



Fatores que influenciam o processo de digestão anaeróbia na produção de biogás

Caroline Monique Tietz SOARES^{1*}, Armin FEIDEN¹, Sidnei Gregório TAVARES¹

¹Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural Sustentável, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, Paraná, Brasil.

*E-mail: caroline.tietz@gmail.com

Recebido em junho/2017; Aceito em setembro/2017.

RESUMO: A digestão anaeróbia é definida como uma complexa interação de diferentes microrganismos, os quais degradam a matéria orgânica presente até a forma final de, principalmente, metano e dióxido de carbono. Este processo tem sido aplicado para o tratamento de efluentes tanto em países desenvolvidos como naqueles em desenvolvimento. Contudo, sua eficiência é afetada por uma série de fatores que vão desde as condições ambientais e de operação do sistema, natureza do substrato, até as características do biodigestor. Desta forma, o objetivo do presente estudo foi realizar uma revisão da literatura a fim de avaliar os fatores que influenciam o processo de digestão anaeróbia, pois estes podem diminuir e até mesmo interromper a produção de biogás.

Palavras-chave: metano, microrganismos, biodigestor.

Factors that influence the anaerobic digestion process in biogas production

ABSTRACT: Anaerobic digestion is defined as a complex interaction of different microorganisms, which degrade the organic matter present to the final form of mainly methane and carbon dioxide. This process has been applied for the treatment of effluents in both developed and developing countries. However, its efficiency is affected by many factors ranging from the environmental and operating conditions of the system, the nature of the substrate, to the characteristics of the biodigester. Thus, the objective of the present study was to perform a literature review to evaluate the factors that influence the process of anaerobic digestion, since these can decrease and even interrupt biogas production.

Keywords: methane, microorganisms, biodigester.

1. INTRODUÇÃO

O processo da digestão anaeróbia baseia-se na atividade de microrganismos, mediante condições de ausência de oxigênio (O₂) e controladas de operação, para a conversão biológica da matéria orgânica complexa em compostos químicos simples. Dentre os principais produtos obtidos tem-se o metano (CH₄) (CHONG; CHONG, 2008).

Em 1913, McBeth e Sales expuseram o entendimento dos fundamentos da digestão anaeróbia, os quais afirmavam que a matéria orgânica sob condições restritas de oxigênio era decomposta em metano, dióxido de carbono, hidrogênio e uma variedade de ácidos orgânicos em pequenas ou grandes quantidades (BUSWELL; MUELLER, 1952).

Em 1914, a digestão anaeróbia foi discutida por Thum e Reichle, como um processo simples realizado em duas fases, nomeadas no ano de 1916 por Imhoff de digestão ácida e metânica (JUCHEN, 2001).

Segundo Chernicharo (2007) o processo anaeróbio, estequiometricamente, pode ser representado por um composto orgânico genérico, constituído por moléculas de carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio, no qual um consórcio de microrganismos atua interativamente para a completa redução a materiais mais simples. Caracterizado como um processo bioquímico complexo que requer condições específicas, a digestão anaeróbia é composta por etapas sucessivas de hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese.

A degradação de compostos orgânicos pode ser seriamente afetada por uma série de fatores que na sua maioria são passíveis de controle, podendo ser divididos em dois grupos,

sendo eles: os relativos às condições de operação do sistema de tratamento e os relacionados às variações ambientais (LEITÃO et al., 2006).

Isto posto, este trabalho de pesquisa teve como objetivo realizar uma revisão da literatura a respeito da digestão anaeróbia e os fatores que influenciam seu processo, pois estes podem diminuir e até mesmo interromper a produção de biogás.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo constituiu-se de uma revisão da literatura a fim de relatar os fatores que influenciam o processo de digestão anaeróbia na produção de biogás.

Os trabalhos analisados para a produção deste material foram consultados através dos bancos de dados Scielo, Science Direct, American Chemical Society, etc. As principais palavras-chave utilizadas para a pesquisa foram “digestão anaeróbia” e “biogás”.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1 Digestão anaeróbia

A digestão anaeróbia de compostos orgânicos é um processo que ocorre de forma natural, em que sistemas de tratamentos biológicos de resíduos passaram a ser apenas uma imitação do mesmo, porém com o incremento da tecnologia (REICHERT, 2005).

Baseia-se na atividade de uma associação de microrganismos, perante condições anaeróbias e controladas de operação, objetivando a conversão biológica da matéria orgânica complexa em compostos químicos mais simples,

principalmente metano, o qual foi descoberto em 1776 pelo italiano Alessandro Volta, através da observação de bolhas que resultavam da decomposição de restos vegetais presentes em áreas alagadas, passando, em primeira instância, a ser denominado como “gás dos pântanos” (CHONG; CHONG, 2008).

Esse processo complexo pode ser dividido em quatro etapas principais: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (CHERNICHARO, 2007), conforme Figura 1.

