



**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA AMBIENTAL
CÂMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS**

LÊDO IVO JOSÉ DE ALMEIDA

**POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS E ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DA
REMOÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA ORIUNDO DE TRATAMENTO DE
ESGOTAMENTO SANITÁRIO NA ETE NORTE – PALMAS-TO.**

**PALMAS-TO
2016**

LÊDO IVO JOSÉ DE ALMEIDA

**POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS E ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DA
REMOÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA ORIUNDO DE TRATAMENTO DE
ESGOTAMENTO SANITÁRIO NA ETE NORTE – PALMAS-TO.**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental Profissional, na área temática: Saneamento e linha de pesquisa: Produção de biogás oriundo de sistema de tratamento de efluente, pela Universidade Federal do Tocantins (UFT), Campos de Palmas-TO. Orientador: DSc. Joel Carlos Zukowski Junior.

**PALMAS - TO
2016**

FOLHA DE APROVAÇÃO

LÊDO IVO JOSÉ DE ALMEIDA

POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS E ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DA REMOÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA ORIUNDO DE TRATAMENTO DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO NA ETE NORTE - PALMAS - TO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Nível Mestrado Profissional, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental. A presente dissertação foi aprovada pela Banca Examinadora composta pelos membros abaixo relacionados:

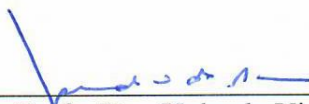
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Joel Carlos Zukowski Junior
Universidade Federal do Tocantins (Presidente)



Prof. Dr. Emerson Adriano Guarda
Universidade Federal do Tocantins



Profa. Dra. Yolanda Vieira de Abreu
Universidade Federal do Tocantins

Aprovada em: 16 de junho de 2016
Local de defesa: Sala 40 do bloco III
Universidade Federal do Tocantins, Campus Universitário de Palmas

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

A447m Almeida, Lêdo Ivo José de.

Matéria orgânica oriundo de tratamento de esgotamento sanitário na ETE Norte – Palmas-TO. / Lêdo Ivo José de Almeida. – Palmas, TO, 2016.

113 f.

Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) Profissional em Engenharia Ambiental, 2016.

Orientador: Joel Carlos Zukowski Junior

1. Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental. 2. Saneamento. 3. Produção de biogás e geração de energia elétrica. 4. Sistema de tratamento de efluente. I. Título

CDD 628

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Dedicatória

Dedico com amor e carinho:

Aos meus pais Sr. Severino Almeida e D. Isaura Almeida, que me apoiaram em todos os momentos da minha vida.

A minha esposa Selma Gardene e minha Filha Lays F. Almeida pelo, carinho e compreensão.

Aos meus irmãos; Leilane, Leilo, Laila e Leive.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, que em sua infinita bondade e misericórdia sempre me ampara e me impele para frente, ajudando-me a vencer as adversidades na busca de meus objetivos;

Ao professor orientador Doutor Joel Carlos Zukowski Junior pelas orientações deste trabalho, que me auxiliou da melhor forma possível para o bom desenvolvimento e conclusão;

Agradeço a Empresa de Saneamento do Tocantins – Odebrecht Ambiental | Saneatins pelo apoio a mim disponibilizado, especialmente pelo técnico em saneamento Edwilson Marques;

Agradeço a Universidade Federal do Tocantins – UFT, por ter me proporcionado essa oportunidade;

Aos meus pais, irmãos e parentes, pela força, carinho e incentivo;

Aos amigos que me acompanharam durante esta jornada, especialmente ao Diogo Pedreira Lima e Ricardo Mateus;

A todos os professores que colaboraram com a minha formação;

Aos colegas do curso de Mestrado pelo companheirismo e apoio diversos a mim ofertado;

Aos ex-colegas de trabalho Eric Nunes e Tânia Helena por ter participado dos diversos momentos dessa caminhada;

Finalmente, agradeço a todos que direta e indiretamente contribuíram na elaboração deste trabalho.

“Todo homem que encontro é superior a mim em alguma coisa.

Por isso, dele sempre aprendo alguma coisa.”

Ralph Waldo Emerson

RESUMO

ALMEIDA, Lêdo Ivo José. **Potencial de produção de biogás e energia elétrica a partir da remoção da matéria orgânica oriundo de tratamento de esgotamento sanitário na ETE Norte – Palmas/TO.** 2016. 113f. Dissertação de Conclusão de Curso (Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Tocantins–UFT, Palmas - TO.

A pressão do homem sobre os recursos naturais vem se intensificando no mundo, e nesse sentido, atualmente tem evidenciado um apelo mais significativo para as questões ambientais e quando possível associar o uso destes ao aspecto econômico. Nessa ótica esse trabalho tem o objetivo de avaliar de forma teórica o potencial de produção de biogás, um subproduto oriundo da digestão anaeróbia, e os aspectos de viabilidade técnica, econômica e ambiental para enquadrá-lo como possível fonte de geração de energia elétrica na ETE Norte/Palmas-TO. Através de aplicação de modelos matemáticos teóricos obteve-se um volume de biogás de $558.232,30 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$, onde foi considerada uma concentração de 70% de metano que corresponde ao volume de $390.762,61 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$. Com esse volume convertido em potencial elétrico resultou em 75kW, equivalendo a 32,8% da demanda de energia elétrica da ETE. A análise de viabilidade econômica considerou dois cenários: receita com e sem venda de crédito de carbono. Com a venda dos créditos de carbono o VPL obtido foi de R\$ 1.399.831,73, a TIR de 47,61% e *Payback* descontado de 2 anos e 6 meses. Já no caso da não adoção da venda dos créditos de carbono, apresentou VPL de R\$ 1.014.270,87 e TIR de 46,48% e *Payback* de 2 anos e 7 meses. Esses valores tiveram como base cálculo a TMA de 12% e vida útil de projeto de 10 anos. Os dois casos garantem viabilidade financeira, porém no caso com a venda de créditos de carbono, vislumbrou-se indicadores financeiros mais atraentes, mesmo considerando o alto investimento na implantação de projetos de MDL.

Palavras-Chave: Biogás, Estação de Tratamento de Esgoto-ETE, Viabilidade, Geração de Energia, Digestão Anaeróbia.

