

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

DANIEL ROBERTO WALKER NICOLINI

**PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DO TRATAMENTO DE EFLUENTES  
SANITÁRIOS**

CURITIBA

2016

DANIEL ROBERTO WALKER NICOLINI

**PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DO TRATAMENTO DE EFLUENTES**

**SANITÁRIOS**

Trabalho apresentado como requisito parcial à obtenção do grau de MBA em Gestão Ambiental no curso de pós-graduação em Gestão Ambiental, Departamento de Economia Rural e Extensão, Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Miguel Mansur Aisse

CURITIBA

2016

*Ao meu pai, Prof. Mauro Nicolini, pelo incentivo, pelas contribuições e sugestões na revisão deste trabalho, colocando-se sempre à disposição para sanar minhas dúvidas.*

## RESUMO

A crise energética enfrentada no Brasil nos últimos anos, decorrente da ineficiência das usinas hidrelétricas na produção de energia, a qual é atribuída à falta de chuvas, é um problema crescente que vem afetando a população brasileira em vários aspectos, principalmente em virtude da necessidade de acionamento das usinas termelétricas para suprir a demanda energética. Estas usinas, além de serem poluentes e emissoras de gases causadores do efeito estufa, possuem um custo elevado, resultando também no aumento da tarifa de energia nas residências. A falta de chuvas, bem como toda transformação ocorrida no clima e no ecossistema terrestre nos últimos anos, são fenômenos atribuídos ao próprio ser humano, conforme alegam alguns estudiosos, visto ser este o principal emissor de gases causadores do efeito estufa, além de ser o principal responsável pelos desmatamentos e pela ocupação desenfreada dos mananciais. Porém, outras correntes afirmam que tais problemas são decorrentes da falta de planejamento das cidades. O presente estudo se deu através de pesquisas bibliográficas ocorridas em revistas científicas, dissertações acadêmicas, jornais, livros e portais eletrônicos e, os autores estudados sugerem que o biogás, proveniente do tratamento anaeróbio de esgoto, pode vir a ser uma possível solução no combate a crise energética enfrentada no país, podendo ser eficiente na produção de energia elétrica e térmica e evitando que os gases provenientes deste tratamento sejam descartados na atmosfera. Estes autores indicam que o poder calorífico do biogás está diretamente ligado a presença do metano na mistura, a qual pode sofrer variações, decorrentes principalmente do tipo de digestor e esgoto tratado. Ao final deste trabalho, foram feitos cálculos de estimativa de produção de energia em dois possíveis cenários dentro do estado do Paraná, onde foi possível comprovar a eficiência desta tecnologia, a qual já vem sendo aplicada de forma significativa em algumas estações de tratamento do estado do Paraná.

Palavras-chave: Biogás, crise energética, crise hídrica, digestão anaeróbia, efeito estufa, estação de tratamento de esgoto, produção de energia.

## ABSTRACT

The energy crisis faced in Brazil in recent years, due to the inefficiency of the hydroelectric plants in energy production, which is attributed to the lack of rain, is a growing problem that is affecting the Brazilian population in many aspects, especially in view of the need to activation of the thermoelectric power plants to meet energy demand. These plants, besides being pollutants and issuers of gases causing the greenhouse effect, have a high cost, also resulting in increased power tariff in homes. The lack of rain and every transformation occurred in the climate and terrestrial ecosystem in recent years, are phenomena attributed to the human being, as they claim some scholars, since this is the main emitter of greenhouse gas effect, besides being the mainly responsible for deforestation and the uncontrolled occupation of the water sources. However, other current claim that such problems are due to the lack of planning of cities. This study was through literature searches occurred in scientific journals, academic dissertations, newspapers, books and electronic portals, the authors studied suggest that the biogas from the anaerobic wastewater treatment, could be a possible solution to combat energy crisis facing the country, can be effective in the production of electrical and thermal energy and preventing the gas from this treatment are discarded into the atmosphere. These authors indicate that the biogas calorific power is directly linked to the presence of methane in the mixture, which can be varied, mainly due to the type of digester and treated sewage. At the end of this work were made energy production estimate calculations in two possible scenarios within the state of Paraná, where it was possible to prove the efficiency of this technology, which is already being applied significantly in some state treatment plants of Paraná.

Keywords: Anaerobic digestion, biogas, energy crisis, energy production, greenhouse effect, wastewater treatment plant, water crisis.

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

CENBIO - Centro Nacional de Referência em Biomassa

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO - Demanda Química de Oxigênio

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

GEE - Gases Efeito Estufa

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*

MDL - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

OD – Oxigênio Dissolvido

ONU - Organização das Nações Unidas

PBMC - Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas

RALF - Reator Anaeróbico de Lodo Fluidizado

UASB - *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*

UNFCCC - *United Nations Framework Convention on Climate Change*

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição do biogás após purificação.....	19
Tabela 2: Poder calorífico do biogás.....	20
Tabela 3: Poder calorífico de alguns combustíveis em MJ/kg.....	20
Tabela 4: Características Técnicas e Desempenho Ralf/UASB .....	28
Tabela 5: Vazão doméstica de esgoto por habitante.....	37

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Percentual de domicílios atendidos por rede coletora de esgoto em cada unidade da federação.....	23
Gráfico 2 – Percentual de domicílios atendidos por rede de tratamento de esgoto em cada unidade da federação.....	24



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Reator tipo RALF - Tronco Crônico.....	26
Figura 2 - Reator tipo RALF - Corte.....	27
Figura 3 - Vista Esquemática do Reator RALF/UASB.....	28
Figura 4 - Sequência de processos na Digestão Anaeróbia.....	31

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	13
2.1 OBJETIVO GERAL.....	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	14
3.1 ÁGUA, CRISE HÍDRICA NO BRASIL E SUAS POSSÍVEIS CAUSAS.....	14
3.1.1 Consequências da Crise Hídrica no Sistema de Geração de Energia Proveniente de Usinas Hidrelétricas.....	15
3.2 EFEITO ESTUFA E O AQUECIMENTO GLOBAL.....	16
3.2.1 Alternativas Para Redução do Efeito Estufa.....	18
3.3 O BIOGÁS.....	19
3.4 O TRATAMENTO DE ESGOTO NO BRASIL.....	23
3.4.1 O Processo de Tratamento.....	26
3.5 O PROCESSO DE BIODIGESTÃO ANAERÓBIA.....	29
3.5.1 Hidrólise.....	31
3.5.2 Acidogênese.....	32
3.5.3 Acetogênese.....	32
3.5.4 Metanogênese.....	33
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	34
<b>5 ESTUDO DE CASOS</b> .....	35
<b>6 RESULTADOS E DUSCUSSÃO</b> .....	37
6.1 ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE ENERGIA EM DOIS POSSÍVEIS CENÁRIOS DENTRO DO ESTADO DO PARANÁ.....	37
<b>7 CONCLUSÃO</b> .....	41
<b>8 REFERÊNCIAS</b> .....	42

## 1 INTRODUÇÃO

No cenário brasileiro atual, há uma grande preocupação no que diz respeito a eficácia das atuais usinas de produção de energia, devido estas serem limitadas e, algumas serem grandes emissores de dióxido de carbono, principal responsável pelo efeito estufa e aquecimento global, como por exemplo as usinas termoelétricas. As usinas hidrelétricas, apesar de serem consideradas limpas e eficientes, em épocas de secas, não conseguem suprir sozinhas as demandas energéticas, sendo necessária a ativação das usinas termoelétricas.

No primeiro semestre de 2015, esse fato se tornou ainda mais evidente no Brasil após o país ter vivenciado uma das piores crises energéticas e hídricas das últimas décadas, em decorrência da redução do volume de chuvas, ocasionando a redução do volume de água das usinas Hidroelétricas, principais fontes geradoras de energia do país. Com a crise hídrica, houve também problemas quanto ao abastecimento de água em algumas regiões do sudeste brasileiro, devido ao baixo volume de água das represas de abastecimento. O Sistema Cantareira, por exemplo, um dos maiores do mundo, responsável pelo abastecimento de 8,1 milhões de pessoas no Estado de São Paulo, chegou a operar com apenas 5% de seu volume, após o acionamento do seu segundo volume morto (volume reserva, retirado abaixo das comportas da represa). Este cenário fez com que as usinas termoelétricas, muito mais poluentes e mais caras, fossem acionadas como medida preventiva, tornando-se fundamentais para suprir a demanda energética no Brasil em meio a esta crise energética, o que ocasionou aumento na conta de energia e um grande descontentamento da população, devido a forma com que esta situação havia sendo administrada pelos responsáveis.

Buscam-se com isso, soluções e alternativas que visam suprir a demanda em épocas de crise, algumas delas já aplicadas pelo mundo, porém de forma ainda modesta no Brasil. Assim, o biogás, um subproduto natural oriundo da decomposição anaeróbia dos resíduos provenientes de seres humanos e animais, principalmente em decorrência da forte presença do Metano, pode ser

aproveitado como combustível para a geração de energia a baixo custo, além possibilitar a eficiência energética no próprio setor de saneamento.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Analisar a viabilidade técnica do tratamento anaeróbico de esgoto doméstico como uma alternativa energética capaz de contribuir para redução de possíveis crises energéticas no Paraná.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- a) Propor reflexão sobre o cenário energético atual e futuro no Brasil.
- b) Buscar alternativa que visa suprir demanda energética, em momentos de crises no setor energético brasileiro.
- c) Propor reflexão sobre a eficácia e benefícios alcançados com o reaproveitamento do biogás, produto do tratamento de esgoto, quando utilizado como fonte energética.

