



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE QUÍMICA

Sami Izat Afanah

**TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS INDUSTRIAL E
ARTESANAL; UMA PROPOSTA DE ABORDAGEM PARA O
ENSINO MÉDIO**

MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO

Brasília – DF

1º/2011



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE QUÍMICA**

Sami Izat Afanah

**TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS INDUSTRIAL E
ARTESANAL; UMA PROPOSTA DE ABORDAGEM PARA O
ENSINO MÉDIO**

Trabalho de Conclusão de Curso em Ensino de Química apresentada ao Instituto de Química da Universidade de Brasília, como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciada(o) em Química.

Orientador(a): Paulo Anselmo Ziani Suarez

1º/2011

DEDICATÓRIA

Dedico essa Monografia ao meu Pai Izat e a minha Mãe Sônia que passaram dificuldades para que eu conseguisse realizar o meu sonho de fazer parte de uma universidade federal. Dedico também esse trabalho ao meu irmão Abbas que trabalhou muito para custear as minhas despesas e as despesas da casa, para que eu continuasse sempre no caminho do estudo.

Dedico também esse trabalho para o professor Alexandre Prado, para o professor Wildson e para todos os professores que me incentivaram a acreditar no meu sonho docente.

Dedico também a minha esposa Gréssia que nos piores momentos acadêmicos, esteve do meu lado para que eu não desistisse.

Dedico também essa monografia a todos os meus alunos do ensino médio e a todos os estudantes que se encontram em exercício do saber.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos da minha família e a todos os meus amigos que sempre estiveram ao meu lado e acreditaram no meu sonho.

Agradeço também ao professor Alexandre Prado, ao professor Wildson, a professora Elaine e a todos do laboratório QCSI.

Agradeço também a minha esposa por sempre ajudar com alguns conselhos e a sua enorme paciência.

Agradeço também a toda equipe do colégio Santo Antônio e do curso Exatas, que me ensinaram o valor de ser um digno Educador.

Agradeço também ao professor Paulo Suarez por ser meu orientador e ter a oportunidade de mais uma vez contribuir com o ensino do nosso país.

SUMÁRIO

Introdução.....	8
Fundamentação Teórica.....	9
Ciência, tecnologia e sociedade e suas relações com os biodigestores.....	10
Biodigestores e os requisitos do programa nacional de livros do ensino médio (PNLEM) e do programa nacional de livros didáticos (PNLD).....	11
Histórico.....	13
Biodigestor e seu funcionamento.....	16
Produção de biogás industrial.....	22
Produção de biogás artesanal.....	26
Questionamentos motivadores.....	31
Anexos.....	33
Considerações finais.....	38
Referências bibliográficas.....	39

ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

Figura 1 – Reações de hidrólise de carboidratos, proteínas e lipídios.....	18
Tabela 1- Processos de Acidogênese e Metanogênese.....	19
Figura 2 – Etapas metabólicas do processo de digestão anaeróbia em biodigestor.....	20
Figura 3 - Fluxograma de uma planta com geração de energia elétrica a partir do biogás.....	21
Figura 4 – Recolhimento de biogás por câmara.....	22
Figura 5 – Recolhimento de biogás por câmara.....	23
Figura 6 – Fotos da usina de Bandeirantes.....	24
Figura 7 - Corte esquemático do aterro sanitário da CTR Nova Iguaçu.....	25
Figura 8 – visão frontal de um biodigestor indiano.....	27
Figura 9 – visão frontal do biodigestor Chinês.....	28
Figura 10 – visão tridimensional do biodigestor indiano e do biodigestor Chinês respectivamente.....	29
Figura 11 - Biodigestor em manta de laminado de PVC.....	30

RESUMO

Esse trabalho tem por intenção mostrar aos professores e aos alunos uma visão mais abrangente sobre o tema biodigestor, a produção do biogás e o que isso reflete de positivo na vida da população. O trabalho fornece questionários que dão embasamento teórico tanto para o educador quanto para o educando e terá como finalidade a inserção desse assunto no ensino médio, formação continuada do professor e também a formação de um cidadão. O foco foi à produção do biogás através de usinas ou de aparatos artesanais para a produção de energia que dê condições de reaproveitamento da matéria orgânica contribuindo para um menor impacto ambiental. O bem estar do planeta e da população foi discutido nesse trabalho abordando temas em foco no ensino atual como: Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA). Assuntos esses que podem ser usados como recurso para trabalhos coletivos e discussões didáticas que facilitem o entendimento da comunidade.

INTRODUÇÃO

A implantação de um biodigestor em uma propriedade rural e a inclusão dessa energia no desenvolvimento sustentável de uma determinada região é um dos fatores mais importantes na produção de uma energia alternativa. Fonte não renovável de energia, como o petróleo, além de poluir muito o meio ambiente, contribui para o aquecimento global e é um recurso que um dia irá se esgotar (COLDEBELLA; SOUZA, M; SOUZA, J; KOHELER, 2006 **apud** PRATI, 2010)¹.

O biodigestor é um aparato que pode fornecer energia tanto em escala industrial quanto em escala artesanal. Esse equipamento e o seu entendimento ajudam na formação de um cidadão mais consciente e fornece uma economia de energia, uma diminuição dos poluentes que seriam lançados na atmosfera e gera adubos de boa qualidade para aproveitamento na agricultura (PRATI, 2010).

O biogás é produzido através da decomposição da matéria orgânica por bactérias anaeróbicas, formando de modo prioritário o gás metano (CH₄) e o restante de dióxido de carbono (CO₂) e também em minoria uma quantidade de gás nitrogênio (N₂), hidrogênio (H₂), sulfeto de hidrogênio (H₂S) e monóxido de carbono (CO). A composição e a energia do mesmo vão depender dos constituintes do material (PRATI, 2010).

A energia proveniente do biogás pode ser aproveitada tanto em motores a combustão interna, como para gerar energia em caldeiras, entre outras funções (PRATI, 2010).

¹ Coldebella, A.; Souza, S. N. M.; Souza, J., Koheler, A. C. – Viabilidade da Cogeração de Energia Elétrica com Biogás da Bovinocultura de Leite, 2006.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esse trabalho será baseado nos constructos teóricos das concepções CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade) e nas abordagens dos requisitos PNLEM (Programa Nacional de livros do Ensino Médio), para uma correta abordagem didática.

Com intuito da inserção da compreensão dos biodigestores no ensino médio, se faz necessário uma explicação mais detalhada no ensino básico do valor dos combustíveis renováveis e como isso pode influenciar de modo direto na sociedade e na formação de um cidadão, levando em conta a formação continuada do professor e o ajuste desse assunto nos livros didáticos.

Os conceitos CTS e PNLEM serão abordados com embasamento nos artigos “*Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S no contexto da educação brasileira*” dos autores Wildson dos Santos e Eduardo Mortimer; Educação científica humanística em uma perspectiva Freireana: Resgatando a função do ensino de CTS, do autor Wildson Luiz Pereira Dos Santos; *Contextualização nos livros didáticos de química: uma análise do PNLEM/2008* dos autores Vânia Ribeiro Ferreira e Joanez Aparecida Aires; e nas obras do PNLEM de 2008 e PNLD (Programa Nacional de Livros Didáticos) 2012.

CIÊNCIA, TECNOLOGIA E SOCIEDADE E SUAS RELAÇÕES COM OS BIODIGESTORES

A abordagem C-T-S é a relação da ciência num contexto mais social, ou seja, é a aplicação da ciência no cotidiano dos estudantes, atrelada a tecnologia e a formação da cidadania. Essa temática tem por objetivo a de estimular os estudantes para uma visão mais crítica sobre a ciência, como esta estará inserida na sociedade e qual o papel da tecnologia na construção social da ciência (SANTOS e MORTIMER, 2002).

Uma abordagem C-T-S se fez necessário ao longo dos tempos, pois o aluno de posse da tecnologia não precisa mais buscar o conhecimento em livros, ou através de professores, porque a internet lhe dá todo o “suporte” necessário para a pesquisa de assuntos quaisquer. Então por que uma abordagem C-T-S? Porque uma relação C-T-S auxilia o cidadão a ser mais versátil e crítico, e a buscar o entendimento de fenômenos através da ciência e quais as suas aplicações no dia-dia.

O ensino de ciência está cada vez menos interessante aos jovens, principalmente com a comercialização do ensino em que cursos rápidos e de mercado de trabalho vasto são oferecidos em qualquer lugar do Brasil. O retorno profissional que o jovem de hoje enxerga é aquele que lhe dê estabilidade financeira como o concurso público e faz com que o interesse pela ciência diminua. A maneira de inserirmos o conhecimento científico no cotidiano escolar e, assim, possibilitar a curiosidade e a criticidade necessária para que o aluno se aproxime cada vez mais da ciência seria uma abordagem C-T-S, ou seja, trazer a ciência para o âmbito escolar desenvolvendo a curiosidade dos alunos e assim possibilitar a formação de novos pesquisadores.

