



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ  
INSTITUTO DE ENGENHARIA E GEOCIÊNCIAS  
BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

**POTENCIAL DE UM BIODIGESTOR MARINHA NO ATERRO DE PEREMA**

EDIANA DOS SANTOS SILVA  
LAIANA DA SILVA SOUSA

SANTARÉM/PA  
2015



EDIANA DOS SANTOS SILVA

LAIANA DA SILVA SOUSA

## POTENCIAL DE UM BIODIGESTOR MARINHA NO ATERRO DE PEREMA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Colegiado do Programa de Engenharia e Tecnologia da Universidade Federal do Oeste do Pará - Campus de Santarém para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia em Ciência e Tecnologia. Postamento fixado em 13 de maio de 2015.

CARLOS CÉLIO SOUSA DA CRUZ

### Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP) Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFOPA

S586p Silva, Ediana dos Santos  
Potencial de um biodigestor marinha no aterro de Perema / Ediana dos Santos Silva, Laiana da Silva Sousa. – Santarém, 2015.  
66 f. : il.  
Inclui referências bibliográficas.  
Orientador: Carlos Célio Sousa da Cruz.  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Oeste do Pará. Instituto de Engenharia e Geociências. Curso de Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia. Santarém, 2015.  
1. Biodigestores – Lixo – Perema (PA). 2. Energia renovável. 3. Biogás. I. Sousa, Laiana da Silva. II. Cruz, Carlos Célio Sousa da, *orient.* III. Título.

CDD: 23.ed. 665.776098115

SANTARÉM/PA

Bibliotecário-documentalista: Rogério Aoyama CRB 2/1506

TERMO DE APROVAÇÃO

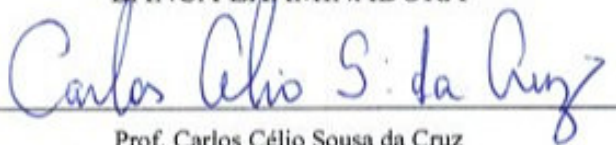
ESTE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO FOI ANALISADO PELOS  
MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA, ABAIXO ASSINADOS:

APROVADO EM: 30/11/2015.

**POTENCIAL DE UM BIODIGESTOR MARINHA NO ATERRO DE PEREMA**

EDIANA DOS SANTOS SILVA  
LAIANA DA SILVA SOUSA

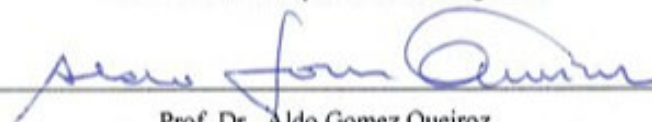
BANCA EXAMINADORA



Prof. Carlos Célio Sousa da Cruz



Prof. Dr. Bruno Apolo Miranda Figueira



Prof. Dr. Aldo Gomez Queiroz

SANTARÉM – PARÁ

2015

## DEDICATÓRIA

Queremos dedicar este trabalho de conclusão de curso a Deus, que nos deu sabedoria para chegarmos até aqui e aos nossos pais, pelo apoio incondicional em cada momento de nossa jornada acadêmica.

## AGRADECIMENTOS

Aos nossos queridos pais Edevacy e Ana Cleise e Laércio Antônio e Ana Lúcia, que são o incentivo, base e apoio de todas as nossas vidas.

Ao Msc.Carlos Célio, pela ajuda competente e pela confiança a cada momento.

Ao nosso amigo Athaulpa Albarado Hoyos, pelo apoio técnico.

Aos nossos professores, pelos ensinamentos repassados com competência e dedicação.

EPÍGRAFE

“O único lugar onde sucesso vem antes do trabalho é no dicionário.”

—Albert Einstein

## RESUMO

O Brasil é um país tradicional no uso de fontes renováveis de energia, destacando-se o uso da energia hidrelétrica como sendo responsável pela maior parcela (acima de 80%) de toda geração de eletricidade. Por outro lado, existe ainda, com pouco aproveitamento, um enorme potencial de fontes renováveis de energia, destacando-se entre elas a energia solar, eólica e biomassa. Deste modo, o acúmulo de resíduos sólidos produzidos pela sociedade atual e a necessidade de novas alternativas energéticas e ambientalmente corretas, implica na busca de maneiras de aproveitamento do lixo. Uma porcentagem significativa do lixo proveniente das áreas urbanas é orgânica, e pode ser utilizada para produção de biogás e biofertilizante através da fermentação anaeróbia nos chamados biodigestores. O Aterro de Perema é o principal destino para todo o lixo produzido no município de Santarém. No entanto, a deposição de subproduto no local sem o tratamento adequado vem causando inúmeros impactos socioambientais na região. Este trabalho de conclusão de curso propõe a utilização de biodigestores como forma de abrandar os transtornos causados pelo aterro, na verdade considerado lixão pelo Ministério Público devido sua precariedade. A proposta é um incentivo a pesquisa e produção dessa tecnologia na região, que proporcionará ao município, entre outros, a redução da poluição ambiental, o tratamento do lixo orgânico, a separação do lixo para reciclagem, uma alternativa de energia renovável e o uso de fertilizante orgânico de ótima qualidade.

**Palavras-Chave:** Lixo, Aterro de Perema, Energia Renovável, Biodigestor.



## ABSTRACT

Brazil is a traditional country in the use of renewable energy sources, highlighting the use of hydropower as being responsible for the largest share (above 80%) of all electricity generation. On the other hand, there is still, with little use, a huge potential for renewable energy sources, highlighting among them the solar energy, wind energy and biomass. Thus, the accumulation of solid waste produced by modern society and the need for new energy and environmentally sound alternatives causes the search for ways to use the waste. A significant percentage of waste from urban areas is organic and it can be used for production of biogas and biofertilizer through anaerobic fermentation called biodigesters. The Perema's landfill is the main destination for all the waste produced in Santarém city. However, the deposition of by-product in place without suitable treatment causes many social and environmental impacts in the region. This final project proposes the use of biodigesters as a way to mitigate the damages caused by the landfill, actually considered dump by prosecutors because of its precariousness. The proposal is an incentive for research and production of this technology in the region that provides the city, among others, reducing environmental pollution, the treatment of organic waste, the sorting of waste for recycling, an alternative renewable energy and the use of organic fertilizer of excellent quality.

**Keywords:** Waste, Perema's landfill, Renewable Energy, Biodigester.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>14</b>
<b>3. LOCALIZAÇÃO DE ÁREA DE IMPLEMENTAÇÃO DO BIODIGESTOR MARINHA NO MUNICÍPIO DE SANTARÉM-PA .....</b>	<b>14</b>
<b>4. REVISÃO BIBLOGRÁFICA.....</b>	<b>17</b>
4.1 Desenvolvimento Sustentável.....	17
4.2 Uso da Biomassa como Fonte Renovável de Energia .....	18
4.3 Política Nacional dos Resíduos Sólidos. ....	19
4.3.1 O Lixo.....	21
4.3.1.1 Lixo no Mundo e sua deposição .....	22
4.3.1.2 Lixo no Brasil .....	24
4.3.1.3 Aproveitamento Energético Do Lixo .....	27
4.4 O Lixo no Município de Santarém e o “Aterro” De Perema.....	28
4.5 Biodigestor .....	33
4.5.1 O Processo de Biodigestão .....	33
4.5.2 Tipos De Biodigestores .....	35
4.5.3 Benefícios Da Tecnologia. ....	38
4.5.4 Aproveitamento e Rendimento Energético com Biodigestores.....	38
4.5.5 Biogás e Biofertilizante. ....	39
4.5.5.1 Biogás .....	39
4.5.5.2 Biofertilizantes .....	43
4.6. Conversão do Biogás em Energia.....	44
4.6.1 Geração de Energia Elétrica: .....	44
4.6.2 Geração de Energia Térmica .....	46
4.6.3 Produção de Combustível Veicular .....	46
4.6.4 Iluminação a Gás .....	46
4.6.5 Mercado de Créditos de Carbono .....	47
4.7 Análise Ambiental das Tecnologias de Conversão Energética .....	48
<b>5. PARTE EXPERIMENTAL .....</b>	<b>48</b>

5.1 A Escolha do Biodigestor .....	48
5.2 A linha de Pré-Tratamento .....	49
5.3. Estimação da Quantidade de RSU orgânicos .....	50
5.4. Quantificação de carga diária .....	50
5.5. Tempo de Retenção Hidráulica .....	50
5.6. Pré-dimensionamento do Biodigestor .....	50
5.7. Cálculo do Volume para um Biodigestor .....	51
5.8. Cálculo da área da manta para o biodigestor .....	52
5.9. Cálculo do gasômetro do biodigestor .....	52
5.10 Esquema Similar do Biodigestor Marinha no Aterro de Perema .....	52
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>53</b>
6.1. Quantificação de carga diária .....	53
6.2. Pré-dimensionamento do Biodigestor .....	54
6.3. Cálculo do Volume para um Biodigestor .....	54
6.4. Cálculo da área da manta para o biodigestor .....	54
6.5. Cálculo do gasômetro do biodigestor .....	55
6.6 Cálculo da área de manta para o tanque acumulador .....	57
6.7 Volume da caixa de saída .....	57
6.8 Cálculo da área de manta para a caixa de saída .....	57
<b>7. CONCLUSÃO.....</b>	<b>59</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>60</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura1 – Imagem tirada pelas autoras no Aterro de Perema.....	17
Figura2 – Situação das políticas estaduais no país em 2011.....	17
Figura3 – Destinação final do lixo.....	24
Figura 4 – Aumento da área para o despejo do lixo.....	29
Figura 5 – Vale de lixo e lagoa de chorume.....	29
Figura6 – Processo de biodigestão.....	33
Figura 7 – Biodigestor indiano, vista tridimensional.....	35
Figura8 – Biodigestor Chinês, vista tridimensional.....	35
Figura 9 – Biodigestor de Lona.....	36
Figura10 – Aproveitamento energético possível com Biodigestores.....	38
Figura 11 – Rendimento energético do biodigestor.....	39
Figura12 – Conversão do biogás.....	44
Figura 13 – Geração de energia elétrica com o biogás.....	45
Figura 14 – Iluminação pública com biogás.....	46
Figura15 – Fluxograma do processo de triagem.....	50
Figura 16 – Esquema de Biodigestor.....	57

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Situação do destino dado ao lixo no Brasil.....	26
Tabela 2 – Pesagens mensais com base nos registros realizados em 2013.....	30
Tabela 3 – Composição qualitativa dos resíduos domésticos de Santarém.....	31
Tabela 4 – Comparação de desempenho entre três modelos de biodigestores.....	37
Tabela 5 – Composição do biogás.....	40
Tabela 6 – Diferença das emissões de GEE de acordo com a tecnologia adotada.....	48
Tabela 7 – Padronização do código de cores.....	50
Tabela 8 – Dimensionamento de acordo com o volume.....	51
Tabela9 – Dimensões do Biodigestor.....	53
Tabela10 – Dimensões da caixa de entrada.....	56
Tabela11 – Dimensões da caixa de saída.....	57
Tabela12 – Consumo de biogás.....	57

## LISTA DE SIGLAS

MDL	- Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
RSU	- Resíduos Sólidos Urbanos
GEE	- Gases do Efeito Estufa

## 1. INTRODUÇÃO

O aumento das atividades humanas nas últimas décadas acarretou um acelerado aumento na produção de resíduos, tornando-se um grave problema para as administrações públicas. O aumento desordenado da população e o crescimento sem planejamento de grandes núcleos urbanos dificultam as ações e o manejo dos resíduos, os quais, muitas vezes são depositados em locais não preparados para recebê-los, como lixões, e podem provocar graves problemas socioambientais. Junto a isso a intensificação da emissão de gases causadores de efeito estufa, e a melhor utilização dos recursos energéticos estão sendo encarados com maior seriedade pela sociedade e governos, isso exige estudos que resultam no aparecimento de novas tecnologias energéticas. VANZIN (2006) destaca que o crescimento da população e das atividades industriais acarretam a demanda, cada vez maior, de energia e o aumento do descarte de resíduos sólidos, que, por sua vez, geram problemas relativos à oferta e aos custos da energia.

Com a possibilidade real do esgotamento dos recursos naturais e a contínua agressão ao meio ambiente a economia mundial está passando por uma reestruturação em busca de um modelo sustentável de desenvolvimento. Segundo HINRICHS E KLEINBACH (2003), a energia é um dos principais pilares da sociedade moderna, indispensável tanto para a produção de bens, com base em recursos naturais, quanto para o oferecimento de serviços. SILVA E CAVALIERO (2001) afirmam que após o racionamento de energia elétrica de 2001, a diversificação da matriz energética brasileira passou a ser fator estratégico. E em abril de 2002, foi criada a Lei 10.438, que estabelece o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), para viabilizar os projetos de geração de energia alternativa.

O estopim mundial para a questão ambiental aconteceu nos anos de 1970, com a conferência de Estocolmo (Suécia), ocorrida em 1972. Foi a primeira atitude em caráter mundial consistente para tentar estabelecer uma relação equilibrada do homem com o meio ambiente – desde então se diluiu aquela ideia errônea de que os rejeitos eram um mal necessário na produção industrial. Entretanto, a inertização correta do lixo, em geral, ainda é um assunto pouco difundido no saber da humanidade; seja este lixo de origem urbana, hospitalar, industrial (tóxico e/ou radioativo), espacial, e militar.

No Brasil, a Usina de Itaipu é modelo na gestão de projetos sustentáveis, que já somam mais de 20 nas áreas do seu entorno. Entre estes se destaca, ainda em fase de teste, a criação de um condomínio de biodigestores para tratar os dejetos das criações de

porcos e vacas do município de Marechal Cândido Rondon, no Paraná. Um dos objetivos do condomínio é evitar a poluição dos rios que vão dar no lago da hidrelétrica. Hoje a água do córrego é limpa, mas até dois anos atrás recebia toneladas de dejetos produzidos por porcos e vacas leiteiras da região.

Este trabalho tem como finalidade expor a problemática do lixo, em especial no município de Santarém e propor como solução o uso de um biodigestor para reaproveitamento de seus resíduos orgânicos através da biodigestão anaeróbia, que por ser eficiente no aproveitamento dos resíduos contribui para o saneamento ambiental, produz um adubo de alta qualidade, o biofertilizante, além de produzir o biogás, podendo ter várias utilidades. De acordo com FARRET (1999), o emprego de biomassa na obtenção de energia representa uma fonte alternativa de grande eficiência. No âmbito urbano, tal modalidade de geração além de produzir energia térmica, proporciona o uso de grandes quantidades de lixo orgânico, e com isso deixam de agredir a natureza.

## **2. OBJETIVOS**

Demonstrar os benefícios obtidos pelo aproveitamento da biomassa que é gerada pelos resíduos sólidos urbanos do município de Santarém com a adoção de um biodigestor no Aterro de Perema, através da produção de biogás e biofertilizante, desenvolvendo e incentivando o conhecimento da tecnologia como meio de mudar a situação de falta de políticas estaduais para o gerenciamento de RSU, além de gerar renda e melhoria para a população.

## **3. LOCALIZAÇÃO DE ÁREA DE IMPLEMENTAÇÃO DO BIODIGESTOR MARINHA NO MUNICIPIO DE SANTARÉM-PA**

No município de Santarém, todo resíduo sólido gerado por sua população é depositado no aterro de Perema, mostrado na figura 1, e apesar de levar o nome de Aterro é considerado pelo Ministério Público como “lixão” devido ao seu funcionamento precário. O Aterro do Perema, como é denominado, possui uma área de 68 hectares e fica há aproximadamente 14,0 km do centro da Cidade, localizado na Rodovia PA 370 – Santarém Curuá Una km 15. A infraestrutura como terraplanagem, drenagem das vias e um quantitativo de maquinário necessário para cobertura do resíduo é muito carente e uma condicionante para a estabilidade de descarrego no local.





Figura 1 - Imagem tirada pelas autoras no Aterro de Perema – Santarém/Pa.

Lixões e o não aproveitamento de resíduos sólidos se tornam uma problemática entre sociedade e natureza, em cuja base se encontra a maneira como são tanto concebidos, produzidos, distribuídos, consumidos e descartados os produtos quanto geridos os sistemas de coleta e disposição dos remanescentes do consumo.