ABSTRACT

ALMEIDA, Lêdo Ivo José. **Biogas production potential and electric energy from the organic matter removal from sanitary sewage treatment on STP North-Palmas/TO.** 2016. 113p. Dissertation of conclusion of course (Master's degree Professional in Environmental Engineering). Federal University of Tocantins-UFT, Palmas/TO.

The pressure on natural resources has been intensifying in the world, and in that sense, currently has evidenced a more significant appeal for environmental issues and when possible to associate the use of these economic aspect. In this perspective this work aims to assess the theoretical potential of biogas production, a byproduct from the anaerobic digestion, and aspects of technical, economic and environmental feasibility to frame it as a possible source of power generation in PTS North/Palmas-TO. Through application of theoretical mathematical models produced a volume of biogas from 558,232.30 m³ year⁻¹, where he was considered a concentration of 70% of methane that corresponds to the volume of 390,762,61 m³ year⁻¹. With this volume converted to electric potential resulted in 75kW, equivalent to 32.8% of the electric energy demand PTS. The economic feasibility analysis considered two scenarios: recipe with and without carbon credit sale. With the sale of carbon credits the NPV obtained was R\$ 1,399,831.73, the IRR of 47.61% and discounted *Payback* of 2 years and 6 months. In the case of non-adoption of the sale of carbon credits, presented in NPV R\$ 1,014,270.87 and IRR of 46.48% and *Payback* of 2 years and 7 months. These values were based on calculating the TMA of 12% and lifespan of 10 years project. The two cases ensures financial viability, but in this case by selling carbon credits, envisioned financial indicators more attractive, even considering the high investment in CDM projects.

Keywords: Biogas, Sewage Treatment Station-STTS, Viability, Energy Generation, Anaerobic Digestion.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Consumo final de energia por fonte no Brasil, ano 2014 e 2015.....	27
Figura 2 - Matriz elétrica brasileira, ano 2014 e 2015.....	28
Figura 3 - Matriz elétrica brasileira a partir da biomassa.	29
Figura 4 - Fases sequenciais da produção de biogás pelo processo de biodigestão anaeróbia.	35
Figura 5 - Fórmula Estrutural da Siloxina.	47
Figura 6 - Biodigestor modelo Indiano.	50
Figura 7 - Biodigestor Chinês.....	51
Figura 8 - Biodigestor tubular com capacidade de 800 m ³	52
Figura 9 - Biodigestor modelo RALF/UASB.....	53
Figura 10 - Turbina a gás e gerador de energia elétrica (Ciclo Brayton aberto e simples).	57
Figura 11 - Princípio de funcionamento da Microturbina Capstone (com recuperação de calor).....	58
Figura 12 - Interior da Microturbina Capstone.....	58
Figura 13 - Desenho esquemático do funcionamento de um motor ciclo Otto.	59
Figura 14 - Representação esquemática do funcionamento de um motor Diesel.....	59
Figura 15 - Ciclo de projeto MDL.....	65
Figura 16 - Fases sequenciais metodológicas.....	66
Figura 17: Visão panorâmica da ETE Norte, Palmas-TO	67
Figura 18: Fluxograma do sistema de tratamento ETE Norte.....	68
Figura 19 - Conjunto motor-gerador	74

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Composição físico-química e respectivo tratamento dos esgotos domésticos.	26
Tabela 2 – Características que compõem as vantagens e desvantagens do sistema de tratamento anaeróbio.	37
Tabela 3 - Composição da mistura gasosa do biogás.	40
Tabela 4 - P.C.I do biogás comparado com outros gases.	43
Tabela 5 - P.C.I. do biogás comparado à outros combustíveis.....	43
Tabela 6 - Tipos de combustíveis e seus respectivos atributos.	44
Tabela 7 - Composição do biogás com sua respectiva variação do poder calorífico.	44
Tabela 8 - Características do Gás Natural Combustível.....	45
Tabela 9 - Tecnologias de remoção de impurezas do biogás.	47
Tabela 10 - Biogás purificado comparado a outros combustíveis.....	55
Tabela 11 - Propriedades físicas do metano, gás carbônico e gás sulfídrico.....	55
Tabela 12 - Tecnologia para geração de energia a partir do biogás.	56
Tabela 13: variáveis fixas para cálculo do volume de biogás	72
Tabela 14: Resumo do volume de biogás / metano acumulado no ano de 2015.....	77
Tabela 15: Resumo do consumo/custo acumulado de energia no ano de 2015	79
Tabela 16: Custos com investimento de equipamentos, materiais e instalações.....	80
Tabela 17: Depreciação de bens e equipamentos.	80
Tabela 18: Custos com manutenção e operação dos equipamentos.	81
Tabela 19: Custos totais de operação e manutenção do sistema de geração de energia.....	81
Tabela 20: Resumo de investimento e custo de M&O, depreciação e receita financeira.....	82
Tabela 21: Análise financeira com inserção da comercialização do crédito de carbono	83

Tabela 22: Evolução dos parâmetros econômicos referente aos dados da tabela 21.	83
Tabela 23: Análise financeira sem adoção da comercialização do crédito de carbono.....	84
Tabela 24: Evolução dos parâmetros econômicos.....	84
Tabela 25: Dados diários de DQO, volume tratado, produção de biogás e potencial elétrico. Ref. Janeiro de 2015.	97
Tabela 26: Dados diários de DQO, volume tratado, produção de biogás e potencial elétrico. Ref. Fevereiro de 2015.	98
Tabela 27: Dados diários de DQO, volume tratado, produção de biogás e potencial elétrico. Ref. Março de 2015.	99
Tabela 28: Dados diários de DQO, volume tratado, produção de biogás e potencial elétrico. Ref. Abril de 2015.	100
Tabela 29: Dados diários de DQO, volume tratado, produção de biogás e potencial elétrico. Ref. Maio de 2015	101
Tabela 30: Dados diários de DQO, volume tratado, produção de biogás e potencial elétrico. Ref. Junho de 2015	102
Tabela 31: Dados diários de DQO, volume tratado, produção de biogás e potencial elétrico. Ref. Julho de 2015	103
Tabela 32: Dados diários de DQO, volume tratado, produção de biogás e potencial elétrico. Ref. Agosto de 2015	104
Tabela 33: Dados diários de DQO, volume tratado, produção de biogás e potencial elétrico. Ref. Setembro de 2015	105
Tabela 34: Dados diários de DQO, volume tratado, produção de biogás e potencial elétrico. Ref. Outubro de 2015	106
Tabela 35: Dados diários de DQO, volume tratado, produção de biogás e potencial elétrico. Ref. Novembro de 2015	107
Tabela 36: Dados diários de DQO, volume tratado, produção de biogás e potencial elétrico. Ref. Dezembro de 2015	108