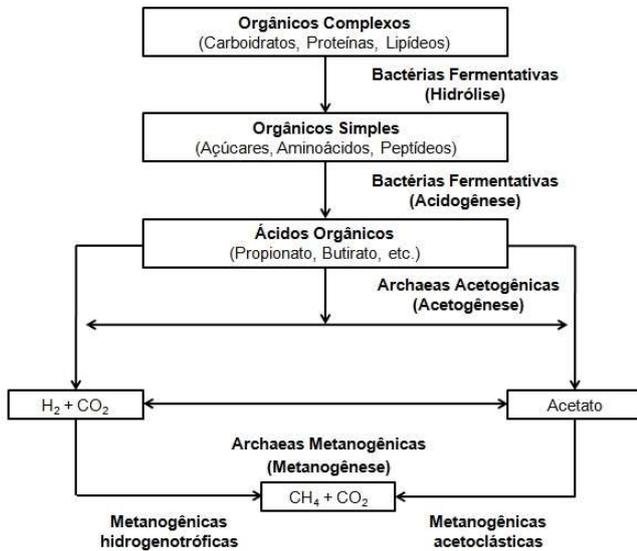


Figura 1. Balanço da digestão anaeróbia da matéria orgânica (Chernicharo, 2007).

Figure 1. Balance of anaerobic digestion of organic matter (Chernicharo, 2007).

523

3.1.1 Hidrólise

A hidrólise, primeira etapa da digestão anaeróbia, é realizada através da ação de exoenzimas excretadas pelas bactérias fermentativas hidrolíticas. Consiste na quebra de matéria orgânica complexa (carboidratos, proteínas e lipídeos) em materiais solúveis mais simples (açúcares, aminoácidos e ácidos graxos de cadeia longa), que possam ser assimilados pelos microrganismos (FARIA, 2012; SALOMON, 2007).

Existe a possibilidade de esta etapa ser mais lenta que as demais, limitando o processo global da digestão anaeróbia, sendo que os principais fatores associados são: tempo de retenção, temperatura, pH, tamanho e distribuição das partículas (FARIA, 2012). Contudo, segundo Monnet (2003), essa etapa de degradação anaeróbia pode ser acelerada por meio da adição de compostos químicos, proporcionando um maior rendimento na produção de metano.

Segundo Anderson et al. (2003), a composição de microrganismos que são ativos nesta etapa está em função do tipo de substrato contido no sistema. Entre os gêneros de bactérias hidrolíticas que se destacam na digestão anaeróbia pode-se citar:

- *Clostridium*, *Micrococcus* e *Staphylococcus*: gêneros produtores de lipases para degradação de lipídeos à ácidos graxos;

- *Bacteroides*, *Butyvirbio*, *Clostridium*, *Fusobacterium*, *Selenomonas*, *Streptococcus*, *Proteus*, *Peptococcus* e *Bacillus*: gêneros produtores de proteases para degradação de proteínas à aminoácidos;

- *Clostridium*, *Staphylococcus*, *Acetivibrio*, *Eubacterium*: gêneros produtores de amilases para degradação de polissacarídeos à açúcares menores.

3.1.2 Acidogênese

Na acidogênese, os compostos provenientes da etapa anterior são absorvidos e metabolizados pelas bactérias fermentativas acidogênicas, as quais excretam substâncias simples, como ácidos graxos voláteis de cadeia curta, alcoóis, ácido láctico, compostos minerais (CO₂, H₂, NH₃, H₂S, entre outros), além de novas células bacterianas (ABREU, 2007; BOHRZ, 2010).

A maioria das bactérias desta etapa é considerada anaeróbia estrita, porém, segundo Bohrz (2010), aproximadamente 1% delas consiste em bactérias facultativas, as quais podem metabolizar a matéria orgânica por via oxidativa, usando o oxigênio molecular, eventualmente presente, como acceptor de elétrons, removendo resíduos de oxigênio dissolvido no sistema. Fato importante, pois permite eliminar qualquer efeito tóxico aos microrganismos estritamente anaeróbios que dão sequência a biodigestão.

Os gêneros de bactérias acidogênicas mais comuns em reatores anaeróbios são: *Clostridium*, *Bacteroides*, *Ruminococcus*, *Butyribacterium*, *Propionibacterium*, *Eubacterium*, *Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Pseudomonas*, *Desulfobacter*, *Micrococcus*, *Bacillus* e *Escherichia* (MENDONÇA, 2009).

3.1.3 Acetogênese

As archaeas acetogênicas são as responsáveis pela transformação dos produtos gerados na etapa acidogênica em acetato, hidrogênio e dióxido de carbono (substratos intermediários que serão metabolizados pelas archaeas metanogênicas) (SALOMON, 2007).

Os gêneros das archaeas acetogênicas encontradas em processos anaeróbios são: *Syntrophobacter* e *Syntrophomonas* (CHERNICHARO, 2007).