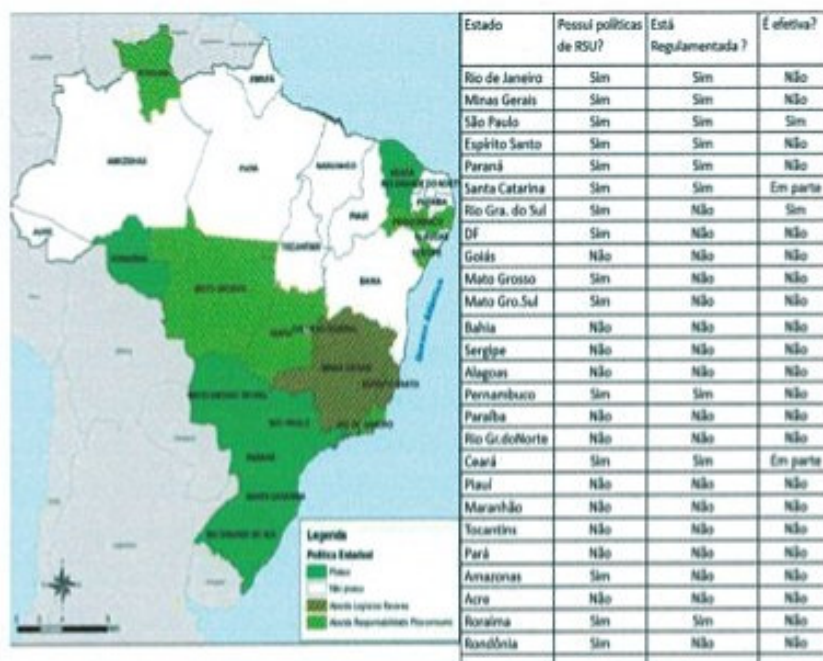


Figura 2 – Situação das políticas estaduais no país em 2011. Fonte: Geotecnia Ambiental (2014).

Observa-se na figura 2, a total ausência de políticas públicas voltadas para o gerenciamento de RSU na região norte, onde está localizado o município de Santarém. Constatando essa realidade, apresenta-se aqui o biodigestor como solução alternativa ao

lixo orgânico produzido na cidade. Com a proposta espera-se o início de uma mudança nesse cenário da região, um manejo adequado aos resíduos de caráter orgânico, com a possibilidade de produção de biofertilizante e biogás, podendo o primeiro ser comercializado a um baixo valor no comércio agropecuário e o segundo, entre suas várias formas de utilização, podendo ser aproveitado para geração de energia, atuando como diversificador da matriz energética, abrandando problemas relacionados a oferta da mesma, ou mesmo gerando renda com a venda de créditos de carbono. Podendo ainda, melhorar significativamente a qualidade de vida da comunidade que vive em seu entorno.

## 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 Desenvolvimento Sustentável

Para o desenvolvimento sustentável são necessários a busca, desenvolvimento e incentivo em tecnologias que utilizem fontes renováveis de geração de energia elétrica, possibilitando a criação de fontes de suprimentos descentralizadas e em pequena escala (COLDEBELLA *et al.* 2006). A produção de energia elétrica através da queima de combustíveis fósseis, considerada a mais poluente, gera resíduos como óxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio, dióxido de carbono, metano, monóxido de carbono, dentre outros. Já, usinas hidroelétricas necessitam da formação de grandes lagos que interferem no fluxo dos rios e requerem a realocação da população, o que muitas vezes resulta em problemas sociais e entraves judiciais (CLASSEN *et al.* 1999). Devido ao aumento da demanda energética e da dificuldade para suprir tal demanda, é necessário o investimento em novas fontes energéticas alternativas para auxiliar no desenvolvimento sustentável.

Em 1992, aconteceu a Eco 92, um dos mais importantes eventos relacionados ao meio ambiente e ao desenvolvimento sustentável. Durante a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD, Rio de Janeiro, junho de 1992) foi discutida e aprovada a Agenda 21, com iniciativas e ações de âmbito local, regional e global para reverter a constante degradação dos ecossistemas em um prazo de vinte anos, um programa a ser posto em prática ao longo do século XXI pelos governos, em todos os seus níveis, pelas ONGs e demais instituições da sociedade civil, com o apoio das Nações Unidas, e pelas demais instituições multilaterais e nacionais de fomento ao desenvolvimento socioeconômico.

Não somente as vantagens ambientais agregam valor às tecnologias de fontes renováveis, há também vantagens sociais e econômicas. Criar fontes de suprimento em pequena escala é fundamental para o desenvolvimento sustentável, tanto em países desenvolvidos como em países em desenvolvimento. Além de não necessitarem de alta tecnologia para instalação ou técnicos especializados para sua operação.

O biodigestor é uma tecnologia já existente de grande potencial tanto na proteção ao meio ambiente quanto como fonte alternativa de energia. Sendo um equipamento capaz de criar o ambiente propício para a ação das bactérias metanogênicas, que realizam um processo natural de decomposição dos resíduos orgânicos cujos produtos resultantes são biofertilizantes e biogás (FARRET, 1999; NOGUEIRA, 1986).

## 4.2 Uso da Biomassa como Fonte Renovável de Energia

A médio e longo prazo, a exaustão de fontes não-renováveis e as pressões ambientalistas poderão acarretar maior aproveitamento energético da biomassa. Energeticamente, biomassa é todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica, seja animal ou vegetal, que pode ser utilizada na produção de energia. Embora grande parte do planeta esteja desprovida de florestas, a quantidade de biomassa existente na terra é da ordem de dois trilhões de toneladas; o que significa cerca de 400 toneladas per capita. Em termos energéticos, isso corresponde a mais ou menos 3.000 EJ por ano, ou seja, oito vezes o consumo mundial de energia primária (da ordem de 400 EJ por ano) (RAMAGE e SCURLOCK, 1996).

Embora sua eficiência seja reduzida, uma de suas principais vantagens, é seu aproveitamento poder ser feito de forma direta, por intermédio da combustão em fornos, caldeiras etc. Atualmente a biomassa apresenta cerca de 14% de todo o consumo mundial de energia primária e em países em desenvolvimento essa porcentagem pode chegar até a 34%.

A falta de informações oficiais sobre o uso da biomassa para fins energéticos deve-se principalmente aos seguintes fatores: i) trata-se de um energético tradicionalmente utilizado em países pobres e setores menos desenvolvidos; ii) trata-se de uma fonte energética dispersa, cujo uso, via de regra, é ineficiente; iii) o uso da biomassa para fins energéticos é indevidamente associado a problemas de desflorestamento e desertificação. Entretanto, essa imagem da biomassa está mudando, graças aos: a) esforços recentes de mensuração mais acurada do seu uso e potencial, por meio de novos estudos, demonstrações e plantas-piloto; b) uso crescente da biomassa como um vetor energético moderno (graças ao desenvolvimento de tecnologias eficientes de conversão), principalmente em países industrializados; iii) reconhecimento das vantagens ambientais do uso racional da biomassa, principalmente no controle das emissões de CO<sub>2</sub> e enxofre (ROSILLO CALLE; BAJAY; ROTHMAN, 2000).

Por estar localizado quase todo em regiões tropicais e chuvosas, o Brasil oferece excelentes condições para a produção e o uso energético da biomassa em larga escala. Além da produção de álcool, queima em fornos, caldeiras e outros usos não-comerciais, a biomassa apresenta grande potencial no setor de geração de energia elétrica. Atualmente, o recurso de maior potencial para geração de energia elétrica no país é o bagaço de cana-de-açúcar. As altas produtividades alcançadas pela lavoura canavieira,

acrescida de ganhos sucessivos nos processos de transformação da biomassa sucroalcooleira, têm disponibilizado enorme quantidade de matéria orgânica sob a forma de bagaço nas usinas e destilarias de cana-de-açúcar, interligadas aos principais sistemas elétricos, que atendem a grandes centros de consumo dos Estados das regiões Sul e Sudeste. Além disso, o período de colheita da cana-de-açúcar coincide com o de estiagem das principais bacias hidrográficas do parque hidrelétrico brasileiro, tornando a opção ainda mais vantajosa.

As principais dificuldades ao maior uso da biomassa na geração de energia elétrica, por exemplo, são a baixa eficiência termodinâmica das plantas e os custos relativamente altos de produção e transporte. De um modo mais genérico, incluindo aspectos socioambientais, verifica-se a necessidade de maior gerenciamento do uso e ocupação do solo, devido à falta de regularidade no suprimento (sazonalidades da produção), criação de monoculturas, perda de biodiversidade, uso intensivo de defensivos agrícolas etc. Esses entraves tendem a ser contornados, a médio e longo prazos, pelo desenvolvimento, aplicação e aprimoramento de novas e eficientes tecnologias de conversão energética da biomassa (CORTEZ *et al*, 1999).

Além de ambientalmente favorável, o aproveitamento energético e racional da biomassa tende a promover o desenvolvimento de regiões menos favorecidas economicamente, por meio da criação de empregos e da geração de receita, reduzindo o problema do êxodo rural e a dependência externa de energia, em função da sua disponibilidade local.

#### **4.3 Política Nacional dos Resíduos Sólidos.**

De acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico do IBGE de 2008, metade dos mais de cinco mil municípios brasileiros destinam seus resíduos para lixões. Conforme o próprio relatório, "tal situação se configura como um cenário de destinação reconhecidamente inadequado, que exige soluções urgentes e estruturais para o setor" (PNSB 2008, IBGE 2010). Maurício Waldman apresenta dados sobre a relação entre crescimento populacional e geração de resíduos:

*"Entre 1991 e 2000 a população brasileira cresceu 15,6%. Porém, o descarte de resíduos aumentou 49%. Sabe-se que em 2009 a população cresceu 1%, mas a produção de lixo cresceu 6%. Essas dessimetrias são também evidentes*

*em dados como os que indicam a metrópole paulista como o terceiro polo gerador de lixo no globo.*

Isso significa que montanhas de lixo são depositados em locais impróprios, contaminando a água, solo e o ar e transmitindo doenças, além das oportunidades de geração de riqueza e renda por meio da reutilização e da reciclagem serem desperdiçadas. Segundo estimativa do Ipea, a generalização da reciclagem de aço, alumínio, papel (celulose) e vidro geraria R\$ 8 bilhões anuais para o sistema econômico, em valores de 2007. Além disso, ressalta-se que as emissões de gases de efeito estufa decorrentes da gestão inadequada dos resíduos tiveram aumento de 14% entre 2005 e 2011.

Uma das soluções mais importantes para essa situação foi tomada por meio da aprovação da Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) em 02/08/2010, após mais de 20 anos em trâmite no Congresso Nacional.

A PNRS chega regulamentando a destinação final dos resíduos sólidos produzidos, inclusive os urbanos, agindo como um marco regulatório que reúne princípios, objetivos, instrumento e diretrizes sob os quais a integração entre os agentes públicos envolvidos, principalmente os municípios, deverão seguir. Adicionalmente, o PNRS adota medidas restritivas como a proibição da coleta de materiais recicláveis em lixões ou aterros; do lançamento de resíduos em praias, rios e lagos; e das queimadas de lixo a céu aberto. A Política também indica o caminho para a reciclagem, reutilização e uso mais consciente dos materiais ao responsabilizar as empresas geradoras pela logística reversa de seus produtos descartáveis e também à própria sociedade civil pela geração do lixo. A noção de logística reversa, um dos principais objetivos da PNRS, exige a intervenção do poder público, mas, sobretudo, supõe uma nova maneira de a própria sociedade gerir a vida econômica: tão importante quanto a geração de bens e serviços é o destino que se dará aos resíduos inevitavelmente associados a sua oferta. A ambição da PNRS atinge a própria maneira de conceber, desenhar, usar e descartar os bens e os serviços que compõem a riqueza social.

Em todo o mundo, é urgente a necessidade de se reduzir a concentração atmosférica de gases de efeito estufa o que provocou a adoção de quadros regulamentares favoráveis para incentivar o setor público e privado a investirem em energias renováveis. O Brasil se destaca no cenário internacional como um importante ator ligado ao Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), um dos instrumentos do Protocolo de Quioto criados para ajudar os países desenvolvidos a alcançar suas metas

de redução de emissões de carbono e incentivar financeiramente os países em desenvolvimento.

Em termos do potencial de reduções de emissões associado aos projetos de MDL, o Brasil ocupa a terceira posição, sendo responsável pela redução de 375.889.172 tCO<sub>2</sub>, o que corresponde a 6% do total mundial para o primeiro período de obtenção de créditos, que podem ser de no máximo 10 anos para projetos de período fixo ou de 7 anos para projetos de período renovável (os projetos são renováveis por no máximo três períodos de 7 anos dando um total de 21 anos). Dos 168 projetos de MDL registrados em diversos setores no Brasil, 25 são realizados em aterros sanitários. Destes, apenas 7 foram registrados com intuito de geração de energia, constituindo-se uma oportunidade promissora para promover a sustentabilidade social e ambiental do desenvolvimento no país, por meio do estímulo a uma gestão mais apropriada dos resíduos sólidos urbanos.

#### 4.3.1 O Lixo: contexto histórico.

Ao procurarmos o termo lixo no dicionário Aurélio (2015), encontramos: “1. Qualquer matéria ou coisa que repugna por estar suja ou que se deita fora por não ter utilidade; 2. Resíduo resultante de atividades domésticas, comerciais, industriais, etc.” Já para FERNANDES (2004), “lixo é um conjunto de resíduos de materiais sólidos, líquido e/ou pastoso impróprio para uso. Sob o aspecto ambiental, é preciso estabelecer como premissa o fato que o lixo é parte de uma ideia maior: “saneamento”.

Com isso em mente, subentende-se que “lixo”, independentemente de sua origem, é resultado das atividades humanas, e que as responsabilidades sobre o seu tratamento devem ser compartilhadas. Por conseguinte, países desenvolvidos ou em desenvolvimento já possuem leis, decretos e normas com propostas de responsabilidades para amenizar os problemas com seus resíduos sólidos, denominação para certa categoria de “lixo”, a partir da NBR n. 10.004/1987 (ABNT, 1987). A Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei n. 12.305, de 02 de Agosto de 2010, define os resíduos sólidos no Art. 3º (Inciso XVI) como:

Art. 3º. Para os efeitos desta Lei, entende-se por: [...] XVI – resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólidos ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos

d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

#### 4.3.1.1 Lixo no Mundo e sua deposição

Segundo EIGENHEER (2009), no início de sua trajetória sobre a terra, os seres humanos eram nômades – caçadores e pescadores – e viviam em cavernas, o lixo produzido por essas populações humanas era notadamente orgânico, uma vez que, deixado sobre o meio ambiente, era logo decomposto pela ação do tempo.

O tempo foi passando e o homem foi "civilizando-se", iniciou então a fabricação de peças de cerâmicas com o intuito de propiciar maior conforto, como por exemplo, os vasilhames de cerâmica, utilizados para o plantio. Hábitos como construção de moradias, criação de animais, cultivo de alimentos, fixação permanente em um local foram desenvolvidos também. A produção de lixo foi aumentada, mas ainda não havia se constituído em um problema mundial. O desenvolvimento se acentua ano a ano e a população humana, conseqüentemente, tem aumentado (HEMPE e NOGUERA, 2012).

Enquanto o homem praticava o nomadismo, "os problemas com dejetos e lixo não eram tão complexos". Esses problemas têm início "com a fixação em aldeias, mas principalmente em cidades, que começam a ser formadas por volta de 4.000 a.C." A partir do século XVIII, com a Revolução Industrial, a situação do lixo piorou significativamente. Os avanços tecnológicos e a exploração dos recursos naturais sem controle, com a produção industrial a todo vapor, liberando seus resíduos de forma descontrolada e sem tratamento algum, poluíam águas dos rios, o solo e o ar, ao mesmo tempo o comércio incentivava o consumo, iniciando-se um círculo vicioso do consumismo e desperdício, característica própria do capitalismo nascente. Sobre isso, transcreve-se um texto da Universidade Federal de Minas Gerais:

[...] com o advento da revolução industrial - que possibilitou um salto na produção em série de bens de consumo - a problemática da geração e descarte de lixo teve um grande impulso. Porém, esse fato não causou nenhuma preocupação maior: o que estava em alta era o desenvolvimento e não suas conseqüências. (UFMG, 1999)

Vivemos em um mundo onde a natureza é intensamente e constantemente agredida. Estamos em tempos de lixo eletrônico, dos descartáveis, resíduos químicos e



nucleares etc. Toneladas de matéria-prima, geradas dos mais diferentes lugares do planeta, são industrializadas e consumidas criando rejeitos e resíduos, que são chamados de lixo. Assim, de forma resumida, lixo é todo material descartado, proveniente das atividades humanas. Ressaltando que o lixo gerado pelo homem é apenas uma pequena parte da montanha acumulada todos os dias, composta pelos resíduos de outros setores.