O ensino de ciências tem que fazer sentido para o aluno para que o educador não se depare com a seguinte pergunta: O que esse assunto vai fazer de diferença na minha vida?; O problema é que o ensino abordado na atualidade deixa margem para esse tipo de pergunta, pois o professor não constrói o conteúdo aplicado ao cotidiano do aluno, não dando significado do mesmo ao educando e assim se tornando um simples “transmissor de conhecimento”.

A importância do ensino do biodigestor no ensino médio é possivelmente aplicável, pois é um assunto interdisciplinar, transdisciplinar e muito abrangente. Com a construção de um biodigestor o educador pode abordar assuntos como: biologia, física, química, matemática, sociologia e além destes também pode trabalhar a educação ambiental, ética, cultura e outros assuntos transdisciplinares. É conveniente mostrar aos alunos o que muda na realidade de uma comunidade ao se instalar um biodigestor em sua região, o que isso acarreta de positivo economicamente, ambientalmente e socialmente, ou seja, a aplicação C-T-S na vida cotidiana do educando.

BIODIGESTORES E OS REQUISITOS DO PROGRAMA NACIONAL DE LIVROS DO ENSINO MÉDIO (PNLEM) E DO GUIA DE LIVROS DIDÁTICOS (PNLD)

Há alguns anos o ensino público brasileiro fornece livros didáticos aos seus alunos, ou seja, uma espécie de direcionamento para busca do aprendizado. Esses livros são escolhidos segundo um processo rigoroso de pesquisa ao qual delimita se os livros didáticos estão dentro dos padrões exigidos pelos programas nacionais do ensino médio (PNLEM-2008) ou

atualmente pelo guia de livros didáticos (PNLD-2011). Caso os livros não atendam os requisitos dos programas citados é reprovado e não entra na lista de possíveis livros didáticos fornecidos ao ensino público.

Segundo o MEC (2008), os pesquisadores fazem uma análise minuciosa dos livros didáticos abordando quesitos como: conceitos, metodologia e ética. Após essa análise, um grupo de especialistas da área de Química juntamente com professores do ensino médio, escrevem resenhas que auxiliam a caracterizar perfil do livro didático em julgamento.

Várias especificações são necessárias para que os livros não sejam desclassificados na seleção do PNLEM, sendo estas: respeitar estereótipos, não conter erros conceituais, não conter informações de cunho racial, não conter estudos voltados para memorização com intuito no ingresso do curso superior somente e outros. Essas são especificações eliminatórias e precisam ser amplamente verificadas (MEC, 2008).

No guia de livros didáticos (PNLD) os critérios curriculares avaliados foram: preocupação com a consciência ambiental, renovação dos conceitos químicos, exploração da química no cotidiano, não conter estudos voltados à memorização e outros (MEC, 2011).

Os livros didáticos estão sendo avaliados da melhor maneira possível no ensino público e possuem especificações que visam melhorar o desempenho dos alunos em seu processo de cidadania. Alguns quesitos são verificados nos livros escolhidos pelo PNLEM e PNLD que se encaixam com a proposta da tecnologia de produção de biogás, ou seja, as preocupações ambientais e as aplicações C-T-S.

A utilização da tecnologia dos biodigestores apresenta vários fatores que auxiliam na preservação ambiental e será discutida nesse trabalho de monografia. A tecnologia de produção do biogás está completamente inserida na aplicação C-T-S, pois além de produzir

energia e preservar a natureza, gera um desenvolvimento sustentável em uma determinada comunidade.

Uma das propostas desse trabalho é discutir os processos de produção de biogás tanto macroscopicamente quanto microscopicamente e assim possibilitar uma inserção desse conteúdo nos livros didáticos ou paradidáticos. Com a tecnologia exposta nesse trabalho é possível criar métodos de ensino interdisciplinar e contextualizado, que abarca todo o tipo de ciência.

Histórico

O biodigestor é uma tecnologia que já vem sendo usada a pouco mais que dois séculos. Há relatos que os primeiros estudos que despertaram a curiosidade do homem para a biodigestão foi no ano de 1806 quando Humphrey Davy na Inglaterra começou a pesquisar a influencia dos dejetos de animais na produção de gases ricos em carbono e dióxido de carbono (NOGUEIRA, 1986 **apud** PALHARES, 2008)². Através das pesquisas de Humphrey o homem começou a indagar à possibilidade de produzir energia através da matéria não aproveitada pelo ser humano.

Em meados de 1857 em Bombain, na Índia, foi construído o primeiro aparato operacional para a produção de gás combustível, em um hospital de hansenianos (NOGUEIRA, 1986 **apud** PALHARES, 2008)². Nessa mesma época, três pesquisadores, Fisher e Scharader, na Alemanha, e Grayon, na França, estabeleceram bases teóricas e experimentais sobre as técnicas de produção de energia através de biodigestão anaeróbica.

² NOGUEIRA, Luiz Augusto Horta. Biodigestão: a alternativa energética. São Paulo: Nobel, 1986.

Logo depois de todas essas descobertas, no ano de 1890, Donald Cameron projetou a primeira fossa séptica ao qual já se tem registro, sendo esta construída na Inglaterra com a finalidade de auxiliar na iluminação pública (NOGUEIRA, 1986 **apud** PALHARES, 2008)².

Na segunda guerra mundial, a biodigestão foi bastante utilizada, na substituição dos derivados de petróleo, através da queima direta e para funcionamento de veículos. Com o final da guerra, essa tecnologia caiu em desuso e foi continuada em pequenas propriedades de terra em poucos países como na Índia, China e na África do Sul (GASPAR, 2003 **apud** PALHARES, 2008)³.

O desenvolvimento do biodigestor aconteceu de modo significativo na Índia. Em 1939 foi desenvolvida a primeira usina de “gás de esterco” no instituto de pesquisa agrícola em Kapur. O sucesso foi tanto que os indianos continuaram a expandir suas pesquisas, formando o Gobar Gás Institute (1950), resultando na propagação dos métodos de utilização dos dejetos de animais para obtenção do biogás e desenvolvimento de novas pesquisas para conservar o efeito fertilizante do produto final (PALHARES, 2008). Esse trabalho pioneiro dos indianos resultou em mais de meio milhão de biodigestores em Azitmal (Norte da Índia) e incentivou a China a investir nessa tecnologia, que em menos de 14 anos já possuía cerca de 7,2 milhões de biodigestores no Rio Amarelo (GASPAR, 2003 **apud** PALHARES, 2008)³.

Os interesses na utilização dos biodigestores na Índia e na China têm objetivos distintos, embora a produção de biogás seja alcançada em ambos os casos. O principal objetivo na utilização de biodigestores na China era o de prover uma biofertilidade que auxiliasse no plantio, para uma produção alimentícia significativa que suprisse a necessidade

³ GASPAR, R. M. A. B. L. Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo-PR. 2003. 119p. Dissertação (Engenharia de Produção) - UFSC

da extensa população chinesa. Já na Índia a prioridade era suprir a imensa necessidade que esse povo possuía em energia (GASPAR, 2003 **apud** PALHARES, 2008)³.

Biodigestores no Brasil

A utilização de recursos alternativos se fez necessário no Brasil por conta da crise energética de 1973. Com essa crise os biodigestores foram utilizados tanto em países desenvolvidos, quanto em países subdesenvolvidos (SGANZERLA, 1983 **apud** PALHARES, 2008)⁴.

Segundo o que já foi registrado, o primeiro biodigestor instalado no Brasil foi em novembro de 1979 na Granja do Torto em Brasília, sendo uma nova esperança para a crise energética que assolava o mundo na época (SGANZERLA, 1983 **apud** PALHARES, 2008)⁴.

Com a segunda crise do petróleo (1979) o país criou um programa chamado de Programa de Mobilização Energética-PME, que concedia estímulos materiais, financiamentos, ou doações de recursos para instalações de biodigestores. Por volta de 1984 o país já possuía cerca de 3000 biodigestores (PALHARES, 2008).

Na década de 80 os biodigestores no Brasil alcançaram o seu auge, sendo que muitos agricultores implantaram estes em suas propriedades. Porém essa tecnologia foi sendo deixada de lado, pois os profissionais do campo não tiveram na época um treinamento adequado para o seu correto manuseio desta tecnologia. O resultado de todo essa má

⁴ SGANZERLA, Edílio. Biodigestores: uma solução. Porto Alegre. Agropecuária, 1983.

organização, foi uma quantidade significativa de biodigestores em mau funcionamento, ou até mesmo desativados (PALHARES, 2008).