3.1.4 Metanogênese

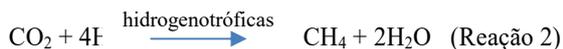
A metanogênese, etapa final do processo de degradação anaeróbia de compostos orgânicos, é a responsável direta pela produção de metano e dióxido de carbono. Segundo Pinheiro (2006), as archaeas metanogênicas aproveitam um limitado número de substratos (ácido acético, metanol, hidrogênio, dióxido de carbono, ácido fórmico, metilaminas e monóxido de carbono) e são divididas em dois grupos:

- Metanogênicas acetoclásticas: o acetato é utilizado como fonte de energia e carbono. Através da redução do ácido acético produzem gás carbônico e metano (Reação 1), sendo responsáveis por 60 a 70% de toda produção de metano (MENDONÇA, 2009).



- Metanogênicas acetoclásticas: Os gêneros de metanogênicas acetoclásticas mais encontrados são: *Methanosarcina* e *Methanosaeta* (CHERNICHARO, 1997).

- Metanogênicas hidrogenotróficas: utilizam o gás carbônico como fonte de carbono e são acceptoras de átomos de hidrogênio, sendo que este atua como fonte de energia (Reação 2) (LOUZADA, 2006).



Os principais gêneros de metanogênicas hidrogenotróficas encontrados em reatores anaeróbios são: *Methanobacterium*, *Methanospirillum*, *Methanobrevibacter*, *Methanoculleus* e *Methanocorpusculum* (BITAR, 2003; MORRIS, 2011).

3.2 Fatores que influenciam a digestão anaeróbia

A digestão anaeróbia pode ser afetada por diferentes fatores, os quais estão relacionados com o substrato, as características do biodigestor, bem como as condições de operação. Se um determinado fator provoca desequilíbrio no processo, este se deve principalmente a uma maior sensibilidade das archaeas metanogênicas, que deixam de produzir o metano, ocasionando o aumento na concentração dos ácidos orgânicos voláteis e de outros produtos intermediários, inibindo ainda mais a produção do biogás (OLIVEIRA, 2009; MEYSTRE, 2007).

3.2.1 pH

Alterações no pH afetam sensivelmente os microrganismos envolvidos no processo de digestão anaeróbia, podendo revelar-se de formas variadas, modificando suas estruturas e, conseqüentemente, fazendo-os perder suas características originais, aumentando ou diminuindo sua toxicidade (MEYSTRE, 2007; SALOMON, 2007).

Portanto, é de fundamental importância buscar manter uma faixa adequada, a qual possibilite o desenvolvimento máximo da maior parte dos microrganismos envolvidos, uma vez que o pH está diretamente relacionado às concentrações de ácidos orgânicos voláteis no meio, resultando do equilíbrio entre populações de microrganismos e a alcalinidade total do sistema. Qualquer desequilíbrio no sistema acarreta em um acúmulo de ácidos orgânicos no meio e em conseqüência, queda do pH (PEREIRA et al., 2009).

Segundo Campos et al. (2006), normalmente os microrganismos têm o seu pH ótimo próximo a neutralidade, com o nível ideal entre 6,5 e 7,5. Em condições acima ou abaixo desta faixa a produção de metano decresce, tendendo a cessar (SOARES, 1990).

3.2.2 Nutrientes

A presença de concentrações adequadas de macro e micronutrientes é fundamental para que os processos de tratamento de efluentes sejam operados com êxito (BOHRZ, 2010).

A quantidade de nitrogênio e fósforo, nutrientes essenciais em todos os processos biológicos, em relação à matéria orgânica presente, depende da eficiência dos microrganismos em obterem energia para síntese a partir das reações bioquímicas de oxidação do substrato orgânico (LOUZADA, 2006).

Segundo Annachatre (1996), a relação DQO:N:P de 300:5:1 em sistemas anaeróbios é recomendada durante a fase de partida do reator, embora razões menores, tais como a de 600:5:1 possam ser mantidas durante a operação do reator no estado de equilíbrio. Speece (1996) considerou que a relação de 500:5:1, em geral, é suficiente para atender às necessidades de macronutrientes pelos microrganismos anaeróbios.

O enxofre, além dos nutrientes já citados, também é considerado essencial e sua concentração, em geral, deve ser

da mesma ordem de grandeza ou levemente superior à de fósforo (MALINA; POHLAND, 1992).

Já o ferro, cobalto, zinco, níquel, cobre e selênio estão entre os micronutrientes considerados essenciais, atuando como estimulantes de processos anaeróbios (SALOMON, 2007; LOUZADA, 2006).