As cidades do planeta produzem hoje 1,3 bilhão de toneladas anuais de resíduos sólidos. A geração de lixo per capita quase dobrou nos últimos anos, chegando na segunda década do milênio a 1,2 quilo por pessoa por dia, segundo o Banco Mundial. O lixo cresce bem mais que a taxa de urbanização, em termos globais. O ritmo desse aumento deve ser arrefecido, mas, com a expansão da população e da renda, a estimativa é que em 2020 sejam atingidos 2,2 bilhões de toneladas anuais de resíduos sólidos (WORLD BANK, 2012).

Entre as doenças relacionadas ao lixo doméstico, destaca-se: cólera, disenteria, febre tifoide, filariose, giardíase, leishmaniose, leptospirose, peste bubônica, salmonelas, toxoplasmose, tracoma, triquinose dentre outras (SILVA *et al*,2011).

O tratamento adequado do lixo deve buscar alternativas ao modelo atual de desenvolvimento socioeconômico e ambiental. Para o correto aproveitamento dos meios naturais disponíveis, a sociedade deve ter noções de uso sustentável na exploração dos recursos naturais. Muito do que jogamos fora e consideramos lixo pode ser aproveitado por outras pessoas, economizando dinheiro, energia e matérias-primas..

A disposição final do lixo urbano produzido diariamente é um dos graves problemas ambientais enfrentados pelos grandes centros urbanos em todo o mundo e tende a agravar-se com o aumento do consumo de bens descartáveis, que passam, cada vez mais, a compor os grandes volumes de lixo gerados pela população (SANTOS; TAUCHEN, 2010).

O aterro sanitário é a forma mais segura ambientalmente de disposição de resíduos sólidos urbanos (RSU). Isso porque utiliza métodos de engenharia para confinar os dejetos na menor área possível, reduzi-los a um menor volume e cobri-los, frequentemente, com uma camada de terra. Segundo FERNANDES (2004), os aterros sanitários não podem ser construídos próximos das cidades, devido à proliferação de roedores, moscas, mosquitos e, principalmente, do odor forte. Os aterros são classificados como comuns (ou lixões), aterros controlados ou aterros sanitários.

Os lixões são caracterizado pela simples descarga sobre o solo, sem critérios técnicos e medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública. Este método de

deposição é o mais prejudicial ao homem e ao meio ambiente; todavia, ainda é o mais usado no Brasil e nos países subdesenvolvidos (KLANOVICZ,2013).

Os aterros controlados são variáveis da prática anterior, em que o lixo recebe uma cobertura diária de material inerte. Esta cobertura diária, entretanto, é realizada de forma aleatória, não resolvendo satisfatoriamente os problemas de poluição gerados pelo lixo, uma vez que os mecanismos de formação de líquido e gases não são levados em consideração.

Aterros sanitários, já definidos anteriormente, são aqueles executados segundo os critérios e normas de engenharias e atendem os padrões de segurança pré-estabelecidos, como ressalta o artigo da Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, “Apesar das vantagens, este método enfrenta limitações por causa do crescimento das cidades, associado ao aumento da quantidade do lixo produzido. O sistema de aterro sanitário precisa ser associado à coleta seletiva de lixo e a reciclagem, o que permitirá que sua vida útil seja bastante prolongada, além do aspecto altamente positivo de se implantar uma educação ambiental com resultados promissores na comunidade, desenvolvendo coletivamente uma consciência ecológica, cujo resultado é sempre uma maior participação da população na defesa e preservação do meio ambiente.” (BRASIL, Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, 2007).

No aterramento do lixo, um dos problemas ambientais considerados é a emissão do biogás, mistura gasosa combustível produzida pela digestão anaeróbia da matéria orgânica, composto por aproximadamente 45% de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono), 50% de CH<sub>4</sub> (metano), que é um combustível possível de ser coletado e utilizado como fonte de energia, e o restante por 3% de N<sub>2</sub> (nitrogênio), 1% de O<sub>2</sub> (oxigênio) e 1% de outros gases. O seu poder calorífico é de 14,9 a 20,5 MJ/ m<sup>3</sup>, aproximadamente 5800 kcal/m<sup>3</sup> (MUYLAERT *et al*, 2000).

Segundo CUNHA (2002), a captação do biogás resultante da decomposição dos resíduos orgânicos é viável do ponto de vista econômico, energético e ambiental, traz redução de custos para a Prefeitura local e um destino nobre para o lixo.

#### **4.3.1.2 Lixo no Brasil**

Os aterros sanitários são o destino do lixo em apenas 27% dos municípios brasileiros. E onde eles predominam, como em São Paulo, os resíduos são transportados a longas distâncias, o que encarece o conjunto do sistema e amplia as emissões por ele geradas (JACOBI e BESEN, 2011).

De acordo com o IBGE, no Brasil, são produzidos 0,74 kg de resíduos por habitante por dia. Dos 5.507 municípios brasileiros, 4.026 (73,1%) têm população até 20.000 habitantes e neles, 68,5% dos resíduos gerados são vazados em lixões e em alagados. As cidades brasileiras com população acima de um milhão de habitantes coletam 31,9% (51.635 t/dia) de todo o lixo urbano brasileiro e têm seus locais de disposição final em melhor situação: apenas 1,8 % (832 t/dia) é destinado a lixões, sendo o restante depositado em aterros controlados ou sanitários que somam aproximadamente 1.452 aterros (IBGE/PNSB, 2000). Na imagem 3, temos visualmente a situação da destinação do lixo no país no ano de 2013.

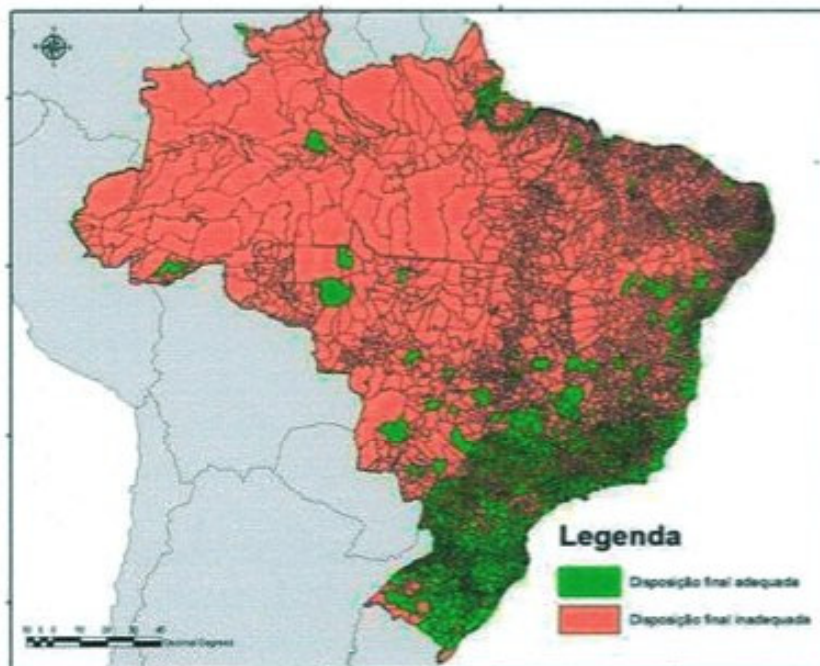


Figura 3 – Destinação final do lixo. Fonte: Geotecnia Ambiental (2014).

Um problema quanto à questão de resíduos diz respeito à cobertura de coleta. Os serviços públicos de limpeza urbana não coletam todo o resíduo urbano gerado. Com isso, a parcela da população não atendida muitas vezes descarta seus resíduos em locais impróprios, como margens ou mesmo interior de rios, terrenos baldios, praças públicas, praias, etc., causando sérios problemas de saúde devido à proliferação de doenças e contaminação da água, além de ocasionar entupimento de bueiros e canais de escoamento de águas superficiais, causando enchentes. Apenas 63% dos domicílios contam com coleta regular de lixo (IBGE, 2000). A principal preocupação brasileira tem sido ampliar a coleta de lixo. Segundo dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio (PNAD) do IBGE, em 1981, 49,2% do total de domicílios particulares permanentes têm seu lixo coletado, número que cresce para 64,5% em 1990; 72,1% em

1995 e para 79,9% em 1999. Entre 1992 e 1997, a taxa de cobertura nacional média dos serviços de coleta do lixo é de 86%, refletindo a precariedade dos serviços na Região Norte. Junto a baixa cobertura de coleta, preocupa também o tratamento dado ao lixo no país. Segundo IBGE (1991), prevalece, no Brasil, uma destinação do lixo extremamente nociva ao meio ambiente e à saúde pública.

Ações para solucionar esse problema relacionado ao lixo, de acordo com LIMA (2005), devem levar em consideração o comportamento cultural dos seres humanos.

*“Considerando que esta capacidade de produzir resíduos é sistêmica em relação ao tempo, pode-se inferir que existe uma relação direta entre a atividade diária do homem e a produção de resíduos, ou seja, a dinâmica mostra que para cada atividade do ser humano há uma quantidade correspondente de lixo sendo produzido diariamente. Por esta relação pode concluir que o fenômeno da produção de lixo pode ser avaliado pelo comportamento cultural dos seres humanos, inclusive pode-se estabelecer uma formulação numérica sobre esta relação, a qual é denominada de produção per capita, expressa em kg de lixo/habitante/dia. (LIMA, 2005)”.*

Sob essa perspectiva cultural, destaca-se, portanto, a importância da educação ambiental, como política pública, relacionada às ações sobre a produção e o destino do lixo nas zonas urbanas. Nesse sentido, o governo brasileiro instituiu a Lei n. 9.795/99 – Política Nacional de Educação Ambiental, que em seu Art. 2º, determina:

*“A educação ambiental é um componente essencial e permanente da educação nacional, devendo estar presente, de forma articulada, em todos os níveis e modalidades do processo educativo, em caráter formal e não formal, ao Poder Público, às instituições educativas, aos órgãos integrantes do Sistema Nacional de Meio Ambiente – Sisnama, às empresas, entidades de classe, instituições públicas e privadas, aos meios de comunicação de massa, à sociedade como um todo.”*

A legislação brasileira, mediante a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305, de 02 de agosto de 2010), institui no Art. 3º, II e VIII, que áreas destinadas a aterro precisam obedecer a critérios para o funcionamento e características peculiares.

Os números da tabela 1 demonstram a situação da destinação do lixo no Brasil: 76% a céu aberto (lixão); 13% aterro controlado (lixão controlado); 10% aterro sanitário; 0,9% usina de compostagem; 0,1% usina de incineração. (FONSECA e BRAGA, 2010).

Tabela 1. Situação do destino dado ao lixo no Brasil.

LIXÃO	76%
ATERRO CONTROLADO	13%
ATERRO SANITARIO	10%
INCINERAÇÃO	0,1%
RECICLAGEM	0,9%

#### 4.3.1.3 Aproveitamento Energético Do Lixo

A quantidade de lixo acumulado em grandes volumes por vários países e cidades do mundo já se tornou um problema preocupante. E pensar em soluções para abrandar ou reverter essa situação é, atualmente, um dos maiores desafios da humanidade. Por esse motivo, os investimentos em pesquisas de aproveitamento energético do lixo vêm aumentando. Pesquisas essas que apontam para dois caminhos: queima dos resíduos ou a queima do biogás produzido através da decomposição de matéria orgânica. **Fonte.**

Aproximadamente, 1,5 mil usinas térmicas queimam lixo para gerar energia hoje no mundo, a maioria delas no Japão. Já no Brasil, não há esse tipo de usina, apesar de haver grande interesse no assunto. Essa tecnologia tem capacidade para reduzir o volume original de lixo para aproximadamente 12% de cinzas, que podem ser usadas como base de asfalto ou matéria-prima para construção civil, porém ela acarreta a desvantagem de ser uma tecnologia cara com o custo megawatt-hora bastante elevado se comparado a energia convencional. A matéria orgânica descartada como lixo (especialmente restos de comida, podas de árvore e restos de animais e vegetais) precisa de aproximadamente seis meses para se transformar em metano, gás combustível que agrava o efeito estufa. A simples queima do metano, sem nenhum aproveitamento energético, já assegura um benefício ambiental por transformar CH<sub>4</sub> (metano) em CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono). O metano é de 20 a 23 vezes mais danoso para a atmosfera do que o dióxido de carbono. Economicamente falando há duas maneiras de se conseguir retorno financeiro: a emissão de créditos de carbono (quando uma certificadora da ONU mede a quantidade de metano queimado e converte esse número em papel com valor de mercado para os países ricos signatários do Protocolo de Kyoto que assumiram o

compromisso de reduzirem suas emissões) e a venda de energia elétrica (TRIGUEIRO,2013).

De acordo com a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB, 1999), a geração de energia através do aproveitamento do metano de resíduos sólidos urbanos seria suficiente para alimentar uma cidade de aproximadamente 3,5 milhões de habitantes.

Esses números também são apontados no “Atlas Brasileiro de Emissões de GEE (gases de efeito estufa) e Potencial Energético na Destinação de Resíduos Sólidos”, onde se verifica que o biogás estocado em aterros ou lixões poderia abastecer 1,5 milhão de pessoas. Porém, isso iria requer investimentos da ordem de aproximadamente R\$ 1 bilhão. Até 2039, o potencial energético estocados ou não aproveitados em aterros seria o suficiente para abastecer 3,2 milhões de pessoas, o equivalente à população do Rio Grande do Norte.

A produção de lixo no Brasil tornou-se um problema de grandes repercussões e a geração de energia elétrica a partir dos resíduos é uma ideia que merece atenção além do aumento em investimentos e a criação de um ambiente de negócios favorável à inclusão do biogás em nossa matriz energética.

#### **4.4 O Lixo no Município de Santarém e o “Aterro” De Perema**

A população de Santarém, divulgada oficialmente pelo IBGE (2010), em 29/11/2010, apresentou o número de 291.122 habitantes, distribuídos em 69.335 imóveis ocupados. E, entre estes, 83.830 domicílios particulares. Esses números revelam a realidade da cidade. Ainda de acordo com FERNANDES (2004), Santarém está sofrendo modificações devido sua expansão, tanto no processo de urbanização acelerado quanto no processo de ocupação descontrolado, sem investimentos por parte do poder público municipal no que diz respeito à infraestrutura e à organização do espaço urbano.

O processo de vida urbana deve ser entendido como um processo de co-responsabilidades entre autoridades governamentais e comunidade em geral, onde a melhoria do ambiente e da qualidade de vida dependem de práticas individuais e coletivas, práticas estas que irão contribuir diretamente para a proteção da saúde e prevenção de doenças (FERNANDES, 2004).

Os resíduos sólidos domiciliares gerados e coletados, tanto na sede municipal quanto em Alter do Chão e comunidades de Santarém são depositados em “aterro

Controlado”. Por muito tempo o Perema funcionava apenas como depósito desse lixo, sem cuidados com os resíduos que eram despejados no local e sem o mínimo de planejamento e controle, por esse motivo, era considerado pelo Ministério Público como lixão. A partir de abril de 2013, a Coordenadoria Municipal de Saneamento Básico – CSAN iniciou atividades com o intuito de atender os requisitos legais mínimos para o local. Como “Aterro Controlado”, o Perema possuiu alguns atendimentos que há muito tempo não se tinha, como: monitoramento de águas superficiais e de poços, controle do acesso de pessoas e de veículos com o cercamento do local, organização dos resíduos recebidos em células e a manutenção da Lagoa de Chorume.

Atualmente, os catadores separam garrafas pet, latinhas e às vezes outros plásticos, dependendo da demanda dos compradores, porém o resto do lixo é simplesmente despejado naquele vale mostrado na figura 5.

No dia 30 de Abril de 2015, realizou-se uma visita acadêmica ao Perema do qual Seu Antônio Freitas, funcionário público, pôde nos esclarecer alguns transtornos enfrentados anualmente, como transbordamento da lagoa de chorume nos períodos chuvosos, a contaminação da nascente de Miritituba, diminuição do espaço para despejo do lixo - do qual se observou durante a visita um trator retirando uma camada de terra para ampliar o local e utiliza-la para cobrir o lixo como mostra a Figura 4 e a falta de investimento em projetos para aumentar a vida útil do lixão. Segundo seu Antônio a vida útil do Perema está entre 10 a 20 anos, se for bem mantida.