### **3 REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1 ÁGUA, CRISE HÍDRICA NO BRASIL E SUAS POSSÍVEIS CAUSAS**

Tundisi (2008) afirma que todas as formas de vida existentes na Terra dependem da água, pois é ela que mantém a biodiversidade e regula os ciclos biogeoquímicos, sendo também responsável pelo crescimento sustentável das atividades humanas. O Brasil possui ainda muita água disponível para exploração em mananciais hídricos situados no subsolo, principalmente nas regiões do centro-sul do Brasil, mas também o nordeste argentino e outros países como Uruguai e Paraguai possuem essa riqueza. Estudos revelam que o volume destes mananciais pode alcançar 115 milhões de metros cúbicos, portanto, de acordo com Tundisi (2008), é de suma importância haver planejamento e gestão de águas e recursos disponíveis em nosso país, uma vez que possíveis alterações físicas, químicas e biológicas das águas, poderiam vir a ser permanentes, comprometendo a qualidade e, com isso, a saúde humana e o desenvolvimento econômico e social. De acordo com Cesaro (2007) essas alterações poderiam vir a ocorrer em decorrência da poluição doméstica e industrial existente nas cidades que não possuem um rigoroso planejamento, propiciando, dentre outros fatores, o surgimento de doenças, o aumento de temperatura e a contaminação dos lençóis freáticos. Além desses fatores, outros poderiam vir a comprometer a distribuição de água em algumas regiões do país, a qual poderia ser ineficiente em épocas de crises hídricas, afetando inclusive o sistema de geração de energia proveniente das usinas hidrelétricas, que dependem das chuvas para manter as represas cheias e propiciar seu funcionamento.

No primeiro semestre de 2015, o Brasil vivenciou uma trágica crise hídrica. No Estado de São Paulo, por exemplo, a crise afetou principalmente o sistema de distribuição de água à população, sendo necessário, por muitas vezes, o racionamento de água em várias regiões (ZIEGLER, 2015). Cogitaram-se inclusive revezamentos severos, onde famílias teriam que conviver sem água por até cinco dias. Isso ocorreu pelo fato do Sistema Cantareira, responsável

pelo abastecimento de 8,1 milhões de pessoas no Estado de São Paulo, ter chegado a operar próximo de 5% de seu volume, após o acionamento do seu segundo volume reserva (G1, 2015).

De acordo com Ziegler (2015), alguns especialistas atribuem as causas da crise hídrica ocorrida em São Paulo à diminuição das chuvas no estado, ao desmatamento das florestas, à ocupação desenfreada dos mananciais e à falta de planejamento do governo de São Paulo. Entretanto outras correntes acusam ainda o governo federal, representado pela Agência Nacional de Águas (ANA), órgão responsável pela implementação e gerenciamento de todos os recursos hídricos do Brasil. Para este grupo, a agência não recomendou de forma adequada e clara que São Paulo e outros estados diminuíssem o consumo de água e tampouco exigiu da Sabesp uma postura mais firme contra a crise hídrica.

Já a ONU, no ano de 2014, criticou o governo de São Paulo por não realizar os investimentos necessários para que todos os habitantes do estado tenham água. Também fez críticas ao governo federal brasileiro por não estar cumprindo com o seu dever de fornecer água e saneamento básico para toda a população do Brasil (WIKIPÉDIA, 2015).

### **3.1.1 Consequências da Crise Hídrica no Sistema de Geração de Energia Proveniente de Usinas Hidrelétricas**

A crise hídrica tem sido uma realidade constante no Brasil sendo que, a cada ano, torna-se ainda mais evidente e prejudicial para as pessoas, afetando inclusive o sistema de geração de energia proveniente das usinas hidrelétricas, principal fonte de energia do país.

Desde o final do ano de 2012 até o primeiro semestre de 2015, quando a crise tomou grandes proporções em várias regiões do Brasil, o acionamento das usinas termoeletricas acabou sendo a solução imediata a ser adotada para suprir a demanda energética, mesmo estas sendo muito mais poluentes e mais caras. Essa medida causou descontentamento para a população, devido ao aumento na conta de energia nas residências e, para os ambientalistas, pelo fato

de estarem sendo utilizadas usinas poluentes e com altos índices de emissão de GEE, principal responsável pelo aquecimento global. Tal fato acaba sendo uma controvérsia na política de redução de GEE, sendo que o que se busca são alternativas energéticas renováveis com baixo índice de poluição e com pouca emissão de gases causadores do efeito estufa, considerando inclusive, o fato de o Brasil ter assumido compromisso voluntário de reduzir até o ano de 2020 um valor aproximado de até 38,9% de emissão de gases do efeito estufa e, até o ano de 2030 um valor aproximado de 43% (G1, 2015). Portanto o acionamento em caráter emergencial das usinas termoelétricas, provenientes do calor gerado da queima de combustíveis fósseis, acaba sendo um retrocesso tanto no sistema de produção de energia quanto na política de redução de gases do efeito estufa, pois, além de demandar alto consumo de água e possuir um custo financeiro elevado, em decorrência do alto custo dos combustíveis utilizados para queima, contribui drasticamente com as emissões de gases causadores do efeito estufa e, conseqüentemente, com o aquecimento global.

Uma vez que a solução para esses problemas é um processo longo, que demanda de tempo e necessita medidas drásticas, urgentes e imediatas, além de muito estudo, é de suma importância a busca por alternativas energéticas, preferencialmente renováveis, capazes de contribuir para o suprimento da demanda energética do país, de forma que o sistema energético brasileiro não seja drasticamente afetado e as conseqüências para a população sejam reduzidas (G1, 2015).

### **3.2 EFEITO ESTUFA E O AQUECIMENTO GLOBAL**

O aquecimento global é um fenômeno decorrente das emissões de gases causadores do efeito estufa na atmosfera. Afeta o nível do mar, a temperatura e a acidez dos oceanos, bem como a extensão e espessura do gelo nos polos e disponibilidade de água no planeta, aponta o 5º Relatório de Avaliação sobre Mudanças Climáticas Globais do IPCC, divulgado no mês de setembro de 2013. Segundo o Primeiro Relatório de Avaliação Nacional (PBMC, 2013), se não houver, no Brasil, mudanças drásticas para conter a emissão



excessiva de gases causadores do efeito estufa, o aumento de temperatura até 2100 será entre 1°C e 6°C em comparação à registrada ao final do século 20, acarretando mudanças nas características climáticas das regiões do país, como a diminuição de ocorrência de chuvas em várias partes das regiões central, norte e nordeste e o aumento do número de precipitações nas regiões sul e sudeste. A longo prazo, tais alterações podem acarretar em inúmeras consequências para a população, podendo vir a ameaçar drasticamente a capacidade de geração de energia proveniente de usinas hidrelétricas, uma vez que, na ausência de chuvas, a produção de energia é diretamente afetada, tendo em vista que, de acordo com um relatório da ONU de 2014, cerca de 90% da geração de eletricidade no planeta depende de água (UNESCO, 2014). O mesmo relatório aponta ainda que a demanda por energia irá aumentar em 70% até 2035.

Muitas medidas para conter as emissões de gases causadores do efeito estufa já estão sendo adotadas pelo mundo, muitas delas implantadas após determinações adotadas pelo Protocolo de Quioto, o qual objetiva reduzir as emissões de GEE nos países industrializados, ou seja, aqueles que possuem maior responsabilidade nas emissões destes gases.

De acordo com o Caderno Ibrri nº 1 (2009), o Protocolo de Quioto impôs níveis diferenciados de reduções para cada país. Para os países da União Europeia, por exemplo, foi estabelecida a redução de 8% com relação às emissões de gases emitidos em 1990, já para o Japão a redução estabelecida foi de 6%. Para calcular o potencial de aquecimento global de cada gás, o Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC), órgão científico criado com o intuito de centralizar assuntos envolvendo mudanças climáticas, criou uma medida métrica, o Co2e – dióxido de carbono equivalente – como unidade de medida das emissões de GEE em função do potencial de aquecimento global.

São seis os gases de efeito estufa que constam no pacto:

- 1) CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono
- 2) N<sub>2</sub>O – Óxido Nitroso
- 3) CH<sub>4</sub> – Metano
- 4) HFC – Hidrofluorcarbono
- 5) PFC – Perfluorcarbono
- 6) SF<sub>6</sub> – Hexa Fluoreto de enxofre

Muitos desses gases permanecem no ar por muitos anos e se difundem por todo o globo terrestre, independente de onde tenham sido emitidos. O gás carbônico (CO<sub>2</sub>), por exemplo, permanece por cerca de 150 anos no ar após emissão atmosférica, sendo que 10% do CO<sub>2</sub> podem residir por até mil anos (CADERNO IBRI, 2009).

### **3.2.1 Alternativas Para Redução do Efeito Estufa**

Para Juras (2008), a alta emissão de CO<sub>2</sub> decorrente da queima de biomassa, para fins de mudança no uso da terra, é um dos fatores responsáveis pelo aumento da temperatura terrestre, e dessa forma, pelas catástrofes ambientais que ocorrem em consequência disso. Entretanto, na década de 1990 alguns tratados internacionais como a Convenção - Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima e o Protocolo de Quioto concluíram que também o metano possui intensa responsabilidade no aquecimento global. O mesmo autor destaca que o Brasil, embora ocupe a quarta posição entre os países emissores de GEE, possui grande vantagem em buscas por alternativas energéticas renováveis, fato esse já evidenciado através de programas do álcool como aditivo da gasolina e como combustível em veículos flexíveis, do biodiesel e da implantação de usinas hidrelétricas.