Tabela 37: Orçamento do abrigo para o conjunto motor-gerador.	109
--	-----

LISTA DE GRÁFICO

Gráfico 1: Produção mensal de biogás gerado na ETE Norte	78
--	----

Gráfico 2: parâmetros climáticos: Precipitação, Temperatura média máxima e media mínima, ano referência 2015.	78
---	----

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

ABC	Agricultura de Baixo Carbono
AND	Autoridade Nacional Designada
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
APU's	Airborne Power Unit
CH ₄	Metano
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CQNUMC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DCP	Documento de Concepção do Projeto
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
GEE	Gases de Efeito Estufa
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GW	Gigawatt
H ₂	Hidrogênio
H ₂ O	Símbolo químico da água
H ₂ S	Gás Sulfídrico
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IN	Instrução Normativa
Kcal/m ³	Quilocaloria por metro cúbico
kg/Nm ³	Quilo por Normal Metro Cúbico
kJ.kg ⁻¹	Quilo Joule por quilo

kPa	Quilo Pascal
kW	Quilowatts
kWh	Quilowatt-hora
m.c.a	Metros de Coluna de Água
m ³	Metro cúbico
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
mg/m ³	Miligrama por metro cúbico
MW	Megawatts
N ₂	Nitrogênio
NH ₃	Amônia
O	Átomo de Oxigênio
O ₂	Oxigênio
°C	Grau Celsius
ONU	Organização das Nações Unidas
PCI	Poder Calorífico Inferior
pH	Potencial Hidrogeniônico
PME	Programa de Mobilização Energética
PPB	Partes por bilhão
PRFV	Poliéster Reforçado com Fibra de Vidro
RALF/UASB	Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)
RCE	Reduções Certificadas de Emissão
tCO ₂ e	Toneladas de carbono equivalente
TIR	Taxa Interna de Retorno
TRC	Período de Recuperação de um Investimento
TWh	Terawatt-hora
UNFCCC	United Nations Framework Convention for Climate Change

US\$	Moeda em dólar
VPL	Valor Presente Líquido
Φ	Diâmetro de tubulação (m)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	OBJETIVOS	21
1.1.1	<i>Objetivos gerais</i>	21
1.1.2	<i>Objetivos específicos</i>	21
1.2	JUSTIFICATIVA.....	22
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	23
2.1	SANEAMENTO BÁSICO NACIONAL.....	23
2.2	ESGOTAMENTO SANITÁRIO	24
2.2.1	<i>Conceituação e características de efluentes domiciliares urbanos</i>	24
2.2.2	<i>Descrição dos processos de tratamento de efluente orgânico</i>	25
2.3	MATRIZ ENERGÉTICA	27
2.3.1	<i>Matriz energética nacional</i>	27
2.4	BIOGÁS.....	29
2.4.1	<i>Biogás no Brasil</i>	31
2.4.2	<i>Mecanismo de formação do biogás</i>	34
2.4.3	<i>Fatores importantes que influenciam diretamente na digestão anaeróbia</i>	37
2.4.4	<i>Composição do biogás como principal produto gerado através da biodigestão anaeróbia</i>	40
2.4.5	<i>Capacidade calorífica do biogás</i>	43
2.4.6	<i>Purificação do biogás</i>	46
2.4.7	<i>Mecanismo de produção do biogás em estações de tratamento de esgotos sanitários</i>	48
2.4.8	<i>Modelos de biodigestores</i>	49
2.4.9	<i>Geração de energia elétrica a partir da conversão do biogás</i>	54
2.4.10	<i>Aspectos técnicos e mecânicos de conversão do biogás em fonte energética</i>	56
2.4.10.1	<i>Turbinas a gás</i>	56

2.4.10.2	<i>Microturbinas a gás</i>	57
2.4.10.3	<i>Motores de combustão interna</i>	59
2.4.11	<i>Aspectos econômicos e ambientais do uso do biogás como fonte energética</i>	60
2.5	MERCADO DE CREDITO DE CARBONO	62
3	METODOLOGIA	66
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO DA ETE NORTE	67
3.2	CÁLCULOS DE ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS	69
3.3	CÁLCULO DO POTENCIAL ELÉTRICO DO BIOGÁS EM KW	71
3.4	DADOS FIXOS DE ENTRADA E SAÍDA PARA REALIZAÇÃO DOS CÁLCULOS MATEMÁTICOS	71
3.5	DIMENSIONAMENTO DO GASÔMETRO	72
3.6	GERAÇÃO DE CRÉDITO DE CARBONO E SUA RESPECTIVA RECEITA	73
3.7	ASPECTOS TÉCNICOS DO CONJUNTO MOTOR-GERADOR.....	73
3.8	ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA	74
3.8.1	<i>Valor Presente Líquido – VPL</i>	74
3.8.2	<i>Taxa Interna de Retorno – TIR</i>	75
3.8.3	<i>Método de depreciação linear</i>	75
3.8.4	<i>Payback</i>	76
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	77
4.1	BIOGÁS PRODUZIDO VS CONVERSÃO EM POTENCIAL ELÉTRICO	77
4.1.1	<i>Volume de biogás relacionado com os parâmetros de pluviometria e temperatura</i>	78
4.2	CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DA ETE VS RECEITA COM METANO.....	79
4.3	CUSTO DE AQUISIÇÃO E MANUTENÇÃO DE BENS, EQUIPAMENTOS E DEPRECIAÇÃO... 79	
4.4	RECEITA DE REDUÇÕES CERTIFICADAS (CREDITO DE CARBONO)	81

4.5	ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA	82
5	CONCLUSÃO	85
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
	APÊNDICE I.....	95
	APENDICE II	97
	APENDICE III.....	109

1 INTRODUÇÃO

Na conjuntura contemporânea onde evidencia-se a necessidade de direcionamento conjunto para desenvolver uma equação que contemple um ambiente social, econômico e ambiental equilibrado, contudo mediante implementações de pequenas ações particularizadas podem determinar um nível substancial para contribuição desse equacionamento. Assim esse trabalho possui características que possibilitam contribuir principalmente com o aspecto ambiental por meio de vínculo informativo e difusivo para ampliar a ótica do desenvolvimento sustentável. Portanto, com a iminente escassez dos recursos naturais é necessário que o processo produtivo contemple em sua cadeia, o aproveitável, reciclando ou reinserindo ao sistema de produção, dirimindo assim a pressão do homem sobre o meio ambiente.