Figura 4 – Aumento da área para o despejo do lixo. Fonte: Foto tirada pelas autoras.



Figura 5 – Vale de lixo e lagoa de chorume. Fonte: Foto tirada pelos autores.

Devido às condições de pobreza da maior parte da população mundial, os aterros ou lixões são, muitas vezes, locais de sobrevivência de uma grande parte dessa população, principalmente nos países subdesenvolvidos. No Brasil, essa realidade não se mostrou diferente. No Estado de São Paulo, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) elabora, desde 1997, o inventário Estadual de controle dos resíduos sólidos. Dessa forma, localizou 587 aterros ou lixões, identificando, somente na capital, 3686 catadores, dos quais 448 são crianças.

Já em Santarém, no processo de implantação da cooperativa no aterro controlado do Perema, constatou-se 64 catadores, atuando na área. Portanto, essa realidade ainda destoa da **Política Nacional de Resíduos Sólidos**, Lei 12.305/2010, a qual em seus objetivos, diz: um melhor gerenciamento dos resíduos sólidos, reduzindo a quantidade e a nocividade dos resíduos sólidos; eliminar os prejuízos à saúde pública e à qualidade do meio ambiente causado pela geração de resíduos; formar uma consciência comunitária sobre a importância da opção pelo consumo de produtos e serviços que não afrontem o meio ambiente e com menor geração de resíduos sólidos e de seu adequado manejo; além de gerar benefícios sociais e econômicos aos municípios que se dispuserem a licenciar, em seus territórios, instalações que atendam aos programas de tratamento e disposição final de resíduos industriais, minerais, radioativos, de serviços e tecnológicos.



Mas esses serviços tornam-se ineficientes por haver dificuldades operacionais além da ausência de máquinas e equipamentos que fazem a operação e a manutenção hábil desses equipamentos.

Na tabela 2, temos as pesagens mensais dos resíduos de serviço de saúde que se constitui de resíduos que são produzidos em hospital clínica, laboratório, farmácias, clínicas veterinárias, postos de saúde e resíduos domiciliar/comercial que são oriundos da vida diária das unidades familiares, tais como restos de comidas, jornais, garrafas plásticas e de vidros, papel higiênico, fraudas descartáveis, embalagens em geral entre outros e oriundos de estabelecimentos comerciais que inclui prestadores de serviços como lojas, bares, hotéis, restaurantes, supermercados e estabelecimentos bancários (SEMINFRA/2013).

Tabela 2- Pesagens mensais com base nos registros realizados em 2013. - FONTE: SEMINFRA/2013.

<b>RESÍDUOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE</b>		<b>RESÍDUO DOMICILIAR/COMERCIAL</b>
<b>ANO/2013</b>	<b>Ton./Mês</b>	<b>Ton./Mês</b>
JANEIRO	35,23	4.062,72
FEVEREIRO	23,10	3.648,74
MARÇO	25,99	4.037,34
ABRIL	30,23	4.137,63
MAIO	34,52	4.262,63
JUNHO	33,07	4.368,18
JULHO	29,18	4.732,58
AGOSTO	21,80	4.636,07
SETEMBRO	31,66	4.447,46
OUTUBRO	32,38	4.775,94
NOVEMBRO	27,41	4.933,87
DEZEMBRO	30,46	5.544,52
<b>TOTAL</b>	<b>355,05</b>	<b>53.587,68</b>

Os materiais que ainda podem ser usados para outros fins, mesmo depois de serem descartados, são chamados de materiais reaproveitáveis. Aqueles materiais que deveriam ser descartados, mas após sofrerem transformações podem novamente ser usados pelo homem, são chamados de materiais recicláveis. Não há como não produzir lixo, mas podemos diminuir essa produção reduzindo o desperdício, reutilizando sempre que possível e separando os materiais recicláveis para a coleta seletiva.

Tabela 3 - Composição qualitativa dos resíduos domésticos de Santarém. - FONTE: SEMINFRA/2011.

COMPONENTES	MEDIA (%)
Papel/papelão	8,7
Plásticos	6,2
Metais ferrosos	1,2
Metais não ferrosos	0,6
Vidros	1,4
Couros e borracha	0,2
Matéria orgânica	63,8
Rejeitos	17,9
<b>Total</b>	<b>100</b>

Na tabela 3, observa-se a média de composição do lixo produzido no município, podendo este ser reutilizado ou reaproveitado. Como dito anteriormente, há 64 trabalhadores que reciclam no local, esses trabalhadores formam a **COOPRESAN – COOPERATIVA DE RECICLÁVEIS DE SANTARÉM** –, porém as condições de trabalho na prática são precárias, principalmente com a exposição dessas pessoas diretamente à pilha de resíduos, disputando o espaço com urubus e as máquinas pesadas que operam no local, além da insalubridade da atividade.

Para a FUNDAÇÃO BANCO DO BRASIL (FBB, 2002), “coleta seletiva é um sistema de recolhimento de materiais recicláveis, tais como papéis, plásticos, vidros, metais e “orgânicos”, previamente separados na fonte geradora”. Quando o lixo já não tem nenhuma serventia para quem joga fora, surge ideia do reaproveitamento, podendo tornar-se matéria-prima em um novo processo produtivo.

## 4.5 Biodigestor

Os avanços na legislação ambiental e a preocupação com o meio ambiente vêm despertando na população um crescente interesse no desenvolvimento de biocombustíveis e geração de energias renováveis.

O biodigestor é definido como um reservatório, “câmara de fermentação” fechada, onde a matéria orgânica “biomassa”, sofre digestão por bactérias anaeróbias, na ausência total de oxigênio. A ação de decomposição da biomassa, pelas bactérias metanogênicas, é um processo natural de decomposição dos resíduos orgânicos cujos produtos são biogás e biofertilizante, tal processo pode apresentar vantagens às propriedades rurais nas áreas de geração de energia e preservação ambiental (FARRET, 1999; NOGUEIRA, 1986).

Hoje a China é exemplo em termos de alcance de um programa de substituição de energia por biogás com a instalação de 8 milhões de biodigestores. Graças a este número, os chineses detêm hoje a melhor tecnologia do biogás, seguidos de perto pelos indianos, cada um com a sua escolha (SGANZERLA, 1983). Outros países têm realizado programas de construção de biodigestores, notadamente em desenvolvimento. Apesar das diversas vantagens oferecidas por esses reatores, seu emprego apresenta motivações específicas: no caso da China, destaca-se o biofertilizante como a razão principal; Filipinas, o tratamento das águas residuárias de origem doméstica em projetos de colonização; na Tailândia, para promover o saneamento; e na Índia, as vantagens devem ser aproveitadas e consideradas na viabilização de programas de implantação de biodigestores rurais (GASPAR, 2003). No Brasil os biodigestores tiveram maior desenvolvimento na década de 80 quando contaram com grande apoio dos Ministérios da Agricultura e Minas e Energia. A ausência de subsídios para construção de biodigestores, o corte das verbas que dariam continuidade ao programa e a oferta de energia elétrica subsidiada foram os principais fatores que contribuíram para a pouca propagação desta tecnologia (ANDRADE *et al*, 2002).

### 4.5.1 O Processo de Biodigestão

O primeiro biodigestor que se tem registro foi construído no ano de 1857, em Bombaim na Índia. Seu intuito era produzir gás combustível para um hospital de hansenianos (NOGUEIRA, 1986), o que torna a biodigestão uma tecnologia com pelo menos 150 anos. Entretanto, com a abundância de energia fóssil que vigorou no mundo

até a primeira crise do petróleo, os biodigestores só foram desenvolvidos e aplicados em larga escala na Índia e na China (GASPAR, 2003).

A partir de 1970, devido a crise petrolífera, a biodigestão passou a ser considerada uma alternativa viável para a produção de energia, principalmente no campo. Outro motivo que fez com se aumentasse o interesse pela biodigestão foi a questão sanitária. Até a década de 70, a maioria dos processos de tratamento biológico de esgoto era aeróbia, ou seja, utilizava oxigênio para degradar a matéria orgânica (SARAVANAN e SREEKRISHNAN, 2006). A biodigestão só era utilizada quando um processo secundário se fazia necessário nas estações de tratamento. Na figura 6, se observa todo o processo de biodigestão.

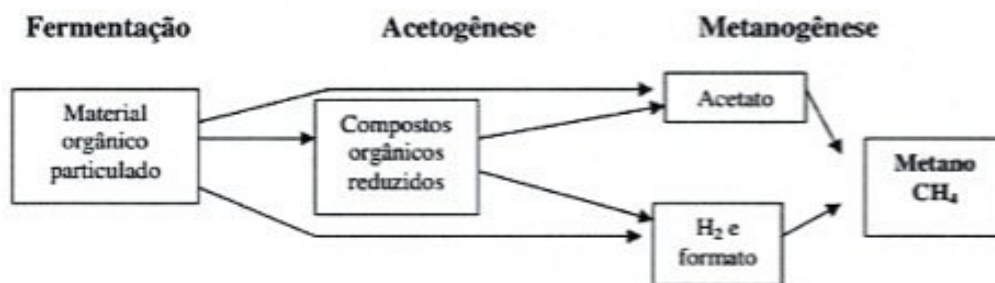


Figura 6 – Processo de biodigestão. Fonte: Classen *et al* (1999).

Segundo O CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO EDUCACIONAL DE BARRETOS (2009), a biodigestão é dividida em etapas: fase da hidrólise (fermentação), fase ácida e a fase metanogênica, com produção do biogás somente na última fase. Na fase da hidrólise as bactérias liberam enzimas extracelulares que realizam a hidrólise das partículas, a transformação, ou quebra, das moléculas maiores (polissacarídeos) em ácidos orgânicos (ácido láctico e ácido butílico), álcoois, H<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>; estas bactérias realizam também a fermentação de proteínas e lipídeos originando compostos semelhantes. Na fase ácida as bactérias que produzem os ácidos, transformam as moléculas de proteínas, gorduras e carboidratos em moléculas de ácidos orgânicos, etanol, amônia, hidrogênio, dióxido de carbono, dentre outros compostos. Na última fase, a metanogênica, as bactérias metanogênicas atuam sobre o hidrogênio e o dióxido de carbono e os transformam em metano. É a fase de maior duração devido à formação de microbolhas de metano e dióxido de carbono em torno da bactéria que impedem o contato direto com a mistura. Para melhorar o processo é aconselhada uma agitação no biodigestor, com intuito de desfazer essas microbolhas.

O processo biodigestivo aceita todo tipo de material que se decompõe sob a ação dessas bactérias, mas os resíduos animais são considerados o melhor alimento para ele, por serem naturalmente carregados de bactérias anaeróbicas.

#### 4.5.2 Tipos de Biodigestores

Com a biodigestão se estabelecendo como alternativa viável a problemas de resíduos, muitos biodigestores foram propostos e a tecnologia de biodigestores avançou bastante, tanto no campo como no tratamento sanitário (SARAVANAN e SREEKRISHNAN, 2005).

Pode-se dividir os biodigestores em dois grandes grupos:

- Biodigestores de uso agrícola
- Biodigestores de uso sanitário

Entre os biodigestores de uso agrícola, destaca-se o modelo indiano e o modelo chinês. Talvez sejam os modelos mais antigos que existem. Nas figuras 7 e 8 temos os diagramas básicos de como funcionam o biodigestor indiano e chinês (SARAIVA, 2005).

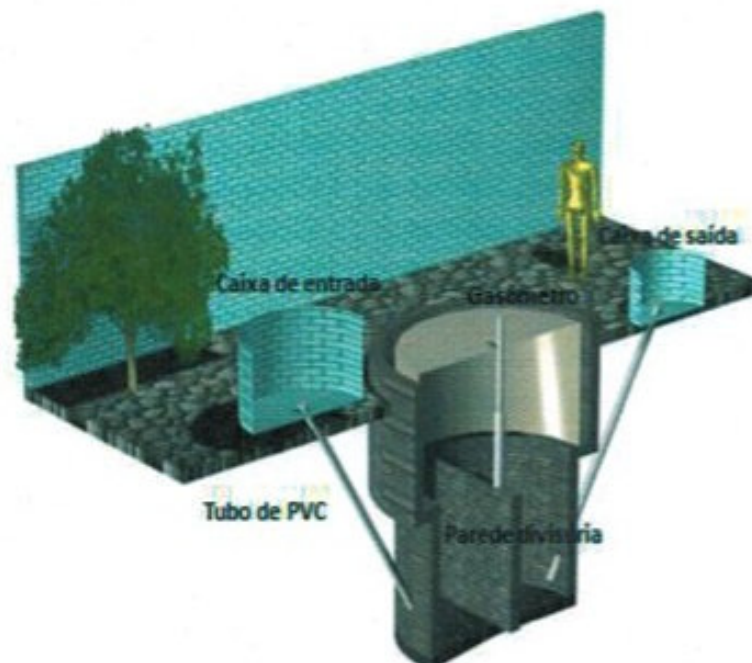


Figura 7 – Biodigestor indiano, vista tridimensional. Fonte: Deganutti *et al*, 2002.

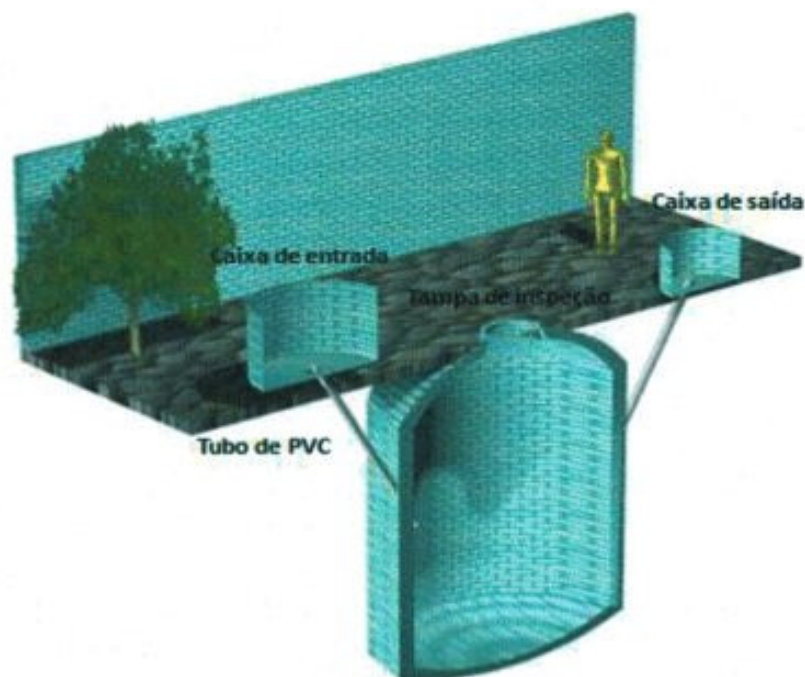


Figura 8 - Biodigestor Chinês, vista tridimensional. Fonte: Deganutti *et al*, 2002.

O biodigestor de uso sanitário utilizado é o de lona ou Biodigestor de Marinha, mostrado na figura 9. Atualmente este é o modelo mais difundido no Brasil, devido ao seu baixo custo e fácil instalação. O setor privado tem sido o maior responsável no desenvolvimento do mercado desse tipo de biodigestor.

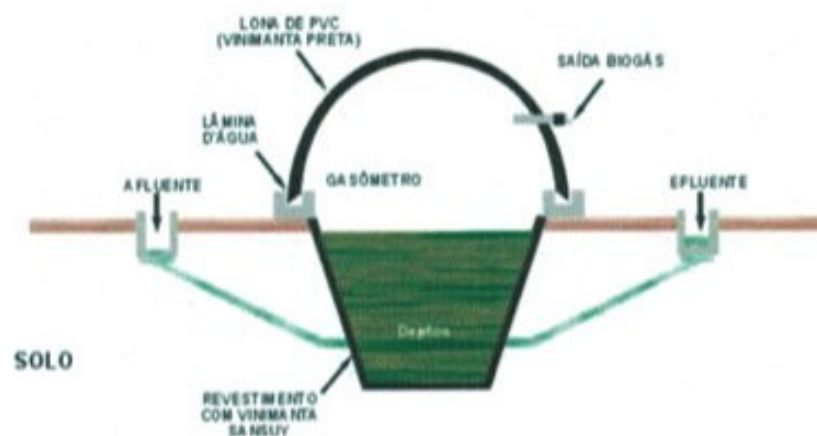


Figura 9 - Biodigestor de Lona - Fonte: Deganutti *et al*, 2002.

