

RUI ALEXANDRE PEREIRA FARIA

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE BIOGÁS E DE
PRODUÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DA REMOÇÃO DA CARGA
ORGÂNICA DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO –
ESTUDO DE CASO.**

CASCAVEL
PARANÁ - BRASIL
FEVEREIRO - 2012

RUI ALEXANDRE PEREIRA FARIA

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE BIOGÁS E DE PRODUÇÃO DE
ENERGIA A PARTIR DA REMOÇÃO DA CARGA ORGÂNICA DE UMA ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ESGOTO – ESTUDO DE CASO.**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual
do Oeste do Paraná, como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em Energia na
Agricultura, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Reginaldo Ferreira Santos.
Coorientador: Prof. Dr. Ricardo Nagamine Costanzi.

CASCADEL
PARANÁ - BRASIL
FEVEREIRO - 2012

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Central do Campus de Cascavel – Unioeste
Ficha catalográfica elaborada por Jeanine da Silva Barros CRB-9/1362

F236a Faria, Rui Alexandre Pereira
Avaliação do potencial de geração de biogás e de produção de energia a partir da remoção da carga orgânica de uma estação de tratamento de esgoto – Estudo de caso./ Rui Alexandre Pereira Faria—
Cascavel, PR: UNIOESTE, 2012.
63 p.

Orientador: Prof. Dr. Reginaldo Ferreira Santos
Coorientador: Prof. Dr. Ricardo Nagamine Costanzi
Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná.
Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Energia na Agricultura, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas.
Bibliografia.

1. Biomassa. 2. Eficiência energética. 3. Biogás. I. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. II. Título.

CDD 21.ed. 628.74

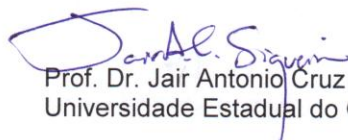
RUI ALEXANDRE PEREIRA FARIA

"Avaliação do potencial de geração de biogás a partir da remoção da carga orgânica de uma estação de tratamento de esgoto – Estudo de caso"

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, **aprovada** pela seguinte Banca Examinadora:



Orientador: Prof. Dr. Reginaldo Ferreira Santos
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel



Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel



Prof. Dr. Carlos Roberto Moreira
Faculdade Assis Gurgacz – FAG/Cascavel

Cascavel, 24 de fevereiro de 2012.

Dedico este trabalho a Deus pelo dom da vida, aos meus pais Rui Valter e Maria Eunice,
e aos meus irmãos Victor Augusto e Maria Juliana.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela força, saúde e garra concedida para finalizar mais essa etapa.

Aos meus pais, Rui Valter e Maria Eunice, a quem tanto admiro e amo. Obrigado mais uma vez pelo apoio de vocês.

Aos meus irmãos, Maria Juliana e Victor Augusto, a quem amo, agradeço e também dedico este trabalho.

A todos da família que direta ou indiretamente participaram de mais uma etapa concluída.

Aos professores orientadores, Reginaldo Ferreira Santos e Ricardo Nagamine Costanzi, que ensinaram e auxiliaram na concretização deste trabalho.

Aos amigos em geral, que apesar da distância sempre torceram e me apoiaram, em especial ao Vinícius, pela amizade, parceria e paciência durante essa etapa concluída;

Aos amigos do curso de mestrado, à Ana Beatriz, sempre parceira nos bons e maus momentos durante esses dois anos; à Dangelia Maria sempre presente e atenciosa nas madrugadas sem fim pelo SKYPE, ao Hécio Alexandre pela amizade e presteza, e a todos os professores e funcionários do Programa de Pós Graduação em Energia na Agricultura.

À CAPES pela bolsa concedida.

Ao ITAI pela participação e aprendizado no projeto Geração Distribuída.

À SANEPAR pelo auxílio e dados fornecidos.

E por fim, a todos o meu eterno agradecimento.

“A ignorância do homem não se resume apenas na falta de conhecimento, mas sim na acomodação da constante busca do auto-conhecimento”.

(Gandhi).

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VI
LISTA DE TABELAS	VII
RELAÇÃO DE ABREVIATURAS	VIII
RESUMO	VIII
ABSTRACT	X
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 OBJETIVO GERAL	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 Saneamento básico nacional	4
3.1.1 Caracterização dos efluentes orgânicos	5
3.1.2 Aspectos físicos	6
3.1.3 Aspectos bioquímicos – DBO e DQO	7
3.1.4 Presença de micronutrientes	8
3.2 Tratamento biológico de efluentes	9
3.2.1 Modelo UASB	10
3.2.2 Fatores que influenciam a atividade anaeróbia	14
3.2.2.1 Temperatura	14
3.2.2.2 Influência do pH	15
3.3 PRINCIPAL PRODUTO GERADO ATRAVÉS DA BIODIGESTÃO ANAERÓBIA	15
3.3.1 Biogás	15
3.3.2 Utilização de biogás em ete	18
3.4 Sistemas de tratamento por lagoas	18
3.4.1 Lagoa facultativa	19
3.4.2 Lagoa facultativa anaeróbia	22
3.4.3 Lagoa de maturação	24
3.4.5 Descrição do processo	26
3.4.6 Fatores operacionais do processo	27
3.4.7 Eficiência de tratamento uasb + lagoas	28
3.5 Aspectos sócio ambientais para o saneamento	29
3.5.1 Emissões de gases de efeito estufa	29
3.5.2 Protocolo de kyoto	30
3.5.3 Redução certificada de emissões	31
4. MATERIAIS E MÉTODOS	32
4.1 Caracterização da área de estudo	33
4.1.2 Sistemas de tratamento	35
4.1.3 Cálculo de eficiência do tratamento	35
4.1.4 Cálculo de estimativa de produção de biogás	35
4.1.5 Estimativa de produção de eletricidade	36
4.1.5.1 <i>Potencial teórico de produção de eletricidade (PTE)</i>	36
4.1.5.2 <i>Potencial técnico de geração (PTCE)</i>	37
4.1.6 Cálculo de estimativa de emissões de metano	37
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
5.1 Avaliação do sistema de tratamento em 2010 e 2011	40
5.1.2 Sistema de tratamento de 2011	44
5.1.3 Estimativa de produção de biogás	46
5.1.4 Estimativa de emissões de metano CH_4	48
5.1.5 Estimativa de produção de energia elétrica	50
6. CONCLUSÕES GERAIS E SUGESTÕES	52
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Biodigestor Modelo UASB.	11
Figura 2: Balanço da digestão anaeróbia da matéria orgânica.	12
Figura 3: Balanço da digestão anaeróbia da matéria orgânica.	19
Figura 4: Esquema detalhado de uma lagoa de facultativa	21
Figura 5: Esquema detalhado de uma lagoa anaeróbia	23
Figura 6: Esquema detalhado de uma lagoa de maturação	25
Figura 7: Objetivo da dissertação.	33
Figura 8: Localização da Estação de Tratamento de Esgoto em estudo.	34
Figura 9: Resumo das fontes poluidoras de efluentes domésticos e industriais, sistemas de tratamento e emissões potenciais de CH ₄ .	38
Figura 10: Resultados das Análises Físico-Químicas de DQO, DBO de 2010.	43
Figura 11: Resultados das Análises Físico-Químicas de DQO, DBO de 2011.	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Presença de nitrogênio nos esgotos domésticos bruto.....	8
Tabela 2: Presença de fósforo nos esgotos domésticos bruto	9
Tabela 3: Vantagens e desvantagens do sistema de tratamento anaeróbio	13
Tabela 4: Composição da mistura gasosa do biogás	16
Tabela 5: Comparação do P.C.I do biogás e outros gases.....	17
Tabela 6: Descrição do processo das lagoas	26
Tabela 7: Análise comparativa dos principais sistemas de lagoas para a remoção de DBO. Balanço de vantagens e desvantagens	27
Tabela 8: Sistemas associados: eficiência e volume de esgoto	28
Tabela 9: Gases de efeito estufa	32
Tabela 10: Característica da ETE Norte de Cascavel	34
Tabela 11: Resultados das análises físico-químicos de 2011	40
Tabela 12: Resultados das análises físico-químicos de 2011	40
Tabela 13: Resultados das análises físico-químicos de DQO, DBO e SST de 2010.....	42
Tabela 14: Resultados das análises físico-químicos de DQO, DBO e SST de 2011.....	45
Tabela 15: Estimativa de produção de biogás	47
Tabela 16: Característica da ETE Norte	48
Tabela 17: Estimativa de emissão de metano I	49
Tabela 18: Estimativa de emissão de metano II	49
Tabela 19: Estimativa de emissão de metano III	50
Tabela 20: Estimativa do potencial de produção de eletricidade e do potencial técnico de geração.....	51

RELAÇÃO DE ABREVIATURAS

AIE	Agência Internacional de Energia
CENBIO	Centro Nacional de Referência em Biomassa
CH ₄	Metano
CQNUMC	Convenção Quadro das Nações Unidas Sobre Mudança do Clima
CREs	Certificados de Redução de Emissões
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EU	European Union
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
GEE	Gases de Efeito Estufa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC	Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
ITAI	Instituto de Tecnologia Aplicada e Inovação
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
pH	Potencial Hidrogeniônico
RCEs	Reduções Certificadas de Emissões
SANEPAR	Companhia Paranaense de Saneamento
SDF	Sólidos Dissolvidos Fixos
SDV	Sólidos Dissolvidos Voláteis
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
SFT	Sólidos Fixos Totais
SSF	Sólidos Suspensos Fixos
SSV	Sólidos Suspensos Voláteis
SST	Sólidos Suspensos Totais
SV	Sólidos Voláteis
SVT	Sólidos Voláteis Totais
ST	Sólidos Totais
TDH	Tempo de Detenção Hidráulica
UASB	<i>Upflow Anaerobic Sludge Blaket</i>

RESUMO

FARIA, Rui Alexandre Pereira. Msc. Universidade do Oeste do Paraná. Fevereiro, 2012. **AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE BIOGÁS E DE PRODUÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DA REMOÇÃO DA CARGA ORGÂNICA DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO – ESTUDO DE CASO.** Reginaldo Ferreira Santos e Ricardo Nagamini Costanzi.

A consequência do crescimento do processo de industrialização e urbanização resultou num aumento da quantidade de efluentes com alto teor de orgânicos, que são passíveis de causar grandes impactos ambientais negativos e a poluição dos corpos hídricos. Neste sentido, promover o saneamento ambiental, e ainda explorar o potencial energético das estações de tratamento de esgoto, com base na tecnologia de saneamento já existente, pode ser alternativa viável. O metano produzido pela degradação da matéria orgânica poderia ser canalizado e queimado em motores geradores de energia, com o intuito de minimizar os impactos ambientais e valorizar o biogás que representa uma fonte de energia limpa e renovável. No presente estudo de caso, a análise dos parâmetros físico-químicos serviu de parâmetros para verificar a eficiência do sistema UASB, seguido de duas lagoas facultativas, estimar a produção de biogás. O sistema como um todo atingiu índices de remoção da carga orgânica em torno de 82% de DQO, e 81% de DBO, em 2010, e 83% e 87% de DQO e DBO, respectivamente, em 2011, com estimativa média de produção de biogás de 513 e 702 m³ biogás/dia nos anos de 2010 e 2011, respectivamente. Os resultados alcançados indicaram um potencial significativo de produção de biogás a partir da remoção da carga orgânica, com possibilidades de aproveitamento energético a partir de uma fonte renovável.

Palavras-Chave: Biomassa Residual, Eficiência Energética, Biogás.

ABSTRACT

FARIA, Rui Alexandre Pereira. Msc. Western Paraná State University. February, 2012. **POTENTIAL'S ASSESSMENT OF BIOGAS' GENERATING AND ENERGY PRODUCTION FROM THE ORGANIC LOAD REMOVAL OF A SEWAGE TREATMENT STATION - A CASE STUDY.** Reginaldo Ferreira Santos e Ricardo Nagamini Costanzi.

The consequence of industrialization's growth and urbanization has resulted in effluents increased amount with high organic content, which are likely to cause serious negative environmental impacts and water bodies' pollution. In doing so, promoting environmental sanitation, and still explore these waste treatment's energy potential, based on existing sanitation technology, maybe a viable alternative, the methane produced by organic matter's degradation could be piped and burned in engines generators, in order to minimize environmental impacts, enrich biogas as source of clean and renewable energy. In this case study, the analysis of the physical-chemical parameters served to verify the UASB's efficiency followed by two facultative ponds, estimate the biogas production and assess the potential for electric energy production in the years 2010 and 2011. The system as a whole reached removal of organic load's rates around 82% of COD, BOD and 81% in 2010 and 83% and 87% of COD and BOD, respectively, in 2011, with estimated average production biogas of 513 and 702 m³ biogas/day in the years 2010 and 2011, respectively. The results indicated a significant potential for biogas production from the organic load's removal, with the possibility of harnessing energy from a renewable source.

Keywords: Residual Biomass, Energetic Efficiency, Biogas.

1. INTRODUÇÃO

A industrialização e o crescimento econômico, tidos durante muito tempo como pré-requisitos para uma melhoria na qualidade de vida da humanidade, passaram a ser responsabilizadas pelas agressões ao meio ambiente, e pelas alterações da concentração de Gases de Efeito Estufa (GEE). Neste contexto, a consequência do crescimento populacional e do processo de agroindustrialização, resultou num aumento da quantidade de efluentes com alto teor de orgânicos, que são passíveis de causar grandes impactos ambientais negativos, eutrofização e poluição dos corpos hídricos.

Desta forma, a tecnologia empregada nos atuais sistemas de tratamento de esgoto pode se tornar ainda mais eficiente, uma vez que a necessidade de saneamento básico, em todas as camadas da população, torna-se necessária e evidente. Promover o saneamento ambiental, e ainda explorar o potencial energético das estações de tratamento de esgoto, com base na tecnologia de saneamento já existente, pode ser uma alternativa viável. Além disso, o gás metano (CH_4), produzido pela degradação da matéria orgânica, poderia ser canalizado e queimado em motores geradores de energia, com o intuito de minimizar os impactos ambientais, e valorizar o biogás que representa uma fonte de energia limpa e renovável.

Neste sentido, como as atividades humanas interferem diretamente nas alterações dos ciclos biológicos do planeta, principalmente, com a queima de combustíveis fósseis, e com o aumento da população, o uso e manejo do solo e da água, algumas medidas mitigadoras para desacelerar as alterações climáticas e minimizar os impactos ambientais se tornam necessárias e urgentes.

A associação de reatores anaeróbios com lagoas de estabilização para o tratamento de esgoto vem ganhando destaque no cenário nacional, uma vez que traz alguns benefícios como: eficiência na remoção da carga orgânica, sistema mais compacto do que em relação aos sistemas convencionais de tratamento por reduzir a demanda de área útil, e, em alguns casos, valorização dos subprodutos resultantes da degradação biológica para fins nobres. Além disso, as estações de tratamento de esgoto consomem energia, e suas variações diferenciam entre si de acordo com os diferentes sistemas biológicos de tratamento de efluentes adotados. Portanto, os Reatores anaeróbios utilizados em algumas ETE's podem ser automatizados para fins de aproveitamento

energético, levando-se em conta a eficiência de processos de tratamento integrados, os custos de implantação, e as características locais e regionais.

Sendo assim, o processo de tratamento de esgoto em estudo utiliza o processo de digestão anaeróbia da matéria orgânica. Esse processo reduz o potencial de carga orgânica do afluente e produz biogás como resíduo do processo. O biogás é uma mistura gasosa produzida durante a degradação anaeróbia da matéria orgânica, ocorre na ausência de oxigênio-e é constituído aproximadamente de 60 a 75% de metano (CH_4) e 30 a 40% de dióxido de carbono (CO_2) (PECORA, 2006).

Portanto, com a realização deste trabalho, pretende-se estudar o potencial de aproveitamento do biogás para fins energéticos, amenizar o impacto do metano (CH_4) e da carga poluidora do efluente e trazer uma perspectiva teórica de produção de eletricidade, gerando assim alguns benefícios socioambientais.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a eficiência de processos de tratamento de esgoto integrados para fins de aproveitamento energético em um estudo de caso real no ano de 2010 e 2011, composto por dois reatores anaeróbios de leito fluidizados (UASB) trabalhando paralelamente, e duas lagoas facultativas dispostas em série.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a eficiência da remoção da carga orgânica de sistemas integrados UASB + duas lagoas facultativas dispostas em série;
- Analisar os potenciais teóricos de produção de eletricidade a partir da remoção da DQO da Estação de Tratamento de Esgoto em estudo;
- Identificar processos críticos do ponto de vista ambiental passíveis de melhorias, levando-se em conta a otimização e a quantificação da remoção da carga orgânica da biomassa do processo de tratamento;

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

a. SANEAMENTO BÁSICO NACIONAL

Conforme dados do IBGE (2011), a falta de saneamento básico é um dos problemas que afeta a qualidade de vida da população, cujo principal objetivo é diminuir a carga tóxica dos efluentes urbanos e devolver ao corpo receptor. Mesmo nos grandes centros, o saneamento, ainda, é precário e, por isso, precisa se estender por boa parte do país.