Sprenger (2009) destaca que no estado do Paraná, a energia elétrica é obtida principalmente através de usinas hidrelétricas. Destaca também que, embora estas possam possuir algumas desvantagens e impactos ambientais locais, como o surgimento de áreas de alagamento, alteração na forma de reprodução dos peixes, desmatamento, consumo de recursos naturais para a construção da barragem, emissão de metano e assoreamento da barragem, a longo prazo podem tornar-se um investimento viável. Dentre os fatores que viabilizam a implantação de usinas hidrelétricas, Sprenger (2009) destaca o fato da utilização da água como fonte renovável de energia, uma vez que não produz poluentes no ar e não gera subprodutos tóxicos, contribuindo, também, para a redução do efeito estufa. Este mesmo autor destaca que algumas medidas

adotadas em estações de tratamento de esgoto tem buscado reutilizar os gases obtidos no processo de tratamento para geração de energia.

### 3.3 O BIOGÁS

De acordo com Pecora (2006) a natureza é repleta de vários ambientes favoráveis ao desenvolvimento do biogás, como pântanos, estuários, mares e lagos, usinas de carvão e jazidas petrolíferas, devido a baixa concentração de oxigênio, o que facilita a ocorrência desse fenômeno. Pecora (2006) destaca também que este gás possui um alto poder calorífico sendo que, quando a digestão anaeróbia ocorre em biodigestores planejados e, uma vez feito a devida purificação, ele pode ser usado como combustível, tendo a vantagem de não produzir gases tóxicos durante a queima e de ser uma alternativa para o aproveitamento do lixo orgânico. O lodo oriundo deste processo é também um excelente biofertilizante, podendo ser utilizado na agricultura.

A tabela 1 mostra as composições típicas do biogás após processo de purificação:

Tabela 1 - Composição do biogás após purificação.

Compostos Químicos	% de volume do biogás gerado	% de volume do biogás purificado
Metano (CH <sub>4</sub> )	50 a 80 %	80,80 %
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	20 a 40 %	4,07 %
Sulfeto de Hidrogênio (H <sub>2</sub> S)	1 a 2 %	0,06 %
Água (H <sub>2</sub> O)	1 a 2 %	0,98 %
Hidrogênio (H <sub>2</sub> )	1 a 2 %	0,00 %
Nitrogênio (N <sub>2</sub> )	0,5 a 2,5 %	13,20 %
Oxigênio (O <sub>2</sub> )	0,1 a 1 %	0,89 %
Total	100 %	100 %

Fonte: Pecora, 2006

Dos gases presentes na tabela, somente o Metano e o Dióxido de Carbono são considerados GEE. A proporção de cada elemento na mistura

depende de vários parâmetros, como o tipo de digestor e o substrato a digerir. O poder calorífico do biogás está diretamente relacionado com a quantidade de metano existente na mistura gasosa, portanto, para que seja utilizado como fonte energética, é necessário calcular a estimativa de produção de metano no biogás (PECORA, 2006).

As tabelas 2 e 3 demonstram respectivamente o poder calorífico superior e inferior do biogás e de outros combustíveis.

Tabela 2 - Poder calorífico do biogás

Poder Calorífico	Faixa de Variação
Superior (MJ/kg)	17 a 37
Inferior (MJ/kg)	15 a 34

Fonte: Azevedo, 2000

Tabela 3 - Poder calorífico de alguns combustíveis em MJ/kg.

Combustível	Poder Calorífico Superior	Poder Calorífico Inferior
Metano	55,5	50,0
Gás Natural	50,0	45,0
Gasolina	47,3	44,0
Diesel (leve)	44,8	42,5
Diesel (pesado)	43,8	41,4
Gás de Refinaria	42,3	38,6
Etanol	29,7	26,9
Carvão Vegetal	29,7	n/d
Metanol	22,7	20,0
Madeira Seca	19,8 a 20,9	n/d
Madeira (25% a 30% umidade)	14,6	n/d

Fonte: Azevedo, 2000

Através da tabela 2, é possível perceber uma variação no poder calorífico superior (poder calórico da combustão que resulta água na fase de vapor) e inferior (o que resulta em água na fase líquida) do biogás. Esta variação ocorre principalmente em virtude da proporção do metano no biogás, conforme descrito na tabela 1, visto ser este o gás com maior poder calorífico e maior presença na mistura.

Segundo Mae-Wan *et al.* (2009), o biogás foi identificado pela primeira vez em 1667, por Thomas Shirley, e a partir disso novas descobertas foram surgindo, como por exemplo quando Alessandro Volta identificou a presença do metano no gás dos pântanos. Entretanto as pesquisas tornaram-se maiores a partir do século XIX, quando Ulysse Gayion, aluno do cientista francês Louis Pasteur, realizou um teste onde acrescentou uma mistura de estrume e água, a

35° C, conseguindo obter 100 litros de gás por m<sup>3</sup> de matéria. Dessa forma, Louis Pasteur considerou que o teste realizado por seu aluno podia constituir uma fonte de energia para aquecimento e iluminação, em razão da presença do metano, pelo fato deste ter elevado poder calorífico.

Há registros de que foi em uma estação de tratamento de efluentes municipal da Inglaterra que ocorreu a primeira coleta de biogás de um processo de digestão anaeróbia, no ano de 1895 e desde então, o processo anaeróbio tem evoluído e se expandido ao tratamento de resíduos industriais, agrícolas e municipais (ROSS; DRAKE, 1996).

Os primeiros países a utilizarem de forma mais intensa o processo de biodigestão com finalidade energética foram Índia e China nas décadas de 50 e 60, porém, devido a elevação global do preço da energia ocorrido na década de 1970 e 1980, em virtude da crise do petróleo e as incertezas quanto a eficácia do abastecimento (uma vez que descobriu-se nesta época que o recurso natural não é renovável), os países do mundo inteiro tiveram que adotar estratégias de racionamento e, paralelamente a isso, passaram a desenvolver alternativas para produção de energia, buscando outras fontes energéticas e resultando em variações constantes no preço do petróleo. Segundo Nogueira (1986), apesar de haver naquela época uma busca constante por novas alternativas energéticas, não houve um impulso suficiente para substituição dos recursos não renováveis por fontes renováveis, em decorrência de fatores como cultura, necessidades, capacidades e recursos humanos e financeiros, mesmo assim, no Brasil, foram implementados vários programas de energias alternativas, entre eles a substituição da gasolina por biogás, oriundos de aterros e reatores anaeróbicos, para utilização em veículos, mas com o fim da crise, esses programas foram desativados e novamente o uso dos derivados do petróleo passou a ser priorizado (NOGUEIRA, 1986).

Após tratados internacionais, como a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima e o Protocolo de Quioto, concluírem que o metano contribui também para o aquecimento global (pesquisas apontaram que o impacto causado ao efeito estufa pelo metano é vinte e uma vezes maior que o dióxido de carbono) o poder de impacto causado pelo CH<sub>4</sub> ao efeito estufa passou a ser visto com maior importância e preocupação. Dessa forma, um levantamento realizado pelo Protocolo de Quioto apontou os países com maior

índice de emissão de GEE e, a partir disso adotaram-se metas, nas quais estes países deveriam buscar alternativas para redução na proporção de emissão desses gases. Uma vez que se percebeu uma grande dificuldade para que estes objetivos fossem alcançados por estes países, a solução proposta foi buscar alternativas nos países em desenvolvimento, que possuem condições mais propícias para redução na proporção de emissão desses gases. Assim foi criado o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), no qual estes países buscariam alternativas para reduzir as emissões de GEE, adquirindo dessa forma, créditos de carbono que viriam a ser comercializados com os países emissores de GEE. Dessa forma, os países desenvolvidos (maiores responsáveis pelas emissões de GEE) passaram a comprar os créditos de carbono que países não incluídos no Anexo I da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima (países com menor índice de emissão de GEE) adquiriram mediante projetos MDL, sendo um mercado vantajoso para ambos os lados, visto que, os países desenvolvidos poderiam continuar emitindo GEE, se possuíssem créditos de carbono que os mantivessem na meta estabelecida pelo Protocolo de Quito e, ao mesmo tempo estariam contribuindo para o desenvolvimento de projetos MDL em países que possuem melhores condições para desenvolvê-los.

De acordo com Martins (2003), o fato de o biogás ser também composto por gás sulfídrico ( $H_2S$ ), é suficiente para torná-lo corrosivo. Dessa forma, é necessário seu tratamento a base de lavagem com lixívia de Hidróxido de Potássio, resultando em um sal que poderá ser adicionado ao biofertilizante para enriquecê-lo com enxofre e potássio. Outro método de tratamento consiste na utilização de esponjas ou limalhas de ferro e resíduos de serragem da madeira, formando um filtro purificador. A serragem absorve a umidade e evita a formação de blocos de ferro no interior do filtro, os quais impediriam a circulação do biogás dentro do purificador. Já o ferro metálico, em contato com o gás sulfídrico, sofre uma reação, formando sulfetos de ferro. Após certo período, todo o ferro é transformado em sulfeto, assim, o filtro perde sua capacidade de purificação, sendo necessária a renovação da carga do purificador.