De acordo com o Manual de Treinamento em Biodigestão (2008), a diferença entre os três modelos está basicamente na maneira como cada um foi construído e no tipo de cúpula. A cúpula do indiano, de ferro ou de fibra, é móvel, se movimentando para cima e para baixo de acordo com a maior ou menor produção de biogás. Sobre essa cúpula são amarradas pedras, cada uma de 100 kg, para que o gás saia do biodigestor

com pressão suficiente para alimentar os equipamentos da propriedade. O da marinha é um modelo de tipo horizontal, ou seja, tem largura maior e uma profundidade menor do que o indiano, por isso sua área de exposição solar é maior, o que acarreta uma maior produção de biogás. Sua cúpula é de plástico maleável, tipo PVC, que infla com a produção de gás, como um balão. Para que o gás saia do biodigestor com pressão suficiente para ser utilizado, costuma-se colocar sacos de areia ou pneus velhos sobre a campânula. O chinês é um modelo de peça única, todo construído de alvenaria. Desenvolvido na China, que tem propriedades rurais muito pequenas, este tipo de biodigestor foi projetado de forma que economizasse todo o espaço possível. A forma encontrada foi construí-lo enterrado no solo e, desta maneira, é possível cultivar-se em sua volta.

Podemos observar na tabela 4 um comparativo entre os 3 sistemas de biodigestão e que não há perda de gás no sistema Canadense (Marinha).

Tabela 4 - Comparação de desempenho entre três modelos de biodigestores. Fonte: Barrera, 1993.

	CHINES	INDIANO	NACIONAL (MARINHA)
MATERIAIS	Tipo, cimento, pedra e areia.	Tijolo, cimento, pedra, areia, ferro ou alumínio.	Tijolo, cimento, pedra, areia e plástico.
SISTEMA	Abastecimento e esvaziamento periódicos.		
POSSIBILIDADE DE INSTALAÇÃO	Pode ser montado inteiramente pelo usuário, desde que tenha bastante habilidade como pedreiro.	Pode ser montado pelo usuário, mas a câmara de gás deve ser feita em oficina metalúrgica (funilaria).	Pode ser montado pelo usuário, mas a câmara de gás deve ser adquirida em firma credenciada pela Marinha.
ISOLAMENTO TERMICO	Feito dentro da terra: bom isolamento natural, a temperatura constante. Para melhorar, instalar o digestor sob estâbulos.	Tem perdas de calor pela câmara de gás metálica, difícil de isolar. Menos indicado para climas frios.	Não tem problemas de perda de calor.
PERDAS DE GAS	A parte superior deve ser protegida com materiais impermeáveis e não-porosos; difícil obter construção estanque.	Sem problemas.	
MATERIA PRIMA USADA	Esterco, excrementos e restos de vegetais muito bem triturados e submetidos a pré-fermentação.		Esterco, excrementos e maior quantidade dos restos vegetais.
PRODUTIVIDADE	Tempo de digestão, 30-60 dias; produção de 150 a 350 L/m <sup>3</sup> do volume do digestor/dia. Se for perfeitamente estanque, pode produzir até 600 l/m <sup>3</sup> .	Tempo de digestão 30-60 dias; produção de 400 a 600 L/m <sup>3</sup> do volume do digestor/dia.	Tempo de digestão, 30-60 dias; maior produção de gás em relação ao volume de biomassa devido à sua forma.
MANUTENÇÃO	Deve ser limpo uma ou duas vezes/ano.	A câmara de gás deve ser pintada uma vez/ano.	Limpar uma vez/ano.
MELHORIAS POSSIVEIS	Abóbada impermeável, adoção de agitadores, construção de parede divisória no digestor.	Campânula inoxidável e melhoria no isolamento térmico da mesma.	Campânula com maior espessura e segurança contra danos; sistema que permite pressão constante.

Quanto à forma de abastecimento, os biodigestores são classificados em:

- Batelada;
- Contínuo.

A diferença entre eles é que o abastecimento em batelada só pode ser refeito após toda a digestão tiver acontecido, enquanto que o abastecimento contínuo pode ser realizado diariamente. Além dessas duas caixas, pode ser construído também um primeiro tanque, que é o de pré – fermentação, onde é preparada a matéria-prima.

#### **4.5.3 Benefícios da Tecnologia**

Entre os benefícios do uso do Biodigestor, podemos citar:

- Geração do Biogás, energia renovável e limpa. Podendo ser utilizado, por exemplo, em: fogões, lampiões, motores de combustão interna, geradores de energia elétrica e outros;
- Geração de biofertilizante de alta qualidade, formado após a fermentação no biodigestor, com baixo teor de carbono, aumento no teor de nitrogênio, podendo ser utilizado no controle de pragas e doenças de culturas agrícolas;
- Melhores condições de higiene para pessoas e animais;
- Redução da emissão de GEE;
- Redução de odores desagradáveis;
- Além de ser uma tecnologia sustentável.

#### **4.5.4 Aproveitamento e Rendimento Energético com Biodigestores**

De forma clara, observa-se na figura 10, o potencial de aproveitamento possível com o uso de biodigestores, mostrando ser uma tecnologia com grandes ganhos para a sociedade, seja em termos econômicos, sociais e ambientais.



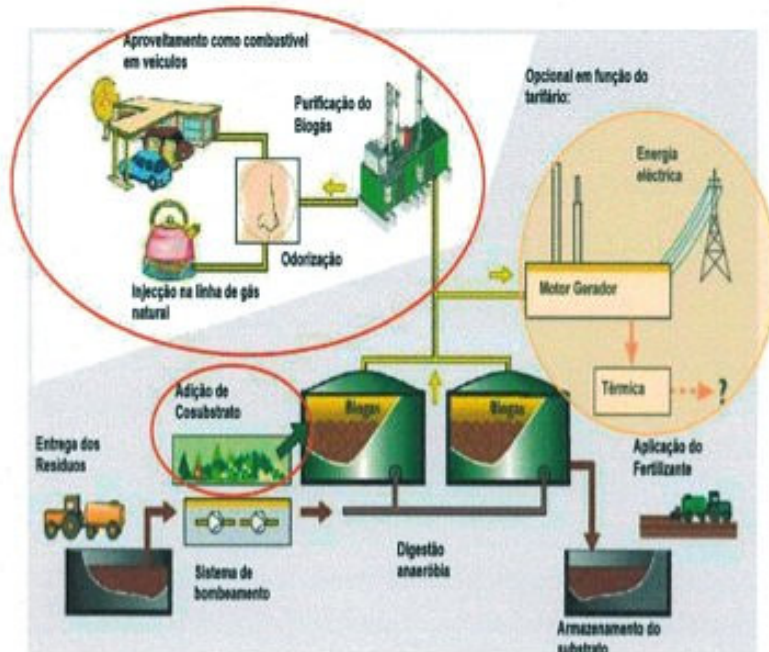


Figura 10 – Aproveitamento energético possível com Biodigestores. Fonte:Geotecnia Ambiental.

RSU	Poder calorífico do RSU	kJ/kg	8.374	Rendimento Médio por Tecnologia	
	Poder calorífico	Kcal/kg	2.000		
	Umidade média (1000 a 1500mm)	%	35		
	Fração orgânica biodegradável	%	30		
	Fração de plásticos	%	15		
Aterro Sanitário	Aterro Sanitário de RSU				
	Produção de biogás	m <sup>3</sup> /t	185		
	Composição média do biogás				
	CH <sub>4</sub>	%vol	58		
	CO <sub>2</sub>	%vol	42		
	Poder calorífico do biogás	kJ/m <sup>3</sup>	20.650		
		Kcal/m <sup>3</sup>	4.932		
	Densidade do biogás (seco)	kg/m <sup>3</sup>	1,246		
	Rendimento da captação do biogás	%	50		
<b>Rendimento energético neto</b>	<b>%</b>	<b>24</b>	<b>15-30 %</b>		
Biodigestor (RSU de origem portuguesa)	Biodigestor de RSU				
	Produção de biogás	m <sup>3</sup> /t	120		
	Composição média do biogás seco				
	CH <sub>4</sub>	%vol	58		
	CO <sub>2</sub>	%vol	42		
	Poder calorífico do biogás	kJ/m <sup>3</sup>	20.650		
		Kcal/m <sup>3</sup>	4.932		
	Densidade do biogás (seco)	kg/m <sup>3</sup>	1,246		
	Rendimento da captação do biogás	%	100		
<b>Rendimento energético neto</b>	<b>%</b>	<b>31</b>	<b>25-35 %</b>		

Figura 11 – Rendimento Energético do Biodigestor. Fonte: Geotecnia Ambiental

A figura 11 explicita a viabilidade do rendimento energético da adoção de biodigestores comparado de um aterro sanitário. O que explicaria a escolha da adoção dessa tecnologia no “Aterro de Perema”, local de despejo do lixo urbano da cidade de Santarém.

#### 4.5.5 Biogás e Biofertilizante.

##### 4.5.5.1 Biogás

O biogás é um subproduto da fermentação anaeróbia da matéria orgânica, constituído principalmente por metano e gás carbônico, é considerado uma fonte de energia renovável, com conteúdo energético semelhante ao gás natural. Pode ser utilizado como combustível para a geração de energia elétrica, térmica ou mecânica, com poder calorífico variando de 5.000 a 7.000 kcal/m<sup>3</sup>.

Gás inflamável, sua composição principal é o gás metano, inodoro, incolor e insípido, com mau cheiro ou cheiro de ovo podre atribuído ao gás sulfídrico, componente de menor porcentagem. A composição do biogás varia de acordo com a constituição da matéria orgânica fermentada.

Tabela 5 - Composição do biogás (adaptado de WALSH JR. *et al.* (1988) e BRETON *et al* (1994))

<b>Composição Do Biogás</b>	
<b>Gases</b>	<b>%</b>
Metano (CH <sub>4</sub> )	50 a 70
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	30 a 40
Nitrogênio (N <sub>2</sub> )	0 a 10
Hidrogênio (H <sub>2</sub> )	0 a 5
Oxigênio (O <sub>2</sub> )	0 a 1
Gás sulfídrico (H <sub>2</sub> S)	0 a 1
Vapor d'água	0,3

A data de descoberta do biogás, ou "gás dos pântanos" é do ano de 1667 e só um século mais tarde que se volta a reconhecer a presença de metano no gás dos pântanos, atribuído a Alessandro Volta, em 1776 (CLASSEN *et al*, 1999). Já no século XIX, Ulysse Grayon, aluno de Louis Pasteur, realizou a fermentação anaeróbica de uma mistura de estrume e água, a 35 °C, conseguindo obter 100 litros de gás por metro cúbico de matéria. Em 1884, Louis Pasteur, ao apresentar os trabalhos do seu aluno à Academia das Ciências, considerou que essa fermentação podia constituir uma fonte de aquecimento e iluminação (NOGUEIRA, 1986).

Os primeiros países a utilizarem o processo de biodigestão, de forma mais intensa e com finalidade energética foram a Índia e a China, nas décadas de 50 e 60, sendo que esses países e outros, geralmente do terceiro mundo, desenvolveram seus próprios modelos de biodigestores. Até pouco tempo, o biogás era simplesmente conhecido como um subproduto obtido a partir da decomposição anaeróbia de lixo urbano, resíduos animais e de estações de tratamento de efluentes domésticos. No entanto, o acelerado desenvolvimento econômico dos últimos anos e a alta acentuada do preço dos combustíveis convencionais tem encorajado as investigações na produção de energia a partir de novas fontes renováveis e economicamente atrativas, tentando

sempre que possível, criar novas formas de produção energética que possibilitem a poupança dos recursos naturais esgotáveis (VILLELA *et al*, 2005).

O primeiro documento relatando a coleta de biogás de um processo de digestão anaeróbia ocorreu em uma estação de tratamento de efluentes municipal da Inglaterra, em 1895, sendo que o primeiro estudo de aproveitamento em uma pequena planta, com uso de estrume e outros materiais, remontam de 1941, na Índia. Desde então, o processo anaeróbio tem evoluído e se expandido ao tratamento de resíduos industriais, agrícolas e municipais (VILLEN *et al*, 2001).

Somente a partir de 1960, a digestão anaeróbia passou a ser pesquisada com caráter mais científico, havendo então, grandes progressos quanto à compreensão dos fundamentos do processo e também de projetos de biodigestores e equipamentos auxiliares (PECORA, 2006).

Os fatores que podem influenciar na produção de biogás são: composição dos resíduos dispostos, umidade, tamanho das partículas, temperatura, pH, Idade dos resíduos, projeto do aterro e sua operação.

*“As condições ótimas de vida para os microorganismos anaeróbios são: a) impermeabilidade ao ar. [...] A decomposição de matéria orgânica na presença de oxigênio produz monóxido de carbono (CO); na ausência de ar (oxigênio) produz metano. Se o biodigestor não estiver perfeitamente vedado a produção de biogás é inibida. b) A temperatura adequada no interior do biodigestor afeta sensivelmente a produção de biogás. 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 mesofílica, enquanto que entre os 50°C e os 65°C, temos a fase termofílica [...]. c) Os principais nutrientes dos microorganismos são carbono, nitrogênio e sais orgânicos. Uma relação específica de carbono para nitrogênio deve ser mantida entre 20:1 e 30:1 [...]. d) O teor de água deve, normalmente, situar-se em torno de 90% do peso do conteúdo total. Tanto o excesso, quanto a falta de água são prejudiciais. O teor de água varia de acordo com as diferenças apresentadas pelas matérias-primas destinadas à fermentação. e) O Ph em meio ácido, a atividade enzimática das bactérias é anulada. Num meio alcalino, a fermentação produz anidrido sulfuroso e hidrogênio. A digestão pode efetuar-se entre o pH de 6,6 e 7,6. Para valores abaixo de 6,5 a acidez aumenta rapidamente e a fermentação para. f) A presença de materiais tóxicos, detergentes e outros produtos químicos devem ser evitados ao máximo, pois basta uma concentração muito baixa destes produtos para provocar a intoxicação e morte das bactérias. Qualquer elemento em solução no digestor, em excesso, pode provocar sintomas de toxidez ao meio bacteriano. A definição exata da concentração em que estes elementos passam a ser nocivos é difícil, devido à complexidade do processo [...]. (TLAGO FILHO *et al*, 2007).*

As bactérias que se encontram nos lixões causam a fermentação e promovem a liberação do biogás. Em alguns aterros sanitários, há dutos que captam esses gases liberados. Posteriormente, esses gases passam por processos de limpeza e desumidificação. Em seguida são pressurizados e queimados em flares, onde o metano (CH<sub>4</sub>) é transformado em gás carbônico (CO<sub>2</sub>), que possui um potencial de aquecimento global cerca de 20 vezes menor. Nos biodigestores, esse biogás é produzindo acrescentado-se biomassa como o lixo orgânico. Sua principal desvantagem é que por conta da alta concentração de gás metano em sua constituição, o biogás acaba também poluindo muito o meio ambiente, contribuindo diretamente para o efeito estufa e o aquecimento global. Essa “desvantagem” é reduzida se for comparada com o uso de combustíveis fósseis, o carvão e o petróleo são altamente poluidores, geram chuva ácida e contaminam qualquer local onde “tocam”, além de também produzirem os gases causadores do efeito estufa. Em contrapartida, esse biocombustível apresenta vantagens significativas para um dos problemas de meio-ambiente enfrentado atualmente. Podendo ser um substituto, por exemplo, para a gasolina, derivada do petróleo, reduzindo a emissão de gases para a atmosfera, pode ser usado para a geração de energia elétrica além de ser uma alternativa para o uso do GLP (gás de cozinha), o lixo urbano pode ser revertido na geração de energia limpa, dando uma finalidade útil aos aterros sanitários existentes e também possibilita a geração de fertilizantes. Outra vantagem, é que o biogás não precisa de grandes espaços ou terras para ser produzido, como o biocombustível conseguido pela cana-de-açúcar, por exemplo. Ele pode ser inteiramente produzido através dos resíduos orgânicos gerados em casa ou agrícolas gerados em fazendas ou localidades rurais, ou mesmo dos excrementos de animais e pessoas, sendo o primeiro o substrato mais indicado por já sair dos intestinos dos animais carregados de bactérias anaeróbicas. Existem diversos projetos de aproveitamento energético no Brasil, como nos aterros Bandeirantes e São João, no município de São Paulo, que já produzem energia elétrica. Pensando em uma proposta que una o agir local com o pensamento global, o Ministério do Meio Ambiente e o Ministério das Cidades desenvolvem, desde 2004 o "Projeto para Aplicação do Mecanismo de Desenvolvimento do Limpo (MDL), na Redução de Emissões em Aterros de Resíduos Sólidos", financiado pelo Banco Mundial por meio do fundo PHRD (PolicyandHumanResourcesDevelopmentFund) que opera com recursos do Governo Japonês. O projeto capacitou, em 2007 e 2008, cerca de 400 agentes locais e técnicos das prefeituras para elaboração de Planos de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos e aplicação do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDL em

projetos de captação e tratamento de gases gerados em locais de destinação final de resíduos.

