

Produção de biogás como fonte alternativa de energia: uma revisão

RESUMO

Como resultado do desenvolvimento de diferentes atividades agroindustriais tem-se a geração de resíduos orgânicos impactantes aos recursos naturais. O presente artigo tem como objetivo apresentar uma revisão bibliográfica acerca da técnica de biodigestão anaeróbia aplicada ao tratamento de resíduos orgânicos, a qual possibilita a geração de biogás, que pode ser utilizado como fonte de calor, combustível veicular ou transformado em energia elétrica. Entretanto, parte do potencial energético proveniente de diferentes resíduos orgânicos não é aproveitado para a produção de biogás, o que justifica o desenvolvimento constante de pesquisas para o aprimoramento da técnica de biodigestão anaeróbia.

PALAVRAS-CHAVE: biodigestão anaeróbia; efluentes agroindustriais; metano; purificação; resíduos orgânicos.

Leandro Fleck

fleckmissal@gmail.com

Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), Cascavel, Brasil.

Maria Hermínia Ferreira Tavares

mhstavar@gmail.com

Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), Cascavel, Brasil.

Eduardo Eyng

eduardoeyng@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Medianeira, Brasil.

Fábio Orssatto

fabio@orssatto.com

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Medianeira, Brasil.

INTRODUÇÃO

Com o acelerado crescimento demográfico e agroindustrial, a geração de resíduos orgânicos tem aumentado consideravelmente nos últimos anos, chegando a níveis superiores à capacidade natural de reciclagem através da biosfera terrestre. Neste contexto, o desenvolvimento e aprimoramento das técnicas de tratamento desses resíduos se tornam necessários (Marcos *et al.*, 2010).

De acordo com Miranda *et al.*, (2012) a técnica da biodigestão anaeróbia, aplicada ao tratamento de resíduos impactantes aos recursos naturais, merece especial destaque devido a geração do biogás, com elevado poder energético. Entretanto, Budzianowski (2016) salienta que atualmente existem alguns fatores que limitam a expansão das tecnologias produtoras de biogás: (i) alto custo de matéria-prima de fácil digestão em alguns países e, (ii) disponibilidade limitada de inovações que tornem a utilização do biogás economicamente atraente.

Salomon e Lora (2009) afirmam que o biogás inicialmente foi tratado como um subproduto da decomposição anaeróbia de resíduos orgânicos. No entanto, a crise ambiental, a ratificação do Protocolo de Quioto e o aumento do preço dos combustíveis tradicionais motivaram o desenvolvimento de pesquisas, objetivando potencializar a produção de biogás como uma fonte alternativa de energia.

Kpata-Konan *et al.*, (2013) e Chen *et al.*, (2008), afirmam que a biodigestão anaeróbia consiste em um ecossistema em que diferentes grupos de microrganismos, em condições anaeróbias, trabalham interativamente na conversão da matéria orgânica complexa em metano (CH₄), gás carbônico (CO₂), água, sulfeto de hidrogênio (H₂S), amônia (NH₃) e novas células bacterianas.

Neste sentido, de acordo com Ye *et al.*, (2013) a digestão anaeróbia consiste em uma tecnologia eficaz para o tratamento de resíduos orgânicos, tais como: resíduos sólidos urbanos, resíduos agroindustriais, dejetos animais e resíduos agrícolas. A principal vantagem deste processo é que o produto gerado pode ser utilizado como combustível para veículos ou para cogeração de eletricidade e calor, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa à atmosfera. De acordo com Garfí *et al.*, (2016) é necessário o desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias que possibilitem a redução das emissões de gases de efeito estufa, onde a biodigestão anaeróbia merece especial destaque.

O sucesso do tratamento de efluentes líquidos, resíduos agropecuários ou agroindustriais por intermédio da técnica de biodigestão anaeróbia, depende de alguns fatores ambientais. Kwietniewska & Tys (2014), afirmam que os principais fatores são: composição do substrato, teor de água, temperatura, pH, relação C:N, carga orgânica, tempo de retenção hidráulica e presença de nutrientes, os quais estão relacionados ao desenvolvimento e sobrevivência dos microrganismos envolvidos no processo.

Miranda *et al.*, (2012) afirmam que a biodigestão anaeróbia, além de representar uma fonte alternativa de energia, representa uma ação de saneamento em áreas rurais. De acordo com resultados obtidos por Côté *et al.*, (2006), a biodigestão anaeróbia de dejetos suínos possibilitou a redução significativa de microrganismos patogênicos como, por exemplo, populações de *Salmonella*, *Cryptosporidium*, *Giardia*, *E. coli* e coliformes.

Com o tratamento anaeróbio e consequente geração do biogás tem-se inúmeros benefícios ambientais: redução da emissão de gases de efeito estufa, redução da lixiviação de nutrientes, redução da eutrofização dos cursos hídricos (HOLM-NIELSEN, 2009) e, principalmente, a produção de energia renovável.

Neste contexto, o presente artigo tem como objetivo apresentar uma revisão bibliográfica acerca da técnica de biodigestão anaeróbia aplicada ao tratamento de diferentes resíduos orgânicos, impactantes aos recursos naturais, com ênfase na quantidade e qualidade do biogás gerado.