A mais recente chance que tivemos de utilizar novamente, em grande escala, a tecnologia dos biodigestores em nosso país foi na época do “apagão”, ou seja, no período em que o Brasil sofreu um racionamento energético (2001). Contudo, as chuvas aconteceram e as barragens nas usinas hidroelétricas encheram, deixando um projeto de baixo custo e de valor ambiental, mais uma vez de lado (GASPAR, 2003 **apud** PALHARES, 2008)⁵.

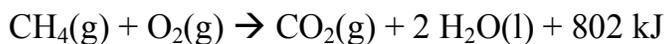
BIODIGESTOR E O SEU FUNCIONAMENTO

O biodigestor é uma tecnologia utilizada para produção de biogás através da decomposição da matéria orgânica. Mas qual a importância da produção do biogás para a natureza? A maior importância para a natureza se refere ao confinamento ou a queima do gás metano (CH₄) produzido, pois este é um intensificador mais agressivo do efeito estufa que o gás carbônico (CO₂). Como acontece o fenômeno do efeito estufa? Quando a luz (ultravioleta e visível) chega ao planeta terra, proveniente do sol, esta é absorvida por moléculas de um material ou substância. Nesse momento os elétrons que se encontram no estado fundamental são excitados aumentando seus movimentos vibracionais, translacionais e rotacionais, ou seja, o aumento da energia cinética translacional das espécies químicas resulta num aumento da energia do sistema, gerando uma liberação de calor. Essa liberação de calor é acompanhada da emissão de radiação infravermelha que pode tanto atravessar a atmosfera e

⁵ GASPAR, R. M. A. B. L. Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo-PR. 2003. 119p. Dissertação (Engenharia de Produção) - UFSC

escapar para o espaço, quanto ser absorvida por alguns gases presentes na mesma. Esses gases que interagem com a radiação infravermelha vibram alterando o seu momento dipolar fazendo com que essas moléculas absorvam e emitam infravermelho, ou seja, o que mantém o planeta aquecido (SILVA, LOBATO, LAGO, CARDEAL e QUADROS, 2009).

O efeito estufa é indispensável para que haja vida na terra, porém as ações antrópicas parecem estar intensificando esse fenômeno gerando um aquecimento global causador de vários desequilíbrios no planeta. Com a queima do metano (importante intensificar do efeito estufa) tem-se a conversão do mesmo em dióxido de carbono e água, gerando um gás estufa menos nocivo a natureza. A reação de combustão do metano pode ser representada abaixo:



O biodigestor produz majoritariamente gás metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂) e necessita de condições favoráveis para o seu correto manuseio, como por exemplo: ausência de ar, temperatura entre 30 a 45 °C, presença de matéria orgânica (dejetos) e ausência de produtos químicos tóxicos (sabões e detergentes). Esse conjunto de fatores determina um correto manuseio do biodigestor, pois o mesmo precisa de uma temperatura adequada para a sobrevivência das bactérias, ausência de ar para não matar as bactérias que são anaeróbicas e ausência de produtos químicos que podem ser letais as bactérias responsáveis pela síntese do biogás (PEREIRA, DEMARCHI e BUDIÑO, 2009).

Os processos metabólicos de produção de biogás compreendem três estágios: hidrólise, acidogênese e metanogênese. A matéria orgânica, de forma geral, é composta de carboidratos (são polihidróxi aldeídos ou cetonas ou substâncias que geram tais compostos por hidrólise), proteínas (macromoléculas formadas por ligações peptídicas entre os aminoácidos) e lipídeos (biomoléculas insolúveis em água, e solúveis em solventes orgânicos). Essa matéria prima é reduzida a compostos orgânicos solúveis por determinados

grupos de bactérias (OLIVEIRA, 1993 **apud** PEREIRA, DEMARCHI e BUDIÑO, 2009)⁶. Os carboidratos são hidrolisados por enzimas extracelulares formando principalmente glicose e uma pequena parte de manose e frutose; as proteínas ao sofrerem hidrólise se transformam em peptídeos e aminoácidos; e os lipídios sofrem hidrólise transformando-se em glicerol e ácidos graxos. As reações de hidrólise são genericamente representadas na Figura 1:

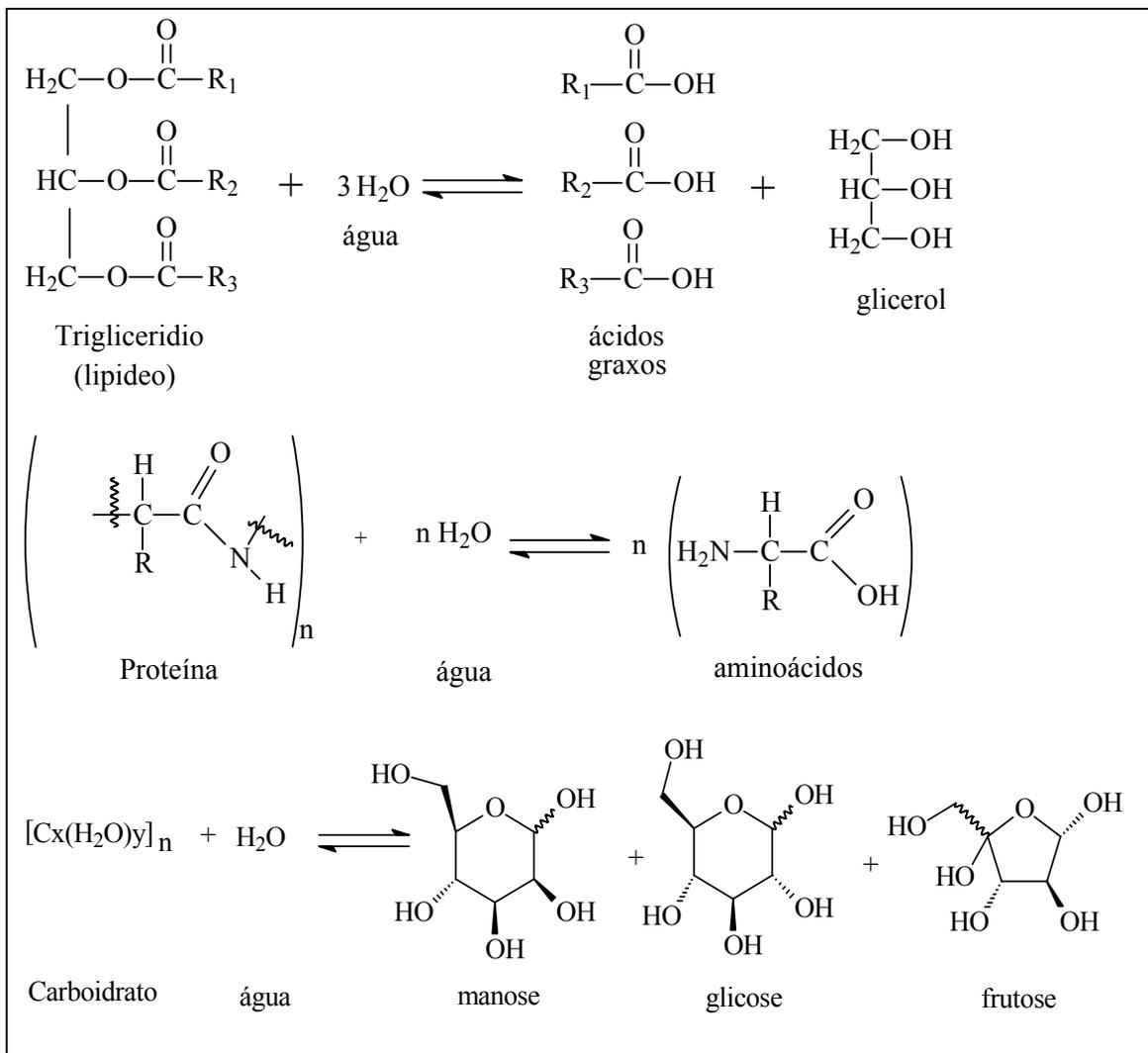


Figura 1. Reações de hidrólise de carboidratos, proteínas e lipídios.

Note que as reações citadas não se apresentam balanceadas, pois se trata de compostos orgânicos bastante complexos e não se sabe ao certo suas exatas constituições.

⁶ OLIVEIRA, P. A. V. Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos. Concórdia: EMBRAPA/CNPSA. 1993. 188p. EMBRAPA – CNPSA. Documento, 27.