3.2.3 Tempo de Retenção

É o tempo necessário para que um substrato qualquer seja totalmente digerido no biodigestor, ou seja, é o tempo entre a entrada do efluente e a saída do afluente do digestor (COMASTRI FILHO, 1981). Seu valor depende da biomassa utilizada, do tipo de digestor, além de outros fatores, mas em geral pode variar de dias, em certos biodigestores rurais, a apenas algumas horas, em biodigestores industriais (SALOMON, 2007).

O tempo de retenção é definido pela relação entre o volume do digestor e o volume da carga diária. Quando combinado com a taxa de decomposição dos sólidos voláteis é responsável pela eficiência do digestor. Desta forma, o menor tempo de retenção e o maior de decomposição são resultados dos melhores digestores (SALOMON, 2007).

3.2.4 Agitação do Sistema

Sejam os sistemas de agitação feitos através de agitação mecânica, retorno de gás produzido, recirculação do lodo ou até pela liberação de gás na forma de pequenas bolhas, permitem um maior contato entre os microrganismos e a matéria orgânica, evitando a formação das chamadas “zonas mortas”, as quais são resultado da sedimentação do lodo e podem causar perda de parte da capacidade útil do reator (BOHRZ, 2010).

A aplicação de agitação no sistema de tratamento de resíduos garante melhor contato entre a biomassa ativa e a alimentação; uniformidade física, química e biológica em todo o reator; bem como a dispersão rápida dos produtos metabólicos da digestão e de qualquer substância tóxica que entre no sistema, minimizando assim os efeitos inibidores da atividade microbiana; além de prevenir a formação de espuma (bolhas esbranquiçadas) e o desenvolvimento de gradientes de temperatura no interior do reator (MONNET, 2003; VITORATTO, 2004).

3.2.5 Materiais Tóxicos

Segundo Chernicharo (2007), a adequada degradação dos compostos orgânicos por qualquer processo biológico depende da manutenção de um ambiente favorável para os microrganismos.

Qualquer composto presente no substrato em concentrações suficientemente elevadas pode ser tóxico, entretanto, a toxicidade de materiais pode ser evitada no processo, enquanto as concentrações se mantiverem toleráveis ao crescimento microbiano por formação de complexos insolúveis ou precipitação, adaptação dos microrganismos e utilização de compostos antagônicos (CHERNICHARO, 2007; CHEN et al., 2008).

A toxicidade por sais está associada ao cátion do sal. A ordem crescente de inibição, com base na concentração molar é: Na⁺ (0,032 N), NH₄⁺ (0,25 N), K⁺ (0,15 N), Ca²⁺ (0,11 N) e Mg²⁺ (0,16 N). Porém, se a biomassa adaptar-se às condições, estas concentrações podem passar a valores mais elevados (MENDONÇA, 2009).

Já a toxicidade por sulfetos depende da DQO do afluente, sendo que quanto maior for a DQO, maior será a produção de metano e maior a quantidade de sulfetos na forma gasosa, retirados da fase líquida e, portanto, menores serão os problemas com toxicidade no reator. Admite-se que na relação de DQO por sulfatos maior que 10 não ocorrerão problemas inibitórios (MENDONÇA, 2009).

São tóxicos inorgânicos o cromo, cromatos, arsênio, cianeto, entre outros, os quais em baixas concentrações são adversos ao tratamento anaeróbio, porém, podem ser tolerados quando estão combinados com sulfetos, formando compostos que são insolúveis (sais de sulfeto), sem efeito adverso ao processo (SALOMON, 2007; VITORATTO, 2004).

3.2.6 Temperatura

Dentre os fatores físicos que afetam o crescimento microbiano, a temperatura é um dos mais importantes na seleção das espécies, isso em virtude de os microrganismos não possuírem meios de controlar sua temperatura interna, a qual é então determinada pela temperatura ambiente externa (CHERNICHARO, 1997).

Segundo Lettinga et al. (1996), na maioria dos processos biológicos, três faixas de temperatura podem ser associadas ao crescimento microbiano (Tabela 1).

Tabela 1. Faixas de temperatura do crescimento microbiano.
Table 1. Microbial growth temperature ranges.

Faixa	Intervalo (°C)
Psicrófila	Entre 0 e \leq 20
Mesófila	Entre 20 e \leq 45
Termófila	Entre 45 e 70, e acima

Fonte: Adaptado de Lettinga et al. (1996).

Apesar da formação microbiana do metano poder ocorrer em condições extremas de temperatura, de 0 a 97 °C, para Chernicharo (1997), dois níveis ótimos têm sido associados à digestão anaeróbia, de 30 a 35 °C na faixa mesófila e de 50 a 55 °C na faixa termófila. A maior parte dos biodigestores tem sido projetada na faixa mesófila, embora também seja possível a operação destes na faixa termófila (CHERNICHARO, 1997).

Segundo Metcalf e Eddy (1991), a temperatura ótima para a faixa mesófila varia entre 30 a 38 °C e para termófila entre 49 a 57 °C. Já Grady et al. (1999) destacaram que as temperaturas ótimas para as faixas mesófilas e termófilas variam de 30 até 40 °C e 50 a 60 °C, respectivamente.

