

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM GESTÃO AMBIENTAL

JAKLINE BROCO DOS SANTOS

METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MEDIANEIRA
2013

JAKLINE BROCO DOS SANTOS

METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do Grau de Tecnóloga no Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Fábio Orssatto.

MEDIANEIRA
2013



TERMO DE APROVAÇÃO

METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Por

Jakline Broco dos Santos

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado às 18:40 h do dia 06 de Setembro de 2013 como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo(a) no Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Medianeira. Os (as) candidatos (as) foram julgados (as) pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho

Prof. M.Sc. Fábio Orssatto
UTFPR – Câmpus Medianeira
(Orientador)

Prof. Dr. Laercio Mantovani Frare
UTFPR – Câmpus Medianeira

Prof. Dr. Eduardo Eyng
UTFPR – Câmpus Medianeira

***A FOLHA DE APROVAÇÃO ASSINADA ENCONTRA-SE NA COORDENAÇÃO DE CURSOS**

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, segundo ao meu namorado por ter me apoiado nos meus momentos mais difíceis e ter me encorajado quando necessário, ao meu orientador por ter me ajudado e me orientado a chegar até aqui, aos meus pais por terem me guiado por uma vida voltada aos estudos.

"A sabedoria não pode ser transmitida. A sabedoria que um sábio tenta transmitir soa mais como loucura."

Hermann Hesse.

RESUMO

SANTOS, JaklineB.**METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS.** 2013.Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação em Tecnologia em Gestão Ambiental) Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira,2013.

A busca por novas tecnologias que estudam meios para a produção de energias renováveis no mundo vem se estendendo de forma substancial, graças à grande quantidade consumida, em todo o mundo se buscam formas para a produção energia “limpa”, por exemplo, de energia eólica, biomassa, gás natural e biogás. Uma dessas formas de energia é a produção pela aplicação de sistemas anaeróbios como o biodigestor. O biogás pode ser utilizado como fonte de energia para a substituição de meios energéticos convencionais. Este trabalho apresenta uma metodologia para estudar e avaliar a melhor composição da mistura de resíduos e efluentes buscando a produção de biogás por meio de eudiômetros o que contribuirá para futuros trabalhos.

Palavras chave: Biodigestão anaeróbia, tratamento de efluente, eudiômetro

ABSTRACT

SANTOS, JaklineB.**METHODOLOGY FOR DETERMINING THE PRODUCTION OF BIOGAS.**2013.Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Gestão Ambiental) Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2013.

The search for new technologies that are studying ways to produce renewable energy in the world comes from extending substantially, thanks to the large amount consumed worldwide is seeking ways to produce "clean" energy, such as wind power , biomass, natural gas and biogas. One of these forms of energy production is the application of systems such as anaerobic digester. Biogas can be used as an energy source for replacing conventional energy resources. This paper presents a methodology for studying and evaluating the best composition of the mixture of waste and effluents seeking the production of biogas through eudiometer which will contribute to future work.

Keyword: anaerobic digestion, effluentreatment, eudiometer

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – BALANÇO ENERGETICO NACIONAL	24
Figura 2 – PARTES DE UM EUDIMEOTRO	27
Figura 3 – MATERIAIS PARA DETERMINAÇÃO DE AMÔNIA E ACIDO SULFIDRICO.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – EXEMPLO DE TABELA PARA REGISTRO DE RESULTADO DURANTE O EXPERIMENTO	29
Tabela 2 – RELAÇÃO DE ALCALINIDADES	35

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA	13
2.1 SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES.....	13
2.2 SISTEMAS ANAERÓBIOS.....	14
2.3 BIODIGESTÃO.....	14
2.3.1 HIDRÓLISE.....	16
2.3.2 Acidogênese.....	17
2.2.3 Acetogênese.....	18
2.2.4 Metanogênese.....	18
2.3 BIOGÁS.....	19
2.4 BIODIGESTORES.....	20
2.5 ENERGIAS RENOVÁVEIS.....	23
3.MATERIAIS E METODOS.....	24
3.1METODOLOGIA PARA COLETA DE AMOSTRAS DE UM LODO DE BIODIGESTOR.....	26
3.2 METODOLOGIA PARA COLETA DE AMOSTRAS PARA ANALISE.....	26
3.3 METODOLOGIA PARA REALIZAÇÃO DE EXPERIMENTOS DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM BATELADA UTILIZANDO EUDIOMETROS.....	26
3.4 METODOLOGIA PARA CORREÇÃO DE VOLUME DE BIOGÁS PRODUZIDO EM EUDIÔMETROS.....	29
3.5 METODOLOGIA PARA CORREÇÃO DE VOLUME DE BIOGÁS PRODUZIDO EM AMOSTRA DE AGUA PURA.....	29
3.6 METODOLOGIA PARA CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS ADICIONADAS NOS EUDIÔMETROS.....	30
3.6.1 Análises de DQO.....	30
3.6.1.1 Metodologia para determinação da curva de calibração.....	30
3.6.2 Análises de alcalinidade.....	31
3.6.2.1 Calculo da alcalinidade.....	31
3.6.3 Análise de sólidos.....	32
3.6.3.1. Metodologia para determinação de ST.....	32
3.6.3.2 Metodologia para determinação de STF.....	33
3.6.3.3 Metodologia para determinação de STV.....	33
3.6.4 Análise de pH.....	34

3.7 METODOLOGIA PARA ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS.....	34
3.7.1 Metodologia para determinação de Amônia.....	34
3.7.2 Metodologia para determinação de ácido sulfídrico.....	34
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
6 REFERÊNCIAS.....	37

1 INTRODUÇÃO

As fontes de energias renováveis estão se tornando cada vez mais procuradas devido a sua viabilidade ambiental comparada a fontes de energias não renováveis como petróleo. O biogás é uma fonte de energia que tem mostrado grande potencial e ganhou muita importância por ser um combustível que pode ser utilizado em diversas formas, como fonte de calor, energia elétrica entre outros.

A crise ambiental pode ser descrita considerando três aspectos básicos: crescimento populacional, demanda de energia e de materiais e geração de resíduos (BRAGA et al, 2005). Como alternativa, visando à redução do impacto ambiental e à recuperação de energia e nutrientes contidos nos efluentes, a biodigestão anaeróbia demonstra ser um eficiente sistema de tratamento e reciclagem, uma vez que os nutrientes contidos no efluente garantem a sobrevivência e reprodução dos micro-organismos presentes durante o processo, permitindo que ocorra a degradação da fração orgânica não estável e, portanto, poluente, até a forma estável (OLIVEIRA et al, 2011) e obtendo o biogás (fonte de energia renovável) como principal subproduto.