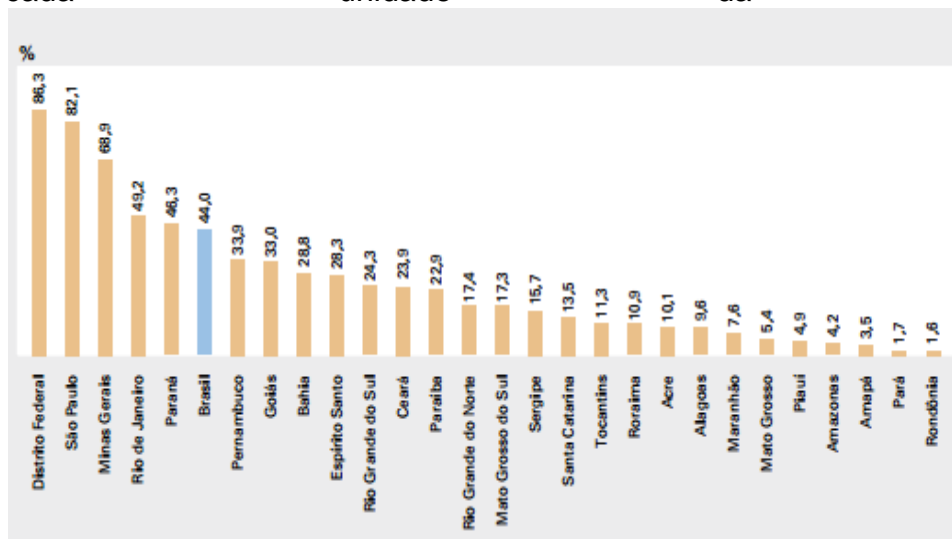
Segundo Cetto (2002), o biogás é considerado uma fonte de energia renovável, na qual possibilita uma redução significativa de emissões de dióxido de  $CO_2$  e  $CH_4$  na atmosfera. Sua produção consiste em um processo natural de tratamento de rejeitos orgânicos, os quais requerem menos espaço que aterros

sanitários e diminuem o volume de resíduos a serem descartados. Há também redução de custos com eletricidade, transporte de botijão de gás, esgoto, descarte dos demais resíduos, etc. Estudos apontam também algumas desvantagens na produção do biogás, dentre elas a formação de gás sulfídrico, um gás tóxico com cheiro desagradável. Dependendo do tipo de resíduo tratado, a quantidade de biogás será maior ou menor, o que implica em uma possível etapa de tratamento do gás obtido, dependendo do uso dado ao mesmo. Cetto (2002) acrescenta que se a escolha do material utilizado na construção do biodigestor for inadequada, pode haver um custo extra de manutenção, uma vez que no processo de tratamento, há a formação de gases corrosivos que podem danificar o interior do biodigestor.

### 3.4 O TRATAMENTO DE ESGOTO NO BRASIL

Segundo dados apontados pelo IBGE, no ano de 2008 o Brasil possuía apenas 44% de domicílios atendidos por rede coletora de esgoto, sendo que apenas o Distrito Federal e os estados de São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Paraná ficaram acima desta média, conforme demonstrado no gráfico a seguir.

Gráfico 1 – Percentual de domicílios atendidos por rede coletora de esgoto em cada unidade da federação.

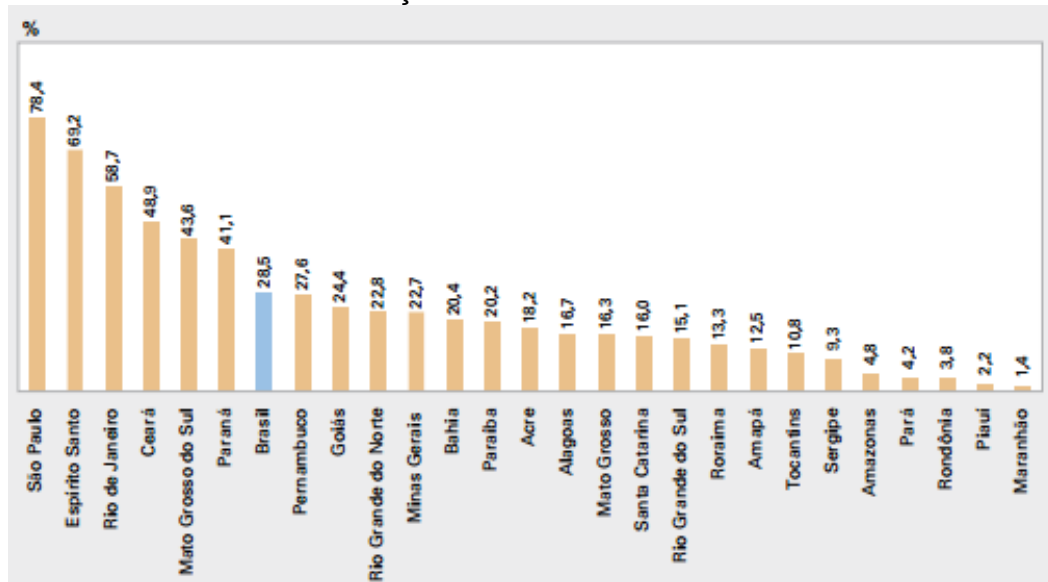


Fonte: IBGE (2008)

O esgoto coletado é despejado em corpos de água ou no solo sem tratamento, causando a mortandade de peixes e comprometendo sua qualidade para os diversos usos, inclusive na agricultura, podendo também dificultar a operação de purificação e tratamento dessa água, em decorrência da liberação de compostos voláteis. Já a parcela não coletada é descartada em fossas inadequadas nos quintais das casas e comércios ou então são dispensados a céu aberto.

Para alcançar uma condição sanitária ideal, não basta apenas que o esgoto seja coletado por meio de uma rede de coleta. É necessário também que seja feito o devido tratamento. Entretanto dados do IBGE apontam que no ano de 2008, somente 28,5% do esgoto coletado no Brasil sofreu algum tipo de tratamento, o que representa menos de 1/3 dos municípios brasileiros. O gráfico a seguir aponta o percentual de municípios brasileiros com tratamento de esgotos, segundo as Unidades da Federação.

Gráfico 2 – Percentual de domicílios atendidos por rede de tratamento de esgoto em cada unidade da federação.



Fonte: IBGE (2008)

Estudos indicam que o consumo de água contaminada em países em desenvolvimento pode ser responsável por 80% das doenças e mais de um terço das mortes. Já os dados levantados pelo BNDES (1998), apontam que 65% das internações hospitalares de crianças menores de 10 anos estão associadas à falta de saneamento básico. Dentre as doenças passíveis de contaminação,



estão a hepatite infecciosa, a cólera, a disenteria e a febre tifoide. Esse fato ocorre principalmente em municípios com menos de 30.000 habitantes onde, além dos problemas relacionados à restrição de recursos financeiros, há também a dificuldade em se projetar e orçar diversos processos de tratamento durante a coleta de dados para a escolha do mais adequado. Essa dificuldade, ocorrida principalmente em países em desenvolvimento, acabou provocando a atenção da maioria dos países, sendo motivo de grande preocupação internacional, uma vez que o esgoto bruto, ao ser lançado diretamente em um corpo d'água sem qualquer forma de tratamento, altera de forma imediata as características químicas, físicas e biológicas da água, podendo ocorrer aumento elevado de carga orgânica, a qual boa parte acaba se diluindo e sedimentando, sofrendo estabilização química e bioquímica e refletindo no aumento da DBO, da DQO e do CO, resultando na diminuição de oxigênio dissolvido. Para evitar estas alterações, antes de atingirem os corpos aquáticos, as águas residuais deveriam sofrer algum tipo de tratamento, podendo ocorrer por meio de dois grupos, os biológicos e os físico-químicos. A escolha do grupo a ser utilizado, depende das características do efluente, da área disponível para montagem do sistema de tratamento e do nível de depuração que se deseja atingir.

Sprenger (2009) afirma que, apesar do processo de tratamento de esgoto urbano ser uma atividade essencial à vida moderna, há alguns pontos cruciais a serem levados em consideração, como o alto consumo de energia elétrica proveniente deste tratamento e a quantidade de emissões residuais de metano. Com base nisso, ao longo dos anos tem sido implantados inúmeros critérios estabelecidos por legislações ambientais que visam tanto atribuir normas para seleção dos locais de descarga como para a disposição de efluentes tratados, de forma que estes sejam devolvidos à natureza dentro de padrões aceitáveis.