CARACTERÍSTICAS DO BIOGÁS

A biodigestão anaeróbia tem como principal objetivo converter resíduos orgânicos em dois produtos de valor econômico agregado: o biogás e o biofertilizante, chamado atualmente de digestato (HOLM-NIELSEN, 2009). O biogás é considerado como um combustível de origem renovável utilizado como “eletricidade verde”, fonte de calor ou combustível para veículos, o que se deve principalmente ao elevado percentual de metano (MARCOS *et al.*, 2010). Por outro lado, o digestato pode ser amplamente empregado em atividades agrícolas (HOLM-NIELSEN, 2009).

Chernicharo (1997) afirma que a composição global do biogás varia de acordo com as condições ambientais presentes no reator. Para reatores operando de maneira estável, a composição do biogás é razoavelmente uniforme. Entretanto, a proporção de gás carbônico em relação ao metano varia de acordo com as características do substrato.

No processo de biodigestão anaeróbia de esgotos domésticos as proporções típicas de metano e dióxido de carbono no biogás são: a) metano: 70 a 80% e; b) dióxido de carbono: 20 a 30%. Entretanto, de acordo com Chernicharo (1997) outros gases, como o sulfeto de hidrogênio, nitrogênio, hidrogênio e monóxido de carbono, também podem compor o biogás, mas em menor concentração.

Neste sentido, Persson *et al.*, (2006) afirmam que a composição geral do biogás, conforme apresentado na Tabela 1, depende do material orgânico e do processo utilizado, podendo ser denominado de gás de aterro, gás do lixo, gás de esgotos, gás de lodo, gás de dejetos, dentre outros.

Tabela 1- Composição do biogás de diferentes fontes.

Parâmetros	Biogás de Aterro	Biogás de Biodigestão
Poder calorífico Inferior (MJ nm ⁻³)	16	23
Densidade (kg nm ⁻³)	1,3	1,2
CH ₄ (%)	35-65	53-70
CO ₂ (%)	15-50	30-47
H ₂ S (ppm)	0-100	0-1000
Nitrogênio (%)	5-40	-
Amônia (ppm)	5	<100
Hidrogênio (%)	0-3	0
Oxigênio (%)	0-5	-

Fonte: Persson *et al.*, (2006).

Na Tabela 2 é apresentada a equivalência energética do biogás em relação a outras fontes de energia, de acordo com diferentes autores. Observa-se que,

mesmo com o aprimoramento da técnica de biodigestão anaeróbia, a equivalência energética do biogás manteve-se praticamente constante.

Tabela 2 - Equivalência energética do biogás (1 m³) comparada a outras fontes de energia.

Fonte de Energia	Ferraz e Mariel (1980)	Nogueira (1986)	Barrera (2003)
Gasolina (L)	0,61	0,61	0,61
Querosene (L)	0,58	0,62	0,58
Diesel (L)	0,55	0,55	0,55
GLP (kg)	0,45	0,43	0,45
Álcool (L)	-	0,80	0,49
Carvão Mineral (kg)	-	0,74	-
Lenha (kg)	-	3,50	1,54
Eletricidade (Kwh)	1,43	-	1,43

PURIFICAÇÃO DO BIOGÁS

A tecnologia produtora de biogás tem relação direta com a sua qualidade. A utilização do biogás, vai ditar a qualidade deste e o grau de purificação necessário a fim de evitar danos a equipamentos e aumentar o poder calorífico. De acordo com Holm-Nielsen *et al.*, (2009) uma maneira eficiente de integrar o biogás ao setor energético é a melhoria de sua qualidade, possibilitando o transporte para as áreas de elevada demanda energética, normalmente situadas longe das instalações de produção.

A ideia básica dos processos de purificação do biogás é isolar o metano da mistura gasosa, removendo principalmente o dióxido de carbono (CO₂) e o sulfeto de hidrogênio (H₂S). De acordo com Iovane *et al.*, (2014) a presença do CO₂ reduz o poder calorífico do biogás e o H₂S provoca corrosão em tubulações e motores, além de ser tóxico aos seres humanos.

Dentre as principais tecnologias utilizadas para a purificação do biogás podem ser citadas:

1. Purificação por membrana (ZHOU *et al.*, 2014, IOVANE *et al.*, 2014): alguns componentes do biogás podem ser transportados através de uma membrana fina (<1 mm), enquanto outros ficam retidos;
2. Purificação utilizando Water Scrubbing (WS) (NIE *et al.*, 2013): é um método de lavagem. Biogás comprimido é alimentado no sentido ascendente da base de uma coluna de absorção e água sob pressão é pulverizada em sentido contrário. Desta forma, o CO₂ e o H₂S são dissolvidos na água e recolhidos no fundo da torre de absorção;
3. Purificação utilizando Pressure Swing Adsorption (PSA) (ALONSO-VICARIO *et al.*, 2010): possibilita a separação de componentes indesejáveis do biogás sob pressão, devido as características moleculares e capacidade de serem captados pelos materiais adsorventes, tais como: carvão ativado, sílica gel ou alumina. Na coluna de adsorção os gases CO₂, N₂, e O₂ são retidos, fazendo com que na saída da coluna o biogás contenha aproximadamente 97% de metano;
4. Processos biológicos (MUÑOZ *et al.*, 2015): possibilitam a produção de biomassa no processo de fixação de CO₂ por intermédio da fotossíntese algal, agregando valor ao processo. Ao final do tratamento obtêm-se aproximadamente

90% de metano na mistura gasosa. De acordo com Holm-Nielsen *et al.*, (2009) o tratamento biológico do biogás reduz os teores de sulfeto de hidrogênio a níveis inferiores a 100 ppm;

5. Purificação utilizando tecnologia criogénica (TUINIER e ANNALAND, 2012): envolve a separação dos constituintes do biogás por condensação e destilação fracionada a baixas temperaturas. Em temperaturas próximas a -190 °C, ocorre a condensação do metano, originando biogás líquido, o qual pode ser utilizado como combustível em motores de combustão interna.