Logo a geração de energia elétrica advinda da transformação do biogás produzido pela digestão anaeróbia nos sistemas de tratamento de efluente é uma tecnologia ainda pouco aproveitada no Brasil, porém com um grande potencial de produção. O uso dessa tecnologia está associado ao custo benefício, onde se leva em conta principalmente o aspecto econômico, o que inviabiliza muitos projetos dessa natureza. Entretanto o aspecto ambiental é extremamente favorável, pois o gás metano lançado à atmosfera causa um impacto correspondente a 21 vezes ao do gás carbônico, ou seja, no momento que o mundo direciona esforços para diminuir a emissão dos gases de efeito estufa (GEE) seria adequado fazer o aproveitamento deste, principalmente pelos múltiplos usos ao qual se destina em forma de energia renovável.

Desta forma, a tecnologia agregada nos atuais sistemas de tratamento de efluente pode obter um nível de eficiência maior, uma vez que a necessidade de saneamento básico, em todos os extratos da população, torna-se necessária e evidente. Associar o saneamento ambiental à exploração do 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 dirimir os impactos ambientais, e valorizar o biogás que representa uma fonte de energia limpa e renovável (FARIA, 2012)

Ainda segundo mesmo autor o Brasil possui múltiplas atividades produtivas com amplo potencial de produção do biogás e conseqüentemente a equivalência no aproveitamento energético. Assim a conversão energética deste pode ser apresentada como uma solução do grande volume de resíduos produzidos nas atividades agrícolas e pecuárias, tratamento de

esgotos domésticos e aterros sanitários. Diminuindo deste modo as emissões tóxicas do metano (CH₄) e aumentando a oferta de energia o que possibilita a geração descentralizada.

O biogás é formado por uma mistura de vários gases, tendo em sua composição a predominância basicamente pelo metano (CH₄) com concentração de 60 a 75% e dióxido de carbono (CO₂) com 30 a 40%, os quais são produzidos na ausência de oxigênio (PECORA, 2006).

A tendência é aumentar a demanda por energia elétrica no Planeta, exigindo assim investimentos com elevados custos financeiros e dispêndio ambiental. Dessa forma o desenvolvimento de novas tecnologias e o aproveitamento de fontes alternativas é uma necessidade estratégica de vários países. No Brasil essa situação não é diferente, apesar de possuir em sua matriz energética a maior concentração de geração por hidroelétricas, mas ainda mantém taxas elevadas de emissões de gás carbônico (SANTOS FILHO, 2010 *apud* LEAL e BRITO, 2012).

Num contexto mundial, projetos de aproveitamento do biogás são utilizados para geração de energia elétrica. Como exemplo, em 1973 surgiu à crise do petróleo, onde desencadeou diversas pesquisas na América do Norte, Suíça, Alemanha e Grécia sendo que, apenas nos Estados Unidos, foram instaladas mais de sessenta unidades, com fundos do governo americano e de empresas privadas ligadas ao uso do gás ou à exploração de recursos energéticos alternativos, entre eles os Aterro de Monterey Park (112.000 m³/ dia de CH₄), de San Fernando (100.000 m³/ dia), de Liosia – Atenas – Grécia (192.000 m³/ dia) (VANZIN, 2006).

O Brasil se destaca no cenário internacional como um importante ator ligado ao Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), um dos instrumentos do Protocolo de Quioto criados para ajudar os países desenvolvidos a alcançar suas metas de redução de emissões de carbono e incentivar financeiramente os países em desenvolvimento (ACARDIS TETRPLAN, 2010).

De acordo com o mesmo autor, no que concerne o potencial de reduções de emissões associado aos projetos de MDL, o Brasil ocupa a terceira posição, sendo responsável pela redução de 375.889.172 tCO₂ e, o que corresponde a 6% do total mundial para o primeiro período de obtenção de créditos, que podem ser de no máximo 10 anos para projetos de período fixo ou de 7 anos para projetos de período renovável (os projetos são renováveis por no máximo três períodos de 7 anos dando um total de 21 anos).

Com os problemas associados à crise energética e ao aquecimento global, vários países têm investido montantes significativos em tecnologias e projetos para o aproveitamento do biogás produzido em estações de tratamento de esgotos. Como recurso renovável, o uso do biogás colabora com a não dependência de fonte de energia fóssil; aumenta a oferta e possibilita a geração descentralizada de energia próxima aos centros de carga; promove economia no processo de tratamento de esgoto, aumentando a viabilidade da implantação de serviços de saneamento básico (ARCADIS TETRPLAN, 2010).

Portanto, neste trabalho foi estimada a produção de biogás da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE Norte), tendo como concessionária a Companhia de Saneamento do Tocantins (Odebrecht Ambiental), localizada na cidade de Palmas-TO. Considerando também a produção de gás metano; os aspectos financeiros de implantação, armazenamento e conversão do biogás em energia elétrica, e *Payback* do projeto.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivos gerais

O objetivo do estudo é quantificar por meio de fórmulas matemáticas, o potencial de geração de energia elétrica proveniente da conversão mecânica do biogás produzido através do processo anaeróbico da decomposição da matéria orgânica do esgotamento sanitário da ETE Norte, Palmas-TO, visando à sustentabilidade ambiental, por se tratar de uma fonte energética de origem renovável e limpa, e com potencial promissor nos âmbitos da matriz energética, ambiental e social.

1.1.2 Objetivos específicos

- * Quantificar o potencial de produção de gás metano através de formulação matemática para capacidade máxima da ETE, considerando como referência os dados do ano de 2015;
- * Avaliar o investimento do capital através do Valor Presente Líquido-VPL;
- * Determinar o espaço temporal através da aplicação do método da Taxa Interna de Retorno-TIR do projeto de implantação de uma usina de transformação do biogás em energia elétrica, e verificar a viabilidade de implantação da mesma;
- * Determinar “*Payback*” através de cálculos o tempo de retorno de investimento no projeto de implantação de uma usina de transformação do biogás em energia elétrica.