Conforme PRATI (2010) as tecnologias a base de fontes renováveis são atrativas não só devido às vantagens ambientais, mas também sociais e econômicas. A possibilidade de criação de fontes de suprimento descentralizadas e em pequena escala é fundamental para o desenvolvimento sustentável, tanto em países desenvolvidos como em países em desenvolvimento. No interesse desses últimos, sobressaem as centrais que utilizam fontes renováveis e não requerem alta tecnologia para instalação ou técnicos especializados para sua operação.

Este estudo tem como objetivo apresentar uma metodologia para produção de biogás por meio de ensaios laboratoriais, deixando evidenciando os procedimentos a serem seguidos e servindo como base a pesquisadores e alunos.

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

Desde que se iniciou a era industrial, a geração de resíduos tanto sólidos quanto líquidos vem se tornando um problema em escala mundial, o aumento da população traz consigo o grande aumento de consumo de produtos que futuramente se tornaram resíduos e efluentes.

No Brasil o sistema de tratamento de esgoto vem se amplificando, mas ainda se encontra em estado crítico. Segundo (CHERNICHARO 2008 p.13) os dados referentes ao esgotamento sanitário são alarmantes, indicando índices de cobertura da população, por redes coletoras, de apenas 30%, em um percentual de municípios que possuem estações de tratamento inferior a 10%. Por esta razão, se buscam sistemas de tratamento simplificados para estes resíduos, estes que devem ser simplificados com baixos custos de implantação e operação.

Não somente os tratamentos de esgotos geram grande quantidade de resíduos no Brasil, indústrias também são grandes produtoras destes resíduos e buscam por meio de sistemas de tratamento, diminuir a quantidade de carga orgânica presente em seus efluentes, para estes seguirem a sua disposição final.

Segundo ANDRIOLI et al (2001) A sociedade vem exigindo melhores condições de qualidades das grandes empresas poluidoras o que se reflete nos setores de serviços de saneamento. Então não somente por leis e normas mas também pela busca da qualificação e pela satisfação de seus compradores as grandes empresas atualmente e futuramente buscarão formas de sustentabilidade.

O processo de tratamento de efluente é constituído por varias etapas (tratamento preliminar, tratamento primário, tratamento secundário e tratamento terciário) que tem como objetivo a remoção dos poluentes bem como a remoção da matéria orgânica (GIORDANO, 1999).

Para CETESB (2008), O tratamento de efluente industriais, pode variar de empresa para empresa, mas deverá possuir as seguintes etapas:

- Tratamento primário: remoção de sólidos grosseiros;

- Equalização: tanque de volume, com vazão constante de saída, para minimizar a sedimentação por meio de dispositivos de mistura;
- Tratamento secundário: remoção de sólidos coloidais, dissolvidos e emulsionados, por ação biológica, como por exemplo as lagoas anaeróbicas;
- Tratamento terciário: remoção suplementar de sólidos e de organismos patogênicos, por meio de filtros por exemplo.

2.2 SISTEMAS ANAERÓBIOS

Segundo CHERNICHARO (1997) o déficit de tratamento de esgotos no Brasil não se deve pela falta de mão de obra ou especialistas na área, pois o conhecimento no campo é bastante elevado no Brasil, por esta razão nos últimos anos muitos estudos e trabalhos veem sendo feitos na área, o que contribui significativamente para a produção de sistemas anaeróbios no Brasil, e este crescimento se deve também de acordo com (CHERNICHARO 1997) pela ampliação dos estudos, passando a ocupar posições de destaque, face as favoráveis condições ambientais de temperatura.

A digestão anaeróbia consiste na degradação da matéria orgânica por bactérias, em condições de total ausência de oxigênio – anaerobiose. Esta, como processo de tratamento e valorização de resíduos apresenta inegáveis vantagens, o que tem conduzido a um crescente interesse na sua aplicação em resíduos de natureza orgânica, mas, para que se obtenham resultados verdadeiramente úteis, é necessário que esta se realize em condições controladas (CCE, 2000).

2.3 BIODIGESTÃO

Segundo COLEN (2003), os microorganismos responsáveis pelo processo de estabilização da matéria orgânica via digestão anaeróbia podem ser divididos em bactérias fermentativas, acetogênicas e metanogênicas. As bactérias

fermentativas, responsáveis pelo processo aeróbio, hidrolisam os complexos orgânicos por meio de enzimas extracelulares, os produtos originados são absorvidos pelos mesmos grupos de bactérias resultando na formação de ácidos graxos de cadeia curta, hidrogênio e dióxido de carbono. Os produtos provenientes das bactérias fermentativas são utilizados pelas bactérias acetogênicas que irão produzir hidrogênio, dióxido de carbono e acetato. Em quanto as bactérias metanogênicas são as responsáveis pela destinação final dos produtos oriundos das bactérias acetogênicas.

Os produtos resultantes da ação das bactérias acetogênicas servem de alimento para as bactérias metanogênicas, que ao se alimentarem destes substratos, produzem o biogás, principalmente o metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2). As metanogênicas acetoclásticas e as hidrogenotróficas utilizam hidrogênio e o dióxido de carbono. Os processos de biodigestão anaeróbios podem ser divididos em quatro fases: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese, sendo estas oriundas da função ou produtos resultantes da ação das bactérias. A atividade enzimática das bactérias depende intimamente da temperatura. Ela é fraca a 10°C e nula acima dos 65°C . A faixa dos 20°C a 45°C corresponde à fase mesófila, enquanto que entre os 50°C e os 65°C , temos a fase termófila. A opção por uma temperatura de trabalho terá de resultar do compromisso entre o volume de gás a produzir, o grau de fermentação e o tempo de retenção.

Em cada uma das etapas da digestão anaeróbia, espécies de bactérias desempenham papel fundamental para realização das atividades microbianas. Os exemplos típicos dos microrganismos anaeróbios participantes da degradação da matéria orgânica, bem como o papel desempenhado por cada um são mostrados no Quadro 04 elaborado com base em Bidone e Povinelli (1999).

A digestão anaeróbica pode ser inibida por íons de metais pesados, em concentrações tóxicas, pela alta produção de H_2S , ou por outras substâncias com efeitos bacterianos. (DIN 31414)

Nestes sistemas, o volume de resíduos no interior do biodigestor permanece constante ao longo do tempo. Para cada quantidade de resíduo introduzida, igual quantidade de resíduo tratado sai do digestor. Assim, cada partícula de resíduo permanece no interior do digestor um determinado período de tempo, denominado tempo de retenção (CCE, 2000).