UTILIZAÇÃO DO BIOGÁS

Após devidamente purificado o biogás pode ser utilizado para diferentes fins (HOLM-NIELSEN *et al.*, 2009), dentre os quais se destacam:

1. Utilização como fonte de calor: constitui-se como o uso mais simples do biogás, podendo ser utilizado principalmente em granjas de animais. Em aviários o biogás pode ser utilizado para o aquecimento dos pintainhos, através de equipamentos onde ocorre a queima do gás e conseqüente produção de calor;

2. Produção de vapor: indústrias de diferentes setores utilizam o biogás gerado pela biodigestão anaeróbia de seus resíduos orgânicos para a geração de vapor em caldeiras, economizando outras fontes de energia como, por exemplo, óleo combustível e lenha;

3. Geração de energia elétrica: o biogás pode ser utilizado como fonte de energia primária para fornecer energia mecânica em motores, os quais acoplados a geradores elétricos são capazes de produzir energia elétrica;

4. Matéria-prima para a indústria: o metano pode ser utilizado como matéria-prima para a síntese de compostos orgânicos como, por exemplo, o metanol;

5. Combustível veicular: é uma alternativa atraente quando a produção de biogás é elevada, apresentando interesse crescente devido aos benefícios ambientais, em especial a ausência das emissões de monóxido de carbono e hidrogênio. Entretanto, para ser utilizado como combustível veicular, o biogás deve ser previamente tratado para a remoção do CO₂ e H₂S, aumentando o poder calorífico do combustível e evitando problemas de corrosão interna do motor, respectivamente;

As políticas da União Europeia em torno dos sistemas de energia renovável têm fixado que 20% das necessidades energéticas europeias deverão ser supridas por fontes renováveis até o ano de 2020. Em média, 25% de toda a bioenergia pode se originar a partir do biogás, produzido a partir de materiais orgânicos úmidos altamente biodegradáveis (HOLM-NIELSEN *et al.*, 2009).

De acordo com Avcioglu e Türker (2012) o potencial de produção de biogás na Turquia é de aproximadamente 2.177.553.000 m³, dos quais 68% é proveniente de dejetos bovinos, 5% de pequenos ruminantes e 27% de dejetos avícolas. O potencial de energia equivalente de biogás é de aproximadamente 49 PJ, ou 1.170,4 Ktoe (quilotonelada de óleo equivalente).

Poeschl *et al.*, (2010) avaliaram as perspectivas para expansão da utilização do biogás na Alemanha, identificando os fatores operacionais e políticos que

afetam sua produção e utilização. Embora a Lei de Energias Renováveis e benefícios fiscais possibilitem a expansão da utilização do biogás, principalmente para a geração de eletricidade, grande parte do potencial energético renovável é desperdiçado, o que sugere que as tecnologias, políticas e incentivos fiscais existentes precisam ser melhoradas.

Hosseini e Wahid (2013) realizaram um estudo da viabilidade da produção de biogás como fonte alternativa de energia na Malásia, um importante polo de desenvolvimento de tecnologias em pesquisas sobre biocombustíveis. A elevada produção de óleo de palma no país gera efluentes altamente impactantes aos recursos naturais. Diante disso, a biodigestão anaeróbia tem surgido como uma alternativa promissora para o tratamento desse efluente, uma vez que, sua alta capacidade de geração de metano tem motivado o governo a investir em infraestrutura para produção de biogás, devido ao retorno comercial comprovado.

Avaci *et al.*, (2013) determinaram o custo de instalação e a viabilidade da cogeração de energia elétrica a partir do biogás gerado na atividade suinícola, levando em consideração a venda de créditos de carbono e os custos de implementação do sistema. Observou-se que a geração isolada de energia elétrica a partir do biogás não é economicamente viável, entretanto, esta atividade apresenta viabilidade quando há renda com a venda de créditos de carbono. Quando os créditos de carbono são vendidos, a partir de uma geração de 10 h d-1, o custo de produção torna-se viável ao produtor, proporcionado renda com a venda da energia elétrica excedente.

SITUAÇÃO ENERGÉTICA DO BIOGÁS NO BRASIL

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (2010), no Brasil, devido ao elevado potencial hidrelétrico, a busca por novas fontes de geração de energia elétrica tornou-se limitada. Os investimentos em energia renovável apresentam, em sua maioria, custos iniciais superiores aos necessários para a adoção de fontes tradicionais. Entretanto, investimentos na geração de energia a partir do biogás podem ser viáveis economicamente devido à apropriação de receitas oriundas da venda da energia elétrica e da comercialização dos créditos de carbono.

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), no ano de 2012 a capacidade instalada de geração de energia elétrica, utilizando o biogás como combustível, era de 76.308 KW, representando 0,06% da energia gerada no país. Entretanto, de acordo com Ritter *et al.*, (2013) esse número é inexpressivo se comparado a outras formas de geração de energia, porém, com o avanço dos estudos e implementação de novas tecnologias voltadas a técnica de biodigestão anaeróbia, o biogás tem potencial para aumentar a produção de energia nos próximos anos.

São Paulo foi a primeira cidade do Brasil a utilizar biogás como fonte de energia. No ano de 2013, vinte e quatro geradores de alta potência queimavam todo o biogás proveniente da decomposição da parte orgânica do lixo gerado pela população local. O biogás, transformado em energia elétrica, era suficiente para abastecer 35 mil domicílios da cidade.

A Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE, ressalta alguns pontos importantes em relação a produção de biogás no Brasil, destacando-se:

1. O potencial para geração de eletricidade pelas unidades de destinação de resíduos no Brasil é de mais de 280 MW, volume suficiente para abastecer uma população de 1,5 milhões de pessoas;
2. O Brasil conta com 22 projetos que preveem o aproveitamento energético do biogás, o que equivale a uma capacidade instalada de 254 MW. Essas unidades de destinação final de resíduos têm potencial para redução de emissões de gases de efeito estufa na ordem de 12 milhões de toneladas de CO₂ equivalentes por ano;
3. Dos 46 projetos de MDL (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo) brasileiros relacionados a resíduos sólidos registrados na ONU, 33 estão localizados no Sudeste do País, cujo potencial energético pode atingir, até 2039, 170 MW;
4. As regiões Nordeste, Sul e Norte possuem 7, 4 e 2 projetos MDL, respectivamente. O potencial de geração de energia e percentual de emissão de gases de efeito estufa em cada uma dessas regiões, respectivamente, é: Nordeste, 49 MW e 18%; Sul, 23 MW e 8%; e Norte, 18 MW e 6%.

PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE DIFERENTES SUBSTRATOS

O biogás pode ser produzido a partir de uma ampla diversidade de matérias-primas biológicas, sendo a maior fonte representada por dejetos animais provenientes de unidades produtoras de suínos, bovinos, aves e peixes (HOLM-NIELSEN, 2009) e seus abatedouros (MARCOS *et al.*, 2012), resíduos líquidos com elevadas concentrações de gorduras (CHERIF *et al.*, 2014) e matéria orgânica, como a água residuária proveniente do processamento da mandioca (RIBAS e BARANA, 2003).

Kpata-Konan *et al.*, (2013) avaliaram a co-digestão anaeróbia do efluente líquido proveniente do processamento da mandioca, ácido e com baixas concentrações de nitrogênio, com urina humana e esterco bovino. O volume de biogás produzido em reatores contendo urina humana foi significativamente superior ao volume produzido em reatores sem co-digestão. Diante dos resultados obtidos, infere-se que a urina humana, com pH alcalino, pode substituir os produtos químicos utilizados para a correção de pH no processo da biodigestão anaeróbia da água residuária proveniente do processamento da mandioca.

Kullvanijaya e Thongduang (2012) adicionaram os resíduos provenientes da produção de biodiesel, nas proporções de 0,5 a 3,0% (v/v), a um reator utilizado para o tratamento da água residuária proveniente do processamento da mandioca. Os resultados mostraram que a suplementação com os resíduos da produção de biodiesel, na proporção de 0,5-2,0%, pode aumentar a produção de biogás e metano de 19,4 a 96,2% e 13,4 a 56,7%, respectivamente.

Kunzler *et al.*, (2013) avaliaram o processo de biodigestão anaeróbia, em dois reatores com comprimentos e diâmetros distintos (15 cm de diâmetro e 90 cm de comprimento, para o reator 1 e, 20 cm de diâmetro e 60 cm de comprimento, para o reator 2), com meio suporte de bambu, aplicado ao tratamento da água residuária oriunda de fecularia. As cargas orgânicas aplicadas aos sistemas foram 0,519; 1,156; 1,471; 3,049; 4,347; 4,708 e 5,601 g L⁻¹ d⁻¹. Os reatores apresentaram tendência à manutenção da produção de biogás em função da DQO consumida, para as cargas de 4,347; 4,708 e 5,601 g L⁻¹ d⁻¹, indicando a capacidade de suportar

cargas orgânicas superiores. Para a carga orgânica de $5,601 \text{ g L}^{-1} \text{ d}^{-1}$ obteve-se a produção de 0,559 e 4,419 L biogás $^{-1} \text{ gDQO}_{\text{consumida}}^{-1}$, para os reatores 1 e 2, respectivamente.

Trabalho similar foi desenvolvido por Kuczman *et al.*, (2014), ao realizarem o tratamento de efluente de fecularia em reator anaeróbio tubular horizontal piloto, tendo como meio suporte, peças de bambu. As cargas orgânicas utilizadas foram, em termos de Demanda Química de Oxigênio (DQO): 0,556; 0,670; 0,678 e 0,770 g L $^{-1}$ e, em termos de Sólidos Voláteis (SV): 0,659; 0,608; 0,570 e 0,761 g L $^{-1}$, com Tempo de Retenção Hidráulica (TRH) de 13,0; 11,5; 10,0 e 7,0 dias, respectivamente. Obteve-se reduções médias de DQO de 88,0; 80,0; 88,0 e 67,0% e de SV de 76,0; 77,0; 65,0 e 61,0%, respectivamente. As produções de biogás obtidas foram de 0,368; 0,795; 0,891 e 0,91 L gDQO $_{\text{consumida}}^{-1}$.

Outra fonte potencial para a produção de biogás como fonte alternativa de energia são os dejetos provenientes das granjas de suínos, os quais apresentam elevada carga orgânica biologicamente degradável (MIRANDA *et al.*, 2012; ASTALS *et al.*, 2012; YE *et al.*, 2013).