O Plano Nacional de Mudanças do Clima contém metas para o aumento da reciclagem de resíduos sólidos para 20% até o ano de 2015. A perspectiva é tomar como base as experiências do Programa de Coleta Seletiva de resíduos sólidos domiciliares desenvolvidos em alguns municípios brasileiros. Além disso, o Plano também contém metas de incentivo ao aproveitamento energético do biogás. Outra iniciativa que está sendo proposta é o Programa de compra de resultados futuros no Manejo de Resíduos Sólidos, cujo objetivo principal é a busca de sustentabilidade no processamento de resíduos. O programa incentiva, desde 2010, investimentos em tecnologias que visem à utilização de técnicas adequadas as Normas Brasileiras e boas práticas, inclusive uma solução adequada quanto à destinação do biogás proveniente de aterros sanitários ou biodigestores. Também está em avaliação um projeto de incentivo a produção de energia elétrica do biogás por meio da criação de um mercado assegurado com valores de venda da energia produzida que tornem o mercado de comercialização de biogás viável economicamente.

Há, basicamente, duas formas de se gerar renda com o biogás produzido em biodigestores: a comercialização do biofertilizante gerado ao final do processo de digestão anaeróbia ou a conversão desse biogás em energia.

#### **4.5.5.2 Biofertilizantes**

Após todo o processo de obtenção de biogás no interior do biodigestor, há um resíduo de biomassa que pode ser usada como biofertilizante. O biodigestor libera carbono nos elementos de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>, propiciando a geração de um biofertilizante rico em nutrientes, de alta qualidade para uso agrícola, além de ter um baixo custo. Os biofertilizantes não geram problemas referentes à salinização do solo e muito menos níveis de desestruturação como ocorre com o uso de fertilizantes químicos, ou seja, é um adubo orgânico sem agentes causadores de doenças ou pragas com um potencial para melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, tendo grande aproveitamento na nutrição das plantas, facilitando a penetração em suas raízes, aumentando suas tolerâncias a períodos secos. Outra consequência em seu uso está em oferecer alimentos mais saudáveis com menor nível de aditivo químico e respeito ao meio ambiente. O biofertilizante também promove a multiplicação de bactérias,

trazendo vida a solos já degradados, e reduz a presença de coliformes fecais dos dejetos, eliminando a proliferação de parasitas. (OLIVER,2012)

#### 4.6 Conversão do Biogás em Energia

Entende-se por conversão energética o processo que transforma um tipo de energia em outro, ou seja, a energia química das moléculas de biogás é convertida em energia mecânica pela reação de combustão controlada, assim a energia mecânica ativa um gerador que a converte em energia elétrica (COELHO *et al*, 2006). Existem diversas alternativas para viabilizar o aproveitamento do biogás. A figura 12 apresenta as possibilidades de utilização do biogás.

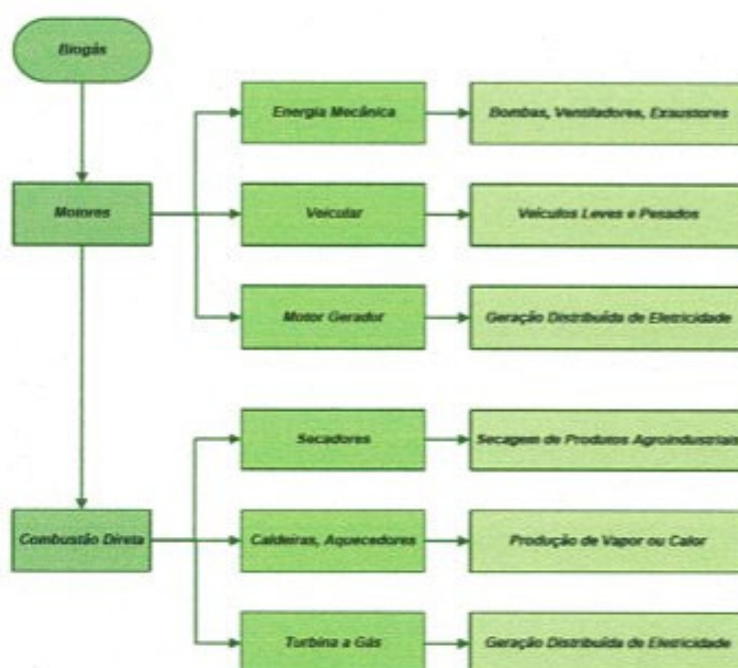


Figura 12 – Conversões do biogás. Adaptado de Walsh (1988) e Centro Para Conservação de Energia (CCE) (2000)

**4.6.1 Geração de Energia Elétrica:** A energia elétrica gerada a partir do biogás pode ser considerada uma alternativa por suas vantagens estratégicas, por ser uma geração descentralizada e não necessitar de grandes investimentos econômicos, utilizando combustível disponível no local e de baixo custo, no caso presente, os resíduos sólidos urbanos depositados no Aterro de Perema, e ambientais utilizando energia renovável (biomassa) com uma menor emissão de poluentes, contribuindo para redução do efeito estufa. Para a geração de energia elétrica a partir do biogás, existem basicamente dois

tipos de tecnologias disponíveis: turbinas a gás, que também podem ser divididas em microturbinas, e grupos geradores de combustão interna (Ciclo Otto).

Segundo estudos de WALSH JR (1998) um projeto de usina geradora de energia elétrica a partir do biogás é técnica e economicamente viável, desde que sejam avaliadas várias condições do sistema, como: o volume e a vazão de gás gerado, o tipo de tecnologia instalada para geração, os custos da planta de gás e de energia, e quando existir, as receitas da venda de energia e dos créditos de carbono. Para a conversão energética do biogás, os motores de combustão interna possuem maior eficiência, além de serem mais baratos. Já as turbinas a gás possuem maior eficiência global de conversão, quando operadas em cogeração (calor e eletricidade), porém, por ser um equipamento importado, o seu valor e os custos de operação e manutenção são elevados. Além do custo do equipamento em si, a microturbina exige uma maior pureza do gás combustível do que os motores convencionais, isso é, é imprescindível a existência de um sistema eficiente de purificação do biogás, que garanta o bom funcionamento da microturbina (CENBIO, 2005). Os motogeradores a gás possuem requisitos de qualidade do gás similares às caldeiras, com exceção de que a concentração de H<sub>2</sub>S deve ser menor para garantir um tempo de operação razoável para o sistema. Motores Ciclo Otto projetados para funcionar com gasolina são bem mais suscetíveis a H<sub>2</sub>S do que o sistema a diesel, mais robusto. Para aplicações em maior escala (>60 kW), portanto, predominam os sistemas a diesel (LANTZ *et al*, 2004 apud ZANETTE, 2009). Existem disponíveis no mercado microturbinas de 30, 65, 200, 600, 800 e 1.000 kW.

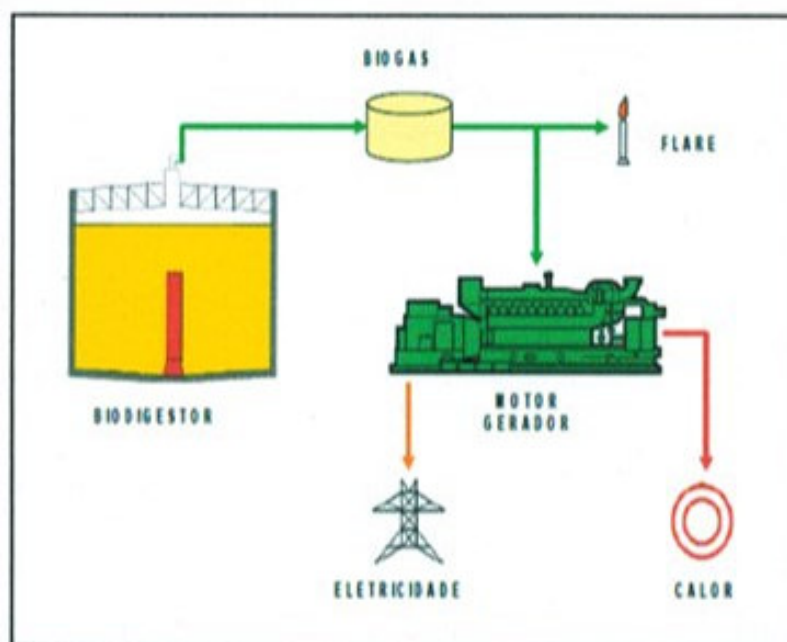


Figura 13 – Geração de energia elétrica com o biogás. Fonte: LANTZ *et al*, 2004.

#### **4.6.2 Geração de Energia Térmica**

Na geração de energia térmica, qualquer que seja a tecnologia utilizada, a meta final é a produção de vapor d'água em altas temperaturas que poderá ser utilizado para diversas finalidades, tanto em processos industriais que demandem vapor, como para girar turbinas a vapor para a produção de energia elétrica. Porém, elas não utilizam diretamente um combustível para a queima, como no caso das turbinas a gás, mas convertem a energia térmica proveniente de um sistema de co-geração processo de transformação da energia térmica de um combustível em mais de uma forma de energia útil, como uma caldeira a gás, em energia mecânica. (ARMANDO,2013)

#### **4.6.3 Produção de Combustível Veicular**

Apesar do biogás poder ser utilizado em qualquer aplicação destinada ao gás natural, para seu uso veicular existe a necessidade de remoção de alguns de seus componentes, tais como: umidade, ácido sulfídrico ( $H_2S$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ) e partículas (ADNETT, 2000). No processo de purificação do biogás é importante retirar o  $CO_2$  até que a porcentagem de metano fique próxima à do gás natural, para que possa ser utilizado para os mesmos fins. Segundo a ANP (Agência Nacional de Petróleo) na Portaria 128, de 28 de agosto de 2001, a porcentagem mínima de metano no gás natural para uso veicular deve ser de 86% e máxima de  $CO_2$  de 5%.

#### **4.6.4 Iluminação a Gás**

O objetivo do sistema de iluminação a gás é iluminar o local onde será implementado, no caso, o Aterro de perema.





Figura 14 – Iluminação pública com biogás.

Neste sistema a iluminação acontece com a queima direta do biogás. A quantidade de postes depende do espaço disponível para instalá-lo e da quantidade de biogás disponível para ser queimado.

#### 4.6.5 Mercado de Créditos de Carbono

O biogás se apresenta ainda como uma forma de abrandar passivos ambientais produzidos por lixões e garantir fonte de renda com a venda de créditos de carbono, no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) do Protocolo de Kyoto. O protocolo determina que os países desenvolvidos reduzam as emissões de seis gases em pelo menos 5%. Pelo MDL, os países desenvolvidos podem financiar projetos de redução de emissões em países em desenvolvimento, contabilizando os empreendimentos como parte do cumprimento de suas próprias metas de redução. Alemanha, Holanda, França, Japão, Canadá e Reino Unido têm se associado a projetos de redução de gases no Brasil. O registro do projeto é pré-requisito para o monitoramento, verificação, certificação e emissão de RCEs (Reduções Certificadas de Emissões), unidade monetária do MDL. Com o registro, pode-se fazer as medições de redução de CO<sub>2</sub> equivalente para a venda do crédito de carbono. As medições passam por monitoramento para ver se houve redução de CO<sub>2</sub> equivalente. Os relatórios das

auditorias são enviados para análise pelo Conselho Executivo do MDL. Aprovada a medição, são emitidas as RCEs para a venda do crédito.

#### 4.6 Análise Ambiental das Tecnologias de Conversão Energética

Os benefícios ambientais proporcionados pela conversão do biogás em energia dão-se pelas emissões evitadas pela geração de energia elétrica proveniente de um combustível renovável e a eficiência dos sistemas de conversão.

Como visto na tabela 6, a principal diferença em termos de emissões de GEE entre as tecnologias está vinculada ao NOx. Esse gás é o responsável pela formação do ozônio troposférico. O ozônio tem ação de “filtro solar” na atmosfera, impedindo ou diminuindo a passagem de raios ultravioletas, causando doenças respiratórias, irritações, e prejudicando o desenvolvimento dos vegetais.

Tabela 6 – Diferença das emissões de GEE de acordo com a tecnologia adotada.

	Potência Instalada	Rendimento Elétrico	Emissões de NOx
Motores a Gás Ciclo – Otto	30 kW – 20 MW	30% – 40%	250 ppm – 3.000 ppm
Turbinas a Gás (Médio Porte)	500 kW – 150 MW	20% - 30%	35 ppm – 50 ppm (gás de aterro)
Microturbinas (Pequeno Porte)	30 kW – 100 kW	24% - 28%	< 9 ppm

Essa tabela pode servir de parâmetro para escolha da tecnologia ideal para se converter o biogás, sendo os motores a gás, os que mais emitem Nox para a atmosfera.

## 5 PARTE EXPERIMENTAL

### 5.1 A Escolha do Biodigestor

Para a execução deste trabalho foram feitas pesquisas com base em várias fontes de consulta como livros, trabalhos acadêmicos, sites e visita técnica. Levando em consideração as condições locais do solo, custo de manutenção mais baixo possível, alta eficiência compatibilizada com custos e operacionalidade além da disponibilidade de matéria-prima, escolheu-se o biodigestor modelo canadense ou marinha.

Antes de o resíduo ir para caixa de entrada, deve-se ressaltar que o mesmo precisa passar por um triturador para facilitar sua decomposição. A partir da sua geometria e dos dados obtidos do município, pôde-se fazer o dimensionamento do biodigestor e constatar seus possíveis benefícios.

## 5.2 A linha de Pré-Tratamento

Segundo OLIVEIRA (2006), triagem é a separação manual dos diversos componentes do lixo, que são divididos em grupos, de acordo com a sua natureza: matéria orgânica, materiais recicláveis, rejeitos e resíduos sólidos específicos.

Ele também afirma, que a organização de uma central de triagem, ou galpão de triagem, pode variar bastante, de acordo com a estrutura de recebimento e separação de recicláveis. As etapas básicas de funcionamento são: recebimento e estocagem dos materiais; separação (em esteiras, silos ou mesas); prensagem e enfardamento. Também pode ser realizado algum tipo de pré-beneficiamento, que agrega valor ao material a ser comercializado.

A Resolução CONAMA nº 275/2001 reconhece a importância da reciclagem de resíduos e do incentivo a coleta seletiva e recomenda que as campanhas de educação ambiental e as iniciativas de coleta seletiva sigam uma padronização de código de cores para diferentes tipos de resíduos como mostra a tabela abaixo.

Tabela 7– Padronização do código de cores.

Cor	Resíduo
Azul	Papel
Vermelho	Plástico
Verde	Vidro
Amarelo	Metal
Preto	Madeira
Branca	Resíduos de serviços de saúde
Roxo	Resíduos radioativos
Marrom	Resíduos orgânicos
Cinza	Resíduos não recicláveis

Na figura abaixo, pode-se observar o fluxograma da organização de uma central de triagem.