No ano de 2000, de acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 2000), no Brasil, boa parte do esgoto sanitário coletado nas cidades ainda era despejada do *in natura* em corpos de água ou no solo, sendo tratado apenas em 20,2% dos municípios. Atualmente, 47,8% dos municípios brasileiros não têm rede coletora de esgoto. O Norte é a região com maiores índices de municípios sem coleta (92.9%), seguido do Centro – Oeste (82.1%), do Sul (61.1%), do Nordeste (57.1%) e Sudeste (7.1%).

Segundo dados do Sistema Nacional de Informações em Saneamento (SNIS, 2007), entre os anos de 2000 e 2008, essa situação pouco mudou. Apesar do índice médio de atendimento urbano para o abastecimento de água mostrar um valor relativamente elevado, em torno de 93,1%, o índice médio de coleta de esgoto sanitário ainda é muito baixo, tendo um índice médio nacional de 48,3%, sendo tratados apenas 32,2% desse esgoto.

Neste sentido, como a poluição dos recursos hídricos causados pelo esgoto *in natura* é um dos maiores causadores de poluição da água e dos problemas de saúde relacionados à falta de saneamento nesse país, o tratamento de efluentes vem evoluindo e ganhando contribuições tecnológicas importantes, uma vez que as restrições legais para o seu lançamento são cada vez mais exigentes, e segue rigorosos parâmetros ambientais (CETESB, 2010).

Os requisitos mínimos exigidos para o controle de qualidade e disposição final de esgoto são definidos pela Resolução CONAMA n. 357, de 17 de Março de 2005, que define os padrões de lançamento de efluentes para o corpo receptor. Essas definições são determinadas por classes, que possui características físico-químicas distintas, sendo

necessário respeitar os padrões de lançamento e observar a concentração de oxigênio dissolvido, cor, turbidez, material flutuante, carga orgânica, entre outras. Portanto, os sistemas de tratamento de efluentes devem ser capazes de degradar a matéria orgânica com eficiência, levando-se em conta os parâmetros propostos pelas normas ambientais.

Logo, a fim de minimizar os efeitos causados pelas águas residuais, vários processos podem ser empregados com o objetivo de diminuir os efeitos causados pela ação desses dejetos. A melhor tecnologia empregada atualmente para amenizar os efeitos ambientais decorrentes da geração dos dejetos, é a remoção dos poluentes através de práticas biológicas, como ocorre ultimamente nas estações de tratamento de esgoto (LOURENÇO, 2006).

3.1.1 Caracterização dos efluentes orgânicos

A produção crescente de dejetos é consequência do crescimento populacional e das demandas cada vez maiores de alimentos e água, necessárias para o desenvolvimento da humanidade. Esses dejetos são gerados tanto no meio urbano quanto no meio rural, e se não tratados de forma adequada são passíveis potenciais de poluição, resultante do aumento da carga orgânica dos resíduos gerados pela ação humana (LOURENÇO, 2006).

Segundo Von Sperling (1995), a composição dos efluentes líquidos urbanos, são divididos por características químicas e biológicas, e o sistema de tratamento de efluentes precisa ser capaz de remover os sólidos em suspensão, a matéria orgânica, os nutrientes e alguns tipos de organismos patogênicos. O mesmo autor cita as etapas do processo de tratamento que são divididos em:

- *Preliminar*- remoção de grandes sólidos e areia para proteger as demais unidades de tratamento, os dispositivos de transporte (bombas e tubulações) e os corpos receptores. A remoção da areia previne a ocorrência de abrasão nos equipamentos e tubulações e facilita o transporte dos líquidos. É feita com o uso de grades e caixa de areias, que impedem a passagem de materiais suspensos, e tanques de flutuação para retirada de óleos e graxas.
- *Primário*- o esgoto ainda contém sólidos em suspensão não grosseiros, cuja remoção pode ser feita em unidades de sedimentação, reduzindo a matéria orgânica

contida no efluente. Os sólidos sedimentáveis flutuantes são retirados por meio de mecanismos físicos, via decantadores. Os esgotos fluem vagarosamente pelos decantadores permitindo que os sólidos em suspensão de maior densidade sedimentem gradualmente no fundo, formando o lodo primário bruto. Os materiais flutuantes como graxas e óleos, de menor densidade, são removidos na superfície. A eliminação média do DBO é de 30%.

- *Secundário*- processa, principalmente, a remoção de sólidos e de matéria orgânica não sedimentável e, eventualmente, nutrientes como nitrogênio e fósforo. Após as fases primária e secundária a eliminação de DBO deve alcançar 90%. É a etapa de remoção biológica dos poluentes e sua eficiência permite produzir um efluente em conformidade com o padrão de lançamento previsto na legislação ambiental. Basicamente, são reproduzidos os fenômenos naturais de estabilização da matéria orgânica que ocorrem no corpo receptor, sendo que a diferença está na maior velocidade do processo, na necessidade de utilização de uma área menor e na evolução do tratamento em condições controladas.

- *Terciário* - remoção de poluentes tóxicos ou não biodegradáveis ou eliminação adicional de poluentes não degradados na fase secundária.

- *Desinfecção* - grande parte dos microorganismos patogênicos foi eliminada nas etapas anteriores, mas não a sua totalidade. A desinfecção total pode ser feita pelo processo natural, como a lagoa de maturação, ou pelo processo artificial - via cloração, ozonização ou radiação ultravioleta. A lagoa de maturação demanda grandes áreas, pois necessita pouca profundidade para permitir a penetração da radiação solar ultravioleta e promover a desinfecção, o que traz algumas desvantagens para os grandes centros urbanos, os quais necessitam de uma ampla área disponível.

1.1.2 Aspectos físicos

Segundo Jordão e Pessôa (1995), a matéria sólida presente no efluente é classificada em função de inúmeros fatores ocorridos no processo de tratamento, sua disposição na água residuária impede a passagem de luz, dificultando, assim, a fotossíntese. Von Sperling (1995) determina que os sólidos em suspensão sejam divididos em:

- *Sólidos Totais*: Material que permanece na cápsula após evaporação parcial da amostra e posterior secagem em estufa à temperatura de aproximadamente 105 °C, até massa constante. Sua concentração pode variar entre 700 a 1350 mg/L⁻¹. Estes, por sua vez, podem ser classificados como sólidos em suspensão e sólidos filtráveis.

- *Sólidos em Suspensão*: Podendo, também, ser classificados como voláteis e fixos, estes permitem verificar a eficiência de remoção de sólidos em suspensão sedimentáveis. A concentração média destes varia em torno de 400 mg/L⁻¹.

- *Sólidos Dissolvidos*: O teor de sólidos dissolvidos representa a quantidade de substâncias diluídas na água, que alteram as propriedades físicas e químicas da mesma. Em águas naturais a presença dos íons: sódio, cloreto, magnésio, potássio, sulfatos, etc., se deve à dissolução de minerais. A concentração de sólidos dissolvidos deve ser menor que 500 mg/L⁻¹ em água para abastecimento público.

1.1.3 Aspectos bioquímicos – DBO e DQO

A caracterização da matéria orgânica dos efluentes é de grande importância para determinar a concentração de oxigênio na água. Os microorganismos utilizam a matéria orgânica disponível e consomem o oxigênio durante o seu metabolismo, portanto são responsáveis pela remoção da matéria orgânica (VON SPERLING, 1995). A caracterização e quantificação dos efluentes podem ser obtidas através de dois testes principais:

a.) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é definida como a quantidade de matéria orgânica biodegradável e a quantidade de oxigênio requerida para que os microorganismos façam sua estabilização. No teste de DBO, uma amostra do efluente é inoculada com microorganismos aeróbios, onde o oxigênio é diluído até a sua total saturação. Neste sentido, é possível quantificar quanto de oxigênio foi utilizado para diluir o efluente. (CORTEZ, LORA e GÓMEZ, 2008 apud FERNANDES, 2010).

A metodologia para determinar a DBO de uma amostra estabelece que o teste seja realizado a 20 °C por cinco dias (DBO_5^{20}), logo, a DBO_5 equivale à concentração da carga orgânica biodegradável removida pela ação dos microorganismos aeróbios durante cinco dias (VON SPERLING, 1995).

b.) Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Segundo Metcalf & Eddy (2003, p. 32), a DQO é um teste que utiliza uma mistura de dicromato e ácido sulfúrico, que são reagentes oxidantes conhecidos. O processo desta análise é utilizar um catalizador (neste caso o dicromato e ácido sulfúrico), e elevar-se a mistura a uma temperatura de 150 °C por um período de duas horas, tempo este responsável para que toda a matéria orgânica seja oxidada. Portanto, o resultado da DQO é proporcional à concentração da matéria orgânica disponível, assim como a DBO. Entretanto, uma das vantagens da DQO é a agilidade da reação. O mesmo autor cita que um habitante produz ao ano, aproximadamente entre 28,8 a 46,8 kg/DQO, cuja presença média da concentração da matéria orgânica apresenta valor típico de 700 mg/L⁻¹.

1.1.4 Presença de nutrientes

Outros aspectos relevantes, e não menos importantes, estão relacionados com a presença de nutrientes e organismos patogênicos. Os micronutrientes são essenciais nos processos biológicos aeróbios e anaeróbios. O nitrogênio e o fósforo são os mais comuns, e a presença deles pode acarretar o crescimento excessivo de algas e bactérias (VON SPERLING, 1995). A tabela abaixo demonstra os valores usuais de nitrogênio presentes nos efluentes domésticos.

Tabela 1: Presença de nitrogênio nos esgotos domésticos bruto

Parâmetro	Concentração (mg/L)	
	Faixa	Típico
Nitrogênio Total (N)	35 – 70	50
Nitrogênio Orgânico	15 – 30	20
Amônia (NH ₃)	20 – 40	30
Nitrito (NO ₂)	0	0
Nitrato (NO ₃)	0 – 2	0

Fonte: Adaptado de Von Sperling (1995).

A resolução do CONAMA 357/05 determina que as concentrações de efluentes de nitrogênio amoniacal não devem ultrapassar o valor de 20 mg/L. Chernicharo (2008), afirma que o fósforo também pode induzir ao aumento excessivo de algas nas lagoas, devido à presença da molécula orgânica Adenosina Tri – fosfato (ATP), essencial para o metabolismo e armazenamento de energia da biomassa algácea, conforme expresso na seguinte tabela.

Tabela 2: Presença de fósforo nos esgotos domésticos bruto

Parâmetro	Concentração (mg/L)	
	Faixa	Típico
Fósforo	5 – 25	14
Fósforo Orgânico	2 – 8	4
Fósforo Inorgânico	4 – 17	10

Fonte: Adaptado de Von Sperling (1995).

3.2. TRATAMENTO BIOLÓGICO DE EFLUENTES

Os processos de tratamento biológico de efluentes são elaborados de forma a acelerar os mecanismos de degradação biológica que ocorrem naturalmente nos corpos receptores. Entretanto, a decomposição dos poluentes orgânicos biodegradáveis é alcançada, em condições controladas, em intervalos de tempo menores e mais definidos do que nos sistemas naturais, fazendo-se uso de reações bioquímicas realizadas por microrganismos (SPERLING, 1995).

Uma grande variedade de microrganismos toma parte no processo: bactérias, algas, protozoários, fungos, e outros. A base de todo o processo biológico é o contato efetivo entre esses organismos e o material orgânico contido nos esgotos, de tal forma que esse possa ser utilizado como alimento pelos microrganismos. Os microrganismos convertem a matéria orgânica em gás carbônico, água e material celular (crescimento e reprodução dos microrganismos). Em condições anaeróbias, tem-se também a produção de metano. A decomposição biológica do material orgânico requer a manutenção de condições favoráveis, como temperatura, pH, tempo de contato e outros e, em condições aeróbias, oxigênio (SPERLING, 1995).

O mesmo autor cita uma grande variedade de métodos de tratamento biológico, sendo que os mais comuns são:

- Lagoa de estabilização e variantes;
- Reatores anaeróbios;
- Lodos ativados e variantes;
- Reatores aeróbios com biofilmes;

Todavia, a associação dos reatores anaeróbios seguidos de lagoas de estabilização e facultativa vem ganhando destaque no que se refere à grande eficiência da remoção da carga orgânica de esgotos sanitários, por esse motivo, esta dissertação vai abranger o processo de eficiência do tratamento UASB + lagoas, que é o sistema utilizado na ETE Norte de Cascavel – PR.

3.2.1 MODELO UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*)

Reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), ou reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo, ou Reator Anaeróbio de Leito Fluidilizado (RALF) são as formas mais eficientes atualmente no processo de degradação biológica. A concentração de biomassa no reator é bastante elevada, justificando a denominação de manta de lodo, por isso, o tempo de retenção hidráulica é pequeno, sendo o sistema mais adequado na degradação biológica de resíduos líquidos, como resíduos agroindustriais e tratamento de esgoto. Devido a esta elevada concentração, o volume requerido para reatores anaeróbios de manta de lodo é bastante reduzido em comparação com outros sistemas de tratamento. Nesse reator, o gás metano gerado é recolhido na parte superior, podendo ser utilizado no reaproveitamento energético com a sua queima (CHERNICHARO, 2008). O esquema de funcionamento de um reator modelo UASB está disposto abaixo.

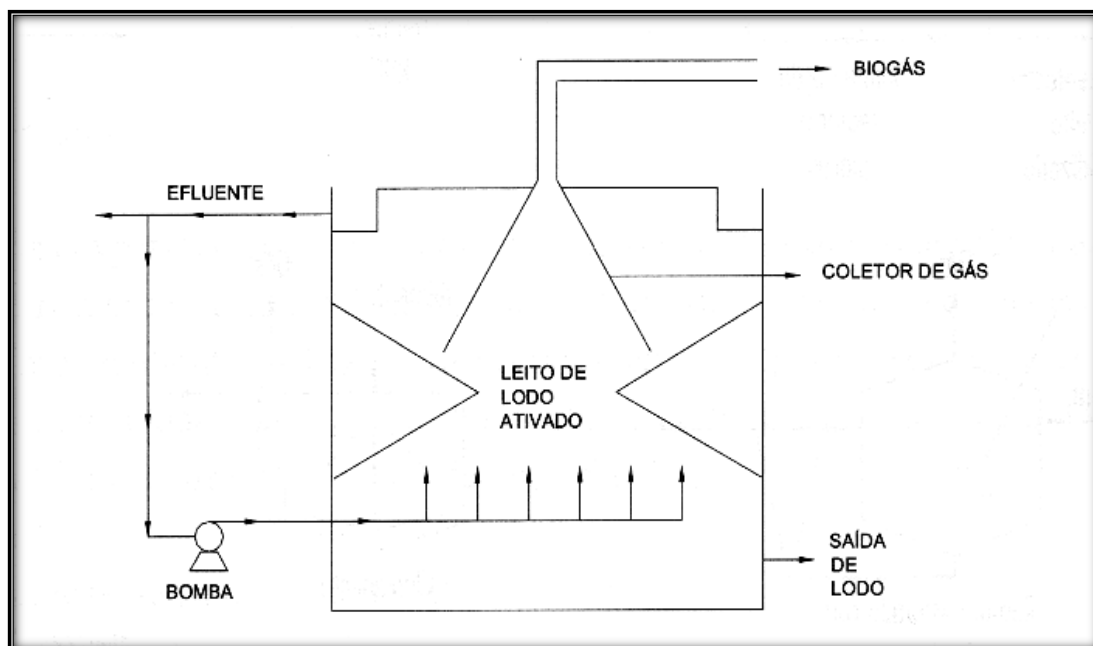


Figura 1: Biodigestor Modelo UASB.

Fonte: Cortez, Lora e Gómez (2008) apud Fernandes (2010).