1.2 Justificativa

A geração de energia elétrica a partir do biogás parece ser uma alternativa ambientalmente e economicamente viável pela disponibilidade da matéria prima. A presente pesquisa objetiva preencher uma lacuna de conhecimento aplicado nessa área no Estado do Tocantins, pois há necessidade de abordagem desse assunto, visto o potencial de utilização desse tipo energético como fonte limpa e renovável. Com a difusão de conhecimento inerente a esta fonte de energia e tecnologias adequadas podem produzir um eixo energético sustentável, fazendo parte definitivamente da matriz energética mundial e principalmente no Brasil devido características ambientais favoráveis, exemplo, o Estado do Tocantins possui um parâmetro fundamental, a temperatura, para geração mais eficiente do biogás, pois bactérias liberam maior quantidade de gás metano. Logo o potencial de geração dessa energia está associado ao saneamento básico, com origens de tratamento de resíduos oriundos de indústrias, companhias de abastecimento de água e tratamento de esgoto, propriedades rurais com criação de bovinos e suínos e tratamento de resíduos sólidos urbanos, etc.

Considerando também que 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. Todavia, o aproveitamento do gás metano para fins energéticos possibilita diminuir as emissões dos GEE dirimindo assim o agravamento do aquecimento global.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Saneamento Básico Nacional

De acordo com os dados do IBGE (2011), a ausência de saneamento básico no país desencadeiam problemas que compromete a garantia da qualidade de vida da população. Logo o tratamento de esgoto tem a função de minimizar o nível de carga tóxica dos efluentes urbanos, garantindo assim uma devolução em condições adequadas para o corpo receptor. A expansão do saneamento apresenta índice inferior à meta de cobertura desses serviços no Brasil. Todavia há necessidade de implantar sistemas de tratamentos em ritmo mais acelerado para atingir a meta de universalização do esgotamento sanitário.

A abrangência reduzida dos serviços de esgotamento sanitário constitui um quadro precário do serviço. Assim, no ano de 2000, de acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 2011), no Brasil, apenas 52,2% dos municípios possuíam tratamento para os esgotos urbanos, os demais faziam lançamento de efluente *in natura* nos corpos d'água ou no solo. Já em 2008 esse quadro sofreu alteração, 55,1% dos municípios brasileiros possuem rede coletora de esgoto. Entretanto a Região Norte é a que apresenta maiores índices de municípios sem coleta (86,7%), seguido do Centro – Oeste (71,7%), do Sul (60,3%), do Nordeste (54,4%) e Sudeste (4,9%).

Tendo como análise as proporções entre o volume distribuído e o volume de água tratada, observou uma discrepância entre regiões, principalmente da Região Norte com as demais, uma vez que nas Regiões Nordeste, Sudeste, Sul e Centro-Oeste mais de 90% da água distribuída recebe algum tipo de tratamento. A Região Sul, por sua vez, teve um incremento de 10% no volume de água distribuída à população, porém não teve um acompanhamento no percentual de água tratada. Nessa região, a água distribuída à população recebeu tratamento em mais de 90% de seu volume, mas no período esse percentual diminuiu, passando de 94,1%, em 2000, para 91,2%, em 2008.

Conforme dados do Sistema Nacional de Informações em Saneamento (SNIS, 2007), entre os anos de 2000 e 2008, esse cenário sofreu pouca alteração. Mesmo tendo como índice médio de atendimento urbano para o abastecimento de água, 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.

Em detrimento da falta de coleta e tratamento do esgoto, os corpos hídricos sofrem impactos negativos com alto nível de poluição e contaminação devido ao recebimento de

despejos *in natura*. Entretanto a ausência de saneamento no país provoca o surgimento de doenças por veiculação hídrica, etc. Entretanto 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).

A Resolução CONAMA Nº 357/2005 estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Os padrões de lançamento são determinados conforme a classe do corpo receptor, considerando as características físico-químicas distintas, concentração de oxigênio dissolvido, cor, turbidez, material flutuante, carga orgânica, entre outras. Portanto, para atendimento desses aspectos os sistemas de tratamento de efluentes devem possuir eficiência condizente aos critérios mínimos exigidos pela Resolução.

2.2 Esgotamento Sanitário

2.2.1 Conceituação e características de efluentes domiciliares urbanos

As águas residuais de origem doméstica, ou com características similares, são denominadas esgotos sanitários ou simplesmente esgotos. E são compostos por diversos constituintes, onde são caracterizados e reunidos em quatro grupos: sólidos em suspensão, matéria orgânica, nutrientes e organismos patogênicos. Estes constituintes lançado em excesso ou inadequadamente causa danos graves ao meio ambiente, especificamente nos corpos receptores, provocando um fenômeno denominado eutrofização, excesso de nutriente no corpo hídrico, além de possibilitar o agravamento à saúde pública por meio de transmissão de doenças (CENBIO, 2004 *apud* COSTA, 2006).

A origem do esgoto está relacionada ao descarte de diversas fontes como humana, industrial ou pluvial (água das chuvas). São encontrados também nos esgotos domésticos resíduos sólidos, os quais lançados indevidamente, sendo que o acondicionamento adequado seria em recipiente apropriado. Os resíduos usualmente percebidos são: absorventes, preservativos, trapos etc, (PEREIRA, 2004).

Nos esgotos também são encontrados concentrações variáveis de gases dissolvidos, sendo o oxigênio (presente na água antes de sofrer diluição) um dos mais importantes entre eles, o gás carbônico (resultante da decomposição da matéria orgânica), o nitrogênio, o gás sulfídrico e o metano. Os organismos vivos contido no esgoto, sendo a maioria microscópica, como as bactérias, são causadores de doenças (organismos patogênicos), configurando como um aspecto prejudicial ao homem, mas por outro lado esses microorganismo são seres

importantíssimo na colaboração do processo de tratamento, sendo a sua presença fundamental para a depuração dos resíduos (VON SPERLING, 1996).

Na composição do esgoto a água apresenta-se como elemento predominante em quantidade, aproximadamente, 99,9%, o restante correspondente a 0,1% são sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, bem como microorganismos. Portanto, é devido a essa fração de 0,1% que há necessidade de realizar o tratamento de águas residuárias (CHERNICHARO, 2007).