Miranda *et al.*, (2012) avaliaram a produção e a qualidade do biogás obtidos em biodigestores alimentados com dejetos suínos, nas fases inicial, crescimento e terminação, alimentados com milho ou sorgo. Os dejetos provenientes de animais em fase inicial e de crescimento, alimentados com dietas a base de milho, apresentaram maior potencial de produção de biogás. Os potenciais médios de produção obtidos foram 0,033; 0,181; 0,685; 0,788 e 1,132 m $^3 \text{ kg}^{-1}$ de afluente, estrume, sólidos totais adicionados, sólidos voláteis adicionados e sólidos voláteis reduzidos, respectivamente. Não ocorreram diferenças quanto ao teor médio de metano no biogás entre as diferentes dietas e fases.

O glicerol bruto proveniente da produção do biodiesel, devido a elevada concentração de material orgânico, pode ser utilizado como co-substrato no tratamento de dejetos animais a partir do processo de biodigestão anaeróbia. De acordo com Astals *et al.*, (2012), a adição de 4% de glicerol bruto ao dejetos suíno tratado em condições anaeróbias, possibilita um aumento de 400% na produção de biogás.

Ye *et al.*, (2013) avaliaram a co-digestão de palha de arroz, com resíduos de cozinha e dejetos suíno, para a produção de biogás. Os resultados obtidos mostraram que a proporção ótima de mistura do processo foi de 0,4:1,6:1, para resíduos de cozinha, dejetos suíno e palha de arroz, respectivamente. A produção máxima de biogás foi de 674,4 L kg $^{-1} \text{ SV}_{\text{adicionados}}$, com produção de metano de 383,9 L kg $^{-1} \text{ SV}_{\text{adicionados}}$, em um TRH de 45 dias.

Outra fonte potencial para a produção de biogás a partir da biodigestão anaeróbia são os dejetos bovinos, utilizando-o como único substrato ou em processos de co-digestão (RECEBLI *et al.*, 2015, KORZENIEWSKA *et al.*, 2014; GILROYED *et al.*, 2010; WESTERHOLM *et al.*, 2012; CASTRILLÓN *et al.*, 2013), uma vez que, estes resíduos sofrem um pré-tratamento no trato digestivo dos animais, facilitando o tratamento.

Castrillón *et al.*, (2013) otimizaram a produção de biogás a partir de dejetos bovinos, adicionando glicerina bruta proveniente da produção de biodiesel. Utilizando um reator com homogeneização contínua dos substratos, por intermédio de agitação e, com alimentação de 5,4 kg de DQO m $^{-3} \text{ dia}^{-1}$, obteve-se

uma produção de 53,2 m³ de biogás por tonelada de dejetos úmidos e 80,7% de remoção de DQO. Neste contexto, obteve-se uma eficiente degradação biológica do dejetos bovino suplementado com 6% (v/v) de glicerina bruta, sendo o reator operado em condições termofílicas.

A exemplo dos dejetos bovinos, os dejetos oriundos da criação avícola, podem ser utilizados como substrato principal ou em processos de co-digestão para a geração de biogás a partir da biodigestão anaeróbia (AFAZELI *et al.*, 2014; MARKOU, 2015; BOROWSKI e WEATHERLEY, 2013; ALFA *et al.*, 2014). Recebli *et al.*, (2015) estudaram separadamente o potencial de produção de biogás a partir de dejetos bovino e avícola. Para o dejetos bovino utilizou-se 175 kg de dejetos e 175 kg de água e, para o dejetos avícola, utilizou-se 50 kg de dejetos e 325 kg de água. O dejetos bovino apresentou uma quantidade diária de produção de biogás de 6,33 m³ e o dejetos avícola uma quantidade diária de 0,83 m³. A estimativa de metano para ambos os dejetos é de 62%, com um Poder Calorífico Inferior (PCI) de 21.000 kJ m⁻³.

Markou (2015) avaliou o desempenho do processo de biodigestão anaeróbia aplicada ao tratamento da cama de frango com baixo teor de nitrogênio. Para isso, a cama de frango foi previamente tratada para reduzir o seu teor de nitrogênio, a partir de uma fase inicial de anaerobiose, seguida por uma fase de separação da amônia por aquecimento. Utilizou-se como substrato a cama de frango in natura e previamente tratada, com quatro cargas de Sólidos Totais (ST) 5%, 10%, 15% e 20%. A produção de metano para o substrato previamente tratado foi de 193, 196, 215 e 147 L_{CH₄} kg_{DQOadicionada}⁻¹, para 5%, 10%, 15% e 20% de ST, respectivamente. Os resultados obtidos demonstraram que as reduções do teor de nitrogênio na cama de frango aumentam o rendimento da produção de metano, de 8 a 124%.

Borowski e Weatherley (2013), avaliaram a co-digestão do lodo de esgoto municipal com dejetos avícola, considerando a produção de biogás, redução de sólidos voláteis, liberação de amônia e produção de ácidos graxos voláteis. A adição de 30% de dejetos avícola ao lodo de esgoto municipal aumentou a produção total de biogás em aproximadamente 50% e, o processo de co-digestão resultou em maior remoção de sólidos voláteis quando comparado à biodigestão do lodo de esgoto municipal como único substrato do processo.

Objetivando comparar a produção de biogás a partir de diferentes substratos Alfa *et al.*, (2014) utilizaram capim-limão, dejetos bovino e avícola como material orgânico para o processo de biodigestão anaeróbia, em três reatores distintos, A, B e C, respectivamente, durante 30 dias. Aproximadamente 6 kg de cada substrato foram diluídos em água na proporção de 1:1 (v:v). Observou-se a produção de 0,125; 0,191 e 0,211 m³ de biogás para os três substratos utilizados, respectivamente.