O processo da digestão anaeróbia pode ser considerado como um micro-ecossistema onde microorganismos trabalham conjuntamente na conversão da matéria orgânica complexa em metano, gás carbônico, água, gás sulfídrico e amônia, além de novas células bacterianas. Esses microorganismos atuam como uma simbiose entre várias espécies de bactérias ativas no tratamento anaeróbio, para remoção de matéria orgânica (LETTINGA et al, 1999). Segundo Von Sperling (2002), o reator do tipo UASB pode ser utilizado no tratamento de efluentes, domésticos e industriais, com teor de carga orgânica elevada. No caso de utilização no tratamento de efluentes urbanos, a produção líquida de lodo varia de 70 a 220 litros/hab/ano, que após o processo de desidratação em leitos de secagem forma em torno de 10 a 35 litros/hab/ano. As principais reações bioquímicas que ocorrem no processo de reação anaeróbia dentro do reator podem ser divididas em quatro etapas: hidrólise, acidogênese, acetogênese, e metanogênese, conforme demonstrado na figura 2.

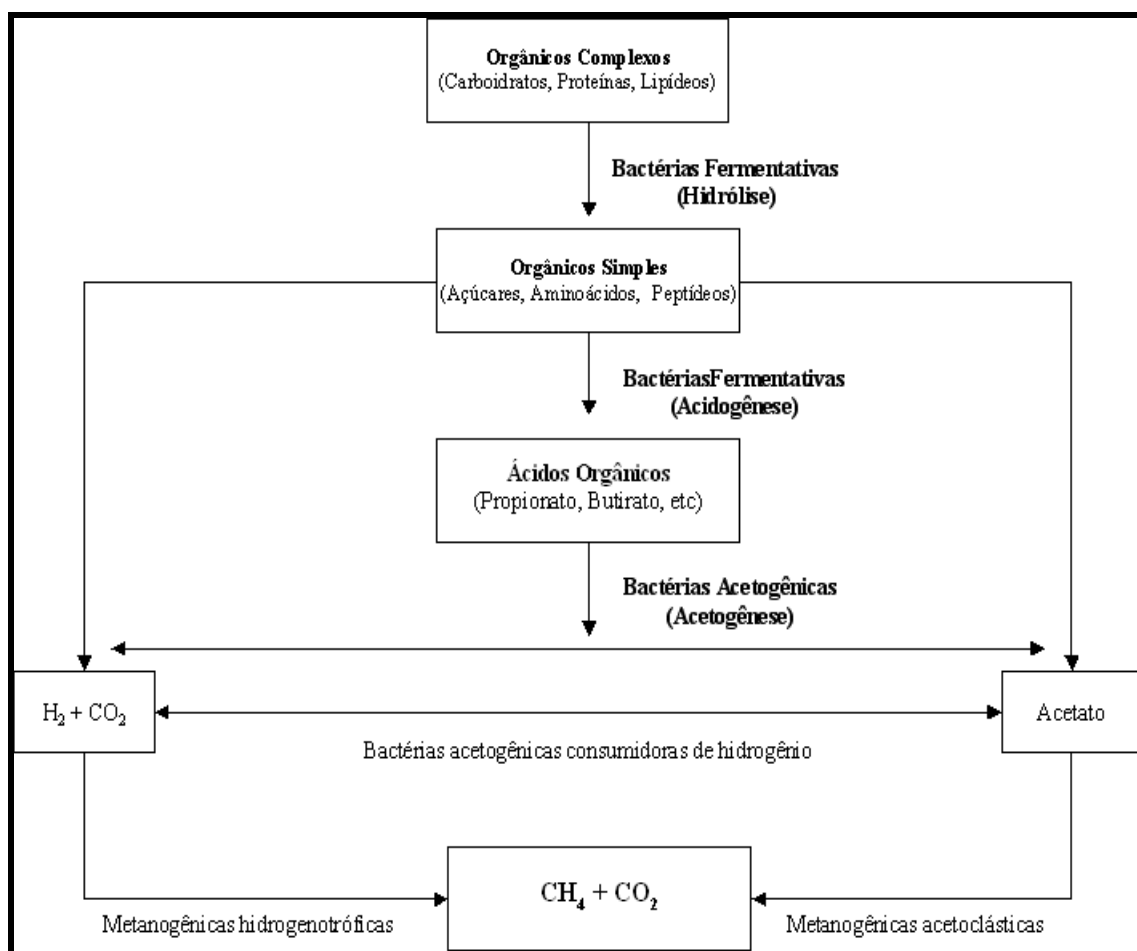


Figura 2: Balanço da digestão anaeróbia da matéria orgânica.

Fonte: Adaptado de Silva et al, (2007) *apud* Projeto Geração Distribuída (2009).

HIDRÓLISE: conversão de materiais particulados em materiais dissolvidos mais simples pela ação de exoenzimas excretadas pelas bactérias fermentativas hidrolíticas. Essa fase é lenta e pode ser afetada por diversos fatores como: ph, temperatura, tempo de retenção hidráulica, tamanho e distribuição das partículas.

ACIDOGENESE: os produtos da hidrólise são metabolizados no interior das células das bactérias fermentativas, sendo convertidas em compostos mais simples, assim como ácidos graxos voláteis, alcoóis, ácido láctico, gás carbônico, hidrogênio, amônia e sulfeto de hidrogênio. Como os ácidos graxos voláteis são os principais produtos dos organismos fermentativos, estes são chamados bactérias fermentativas acidogênicas.

ACETOGENESE: As bactérias acetogênicas são responsáveis pela oxidação dos produtos gerados na fase acidogênica em substrato apropriado para as bactérias metanogênicas. Dessa forma, as bactérias acetogênicas fazem parte de um grupo

metabólico intermediário que produz substrato para as metanogênicas. Os produtos gerados pelas bactérias acetogênicas são hidrogênio, dióxido de carbono e acetato. Durante a formação dos ácidos acético e propiônico, uma grande quantidade de hidrogênio é formada, fazendo com que o valor do pH no meio aquoso decresça. De todos os produtos metabolizados pelas bactérias acidogênicas, apenas o hidrogênio e o acetato podem ser utilizados diretamente pelas metanogênicas. Porém, pelo menos 50% da DQO biodegradável é convertida em propionato e butirato, os quais são posteriormente decompostos em acetato e hidrogênio pela ação das bactérias acetogênicas.

METANOGENESE: etapa final do processo global de degradação anaeróbia de compostos orgânicos em metano e dióxido de carbono; é efetuada pelas bactérias metanogênicas. As bactérias metanogênicas utilizam apenas um limitado número de substratos, compreendendo ácido acético, hidrogênio, dióxido de carbono, ácido fórmico, metanol, metilaminas e monóxido de carbono. Elas são divididas em dois grupos principais: o primeiro que forma metano a partir de ácido acético ou metanol, e o segundo que produz metano a partir do hidrogênio e dióxido de carbono.

A digestão anaeróbia não elimina substâncias indesejadas do efluente, como a presença de microrganismos patogênicos e nutrientes. O objetivo inicial do reator é a remoção de matéria orgânica utilizando reatores como pré-tratamento, após a biomassa digerida pode-se utilizar também o tratamento complementar em sistemas convencionais como lagoas de estabilização ou o sistema de lodo ativado. Esses sistemas integrados podem fornecer um efluente adequado, a um custo muito menor do que os sistemas convencionais (CHERNICHARO, 1997).

Na Tabela 6 é apresentada uma comparação entre as principais vantagens e desvantagens do uso de sistemas de tratamento anaeróbio para o manejo da biomassa residual.

Tabela 3: Vantagens e desvantagens do sistema de tratamento anaeróbio

Vantagens	Desvantagens
Baixa produção de sólidos, cerca de 5 a 10 vezes inferior à que ocorre nos processos aeróbios	As bactérias anaeróbias são susceptíveis à inibição por um grande número de compostos
Baixo consumo de energia, usualmente associado a uma elevatória de chegada. Isso faz com que os sistemas tenham custos operacionais muito baixos	A partida do processo pode ser lenta, na ausência de lodo de semeadura adaptado
Baixa demanda de área	Alguma forma de pós-tratamento é

	usualmente necessária
Baixos custos de implantação, de ordem de R\$ 20 a 40 <i>per capita</i>	A bioquímica e a microbiologia da digestão anaeróbia são complexas
Produção de metano, um gás combustível de elevado teor calorífico	Possibilidade de geração de maus odores, porém controláveis
Possibilidade de preservação da biomassa, sem alimentação do reator, por vários meses	Possibilidade de geração de efluente com aspecto desagradável
Tolerância e elevadas cargas orgânicas, podendo ser aplicado em pequena e grande escala e há baixo consumo de nutrientes	Remoção de nitrogênio, fósforo e patógenos insatisfatória

Fonte: Chericaro et al. (2001) *apud* Fernandes (2010).

3.2.2 FATORES QUE INFLUENCIAM A ATIVIDADE ANAERÓBIA

3.2.2.1 TEMPERATURA

A temperatura é um fator decisivo no processo de fermentação do biodigestor, influenciando o processo de degradação biológica, o volume de produção de gás, e de biofertilizantes. Segundo Salomom (2007) *apud* Projeto Geração Distribuída (2009), as faixas de temperatura associadas com o crescimento microbiano e a eficiência do processo podem ser classificadas como:

- Criofílicas ou psicofílicas < 20 °C;
- Mesofílicas 20 °C a 45 °C;
- Termofílicas > 45 °C.

Entretanto segundo Soares (1990), a instabilidade do processo apresenta instabilidade no controle quando operado na faixa termofílica, e quando ocorre variação da temperatura, esse problema se agrava podendo afetar mais seriamente o processo levando o sistema até mesmo ao colapso. O grupo de bactérias metanogênicas são os que mais sofrem com a influência da temperatura, pois apresentam um intervalo de temperatura muito restrito de operação, podendo causar o aumento de ácidos voláteis através de baixas temperaturas, e conseqüentemente uma queda de pH.

Em temperaturas altas, a velocidade das reações biológicas é maior, resultando numa operação mais eficiente e em um menor tempo de retenção hidráulica. Segundo Van Haandel e Lettinga (1994) *apud* Salomom (2007), a digestão anaeróbia também é

possível em baixas temperaturas (10°C), porém a eficiência e a carga orgânica diminuem muito com o arrefecimento. Entretanto, Speece (1996) *apud* Salomom (2007), observa que para cada 5°C de queda de temperatura há um declínio de 34% da atividade dos microorganismos, o autor considera a temperatura ótima na faixa de 25 a 30 °C para processos mesofílicos.

3.2.2.2 INFLUÊNCIA DO pH

Mudanças no pH do meio afetam sensivelmente as bactérias envolvidas no processo de digestão, podendo manifestar-se de diferentes formas, modificando suas estruturas e, conseqüentemente, perdendo suas características originais, aumentando ou diminuindo a toxicidade delas.

Em sistemas onde os microrganismos atuam em forma de simbiose, deve-se buscar uma faixa de pH adequada, propiciando o desenvolvimento máximo da maior parte dos microrganismos envolvidos, uma vez que o pH está diretamente ligado à concentrações de ácidos orgânicos voláteis no meio, resultante do equilíbrio entre populações de microrganismos e a alcalinidade total do sistema. Portanto, qualquer desequilíbrio no sistema provoca o acúmulo de ácidos orgânicos no meio e conseqüentemente queda do pH. Segundo o autor os valores de pH abaixo de 6 e acima de 8, praticamente fazem cessar a produção de metano (SOARES, 1990).

3.3. PRINCIPAL PRODUTO GERADO ATRAVÉS DA BIODIGESTÃO ANAERÓBIA

3.3.1. BIOGÁS

O biogás é um produto gerado a partir da decomposição anaeróbia (sem presença de oxigênio) de resíduos orgânicos. Sua composição é a porcentagem de gases, que varia de acordo com o substrato a ser biodigerido, bem como o tipo de biodigestor a ser utilizado.

Segundo Castanon (2002) *apud* Salomom (2007), a composição média dos gases produzidos a partir da biodigestão anaeróbia está descrita conforme a tabela abaixo.

Tabela 4: Composição da mistura gasosa do biogás

Gases	Intervalo (%)
Metano (CH ₄)	40 - 75
Dióxido de Carbono (CO ₂)	25 - 40
Hidrogênio (H ₂)	1 - 3
Nitrogênio (N ₂)	0,5 - 2,5
Oxigênio (O ₂)	0,1 - 1
Ácido Sulfídrico (H ₂ S)	0,1 - 0,5
Amônia (NH ₃)	0,1 - 0,5
Monóxido de Carbono (CO)	0 - 0,1

Fonte: Castanon (2002) *apud* Salomom (2007).

Cerqueira Leite (2005), cita que projeções futuras ainda causam um alto lançamento de poluentes para o ambiente, tais como os perigos dos gases do efeito estufa: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) entre outros, além de vir a ocasionar eventuais contaminações de lençóis freáticos e corpos d' água.

O Biogás é uma mistura de gases, onde o metano e o dióxido de carbono estão em maiores proporções. O teor de metano varia de 40 a 75% dependendo da fonte geradora, já o dióxido de carbono (CO₂) entre 25 a 40%. No entanto, restrições ambientais no uso e queima desses gases, uma das medidas para diminuir as emissões de CO₂ na atmosfera, foi proposto pelo Protocolo de Kyoto em 1997. Esse acordo mundial estabelece que os países desenvolvidos reduzam em 5% os índices de emissões de gases que provocam o efeito estufa até o ano de 2012. A proposta inicial do Protocolo é que as nações que emitam CO₂ possam adquirir “créditos de carbono”, ou seja, comprem cotas de emissões de países que possuam tecnologias de mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL). Para o Brasil, esse mecanismo trará a oportunidade de receber recursos que financiem projetos que promovam o desenvolvimento sustentável, gerando riquezas e melhorias na qualidade de vida, em troca dos Certificados de Emissões Reduzidos (CERs).

De acordo com o Centro Nacional de Referência em Biomassa (CENBIO, 2001), a utilização do biogás, além de ser renovável e ser um subproduto da degradação de um resíduo, apresenta algumas vantagens, entre elas:

- Geração descentralizada e próxima aos pontos de consumo a partir de uma fonte renovável que vem sendo tratada como resíduo;
- Possibilidade de venda de eletricidade à rede;

- Redução das emissões de metano para a atmosfera, pois seu potencial de poluição global é 21 vezes maior que o de CO₂;
- Redução do consumo de combustíveis fósseis, principais responsáveis pelo efeito estufa;

O uso do biogás traz inúmeras vantagens, principalmente, no que se trata dos benefícios socioambientais, uma vez que a sua utilização evita o lançamento de metano na atmosfera, e, por ser um gás de origem renovável pode trazer retorno financeiro com a sua utilização e aproveitamento (CENBIO, 2001).

3.3.2. PODER CALORÍFICO DO BIOGÁS

O biogás é um gás inflamável produzido através da degradação da matéria orgânica fermentada dentro de determinados limites de temperatura, teor de umidade e acidez, em um ambiente impermeável ao ar e realizado por microorganismos (GENOVESE *et al*, 2007). O poder calorífico inferior (PCI) é utilizado para determinar o potencial teórico de energia contido em alguma fonte de combustível. O metano, principal componente do biogás, possui uma composição média de 50% a 65% de CH₄, e de 25% a 45% de dióxido de carbono (CO₂), e traços de H₂S, N₂, H₂, CO, O, e seu poder calorífico é cerca de 5500 Kcal/m³, quando a proporção em metano é aproximadamente de 60% (IANNICELLI, 2008). A tabela abaixo demonstra o P.C.I do biogás.

Tabela 5: Comparação do P.C.I do biogás e outros gases

Gás	PCI (Kcal/m ³)
Metano	8.500
Propano	22.000
Butano	28.000
Gás de Cidade	4.000
Gás Natural	8.554
Biogás	5.500

Fonte: Genovese (2006).

A utilização do biogás diretamente produzido nos biodigestores, sem purificação, para o acionamento de bombas hidráulicas e geradores de energia, pode ser uma vantagem como aproveitamento energético. Contudo, a queima *in natura* do biogás, em razão da presença do CO₂, é mais lenta e, energeticamente, libera menos calor por unidade de massa ou volume que os gases combustíveis convencionais, como o gás

liquefeito de petróleo, ou GLP e o gás natural, o que deve ser considerado no dimensionamento dos equipamentos ou redimensionamento dos já existentes. O poder calorífico do GLP, em média, é da ordem de 46.000 kJ/kg e o do gás natural de 43.500 kJ/kg, contra 19.500 kJ/kg do biogás (SOUZA *et al*,2010).