Neste sentido a resolução CONAMA nº 430 de 13 de maio de 2011, em seu capítulo II estabelece as condições e padrões para lançamento de efluentes após tratamento, sendo que no artigo 16, são estabelecidos limites individuais para cada substância em cada classe de corpo hídrico ou em cada sistema de classes de qualidade das águas. Entretanto, é permitido aos órgãos ambientais federais, estaduais e municipais estabelecerem limites máximos diferenciados e

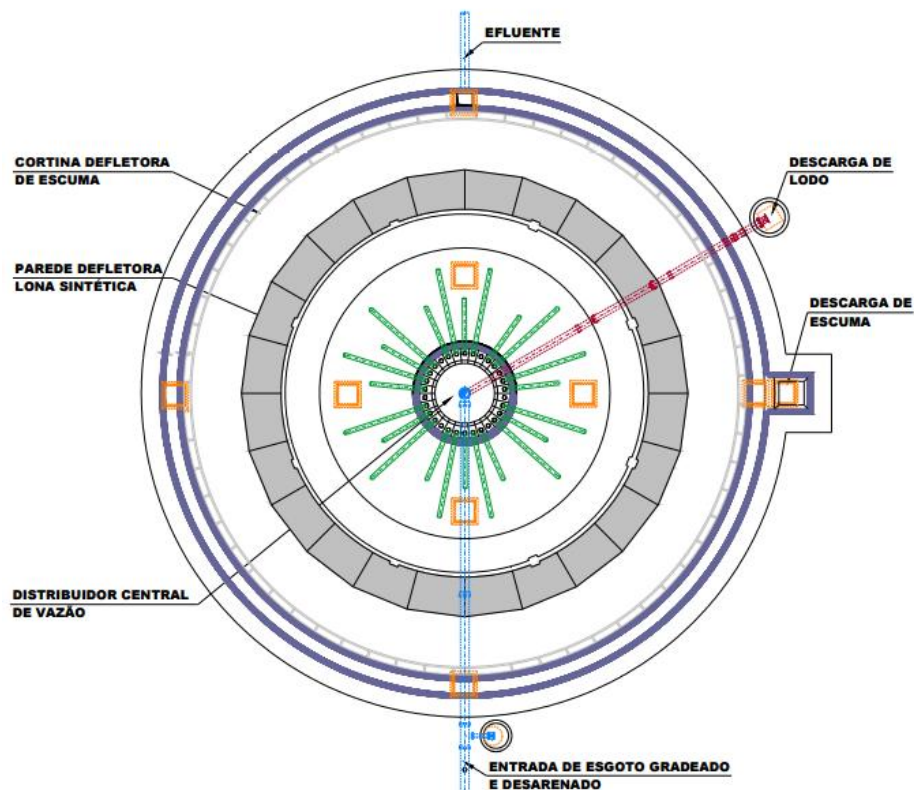
mais restritivos do que a estabelecida pelo CONAMA, mediante normas específicas ou no licenciamento da atividade ou empreendimento.

### 3.4.1 O Processo de Tratamento

Os processos de tratamento de efluentes aquosos, principalmente os biológicos, tendem a se basear em fenômenos ocorridos naturalmente, porém com controle e aumento da velocidade e eficiência de estabilização da matéria orgânica e outras substâncias também presentes.

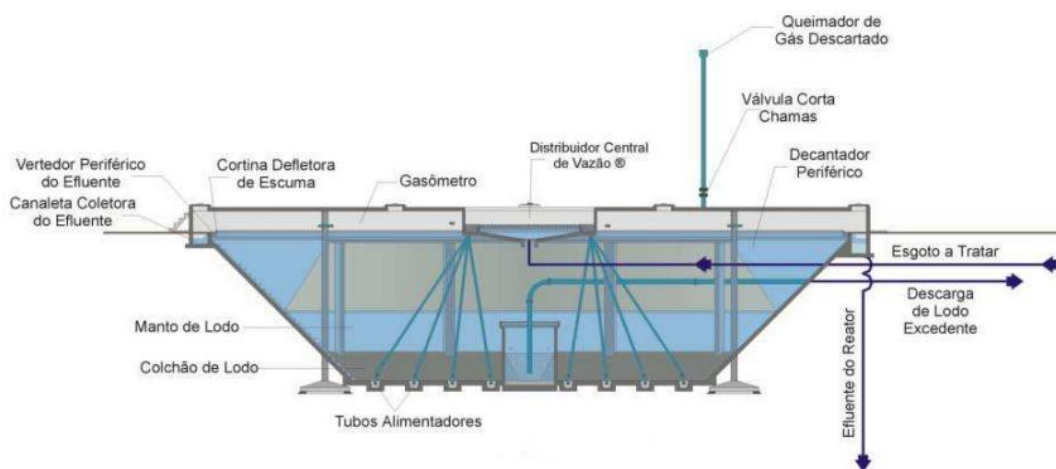
Dentre os sistemas de tratamentos disponíveis, Gervasoni e Cantão (2011) afirmam que os sistemas de tratamento baseados em reatores anaeróbicos, são os mais utilizados devido ao baixo custo de manutenção e implantação, em comparação aos reatores aeróbios.

Figura 1 - Reator tipo RALF - Tronco Crônico



Fonte: Baréa, 2006

Figura 2 - Reator tipo RALF - Corte



Fonte: Baréa (2006)

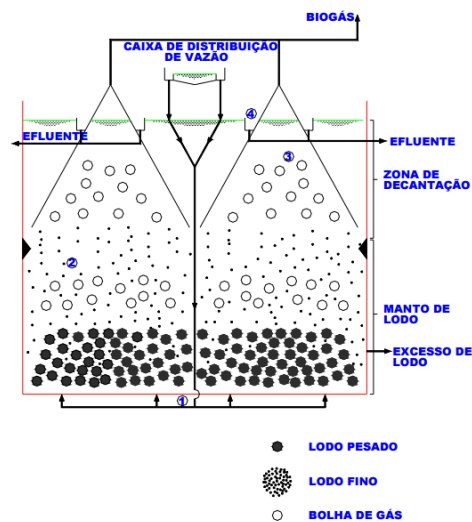
No sistema anaeróbio, tipo RALF ou UASB, o esgoto é direcionado através de dutos ao fundo do reator, onde se encontra armazenado o lodo composto por bactérias anaeróbicas que posteriormente irão digerir a matéria orgânica. Nesta passagem, partículas finas suspensas são filtradas e componentes solúveis são absorvidos na biomassa. Após a digestão, gases como o metano são emitidos, e estes seguem na forma de bolhas para o defletor de gases, situado na parte superior do compartimento de decantação. Partes do lodo e dos líquidos são então direcionados para compartimentos de decantação, locais esses onde não há presença de gases e, logo após a sedimentação dos sólidos no decantador, estes seguem novamente para o compartimento onde se localiza o manto de lodo e o efluente tratado é retirado do reator através de vertedores localizado nos decantadores (BARÉA, 2006).

Atualmente, como medidas de controle de emissão de gases efeito estufa na atmosfera, muitas ETES ainda optam por queimar o gás metano, liberando na atmosfera o dióxido de carbono, que é 21 vezes menos impactante que o metano, entretanto, devido ao potencial energético deste gás, algumas ETES tem utilizado o metano para produção de energia.

Sprenger (2009) menciona que, no estado do Paraná, o sistema de tratamento secundário de esgoto baseado em reatores tipo RALF é amplamente utilizado nas estações da Sanepar, pelo fato deste método possuir vantagens frente a outros métodos, dentre elas o baixo investimento e custo operacional,

devido a simplicidade na construção e operação e o baixo consumo energético pelo fato de não utilizar o sistema de aeração, havendo nesta situação a possibilidade da utilização do metano como fonte energética. Este mesmo autor cita também outras vantagens deste sistema, como a baixa produção de lodo, o qual é produzido de forma bem estabilizada e o fato da alimentação do reator poder ser paralisada por meses, sem que ocorra prejuízo no tratamento, fatores que permitem a aplicação deste método em ETES situadas em qualquer município, independente da quantidade de habitantes.

Figura 3: Vista Esquemática do Reator RALF/UASB



Fonte: Baréa (2006)

Para Baréa (2006) existem também algumas desvantagens na utilização do sistema RALF, utilizado pela Sanepar, dentre as quais o fato do processo ser aplicado em esgotos com temperaturas maiores que 15° C e ser afetado por um grande número de compostos químicos, sendo que a remoção de DBO é limitada a 70 a 80% e a remoção de nutrientes, coliformes e patógenos é baixa. Este mesmo autor destaca que nesse sistema as partidas das ETES levam de 3 a 4 meses. Algumas características técnicas levantadas por Baréa (2006) podem ser verificadas conforme tabela 5.