De acordo com Soares (1990), quando o processo é operado na faixa termófila, há maior instabilidade nos parâmetros de controle, e quando ocorre variação da temperatura esse problema se agrava, o que pode afetar mais seriamente o processo.

Estudando a influência da temperatura no desempenho de reatores com esterco bovino, Castro e Cortez (1998) relataram que a faixa mesófila, de 30 a 40 °C apresentou-se a mais favorável à produção de biogás e à eficiência na degradação de sólidos de esterco bovino.

Souza (2001), ao observar a eficiência da digestão anaeróbia no tratamento de resíduos de suínos (terminação) nas temperaturas de 25, 35 e 40 °C, sob efeito ou não de agitação, com tempos de retenção hidráulica de 30, 25, 15 e 10 dias, concluiu que o melhor desempenho foi verificado na temperatura de 35 °C.

Massé e Masse (2001), ao estudarem o efeito das temperaturas de 20, 25 e 30 °C no tratamento de águas residuárias de abatedouro em biodigestor anaeróbio sequencial, relataram que a produção de metano decaiu quando o biodigestor foi operado na temperatura de 20 °C.

Segundo Van Haandel e Lettinga (1994), em temperaturas altas a velocidade das reações biológicas é maior, o que resulta em uma operação mais eficiente e em um tempo de retenção hidráulica reduzido. Ainda de acordo com os autores a digestão anaeróbia também é possível em baixas temperaturas (10°C), porém a eficiência e a carga orgânica diminuem consideravelmente com o arrefecimento.

Speece (1996), observou que há um declínio de aproximadamente 34% da atividade dos microrganismos para cada 5 °C de queda de temperatura. O autor considerou a temperatura ótima na faixa de 25 a 30 °C para processos mesofílicos.

Segundo Mckinney (1962), em virtude da água que existe em quase 80% do corpo celular dos microrganismos, a grande parte deles não pode crescer em baixas temperaturas. O microrganismo perde temperatura para o ambiente e, conseqüentemente, a velocidade das reações intracelulares é reduzida. Entretanto, uma pequena parcela de microrganismos tem a habilidade de resistir a baixas temperaturas, pois possuem pouca água em seu corpo celular, porém a taxa de crescimento e de reação metabólica nestes é muito baixa.

De acordo com Parkin e Owen (1986), é mais importante impedir a ocorrência de variações bruscas de temperatura do que operar na faixa considerada ótima, uma vez que estas oscilações afetam a população microbiológica presente no reator.

3.3 Biogás

O termo biogás é utilizado para denominar o produto obtido a partir da decomposição anaeróbia (ausência de oxigênio) de resíduos orgânicos. Sua composição é a porcentagem de gases, que varia de acordo com o substrato a ser biodigerido, as condições de funcionamento da biodigestão, bem como o tipo de biodigestor utilizado, entre outros fatores (FARIA, 2012).

A composição média dos gases produzidos a partir da biodigestão anaeróbia está descrita na Tabela 2.

Tabela 2. Composição média da mistura gasosa do biogás.
Table 2. Average composition of the biogas gas mixture.

Gases	Intervalo (%)
Metano	40 - 75
Dióxido de Carbono	25 - 40
Hidrogênio	1 - 3
Nitrogênio	0,5 - 2,5
Oxigênio	0,1 - 1
Ácido Sulfídrico	0,1 - 0,5
Amônia	0,1 - 0,5
Monóxido de Carbono	0 - 0,1

Fonte: Adaptado de Castanón (2002).

O potencial teórico de energia do biogás está em função da quantidade de metano contida no gás, o qual determina o seu PCI (poder calorífico inferior). O poder calorífico do biogás varia, mantendo-se entre 22.500 a 25.000 kJ/m³, admitindo o metano com aproximadamente 35.500 kJ/m³. A Tabela 3 apresenta uma comparação entre os PCI's de diferentes gases (SALOMON, 2007).

Tabela 3. PCI de diferentes gases.
Table 3. LCP of different gases.

Gás	PCI (kJ/m ³)
Metano	35.558
Propano	92.109
Butano	117.230
Gás Natural	31.819
Biometano	23.027

Fonte: Adaptado de Castanón (2002).

De acordo com o CENBIO (2001), o uso do biogás, de forma geral, apresenta inúmeras vantagens, dentre elas:

- Geração descentralizada e próxima aos pontos de carga, a partir de uma fonte renovável que vem sendo tratada como resíduo;
- Possibilidade eventual de venda de eletricidade à rede;
- Redução das emissões de metano para a atmosfera;
- Redução do consumo de combustíveis fósseis, principais responsáveis pelo aumento do efeito estufa;
- Geração de empregos.