3.3.3. UTILIZAÇÃO DE BIOGÁS EM ETE

Borges (2004), conclui que toda a produção de biogás proveniente da degradação anaeróbia utilizando o UASB, é suficiente pra higienizar toda a produção de lodo da mesma ETE. Os microorganismos patogênicos encontrados no lodo, quando não descartados de forma adequada, podem ser prejudiciais no quesito saúde pública. Como indicador biológico, o autor utilizou ovos de *Ascaris lumbricóides*, organismos patogênicos, resistentes aos processos aeróbios e anaeróbios. Segundo o mesmo, durante o período do experimento, a energia calorífica do biogás foi adequada para concluir todo o processo de higienização do lodo, tornando o sistema auto-sustentável, pois, além de retornar novamente o lodo ao reator UASB, pode-se melhorar sua eficiência e aumentar a produção de biogás.

3.4. SISTEMAS DE TRATAMENTO POR LAGOAS

Sistemas de tratamento por lagoas consistem numa boa opção de tratamento de esgoto, sobretudo, em países de clima quente e áreas disponíveis (SPERLING, 1998). O autor cita algumas vantagens desses sistemas:

- Baixos custos de operação e manutenção;
- Sistema operacional simples;
- Elevada eficiência de remoção da matéria orgânica, podendo alcançar níveis aceitáveis relativos aos parâmetros ambientais vigentes;
- Elevada eficiência na remoção de patógenos, e;
- Elevada eficiência na remoção de nitrogênio, desde que projetadas para esse fim;

Os sistemas de lagoas abordadas neste estudo serão:

- Lagoa Facultativa;
- Lagoa Anaeróbia Facultativa;
- Lagoa de Maturação

3.4.1. LAGOA FACULTATIVA

Essas lagoas funcionam através da atividade fotossintética das algas sob a influência da luz solar e da ação das bactérias. O surgimento das algas é função da presença de nutrientes oriundos da matéria orgânica dos resíduos. Esta forma de oxidação, por ser anaeróbia, implica no consumo de oxigênio devido à respiração dos microorganismos decompositores, principalmente, as bactérias heterotróficas aeróbias. As bactérias, na presença de oxigênio, convertem a matéria orgânica em compostos simples e inertes como o dióxido de carbono e água, além de sais de nitrogênio e fósforo. Esses compostos inorgânicos são utilizados pelas algas e por meio da fotossíntese ocorre a liberação do oxigênio molecular. Este, por sua vez, é utilizado pelas bactérias aeróbias e facultativas na síntetização da matéria orgânica (SILVA FILHO et al, 2007). A representação esquemática de sistemas integrados de bactérias e algas está representada na figura 3.

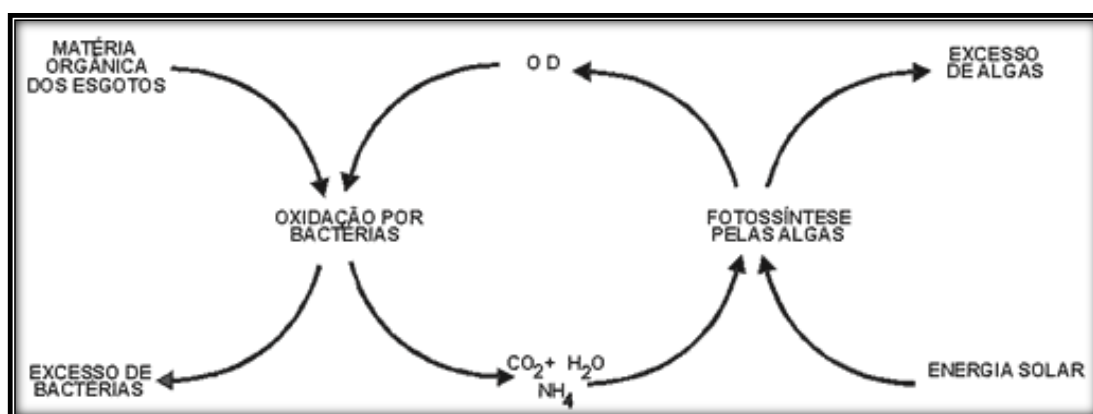


Figura 3: Balanço da digestão anaeróbia da matéria orgânica.

Fonte: Silva et al(2007).

No fundo da lagoa, em condições anaeróbias, a matéria orgânica sedimenta e necessita ser estabilizada. Porém, esta estabilização, por ser anaeróbia, não traduz em consumo de oxigênio e libera gases como metano, carbono, sulfeto de hidrogênio e nitrogênio amoniacal, os quais se deslocam para a superfície da lagoa e grande parte se desprende para a atmosfera (SILVA FILHO *et al*, 2007). A representação esquemática de uma lagoa facultativa esta descrita a seguir.

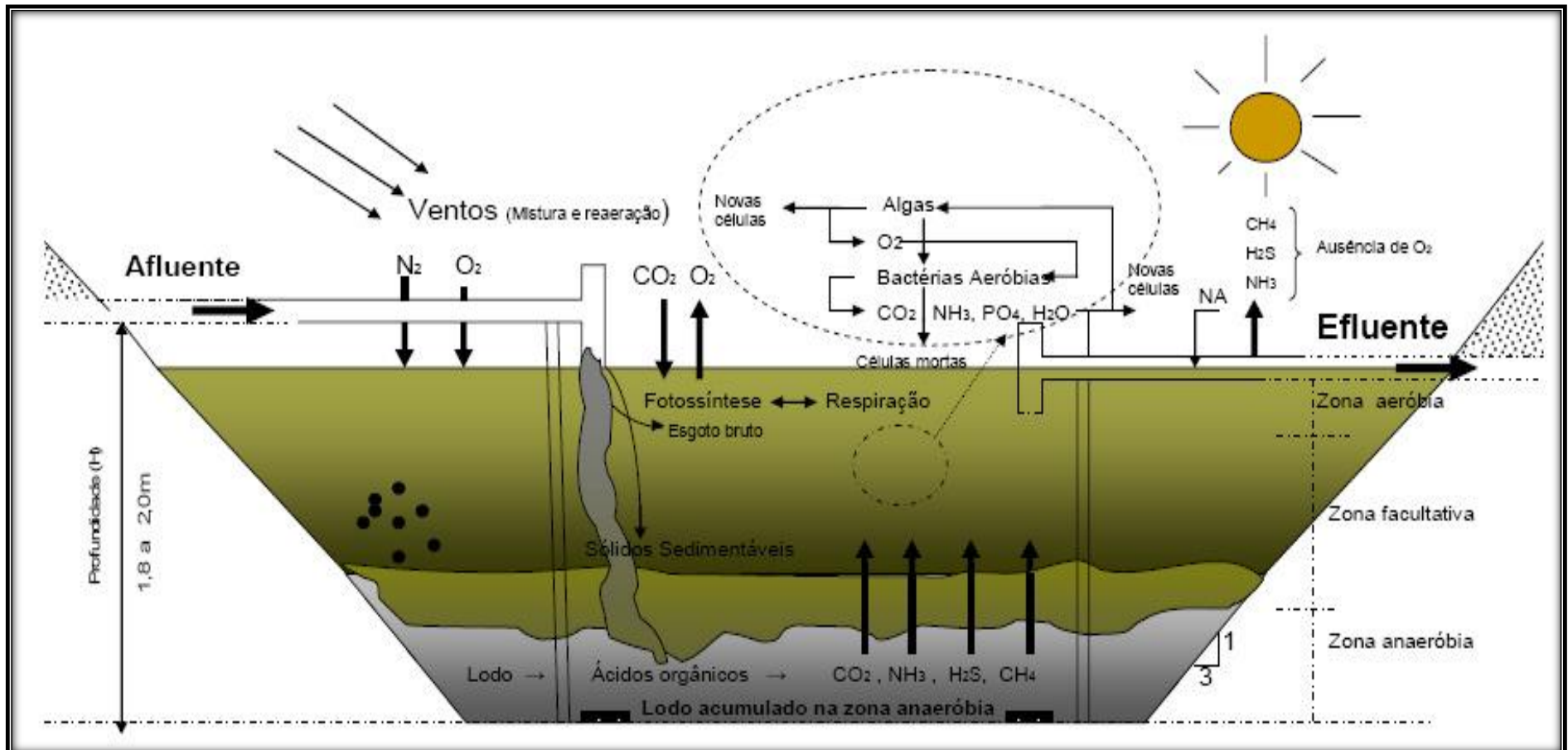


Figura 4: Esquema detalhado de uma lagoa de facultativa (SILVA FILHO et al2007).

3.4.2. LAGOA FACULTATIVA ANAERÓBIA

São reatores biológicos modelados para receber altas cargas orgânicas por unidade de volume do reator, fazendo com que a taxa de consumo de oxigênio seja muito superior à taxa de produção, portanto, completamente isentas de oxigênio dissolvido e de atividade fotossintética, mas associados aos mecanismos de fermentação e respiração anaeróbicos. O tratamento anaeróbio é um processo sequencial que envolve três estágios. Na primeira fase, hidrólise de materiais complexos, o material orgânico complexo é transformado em matéria orgânica simples solúvel via hidrólise enzimática. Na segunda etapa, produção de ácidos, que são formados pelas bactérias anaeróbias e facultativas, convertem os compostos orgânicos solúveis em ácidos orgânicos pelas bactérias anaeróbias conhecidas como produtoras de ácidos. No terceiro estágio, fermentação metanogênica, os ácidos orgânicos simples são convertidos em metano e dióxido de carbono através de bactérias anaeróbias produtoras do metano. São usadas com grandes vantagens como tratamento primário de águas residuárias, industriais e/ou de dejetos suínos com grande concentração de compostos orgânicos e altos teores de sólidos (VON SPERLING, 2002). A descrição do processo está representada na figura 5.

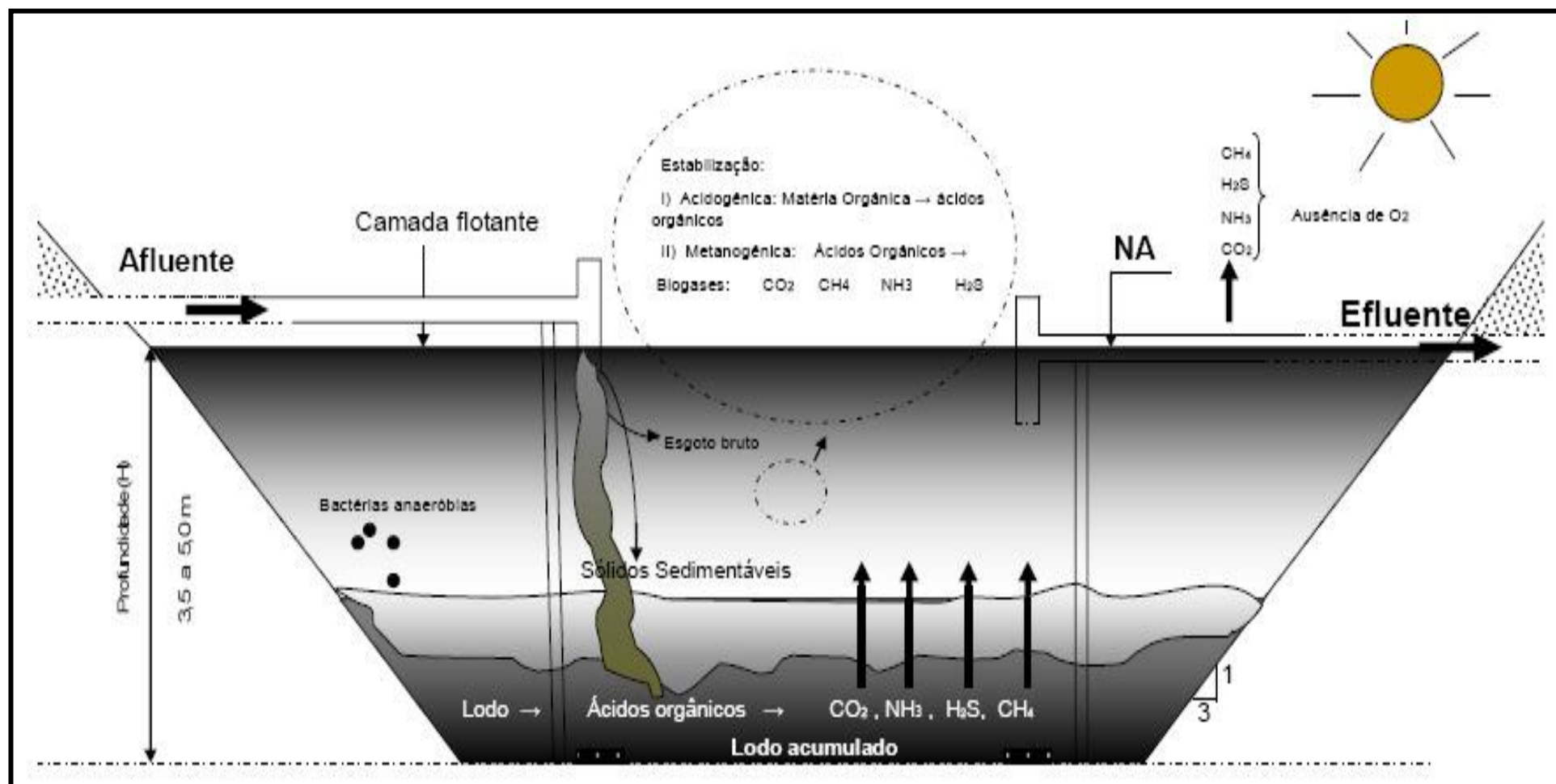


Figura 5: Esquema detalhado de uma lagoa anaeróbia

Fonte: (SILVA FILHO et al, 2007)

3.4.3 LAGOA DE MATURAÇÃO

As lagoas de maturação são usadas como tratamento de descargas orgânicas leves provenientes de efluentes de outras lagoas. As eficiências de remoções de DBO e DQO são geralmente baixas, porém, a função principal é a destruição de microorganismos patogênicos, além da redução de nutrientes e sólidos em suspensão. Este tipo de lagoa para tratamento de águas residuárias compreende unidades rasas necessárias para manter as condições aeróbias. O desempenho da lagoa depende exclusivamente do oxigênio produzido pelas algas, sendo ele transferido quase que por toda a lagoa através da turbulência dos ventos (SILVA FILHO *et al*, 2007). A ilustração do processo da lagoa de maturação está exemplificado abaixo.

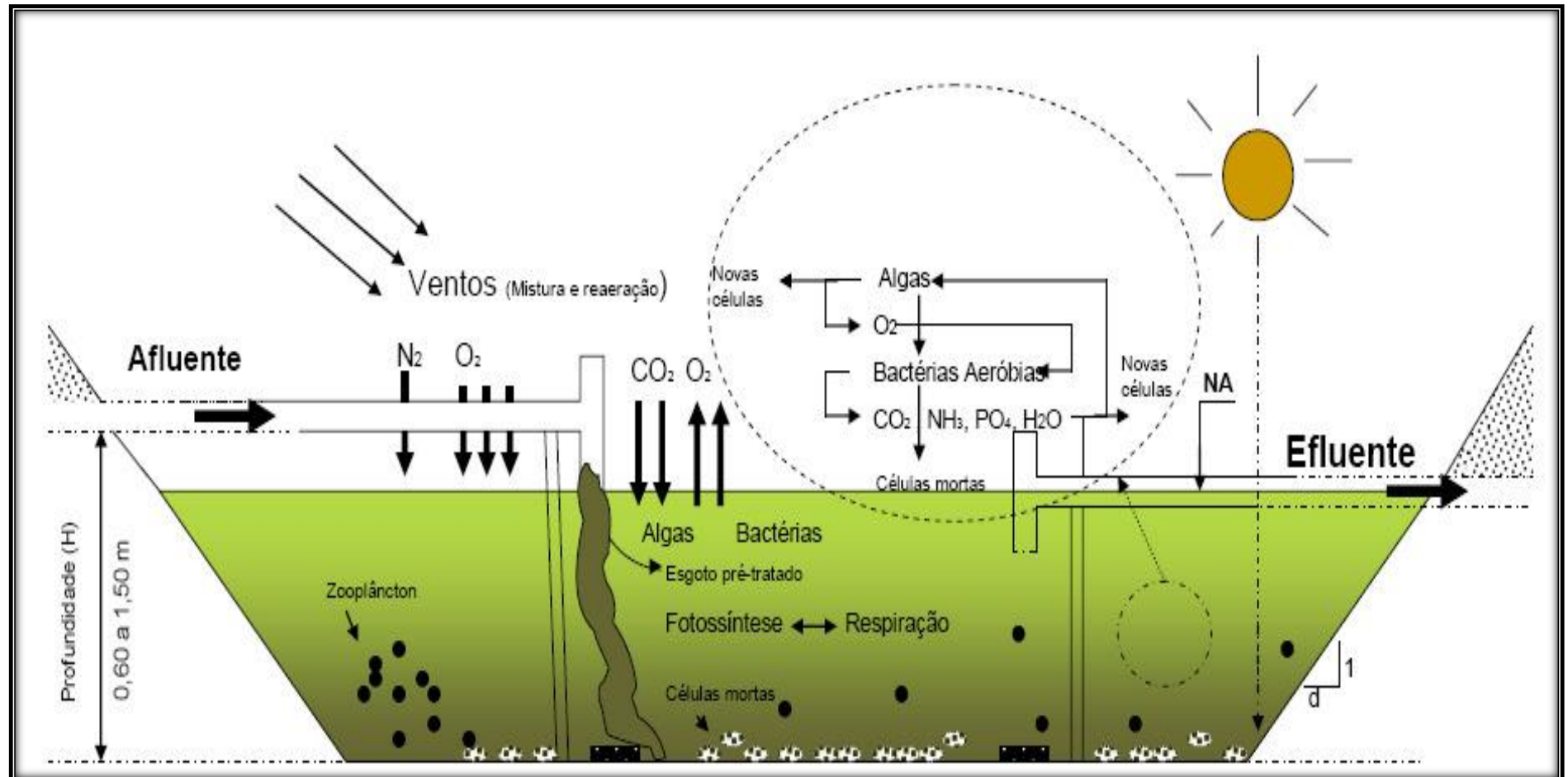


Figura 6: Esquema detalhado de uma lagoa de maturação (SILVA FILHO et al, 2007).