Os monossacarídeos são quebrados em ácidos orgânicos e alcoóis, e ao final do processo são convertidos em metano e dióxido de carbono. Já os peptídeos resultantes da hidrólise das proteínas são degradados pela ação bacteriana e parte do nitrogênio obtido (na forma de uréia) sofre hidrólise microbiana, formando dióxido de carbono e nitrogênio. Os ácidos graxos livres de cadeia longa, proveniente da hidrólise dos lipídios, são convertidos primeiramente em acetato e propionato e posteriormente são transformados em metano e dióxido de carbono (MAGALHÃES, 1986 **apud** PEREIRA, DEMARCHI e BUDIÑO, 2009)⁷. As reações de acidogênese, e metanogênese são representadas pela Tabela 1:

Acidogênese	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{CH}_3\text{COO}^- + 2\text{HCO}_3^- + 4\text{H}^+ + 4\text{H}_2$ $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COO}^- + 2\text{HCO}_3^- + 3\text{H}^+ + 2\text{H}_2$ $3 \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow 4\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COO}^- + 2\text{CH}_3\text{COO}^- + 2\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{H}^+ + \text{H}_2$
Metanogênese	$\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ $4\text{HCOO}^- + 4\text{H}^+ \rightarrow \text{CH}_4 + 3\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ $4\text{CO} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_4 + 3\text{CO}_2$ $\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2$ $4\text{CH}_3\text{OH} \rightarrow 3\text{CH}_4 + \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ $4\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3\text{NH}^+ + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 9\text{CH}_4 + 3\text{CO}_2 + 4\text{NH}_4^+$

Tabela 1: Processos de Acidogênese e Metanogênese (ECKE e LAGERKVIST⁸, 2000 **apud** SILVA, 2009).

O biogás produzido pela atividade microbiana é composto de diversos gases, dos quais são: o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), hidrogênio (H₂) e o dióxido de enxofre (H₂S). Essa mistura gasosa é inflamável por causa do metano na sua constituição e tem odor

⁷ MAGALHÃES, A. P. T. Biogás: Um projeto de saneamento urbano, 1986. NOBEL São Paulo. 120p.

⁸ ECKE, H.; LAGERKVIST, A. Anaerobic treatment of putrescible refuse (ATPR). Luleå: The Division of *Waste Science & Technology* of Luleå University of Technology (LTU), 2000, p.47.

característico (mau cheiro), por conta do dióxido de enxofre que sensibiliza o órgão olfativo. A queima de combustível pode substituir vários derivados de petróleo e a sua queima produz alta energia, não gera fumaça ou odores e produz energia limpa (PEREIRA, 2008 **apud** PEREIRA, DEMARCHI e BUDIÑO, 2009)⁹.

Os processos metabólicos de um biodigestor são exemplificados na Figura 2.

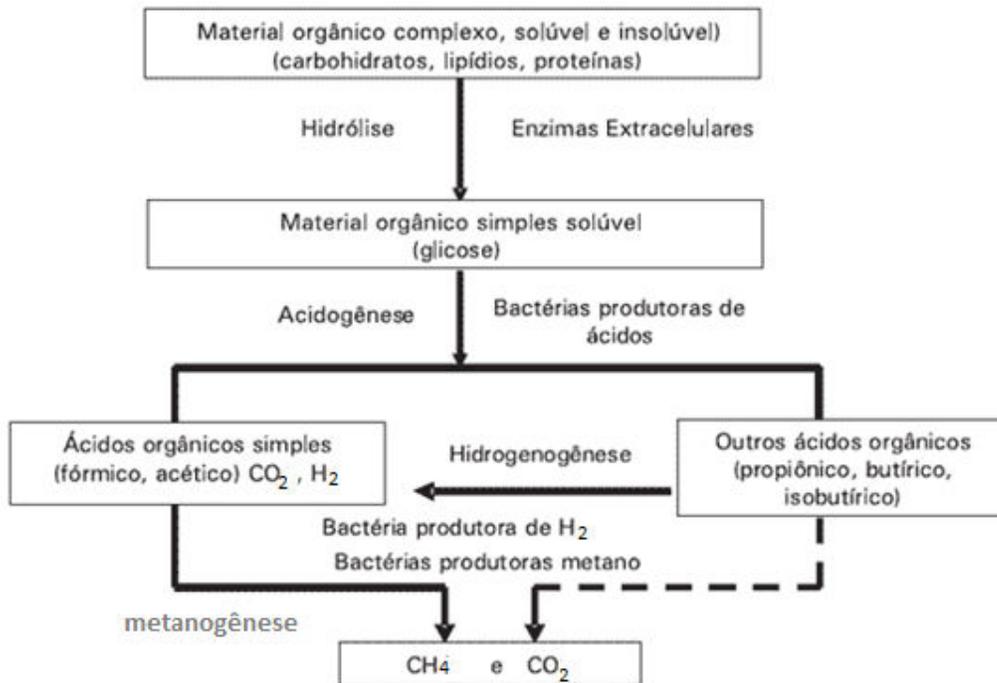


Figura 2. Etapas metabólicas do processo de digestão anaeróbia em biodigestor (Adaptado de AUTOR DESCONHECIDO).

A Figura 3 representa o fluxograma de produção de biogás e biofertilizante lembrando que a diferença marcante entre processo de produção industrial e artesanal esta nas proporções de processamento de matéria orgânica ao qual é submetida. Essa diferença de escala acarreta uma diferença nas instalações usadas em escala industrial e artesanal, como será discutido a seguir.

⁹ PEREIRA, E.R. Desenvolvimento de um sistema especialista para o manejo de efluentes das cadeias avícola e suinícola. 2008. 82p. Relatório Final (Pós – Doutorado). Centro de Tecnologia. Universidade Estadual de Campinas, 2008.

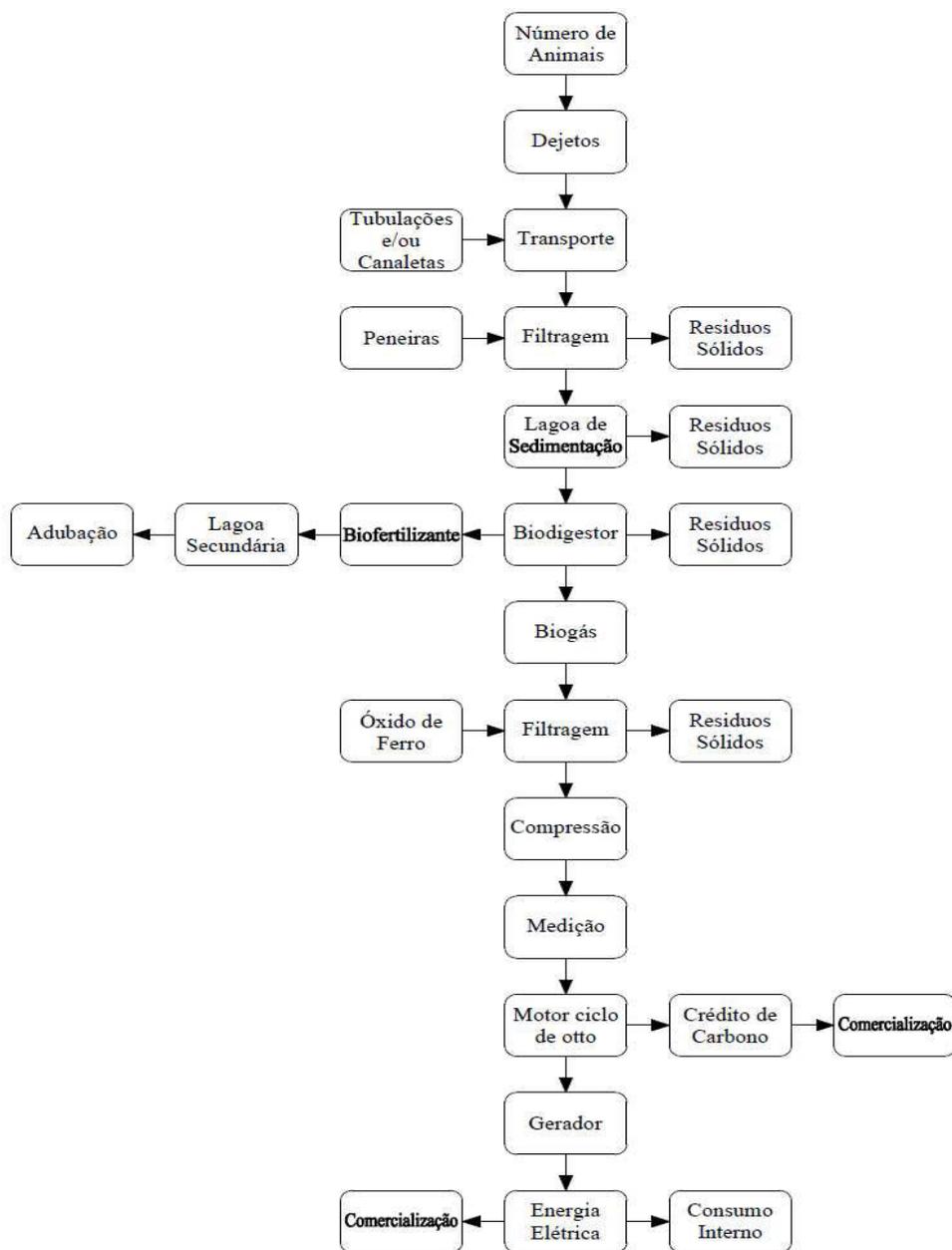


Figura 3. Fluxograma de uma planta com geração de energia elétrica a partir do biogás (PRATI, 2010).