Além dos resíduos provenientes das atividades agroindustriais, os resíduos sólidos urbanos (RSU) e, em especial, a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos (FO-RSU) tem se mostrado uma importante fonte produtora de biogás por intermédio da biodigestão anaeróbia, tendo em vista a sua elevada biodegradabilidade. Como consequência do processo de tratamento tem-se também a redução do percentual de sólidos e matéria orgânica dos resíduos, sendo esta uma ação de saneamento ambiental (NASIR *et al.*, 2012), conforme pôde ser observado em diferentes pesquisas, apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3- Tratamento de RSU a partir da biodigestão anaeróbia.

Pesquisadores	Alimentação	Temperatura (°C)	TRH (dias)	Redução de SV (%)	Produção CH ₄ (m ³ kg ⁻¹ SV _{adicionados})
Torres e Lloréns (2008)	*FO-RSU	25	***NR	94,0	0,15
Fernandez <i>et al.</i> , (2008)	FO-RSU	35	15	NR	0,11
Rao e Singh (2004)	**RSU	25	15	76,3	NR

*FO-RSU: fração orgânica de resíduos sólidos urbanos; **RSU: resíduos sólidos urbanos; ***NR: não relatado.

CONCLUSÃO

Diante da situação atual acerca da poluição ambiental oriunda da extração e utilização de combustíveis fósseis, tem-se a necessidade da busca por fontes alternativas de energia, de reduzido impacto ambiental. Neste contexto, a utilização do biogás merece especial destaque, devido a inúmeras vantagens frente aos combustíveis tradicionais, tais como: i) apresenta elevado poder energético; ii) é uma fonte limpa e renovável de energia; iii) sua utilização resulta em baixa emissão de gases poluentes e não gera resíduos; iv) pode ser utilizado para a geração de energia elétrica; v) pode ser utilizado em pequenas propriedades rurais, resultando em ganhos econômicos para os agricultores; vi) representa uma alternativa ao uso do gás de cozinha (GLP); vii) pode ser utilizado para a queima em caldeiras industriais, reduzindo o consumo de outros combustíveis e, viii) representa uma ação de saneamento ambiental.

No Brasil, uma das grandes vantagens observadas em relação a produção de biogás é a expressiva produção agropecuária e agroindustrial. Como resultado dessas atividades tem-se a geração de elevada quantidade de resíduos orgânicos, com potencial para a produção de biogás, tais como: dejetos suínos, bovinos e avícolas, efluentes líquidos provenientes de diferentes atividades industriais como fecalárias e frigoríficos e, produção e processamento de diferentes alimentos como arroz, trigo, soja e milho.

Em nível mundial, a exemplo do Brasil, observa-se que parte do potencial energético proveniente de diferentes resíduos orgânicos não é aproveitada para a produção de biogás, o que justifica o desenvolvimento constante de pesquisas para o aprimoramento da técnica de biodigestão anaeróbia, a fim de melhorar o funcionamento de biodigestores, maximizar a produção de biogás a partir de diferentes substratos orgânicos, melhorar a qualidade do biogás obtido, reduzir os custos do processo para a aplicação do biogás para fins específicos, como a utilização na forma de combustível veicular e, reduzir o consumo dos combustíveis tradicionais, altamente impactantes aos recursos naturais.

Biogas production as alternative source of energy: a review

Abstract

As result of the development of different agroindustrial activities, it has the generation of organic residues highly impacting to the natural resources. The present article has with aims to introduce a bibliographical review about the technique of anaerobic biodigestion applied to the treatment of organic waste, which allows the generation of biogas, which can be used as a heat source, vehicular fuel or transformed into electric energy. However, part of the energy potential from different organic wastes is not used for biogas production, which justifies the constant development of research to improve the technique of anaerobic biodigestion.

KEYWORDS: anaerobic biodigestion; agroindustrial effluents; methane; purification; organic waste.