Tabela 04 - Características Técnicas e Desempenho Ralf/UASB

<b>Tempo de Detenção Hidráulico</b>	
Vazão Média	6 a 9 horas
Vazão Máxima	4 a 6 horas

<b>Velocidade Ascensional</b>	
Vazão Média	0,5 a 0,7 m/h
Vazão Máxima	menor que 1,5 m/h

Profundidade	4 a 6 metros
Tubos Difusores	2 a 4 m <sup>2</sup> por entrega
Carga Orgânica Máxima	1 kg DBO/m <sup>3</sup> reator
Coletores de Biogás	15 a 20% da área do reator

<b>Separador de Fases</b>	
Profundidade	1,5 a 2 metros
Inclinação das Paredes	Maior que 45°
<b>Desempenho dos reatores Ralf/Uasb</b>	
Remoção de DQO	50 a 75%
Remoção de DBO	60 a 85%
Remoção de SST	60 a 85%
Remoção de Patogênicos	85%
<b>Custos de Investimento do Reator</b>	
Preço do m <sup>3</sup> (R\$)	200 a 500
Preço por habitante tratado (R\$)	20 a 50
<b>Custos de Investimento do Reator + Sistema de Entrada</b>	
Preço por habitante tratado (R\$)	30 a 60
<b>Custos de Investimento do Reator + Sistema de Entrada + Pós Tratamento</b>	
Preço por habitante tratado (R\$)	70 a 180
<b>Produção de Biogás Ralf/Uasb</b>	
Produção por pessoa por dia	5 a 20 litros
Percentual de metano	50 a 70%
Poder calorífico do biogás	5,9 kwh/m <sup>3</sup>
100.000 habitantes	5900 kwh/dia
100.000 habitantes	1000 m <sup>3</sup> /dia

Fonte: Baréa (2006)

### 3.5 O PROCESSO DE BIODIGESTÃO ANAERÓBIA

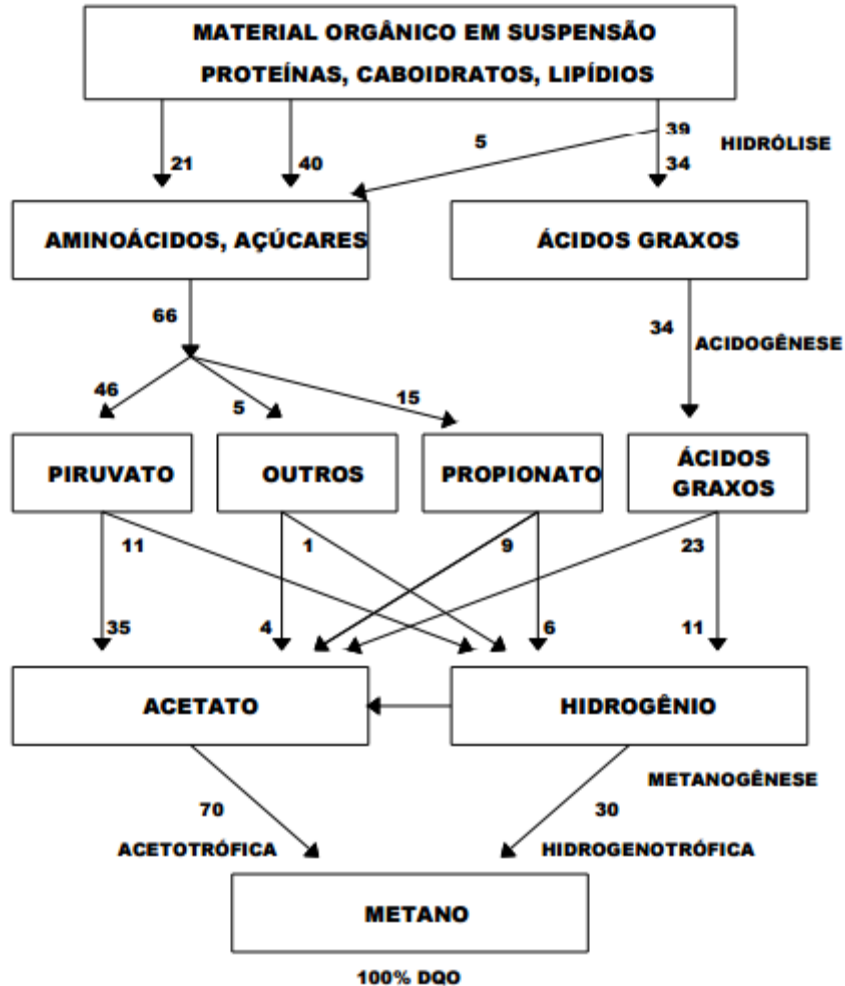
Segundo Pecora (2006), o Biogás é o gás produzido através da degradação anaeróbia da matéria orgânica, como esterco de animais, lodo de esgoto, lixo doméstico, resíduos agrícolas, efluentes industriais e plantas aquáticas. Este processo consiste na atuação de espécies de bactérias que, na ausência de sulfatos, nitratos, metais oxidados e, em especial, de oxigênio, atacam a estrutura de materiais orgânicos complexos, produzindo metano, dióxido de carbono, água, etc. Nesse processo, um composto de carbono (como

o  $\text{CO}_2$ ) funciona comoceptor de elétrons. Este mesmo autor acrescenta que somente as bactérias archaeas anaeróbias metanogênicas produzem gás metano. Estas bactérias são encontradas principalmente em pântanos, sedimentos e depósitos de lixo urbano, onde o oxigênio é ausente ou sua concentração é muito baixa e nas vísceras de animais, como ruminantes e seres humanos, onde eles são responsáveis pela flatulência. Estas extraem da matéria orgânica, toda energia e compostos necessários para o seu próprio crescimento. Durante a fermentação, a matéria orgânica é então transformada em substâncias químicas, por meio de uma cadeia de degradações sucessivas, em decorrência da variedade de bactérias presentes. Neste processo as bactérias agem de forma simbiótica, ou seja, uma bactéria depende da outra. Nenhuma bactéria simples é capaz de produzir produtos de fermentação sozinha, é o caso das bactérias produtoras de ácido, que criam um ambiente com condições anaeróbicas ideais para as bactérias produtoras de metano, produzindo o alimento básico que elas necessitam em uma etapa chamada acetogênica, na qual os ácidos orgânicos mais pesados e álcoois são fermentados em substratos utilizados pelas bactérias metanogênicas, tais como acetato, dióxido de carbono e hidrogênio molecular. Já as bactérias metanogênicas são responsáveis pela remoção do hidrogênio produzido, o qual poderia tornar-se inibidor ao metabolismo das bactérias acetogênicas no caso de estar presente em grande concentração durante o processo de fermentação. Após remoção dos produtos finais do metabolismo das bactérias acetogênicas, as metanogênicas os convertem em gases que escapam do sistema (PECORA, 2006).

Alguns fatores podem ocasionar a morte de algumas bactérias metanogênicas, em virtude destas serem mais sensíveis que as produtoras de ácidos, tais como alterações nas condições de operação de um digestor em operação, variações rápidas na temperatura ou mudanças bruscas no teor da matéria orgânica, especialmente quando há a presença de materiais sintéticos, como detergentes não biodegradáveis e aqueles à base de cloro, ou até mesmo a presença de resíduos de animais que tenham sido tratados com antibióticos ou água de lavagem contendo pesticidas. Quando isso ocorre, a produção do metano será reduzida e acidez se tornará maior.

São quatro as etapas do processo de biodigestão anaeróbica, conforme demonstrado na figura nº 2.

Figura 4 - Sequência de Processos na Digestão Anaeróbia



Fonte: Baréa, 2006

Os dados numéricos presentes na Figura 2, referem-se a percentagens expressas como DQO.

### 3.5.1 Hidrólise

Pecora (2006) menciona que nesta fase, há a presença das bactérias fermentativas hidrolíticas (microrganismos anaeróbios facultativos, ou seja, que

preferencialmente não usam oxigênio na decomposição da matéria orgânica, mas que podem vir a utilizá-lo). Elas convertem o material orgânico particulado em compostos dissolvidos. Isto ocorre quando estas bactérias excretam enzimas que rompem as cadeias polímeras, provocando a conversão de materiais particulados complexos em substâncias dissolvidas (reações extracelulares), a nível de monômeros, cujo o tamanho permite a passagem através da membrana celular. A existência dessas bactérias se dá em virtude de haver ainda nessa fase, a presença de oxigênio, mesmo que em quantidades menores.

### **3.5.2 Acidogênese**

Durante esta fase, bactérias fermentativas denominadas acidogênicas metabolizam os monômeros, que são os produtos da hidrólise, mediante um processo intracelular de oxidação-redução, resultando em produtos mais simples, tais como ácidos graxos, hidrogênio, gás carbônico, amônia, etc (BARÉA, 2006).

Nesta fase ocorre, portanto, um processo bioquímico no qual as bactérias obtêm energia para transformação da matéria orgânica hidrolisada.

### **3.5.3 Acetogênese**

Nesta etapa, ocorre a metabolização de alguns produtos da etapa anterior por um grupo de bactérias denominadas acetogênicas, na qual se obtêm acetato, dióxido de carbono e hidrogênio.

Nesta fase, o efluente possui alta demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e os valores de DBO são superiores a 10 g/l (PECORA, 2006).



### **3.5.4 Metanogênese**

Nesta etapa, as bactérias denominadas metanogênicas consomem os compostos orgânicos simples formados na fase acetogênica, transformando-os em dióxido de carbono e metano (PECORA, 2006).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho utilizou como método a pesquisa bibliográfica realizada em publicações periódicas, dissertações acadêmicas e livros. Entretanto, como algumas informações referem-se a eventos atuais, foram necessárias consultas em portais eletrônicos e jornais. Os dados demográficos referentes aos municípios citados no trabalho foram extraídos da fonte de dados do IBGE, também disponível para consulta eletrônica.

Utilizando-se como padrão os dados presentes na tabela proposta por Baréa (2006) foram feitos cálculos de estimativas de produção de biogás em dois possíveis cenários no estado do Paraná. A estimativa populacional do estado foi extraída da fonte de dados do IBGE, assim como os dados referentes a quantidade de esgoto coletado e tratado no Paraná, conforme IBGE (2008). Estes dados foram utilizados para calcular a estimativa de esgoto produzido diariamente no estado do Paraná, bem como a quantidade estimada de esgoto tratado diariamente e a quantidade estimada de esgoto liberado sem qualquer tipo de tratamento em fossas, rios ou a céu aberto. Para tanto, utilizou-se como fonte a média dos valores descritos na tabela 4, referente às emissões de esgoto por habitante, proposto pela Norma ABNT-NBR7229 (1993).

