis (%)	76,64	67,54
Sólidos fixos (%)	23,36	32,46
DQO (mg/L O ₂)	43.560,00	27.274,00
DBO (mg/L O ₂)	12.000,00	1.300,00
C orgânico (mg/L)	25909,30	13860,60
N (mg/L)	2968,00	3780,00
P total (mg/L)	1.107,31	1090,81
K (mg/L)	11.439,56	667,30
Relação C/N	8,73	3,66

Com relação ao pH, este não sofreu variações consideráveis, mantendo-se no padrão para o processo de digestão anaeróbia, que apresenta 8 como o valor limite (GERARDI, 2003). No que se refere ao teor de sólidos presentes, nota-se elevada fração de sólidos voláteis, que são os responsáveis diretos pela produção de biogás (LUCAS JUNIOR, 1994), apresentando os mesmos redução de 11,8%.

Através do processo de biodigestão anaeróbia houve redução de 37,4% para DQO e de 89,1% para a DBO, o que denota níveis satisfatórios de redução de carga orgânica. Além disso, o Carbono orgânico também sofreu redução de 24,2%. Contudo, nota-se que o Nitrogênio sofreu um incremento de 27,3%. No que se refere ao Fósforo, este sofreu um decréscimo inferior a 1,5%. Entretanto, observou-se que o parâmetro Potássio (K) total foi reduzido em 94,1%. Considerando a relação C/N, que inicialmente era de 8,73, ou seja, estava desbalanceada, já que a ideal é 25:1 (GERARDI, 2003), esta foi reduzida para 3,66.

4. CONCLUSÕES

O uso de lodo biológico de ETE oriundo de empresa do ramo alimentício especializada na fabricação de proteína isolada de soja, com o uso de bagaço de

malte como substrato secundário se mostrou satisfatório no que se refere a potencialidade de geração de biogás. O uso de um inóculo de qualidade, ou seja, com bactérias já adaptadas ao processo metanogênico mostrou-se um fator primordial com referência à geração de biogás, o que ficou evidenciado nesse estudo em função dos percentuais de metano observados, que se mantiveram entre 60 e 70% diários, com valor de 57,7% com relação ao volume total de biogás gerado.

O processo de biorreação anaeróbia mostrou ótimo desempenho quanto ao tratamento do substrato utilizado, com eficiência de remoção de DBO de 89,1%, confirmando assim a sua viabilidade no tratamento desse tipo de resíduo com vistas a geração de biogás.

O lodo digerido formado a partir do processo anaeróbio apresenta potencial para ser empregado como adubo em solo agrícola devido a sua disponibilidade de nutrientes. Entretanto, as características da sua composição podem ser adequadas para favorecer a viabilidade de disposição em solo agrícola através da co-digestão do substrato empregado com outros materiais, como dejetos de animais ou lodos de outras ETES.