PRODUÇÃO DE BIOGÁS INDUSTRIAL

A produção de biogás acontece de modo geral em um compartimento subterrâneo onde se localizam os dejetos orgânicos, chamada de câmara de fermentação, onde a matéria orgânica é metabolizada pelas bactérias anaeróbicas para produção dos gases que potencialmente são utilizados na produção de energia. Esses gases podem ser recolhidos por um compartimento revestidos por câmaras (Figura 4), ou lonas (Figura 5), que mantêm os mesmos no interior desse sistema “fechado” (PEREIRA, DEMARCHI e BUDIÑO, 2009).

Um registro controla a saída dos gases juntamente com um queimador responsável pela combustão dos mesmos. Com a conversão da matéria orgânica em metano e dióxido de carbono, tem-se uma diminuição da quantidade de carbono na matéria orgânica e um aumento na quantidade de nitrogênio e nutrientes da mesma, fazendo com que o insumo sólido resultante seja rico em nitrogênio aumentando a qualidade do biofertilizante produzido (PEREIRA, DEMARCHI e BUDIÑO, 2009).



Figura 4. Recolhimento de biogás por câmaras (KLEIN, 2010)



Figura 5. Recolhimento de biogás por lona. Fonte: <http://pt.engormix.com/MA-suinocultura/administracao/artigos/suinocultura-necessita-melhorias-manejo-t46/124-p0.htm>

O biogás industrial é obtido através da fermentação anaeróbica de restos alimentícios e águas residuais (lodo residual) que produzem quantidade significativamente maior de biogás em relação ao retirado de dejetos de animais. A quantidade de gás produzido nas indústrias pode ser utilizada para geração de energia elétrica através de motores à combustão, turbinas a gás e microturbinas. (GODLOVE, 2010)

O biogás retirado de aterros sanitários é conduzido através de canos para motores a combustão ou turbinas para geração de energia elétrica e também pode ser utilizado de modo direto para aquecimentos de caldeiras ou até mesmo em moradias. O metano utilizado em moradia é chamado de combustível de BTU baixo (biogás bruto), porque a quantidade de gás metano no biogás é de 50% apenas, ou seja, um grau de pureza baixo que pode ser utilizado também em aquecedores de água, fornos, secadores de agregados, evaporação para tratamento de chorume e geradores convencionais de eletricidade. Porém, não podem ser utilizados como gás natural para motores a combustão interna de veículos devido aos níveis altos de impureza como: dióxido de carbono (CO_2), óxidos nitrogenados (NO_x) e ácidos sulfídrico (H_2S), sendo que estes últimos ao serem queimados geram o fenômeno da chuva ácida. Há também a utilização do combustível de BTU alto, ou seja, o biogás purificado em que os níveis de

metano na mistura são de 90 a 99 % e tem como uso final a utilização como gás natural ou gás natural comprimido (GODLOVE, 2010).

A primeira usina brasileira de produção de eletricidade através do biogás foi à usina do aterro de Bandeirantes (SP), inaugurada em 2003 e considerada uma das maiores do mundo para esse fim. Ela produz 12000 m³ de biogás por hora e possui 24 motores para conversão do gás em energia elétrica (22 MW), ou seja, energia suficiente para uma cidade de 400 mil habitantes. As fotos da usina da cidade Bandeirantes (SP) podem ser apresentadas pela Figura 6. (GODLOVE, 2010)

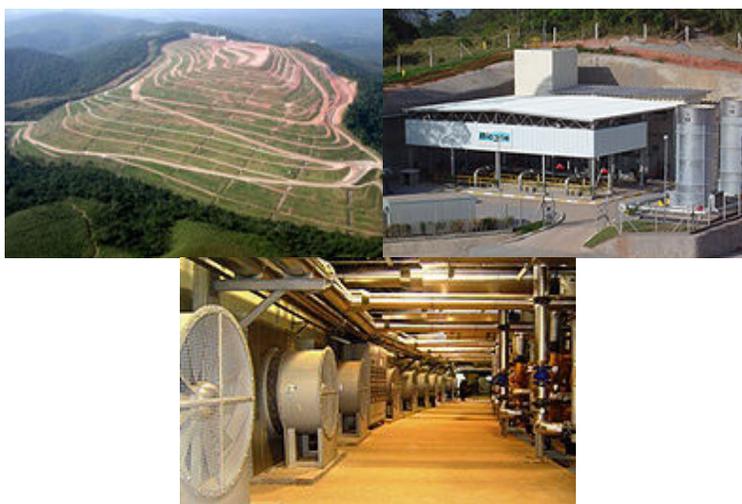


Figura 6. Fotos da usina de Bandeirantes (GODLOVE, 2010).

A construção de aterros sanitários para utilização de biogás além de preservar a natureza, diminui a quantidade de metano lançado na mesma (atenuação do aquecimento global), fornece alternativa para diminuição da utilização dos derivados de petróleo, gera fonte alternativa de renda e ainda gera desenvolvimento econômico local, pois aumenta significativamente o número de empregos dessa determinada região. (GODLOVE, 2010)

Outro aterro muito importante para o Brasil é o de Nova Iguaçu no Rio de Janeiro, onde há tratamento do lixo orgânico, chorume, lodo residual (águas de tratamento) e todos os tipos de dejetos. Esse aterro foi uma alternativa para a recuperação ambiental do lixão de

Marambaia e hoje contribui com geração de energia, desenvolvimento econômico e responsabilidade social. (FELIPETTO) Na figura 7 é mostrado um corte esquemático do aterro de Nova Iguaçu e as funções desempenhadas ao longo do seu funcionamento.