2.2.2 Descrição dos processos de tratamento de efluente orgânico

O processo de tratamento de efluente é definido pelas suas características, e que normalmente são divididos em dois aspectos, químico e biológico. Assim o sistema de tratamento de efluentes deverá promover a remoção dos sólidos em suspensão, a matéria orgânica, os nutrientes e alguns tipos de organismos patogênicos. O que gera a garantia de devolução do efluente em condições adequadas aos corpos hídricos, evitando assim inúmeros danos à saúde pública e ao meio ambiente (VON SPERLING, 1995).

Para o mesmo autor atualmente existem diversas tecnologias para depuração do efluente. Segue etapas do processo de tratamento que são divididos em:

- * Preliminar – remoção de sólidos grandes 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, ainda, a ocorrência de abrasão nos equipamentos e tubulações e facilita o transporte dos líquidos. Os elementos estruturais capazes de realizar a retenção desses materiais são as grades e caixas de areia, que impedem a passagem de materiais suspensos como: trapos, papéis, pedaços de madeira, sólidos sedimentáveis, etc.; e os tanques de flutuação servem para retirada de óleos e graxas em casos de esgoto industrial com alto teor destas substâncias.
- * Primário – os esgotos ainda contêm sólidos em suspensão de porte pequeno cuja remoção pode ser feita em unidades de sedimentação, reduzindo a quantidade de matéria orgânica contida no efluente. Os sólidos sedimentáveis e 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. Todavia nesta fase a eliminação média da DBO, é de 30%.

- * Secundário – sobrevém, 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 redução da DBO deve alcançar 90%. É a etapa da 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 - nas fases anteriores grande parte dos microorganismos patogênicos foram eliminados, porém não a sua totalidade. Todavia há necessidade de realizar a desinfecção total, que pode ser feita por processo natural, como a lagoa de maturação, ou por 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 torna uma desvantagem para os grandes centros urbanos, os quais necessitam de uma ampla área disponível.

Na fase secundária, especialmente nos digestores, durante o processo de oxidação da matéria orgânica, que ocorre a liberação de biogás. Geralmente, parte dele é aproveitada como combustível, muitas vezes, para abastecer equipamentos da própria estação de tratamento como, por exemplo, os secadores térmicos (CHERNICHARO, 2007).

Na tabela 1, Nuvolari (2003) *apud* Zilotti (2012) expõe a composição simplificada dos esgotos domésticos, as características dos materiais e das etapas para o respectivo tratamento de cada processo.

Tabela 1 - Composição físico-química e respectivo tratamento dos esgotos domésticos.

Percentual médio	Descrição	
99,9% de água	Água de abastecimento utilizada na remoção de esgoto das economias e residências	
0,1% de sólidos	Sólidos Grosseiros	Gradeamento
	Areia	Caixa de areia/Desarenador
	Sólidos sedimentáveis	Decantação primária
	Sólidos dissolvidos	Processos biológicos

Fonte: Nuvolari (2003) *apud* Zilotti (2012).

2.3 Matriz Energética

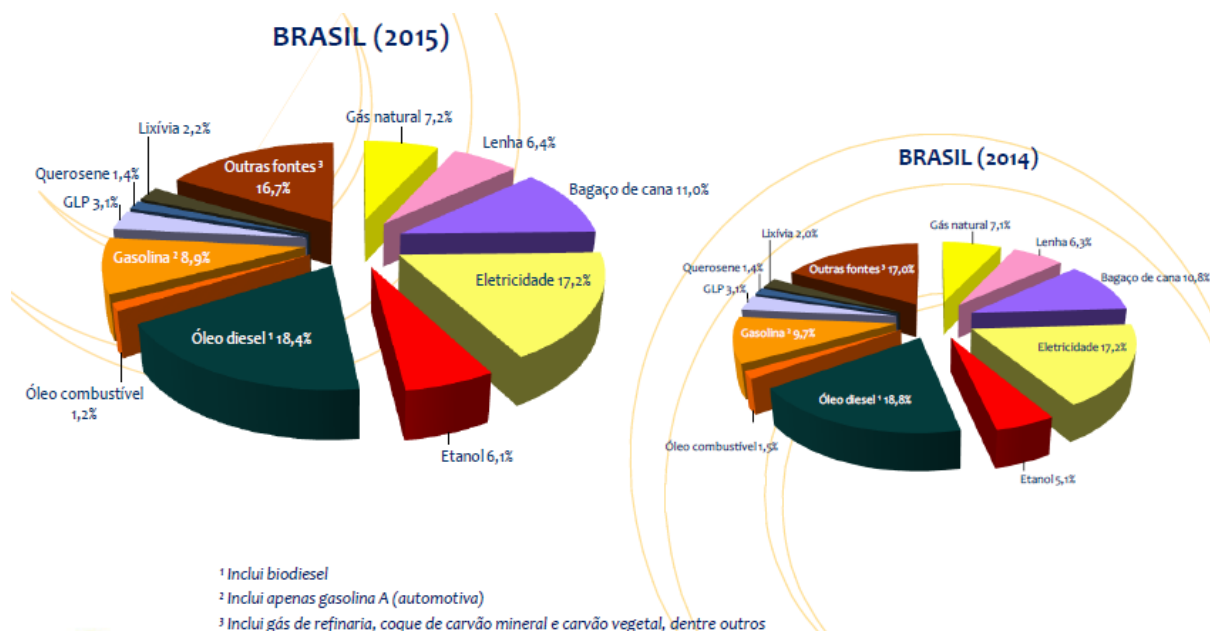
A matriz energética demonstra o quadro de geração e consumo de energia, ou seja, representa a quantidade de recursos energéticos ofertados por um país ou por uma região. É utilizada como instrumento para o Planejamento Energético do País e fundamental para se estabelecer políticas que promovam a competitividade (BUENO, 2013).

Segundo Cardoso (2014) *apud* Secchi (2014), existem ampla variedade de fontes energéticas, que são classificadas em renováveis e não renováveis. A fonte energia renovável é aquela obtida a partir de recursos naturais que não se esgotam com o uso, enquanto a fonte de energia não renovável é produzida através de recursos que não podem ser recompostos nem pelo homem nem pela natureza, esgotando-se à medida que são explorados.

2.3.1 Matriz energética nacional

De acordo com Ministério de Minas e Energia do Brasil (2014), através de sua EPE em seu relatório síntese do ano base de 2015 sobre balanço Energético Nacional 2016, com referência a figura 1, mostra o consumo final de energia por fonte no Brasil no ano 2014 e 2015, e que evidencia na matriz energética que o país ainda possui uma grande dependência de combustíveis fósseis.