3.4.5 DESCRIÇÃO DO PROCESSO

A tabela 6 apresenta uma descrição sucinta dos principais sistemas de lagoas analisados.

Tabela 6: Descrição do processo das lagoas

Sistema	Descrição
Lagoa facultativa	ADBO solúvel e finamente particulada é estabilizada aerobicamente por bactérias dispersas no meio líquido, ao passo que a DBO suspensa tende a sedimentar, sendo estabilizada anaerobiamente por bactérias no fundo da lagoa. O oxigênio é fornecido pelas algas, através da fotossíntese.
Lagoa anaeróbia – Lagoa facultativa	ADBO é em torno de 50% estabilizada na lagoa anaeróbia (mais profunda e com menor volume), enquanto a DBO remanescente é removida na lagoa facultativa. O sistema ocupa uma área inferior ao de uma lagoa facultativa única.
Lagoa aerada facultativa	Os mecanismos de remoção da DBO são similares aos de uma lagoa facultativa. No entanto, o oxigênio é fornecido por aeradores mecânicos, ao invés da fotossíntese. Como a lagoa é também facultativa, uma grande parte dos sólidos do esgoto e da biomassa sedimenta, sendo decomposta anaerobiamente no fundo.
Lagoa aerada de mistura completa– lagoa de decantação	A energia introduzida por unidade de volume da lagoa é elevada, o que faz com que os sólidos (principalmente a biomassa) permaneçam dispersos no meio líquido, ou em mistura completa. A decorrente maior concentração de bactérias no meio líquido aumenta a eficiência do sistema na remoção da DBO, o que permite que a lagoa tenha um volume inferior ao de uma lagoa aerada facultativa. No entanto, o efluente contém elevados teores de sólidos (bactérias), que necessitam ser removidos antes do lançamento no corpo receptor. A lagoa de decantação a jusante proporciona condições para essa remoção. O lodo da lagoa de decantação deve ser removido em períodos de poucos anos.
Lagoa de polimento ou maturação	O objetivo principal da lagoa de polimento ou maturação é a remoção de patogênicos. Nas lagoas de maturação predominam condições ambientais adversas para os patogênicos, como radiação ultravioleta, elevado pH, elevado OD, temperatura mais baixa que a do corpo humano, falta de nutrientes e predação por outros organismos. As lagoas de maturação constituem um pós-tratamento de processos que objetiva na remoção da DBO, sendo usualmente projetadas como uma série de lagoas ou, como uma lagoa única com divisões por chicanas. A eficiência na remoção de coliformes é bastante elevada.

Fonte: Adaptado de (MARA & PEARSON, 1986) e (VON SPERLING, 1996b).

A tabela 7 apresenta uma comparação entre as principais características dos sistemas de lagoas analisados, e um balanço de vantagens e desvantagens de cada sistema (VON SPERLING, 1995).

Tabela 7: Análise comparativa dos principais sistemas de lagoas para a remoção de DBO. Balanço de vantagens e desvantagens

SISTEMAS DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO		
Sistema	Vantagens	Desvantagens
Lagoa facultativa	Satisfatória eficiência na remoção de DBO. Eficiente na remoção de patogênicos. Construção, operação e manutenção simples. Reduzidos custos de implantação e operação. Ausência de equipamentos mecânicos. Requisitos energéticos praticamente nulos. Satisfatória resistência a variações de carga. Remoção de lodo necessária apenas após períodos superiores há 20 anos.	Elevados requisitos de área. Dificuldade em satisfazer padrões de lançamento bem restritivos. A simplicidade operacional pode trazer o descaso na manutenção (crescimento de vegetação). Possível necessidade e remoção de algas do efluente para o cumprimento de padrões rigorosos. Desempenho variável com as condições climáticas (temperatura e insolação). Possibilidade do crescimento de insetos.
Lagoa anaeróbia– Lagoa facultativa	Idem lagoas facultativas. Requisitos de área inferiores aos das lagoas facultativas únicas.	Idem lagoas facultativas. Possibilidade de maus odores na lagoa anaeróbia. Eventual necessidade de elevatórias de recirculação do efluente, para controle de maus odores. Necessidade de um afastamento razoável de residências circunvizinhas.
Lagoa aerada facultativa	Construção, operação e manutenção relativamente simples. Requisitos de área inferiores aos sistemas de lagoas facultativas e anaeróbio-facultativas. Maior independência das condições climáticas que os sistemas de lagoas facultativas e anaeróbio-facultativas. Eficiência na remoção de DBO ligeiramente superior à das lagoas	Introdução de equipamentos Ligeiro aumento no nível de sofisticação. Requisitos de área ainda relativamente elevados. Requisitos de energia relativamente elevados.

Fonte: Adaptado de Von Sperling (1995).

3.4.6 FATORES OPERACIONAIS DO PROCESSO

As condições hidráulicas e biológicas das lagoas de estabilização podem ser afetadas por uma série de fatores. Alguns deles são em virtude do projeto e, outros, em função de sua natureza incontrollável. Portanto, devem, na

medida do possível, ser criteriosamente considerados, a fim de serem minimizadas as suas interferências no funcionamento das lagoas (CETESB, 1990 *apud* MEDRI, 2005).

A mesma companhia de tratamento de esgoto afirma que nas lagoas de estabilização, a degradação envolve a participação de bactérias facultativas e estritamente anaeróbias, as quais transformam biologicamente a matéria orgânica em produtos finais mais estáveis. Vários autores têm notado uma perda na eficiência das lagoas durante o inverno, comparada com o verão (CETESB, 1990 *apud* MEDRI, 2005).

3.4.7 EFICIÊNCIA DE TRATAMENTO UASB + LAGOAS

A associação de reatores anaeróbios do tipo UASB associadas a lagoas facultativas e/ou lagoas de polimento constitui em um sistema de tratamento de efluentes que integra processos anaeróbios e aeróbios. Vem se tornando muito comum devido a sua grande eficiência de remoção da carga orgânica, e uma redução dos custos frente a outras alternativas usualmente utilizadas (MASCARENHAS et al, 2004).

O pré-tratamento no reator UASB promove uma redução de 65 a 80% da concentração do material orgânico (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994 *apud* MASCARENHAS, 2004), entretanto, os reatores UASB, mesmo bem adequados à remoção da matéria orgânica dos esgotos, não são eficientes sozinhos, portanto, necessita-se de uma etapa de pós-tratamento de seus efluentes, para auxiliar na remoção da carga orgânica condizentes aos parâmetros ambientais e ajudar na eliminação de patógenos. Com isso, a associação de lagoas + UASB, garante-se a penetração da luz solar na maior parte da coluna d'água, acelerando a fotossíntese e melhorando os índices de remoção do material orgânico. A tabela abaixo demonstra os parâmetros dos sistemas de tratamento associados.

Tabela 8: Sistemas associados: eficiência e volume de esgoto

Sistema	Eficiência média na remoção de DQO (%)	Volume de lodo a ser tratado (l/hab/ano)
Reator UASB	55 – 70	70 – 220
UASB + lodo ativado	75 – 88	180 – 400
UASB + lagoa de	70 – 83	150 – 250

polimento		
UASB + lagoa facultativa aerada	65 – 80	150 – 300
UASB + lagoa facultativa + lagoa decantação	65 - 80	150 – 300

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2002).

3.5 ASPECTOS SÓCIO AMBIENTAIS PARA O SANEAMENTO

3.5.1 EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA

De acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA 2006), a demanda mundial por energia e suprimentos vai crescer a taxa anual de 1,6% até 2030, impulsionada pelo crescimento exponencial do consumo energético dos países que estão em desenvolvimento. Os combustíveis fósseis são uma das principais fontes de energia utilizadas pela humanidade, além disso, são também, a matéria-prima para a manufatura de inúmeros bens de consumo, por isso, têm um papel cada dia mais presente e relevante na vida da sociedade. Além de sua importância mundial como fornecedor de energia, a queima dos combustíveis fósseis são uma das essenciais causas das emissões de dióxido de carbono na atmosfera.

Estima-se que anualmente cerca de 20 bilhões de CO₂ são emitidos a partir da queima dos combustíveis fósseis (IPCC, 2007). Segundo Takahashi, (2004), os níveis atmosférico de dióxido de carbono e outros gases têm aumentado desde a Revolução Industrial, sabe-se que, do ano de 1.800 até os dias atuais os níveis de CO₂ aumentou de 280 ppm para 380 ppm. Esse aumento dos níveis de emissões de gases, provocados pelo crescimento industrial, causa maior aprisionamento de calor, denominado “efeito estufa”, causando assim o aumento da temperatura média global. Os principais gases responsáveis pelo efeito estufa são: óxido nitroso (N₂O), metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂), por serem os mais abundantes e predominarem na poluição atmosférica (COSTA, 2006).

A situação energética mundial continuará a ser dominada pelos combustíveis fósseis, que, em 2030, representarão quase 90% do consumo energético total. O petróleo continuará sendo a principal fonte de energia

(34%), seguido pelo carvão (28%). A Ásia será responsável por quase dois terços do aumento do abastecimento de carvão entre 2000 e 2030. Até 2030, o gás natural deverá passar a representar um quarto do consumo energético mundial e a produção de eletricidade constituirá o núcleo deste aumento. Na UE, por exemplo, o gás natural deverá ser a segunda maior fonte de energia, atrás do petróleo, mas à frente do carvão. A energia nuclear e as energias renováveis, em conjunto, deverão representar um pouco menos de 20% do abastecimento energético da UE (IEA, 2006).

Diante do aumento da queima de combustíveis fósseis mundiais, o aumento das emissões de gases de efeito estufa torna-se inevitável, sendo assim, tornam-se necessárias tecnologias para promover a redução dessas emissões. O objetivo principal das medidas para diminuir as mudanças climáticas é evitar que o planeta atinja desequilíbrio climático irreversível. Estas medidas devem controlar, principalmente, a emissão de dióxido de carbono na atmosfera, o consumo consciente de energia, a redução da queima de combustíveis fósseis e a implantação de soluções energéticas que façam uso de fontes de energia renováveis (IPCC, 2007).

3.5.2 PROTOCOLO DE KYOTO

Diante do atual processo de poluição atmosférica, em dezembro de 1997, 167 nações se reuniram no Japão com o intuito de elaborar um documento internacional para estabelecer limites nas emissões de gases de efeito estufa (GEE) pelos países desenvolvidos (CONTI, 2005). Entre uma das medidas desse acordo mundial para diminuir as emissões de gases de efeito estufa na atmosfera, foi estabelecer que os países desenvolvidos reduzissem em 5% os índices de emissões desses gases até o ano de 2012. A proposta inicial do Protocolo era que as nações que emitissem maior número de GEE pudessem adquirir “créditos de carbono”, ou seja, comprar cotas de emissões de países que possuíssem tecnologias minimizadoras de emissão de gases. No Brasil, esse mecanismo poderá trazer a oportunidade de receber recursos que financiem projetos que promovam o desenvolvimento sustentável, gerando riquezas e melhorias na qualidade de vida, em troca dos Certificados de Emissões Reduzidos (CERs) (CONTI, 2005).

Dessa forma, diversas medidas estão sendo propostas com intuito de prever as possíveis consequências sobre as quais, o protocolo foi firmado. Uma dessas medidas é o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), que permite a participação de países em desenvolvimento para estabelecerem metas cujo objetivo é substituir atividades e projetos que resultem na redução dos gases do efeito estufa em troca de Certificados de Emissões Reduzidas – CER (ROCHA, 2003).

Meneguello e Castro (2007), conclui que os Mecanismos de Desenvolvimento Limpo têm o objetivo de reduzir as emissões de Gases do Efeito Estufa, o sequestro de carbono e promover o desenvolvimento sustentável do país originário do projeto. Os MDL podem ser divididos nas seguintes modalidades:

- Fontes renováveis e alternativas de energia como as usinas de biomassa;
- Eficiência e conservação de energia como os projetos de modernização de usinas já instaladas;
- Reflorestamento e estabelecimento de novas florestas, sendo nesta modalidade que está à maioria dos projetos de sequestro de carbono.

3.5.3 REDUÇÃO CERTIFICADA DE EMISSÕES

O MDL é um dos mecanismos de flexibilização, e o Crédito de Carbono do MDL é denominado Redução Certificada de Emissão (RCE), ou como é conhecido em língua inglesa *Certified Emission Reductions* (CERs), sendo entendido como certificados emitidos quando há redução de emissão de gases do efeito estufa (GEE).

Os créditos de carbono são um mercado para a redução de GEE dando um valor monetário à poluição. Os acordos internacionais, como o Protocolo de Kyoto, determinam uma cota máxima que países desenvolvidos podem emitir. Desta maneira, países ou indústrias que não conseguirem atingir as metas de reduções de emissões tornam-se compradores de créditos de carbono, enquanto que as indústrias que conseguirem reduzir as suas emissões abaixo das cotas determinadas poderão vender o excedente de

redução de emissão ou permissão de emissão no mercado nacional ou internacional (CONTI, 2005). O processo de créditos de carbono é feita com base em cálculos que quantificam o quanto de gases deixa de ser emitido na atmosfera. Essa medida internacional foi criada com o objetivo de medir o Potencial de Aquecimento Global – PAG (GWP– *Global Warming Potencial*) de cada um dos seis gases causadores do efeito estufa.

Tabela 9: Gases de efeito estufa

GÁS	PAG
CO ₂ (Dióxido deCarbono)	1
CH ₄ (Metano)	21
N ₂ O (Óxido Nitroso)	310
HFCs(Hidrofluorcarbonetos)	140~11.700
CFCs(Clorofluorcarbonetos)	1.300~12.000
PFCs (Perfluorcarbonetos)	6.500~ 9.200
SF ₆ (HexafluoretodeEnxofre)	23.900

Fonte: Hinrichs (2003).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho pretende identificar e avaliar a sustentabilidade de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), localizada no município de Cascavel e denominada Estação Norte. O principal objetivo deste estudo de caso é avaliar o manejo da biomassa residual proveniente do esgoto pré e pós digerido, através do Reator Anaeróbio de Leito Fluidilizado (RALF)ou UASB já existente na estação em estudo. Além disso, esse processo visa, também, trazer benefícios socioambientais, identificar processos críticos do ponto de vista ambiental passíveis de melhorias e quantificar o potencial energético da estação levando- se em conta a otimização do processo e a degradação da matéria orgânica pelo reator. O fluxograma abaixo demonstra o objetivo desse estudo.