Durante este tempo, quatro fases constituem o processo de produção do biogás, citadas abaixo

2.3.1 Hidrólise

Nesta etapa ocorre a conversão do material orgânico em composto dissolvido de menor peso molecular, onde sofre a interferência das exo-enzimas que são excretadas pelas bactérias fermentativas (O'ROURKE, 1968)

Segundo CARON et al. (2009) depois do processo de hidrólise torna-se as substâncias simples e dissolvidas podendo ser absorvidas pelas paredes celulares das bactérias. Este processo ocorre lentamente e é suscetível as variações.

A hidrólise de compostos orgânicos é um processo relativamente lento. A taxa de hidrólise depende do pH (pH ótimo = 6), tempo de retenção da biomassa e até que ponto o substrato a ser hidrolisado é atingível pelas enzimas excretadas. A hidrólise de moléculas grandes portanto, levará mais tempo que para moléculas pequenas.

Embora a maioria dos biopolímeros sejam bem biodegradáveis, a celulose de material altamente lignificado (feno, madeira, etc.) tem mostrado-se ser muito resistente a hidrólise. O ataque enzimático inicial na celulose, é dependente da atividade de um número relativamente seleto de microorganismos. Diferente da celulose, hemi-celulose é facilmente biodegradável por muitos micróbios, lignina, o terceiro maior componente do material celulósico, é totalmente não biodegradável sob condições anaeróbias.

A conversão de gorduras é um processo muito lento, então para efluentes contendo altos teores de óleos e graxas, a hidrólise será a etapa limitante do processo de degradação inteiro. A 20°C, a taxa de conversão de gordura é quase zero, enquanto os outros processos continuam em andamento, embora a uma taxa menor também.

A degradação de proteínas é um processo complexo envolvendo muitos tipos diferentes de microorganismos anaeróbios. Em geral proteínas são

hidrolisadas em peptídeos e amino-ácidos que são fermentados em ácidos orgânicos voláteis, CO_2 , H_2 , NH_4^+ e S_2^- pelas bactérias fermentativas.

Moléculas de amido também são difíceis de hidrolizar. Quando trata-se os efluentes de uma fábrica de amidos, deverá se tomar cuidado para que os sólidos sejam removidos ou corretamente hidrolizados antes de entrarem no reator. Caso contrário eles acumulam no reator e acidificam o meio. A hidrólise correta pode ser obtida pela operação com o aumento do tempo ideal de retenção hidráulica e um pH de cerca de 6. A recirculação do efluente anaeróbio ou a imobilização das bactérias pode ser benéfica.

2.3.2 Acidogênese

Esta etapa é seguinte a hidrólise onde a partir dos compostos gerados neste processo são transformados em H_2 , CO_2 , sais e alcoóis, ocorre através da biodegradação de bactérias anaeróbicas ou facultativas (CARON et al. 2009).

Um consórcio complexo de microorganismos participam na hidrólise e fermentação da matéria orgânica sob condições anaeróbicas. A maioria das bactérias são estritamente anaeróbicas tais como os *Bacterioides*, *Chilostindia*, *Bifidobacteriae* outras gram-positivas e gram-negativas. Além disso, algumas são anaeróbicas facultativas (cerca de 1% da população total) tais como os *Streptococcie* *Enterobacteriaceae* estão presentes. Os produtos finais de acidificação podem variar e a composição depende do tipo de microorganismos ativos presentes, a natureza química do substrato e as condições de processo.

Bactérias acidogênicas tem uma tolerância razoável ao pH. A formação de ácido continua até chegar num pH de cerca de 4. (Este processo é usado para produzir "silagem". Um pH entre 6.8 - 7.4 é o ótimo para bactérias produtoras de metano, então um valor de pH abaixo deste ótimo resultará num consumo mais baixo do H_2 produzido. Isto mudará a composição de produtos formados pelas bactérias acidogênicas, que significa uma mudança repentina no substrato para as bactérias metanogênicas e acetogênicas. Isto pode resultar num maior desequilíbrio da planta de tratamento (acumulo de ácidos, acidificação do reator anaeróbio).

2.3.2 Acetogênese

As bactérias acetogênicas são responsáveis pela oxidação dos produtos gerados na fase acidogênica em substrato apropriado para as bactérias metanogênicas. Dessa forma, as bactérias acetogênicas fazem parte de um grupo metabólico intermediário, que produz substrato para as metanogênicas. Os produtos gerados pelas bactérias acetogênicas são o hidrogênio, o dióxido de carbono e o acetato. (CHERNICHARO et al 2008)

OLIVA (1997) cita que nesta etapa os ácidos e alcoóis são metabolizados e através de bactérias consumidoras de H_2 , convertem parte do H_2 e do CO_2 em metanol e acetato.

2.3.3 Metanogênese

Nesta fase onde o CH_4 é produzido pelas bactérias acetotróficas, a partir da redução do ácido acético, ocorrendo assim a redução do CO_2 , possuindo assim uma velocidade de degradação inferior ao acidogênese (CARON et al. 2009).

Etapa final do processo de degradação anaeróbia de compostos orgânicos em metano e dióxido de carbono efetuada pelas arqueas metanogênicas. Em função de sua afinidade por substrato e magnitude de produção de metano, as metanogênicas são divididas em dois grupos principais:

Metanogênicas acetoclásticas: formam metano a partir do ácido acético ou metanol. São os microrganismos predominantes na digestão anaeróbia, responsáveis por cerca de 60 a 70 % de toda a produção de metano. Pertencem a dois gêneros principais: *Methanosarcina* (formato de cocos) e *Methanosaeta* (formato de filamentos).

Metanogênicas hidrogenotróficas: praticamente todas as espécies conhecidas de bactérias metanogênicas são capazes de produzir metano a partir de

hidrogênio e dióxido de carbono. Os gêneros mais frequentemente isolados em reatores anaeróbios são: *Methanobacterium*, *Methanospirillum* *Methanobrevibacter*.

2.4 BIOGÁS

Segundo COLDEBELLA (2006) o biogás é um gás natural, formado a partir da fermentação anaeróbica, proveniente de dejetos, resíduos vegetais e lixo, que se dá a partir da ação de bactérias.

PRATI (2010) relata que o biogás é composto por uma mistura de gases (Tabela1), cujo tipo e percentagem variam de acordo com as características dos resíduos e as condições de funcionamento do processo de digestão.