REFERÊNCIAS

- AFAZELI, H.; JAFARI, A.; RAFIEE, S.; NOSRATI, M.; ALMASI, F. Investigation Yield and Energy Balances for Biogas Production from Cow and Poultry Manure. **International Journal OF Renewable Energy Research**, v.4, n.2, p.312-320, 2014.
- ALFA, I. M.; DAHUNSI, S. O.; IORHEMEN, O. T.; OKAFOR, C. C.; AJAYI, S. A. Comparative evaluation of biogas production from Poultry droppings, Cow dung and Lemon grass. **Bioresource Technology**, v.155, n.1, p.270-277, 2014.
- ALONSO-VICARIO, A.; OCHO-GÓMEZ, J. R.; GIL-RÍO, S.; GÓMEZ-JIMÉNEZ-ABERASTURI, O.; RAMÍREZ-LÓPEZ, C. A.; TORECILLA-SORIA, J.; DOMINGUÉZ, A. Purification and upgrading of biogas by pressure swing adsorption on synthetic and natural zeolites. **Microporous and Mesoporous Materials**, v.134, n.1-3, p.100-107, 2010.
- ASTALS, S.; NOLLA-ARDÈVOL, V.; MATA-ALVAREZ, J. Anaerobic co-digestion of pig manure and crude glycerol at mesophilic conditions: Biogas and digestate. **Bioresource Technology**, v.110, n.1, p. 63-70, 2012.
- AVACI, A. B.; SOUZA, S. N. M.; WERNCKE, I.; CHAVES, L. I. Financial economic scenario for the microgeneration of electric energy from swine culture-originated biogas. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.25, n.1, p.272-276, 2013.
- AVACIOGLU, A. O.; TÜRKER, U. Status and potential of biogas energy from animal wastes in Turkey. **Renewable and Sustainable Energy**, v.16, n.3, p.1557-1561, 2012.
- BARRERA, P. **Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural**. 2ª ed. São Paulo: Ícone, 2003.
- BOROWSKI, S.; WEATHERLEY, L. Co-digestion of solid poultry manure with municipal sewage sludge. **Bioresource Technology**, v.142, n.1, p.345-352, 2013.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Estudo sobre o potencial de geração de energia a partir de resíduos de saneamento (lixo, esgoto), visando incrementar o uso de biogás como fonte alternativa de energia renovável**. São Paulo: MMA, 2010.
- BUDZIANOWSKI, W. M. A review of potential innovations for production, conditioning and utilization of biogas with multiple-criteria assessment. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.54, n.1, p.1148-1171, 2016.
- CASTRILLÓN, L.; FERNÁNDEZ-NAVA, Y.; ORMAECHEA, P.; MARAÑÓN, E. Methane production from cattle manure supplemented with crude glycerin from de biodiesel industry in CSTR and IBR. **Bioresource Technology**, v.127, n.1, p.312-317, 2013.
- CÔTÉ, C.; MASSÉ, D. I.; QUESSY, S. Reduction of indicator and pathogenic microorganisms by psychrophilic anaerobic digestion in swine slurries. **Bioresource Technology**, v.97, n.4, p.686-691, 2006.
- CHEN, Y.; CHENG, J. J.; CREAMER, K. S. Inhibition of anaerobic digestion process: A review. **Bioresource Technology**, v.99, n.10, p.4044-4064, 2008.
- CHERIF, S.; ALOUI, F.; CARRIÈRE, F.; SAYADI, S. Lipase Pre-Hydrolysis Enhance Anaerobic Biodigestion of Soap Stock from an Oil Refining Industry. **Journal of Oleo Science**, v. 63, n.2, p. 109-114, 2014.
- CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios**. 2ª ed. Belo Horizonte: UFMG, 1997.
- FERRAZ, J. M. G.; MARIEL, I. E. **Biogás: uma fonte alternativa de energia**. Brasil, 1980.
- FERNÁNDEZ, J.; PÉREZ, M.; ROMERO, L. I. Effect of substrate concentration on dry mesophilic anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste (OFMSW). **Bioresource Technology**, v. 99, n.14, p. 6075-6080, 2008.

- GARFÍ, M.; MARTÍ-HERRERO, J.; GARWOOD, A.; FERRER, I. Household anaerobic digesters for biogas production in Latin America: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.60, n.1, p.599-614, 2016.
- GILROYED, B. H.; REUTER, T.; CHU, A.; HAO, X.; XU, W.; McALLISTER, T. A. Anaerobic digestion of specified risk materials with cattle manure for biogas production. **Bioresource Technology**, v.101, n.15, p.5780-5785, 2010.
- HOLM-NIELSEN, J. B.; SEADI, T. A.; OLESKOWICZ, P. The future of anaerobic digestion and biogas utilization. **Bioresource Technology**, v.100, n.22, p.5478-5484, 2009. Doi: 10.1016/j.biortech.2008.12.046
- HOSSEINI, S. E.; WAHID, M. A. Feasibility study of biogas production and utilization as a source of renewable energy in Malaysia. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.19, n.1, p.454-462, 2013.
- IOVANE, P.; NANNA, F.; DING, Y.; BIKSON, B.; MOLINO, A. Experimental test with polymeric membrane for the biogas purification from CO₂ and H₂S. **Fuel**, v.135, n.1, p.352-358, 2014.
- KPATA-KONAN, N. E.; TEÓPHILE, G.; FÉLIX, K. K.; YVES, B. K.; MARTIN, K. K.; FRANCIS, K. Y.; KABLAN, T. Improving anaerobic biodigestion of manioc wastewater with human urine as co-substrate. **International Journal of Innovation and Applied Studies**, v.2, n.3, p.335-343, 2013.
- KORZENIEWSKA, E.; ZIELINSKI, M.; FILIPKOWSKA, Z.; DEBOWSKI, M.; KWIATKOWSKI, R. Methanogenic archaeon as biogas producer in psychrophilic conditions. **Journal of Cleaner Production**, v.76, n.1, p.190-195, 2014.
- KUCZMAN, O.; TAVARES, M. H. F.; GOMES, S. D.; GUEDES, L. P. C.; GRISOTTI, G. Cassava starch extraction effluent treatment in a one phase tubular horizontal pilot reactor with support medium. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n.6, p.1270-1282, 2014.
- KULLAVANIJAYA, P.; THONGDUANG, P. Enhanced Biogas Production in Anaerobic Digestion of Cassava Wastewater Through Supplementation of Biodiesel Waste as Co-Substrate. **International Journal of Renewable Energy Research**, v.2, n.3, p.510-515, 2012.
- KUNZLER, K. R.; GOMES, S. D.; PIANA, P. A.; TORRES, D. G. B.; VILAS BOAS, M. A.; TAVARES, M. H. F. Anaerobic reactors with biofilter and different diameter-length ratios in cassava starch industry wastewater treatment. **Engenharia Agrícola**, v.33, n.4, p.612-624, 2013.
- KWIETNIEWSKA, E., TYS, J. Process characteristics, inhibition factors and methane yields of anaerobic digestion process, with particular focus on microalgal biomass fermentation. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 34, n.1, p.491-500, 2014.
- MARCOS, A.; AL-KASSIR, A.; MOHAMAD, A. A.; CUADROS, F.; LÓPEZ-RODRÍGUEZ. Combustible gas production (methane) and biodegradation of solid and liquid mixtures of meat industry wastes. **Applied Energy**, v.87, n.5, p. 1729-1735, 2010.
- MARCOS, A.; AL-KASSIR, A.; LÓPEZ, F.; CUADROS, F.; BRITO, P. Environmental treatment of slaughterhouse wastes in a continuously stirred anaerobic reactor: Effect of flow rate variation on biogas production. **Fuel Processing Technology**, v. 103, n.1, p.178-182, 2012.
- MARKOU, G. Improved anaerobic digestion performance and biogas production from poultry litter after lowering its nitrogen content. **Bioresource Technology**, v.196, n.1, p.726-730, 2015.
- MIRANDA, A. P.; LUCAS JUNIOR, J.; THOMAZ, M. C.; PEREIRA, G. T.; FUKAYAMA, E. H. Anaerobic biodigestion of pigs feces in the initial, growing and finishing stages