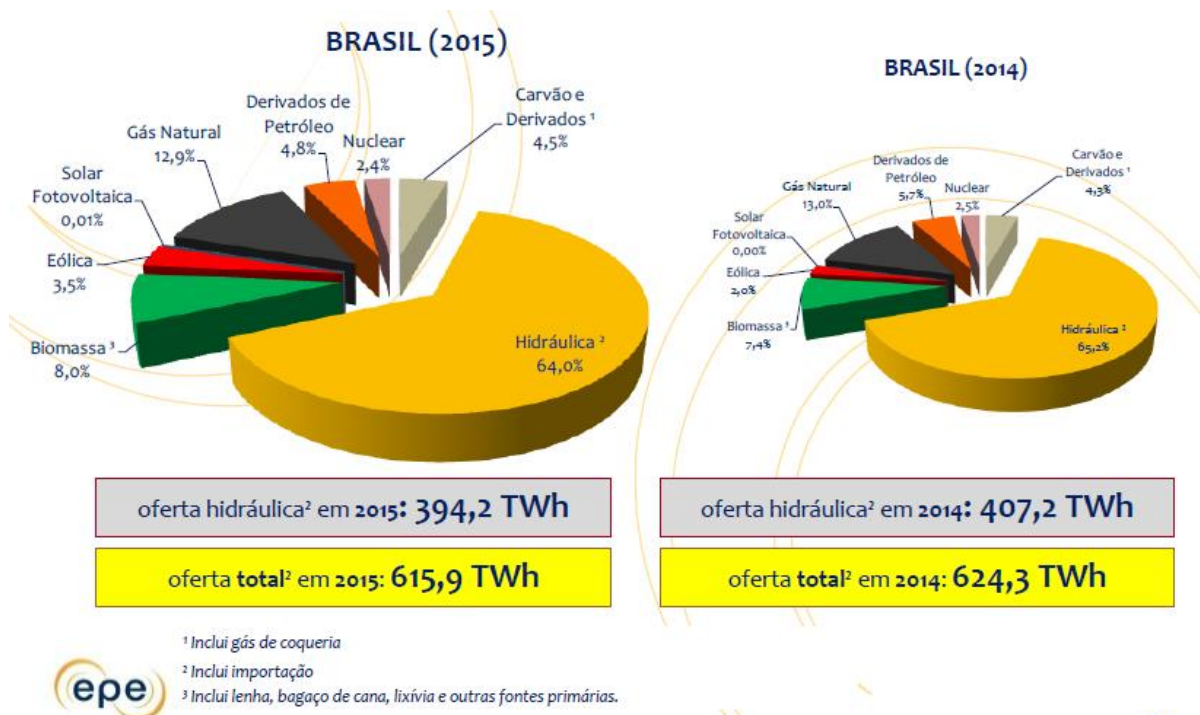
Figura 1 - Consumo final de energia por fonte no Brasil, ano 2014 e 2015.



Fonte: Balanço Energético Nacional, 2016.

Já a figura 2 que representa a matriz elétrica Brasileira, sendo que essa matriz corresponde à parte eletricidade do consumo final da matriz contida na figura 1 com equivalência de 17,2%. Nessa ótica observa-se que a energia elétrica gerada pela biomassa, a qual o biogás é constituinte, corresponde apenas 8,0% do total. Sendo assim possui representação bastante inferior comparada a energia elétrica gerada pela hidráulica, ou seja, é uma porta aberta para fomentar a geração de energia a partir da biomassa, pois o Brasil possui um alto potencial para produção de combustível provenientes da biomassa.

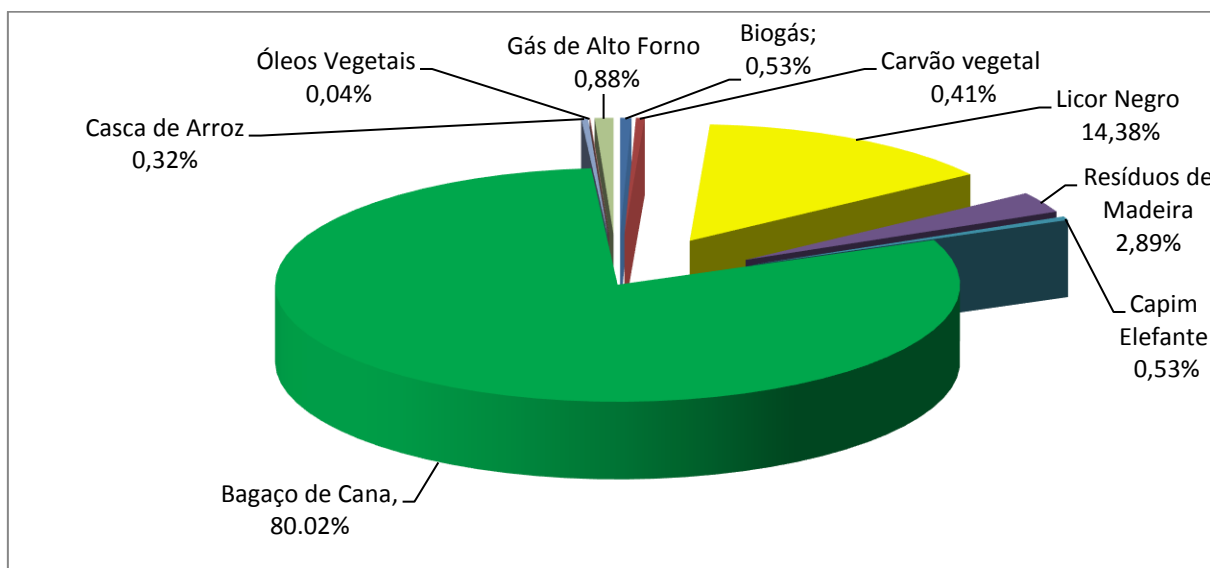
Figura 2 - Matriz elétrica brasileira, ano 2014 e 2015.



Fonte: Balanço Energético Nacional, 2016.