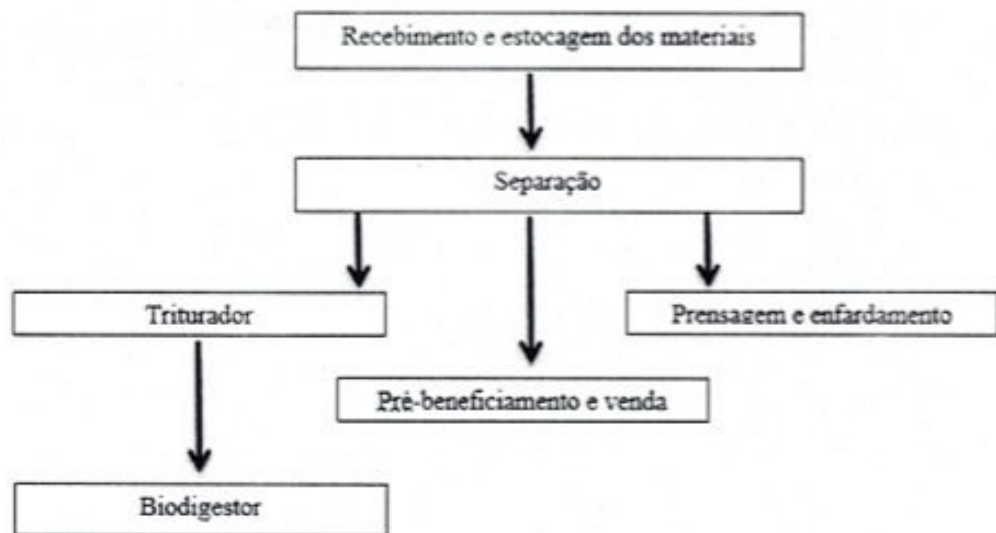


Figura 15 – Fluxograma da organização de uma central de triagem.

### 5.3 Estimação da Quantidade de RSU orgânicos

Segundo LIMA *et al* (2012), considera-se a densidade de lixo orgânico aproximadamente 0,90 kg/l.

### 5.4 Quantificação de carga diária

O volume de carga diária se dá de acordo com a quantidade média de resíduo biodegradável produzido por dia mais o volume de água.

Ainda de acordo com o mesmo autor, admite-se 25% de diluição com água, assim tem-se a carga diária em volume (m<sup>3</sup>).

### 5.5 Tempo de Retenção Hidráulica

O tempo de retenção hidráulica é o intervalo de tempo necessário para que a matéria orgânica seja toda fermentada no biodigestor que varia de acordo com o clima e o tipo de matéria prima. Segundo as experiências LIMA (2012) o melhor tempo de retenção para o lixo orgânico é 120 dias.

### 5.6 Pré-dimensionamento do Biodigestor

De acordo com o site da Embrapa e fabricantes de biodigestores, o volume do biodigestor se faz através da fórmula abaixo:

$$V = TRH \times C$$

Onde:

$V$  = volume útil do reator ( $m^3$ )

$TRH$  = tempo de retenção hidráulico (dias)

$C$  = carga diária

### 5.7 Cálculo do Volume para um Biodigestor

Tendo como referência a Tabela 8 feito por OLIVER *et al.* (2012) pôde-se estipular as dimensões de um biodigestor para um volume desejado.

Tabela 8 – Dimensionamento de acordo com o volume. Fonte: OLIVER *et al.* (2012)

Volume	Profundidade	Comprimento superior	Largura superior	Comprimento inferior	Largura inferior
$m^3$	$M$	$M$	$m$	$m$	$m$
3	1,0	3,5	1,2	3,0	0,7
7	1,0	6,0	2,0	4,8	0,8
15	1,4	7,0	2,5	5,5	1,0
20	1,5	8,0	3,0	6,0	1,0
30	1,5	10,0	3,5	8,0	1,5

Tabela 9 – Dimensões do biodigestor.

Dimensões	Medidas
Profundidade ( $m$ )	6
Comprimento maior ( $m$ )	52,5
Largura maior ( $m$ )	18
Comprimento menor ( $m$ )	45
Largura menor ( $m$ )	10,5
Área maior ( $m^2$ )	945
Área menor ( $m^2$ )	472,5

Para o cálculo do volume de um biodigestor, fez-se uso do volume do tronco de pirâmide, dado pela formula abaixo:

$$V = \frac{h}{3} (A_B + A_b + \sqrt{A_B \times A_b})$$

Onde:

$A_B$  = área da base maior

$A_b$  = área da base menor

$h$  = altura do tronco de pirâmide

### **5.8. Cálculo da área da manta para o biodigestor**

Vale ressaltar que de acordo GRIMELLO (2013), para garantir a fixação são adicionados 0,5m de manta de cada lado. Isso é valido para os cálculos da manta: para o biodigestor, caixa de entrada e caixa saída.

### **5.9. Cálculo do gasômetro do biodigestor**

De acordo com JUNQUEIRA (2014), cada 20 kg de lixo corresponde a 1 m<sup>3</sup> de biogás. Portanto, sabendo que a quantidade de matéria orgânica é de aproximadamente 94,96 toneladas/dia, tem-se 4748 m<sup>3</sup>/dia de biogás.

GRIMELLO (2013) sugere para o caso de o volume no gasômetro ultrapassar o volume planejado, devido a paradas para manutenção no grupo gerador ou produção excedente, é direcionar o biogás a um queimador (*flare*), de modo a queimar o biogás sem enviá-lo diretamente à atmosfera.

### **5.10. Esquema Similar do Biodigestor Marinha no Aterro de Perema**

A imagem abaixo representa de forma aproximada o biodigestor dimensionado para o Aterro de Perema da cidade de Santarém.

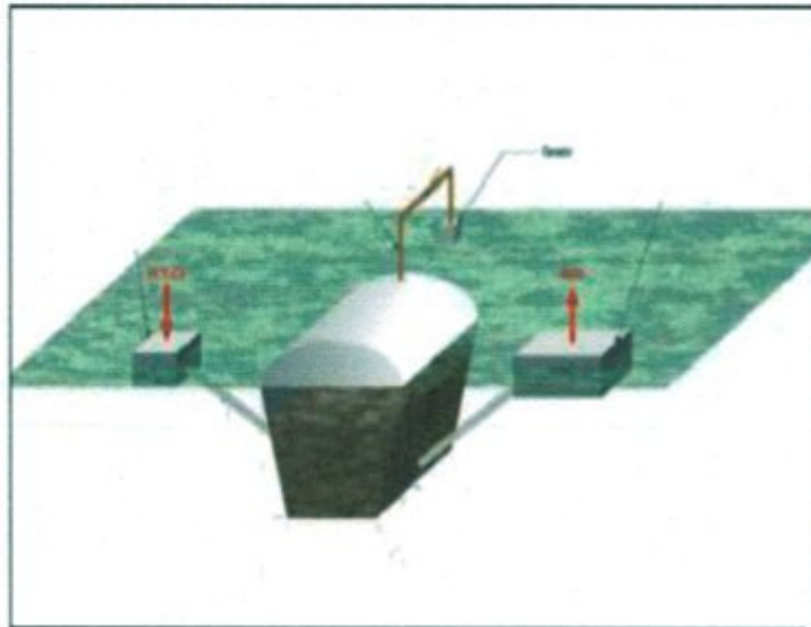


Figura 16. – Esquema de Biodigestor.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com a tabela 2 encontrou-se a quantidade média mensal dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Santarém, que é aproximadamente 4.465,64 toneladas, logo 148,85 toneladas de lixo são a produção diária. Sabendo que a porcentagem de matéria orgânica é em torno de 63,8% pode-se admitir que a quantidade diária de matéria orgânica é de aproximadamente 94,96 toneladas.

De acordo com o item 5.3, pôde encontrar a quantidade média diária resíduo biodegradável produzido no município de Santarém

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow V = \frac{m}{\rho} = 105,51m^3 / \text{dias de lixo orgânico.}$$

### 6.1. Quantificação de carga diária

Calcula-se a quantidade de carga diária a partir das especificações dada no item 5.4.

$$C = 105,51 + 105,51 \times 0,25$$

$$C = 131,88m^3 / \text{dias}$$

Sabendo que nem sempre a caixa de entrada será totalmente esvaziada, acrescenta-se mais 10% da carga diária.

$$V = C + 0,1C$$

$$V = 131,88 + 0,1 \times 131,88$$

$$V = 145,068 \text{ m}^3 / \text{ dias}$$

## 6.2 Pré-dimensionamento do Biodigestor

Segundo site da Embrapa, calcula-se o volume do biodigestor a partir da seguinte fórmula:

$$V = TRH \times C$$

$$V = 120(\text{dias}) \times 131,88 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{dias}} \right)$$

$$V = 15825,6 \text{ m}^3 \approx 16000 \text{ m}^3$$

Para o Aterro de Perema, local de despejo dos resíduos produzidos no município, notou-se a necessidade de serem feitos cinco biodigestores para satisfazer os possíveis resultados do projeto, sendo um biodigestor de apoio, assim, quando outro biodigestor precisar ser parado seja por manutenção ou qualquer outro motivo, não prejudicará o destino do lixo nem a produção de biogás e biofertilizante, suprimindo a necessidade do município de Santarém.

Os biodigestores serão utilizados da seguinte forma: a cada 35 dias coloca-se 31 cargas, considerando que o mês tem 30 dias com 4 domingos. Após esse tempo muda-se de biodigestor.

## 6.3 Cálculo do Volume para um Biodigestor

Para o cálculo do volume de um biodigestor, utilizou-se a fórmula do volume do tronco de pirâmide e fez-se as devidas substituições de acordo com a tabela 9. Assim temos:

$$V = \frac{h}{3} (A_B + A_b + \sqrt{A_B \times A_b})$$

$$V = \frac{6}{3} \times (945 + 472,5 + \sqrt{945 \times 472,5})$$

$$V = 4171,43 \approx 4200 \text{ m}^3$$



## 6.4 Cálculo da área da manta para o biodigestor

Primeiramente, calculam-se as seguintes áreas: lateral, que tem o formato de um trapézio; do fundo, que tem o formato retangular e a frontal, que é semelhante à lateral.

$A_1$  = área lateral do biodigestor

$A_2$  = área do fundo do biodigestor

$A_3$  = área frontal

$$A_1 = \frac{(B+b)h}{2} \rightarrow A_1 = \frac{(52,5+45) \times 6}{2} \rightarrow A_1 = 292,5m^2$$

$$A_2 = b \times h \rightarrow A_2 = 10,5 \times 45 \rightarrow A_2 = 472,5m^2$$

$$A_3 = \frac{(B+b)h}{2} \rightarrow A_3 = \frac{(18+10,5) \times 6}{2} \rightarrow A_3 = 85,5m^2$$

Sabendo que a manta cobre duas laterais iguais, o fundo, duas áreas “frontais” e mais uma área de fixação, então temos:

$$A_{manta} = 2A_1 + A_2 + 2A_3 + A_{fixação}$$

$$A_{manta} = 2 \times 292,5 + 472,5 + 2 \times 85,5 + 70,5$$

$$A_{manta} = 585 + 472,5 + 171 + 70,5$$

$$A_{manta} = 1299m^2$$

De acordo com o item 5.8, temos:

$$A_{fixação} = 2 \times A_{comp} + 2 \times A_{arg}$$

$$A_{fixação} = 2 \times 0,5 \times 52,5 + 2 \times 0,5 \times 18$$

$$A_{fixação} = 52,5 + 18 = 70,5m^2$$

## 6.5 Cálculo do gasômetro do biodigestor

Considerando a campanula uma aproximação da metade de um cilindro, temos:

$$V = \frac{\pi r^2 h}{2}$$

onde:

$$V = 4200 \text{ m}^3 \text{ (volume do biodigestor)}$$

$$V_{\text{gas}} = 4748 \text{ m}^3 / \text{dia}$$

$$V_{\text{gas em cada reator}} = 1187 \text{ m}^3 / \text{dia}$$

Para garantir um fluxo constante de saída, utiliza-se um gasômetro que tenha a capacidade de um terço da produção diária.

$$395,66 = \frac{3,14 \times 9^2 h}{2}$$

$$h = 3,1 \text{ m}$$

A manta cobre uma área de dois semicírculos mais um retângulo, o que corresponde a área da metade de um cilindro

$$A_{\text{gasômetro}} = 2A_{\text{semicírculo}} + A_{\text{retângulo}}$$

$$A_{\text{gasômetro}} = 2\pi r + b \times h$$

$$A_{\text{gasômetro}} = 2\pi \times 3,1 + 52,5 \times 18$$

$$A_{\text{gasômetro}} = 964,47 \text{ m}^2$$

Nesse caso, a lona cobre a área do gasômetro mais a área de fixação como explicado no item 5.8.

$$A_{\text{lona}} = A_{\text{gasômetro}} + A_{\text{borda}}$$

$$A_{\text{lona}} = 964,47 + 70,5$$

$$A_{\text{lona}} = 1034,97 \text{ m}^2$$

### 6.6 Cálculo da área de manta para o tanque acumulador

Com base no volume da carga diária calculada no item 5.4, estipulou-se as dimensões da caixa de entrada que será comum a todos os biodigestores.

Tabela 10 – Dimensões da caixa de entrada.

Dimensões	Medidas
-----------	---------

Comprimento	5,5m
Largura	5,5m
Profundidade	5m

O formato geométrico do tanque acumulador corresponde a de um paralelepípedo com seu comprimento e largura iguais, logo sua área pode ser calculada da seguinte forma:

$$A_{lateral} = 5,5 \times 5 = 27,5m^2 \rightarrow 27,5 \times 4 = 110m^2$$

A área do fundo corresponde a de um quadrado, assim temos:

$$A_{fundo} = 5,5 \times 5,5 = 30,25m^2$$

Como explicado no item 5.8, temos para a área de fixação o seguinte cálculo:

$$A_{fixação} = 5,5 \times 0,5 = 2,75m^2 \rightarrow 2,75 \times 4 = 11m^2$$

Como a manta cobre as laterais e o fundo do paralelepípedo mais a área de fixação então:

$$A_{manta} = 30,25 + 110 + 11 = 151,25m^2$$

### 6.7 Volume da caixa de saída

A caixa de saída deve ser dimensionada com no mínimo três vezes o tamanho da carga diária para permitir o armazenamento do biofertilizante de forma satisfatória, evitando assim possíveis transtornos. Portanto:

$$V = 3C$$

$$V = 3 \times 131,88$$

$$V = 395,64m^3$$

Tabela 11 - Dimensões da caixa de saída.

Dimensões	Medidas
Comprimento	16m
Largura	5,5m
Profundidade	5m

## 6.8 Cálculo da área de manta para a caixa de saída

Usando a mesma lógica da caixa de entrada temos:

$$A_{lateral} = b \times h = 16 \times 5 = 80m^2 \rightarrow 80 \times 4 = 320m^2$$

$$A_{fundo} = b \times h = 16 \times 5,5 = 88m^2$$

$$A_{fixação} = 16 + 5,5 = 21,5$$

$$A_{manta} = 320 + 88 + 21,5 = 429,5m^2$$

O presente trabalho apresenta como resultados os benefícios esperados ao município de Santarém-Pa com a implementação da tecnologia e a conversão do biogás, subproduto gerado.

Com a adoção da tecnologia, de acordo com o dimensionamento do biodigestor, 148.85 Ton/dias de resíduos sólidos urbanos seriam reaproveitados. Diminuindo, assim, sua concentração no Aterro de Perema, que como dito anteriormente, apesar de levar o nome de “Aterro”, é considerado lixão pelo Ministério Público. Com o referido total de resíduos sólidos, obtêm-se um valor gerado de  $4,748 \times 10^3 m^3$  de biogás. Para transformá-lo em energia elétrica é necessária a utilização de geradores, para obtenção de energia térmica faz-se necessário o uso de fornos para que ocorra a queima e sua transformação em energia térmica (AVELLAR *et al*, 2004). A Tabela 12 nos mostra o consumo de biogás de alguns aparelhos utilizados com maior frequência.

Tabela 12 – Consumo de biogás.

APARELHO	METALÚRGICA JACKWAL LTDA (1983)
Lampião	0,13 m <sup>3</sup> /hora
Fogão	0,32 m <sup>3</sup> /hora
Motor Combustão Interna	0,45 m <sup>3</sup> /HP/h
Produção de Eletricidade	0,62 m <sup>3</sup> /kWh
Geladeira (Média)	2,2 m <sup>3</sup> /dia

Na geração de energia elétrica a partir de biogás leva-se em consideração que é utilizado um gás combustível de baixo custo por ser resultante do processo de digestão anaeróbia. O Aterro de Perema, local de despejo dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Santarém, está localizado no entorno da comunidade de Perema, podendo o biogás ser útil para melhoria de vida desta população, reconhecidamente carente, o utilizando como substituo ao gás de cozinha, este comercializado atualmente por um valor nem

sempre de acordo com a condição financeira dos comunitários ou para acender lâmpadas, entre outros.