3.4 Biodigestor

A interação do homem com a natureza, que se iniciou com uma pequena interferência nos ecossistemas, atualmente tem culminado em uma forte pressão exercida sobre os recursos naturais (TOFFLER, 1995).

Os avanços da produtividade agrícola desencadearam uma série de impactos ambientais e sociais negativos: poluição atmosférica, destruição de florestas e da fauna, erosão dos solos, contaminação dos alimentos, concentração de terras e riquezas, intensos fluxos migratórios para os centros urbanos, entre outros (EHLERS, 1999).

Em virtude da intensificação da insatisfação com o status da agricultura moderna, esta passou a buscar um modelo no qual a dimensão da sustentabilidade estivesse presente, contribuindo para a disseminação da chamada agricultura sustentável, que busca conciliar desenvolvimento econômico com uma menor quantidade de impactos adversos ao meio ambiente (EHLERS, 1999).

A geração de novas fontes alternativas de energia é um fator importante na busca dessa sustentabilidade ambiental. Leite (1997) afirmou que a questão energética assume o caráter de desafio para os países em desenvolvimento e constata ainda que no Brasil, o qual ainda não atendeu às necessidades elementares de grande parte de sua população, o crescimento da demanda de energia tende a permanecer elevado.

As atividades poluentes ou potencialmente poluentes, como muitas produções animais, necessitam obter licenciamento ambiental para sua implantação e operação, conforme a Resolução CEMA nº 65, de 01 de julho de 2008, que dispõe sobre o licenciamento ambiental, estabelece critérios e procedimentos a serem adotados para as atividades poluidoras, degradadoras e/ou modificadoras do meio ambiente e adota outras providências.

No caso específico da criação dos animais, exige-se a instalação de dispositivos para tratamento dos dejetos, como esterqueiras, lagoas ou biodigestores, conforme a Resolução SEMA nº 31, de 24 de agosto de 1998 e a Instrução Normativa IAP/DIRAM nº 105.006, de 23 de junho de 2009. A primeira dispõe sobre licenciamento ambiental, autorização ambiental e outros procedimentos. A segunda, voltada aos procedimentos de licenciamento de suinocultura, tem como

finalidade estabelecer as características dos empreendimentos, critérios - inclusive locais e técnicos, procedimentos, trâmite administrativo, níveis de competência e premissas.

Considerando que o produtor precisa implantar um dispositivo de tratamento de resíduos, em função das exigências do licenciamento, justifica-se que este seja um biodigestor, visto que o mesmo, além de tratar os resíduos ainda produz biogás e biofertilizante, permitindo a agregação de valor a um produto que antes não possuía importância econômica direta, além de garantir condições sanitárias melhores para a vida humana (GALINKIN; BLEY, 2009).

O biodigestor se trata basicamente de uma estrutura projetada e construída a fim de produzir a situação mais favorável possível ao desenvolvimento de microrganismos especializados, típicos de situações de total ausência de oxigênio, que possuem a capacidade de degradar a biomassa e transformá-la em substâncias mais simples, como produtos gasosos e biofertilizante (GALINKIN; BLEY, 2009).

A classificação dos biodigestores varia de acordo com o modo de operação, que pode ser contínuo ou batelada. No sistema contínuo, os abastecimentos com o material orgânico a ser tratado são periódicos e contínuos, assim como a saída do substrato já tratado. Já o sistema em batelada recebe um volume total, sendo este retido até o final do processo de degradação, e posteriormente retirado (MACHADO, 2011).

No meio rural do Brasil, biodigestores fáceis de serem operados e que apresentam custos reduzidos cada vez mais ganham visibilidade. A escolha do biodigestor adequado para a quantidade e tipo de resíduo presente em uma propriedade é a chave para o desenvolvimento e processo apropriados (LUCAS JUNIOR; SANTOS, 2000).

A economia financeira obtida através do aproveitamento do biogás e biofertilizante gerado, melhoria ambiental, bem como ganhos sociais, estão dentre os benefícios pretendidos com a implementação desses sistemas de tratamento (SILVA, 2009).

4. CONCLUSÕES

A produção de biogás a partir da digestão anaeróbia é considerada uma promissora fonte de energia renovável, colabora com o tratamento de materiais orgânicos, entre outros. Este processo pode ser afetado por diferentes fatores, portanto devem-se buscar as melhores condições possíveis, evitando principalmente mudanças bruscas, pois estas podem provocar um desequilíbrio no processo e afetar o desempenho da digestão adversamente, podendo até resultar na sua interrupção.

A combinação harmônica dos fatores que influenciam o processo de digestão anaeróbia, associada ao fator economicidade é o que dita a eficácia do sistema, sendo, portanto, fundamental que futuros trabalhos na área busquem alternativas para alcançar esta faixa ideal em um processo.