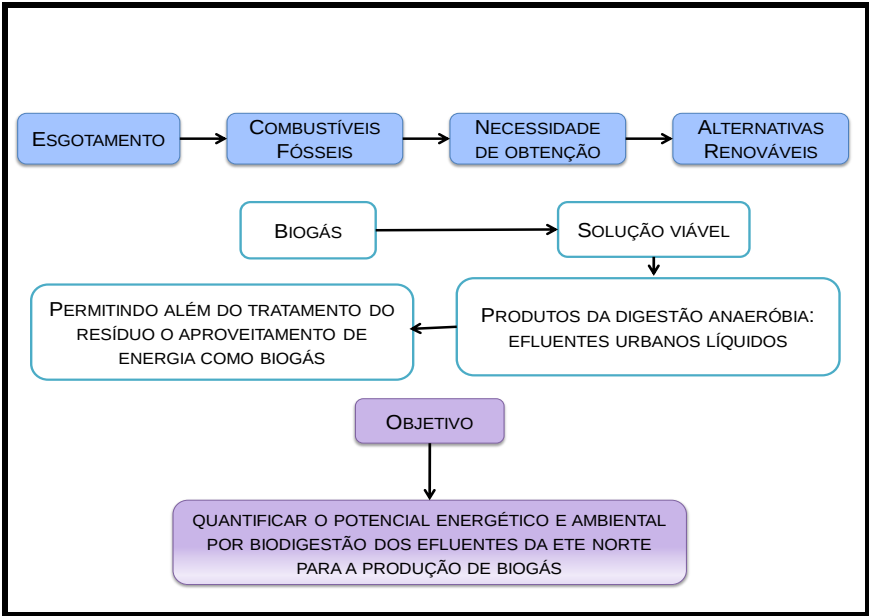


Figura 7: Objetivo da dissertação.

Para avaliar a eficiência do sistema de tratamento utilizado pela SANEPAR, considerou-se que o mesmo foi projetado para tratar aproximadamente 11.586 m³ de dejetos/dia, sendo alimentado de forma contínua, atendendo uma população em torno de 120.000 pessoas do município de Cascavel.

As análises físico-químicas foram realizadas a partir da coleta de amostras das águas residuárias do afluente ao biodigestor, e no final das lagoas facultativas, durante o período de janeiro de 2010 a dezembro de 2010 e janeiro de 2011 a dezembro de 2011. As coletas foram realizadas conforme o Plano de Amostragem, e a classificação das atividades poluidoras previsto nas normas ambientais, conforme exemplificado no ANEXO A.

Dessa maneira, para avaliar a eficiência do tratamento realizado pela ETE, foram utilizados os parâmetros tradicionalmente avaliados, como: Potencial Hidrogeniônico (pH), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_{5,20}) e Sólidos Suspensos Totais (SST).

4.1. Caracterização da área de estudo

Todo o trabalho experimental esta sendo desenvolvido através de uma parceria entre a SANEPAR e a UNIOESTE. A avaliação da Estação de

Tratamento de Esgoto em estudo é a estação norte, localizado no município de cascavel, conforme apresentado na Figura 8. Este tem por objetivo avaliar a operação do sistema de tratamento, a eficiência do sistema em operação atualmente, levando-se em conta os parâmetros físicos- químicos para estimativa de produção de biogás e dados teóricos de produção de energia elétrica.



Figura 8: Localização da Estação de Tratamento de Esgoto em estudo.
Fonte:Google Earth 2011.

Sendo assim, o levantamento e as análises físico-químico da ETE em estudo pode contribuir para aperfeiçoar processos passíveis de melhorias, aumentar a eficiência energética e quantificar por estimativa o quanto a ETE produz e evita o lançamento de gases de efeito estufa.

A caracterização da estação de tratamento (ETE) Norte foi elaborada através de dados físico-químicos fornecidos do ano de 2010 e 2011, pesquisas bibliográficas e visitas a campo. A tabela abaixo exemplifica as características da ETE Norte.

Tabela 10: Característica da ETE Norte de Cascavel

Estação de Tratamento	Pop. Atendida pela ETE Norte	Média vazão do efluente (m³/dia)	Carga (kg /DBO ₅ / Dia)
Norte / Cascavel	120.960	12.096	604.80

Na ETE Norte, em Cascavel, são tratados aproximadamente 12.096 m³/dia de esgoto bruto, atendendo uma população em torno de 120.000 pessoas. A localização da área de estudo está localizada no prolongamento do rio das antas, rio este que é o corpo receptor do esgoto após passar por todo o processo de tratamento.

4.1.2 SISTEMAS DE TRATAMENTO

O sistema de tratamento de esgoto da ETE norte é composto por dois biodigestores modelo UASB, independentes, seguido por duas lagoas facultativas não aeradas, conforme caracterização descrita na revisão bibliográfica. As análises físico-químicos foram feitas no laboratório de saneamento da SANEPAR, seguindo metodologia descrita em APHA (1992). Os parâmetros utilizados para estimar a produção de biogás, e analisar a eficiência do sistema de tratamento como um todo, foram a DBO, DQO, PH, e SST.

4.1.3 CÁLCULO DE EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO

Para calcular a eficiência do sistema de tratamento e os índices de remoção da carga orgânica foi levada em conta a maneira mais comum conforme disposto abaixo.

$$\text{Eficiência de remoção biológica (\%)} = \frac{\text{afl. entrada} - \text{efl. saída}}{\text{afl. entrada}} * 100 \quad (1)$$

4.1.4 CÁLCULO DE ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Segundo o cálculo do PROJETO GERAÇÃO DISTRIBUÍDA (2009), para estimar a produção de biogás gerado na digestão anaeróbia, adotou-se o

valor de $0,25 \text{ m}^3\text{CH}_4.\text{kg}^{-1} \text{ DQO}$, o qual com uma eficiência do processo de biodigestão de 0,80, tem-se $0,20 \text{ m}^3\text{CH}_4.\text{kg}^{-1} \text{ DQO}$ da biomassa disponível. Com base na relação de produção de metano por DQO removida e a concentração de metano no biogás, estima-se a produção de biogás em m^3/dia , que pode ser calculada pela relação:

$$PB = \frac{V_{ef} \cdot (DQO_e) \cdot Y}{C_{ch4}} \quad (2)$$

Onde:

PB = produção de biogás;

V_{ef} = vazão de biomassa através de biodigestão anaeróbia ($\text{m}^3.\text{dia}^{-1}$);

DQO_e = é o valor médio da demanda química de oxigênio da biomassa residual produzida ($\text{kg DQO}.\text{m}^{-3}$ de efluente);

Y = é a produção de metano por kg de DQO_e ($\text{m}^3 \text{CH}_4.\text{kg}^{-1} \text{ DQO}_e$);

C_{ch4} = é a concentração de metano no biogás;

4.1.5. ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE

Para estimar a produção de energia e o potencial técnico de geração na ETE em estudo, utilizou a metodologia proposto pelo PROJETO GERAÇÃO DISTRIBUÍDA (2009), seguindo os seguintes parâmetros:

4.1.5.1. POTENCIAL TEÓRICO DE PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE (PTE)

$$PTE = PCI \cdot PB \quad (3)$$

Onde:

PTE = potencial teórico de produção de eletricidade ($\text{kWh}.\text{dia}^{-1}$);

PCI = poder calorífico inferior (kWh.m^{-3}), considerou-se o valor de 6.5 kWh.m^{-3} (aproximadamente 65% de metano);

PB = produção diária de biogás ($\text{m}^3.\text{dia}^{-1}$);

4.1.5.2. POTENCIAL TÉCNICO DE GERAÇÃO (PTCE):

$$PTCE = \frac{PTE.n}{100} \quad (4)$$

Onde:

$PTCE$ = potencial técnico de produção de eletricidade (kWh.dia^{-1}) e;

η = eficiência de conversão de aproximadamente, 25%.

4.1.6. CÁLCULO DE ESTIMATIVA DE EMISSÕES DE METANO

A recuperação do biogás gerado nas ETEs contribui para o aumento da geração de energia, co-geração, reduz os impactos ambientais e melhora a questão do saneamento básico no país. Segundo IPCC (2000), para o setor de resíduos sólidos, esgotos domésticos e efluentes industriais, há fórmulas para estimar a quantidade de metano que pode ser potencialmente poluidoras. Na figura abaixo há um resumo das atividades poluidoras de metano pelo tratamento de esgoto e efluentes industriais.

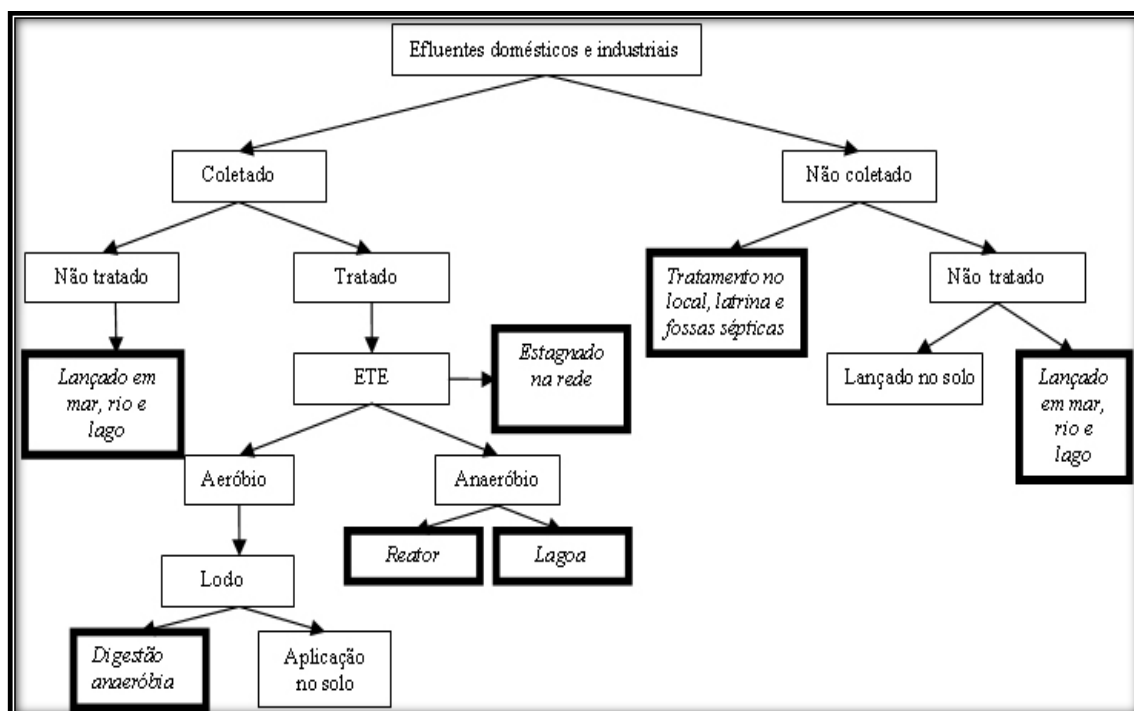


Figura 9: Resumo das fontes poluidoras de efluentes domésticos e industriais, sistemas de tratamento e emissões potenciais de CH₄.

* os textos em negrito indicam fonte de emissão de CH₄.

Fonte: IPCC (2000).

Os cálculos de estimativa de emissões de metano, por tratamento anaeróbio de efluentes urbanos IPCC (2000), pode ser realizado da seguinte forma:

$$\text{Emissões} = TOW_{dom} \cdot EF - R \quad (5)$$

Onde:

Emissões = Quantidade de metano gerado ao ano¹(CH₄/ano)

TOW_{dom} = Efluente doméstico orgânico total (kg/DBO/ano)

EF = Fator de emissão (kgCH₄/kgDBO)

R = Metano recuperado ao ano (kgCH₄/ano)

Para os cálculos de estimativa de efluente doméstico orgânico total, segundo o IPCC (2000), pode ser calculada pela relação:

$$TOW_{dom} = P \cdot D_{dom} \quad (6)$$

Onde:

$P = \text{População}^2(1000 \text{ hab.})$

$D_{dom} = \text{Componente orgânico degradável do efluente doméstico}$ (kgDBO/1000hab.ano)

1. Consideraram-se as emissões da ETE norte;
2. Adaptou-se à população atendida pela ETE em estudo;

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente trabalho apresenta como resultados a avaliação da eficiência do sistema de tratamento completo da ETE norte, incluindo a eficiência conjunta do biodigestor UASB, seguido de duas lagoas facultativas. A avaliação da eficiência foi feita no ano de 2010 e 2011. A estimativa de produção de biogás também faz parte dos resultados, ressaltando a iniciativa de propor aos sistemas de tratamento um maior aproveitamento energético, e incluir as ETE's em projetos de MDL através de práticas sustentáveis.

5.1. AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO EM 2010 E 2011

Essas análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório de saneamento da SANEPAR. Os valores médios dos parâmetros físico-químicos, afluentes e efluentes são apresentados nas Tabelas abaixo.

Tabela 11: Resultados das análises físico-químicos de 2011

Parâmetro	Afluente		Efluente	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
pH	7.47	0.53	7.58	0.33
DQO (mg O ₂ /L)	495.2	90.4	99.17	47.87
DBO _{5,20} (mg O ₂ /L)	240.68	90.98	39.18	22.65
SST	198.33	36.14	39.17	19.62

Tabela 12: Resultados das análises físico-químicos de 2011

Parâmetro	Afluente		Efluente	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
pH	7.42	0.49	7.38	0.44
DQO (mg O ₂ /L)	672.6	185.9	119	80.9
DBO _{5,20} (mg O ₂ /L)	353	110.4	46.6	31.6
SST	174.2	19.4	60	16

De acordo com os resultados obtidos dos valores médios dos parâmetros físico-químicos, constata-se que:

- *POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (pH);*

A faixa de entrada do pH ao sistema de tratamento manteve-se média de 7.47 e 7.42 no afluente, com desvio padrão de 0.53 e 0.49, respectivamente para os anos de 2010 e 2011, enquanto a variação do efluente do biodigestor apresentou média de 7.58 e 7.38, com desvio padrão de 0.33 e 0.44. Portanto, não houve grandes variações de pH durante os meses de monitoramento, uma vez que Chernicharo (1997) conclui que o pH influencia em todo o sistema anaeróbio do reator, sendo importante manter os valores entre 6,0 a 8,0, demonstrando um bom tamponamento do sistema estudado, o que mantém a estabilidade das interações entre as bactérias durante a degradação biológica.

- *DQO, DBO e SST*

A eficiência média do sistema de tratamento como um todo, para o ano de 2010, em análise para a remoção da DQO, DBO e SST, foram de 81.98% de 80.65% e 79.88%, respectivamente, comprovando assim, uma ótima taxa de remoção na depuração do esgoto doméstico, eficiência esta que é relativamente favorável e condizente com os processos de tratamentos anaeróbios, lembrando que essa eficiência é do sistema UASB + lagoas facultativas.

Louzada (2006) encontrou concentrações no efluente do reator UASB de 180 mg/L⁻¹ DQO total e 86 mg/L⁻¹ DQO removida, com uma eficiência média de remoção de 52%. O autor cita a necessidade de fazer um pós-tratamento depois da remoção do reator. As lagoas do sistema em estudo promoveram uma importante remoção adicional de DQO, DBO e SST, complementando a remoção efetuada pelo reator UASB, atingindo assim os padrões exigidos para o lançamento de efluentes no corpo receptor. Os resultados das análises físico-químicos encontram-se na tabela 13.

Tabela 13: Resultados das análises físico-químicos de DQO, DBO e SST de 2010

Meses	DQO			
	Afluente(mg/L ⁻¹)	Efluente(mg/L ⁻¹)	DQO Removida(mg/L ⁻¹)	EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO %
JANEIRO	478	95	383	80,13
MARÇO	450	78	372	82,67
MAIO	326	50	276	84,66
JULHO	625	106	519	83,04
SETEMBRO	597	123	474	79,40
Média	495	90	405	81,98
Desvio Padrão	±107,87	±24,95	±84,82	±1,94
Meses	DBO			
	Afluente(mg/L ⁻¹)	Efluente(mg/L ⁻¹)	DBO Removida(mg/L ⁻¹)	EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO %
JANEIRO	205	59	147	71,42
MARÇO	157	39	118	75,11
MAIO	147	31	116	79,07
JULHO	275	29	246	89,60
SETEMBRO	390	44	346	88,72
Média	235	40	195	80,78
Desvio Padrão	± 89,84	± 10,80	± 89,37	± 7,26
Meses	SST			
	Afluente(mg/L ⁻¹)	Efluente(mg/L ⁻¹)	SST Removida(mg/L ⁻¹)	EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO %
JANEIRO	200	36	164	82,00
MARÇO	168	28	140	83,33
MAIO	168	32	136	80,95
JULHO	176	43	133	75,57
SETEMBRO	260	20	240	92,31
Média	194	32	163	82,83
Desvio Padrão	± 34,83	± 7,70	± 40,22	± 5,42

O sistema UASB + lagoas promoveram também uma importante remoção de SST, complementando a remoção efetuada pelo reator UASB, atingindo índices de remoção na ordem quase 80%, neste contexto, o funcionamento das lagoas em série após o tratamento do reator apresenta vários benefícios, principalmente, no que diz respeito aos parâmetros de lançamento de efluentes no corpo receptor.