- fed with diets formulated with corn or sorghum. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n.1, p. 47-56, 2012.
- MUÑOZ, R.; MEIER, L.; DIAZ, I.; JEISON, D. A review on the state-of-the-art of physical/chemical and biological technologies for biogas upgrading. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, v.14, n.1, p.727-759, 2015.
- NASIR, I. M.; GHAZI, T. I. M.; OMAR, R. Production of biogas from solid organic wastes through anaerobic digestion: a review. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 95, n.2, p. 321-329, 2012.
- NIE, H.; JIANG, H.; CHONG, D.; WU, Q.; XU, C.; ZHOU, H. Comparasion of water scrubbing and propylene carbonate absorption for biogas upgrading process. **Energy e Fuels**, v.27, n.6, p.3239-3245, 2013.
- NOGUEIRA, L. A. H. **Biodigestão: a alternativa energética**. São Paulo, Nobel, 1986.
- PERSSON, M., JÖNSSON, O., WELLINGER, A. 2006. **Biogas upgrading to vehicle fuel standards and grid injection**. IEA Bioenergy, Task 37 – Energy from Biogas and Landfill Gas.
- POESCHL, M.; WARD, S.; OWENDE, P. Prospects for expanded utilization of biogas in Germany. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.14, n.7, p.1782-1797, 2010.
- RAO, M. S.; SINGH, S. P. Bioenergy conversion studies of organic fraction of MSW: kinetic studies and gas yield–organic loading relationships for process optimisation. **Bioresource Technology**, v. 95, n.2, p.173-185, 2004.
- RECEBLI, Z.; SELIMLI, S.; OZKAYMAK, M.; GONC, O. Biogas production from animal manure. **Journal of Engineering Science and Technology**, v.10, n.6, p.722-729, 2015.
- RIBAS, M. M. F.; BARANA, A. C. Start-up adjustment of a plug-flow digester for cassava wastewater (Manipueira) treatment. **Scientia Agricola**, v.60, n.2, p. 223-229, 2003.
- RITTER, C. M.; SANTOS, F. R.; CURTI, S. Potencial de produção de biogás com dejetos da suinocultura: sustentabilidade e alternativa energética em Santa Catarina. **Tópos**, v.7, n.1, p.32-40, 2013.
- SALOMON, K. R.; LORA, E. E. S. Estimate of the electric energy generating potential for different sources of biogas in Brazil. **Biomass and Bioenergy**, v.33, n.9, p.1101-1107, 2009.
- TORRES, M. L.; LLORÉNS, M. C. E. Effect of alkaline pretreatment on anaerobic digestion of solid wastes. **Waste management**, v. 28, n.1, p. 2229-2234, 2008.
- TUINIER, M. J.; ANNALAND, M. V. S. Biogas purification using cryogenic packed-bed technology. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, v.51, n.15, p.5552-5558, 2012.
- WESTERHOLM, M.; HANSSON, M.; SCHÜRER, A. Improved biogas production from whole stillage by co-digestion with cattle manure. **Bioresource Technology**, v.114, n.1, p.314-319, 2012.
- YE, J.; LI, D.; SUN, Y.; WANG, G.; YUAN, Z.; ZHEN, F.; WANG, Y. Improved biogas production from rice straw by co-digestion with kitchen waste and pig manure. **Waste Management**, v.33, n.12, p.2653-2658, 2013.
- ZHOU, J.; CAO, X.; YONG, X.; WANG, S.; LIU, X.; CHEN, Y.; ZHENG, T.; OUYANG, P. Effects of various factors on biogas purification and Nano-CaCO₃ synthesis in a membrane reactor. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, v.53, n.4, p. 1702-1706, 2014.

Recebido: 09/06/2017

Aprovado: 08/11/2018

DOI:

Como citar: FLECK, L.; TAVARES, M. H. F.; EYNG, E.; ORSSATTO, F. Produção de biogás como fonte alternativa de energia: uma revisão. R. Eletr. Cient. Inov. Tecnol, Medianeira, v 09 n19 e- e-5996. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/recit>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Leandro Fleck

fleckmissal@gmail.com

Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), Cascavel, Brasil.

Maria Hermínia Ferreira Tavares

mhstavar@gmail.com

Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), Cascavel, Brasil.

Eduardo Eyng

eduardoeyng@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Medianeira, Brasil.

Fábio Orssatto

fabio@orssatto.com

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Medianeira, Brasil

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