5. REFERÊNCIAS

- ABREU, E. F. **Estudo da diversidade microbiana metanogênica em reatores UASB tratando esgoto sanitário**. 2007. 93 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.
- ANDERSON, K.; SALLIS, P.; UYANIK, S. Anaerobic treatment processes. In: MARA, D.; HORAN, N. (Eds.)

- The handbook of water and wastewater microbiology.** Academic Press, p. 391-396, 2003.
- ANNACHHATRE, A. P. Anaerobic treatment of industrial wastewaters. **Resources, Conservation And Recycling**, v. 16, p. 161-166, 1996.
- BITAR, A. L. **Mineralização e formação de gases da degradação de *Eichhornia azurea* Kunth e *Egeria najas* Planch.** 2003. 133 f. Tese (Doutorado em Ciências – Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, São Carlos, 2003.
- BOHRZ, G. I. **Geração de metano em lagoa anaeróbia: um estudo de caso em abatedouro de bovinos.** 2010. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Santa Maria, 2010.
- BUSWELL A. M.; MUELLER H. F. Mechanism of methane fermentation. **Industrial and Engineering Chemistry**, v. 44, n. 3, p. 550-552, 1952.
- CAMPOS, C. M. M.; CARMO, F. R.; BOTELHO, C. G.; COSTA, C. C. Development and operation of an upflow anaerobic sludge blanket reactor (UASB) treating liquid effluent from swine manure in laboratory scale. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, p. 140-147, 2006.
- CASTANÓN, N. J. B. **Biogás, originado a partir dos rejeitos rurais.** São Paulo: Universidade de São Paulo, 2002. 66 p.
- CASTRO, L. R.; CORTEZ, L. A. B. Influência da temperatura no desempenho de biodigestores com esterco bovino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 1, p. 97-102, jan./abr. 1998.
- CENBIO - Centro Nacional de Referência em Biomassa. **Nota Técnica VII: geração de energia a partir do biogás gerado por resíduos urbanos e rurais.** Florianópolis, 2001. Disponível em: <<http://cenbio.iee.usp.br/download/documentos/Nota%20t%E9cnica%20VII%20-%20biog%E1s.pdf>>. Acesso em: 29 mar. 2017.
- CHEN, Y.; CHENG, J. J.; CREAMER, K. S. Inhibition of anaerobic digestion process: A review. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 4044-4064, 2008.
- CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores Anaeróbios.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, v. 5, 1997. 245 p.
- CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores Anaeróbios.** 2. ed. ver. e ampl. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, v. 5, 2007. 377 p.
- CHONG, S.; CHONG, J. Methane: a natural gas. **Microbiology Today**, p. 124-127, 2008.
- COMASTRI FILHO, J.A. **Biogás, independência energética do Pantanal Mato-grossense.** Circular Técnica n. 9. Corumbá: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA e Unidade de Execução de Pesquisa de Âmbito Estadual de Corumbá – UEPAE, 1981. 53 p.
- EHLERS, E. **Agricultura sustentável: origens e perspectivas de um novo paradigma.** 2. ed. Guaíba: Agropecuária, 1999. 157 p.
- FARIA, R. A. P. **Avaliação do potencial de geração de biogás e de produção de energia a partir da remoção da carga orgânica de uma estação de tratamento de esgoto – estudo de caso.** 2012. 63 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.
- GALINKIN, M.; BLEY, C. **Agroenergia da biomassa residual: perspectivas energéticas, socioeconômicas e ambientais.** 2 ed. rev. Foz do Iguaçu/Brasília: Itaipu Binacional, Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, TechnoPolitik Editora, 2009. 140 p.
- GRADY, C. P. L.; DAIGGER, G. T.; LIM, H. C. **Biological wastewater treatment.** 2. ed., Marcel Dekker, Inc., New York, 1999, p. 599-689.
- JUCHEN, C. R. Tratamento anaeróbio. **In: Tratamento de resíduos líquidos.** Medianeira: 2001, cap. 4, p. 47- 61.
- LEITÃO, R. C.; VAN HAANDEL, A. C.; ZEEMAN, G.; LETTINGA, G. The effects of operational and environmental variations on anaerobic wastewater treatment systems: a review. **Bioresource Technology**, v. 97, p. 1105-1118, 2006.
- LEITE, A. D. **A energia do Brasil.** Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1997. 598 p.
- LETTINGA, G.; HULSHOF POL, L. W.; ZEEMAN, G. **Biological wastewater treatment.** Part I: Anaerobic wastewater treatment. Lecture Notes, Wageningen Agriculture University, ed January, 1996.
- LOUZADA, A. G. **Avaliação da atividade metanogênica específica de lodos com condicionamento hidrolítico provenientes do sistema UASB + BFs.** 2006. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico, Vitória, 2006.
- LUCAS JUNIOR, J.; SANTOS, T. M. B. Aproveitamento de resíduos da indústria avícola para produção de biogás. **In: Anais do Simpósio sobre Resíduos da Produção Avícola.** Concórdia: CNPSA, p. 27-43, 2000.
- MACHADO, C. R. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de exposição ao ar.** 2011. 51 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2011.
- MALINA, J. F.; POHLAND, F. G. **Design of anaerobic processes for the treatment of industrial and municipal wastes.** Lancaster: Technomic (Water Quality Management Library), v. 7, 1992. 142 p.
- MASSÉ, D. I.; MASSE, L. The effect of temperature on slaughterhouse wastewater treatment in anaerobic sequencing batch reactors. **Bioresource Technology**, v. 76, p. 91-98, 2001.
- McKINNEY, R. E. **Microbiology for sanitary engineers.** New York et al.: McGraw-Hill Book Company, Inc., 1962. 293 p.
- MENDONÇA, E. F. **Tratamento anaeróbio de efluentes oriundos da bovinocultura de leite em biodigestor tubular.** 2009. 62 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Cascavel, 2009.
- METCALF; EDDY. **Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse.** 3. ed. Singapore: McGraw-Hill Book Company, Inc., 1991. 1334 p.
- MEYSTRE, J. A. **Partida de um reator UASB, em escala piloto, para tratamento de efluente doméstico: estudo de caso para a região da Serra da Mantiqueira.** 2007. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2007.