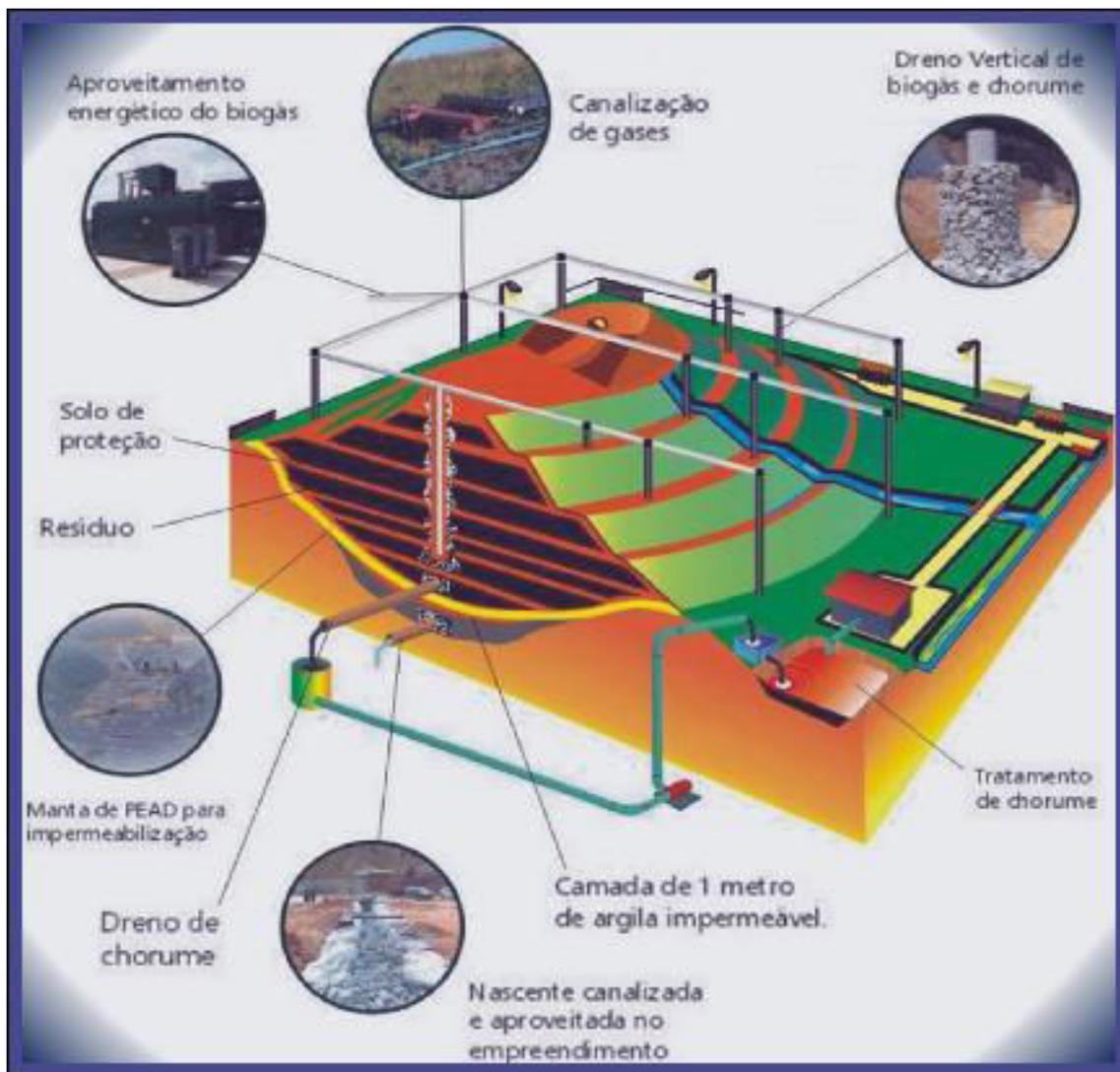


Figura 7. Corte esquemático do aterro sanitário da CTR Nova Iguaçu. (FELIPETTO)

Com o trabalho de aterros em cidades, o desenvolvimento econômico e ambiental é alto no sentido de que nos adequamos com o tratado de Kyoto e ainda podemos vender créditos de carbono, pois não produzimos a quantidade máxima limite, o que garante a compra do mesmo por países que ultrapassaram sua cota na emissão de gases estufas; sem

contar o aproveitamento do biogás, a economia energética e a potencialização do mercado interno gerado pelos novos trabalhadores.

PRODUÇÃO DE BIOGÁS ARTESANAL

A produção de biogás artesanal é utilizada em propriedades rurais e é responsável pela manutenção energética de pequenas e médias propriedades. Essa tecnologia artesanal tem por objetivo tanto a manutenção energética na utilização do metano quanto na produção de biofertilizante, ou seja, fonte de nitrogênio para plantas em desenvolvimento fisiológico. Os modelos de biodigestores mais utilizados nas propriedades rurais são: modelo indiano e o modelo chinês.

O biodigestor indiano tem como característica principal uma campânula como gasômetro (recipiente de confinamento de gás) onde se mergulha toda biomassa a ser fermentada ou sobre o selo d' água externo, que também possui uma parede central que divide o tanque em duas câmaras de fermentação. Essa parede divisória possibilita toda a circulação do material no interior da câmara (PRATI, 2010). O modelo indiano de produção de biogás apresenta pressão de operação constante, ou seja, a quantidade de gás que é produzido não é consumida de imediato fazendo com que o gasômetro tenda a se deslocar verticalmente, aumentando-se o volume do mesmo e assim mantendo a pressão constante (DEGANUTTI;

PALHACI; ROSSI; TAVARES, 2002 **apud** PRATI, 2010)⁹. É necessário que gasômetro esteja sobre a biomassa ou selo d'água, para se evitar possíveis perdas de gás metano.

O abastecimento de substrato do modelo indiano deve ser feito constantemente e geralmente é feito por dejetos de bovinos ou suínos, para que apresente um bom funcionamento no decorrer de sua utilização. A sua construção é muito simples, porém o gasômetro de metal pode encarecer o sistema em questão e se a matéria prima for produzida muito distante do biodigestor a sua implantação em uma propriedade rural se torna inviável, pois o mesmo pode gerar prejuízos em geral (PRATI, 2010). A Figura 8 mostra de modo esquemático a visão frontal de um biodigestor indiano.

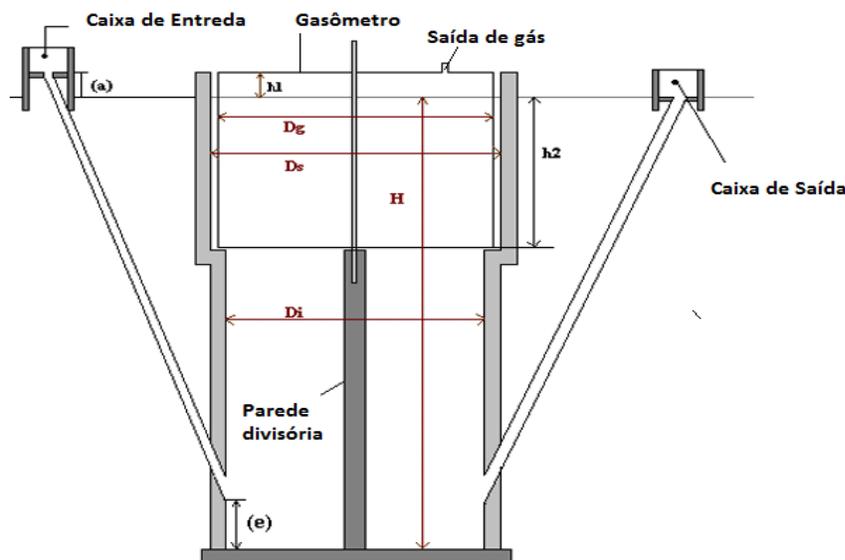


Figura 8 – visão frontal de um biodigestor indiano (Adaptada - DEGANUTTI; PALHACI; ROSSI; TAVARES, 2002).

O biodigestor chinês difere do indiano, pois a sua câmara de fermentação é toda feita de alvenaria (tijolos) em formato cilíndrico, com o teto abobado e impermeável, para que se possa armazenar o biogás proveniente dos processos metabólicos anaeróbicos. Esse

¹⁰ DEGANUTTI, R.; PALHACI, M. C. J. P.; ROSSI, M.; TAVARES, R. – Biodigestores Rurais: Modelo Indiano, Chinês e Batelada, 2002.

equipamento funciona como uma prensa hidráulica, ou seja, conforme o biogás começa a ser produzido à pressão interna gerada pelo mesmo tende a deslocar o efluente da câmara de fermentação para a caixa de saída, e acontece em sentido contrario quando há descompressão (DEGANUTTI; PALHACI; ROSSI; TAVARES, 2002).

Como o sistema chinês e quase que totalmente construído a base de alvenaria, esse dispensa o uso de gasômetro em chapa de aço (modelo indiano) reduzindo consideravelmente os custos para a sua construção, porém este pode apresentar problemas com vazamento de gases caso esse equipamento não seja devidamente vedado e impermeabilizado. Uma parte do biogás produzido pelo biodigestor chinês é lançado na atmosfera, o que o torna inviável para instalações de grande porte (DEGANUTTI; PALHACI; ROSSI; TAVARES, 2002).

Da mesma forma que o biodigestor indiano o equipamento chinês tem que ser constantemente abastecido de insumos orgânicos como dejetos de animais, para que se possa ter uma boa utilização do equipamento produtor de metano e adubo. A Figura 9 mostra uma visão frontal do biodigestor Chinês e a Figura 10 mostra um comparativo em três dimensões do interior do modelo indiano em relação ao modelo Chinês.

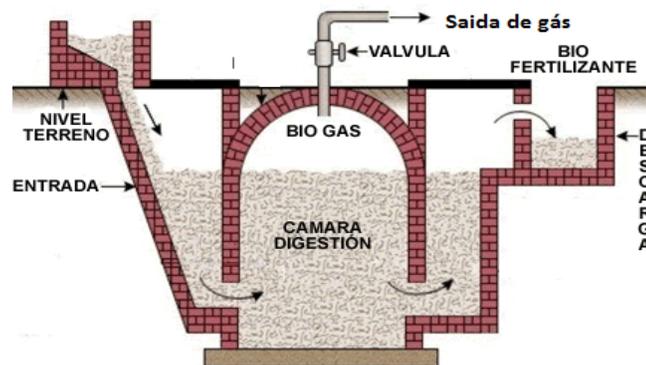


Figura 9 – visão frontal do biodigestor Chinês (AGUERO, 2007-2010).