## 7. CONCLUSÃO

As considerações conclusivas deste trabalho se dão por meio de um processo sistêmico de investigação literária, visando discutir a viabilidade de instalação de um conjunto de biodigestores junto ao Aterro de Perema, localizado no município de Santarém-Pa.

O ideal seria que a população apresentasse um alto grau de mobilização e conscientização ambiental, praticando a coleta seletiva, ou seja, uma separação dos materiais recicláveis ainda na fonte produtora (domicílios, fábricas, estabelecimentos comerciais, escritórios dentre outros). O recolhimento diferenciado envolve materiais reaproveitáveis tais como papéis, vidros, plásticos, metais, ou até mesmo resíduos orgânicos. Dessa forma, cada cidadão contribuiria para que o processo de triagem fosse o mais simples.

Hoje em dia, o lixo que pode ser reciclado deixou de ser algo que nos atrapalha para ser algo que podemos usar para obter algo e proteger o planeta. De acordo com as pesquisas realizadas para a confecção deste trabalho, notaram-se iniciativas de pequenas empresas ou cooperativas buscando este fim em todas as partes do Brasil. De acordo com a ABAL – Associação Brasileira de Alumínio, o país já é líder em reciclagem de papelão e alumínio. Mas para essa quantidade de lixo ser diminuída, faz-se necessário a população se conscientizar da importância do trabalho de cada um. Antes de produzirmos menos dejetos, devemos aprender a consumir. A educação aparece como ferramenta nesse processo. A produção de lixo é inerente à humanidade e inevitável. Mas, a reciclagem e o uso racional dos processos de produção e aproveitamento de recursos poderão fazer a diferença nesse sentido. Dessa forma, a sociedade fará um aproveitamento racional dos recursos, permitindo a sustentabilidade da exploração ambiental, a inclusão social de parcela de sua população, agindo com responsabilidade social e cidadania, e promoverá uma redução na produção de lixo.

Para se conseguir um país com uma base mais sustentável, são necessários a adoção de políticas públicas e investimentos em energias renováveis, como a eólica, solar, térmica, ondas, marés, fotovoltaica e biomassa, sendo o biodigestor exemplo dessa última, que poderia resolver não só a questão energética brasileira mas também as

questões de saneamento e lixões. As implantações dessas alternativas renováveis traria junto uma mudança cultural na população, que de acordo com autores, seria um processo de transição penoso até nos acostumarmos com essa outra realidade, uma realidade menos dependente de combustíveis fósseis.

Este trabalho apresentou e dimensionou um biodigestor como forma de abrandar a problemática do lixo vivida atualmente pela cidade de Santarém. Em termos ambientais, é importante ressaltar a quantidade de gás metano que deixará de ser lançada a atmosfera, no caso do biodigestor instalado no Aterro de Perema, chega-se a quantidade de metano de 1.054 Ton/dia ou 379.460,16 Ton/ano de CH<sub>4</sub>. Como o gás metano é cerca de 20 vezes mais poluente que o dióxido de carbono, conclui-se que deixará de ser lançado na atmosfera o equivalente a 306,9 tCO<sub>2</sub>/ano. A redução dos gases efeito estufa, em um projeto aprovado pelo MDL, recebe os certificados de reduções de emissões (créditos de carbono) que são comercializados entre US\$ 5 e US\$ 20 por tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente.

Sabemos que o lixo já existente no local não pode ser aproveitado por esse sistema, pois todo o lixo está misturado, orgânicos e inorgânicos, porém como não há outro destino para o lixo do município, deve-se incentivar a pesquisa e a produção de tecnologias que façam com que o lixo recebido seja depositado de modo ambientalmente correto e que faça a vida útil do Perema aumentar.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

\_\_\_\_\_. Lei no 9.795, de 27 de abril de 1999. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L9795.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9795.htm) Acesso em: 9 mar.2015.

\_\_\_\_\_. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L12305.htm). Acesso em: 16 nov.2015.

ABNT - Associação Brasileira De Normas Técnicas. Apresentação de Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos. NBR 8419, 1992.

ABNT - Associação Brasileira De Normas Técnicas. Apresentação de Projetos de Aterros Controlados de Resíduos Sólidos Urbanos. NBR 8849, 1995.

ABNT - Associação Brasileira De Normas Técnicas. Resumo: NBR 13230, NBR nº 10.004. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

ANP – Agência Nacional do Petróleo.

ANDRADE, M. A. N.; NINO, R.; RANZI, T. J. Biodigestores rurais no contexto da atual crise de energia elétrica brasileira e na perspectiva da sustentabilidade ambiental. In:

ARMANDO, M. C. Avaliação do potencial do biogás gerado e sistemas de aproveitamento energético no aterro sanitário do município de Toledo-PR. 2013.

ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4., 2002, Campinas. Anais... Campinas: UNICAMP, 2002.

AVELLAR, L. H. N.; COELHO, S. T.; ALVES, J. W. Geração de eletricidade com biogás de esgoto: Uma realidade. *Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento*. n. 29.

BARRERA, P. Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para zona rural. São Paulo: Ícone, 1993.

BIODIGESTOR DE LONA. Disponível em <[http://www.iengep.com.br/images/dejetos\\_biodigestor.gif](http://www.iengep.com.br/images/dejetos_biodigestor.gif)>. Acesso em: 21/02/2015.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/LEI/2007/lei/111445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/LEI/2007/lei/111445.htm)>. Acesso em: 8 de abr. 2015.

CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa. Projeto: Instalação e Testes de uma Unidade de Demonstração de Geração de Energia Elétrica a partir de Biogás de Tratamento de Esgoto – ENERG-BIOG. Relatório Técnico Final. São Paulo, 2005.

CENTRO PARA CONSERVAÇÃO E ENERGIA - CCE. Guia Técnico de Biogás. Amadora: Portugal, 2000.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. “Pesquisa sobre emissões de metano dos depósitos de lixo no Brasil”. São Paulo, 1999. Disponível em <<http://www.mct.gov.br>>. Acesso em: 9 abr. 2015.

CLASSEN, P.A.M; LIER, J.B.; STARMS, A.J.M. – Utilization of biomass for supply of energy, 1999.

COELHO, S.T.; VELÁZQUEZ, S.M.S.G.; SILVA, O.C.; ABREU, F.C. Geração de Energia Elétrica a partir do Biogás Proveniente do Tratamento de Esgoto Utilizando um Grupo Gerador de 18 kW. In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO. Brasília: 31/05-02/06/2006. Disponível em: [http://cenbio.iee.usp.br/download/projetos/10\\_purefa.pdf](http://cenbio.iee.usp.br/download/projetos/10_purefa.pdf). Acesso em junho/2015.

- COLDEBELLA, A.; SOUZA, S. N. M.; SOUZA, J., KOHELER, A. C. – Viabilidade da Cogeração de Energia Elétrica com Biogás da Bovinocultura de Leite, 2006.
- CORNIERI, M. Programa municipal de coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos em Santo André – SP: Um estudo a partir do ciclo da política (policy cycle). Dissertação (mestrado em Ciência – Programa Ciência Ambiental). Pós Graduação em ciência Ambiental, Universidade de São Paulo. 2011.
- CORTEZ, L. A. B.; BAJAY, S. V.; BRAUNBECK, O. Uso de resíduos agrícolas para fins energéticos: o caso da palha de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Energia*, Rio de Janeiro, v. 6, n. 1, p. 66-81, jan./ jun. 1999
- CUNHA, M. E. G. Análise do Setor Ambiental no Aproveitamento Energético de Resíduos: Um estudo de caso do município de Campinas. Dissertação de Mestrado. Planejamento de Sistemas Energéticos/Área Interdisciplinar. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Campinas, 2002.
- DEGANUTTI R., PALHACI M. C. J. P., ROSSI M., TAVARES R., SANTOS. Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada. Departamento de Artes e Representação Gráfica, FAAC - Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, UNESP - Universidade Estadual Paulista. Bauru – SP, 2002.
- EIGENHEER, E. M. Lixo: a limpeza urbana através dos tempos. Porto Alegre: Palloti, 2009.
- ENSINAS, A. V.; BIZZO, W. A. Estudo da geração de biogás no aterro sanitário Delta em Campinas – SP. Universidade Estadual de Campinas – Faculdade de Engenharia Mecânica. Comissão de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Campinas, 2003.
- FARRET, F.A. Aproveitamento de pequenas fontes de energia elétrica. Santa Maria: UFSM, 1999.
- FERNANDES, D. Biomassa e biogás da suinocultura. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura.) - Pós-Graduação em Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná. 2012.
- FERNANDES, D.L. Na Trilha do Lixo. Santarém: Vitória-Régia, 2004.
- FONSECA, V. M.; BRAGA, S. R. Entre o ambiente e as ciências humanas: artigos escolhidos, ideias compartilhadas. São Paulo: Biblioteca 24X7, 2010.
- FUNDAÇÃO BANCO DO BRASIL. Lixo Municipal: manual de gerenciamento. 2. ed. Brasília: CEMPRE, 2002
- GASPAR, R. M. B. L. Utilização de Biodigestor em Pequenas e Médias Propriedades Rurais com Ênfase na Agregação de Valor: Um Estudo de Caso na Região de Toledo-



PR. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)- Faculdade de Engenharia de produção e sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2003.

GEOTECNIA AMBIENTAL. Grupo de Resíduos Sólidos. UFPE. 2014.

GRIMELLO, R; VELÁZQUEZ, S. Aproveitamento do biogás proveniente de dejetos da bovinocultura para geração de energia – um estudo de caso. Revista Mackenzie de Engenharia e Computação, São Paulo, v. 13, n. 1, p. 61-74, out. 2013.

HEMPE, C., NOGUERA, J.O.C., v(5), nº5, p. 682 - 695, 2012. A educação ambiental e os resíduos sólidos urbanos. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental REGET/UFMS (e-ISSN: 2236-1170). Disponível em: <Cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/reget/article/.../2798>. Acesso em: 08 abr. 2015.

HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M. K. Energia e meio ambiente. 3.ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística / PNSB – Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. Indicadores Sociais: pesquisa nacional de saneamento básico. Disponível em <http://www.ibge.gov.br> Acesso em mar. 2015.

INTERNATIONAL, Winrock. Manual de Treinamento em Biodigestão. Versão 2.0. São Paulo, 2008.

IPEA. Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos. Relatório de Pesquisa. [http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009\\_relatorio\\_residuos\\_solidos\\_urbanos.pdf](http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009_relatorio_residuos_solidos_urbanos.pdf). Acesso em 29 abr. 15

JACOBI, P.R. e BESEN, G.R. (2011). “Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade”. Estudos Avançados 25 (71). p. 135-158. [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-40142011000100010&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-40142011000100010&script=sci_arttext). Acesso em 12 abr 2015.

JUNQUEIRA, S. Geração de energia através de biogás proveniente de esterco bovino: estudo de caso na fazenda aterrado. Trabalho de conclusão de curso. Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do rio de Janeiro. 2014.

KLANOVICZ, J. Impactos ambientais de resíduos sólidos e suas aplicações para a recuperação de áreas degradadas.2013.

LANTZ, M., SVESSON, M., BJÖRNSSON L., BJÖRNSSON, P. “The prospects for an expansion of biogas systems in Sweden-Incentives, barriers and potentials”, Energy Policy. 2004.

LIMA, H.; CARNEIRO, P.; KRUMMENAUER, E. Pré-dimensionamento de um sistema para produção de Biogás a partir dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no município de Santo André. São Paulo, 2012.

LIMA, L.M.Q. Remediações de lixões municipais: aplicações da biotecnologia. São Paulo: Hemus, 2005.

Lixo. Disponível em <http://dicionariodoaurelio.com/> acesso em 11 dez 2015.

MUYLAERT, M. S.; AMBRAM, R.; CAMPOS, C. P.; MONTEZ, E. M.; OLIVEIRA, L.B (2000). Consumo de Energia e Aquecimento do Planeta – Análise do mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDL – do Protocolo de Quioto – Estudo de Caso. 247 p. Rio de Janeiro: Ed. COPPE, 2000.

NOGUEIRA, L. A. H. Biodigestão – A alternativa Energética. Nobel: São Paulo, 1986.

OLIVER, A.P. M; NETO, A.A. S; QUADROS, D.G; VALLADARES, R.E; Manual de treinamento de biodigestão, 2012

OLIVEIRA, B.; SILVA, L.; PEREIRA, M.; GONÇALVES, V. Orientações básicas para operação de usina de triagem e compostagem de lixo. Belo horizonte. 2006.

PECORA, V. – Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP – Estudo de caso, 2006.

PROTOCOLO DE KYOTO. Disponível em: <[http://www.ufpa.br/npadc/gpeea/DocsEA/Protocolo\\_quioto.pdf](http://www.ufpa.br/npadc/gpeea/DocsEA/Protocolo_quioto.pdf)>. Acesso em: 13 abr. 2015.

RAMAGE, J.; SCURLOCK, J. Biomass. In: BOYLE, G. (Ed.). Renewable energy: power for a sustainable future. Oxford: Oxford University Press, 1996. cap. 4, p. 137-182.

CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO EDUCACIONAL DE BARRETOS. Relatório do projeto integrado I. UNIFEB, set.2009.

REVISTA DA TERRA. O lixo virou lucro. Barretos, SP, 2007.

SANTOS, L. O.; TAUCHEN, J. A;. Uso do biogás proveniente de um aterro sanitário para geração de energia elétrica: Estudo de caso do aterro municipal de Cascavel – PR. 2010.

SARAIVA, J.D.L. Construção e operação de biodigestores. Jaboticabal. CPT, 2005.

SARAVANAN, V.; SREEKRISHNAN, T.R. Modelling anaerobic biofilm reactors-A review. Journal of Environmental Management, v. 81, p-1-18, 2006.

SEMINFRA. Relatório de Operacionalização do Aterro de Perema. 2013.

- SILVA, E. P.; CAVALIERO, C. K. N. Perspectivas para as fontes renováveis de energia no Brasil. Disponível em: <<http://www.universiabrasil.net>>. Acesso em: 9 abr. 15.
- SILVA, J. A.; SOUZA, V.; MOURA, J. M.; Gestão de resíduos sólidos domiciliares em Cuiabá: gerenciamento integrado.2011.
- SGANZERLA, E. Biodigestores: uma solução. Porto Alegre. Agropecuária, 1983.
- TRIGUEIRO, André. O lixo que vira energia.2013
- TURRA, D.; ETCHEPARE, H.; JÚNIOR, W. Caracterização e viabilidade de reciclagem dos materiais nos centros de triagem de porto alegre e região metropolitana.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. Programa de Administração e Gerenciamento de Resíduos Sólidos – GERESOL. Historia do Lixo. 17 de março de 1999. Disponível em:<[www.ufmg.br/geresol/lixohistoria.htm](http://www.ufmg.br/geresol/lixohistoria.htm)> Acesso em: 8 abr. 2015.
- VANZIN, E. Procedimento para análise da viabilidade econômica do uso do biogás de aterros sanitários para geração de energia elétrica: aplicação no Aterro Santa Tecla. Passo Fundo: Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo, 2006 (Dissertação de Mestrado em Engenharia).
- VILLEN, R.A.; LIMA, U.A; AQUERONE, E; BORZANI, W.; SCHIMIDELL, W. – Tratamento biológico de efluentes, 2001.
- VILLELA, I.A.C., SILVEIRA, J.L. - Aspectos técnicos da produção de biogás em um laticínio, 2005.
- ZANETTE A. L. Potencial de aproveitamento energético do biogás no Brasil. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Planejamento Energético, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2009.
- WALDMAN, M. Lixo: cenários e desafios. São Paulo: “Gestão do lixo domiciliar. Considerando os sobre a atuação do Estado”.[http://www.mw.pro.br/mw/geo\\_pos\\_doc\\_gestao\\_lixo\\_atuacao\\_estado.pdf](http://www.mw.pro.br/mw/geo_pos_doc_gestao_lixo_atuacao_estado.pdf). Acesso em 29 abr. 15.
- WALSH, Jr. Handbook on biogas utilization. U.S Department of energy. 1998.
- WORLD BANK (2012). “What a waste. A global review of solid waste management”.<http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/TOPICS/EXTSDNET/0,,contentMDK:23212147~menuPK:64885113~pagePK:7278667~piPK:64911824~theSitePK:5929282,00.html> Acesso em 29 abr 2015.