Com relação aos parâmetros de relação de DBO e a DQO, e os índices de remoção da carga orgânica, o sistema não apresentou grandes variações, ambos tiveram eficiência de remoção entre 80 a 82%. A concentração de DBO do afluente e do efluente apresentou valores de 235mg/L^{-1} e 40mg/L^{-1} com valor médio de remoção da carga orgânica de 195mg/L^{-1} . Já a concentração da DQO do afluente e do efluente apresentou valores médios de 495mg/L^{-1} e 90mg/L^{-1} com valor médio de remoção da carga orgânica de 405mg/L^{-1} . A Figura abaixo demonstra os valores relacionados a DBO e DQO.

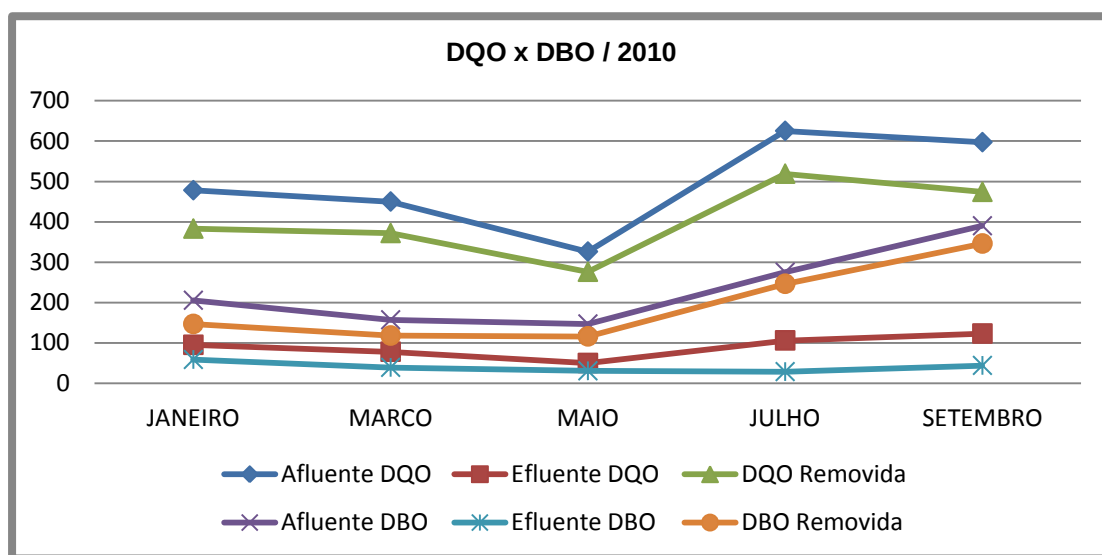


Figura 10: Resultados das Análises Físico-Químicas de DQO, DBO de 2010.

Pode-se observar que os valores de DBO e DQO são maiores nos meses de maio a setembro, provavelmente, devido às características climáticas no município de Cascavel, uma vez que esse período é de estiagem, ocorrendo assim menor diluição do efluente doméstico. Tanto a DQO quanto a DBO sofre a influência da estação chuvosa e tem um decréscimo em seu valor em função da diluição do esgoto bruto. Segundo Metcalf&Eddy (1995), o valor médio de DBO para esgoto sanitário doméstico não tratado é de $220\text{mg O}_2\text{L}^{-1}$, podendo ter uma variação na sua concentração de 110 a 400mg O_2

L^{-1} , evidenciando assim, que o ETE em estudo enquadra-se nos parâmetros comparados com a literatura.

Segundo Chernicharo (1997), com as variações da DBO e DQO, também visualizadas na figura 10, pode-se estimar a quantidade de metano produzido a partir da DQO degradada, em condições normais de temperatura, pressão e condições de operação do reator, o autor cita que cada grama de DQO removida corresponde a aproximadamente 350 mililitros de metano.

5.1.2. SISTEMA DE TRATAMENTO DE 2011

Os índices de remoção da carga orgânica, bem como a eficiência do sistema de tratamento em 2011 estão dispostos na tabela abaixo. A concentração de DQO do afluente apresentou valores médios de 672.6 mg/L^{-1} , 119 mg/L^{-1} do efluente, 553.6 mg/L^{-1} de DQO removida e eficiência de remoção de 83.06%. Já a concentração da DBO do afluente e do efluente apresentou valores médios de 353 mg/L^{-1} e 46.6 mg/L^{-1} , respectivamente, com valor médio de DBO removida de 306.4 mg/L^{-1} e eficiência de remoção de 87.44%. Os valores médios dos SST foram de 174.2 mg/L^{-1} do afluente, 60 mg/L^{-1} do efluente, 114.2 mg/L^{-1} de SST removida e eficiência média de 65.68 %. Os resultados detalhados estão expressos na tabela abaixo.

Tabela 14: Resultados das análises físico-químicos de DQO, DBO e SST de 2011

Meses	DQO			
	Afluentes (mg/L ⁻¹)	Efluentes (mg/L ⁻¹)	DQO Removida (mg/L ⁻¹)	EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO %
JUNHO	987	242	745	75,48
JULHO	527	129	398	75,52
SETEMBRO	562	85	477	84,88
OUTUBRO	690	119	571	82,75
NOVEMBRO	597	20	577	96,65
Média	672,6	119,0	553,6	83,06
Desvio Padrão	± 166,31	± 72,37	± 116,24	± 7,78
Meses	DBO			
	Afluentes (mg/L ⁻¹)	Efluentes (mg/L ⁻¹)	DBO Removida (mg/L ⁻¹)	EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO %
JUNHO	540	100	440	81,48
JULHO	270	42	228	84,44
SETEMBRO	290	40	250	86,21
OUTUBRO	365	35	330	90,41
NOVEMBRO	300	16	284	94,67
Média	353,00	46,60	306,40	87,44
Desvio Padrão	± 98,77	± 28,24	± 75,15	± 4,63
Meses	SST			
	Afluentes (mg/L ⁻¹)	Efluentes (mg/L ⁻¹)	SST Removida (mg/L ⁻¹)	EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO %
JANEIRO	184	80	104	56,52
MAIO	164	40	124	75,61
JULHO	192	56	136	70,83
OUTUBRO	145	52	93	64,14
DEZEMBRO	186	72	114	61,29
Média	174,20	60,00	114,20	65,68
Desvio Padrão	± 17,37	± 14,31	± 15,00	± 6,79

As variações na remoção de DQO e da DBO, bem como os valores dos afluentes e efluentes, durante os meses de monitoramento estão expressos na figura abaixo.

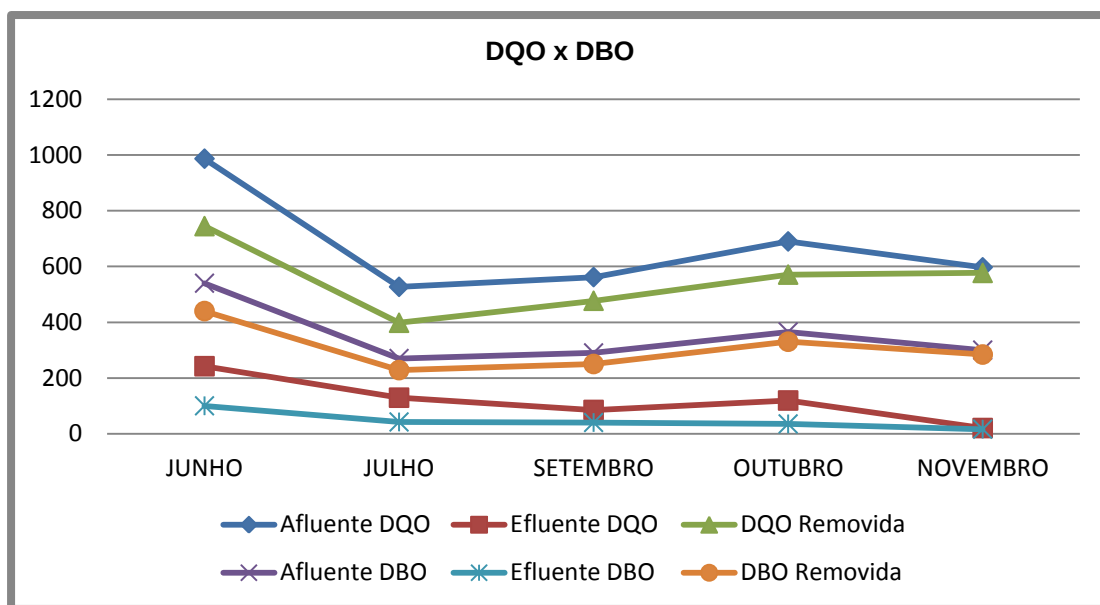


Figura 11: Resultados das Análises Físico-Químicas de DQO, DBO de 2011.

5.1.3. ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS

A disponibilidade dos efluentes residuais numa ETE gera a possibilidade de produção de biogás para geração de eletricidade, esta possibilidade é possível a partir da remoção da carga orgânica. Conhecendo-se a demanda química de oxigênio (DQO) média num período, a vazão média de entrada de efluente no sistema de tratamento e o índice de produção de biogás em função da DQO gerada, por meio disso torna-se possível fazer a estimativa, conforme apresentado na metodologia. A Tabela abaixo indica a estimativa de produção de biogás para o ano de 2010 e 2011.

Tabela 15: Estimativa de produção de biogás

Meses/ 2010	PRODUÇÃO DE BIOGÁS				
	Vazão/m ³ /dia	Y(m ³ de CH ₄ /kgDQO	DQO Removida	PROD. DE BIOGÁS	MÉDIA BIOGAS M ³ /DIA
JANEIRO	12096	0,2	383	15.443	515
MARCO	12780	0,2	372	15.847	528
MAIO	11660	0,2	276	10.727	358
JULHO	10430	0,2	519	18.044	601
SETEMBRO	10670	0,2	474	16.859	562
Média	11527	0,2	405	15.384	513
Meses/ 2011	PRODUÇÃO DE BIOGÁS				
	Vazão / m ³ /dia	Y(m ³ de CH ₄ /kgDQO	DQO Removida	PROD. DE BIOGÁS	MÉDIA BIOGAS M ³ /DIA
JUNHO	11911	0,2	745	29.579	986
JULHO	11540	0,2	398	15.310	510
SETEMBRO	12060	0,2	477	19.175	639
OUTUBRO	11911	0,2	571	22.671	756
NOVEMBRO	11760	0,2	474	18.581	619
Média	11836	0,2	533,00	21.063	702

Para avaliar a estimativa da produção e do rendimento do biogás foram utilizados os seguintes indicadores técnicos:

- Média da vazão da ETE (m³/dia);
- Produção de metano por kg de DQO removida (Y);
- DQO removida (diferença do afluente e do efluente);
- Concentração de metano (60%).

A produção de biogás apresentou valores médios de 513 m³/dia no ano de 2010, e 702 m³/dia no ano de 2011. A grande oscilação das médias de produção de biogás provavelmente foi devido aos meses de monitoramento, uma vez que a estimativa foi feita pela DQO removida. As coletas foram realizadas de acordo com o plano de amostragem da SANEPAR e das respectivas classificações das atividades poluidoras. Os meses de análises também podem influenciar a estimativa de produção, já que no ano de 2010 foram realizadas a maioria das análises no primeiro semestre do ano, geralmente meses

mais quentes e com períodos de chuvas mais frequentes, ao contrário do ano seguinte, onde o período de monitoramento foi realizado de Junho à Novembro de 2011.

Oliveira (1997), conclui que a eficiência na remoção de DQO em reatores modelo UASB foi de 72%, sendo que a produção específica de metano variou de 0,10 a 0,18 $\text{m}^3\text{CH}_4 \cdot (\text{kgDQO}_{\text{removida}})$, com valor médio de 0,14 $\text{m}^3\text{CH}_4(\text{kgDQO}_{\text{removida}})$.

5.1.4. ESTIMATIVA DE EMISSÕES DE METANO CH_4

De acordo com um estudo realizado por Vieira e Alves (2002) apud Salomom (2007), o volume de esgoto gerado por pessoa depende de uma série de fatores, entre eles a quantidade de água consumida, com isso a carga orgânica no Brasil corresponde em torno de 50 g DBO/ hab.dia ou 18.25 kg/DBO/1000 hab.ano . Por meio do cálculo do IPCC (*International Painel on Climate Change*), adaptado à metodologia para o estudo da ETE em estudo, é possível fazer uma estimativa de emissão de metano, uma vez que a ETE analisada produz uma quantidade de biogás significativa, entretanto, não há aproveitamento nobre dessa fonte de energia. Todo o biogás é queimado em “flare”. A característica da ETE norte está disponível na tabela abaixo.

Tabela 16: Característica da ETE Norte

Estação de Tratamento	Pop. Atendida pela ETE Norte	Média vazão do efluente (m^3/dia)	Carga (kg /DBO₅ / Dia)
Norte / Cascavel	120.960	12.096	604.80

Para estimar a emissão de metano, levou-se em consideração a população atendida pela rede de esgoto, que segundo a companhia de saneamento atende aproximadamente 120 mil pessoas, ou seja, toda a região norte do município de Cascavel. No entanto, cabe lembrar que esses dados são estimados desconsiderando-se as variações populacionais e climáticas. Para chegar ao valor aproximado de 18.25 kgDBO/1000 hab.ano multiplicou-se o valor de 0.05 kg DBO/ hab.dia pelos 365 dias do ano, valores estes compatíveis com a literatura, conforme exemplificado na tabela 11.

Tabela 17: Estimativa de emissão de metano I

A	B	C	D (D=B*C)
Ano	Pop. Estimada Atendida pela ETE Norte	Valor de DBO (kgDBO/1000hab.ano)	DBO anual (kg)
2010 ou 2011	120.960	18.25	2.207.520

Fonte: Adaptado de adaptado da Vieira e Alves (2002) apud Salomon (2005).

Na tabela 12, para alcançar os valores de fator de emissão de esgoto ($\text{kg CH}_4 / \text{kg DBO}_5$), considerou-se os valores de fração de metano tratado (FET %), e a fração de conversão de metano (FCM %), todo o processo está exemplificado na tabela abaixo.

Tabela 18: Estimativa de emissão de metano II

Estimativa de emissão de metano					
A	B	C	D=B*C	E	F=D*E
Sistema de Tratamento	Fração de esgoto tratado (FET)%	Fração de conversão do metano (FCM) %	Produto	Máxima produção de metano ($\text{kg CH}_4 / \text{kg DBO}_5$)	Fator de emissão de esgoto ($\text{kg CH}_4 / \text{kg DBO}_5$)
UASB	10	80	0.08	0.25	0.020

Fonte: Adaptado de adaptado da Vieira e Alves (2002) apud Salomon (2005).

Existem muitas metodologias de estimativa da produção de metano em reatores anaeróbios, com diferentes níveis de especificidade. Muitas delas se especificam de acordo como tipo de matéria orgânica contida no efluente que é tratado. Neste caso, optou-se em utilizar uma estimativa relacionada ao valor de DBO ($\text{kgDBO}/1000_{\text{hab.ano}}$). Segundo dados da literatura, o valor médio de DBO é em torno de 50 g/hab.dia, ou seja, 18.25 kg/DBO/hab.ano. De acordo com a população atendida na ETE em estudo, estimou-se a quantidade de DBO anual.

Deste modo, levando-se em conta a DBO anual e o fator de emissão de metano chegou-se a uma estimativa de aproximadamente 44.15 toneladas líquidas e missões na ETE em estudo. Cabe lembrar que segundo dados do IPCC (1996), o potencial de aquecimento global de metano é 21 vezes maior que o de CO_2 .

A partir da hipótese que é possível estimar a quantidade de metano produzido em uma ETE, incluir uma estação de tratamento de esgoto em projetos de MDL pode ser uma alternativa viável, uma vez que há um aproveitamento energético a partir de uma fonte de

energia renovável, trazendo também benefícios socioambientais. A estimativa de produção de metano na ETE em estudo está disposto na tabela 13.

Tabela 19: Estimativa de emissão de metano III

Estimativa de emissão de metano					
	A	B	C=A*B	D	E
Ano	DBO anual (kg DBO₅ /ano)	Fator de emissão de esgoto (kg CH₄ / kg DBO₅)	Emissão de metano (kg CH₄ / ano)	Metano recuperado (kg CH₄ /ano)	Emissões Líquidas de metano
2010 ou 2011	2.207.520	0.020	44150.4	0	44.15

Fonte: Adaptado de adaptado da Vieira e Alves (2002) apud Salomon (2005).