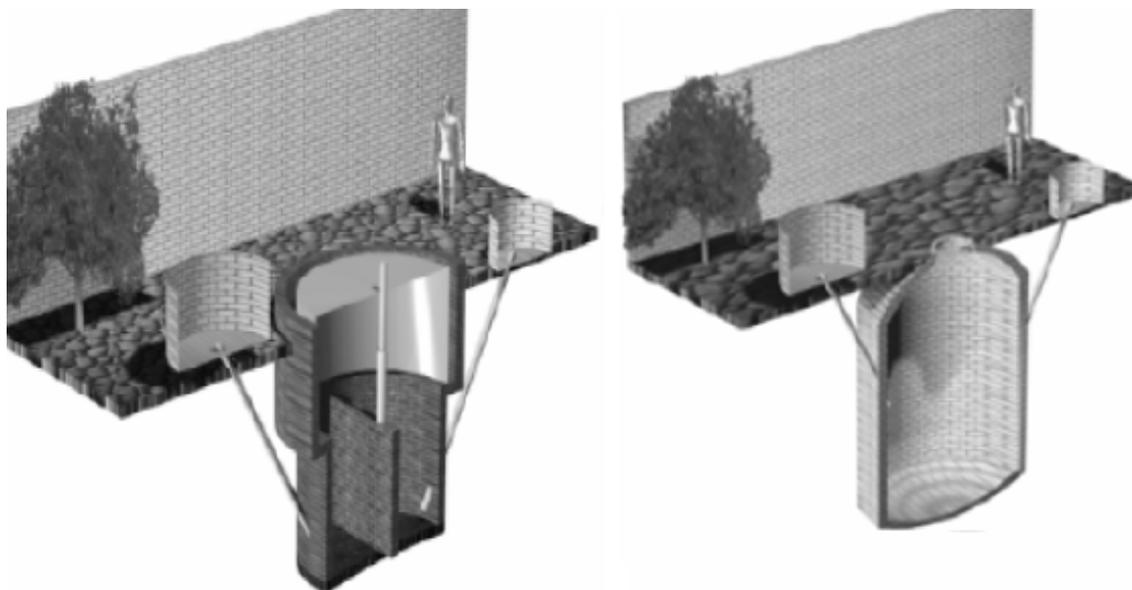


Figura 10 – visão tridimensional do biodigestor indiano e do biodigestor Chinês respectivamente (TURDERA e YURA, 2006).

O biodigestor mais utilizado atualmente em propriedades rurais no Brasil é o revestido por manta de PVC (policloreto de vinila), pois apresenta baixo custo de instalação, manutenção e pode ser utilizado em pequenas ou grandes propriedades rurais. Seu funcionamento é similar ao modelo indiano e ao Chinês, diferindo quanto à substituição da campânula pela lona de PVC, ou seja, a responsável por armazenar o biogás. A figura 11 mostra esquematicamente um biodigestor em manta de laminado de PVC (OLIVER, NETO, QUADROS e VALLADARES, 2008).

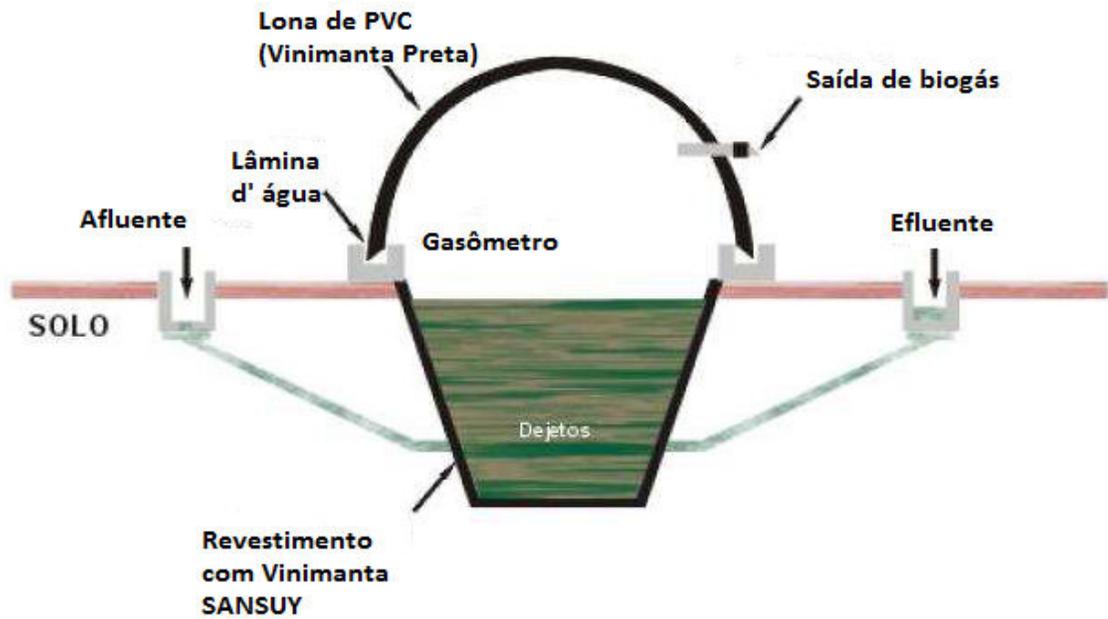


Figura 11. Biodigestor em manta de laminado de PVC (OLIVER, NETO, QUADROS e VALLADARES, 2008)

QUESTIONAMENTOS MOTIVADORES

Esse tópico está reservado para o educador, possibilitando uma maior abordagem didática a ser trabalhada no ensino básico. O intuito desses questionamentos é o de construir um processo de aprendizado visando à interdisciplinaridade e a aplicação do biogás e dos biodigestores no ensino médio.

- 1) Por que o Brasil investiu em energias alternativas na década de 70? Justifique.
- 2) O que muda na vida de uma comunidade com a implementação de um biodigestor numa determinada região?
- 3) O que seria o biogás? Quais são os processos de formação do biogás e os gases produzidos nesse processo?
- 4) Desenhe esquematicamente um biodigestor artesanal indicando as funções de cada componente que o constitui.
- 5) Qual a diferença entre um biodigestor Chinês e um biodigestor indiano? Explique os pontos negativos desses equipamentos relacionado-os.
- 6) Por que a queima de biogás gera créditos de carbono? Quais os benefícios ambientais gerados pela queima do biogás?
- 7) Como é chamado o insumo resultante da produção de biogás? Qual a sua função no plantio de culturas alimentícias?
- 8) Quais são as etapas bioquímicas de formação do biogás? Em que etapa é produzido o principal combustível contido no biogás.

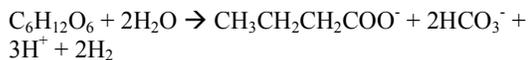
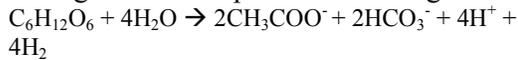
Com esse questionário o professor pode preparar aulas dinamizadas com jogos de perguntas e respostas, apresentação de seminários, questionários avaliativos e até organizar trabalhos para casa.

A questão ambiental é ressaltada o tempo todo nos questionamentos para que o aluno entenda a importância desse conteúdo para a natureza e no contexto em que vivemos atualmente.

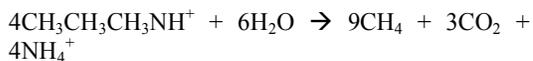
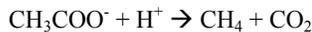
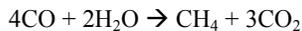
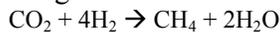
ANEXOS

(Texto Didático para o Professor e para o Aluno do Ensino Médio)

Na segunda etapa, acidogênese, tem-se a quebra dos monossacarídeos em ácidos orgânicos e alcoóis; os peptídeos são quebrados em parte formando composto de nitrogênio (na forma de uréia); os ácidos graxos de cadeia longa são convertidos em acetato e propionato. As reações de acidogênese são representadas a seguir:



Na terceira etapa, metanogênese, tem-se a conversão dos produtos da segunda etapa em gás metano (CH_4) e subprodutos. As reações de metanogênese são representadas a seguir:



Esse conjunto de reações químicas proveniente da decomposição da matéria orgânica resulta na produção do biogás.