5. REFERÊNCIAS

- ABATZOGLOU, N.; BOIVIN, S. A review of biogas purification processes. **Biofuels Bioprod Biorefin** v.3, p.42 e 71. 2009
- AMIGUN, B.; VON BLOTTNITZ, H. **Investigation of scale economies for African biogas installations.** Energy Conversion and Management. v. 48, p.3090–4, 2007.
- AWWA/APHA/WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 20.ed. Washington, 1998.
- BIRKMOSE, T., 2007. **Digested manure is a valuable fertilizer.** In: Proceedings of European Biogas Workshop – The Future of Biogas in Europe III, University of Southern Denmark 14–16, June, Intelligent Energy – Europe programme, Probiogas project, pp. 89–94.
- BOE, K. **Online monitoring and control of the biogas process.** Ph.D. Thesis. Institute of Environment & Resources, Technical University of Denmark; May 2006.
- CABELLO, P. E.; SCOGNAMIGLIO, F. P.; TERÁN, F. J. C. **Tratamento de vinhaça em reator anaeróbio de leito fluidizado.** Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 1, p. 321-338, jan/abr 2009
- CASSINI, A. C. **Estudo de processos alternativos no pré-tratamento de efluentes provenientes da produção de isolados protéicos.** 2008. 195 f. Tese (Programa de pós-graduação em Engenharia Química) – Escola de Engenharia – Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.
- CHYNOWETH, D. P.; OWENS, J. M.; LEGRAND, R. **Renewable methane from anaerobic digestion of biomass.** Renewable Energy 2001; 22:1–8.
- GERARDI, M. H. **The microbiology of anaerobic digesters.** Editora Wiley Interscience, Nova Jersey. EUA, 2003. 177 p.
- GUNNERSON, C. G.; STUCKEY, D. C. **Integrated resource recovery. Anaerobic digestion-principles and practices for biogas systems.** World bank technical paper, 1986. p. 49.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física 2.** 8.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- HOLM-NIELSEN, J. B.; HALBERG, N.; HUTINGFORD, S.; AL SEADI, T. 1997. **Joint biogas plant. Agricultural Advantages – Circulation of N, P and K.** Report Made for The Danish Energy Agency, Revised and Emendated Edition, August 1997.
- HUI, Y. H. **Soybeans and soybean processing.** In: Francis, F. J. Encyclopedia of food science and technology, Second Edition. New York: John Wiley & Sons, Inc., p. 2185-2190, 1999.
- KAPDI, S. S.; VIJAY, V. K.; RAJESH, S. K.; PRASAD, R. Biogas scrubbing, compression and storage: perspective and prospectus in Indian context. **Renew Energy.** v. 30, p.1195–202, 2005.
- LIMMEECHOKCHAI, B.; CHAWANA, S. Sustainable energy development strategies in the rural Thailand: the case of the improved cooking stove and the small biogas digester. **Renew Sust Energy Rev** n. 11, p. 818–37, 2007.

- LUCAS JÚNIOR, J. Algumas considerações sobre o uso do estrume de suínos como substrato para três sistemas de biodigestores anaeróbios. 1994. 137 f. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1994.
- MADU, C.; SODEINDE, O. A. **Relevance of biomass in sustainable energy-development in Nigeria.** Proceedings of the National Engineering Conference and annual general meeting of the Nigerian Society of Engineers , p.220–7., 2001.
- NICOLOV, Z. L.; FUENTES-GRANADOS, R. **Soybean (fermentation, meal oil).** In: Flickinger, M. C.; Drew, S. W. Encyclopedia of bioprocess technology: fermentation, biocatalysis and bioseparation. New York: John Wiley & Sons. Inc., p. 2462 – 2479, 1999.
- OLIVER, A. P.; NETO, A. A. S.; QUADROS, D. G.; VALLADARES, R. E. **Training manual on biodigestion. USAID, Winrockinternational Brasil e Energia e desenvolvimento.** Brasil. Versão 2.0. Fevereiro, 2008. Disponível em: <http://www.winrock.org.br/media/biodigestionmanualv2.pdf> Acesso em: set. 2010.
- PRASERTSAN, S.; SAJJAKULNUKIT, B. Biomass and biogas energy in Thailand: potential, opportunity and barriers. **Renewable Energy** , v.3, p.599 e 610. 2001.
- SCHOENHALS, M., FRARE L. M., SARMENTO, L. A. V. Análise do desempenho de reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo no tratamento de efluentes da suinocultura. **Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal**, v. 4, n. 1, p. 005-023, jan/jun 2007.
- SARKAR, S. C.; BOSE, A. **Role of activated carbon pellets in carbon dioxide removal.** Energy Convers. Manage. 38 (Suppl. 1) (1997) S105–S110.
- TALEGHANI, G.; KIA, A. S. Technical–economical analysis of the Saveh biogas power plant. **Renew Energ**, v.30, p.441–6. 2005.
- TRUONG, L. V. A.; ABATZOGLOU, N. A H₂S reactive adsorption process for the purification of biogas prior to its use as a bioenergy vector. **Biomass Bioenergy** v. 29, n.2, p.142–51. 2005.
- VIEIRA, A. A.; BRAZ, J. M. Bagaço de cevada na alimentação animal. **Revista Eletrônica Nutritime**, v. 6, n. 3, p. 973 – 979, maio/jun. 2009.