O biogás é uma mistura de substâncias gasosas, geradas pela volatilização de compostos químicos e pelo processo de biodegradação exotérmica da matéria orgânica, devido à ação de bactérias e em escala menor, fungos e protozoários, quando se tem ausência de oxigênio. Na visão ambiental e comercial, a substância mais importante das que compõem o biogás é o gás metano (CH₄) (GUEDES, 2007). O biogás apresenta ainda uma porcentagem significativa do dióxido de carbono (CO₂), e em menor representatividade o oxigênio (O₂), ácido sulfídrico (H₂S), amônia (NH₃), hidrogênio (H₂), nitrogênio (N₂) e outros gases em menores concentrações (TCHOBANOGLIOUS *et al.* 1993, GUEDES, 2007). A composição típica é de CH₄ e CO₂, gases predominantes, correspondendo em média a cerca de 40 - 60% do biogás.

Segundo COLEN (2003), os microorganismos responsáveis pelo processo de estabilização da matéria orgânica via digestão anaeróbia podem ser divididos em bactérias fermentativas, acetogênicas e metanogênicas. As bactérias fermentativas, responsáveis pelo processo aeróbio, hidrolisam os complexos orgânicos por meio de enzimas extracelulares, os produtos originados são

absorvidos pelos mesmos grupos de bactérias resultando na formação de ácidos graxos de cadeia curta, hidrogênio e dióxido de carbono. Os produtos provenientes das bactérias fermentativas são utilizados pelas bactérias acetogênicas que irão produzir hidrogênio, dióxido de carbono e acetato. Em quanto as bactérias metanogênicas são as responsáveis pela destinação final dos produtos oriundos das bactérias acetogênicas. Os produtos resultantes da ação das bactérias acetogênicas servem de alimento para as bactérias metanogênicas, que ao se alimentarem destes substratos, produzem o biogás, principalmente o metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2).

As metanogênicas acetoclásticas e as hidrogenotróficas utilizam hidrogênio e o dióxido de carbono. Os processos de biodigestão anaeróbios podem ser divididos em quatro fases: hidrólise acidogênese, acetogênese e metanogênese, sendo estas oriundas da função ou produtos resultantes da ação das bactérias. A atividade enzimática das bactérias depende intimamente da temperatura. Ela é fraca a 10°C e nula acima dos 65°C . A faixa dos 20°C a 45°C , corresponde à fase mesófila, enquanto que entre os 50°C e os 65°C , temos a fase termófila. A opção por uma temperatura de trabalho terá de resultar do compromisso entre o volume de gás a produzir, o grau de fermentação e o tempo de retenção.

2.5 BIODIGESTORES

Diante da preocupação com a emissão dos Gases do Efeito Estufa e com a degradação ambiental das atividades agropecuárias, a agroenergia ganhou ênfase dentro das diretrizes do Desenvolvimento Sustentável, principalmente com o Plano Nacional de Agroenergia⁵, que veio incentivar o uso racional de energias renováveis brasileiras. Dentre as mais variadas fontes de energias renováveis (hidroelétricas, eólica, biomassa, solar e geotérmica) a biomassa merece destaque pela sua quantidade disponível e por ser a mais sustentável dentre as demais.

A geração de energia através da biomassa se dá pela combustão de compostos orgânicos, como os produtos agrícolas, restos de processamento e dejetos de criação animal.

O presente Plano do Governo Federal, com base nos estudos internacionais, analisa a demanda projetada de energia no mundo indicando o aumento de 1,7% ao ano, de 2000 a 2030, alcançando 15,3 bilhões de toneladas equivalentes de petróleo (TEP) ao ano. De acordo estes estudos, em 2030, se colocar sob hipótese que não haverá alteração na matriz energética mundial, os combustíveis fósseis responderiam por 90% do aumento projetado. Nesse sentido, considerando o volume de dejetos provenientes da suinocultura e seu potencial energético, a biomassa é o recurso mais empregado na geração de energia e diminuição da poluição, através da tecnologia de biodigestores que produzem subprodutos de considerável valor agregado.

O sistema de tratamento utiliza biodigestores – estruturas fechadas para onde são conduzidos, por tubulações, o esterco e a urina dos animais. Nesse local, o material entra em processo natural de fermentação, por meio de bactérias anaeróbicas (que se desenvolvem na ausência total de oxigênio), e, ao fim do processo, são produzidos gases, resíduos pastosos e efluentes líquidos. Os três subprodutos têm valor econômico. O gás (metano, diferente do GLP que é o butano) pode ser utilizado para os mesmos fins: a geração de energia, aquecimento de pocilgas e aviários no inverno e até em fogões domésticos. O material sólido vira adubo natural para as lavouras. Já os efluentes líquidos alimentam algas em tanques que depois vira comida para peixes criados em açudes. (ASSIS,2004, p. 15).

Dentro dos biodigestores, a transformação de compostos orgânicos em produtos mais simples, ocorre em três fases distintas, primeiro se dá a quebra das moléculas grandes, posteriormente ocorre a transformação de moléculas de proteína, gordura e carboidratos em ácidos orgânicos e na última fase tem-se a produção de metano. Todo esse processo origina gases (biogás), sólidos decantados no fundo do tanque (biofertilizante), e líquidos (efluentes mineralizados – tratados). Além dessas contribuições, o tratamento dos resíduos da produção de suínos traz consigo, a notável melhoria da sanidade da propriedade, com a

diminuição de organismos patogênicos e parasitas, redução dos coliformes fecais e odor desagradável.

Para a implementação de biodigestores, é importante considerar os mais variados tipos de biodigestores presentes no mercado, buscando adequar sempre para as características de cada propriedade.

Em relação ao abastecimento de biomassa, o biodigestor pode ser classificado como contínuo - abastecimento diário de biomassa – com descarga proporcional à entrada de biomassa, ou intermitente, quando utiliza sua capacidade máxima de armazenamento de biomassa, retendo-a até a completa biodigestão. Então, retiram-se os restos da digestão e faz-se nova recarga. O modelo de abastecimento intermitente é mais indicado quando da utilização de materiais orgânicos de decomposição lenta e com longo período de produção, como no caso de palha ou forragem misturada a dejetos animais. (GASPAR, 2003, p.16).

Os biodigestores classificam-se, quanto ao abastecimento, em contínuos e intermitentes ou batelada, sendo que no contínuo como o próprio nome já diz, o abastecimento ocorre frequentemente e no intermitente é periodicamente (FONSECA et al, 2009).