Para sintetizar o biogás é necessário que as reações químicas descritas aconteçam, porém isso não pode acontecer ao ar livre porque as bactérias que realizam a fermentação anaeróbica não são resistentes ao oxigênio atmosférico e conseqüentemente, morrem em contato com o ar. Para isso construímos tecnologias para o confinamento da matéria orgânica que são os biodigestores. Biodigestores são compartimentos subterrâneos onde se localizam os dejetos orgânicos, chamada de câmara de fermentação, onde a matéria orgânica é metabolizada pelas bactérias anaeróbicas para produção dos gases que potencialmente são utilizados na produção de energia. Um registro controla a saída dos gases juntamente com um queimador responsável pela combustão dos mesmos. A produção biogás acontece da mesma maneira tanto artesanalmente quanto industrialmente, porém em proporções distintas. O insumo resultante da decomposição da matéria orgânica é rico em nitrogênio e é utilizado como biofertilizante, ou seja, adubo para diversas culturas vegetais.

Como essa tecnologia produzimos combustível e ao mesmo tempo preservamos a natureza, sendo uma alternativa para não total dependência de derivados de petróleo e sim de uma energia renovável.

Biodigestores e a produção de biogás

Com a crise do petróleo na década de 1970 o Brasil, assim como o mundo, buscou alternativas para a produção de energia com intuito de não depender exclusivamente do petróleo que apresentava preços inviáveis ao consumo na época. O Brasil investiu em novas tecnologias alternativas de produção de energia, como: álcool, energia eólica e biogás.

A utilização do biogás foi incentivada em vários lugares do mundo inclusive em países subdesenvolvidos como o Brasil. O incentivo para implantação dessas tecnologias de produção de energia alternativa foi custeada pelo governo e tinha por intenção diminuir a dependência dos derivados de petróleo. O primeiro biodigestor instalado em nosso país foi em Brasília na Granja do Torto, sendo mais uma esperança para a crise energética que assolava o mundo.

Houve nessa época a criação do Programa de Mobilização Energética (PME), que concedia estímulos materiais e financeiros para o investimento na construção de energias alternativas. Esse programa fez com que em menos de dez anos fosse instalado por volta de 3000 biodigestores no Brasil.

O que seria então o biodigestor? Biodigestor é um equipamento que pode ser tanto industrial quanto artesanal em que a decomposição da matéria orgânica se transforma em dióxido de carbono (CO_2) e gás metano (CH_4). Esse equipamento possui um afluente (por onde entra a matéria orgânica), uma câmara de fermentação anaeróbica (onde acontecem as reações de produção do biogás) e um efluente (por onde sai os restos de matéria orgânica que não são decompostas). A

câmara de fermentação anaeróbica funciona por meio da decomposição da matéria orgânica por microorganismos e na total ausência de oxigênio (O_2), pois esse é letal ao seres microscópicos que promovem a formação de metano. Essa câmara tem que ser completamente vedada e impermeabilizada para que não tenha nem entrada e nem escape de gases.

As reações que acontecem na câmara de fermentação podem ser descritas por três processos: hidrólise, acidificação e produção de metano. Na etapa inicial temos a quebra de compostos orgânicos insolúveis em composto orgânicos mais solúveis. Na segunda etapa há uma quebra dos compostos orgânicos solúveis para a formação de ácidos e alcoóis que, por conseguinte, são transformados em metano (CH_4) e gás carbônico (CO_2) na última etapa.

No processo descrito acima temos a produção de biogás por meio de reações químicas, porém com um grau de pureza não tão satisfatório. Isso quer dizer que do total produzido menos de 50 % é formado de metano, sendo que o restante é composto por dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), sulfeto de hidrogênio (H_2S), nitrogênio (N_2) e hidrogênio (H_2). Com exceção do dióxido de carbono (CO_2) os outros gases são produzidos em pequenas quantidades.

Na formação do gás metano (CH_4) através de biodigestores, temos a redução da emissão desse gás na natureza e com a sua queima ele se transforma em gás carbônico (CO_2) e água (H_2O), que são substâncias menos intensificadoras do aquecimento global, ou seja, gera para o proprietário que possui essa tecnologia créditos de carbono. Esse crédito de carbono seria a quantidade de gases estufas que não são lançados a natureza por ações preservativas, ou seja, como outras pessoas precisam utilizar essa emissão de gases

eles compram o que não foi emitido pelo proprietário do biodigestor.

Com essa tecnologia além de preservarmos a natureza, produzimos energia limpa e possibilitamos o desenvolvimento sustentável.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos tempos atuais o ensino está ficando cada vez mais complicado, pois os alunos estão ficando críticos e atualizados. Os métodos construtivistas de ensino auxiliam no processo de ensino e aprendizado, mas mesmo assim os meios de comunicação ainda fornecem grande parte do senso comum que os educandos trazem de bagagem no processo de educação. Uma maneira que possivelmente estimula o processo de ensino é a aplicação das disciplinas no cotidiano escolar, a valorização da interdisciplinaridade e o ensino transversal.

Um dos quesitos apresentado pelo trabalho são as suas abordagens C-T-S, para que o aluno entenda o significado do que está sendo ensinado em sua vida e como esse contexto modifica a relação com sua comunidade. O grande problema é que o método de ensino convencional não permite uma relação abrangente professor-aluno, deixando o educador com uma imagem de transmissor de ensino, ou seja, cabe a nós professores mudar a realidade do que é ensinado incentivando nossos alunos e ao mesmo tempo novos educadores, para que seja mais efetiva a aprendizagem e a possível formação de cidadania.

Esse contexto é abordado nessa monografia buscando uma facilitação do entendimento do aluno através de temas contextuais e com valorização da aprendizagem significativa, buscando uma conscientização ambiental, social, tecnológica e científica. Os textos fornecidos aos alunos e aos educadores possibilitam uma possível metodologia da tecnologia de produção de biogás e uma maior interação professor-aluno, pois trabalha com problemas atrelados ao cotidiano escolar ou de uma comunidade.

REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUERO, J.C.A. Andean Sustainability Alliance. 2007-2010. Disponível em <<http://www.ise-now.com/asa.php>. Acessado 17/06/2011.

AUTOR DESCONHECIDO- Etapas metabólicas do processo de digestão anaeróbia em biodigestor. 2011. Disponível em <<http://www.biodieselbr.com/energia/biogas/biodigestor.htm>. Acessado em 04/06/2011

BRASÍL. (Diversos autores) – Catálogo do programa nacional do livro para o ensino médio PNLEM. Brasília, MEC, 2008.

BRASIL. (Diversos autores) - Guia de livros didáticos PNLD 2012. Brasília, MEC, 2011.

DEGANUTTI, R.; PALHACI, M. C. J. P.; ROSSI, M.; TAVARES, R. – Biodigestores Rurais: Modelo Indiano, Chinês e Batelada, 2002.

FELIPETTO, A. - Minimização de Gases de Efeito Estufa e Aproveitamento Energético do Biogás na CTR Nova Iguaçu.

GODLOVE, C.- Tecnologia para o aproveitamento energético do biogás, 2010.

KLEIN, R.- Montenegro e Pareci Novo terão grandes biodigestores. 2010. Disponível em <<http://clustervaledocai.blogspot.com/2010/07/montenegro-e-pareci-novo-terao-grandes.html>. Acessado em 04/06/2011.

OLIVER, A.P.M.; NETO, A. A. S.; QUADROS, D. G.; VALLADARES, R. E. – Manual de treinamento em biodigestão, fevereiro. 2008.

PALHARES, J.C.P. Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos:aprendendo com o passado para entender o presente e garantir o futuro. 2008. Disponível em <http://www.infobibos.com/Artigos/2008_1/Biodigestao/index.htm . Acesso em: 23/10/2010.

PEREIRA, E.D; DEMARCHI, J.J.A.A; BUDIÑO, F.E.L. BIODIGESTORES – Tecnologia para o manejo de efluentes da pecuária. 2009. Disponível em <http://www.infobibos.com/Artigos/2009_4/biodigestores/index.htm. Acesso em 23/10/2010.

PRATI, L. Geração de energia elétrica a partir do biogás gerado por biodigestores. Monografia. 2010.

SANTOS, W.L.F; MORTIMER, E.F. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S no contexto da educação brasileira. **ENSAIO – Pesquisa em Educação em Ciências**, vol. 2, n. 2, dezembro. 2002.

SILVA, C.N; LOBATO, A.C; LAGO, R.M; CARDEAL, Z.L e QUADROS, A.L.- Ensinando a Química do Efeito Estufa no Ensino Médio: Possibilidades e Limites. *Qnesc*, v. 31, n. 4, novembro 2009.

SILVA, W.R.- Estudo cinético do processo de digestão anaeróbica de resíduos sólidos vegetais. Tese de Doutorado. 2009.

TURDERA, M.V; YURA, D. Estudo da viabilidade de um biodigestor no município de dourados. 2006. Disponível em http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC000000022006000100062&script=sci_arttext. Acessado em 17/06/2011