Para calcular a produção estimada de metano nas estações de tratamento anaeróbio de esgoto mencionadas neste estudo, Gervasoni (2011) utilizou o método UNFCCC e para análise das amostras de biogás produzido, utilizou o método de cromatografias a gás, no qual é possível separar cada constituinte, para fins de identificação, quantificação ou obtenção da substância pura.

## 5 ESTUDO DE CASOS

Ao longo dos anos, várias estações de tratamento de esgoto tem utilizado o biogás, oriundo destes tratamentos, para produção de energia, dentre elas a ETE Atuba Sul e a ETE Ouro Verde, situadas no estado do Paraná.

Os estudos realizados nas referidas ETES, operadas pela Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), levantaram o perfil de consumo de energia elétrica da ETE Atuba Sul e ETE Ouro Verde e, através dos dados levantados, foi possível analisar possibilidades de utilização da energia elétrica e térmica. Objetivaram também enfatizar a viabilidade da utilização do biogás, produto da atividade metabólica das bactérias, em energia. Neste sentido Gervasoni e Cantão (2011) destacam três métodos de cálculo de produção de metano (UNFCCC, CENBIO e DQO removida), entretanto concluiu que o método UNFCCC é o mais adequado para estudos de estimativa de produção de metano em estações de tratamento anaeróbio de esgoto. O referido método utiliza-se de uma equação específica, fundamentando-se em dados padronizados no guia para inventários de gases de efeito estufa do IPCC, como parte do processo indicado pelo método UNFCCC.

Os mesmos autores mencionam a utilização da técnica de cromatografia a gás para análise das amostras de biogás na ETE em questão, no qual um processo físico-químico possibilita a separação individual dos constituintes de uma determinada mistura de substâncias seja para identificação, quantificação ou obtenção da substância pura. Os constituintes são distribuídos entre uma fase estacionária e uma fase móvel. Neste caso, a fase móvel se dá por intermédio da utilização de um fluido gasoso, chamado gás de arraste. Neste sentido, Gervasoni (2011) menciona que para calcular o teor de metano no biogás emitido pela ETE Atuba Sul, considera-se que a vazão de biogás é o volume que passa pela tubulação de saída, a qual é medida em  $\text{m}^3(\text{CH}_4)/\text{dia}$  ou  $\text{m}^3(\text{CH}_4)/\text{h}$ , ao passo que a produção de biogás é a totalização da vazão num período maior de tempo, medida em  $t(\text{CH}_4)/\text{ano}$ .

Para calcular o potencial de geração de biogás em uma ETE primeiramente é necessário estimar a quantidade de DQO removida pelo reator

convertida em  $\text{CH}_4$ , para depois estimar a perda de metano solubilizada no efluente.

Os dados levantados por Sprenger (2009), destacam que no ano de 2009 a ETE Atuba Sul, produzia  $1.681,13 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{dia}$ , os quais eram queimados através do processo de combustão, visando a emissão  $\text{CO}_2$ . Este procedimento tinha a finalidade de reduzir a emissão do metano na atmosfera, porém o biogás, composto por 60,6 % de metano, não era utilizado como fonte de energia elétrica e térmica na ETE, sendo o mesmo desperdiçado. Já na ETE Ouro Verde, os dados levantados demonstram que a produção de metano era de  $30,32 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{dia}$ . Segundo Sprenger (2009) a diferença ocorrida na produção de metano entre as duas ETES ocorre pelo fato de possuírem tamanhos e desempenhos diferentes.

Por fim, os autores concluem que a produção de energia nas ETES, através da célula a combustível, é viável e vantajoso, viabilizando o auto fornecimento energético. Concluem também que há, neste sentido, uma redução de custos de operação da ETE, além de contribuir com o desenvolvimento sustentável, uma vez que há o aproveitamento eficaz do biogás.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE ENERGIA EM DOIS POSSÍVEIS CENÁRIOS DENTRO DO ESTADO DO PARANÁ

De acordo com a tabela 5, um indivíduo libera por volta de 150 litros de esgoto por dia, portanto levando-se em consideração uma população aproximada de 11,16 milhões no estado do Paraná, conforme dados do IBGE, subtemde-se que por dia, são liberados 1,67 bilhão de litros de esgoto por dia, sendo que destes, somente 41,1% são tratados, de acordo com o gráfico nº 2, portanto em torno de 688,2 milhões de litros de esgoto são tratados todos os dias. Assim, acredita-se que por volta de 986,2 milhões de litros de esgoto são liberados a céu aberto ou em fossas, ou então despejados em rios sem qualquer tratamento todos os dias.

Tabela 5 – Vazão doméstica de esgoto por habitante.

<b>Residência</b>	<b>Unidade</b>	<b>Contribuição de Esgotos</b>
<b>Padrão Baixo</b>	Pessoa	100 L/dia.hab
<b>Padrão Médio</b>	Pessoa	130 L/dia.hab
<b>Padrão Alto</b>	Pessoa	160 L/dia.hab

Fonte: Norma ABNT-NBR7229 (1993)

Considerando os dados descritos na tabela 4, proposta por Baréa (2006) referente ao desempenho de um reator tipo RALF/UASB e, levando em consideração uma população estimada de 11,16 milhões no estado do Paraná, conforme estimado pelo IBGE para o ano de 2015, foram realizados cálculos de estimativa de produção de biogás no Paraná em dois possíveis cenários. No primeiro cenário considerou-se uma proporção de 41.1% do esgoto tratado através de reatores tipo RALF, com possibilidade de geração de biogás. O percentual utilizado refere-se ao valor mencionado no gráfico 2 (IBGE, 2008). Neste cenário verificou-se uma produção de 45.768 m<sup>3</sup>/dia de biogás, o que seria capaz de gerar 270.033 kWh/dia de energia. No segundo cenário considerou-se

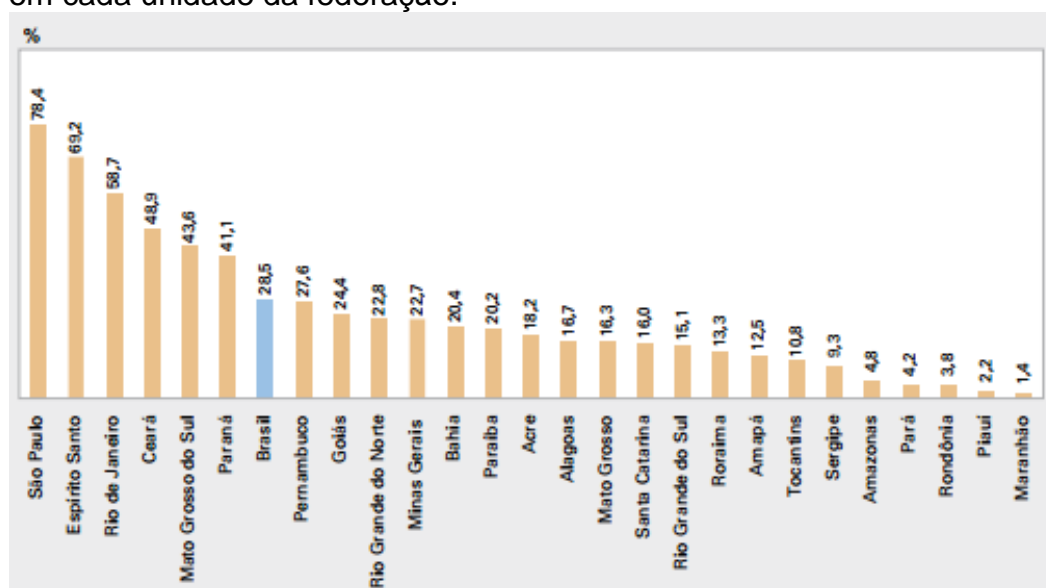
um percentual de 100% do esgoto tratado nas residências do estado do Paraná, através de reatores tipo RALF com possibilidade de geração de biogás. Neste cenário verificou-se uma produção estimada de 111.630 m<sup>3</sup>/dia de biogás, gerando 658.618 kWh/dia de energia.

Tabela 04 - Características Técnicas e Desempenho Ralf/UASB

<b>Tempo de Detenção Hidráulico</b>	
Vazão Média	6 a 9 horas
Vazão Máxima	4 a 6 horas
<b>Velocidade Ascensional</b>	
Vazão Média	0,5 a 0,7 m/h
Vazão Máxima	menor que 1,5 m/h
Profundidade	4 a 6 metros
Tubos Difusores	2 a 4 m <sup>2</sup> por entrega
Carga Orgânica Máxima	1 kg DBO/m <sup>3</sup> reator
Coletores de Biogás	15 a 20% da área do reator
<b>Separador de Fases</b>	
Profundidade	1,5 a 2 metros
Inclinação das Paredes	Maior que 45°
<b>Desempenho dos reatores Ralf/Uasb</b>	
Remoção de DQO	50 a 75%
Remoção de DBO	60 a 85%
Remoção de SST	60 a 85%
Remoção de Patogênicos	85%
<b>Custos de Investimento do Reator</b>	
Preço do m <sup>3</sup> (R\$)	200 a 500
Preço por habitante tratado (R\$)	20 a 50
<b>Custos de Investimento do Reator + Sistema de Entrada</b>	
Preço por habitante tratado (R\$)	30 a 60
<b>Custos de Investimento do Reator + Sistema de Entrada + Pós Tratamento</b>	
Preço por habitante tratado (R\$)	70 a 180
<b>Produção de Biogás Ralf/Uasb</b>	
Produção por pessoa por dia	5 a 20 litros
Percentual de metano	50 a 70%
Poder calorífico do biogás	5,9 kwh/m <sup>3</sup>
100.000 habitantes	5900 kwh/dia
100.000 habitantes	1000 m <sup>3</sup> /dia

Fonte: Baréa (2006)

Gráfico 2 – Percentual de domicílios atendidos por rede de tratamento de esgoto em cada unidade da federação.