Segundo GASPAR apud FONSECA et al (2009) o modelo de abastecimento intermitente é mais indicado quando da utilização de materiais orgânicos de decomposição lenta e com longo período de produção, como no caso de palha ou forragem misturada a dejetos animais.

De acordo com FONSECA et al (2009), no Brasil os modelos mais empregados são biodigestor com cúpula fixa (modelo chinês), o biodigestor com campânula flutuante (modelo indiano) e o tubular (modelo canadense). O modelo chinês tem um custo baixo de implantação, é mais durável, ocupa pouco espaço na superfície do solo, apresenta-se fixo, sem partes metálicas, no entanto as oscilações de pressão no gasômetro (local de armazenamento do gás) provocam vazamentos, tornando o manejo complicado.

De acordo com DEGANUTTI et al (2002), o modelo de biodigestor indiano caracteriza-se por possuir uma campânula como gasômetro, que pode estar

mergulhada sobre a biomassa em fermentação, ou em um selo d'água externo, e uma parede central que divide o tanque de fermentação em duas câmaras. O biodigestor indiano possui pressão de operação constante e seu abastecimento deve ser contínuo.

Em um biodigestor tubular ou modelo canadense, também chamado de plug-flow, a biomassa tem entrada contínua em uma das extremidades do biodigestor, passa através do mesmo e é descarregada na outra extremidade, na mesma seqüência em que entrou. O fluxo se processa, sem misturas longitudinais. As partículas permanecem no tanque por um período igual ao tempo de retenção hidráulica. Para garantir isso, os biodigestores são longos, com uma elevada relação comprimento-largura que auxilia na hidrodinâmica (FEIDEN et al, 2004).

FEIDEN et al (2004) também relataram que ocorre a formação de crosta em biodigestores tubulares porque nestes, conceitualmente, não há mistura, pelo menos no sentido longitudinal. Dessa maneira os biodigestores tubulares têm sido utilizados com sistemas de agitação, como sistemas com eixos longitudinais equipados com pás que fazem a mistura da biomassa.

2.6 ENERGIAS RENOVÁVEIS

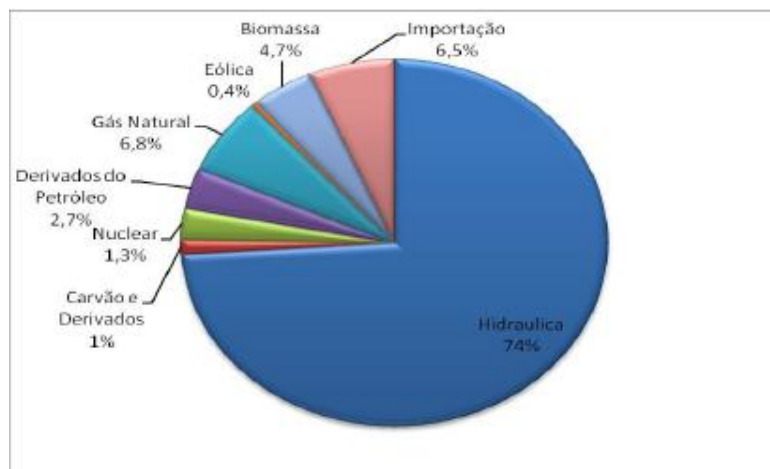
O Brasil possui um grande potencial de geração de energia elétrica através de fontes renováveis, pois além de possuir a maior reserva de água mundial, também dispõe de inúmeras unidades de produção de biomassa, distribuídas em pequenas ou grandes propriedades rurícolas, e também alguns campos de energia eólica.

Devido à grande dependência energética mundial, e o aumento da poluição pela emissão de gases tóxicos, oriundos da queima de combustíveis ou da produção de energia através de fontes secundárias, todos os países tem demonstrado uma preocupação crescente com a produção de energia elétrica limpa, utilizando recursos renováveis.

De acordo com o MME (2011), a produção de eletricidade a partir da energia eólica em 2010 apresentou um aumento de 75,8% em relação a 2009, grande parte desse aumento deve-se a inauguração de catorze parques eólicos, aumentando a potência instalada para geração eólica no país em 54,1%. Dentre as fontes renováveis de energia, foi a que apresentou maior crescimento.

Também, de acordo com o MME (2011), a maior parte da geração de energia elétrica provem da matriz hidráulica com 74% da produção. Porém, a geração de energia por autoprodutores em 2010 apresentou expressivo crescimento de 18,4% com relação a 2009, já sendo considerado o agregado de todas as fontes utilizadas.

O Brasil apresenta uma matriz de geração elétrica de origem predominantemente renovável, sendo aproximadamente 86% da eletricidade do Brasil originada de fontes renováveis (MME 2011). A figura 1 demonstra a oferta de energia elétrica por fonte no Brasil:



Fonte: MMA (2011). **Figura 1.** Balanço Energético Nacional

A biomassa merece destaque dentre as mais variadas fontes de energias renováveis pela sua quantidade disponível e por ser a mais sustentável dentre as demais. Segundo o MME (2011), a participação da biomassa na geração de eletricidade no Brasil é de 4,7% na oferta interna de energia elétrica e de acordo

com a ANEEL (2008) tem sido crescente no Brasil, principalmente em sistemas de cogeração dos setores industriais e de serviços.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 METODOLOGIA PARA COLETA DE AMOSTRAS DE LODO DE BIODIGESTOR

A coleta da amostra de lodo do biodigestor deve ocorrer de forma homogênea em local onde o lodo esta em circulação e contato direto com o substrato que alimenta o reator para evitar a recolha de microflora morta.

O lodo coletado deve ser em quantidade suficiente para atender os testes de bancada e armazenado em recipiente plástico ou de vidro higienizado, sem resíduos que possam causar toxicidade aos microrganismos.

A microfauna coletada deve ser utilizada logo após a coleta para que não haja a falta de substrato e a respiração endógena seja predominante.

3.2 METODOLOGIA PARA COLETA DE AMOSTRAS PARA ANÁLISE

A coleta do efluente a ser utilizado como substrato nos testes de biodigestão de bancada devem seguir as recomendações da norma ABNT NBR 9898/87.

3.3 METODOLOGIA PARA A REALIZAÇÃO DE EXPERIMENTOS DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM BATELADA UTILIZANDO EUDIÔMETROS

A Figura 2 apresenta um conjunto de eudiômetros.