5.1.5. ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Para estimar a produção de energia e o potencial técnico de geração na ETE em estudo, utilizou-se a metodologia proposta pelo PROJETO GERAÇÃO DISTRIBUÍDA (2009), onde considerou-se o potencial teórico de produção de eletricidade (kWh.dia-1), o poder calorífico inferior (kWh.m-3) que neste caso adotou um valor de 6.5, que corresponde a aproximadamente 65% de metano, valor este que, segundo a literatura, é a porcentagem estimada da qualidade do metano no processo de biodigestão anaeróbia do tratamento de esgoto, a produção estimada diária de biogás (m3.dia-1) e a eficiência de conversão do metano, que é de aproximadamente 25%. O resumo do processo e a quantificação está exemplificada na tabela 14.

Tabela 20: Estimativa do potencial de produção de eletricidade e do potencial técnico de geração

Meses / 2010	Estimativa do potencial teórico de produção de eletricidade (PTE) e do potencial técnico de geração (PTCE)			
	PROD. DE BIOGÁS	MÉDIA BIOGÁS M³/DIA	PTE (kWh.dia⁻¹)	PTCE (kWh.dia⁻¹)
JANEIRO	15443	515	3346	836
MARCO	15847	528	3434	858
MAIO	10727	358	2324	581
JULHO	18044	601	3910	977
SETEMBRO	16859	562	3653	913
Média	15384	513	3333	833

Meses/ 2011	Estimativa do potencial teórico de produção de eletricidade (PTE) e do potencial técnico de geração (PTCE)			
	PROD. DE BIOGÁS	MÉDIA BIOGÁS M³/DIA	PTE (kWh.dia⁻¹)	PTCE (kWh.dia⁻¹)
JUNHO	29579	986	6409	1602
JULHO	15310	510	3317	829
SETEMBRO	19175	639	4155	1039
OUTUBRO	22671	756	4912	1228
NOVEMBRO	18581	619	4026	1006
Média	21063	702	4564	1141

Os índices do potencial de produção de eletricidade e do potencial técnico são uma estimativa do aproveitamento energético que pode vir a ser utilizado na ETE Norte. No ano de 2010 o potencial teórico de eletricidade teve uma média de 3.333 kwh/dia, com potencial técnico de geração de 833 kwh/dia. Já no ano de 2011, a média do potencial teórico de eletricidade teve média de 4.564 kwh/dia, com potencial técnico de geração de 1141 kwh/dia. As vantagens de se saber o potencial teórico de eletricidade, é que a partir desses dados é possível estimar o potencial real de produção de energia, assim como, configurar um possível motor gerador de energia.

6. CONCLUSÕES GERAIS E SUGESTÕES

De acordo com os resultados obtidos e as discussões apresentadas neste trabalho, algumas conclusões podem ser destacadas.

A eficiência do sistema UASB + lagoas demonstrou competência favorável na remoção da matéria orgânica. O sistema de tratamento em estudo possui dois biodigestores trabalhando simultaneamente seguido de duas lagoas facultativas em série, com isso conseguiu uma eficiência na faixa de 80%, com picos de 87%. Um dos principais motivos de adotar o uso do biodigestor UASB pelas estações de tratamento, em geral, é justamente por ser um sistema compacto, e depois de instalado não necessita de mão de obra especializada. Por outro lado, o seu uso somente não atinge grandes índices de remoção da matéria orgânica. Fato este que na estação de tratamento em estudo o consórcio de UASB + lagoas facultativas atingiu índices satisfatórios e dentro dos parâmetros recomendados pelos órgãos ambientais.

Com isso, a principal contribuição na análise desses dados foi poder contabilizar um possível aproveitamento energético que a estação pode vir a utilizar, já que o biogás pode ter inúmeros fins. Além disso, o volume de biogás gerado pode ser consumido para geração de energia dentro da própria estação, tornando-se possível obter os CRES relativos à redução das emissões de GEE, no caso pela queima do metano 21 vezes mais poluente do que o gás carbônico. Dessa forma, os CERs gerados, podem trazer receita extra e diminuir os custos do sistema de tratamento.

As vantagens da utilização do biogás como fonte energética são inúmeras, tanto no processo de co-geração de energia como também ser uma possível solução no tratamento de resíduos, que a partir da degradação biológica gera como subproduto o biogás, que é uma fonte alternativa de energia. Com isso, essa energia pode ser utilizada na própria instalação onde é produzido e o excedente vendido a rede elétrica.

Assim sendo, acredita-se que os objetivos desse estudo foram atingidos, a eficiência da ETE Norte é adequada, se enquadra dentro das normas ambientais e tem uma produção de biogás significativa, apesar de não ter um aproveitamento energético adequado desse subproduto. Comprovou-se, também, que a estação pode vir a ter receita extra com a queima do biogás

em motores geradores e, talvez, com passíveis ganhos ambientais a partir de projetos de MDL.

Por fim, como forma de aperfeiçoar o processo de saneamento e aproveitamento energético, sugere-se a instalação de medidores de metano para estudos mais adequados. Outros fatores seriam avaliar economicamente a viabilidade de instalar um motor gerador dentro da estação, assim como a instalação de equipamentos para levantamento de dados, como vazão do efluente, eficiência do biodigestor e eficiência energética.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA-AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**.18.ed.Washington, 1992.

BORGES, E.S.M. **Tratamento térmico de lodo anaeróbio a partir da queima de biogás produzido num reator UASB, objetivando a higienização e a melhoria da disponibilidade e biodegradabilidade da fração orgânica**. 2004. Tese (Doutorado em xxxx)– Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais,Belo Horizonte, 2004.

CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA EM BIOMASSA - CENBIO. **Estimativa do Potencial de Geração de Energia a Partir do Biogás Proveniente da Criação de Suínos nos Municípios da Região Sul**. Atlas de Biomassa: Biogás - Suínos, 2007. Disponível em: <<http://cenbio.iee.usp.br/download/mapasbiomassa/Suinos>>. Acesso em: X mês XXXX.

ATLAS de Bioenergia do Brasil – São Paulo Projeto Fortalecimento Institucional do CENBIO, Convênio 007/2005 – MME, 2011.

CETESB. **Apostilas do curso de Tecnologia de Controle de Poluição por Material Particulado**. São Paulo, 2010.

CERQUEIRA LEITE, R.C. Report for the IUPAP working group on energy – **Energyfrom biomass**. Campinas: NIPE / Unicamp, 2005.

COSTA, C. **Políticas de Promoção de Fontes Novas e Renováveis para Geração de Energia Elétrica: Lições da Experiência Européia para o Caso Brasileiro**. 2006.Tese (Doutorado em Engenharia). Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia- /Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente.

CHERNICHARO, C.A.L. **Reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG. 1997. 246 p.

CHERNICHARO, C. A. de L.Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Reatores Anaeróbios – Vol. 5. 2008.

CONTI. J. B.; ALMEIDA, L.T. **Considerações sobre as mudanças climáticas globais:A inserção dos biocombustíveis na matriz energética brasileira a luz do principio da precaução**. 2009. 98 p. Monografia (graduação em Direito) – Centro de Ciências Jurídicas, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009.

JORDÃO E. P; PESSOA, C.A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 3.ed. Rio de Janeiro: ABES, 1995.

FERNANDES, D., M. **Sustentabilidade no manejo da biomassa residual a partir da inserção da geração distribuída: um estudo de caso da unidade granja Colombari**. 2010. Monografia (graduação em Engenharia Ambiental) - Faculdade União das Américas, Foz do Iguaçu, 2010.

GOOGLE Earth. Versão 4.3.7284.3916 (beta). [S.l.]: Google, 2011.

GENOVESE, A. L., UDAETA, M. M., GALVAO, L. C. R. Aspectos energéticos da biomassa como recurso no Brasil e no mundo. In: **ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL**. Campinas, 2006.

HINRICHS, R. A., KLEINBACH, M. **Energia e Meio Ambiente**. Tradução técnica Flávio Maron Vichi & Leonardo Freire Mello. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003. 543p.

IANNICELLI, L. A. **Reaproveitamento energético do biogás de uma indústria cervejeira**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Taubaté. Taubaté, 2008.

IBGE. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 18 jan 2011.

IEA. **World energy outlook 2006**. International Energy Agency. Paris, 2006.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. **Carbon dioxide capture and storage**. 2007. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/>>. Acesso em: 11 jan 2012.

IPCC, **Guidelines for national greenhouse gas inventories**. Cap. 06 – Wastewater treatment and discharge, 2000. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/>>. Acesso em: 11 jan 2012.

LETTINGA, G.; et al. **High-rate anaerobic waste-water treatment using the UASB reactor under a wide range of temperature conditions**. Biotechnology and Genetic Engineering Reviews. n. 2. 1984. p. 253–284.

PROSAB. **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 464 p.

LETTINGA, G.; A. F. M. VAN VELSEN, S. W.; HOBMA, W.; DE ZEEUW, A. K. **Use of upflow sludge blanket reactor concept for biological waste water treatment, especially for anaerobic treatment**. Biotechnol. Bioengineer. 1980. p. 699-734.

LOURENÇO, L. S.. **Cultivo de Microalgas Marinhas: Princípios e Aplicações**. 2006.

LOUZADA, A. G. **Avaliação da atividade metanogênica específica de lodos com condicionamento hidrolítico provenientes do sistema UASB-BFs**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2006.

MASCARENHAS, L. C. A et al. **Avaliação do desempenho de lagoas de polimento rasas, em série, para o pós-tratamento de efluentes de reator UASB.** Local, Vol. 9,n.1, p. 45-54, jan/mar. 2004.

MARA, D. D. & PEARSON, H. W. Artificial freshwater environments; Waste stabilization ponds. IN: **Biotechnology** – a comprehensive treatise. vol 8, . Weinheim: verlagsgesellschaft, 1986.

METCALF & EDDY. **Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse.** 3. ed. New York: Tata McGraw-Hill, 1995.1334 p.

METCALF & EDDY. **Wastewater engineering: treatment and reuse.** 4 ed. USA, McGraw-Hill Book Company,, 2003, .

MENEGUELLO, L. A.; CASTRO,M. C.O Protocolo de Kyoto e a geração de energia elétrica pela biomassa da cana-de-açúcar como mecanismo de desenvolvimento limpo. **Interações** -Revista Internacional de Desenvolvimento, v. 8, n.1, p. 33-43, Mar. 2007.

MEDRI, W. **Modelagem e otimização de sistemas de lagoas de estabilização para tratamento de dejetos suínos.** 2005.Tese(Doutorado em XXXX) – Escola ou Faculdade, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

OLIVEIRA, R. A. de. **Efeito da concentração de sólidos suspensos do afluente no desempenho e característica do lodo de reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo tratando águas residuárias de suinocultura.** 1997.359 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil, Área de Concentração Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.

PECORA, V. **Implementação de Uma Unidade Demostrativa de Geração de Energia Elétrica a partir do Biogás de Tratamento de Esgoto Residencial da USP.** 2005. 152 f.Dissertação (Mestrado em Energia) -Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo .Guaratinguetá, 2005.

PROSAB. **Digestão de resíduos sólidos urbanos orgânicos e aproveitamento de biogás.** REDE COOPERATIVA DE PESQUISAS. 2003

PROJETO GERAÇÃO DISTRIBUÍDA. **Relatório Técnico Parcial** :Revisão Bibliográfica: Geração Distribuída de Energia Elétrica a Biogás com Saneamento Ambiental. Foz do Iguaçu: FINEP - ITAI, 2009.

ROCHA, M. T. **Aquecimento global e o mercado de carbono: uma aplicação do modelo CERT.** 2003. 214 f. Tese(Doutorado em XXX) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

Resolução CONAMA n. 357. Brasil – Ministério do Meio Ambiente, 17 Jan. 2012.

SALOMOM, K. R. **Avaliação Técnico-Econômica e Ambiental da Utilização do Biogás Proveniente da Biodigestão da Vinhaça em Tecnologias para Geração de**

Eletricidade. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) -Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, 2007

SILVA FILHO, P. A.et al. Diagnóstico construtivo e operacional de lagoas de estabilização. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24., 2007, Belo Horizonte. Anais...Belo Horizonte, 2007.

SILVA, F. M. Utilização do biogás como combustível. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA/ SBEA, 1998. p. 96-125.

SILVA, F. et al. **Avaliação Ecotoxicológica e Histológica de Combustíveis Fósseis e Biocombustíveis Produzidos por CraqueamentoTermo-Catalítico e Transesterificação do Óleo de Soja.**Disponível em: <<http://www.biodiesel.gov.br/docs/congresso2007/armazenamento/10.pdf>>. Acesso em: 11 jan 2012

SNIS – **SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES EM SANEAMENTO.** Diagnóstico dos serviços de água e esgoto. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/>>. Acesso em: 13 mar. 2012.

SOARES, H.M.**Digestão anaeróbia de efluentes de fábricas de cervejas e refrigerantes em reator tipo fluxo ascendente com manta de lodo (UASB).**1990. XXXf.Dissertação (Mestrado em XXXX) - . Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. Local, 1990.

SOUZA, R. G., SILVA, F. M., BASTOS, A. C., **Desempenho de um conjunto motogerador adaptado a biogás.** Lavras, v. 34, n. 1, p. 190-195, jan./fev., 2010.

SPOLAORE, P.; JOANNIS-CASSAN, C.; DURAN, E.; ISAMBERT, A. **Commercial applications of microalgae.** J.Biosci.,Bioeng., v. 101,n., p.87-96, 2006.

TAKAHASHI, T. **The fate of industrial carbon- dioxide.**Science., v. 305, n., p.352 – 353, 2004.

VON SPERLING, M. **Características das águas residuárias:**Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto.Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - Universidade Federal de Minas Gerais, 1995.

_____.**Princípios do tratamento biológico de águas residuárias – lagoa de estabilização.** Belo Horizonte, v. 3,n., mês, 1996.

_____.**Princípio do Tratamento de Esgotos – Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias.** 1.ed., Belo Horizonte, 1998,.

_____. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos.** 2 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - Universidade Federal de Minas Gerais, 2002.

VON SPERLING, M et al. Lagoas de Estabilização. In: GONÇALVES, R.F.(Coord.). **Desinfecção de efluentes Sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003. p. 275-336.

ANEXO A

CLASSIFICAÇÃO DAS ATIVIDADES POLUIDORAS 5																
CLASSE A					CLASSE B					CLASSE C OU FREQUÊNCIA MAIS RESTRITIVA						
DISTRIBUIÇÃO				TRIMESTRAL	DISTRIBUIÇÃO				BIMESTRAL	DISTRIBUIÇÃO				MENSAL/QUINZENAL		
SEMANTAL					SEMANTAL					SEMANTAL						
S1	S2	S3	S4		S1	S2	S3	S4		S1	S2	S3	S4			
							2ª		17 JAN/ 21MAR/ 16 MAI/ 18 JUN/ 19 SET/ 14 NOV*							
												2ª		17 JAN/ 14 FEV/ 21 MAR/ 18 ABR/ 16 MAI/ 20 JUN/ 18 JUL/ 15 AGO/ 19 SET/17OUT/ 14 NOV*/ 12 DEZ*		
							2ª		17 JAN/ 21MAR/ 16 MAI/ 18 JUN/ 19 SET/ 14 NOV*							
	2ª			10 JAN./11ABR./ 11 JUL./ 10 OUT.												
	2ª			10 JAN./11ABR./ 11 JUL./ 10 OUT.												
2ª				01 FER* / 02 MAI / 01 AGO / 07 NOV												
		2ª		14 FEV/ 16 MAI/ 15 AGO/ 14 NOV												
		2ª		14 FEV/ 16 MAI/ 15 AGO/ 14 NOV												
		2ª		14 FEV/ 16 MAI/ 15 AGO/ 07 NOV*												
			2ª	24 JAN/ 25 ABR/ 18 JUL*/ 24 OUT												
		2ª		17 JAN/ 18 ABR/ 18 JUL/ 17 OUT								2ª		17 JAN/ 14 FEV/ 21 MAR/ 18 ABR/ 16 MAI/ 20 JUN/ 18 JUL/ 15 AGO/ 19 SET/17OUT/ 21 NOV*/ 12 DEZ*		
		2ª		21 MAR/ 20 JUN/ 19 SET/ 12 DEZ*												
			2ª	24 JAN/ 25 ABR/ 18 JUL*/ 24 OUT												
			2ª	24 JAN/ 25 ABR/ 18 JUL*/ 24 OUT												
2ª				03 JAN/ 04 ABR/ 04 JUL/ 03 OUT												
	2ª			07 FEV/ 09 MAI/ 08 AGO/ 07												

[illegible]