Fonte: IBGE (2008)

Através dos cálculos de estimativa de produção de biogás no estado do Paraná, de acordo com os dois cenários adotados, verificou-se que, se todo o esgoto tratado, fosse também utilizado para produção de biogás, produziria 45.768 m<sup>3</sup>/dia de biogás, gerando 270.033 kWh/dia de energia, que poderia ser utilizada para suprimento energético das ETES e de alguns municípios. Acredita-se que a energia produzida pudesse abastecer uma cidade com mais de um milhão de habitantes. Para efeito de comparação, equivale aproximadamente a duas cidades com população igual a de Londrina, quatro cidades com população igual a de Foz do Iguaçu ou nove cidades com população igual a de Toledo, utilizando-se como base os dados demográficos destas cidades previstos pelo IBGE para o ano de 2015.

No segundo cenário, adotou-se uma proporção de 100% do esgoto tratado através de reatores tipo RALF, onde todo o biogás produzido fosse utilizado como energia. Através dos cálculos realizados, verificou-se haveria uma produção estimada de 111.630 m<sup>3</sup>/dia de biogás, gerando 658.618 kWh/dia de energia. Acredita-se que a energia produzida neste cenário seria capaz de abastecer uma cidade com mais de dois milhões e meio de habitantes. Para efeito de comparação, equivale a uma cidade com população igual à de Curitiba

e parte da região metropolitana juntas, oito cidades com população igual à de Cascavel ou vinte e quatro cidades com população igual a de Umuarama, utilizando-se também como base os dados demográficos destas cidades previstos pelo IBGE para o ano de 2015.



## 7 CONCLUSÃO

No aspecto ambiental, a utilização desta tecnologia contribui para o desenvolvimento sustentável porque proporciona, através desta fonte de energia, o reaproveitamento de gases causadores do efeito estufa, que antes seriam descartados na atmosfera. Além disso, evita doenças e poluição do meio ambiente e pode proporcionar a reutilização do lodo, proveniente deste tratamento, como adubo na agricultura.

Assim, é possível verificar que no primeiro cenário estudado, onde o percentual de esgoto tratado se aproxima mais da atual realidade, a produção de energia derivada do processo de digestão anaeróbia proveniente do tratamento de esgoto em reatores tipo RALF, possuiria grande importância como alternativa em momentos de crises energéticas, decorrentes de possível ineficiência das usinas hidrelétricas, podendo também ser eficaz como medida de redução de GEE na atmosfera, uma vez que as usinas termoelétricas não precisariam ser ativadas na mesma proporção que ocorre nos dias atuais e, pelo fato do metano produzido durante o tratamento, não ser descartado na atmosfera.

## 8 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR7229: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos**. p. 4, Rio de Janeiro, 1993.

AZEVEDO, M. H., **Paracterísticas, produção e utilização do biogás produzido a partir de resíduos orgânicos**. 2000. Tese (Mestrado, Promec), Porto Alegre 2000.

BARÉA, L. C. RALF, **Reator anaeróbico de manto de lodo e fluxo ascendente reduzindo custos e economizando energia no tratamento de esgotos**. Curitiba, 2006. Disponível em: <<http://www.sanepar.com.br>>. Acesso em: 10 outubro 2014.

CADERNO IBRI, Edição nº 1 – Série Sustentabilidade – **O mercado de carbono**. Abril 2009. Disponível em: <[http://www.ibri.com.br/Upload/Arquivos/IBRI\\_Caderno\\_1.pdf](http://www.ibri.com.br/Upload/Arquivos/IBRI_Caderno_1.pdf)>. Acesso em: 10 agosto 2014.

CADERNO DE SUSTENTABILIDADE – Ano 4 – nº 30 – Novembro de 2013 – p. 12. Disponível em <<http://www.tnsustentavel.com.br>>. Acesso em: 24 novembro 2014.

CESARO, L. R. **Degradação de corantes reativos e efluentes de indústria têxtil através da produção de agente oxidante pela eletrólise de cloreto de sódio no meio reacional**. 2007. 99 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Química Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.

CETTO, J.L. **Biodigestor**. Disponível em: <[www.agrikolinos.hpg.ig.com.br/biodigestor.htm](http://www.agrikolinos.hpg.ig.com.br/biodigestor.htm)>. Acesso em: 12 janeiro 2015.

**CRISE HÍDRICA NO ESTADO DE SÃO PAULO EM 2014–2015**. In: WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2015. Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Crise\\_h%C3%ADdrica\\_no\\_estado\\_de\\_S%C3%A3o\\_Paulo\\_em\\_2014%E2%80%932015&oldid=43673670](https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Crise_h%C3%ADdrica_no_estado_de_S%C3%A3o_Paulo_em_2014%E2%80%932015&oldid=43673670)>. Acesso em: 02 agosto 2015.

COMASTRI FILHO, J. A. **Biogás, independência energética do Pantanal Mato-grossense**. Circular técnica nº 9. Corumbá, EMBRAPA, 1981. 53p.

GERVASONI, R.; CANTÃO, M. P. **Produção de metano a partir da digestão anaeróbia: relação entre teoria e prática**. Espaço Energia, v.15, p. 1-7, Outubro 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE), **Pesquisa nacional de saneamento básico**: 2008. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv45351.pdf>>. Acesso em: 02 agosto de 2015.

JURAS, L. A. G. M. **Aquecimento global e mudanças climáticas: uma introdução**: Plenarium, v.5, n.5, p. 34 – 46, outubro 2008: Disponível em: <<HTTP://bd.camara.gov.br>>. Acesso em: 25 de março de 2015.

MAE-WAN, H. et al. **Green energies 100% renewables by 2050**. ISIS Report, Setembro 2009.

MARTINS, R. V. **O Biogás**. 5p. 2003. Disponível em: <[www.hydor.eng.br/Pagina23.htm](http://www.hydor.eng.br/Pagina23.htm)>. Acesso em: 27 junho 2015.

**META DO BRASIL É REDUZIR EMISSÃO DE GASES EM 43% ATÉ 2030, DIZ DILMA**. G1, São Paulo, 27 setembro 2015. Disponível em: <<http://g1.globo.com/mundo/noticia/2015/09/meta-do-brasil-e-reduzir-emissao-de-gases-em-43-ate-2030-diz-dilma.html>>. Acesso em: 28 setembro 2015.

MORAIS, M. A. **Estudo experimental e avaliação econômica da operação de biodigestores tubulares para a produção de biogás a partir de resíduos da suinocultura**: 2012. p. 20 e 21. Dissertação de Mestrado (Ciências em Engenharia de Energia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá-MG.

**NÍVEL DE ÁGUA DO CANTAREIRA COMEÇA MÊS DE MARÇO EM ELEVAÇÃO**. G1, São Paulo, 02 março 2015. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sao-paulo/noticia/2015/03/nivel-do-cantareira-mantem-elevacao-no-comeco-de-marco-diz-sabesp.html>>. Acesso em: 02 agosto 2015.

NOGUEIRA, L.A.H. **Biodigestão, a alternativa energética**. São Paulo: Nobel, 1986.

PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (PBMC), **Primeiro Relatório de Avaliação Nacional**: 2013. Disponível em: <[http://www.insa.gov.br/wp-content/themes/insa\\_theme/acervo/painelbrasileiro.pdf](http://www.insa.gov.br/wp-content/themes/insa_theme/acervo/painelbrasileiro.pdf)>. Acesso em: 29 abril de 2016.

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. 153 f. Dissertação de Mestrado (Energia) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

Resolução CONAMA nº 430 de 13 de maio de 2011.

ROSS,C.C., DRAKE, T.J., **The handbook of biogas utilization**, U.S. Department of Energy Southeastern Regional Biomass Energy Program Tennessee Valley Authority, Muscle Shoals, Alabama, Second Edition, 1996.

SPRENGER, H. E. **Viabilidade do uso de biogás de ETE para alimentação de células a combustível de ácido fosfórico**: 2009. 83 f. Dissertação de Mestrado (Desenvolvimento de Tecnologia) – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC); Instituto de Engenharia do Paraná (IEP), Curitiba.

TUNDISI, J. G. **Água para o futuro numa perspectiva global**. Dossiê: água potável: Scientific American, nº. 70, 2008.

UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION (UNESCO), **The United Nations World Water Development Report 2014**. Water and Energy, v.1, p. 2, 2014. Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0022/002257/225741e.pdf>>. Acesso em: 30 abril de 2016.

ZIEGLER, M. F. **Cinco razões (que não a falta de chuva) para explicar a crise hídrica em São Paulo**. IG, 25 janeiro de 2015. Disponível <<http://ultimosegundo.ig.com.br/brasil/2015-01-25/cinco-razoes-que-nao-a-falta-de-chuva-para-explicar-a-crise-hidrica-em-sp.html>>. Acesso em: 02 agosto 2015.