Figura 2 Eudiômetros

O eudiometro é constituído por um tubo de volume que varia de 300 a 400 mL, sendo graduado de cima para baixo (com divisões de escala de 5mL) e alocado por uma junta de vidro esmerilhado na junção sobre o vidro de volume aproximado a 500 mL. O tubo de ligação passa através do fundo do tubo do eudiometro e permite que o gás produzido fique envolto no frasco do tubo de medição. Na extremidade inferior do tubo do eudiometro, um reservatório deve ser ligado para o nivelamento do líquido utilizado para a medição do gás.

Para a condução do experimento, os reatores dos eudiometros devem estar imersos em banho para a manutenção e controle da temperatura.

Também se faz necessário a medição da temperatura ambiente e da pressão.

O líquido utilizado para a medição do volume gerado não deve solubilizar o biogás. Para isso é utilizado uma solução que contem 30 mL de ácido sulfúrico, 200 gramas de sulfeto de sódio, 10 gotas de solução de metilorange e 1000mL de água destilada. Esta solução deve ser armazenado em temperatura ambiente. Em baixas temperaturas o sódio pode cristalizar.

Antes da condução do experimento, se houver necessidade, o pH do lodo deve ser ajustado entre 7 e 8, se necessário adicionando reagentes inorgânicos de tampão, por exemplo, carbonato de sódio. Em casos especiais, pode ser necessário aperfeiçoar os nutrientes disponíveis, ajustando a proporção de massa de C : N : P até aproximadamente 100: 6 : 1. E isso deve ser realizada pela adição de cloreto de amônio, NH_4Cl , e/ou Fosfato Monossódico NaH_2PO_4 .

O teste do frasco deve ser realizado em água de temperatura controlada em aproximadamente 35°C . Os frascos devem ser preenchidos com quantidades iguais de lodo.

O frasco deve ser preenchido com as quantidades indicadas de lodo; o ar presente no frasco deve ser eliminado, para o tubo do eudiometro deve ser colocado. Por meio do nivelamento do recipiente, e com a torneira do tubo de eudiometro aberto o liquido de selagem deve ser ajustado para zero. Enquanto se faz isso, o liquido de selagem não entra no tubo de ligação, portanto a amostra do lodo também não. O reservatório do nivelamento ainda deve estar um quarto cheio. A torneira deve ser fechada. O frasco com o lodo misturado deve ser armazenado no abrigo da luz. O volume de gás envolvido deve ser lido todas as vezes que o liquido de selagem e o e reservatório de nivelamento estiverem iguais, após uma agitação cuidadosa do volume do frasco. O volume de gás inicialmente será lido diariamente ou, se necessário, mais freqüentemente, e de acordo com a evolução da produção de gás, em intervalos de vários dias. Todas essas informações devem ser registradas em uma tabela (Tabela 2). Os ensaios devem continuar até um volume relativamente pequeno de gás do digestor (1% do total obtido até este momento) se formar. A principal quantidade de gás é produzida normalmente na primeira semana do teste de digestão, a maior parte da biodegradação é completada após 20 dias. Após 40 dias, geralmente é observada uma pequena geração de gás.

Para cada leitura do volume de gás no eudiômetro, a temperatura do volume do gás e a pressão atmosférica devem ser determinadas, de modo que o volume de gás possa ser corrigido. Dependendo da evolução do gás, o liquido de selagem deve ser reajustado para 0 depois de cada leitura, com a torneira aberta, não pode haver entrada de ar durante este processo.

Tabela 1 Exemplo de tabela para registro dos resultados durante o experimento.

Data	Hora	Nível do líquido (mL)	Volume do gás (mL)	Temperatura (K)	Pressão (mbar)

3.4 METODOLOGIA PARA CORREÇÃO DO VOLUME DE BIOGÁS PRODUZIDO EM EUDIÔMETROS

O volume de gás produzido envolvendo tempos individuais de intervalos deve ser corrigido de acordo com a equação1:

$$V_o = V \cdot (P_{ar} - P_{\text{água}}) \cdot T_o / P_{atm} \cdot T$$

1)

Onde:

V_o é o volume padrão de gás digestor, em mL;

V é a leitura do volume do gás do digestor, em mL;

P_{ar} é a pressão de ar no momento da leitura, em mbar;

$P_{\text{água}}$ é a pressão de vapor da água em função da temperatura ambiente, em mbar;

T_o é a temperatura padrão (273 K);

P_{atm} é a pressão padrão (1013 mbar);

T é a temperatura do gás digerido ou da temperatura ambiente, em K.

Se o teste for realizado em uma sala com temperatura controlada, a temperatura da sala deve ser T . Se apenas o frasco contendo lodo for colocado no banho com a temperatura controlada, o gás do digestor deve ser considerado pela temperatura ambiente. Um teste deve ser feito somente com o inoculo e deve ser avaliado da mesma forma.

3.5 METODOLOGIA PARA CORREÇÃO DO VOLUME DE BIOGÁS PRODUZIDO EM AMOSTRA DE ÁGUA PURA

A proporção do gás produzido pelo inóculo no teste é calculado a partir da equação 2:

$$V_{ICor} = \Sigma V_I \cdot m_M / m_I \quad 2)$$

Onde:

V_{ICor} é o volume de gás extraído do inóculo, em mL;

ΣV_I é a soma dos volumes de gás do teste realizado com o inóculo para a consideração da duração do teste, em mL;

m_M é a massa do inóculo usado na mistura, em g;

m_I é a massa do inóculo usado no teste de controle, em g;

3.6 METODOLOGIA PARA CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS ADICIONADAS NOS EUDIÔMETROS

Os principais parâmetros que devem ser analisados em procedimentos com eudiômetros são a demanda química de oxigênio (DQO), alcalinidade, sólidos e pH.

3.6.1 Análises de DQO

3.6.1.1 Metodologia para determinação da curva de calibração

A primeira etapa foi a determinação da quantidade de biftalato de potássio (2 g) seco em estufa durante 12 horas. Transcorrido este tempo foi realizada uma diluição de 0,425 g do biftalato em 1 litro de água destilada, obtendo-se uma concentração de 500mg/L.

Em seguida foram feitas novas diluições em 4 balões de 100 mL. No 1º balão foram adicionados 20 mL da solução, no 2º foram 40 mL, no 3º foram 60 mL e no 4º foram 80 mL, completando o volume de todos com água destilada. Desta forma foram obtidas diferentes concentrações para elaborar a curva de calibração: 100 mg/L, 200 mg/L, 300 mg/L, 400 mg/L, e 500 mg/L.

Em um tubo de ensaio, foram adicionados 2,5 mL de amostra, 1,5 mL de solução digestora (dicromato de potássio e sulfato de mercúrio) e 3,5 mL do reagente ácido.