- MONNET, F. **An introduction to anaerobic digestion of organic wastes**. Remade Scotland: 2003. 48 p.
- MORRIS, R. L. **Relating Methanogen Community Structure to Function in Anaerobic Wastewater Digesters**. Ph.D. dissertation, Marquette University. 2011.
- OLIVEIRA, R. D. **Geração de energia elétrica a partir do biogás produzido pela fermentação anaeróbia de dejetos em abatedouro e as possibilidades no mercado de carbono**. 2009. 79 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica) – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2009.
- PARANÁ. **Resolução CEMA nº 65, de 01 de julho de 2008. Dispõe sobre o licenciamento ambiental, estabelece critérios e procedimentos a serem adotados para as atividades poluidoras, degradadoras e/ou modificadoras do meio ambiente e adota outras providências**. Curitiba (PR): Diário Oficial do Estado, 2008.
- _____. **Resolução SEMA nº 31, de 24 de agosto de 1998. Dispõe sobre licenciamento ambiental, autorização ambiental e outros procedimentos**. Curitiba (PR): Diário Oficial do Estado, 1998.
- PARKIN, G. F.; OWEN, W. F. Fundamentals of anaerobic digestion of wastewater sludge. **Journal of Environmental Engineering**, v. 112, n. 5, p. 867-920, 1986.
- PEREIRA, E. L.; CAMPOS, C. M. M.; MONTERANI, F. Efeitos do pH, acidez e alcalinidade na microbiota de um reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) tratando efluentes de suinocultura. **Revista Ambiente & Água - An interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, v. 4, n. 3, p. 157-168, 2009.
- PINHEIRO, D. M. **Influência da velocidade de recirculação no tratamento anaeróbio de esgoto sintético em biorreator operado em batelada sequencial contendo biomassa granulada**. 2006. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Escola de Engenharia Mauá, Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2006.
- REICHERT, G. A. Aplicação da digestão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos: uma revisão. **In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Campo Grande, 2005. 16 p.
- SALOMON, K. R. **Avaliação técnico-econômica e ambiental da utilização do biogás proveniente da biodigestão da vinhaça em tecnologias para geração de eletricidade**. 2007. 219 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Itajubá, Instituto de Engenharia Mecânica, Itajubá, 2007.
- SILVA, A. A. **Viabilidade técnica e econômica da implantação da atividade anaeróbia e aplicação de biofertilizante nos atributos de solo e plantas**. 2009. 168 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2009.
- SOARES, H. M. **Digestão anaeróbia de efluentes de fábricas de cervejas e refrigerantes em reator tipo fluxo ascendente com manta de lodo (UASB)**. 1990. 253 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990.
- SOUZA, C. F. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos: obtenção de dados e aplicação no desenvolvimento de um modelo dinâmico de simulação da produção de biogás**. 2001. 140 f. Tese (Doutorado em Zootecnia - Produção Animal) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2001.
- SPEECE, R. E. **Anaerobic biotechnology for industrial wastewaters**. Nashville, Tenn: Archae Press, 1996. 394 p.
- TOFFLER, A. **A terceira onda**. São Paulo: Record, 1995.
- VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgotos: um manual para regiões de clima quente**. Editora Eppgraf, 1994. 208 p.
- VITORATTO, E. **Tratamento de efluentes líquidos orgânicos: Sistemas Anaeróbios**. PROACQUA Processos de Tratamento de Efluentes e Com. Ltda (diretor técnico). São Paulo: Faculdade Oswaldo Cruz, 2004. 13 p.