Colocou-se os tubos com as amostras e o branco (tubo utilizando água destilada ao invés da amostra) no bloco digestor, pré-aquecido a uma temperatura de 150°C por 2 horas.

As leituras de absorção de cada amostra foram feitas no comprimento de onda de 600 nm.

As amostras, padrões e brancos foram analisados sob as mesmas condições de volume e comprimento de onda, calculando a DQO como segue:

$$\text{DQO expressa em mgO}_2\text{.L}^{-1} = (\text{mgO}_2 \text{ no volume final} \times 1000) / \text{mL amostra}$$

3.6.2 Análises de Alcalinidade

A metodologia para determinar a alcalinidade de um efluente pode ser descrita da seguinte forma:

1. Tome 50 mL da amostra e introduza em erlenmeyer de 250 mL. Adicione 3 gotas de fenolftaleína;
2. Se a amostra se tornar rósea, titule-a com H_2SO_4 0,02 N até descorar. Anote o número de mL gastos nessa operação. Seja AP o número de mL para *virar* a fenolftaleína;
3. Caso a amostra não se torne rósea ($\text{AP}=0$) ou então após descoramento da fenolftaleína (item anterior), adicione 3 gotas de metilorange e titule com ácido sulfúrico 0,02 N até a viragem para o alaranjado sanguíneo. Seja AT o número de mL de H_2SO_4 0,02 N para *virar* o metilorange.

3.6.2.1 Cálculo da alcalinidade

O cálculo para determinar a alcalinidade de um efluente pode ser apresentado da seguinte forma:

AP = número de mL de H_2SO_4 0,02 N necessários para *virar* a fenolftaleína;

AT = número de mL H_2SO_4 0,02 N necessários para *virar* o metilorange;

$P + M = T$ = total de H_2SO_4 0,02 N consumido nas 2 titulações;

$T \times 10 = \text{mg.L}^{-1}$ de alcalinidade total em termos de CaCO_3 .

A Tabela 3 ilustra a relação existente entre essas Alcalinidades.

Tabela 2 – Relação entre alcalinidades

LEITURAS	ALCALINIDADE		
	Hidróxida	Carbonatos	Bicarbonatos
AP=0	ND	ND	AT
AP=AT	AT	ND	ND
AP<1/2 AT	ND	2AP	AT-(2AP)
AP=1/2AT	ND	2AP	ND
AP>1/2AT	2AP-AT	2(AT-AP)	ND

3.6.3 Análise de Sólidos

3.6.3.1 Metodologia para determinação de ST

Uma cápsula de porcelana bem lavada é aquecida na mufla a 560°C por, no máximo, 20 minutos. Após esta etapa, transfere-se a cápsula para um dessecador, com o auxílio de uma pinça de metal onde se aguarda o resfriamento por 1 hora.

A cápsula resfriada é pesada em uma balança analítica e o peso em gramas é chamado de P_1 . Com o auxílio de uma proveta graduada, 100 mL da amostra foi transferida para a cápsula anteriormente preparada. A amostra é evaporada em banho-maria até a secura em seguida transferida para a estufa a 105°C por no mínimo 60 minutos. Com o auxílio de uma pinça, a amostra retorna ao dessecador para esfriar por, no mínimo, 30 minutos. Após este período, a massa P_2 da cápsula

mais os sólidos retidos poderá ser determinada. Trabalhando sempre com 100 mL de amostra o cálculo será dado pela equação 03.

$$(P_2 - P_1) \times 10.000 = \text{mg.L}^{-1} \text{ de Sólidos Totais}$$

(03)

Onde:

P_2 = peso da cápsula + sólidos totais da amostra, em g.

P_1 = peso cápsula vazia, em g.

3.6.3.2 Metodologia para determinação de STF

O resultado obtido na determinação dos Sólidos Totais é submetido à ignição a 560°C por no máximo 30 minutos em uma mufla. A amostra é resfriada no dessecador por no mínimo 60 minutos e então pesada, o peso em gramas determinado é anotado como P_3 . A fração orgânica será oxidada a essa temperatura e será eliminada em forma de gás. A fração inorgânica permanecerá em forma de cinzas, conhecido como Sólidos Totais Fixos. Os STF podem ser calculados de acordo com a equação 04.

$$(P_3 - P_1) \times 10.000 = \text{mg.L}^{-1} \text{ de Sólidos Totais Fixos}$$

(04)

Onde:

P_3 = peso da cápsula + sólidos totais fixos da amostra, em g.

3.6.3.3 Metodologia para determinação de STV

Esta determinação refere-se ao material orgânico dos sólidos em suspensão. É obtido pela diferença entre os resultados dos ST e os STF. Os STV podem ser calculados de acordo com a equação 05.

$$(P_2 - P_3) \times 10.000 = \text{mg.L}^{-1} \text{ de Sólidos Totais Voláteis}$$

(05)

Onde:

P_3 = peso da cápsula + sólidos totais fixos da amostra, em g.

3.6.4 ANÁLISE DE pH

A análise de pH deve ser realizado pelo modo potenciometrico com o auxílio de um pHmetro previamente calibrado com as soluções tampão.

3.7 METODOLOGIA PARA ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS

3.7.1 Metodologia para determinação de AMÔNIA

A metodologia usada para a realização das análises foi através de um fotocolorímetro, sendo a faixa para a determinação de amônia entre 350/850ppmv.

Em um béquer de 50mL, foi adicionado 10mL de água desionizada e 2 gotas da solução pré-tratamento. Com a seringa para amônia foi aspirado 5 mL da solução presente no béquer e coletado 50mL de biogás, agintando-se a seringa por aproximadamente 2 minutos.

Após o tempo de agitação, transferiu-se a solução para um tubo de ensaio com tampa de borracha, para a análise colorimétrica. Foram adicionados os reagentes para amônia aguardando o tempo de reação de 10 minutos.

Ao terminar a calibração do equipamento para a faixa da curva de amônia e completar o tempo de reação foram feitas as leituras das amostras, obtendo os resultados referentes a concentração de amônia.

Leitura direta do Biofoto = **ppmv (mL m⁻³)NH₃**

3.7.2 Metodologia para determinação de Ácido Sulfídrico

Em um béquer de 50 mL, foi adicionado 10mL de água desionizada e 2 gotas da solução pré-tratamento. Com a seringa para ácido sulfídrico foi aspirado 5mL da solução presente no béquer e coletado 5mL de biogás, agintando-se a seringa por aproximadamente 2 minutos.

Após o tempo de agitação, transferiu-se a solução para um tubo de ensaio com tampa de borracha, para a análise colorimétrica. Foram adicionados os reagentes para ácido sulfídrico aguardando o tempo de reação de 10 minutos.

Ao terminar a calibração do equipamento para a faixa da curva de ácido sulfídrico e completar o tempo de reação foram feitas as leituras das amostras, obtendo os resultados referentes a concentração do ácido.

Conforme a concentração de ácido sulfídrico no biogás pode-se coletar um volume menor de biogás dando início a determinação conforme o procedimento.

Leitura direta do Biofoto = $\text{ppmv (mL m}^{-3}\text{)H}_2\text{S}$

A Figura 3 ilustra os materiais para a determinação de amônia e ácido sulfídrico.



Figura 3 - Materiais a determinação de amônia e ácido sulfídrico.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com as ações deste estudo é possível planejar meios de produção de biogás com o auxílio do eudiômetro, em escala laboratorial para posteriormente ampliar para grande escala.

É necessário a padronização dos procedimentos da produção de biogás a partir de resíduos líquidos para que se tenham dados relevantes e que sejam aplicáveis em uma situação real.

Então a partir destes parâmetros é possível realizar testes de realização de biogás, uma energia renovável que se seguir este segmento de evolução de estudos e trabalhos acadêmicos se desenvolvera, e provavelmente estará se tornando um dos meios mais importantes de energia “limpa” para os próximos anos.

6 REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR- 10004– **Resíduos Sólidos** – Disponível em <<http://www.aslaa.com.br/legislacoes/NBR%20n%2010004-2004.pdf>>, acesso em 18 de Maio de 2010.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR – 10664 – **ÁGUAS – Determinação de resíduos sólidos – Método gravimétrico**. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/69586402/NBR-10664-1989-Aguas-Determinacao-de-Residuos-Solidos-Metodo-Gravimetrico>> Acessado dia 20 de ago 2013.

Abipecs. **Relatório Anual: Carne suína Brasileira em 2006**. 2006. Disponível em: <http://www.abipecs.org.br/uploads/relatorios/relatoriosassociados/ABIPECS_relatorio_2006_pt.pdf> Acessado dia 15 de ago de 2013.

BIDONE, F. R. A., POVINELLI, J.. **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. 1. ed. São Carlos:EESC, 1999.

CaronC.F,Messias J.N, Filho J.S.C, Russi J.C.V, Weber, M.I. **Geração de energia no campus a partir da biodigestão anaeróbica**. Curitiba –PR, 2009. Disponível em <http://www.utp.br/tuiuticienciaecultura/ciclo_4/tcc_42_FACET/pdfs/art_5.pdf>. Acessado em 18 ago 2013.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental.**Tratamento de efluentes em industrias frigorificas por processo de anarobiose, utilizando reatores compartimentados em forma de lagoas 2008** [artigo na internet]. São Paulo; 2008 [acesso em 10 jul 2013]. Disponível em: <http://bibliotecauegmorrinhos.com/tcc/docs/adelaide_pos.pdf>.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Guia Nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluente líquido 2012** [artigo na internet]. São Paulo; 2012 [acesso em 15 ago 2013]. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/laboratorios/publicacoes/guia-nacional-coleta-2012.pdf>>.

CHERNICHARO, C.A.L. **Reatores Anaeróbios**. 1997. Volume 4.p 13-23.Belo Horizonte.

Coldebella, Andreson. **Viabilidade do uso do Biogás da Bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais**.

COLEN, F. **Potencial energético de cana de açúcar como substrato em reator UASB**. 2003. 85f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) Universidade Estadual Paulista/Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu.

FERNANDES, G. F. R.; OLIVEIRA, R. A. **Desempenho de processo anaeróbio em dois estágios (reator compartimentado seguido de reator UASB) para tratamento de águas residuárias de suinocultura**. Eng. Agric., Jaboticabal. v. 26, n. 1, p. 243 – 256, 2006.

FISCHER, G.; SCHRATTENHOLZER, L. **Global bioenergy potentials through 2050**. Biomass&Bioenergy, Pergamon, 2011.

GIORDANO, G. **Avaliação ambiental de um balneário e estudo de alternativa para controle da poluição utilizando o processo eletrolítico para o tratamento de esgotos**. Niterói – RJ, 1999. Dissertação de Mestrado (Ciência Ambiental) Universidade Federal Fluminense, 1999.

GUEDES, V. P.. **Estudo do fluxo de gases através do solo de cobertura de Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos**. 2007. 117 f. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) - Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia - COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, 2007.

MARTINS, F. M.; OLIVEIRA, P. A. V. **Análise econômica da geração de energia elétrica a partir do biogás na suinocultura**. Eng. Agric., Jaboticabal. v. 31, n. 3, p. 477 – 486, 2011.

METCALF. EDDY. Inc. **Wastewater. Engineering treatment Disposal Reuse**. 4. ed. New York, McGraw - Hill Book. 2003.

NORMAS PARA ELABORAÇÃO DE TRABALHOS ACADÊMICOS. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Comissão de Normalização de Trabalhos Acadêmicos. - Curitiba : UTFPR, 2008.

OLIVA, L.C.H.C. **Tratamento de esgotos sanitários com reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) protótipo: desempenho e respostas dinâmicas as sobrecargas hidráulicas**. São Carlos, 1997. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

OLIVEIRA, A. B. M.; ORRICO, A. C. A.; JUNIOR, M. A. P. O.; SUNADA, N. S.; CENTURION, S. R. **Biodigestão anaeróbia de efluente de abatedouro avícola**. Rev. Ceres, Viçosa. v. 58, n. 6, p. 690 – 700, 2011.

O'Rourke, T.J. 1968. **Kinestics of anaerobic waste treatment at reduced temperatures**. Stanford: Stanford University. Tese de Doutorado.

PRATI, Lisandro. **Geração de energia elétrica a partir do biogás gerado por biodigestores.** Monografia de conclusão do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2010. Disponível em: <<http://www.eletrica.ufpr.br/ufpr2/tccs/148.pdf>> Acesso em 26 fev. 2013.

Rathmann, R. Benedetti, O. Plá, J.A. Padula, A.D. **Biodiesel: uma alternativa estratégica na matriz energética brasileira?**. 2005. Disponível em: <http://www.sottili.xpg.com.br/publicacoes/pdf/IIseminario/sistemas/sistemas_03.pdf> Acessado dia 12 de ago de 2013.