Na Figura 3, pode-se verificar a matriz elétrica brasileira a partir da biomassa, com referência ao ano de 2015, sendo gerada por 506 usinas, com um potencial elétrico de 12,41 GW (ANEEL, 2015). Essa figura corresponde à parte biomassa, da Figura 2, que é de apenas 8,0% da matriz elétrica brasileira no ano de 2015. Nesse espectro, observa-se que a energia elétrica gerada pelo biogás, corresponde à apenas 0,53% do total, ou seja, é muito inferior comparada à energia elétrica gerada pelo bagaço de cana e comparada ao cenário total (figura 1). Indubitavelmente a energia elétrica brasileira proveniente do biogás ainda é considerada insipiente comparada às demais, desta forma, oportunizando investimentos em pesquisas e a necessidade de esforço político, para acelerar o desenvolvimento desse campo (CENBIO, 2012).

Figura 3 - Matriz elétrica brasileira a partir da biomassa.



Fonte: ANEEL Informações Gerenciais, 2015.

2.4 Biogás

Biogás é o nome dado a qualquer gás que foi produzido pela quebra biológica da matéria orgânica na ausência de oxigênio. É uma mistura gasosa composta principalmente de gás metano (CH_4) e gás carbônico (CO_2), com quantidades menores de gás sulfídrico (H_2S) e umidade, porém a proporção desses gases depende de algumas variáveis, como tipo de biodigestor e o substrato a digerir. O biogás é oriundo da fermentação anaeróbia de material orgânico proveniente de resíduos animais e vegetais, lodo de esgoto, lixo ou efluentes industriais, como vinhaça, restos de matadouros, curtumes e fábricas de alimentos (CENBIO, 2004).

A composição característica do biogás é cerca de 60% de metano, 35% de dióxido de carbono e 5% de uma mistura de hidrogênio, nitrogênio, amônia, ácido sulfídrico, monóxido de carbono, aminas voláteis e oxigênio (WEREKO-BROBBY; HAGEN, 2000).

A eficiência do processo de fermentação está associada à influência dos aspectos de carga orgânica, pressão e temperatura, sendo que o metano pode representar cerca de 40% e 80% da composição do biogás (PECORA, 2006).

Em meados do século XVII, especificamente em 1667 o biogás, conhecido como “gás dos pântanos” foi descoberto por Shirley (CLASSEN; LIER; STAMRS, 1999). Apenas um século mais tarde que se volta a reconhecer a presença de metano no gás dos pântanos, atribuído a Alessandro Volta, em 1776. Já no século XIX, Ulysse Grayon, aluno de Louis Pasteur, realizou a fermentação anaeróbia de uma mistura de estrume e água, a 35 °C,

conseguindo obter 100 litros de gás por m³ de matéria (NOGUEIRA, 1986). Em 1884, Louis Pasteur, ao apresentar os trabalhos do seu aluno à Academia das Ciências, considerou que essa fermentação poderia se constituir uma fonte de aquecimento e iluminação.

A Índia foi o primeiro país a aproveitar o gás metano produzido por meio do processo de digestão anaeróbica, no ano de 1859 foi visto a primeira experiência de utilização direta com o biogás, numa colônia de leproso, em Bombaim. A primeira experiência europeia com a utilização do biogás se deu por volta de 1895 com a iluminação de algumas ruas da cidade de Exter, na Inglaterra, onde esta foi vitrine para implementar outras experiências, causadas principalmente pelo alento inicial que este processo alcançou. Entretanto essa fonte energética não foi adiante como sendo o substituto das fontes tradicionais, tendo seu uso bastante reduzido, limitando-se a ser utilizado em alguns casos esporádicos. Logo após a segunda guerra mundial, em 1940, o biogás retomou seu uso, na forma de gás de cozinha, aquecimento das casas, ou ainda para alimentação de motores de combustão interna, devido à redução de oferta energética nesse período (PIRES, 1996).

Com oferta significativa de fontes de energia tradicionais entre os períodos de 1950 e 1970, desestimulou a recuperação do biogás na maioria dos países desenvolvidos, e apenas em países com poucos recursos de capital e energia, como a Índia e a China, o biogás desempenhou um papel importante, sobretudo em pequenos aglomerados rurais. Porém, a partir da crise energética dos anos 1970, o gás metano dos digestores anaeróbicos voltou a despertar o interesse geral conduzindo a um aumento da sua produção nos países europeus. Esforços não têm sido medidos para a solução, embora distante, desses problemas e, o tratamento de resíduos, principalmente os que lançam mão de métodos biológicos, tem recebido atenção especial (CAETANO, 1995).

Até pouco tempo, o biogás era simplesmente encarado como um sub-produto, obtido a partir da decomposição anaeróbica de lixo urbano, resíduos animais e de lamas provenientes de estações de tratamento de efluentes domésticos. No entanto, o acelerado desenvolvimento econômico dos últimos anos e a subida acentuada do preço dos combustíveis convencionais têm encorajado as investigações na produção de energia a partir de novas fontes alternativas e economicamente atrativas, tentando sempre que possível, criar novas formas de produção energética que possibilitem uma economia ou conservação dos recursos naturais esgotáveis (ICLEI, 2009).

A energia produzida no biodigestor, o gás metano, possui múltiplos usos como em fogão doméstico, lampião, geladeira e também terá combustível para funcionamento de

motores de combustão interna, chocadeira, secadores de grãos, energia elétrica e ainda “promoverá a devolução de produtos vegetais ao solo através de biofertilizante” (AMBIENTE BRASIL, 2008).

O gás metano, CH₄, é o principal componente do biogás, sua combustão completa libera energia, principalmente na forma de calor, que pode ser aproveitada para diversas finalidades. A reação química abaixo representa a combustão completa do gás metano.



De acordo com Costa (2006), atualmente, o biogás não é percebido apenas como um subproduto, gerado a partir da decomposição anaeróbia, mas surge como um forte elemento motivador de pesquisas, que buscam formas de produção energética que possibilitem a redução do uso dos recursos naturais não renováveis.

2.4.1 Biogás no Brasil

O processo de biodigestão anaeróbia gera biogás, que pode ser convertido em gás de cozimento, energia elétrica e biofertilizante, sendo que essa tecnologia há muito tempo é bastante difundida nos países asiáticos, a exemplo da China e da Índia.

a) Primeiro ciclo do uso do biogás:

No Brasil, o interesse pelo biogás começou com a crise do petróleo na década de 1970. Na casa oficial do governo federal, Granja do Torto, em novembro de 1979, foi construído um dos primeiros biodigestores do país. Foi um momento importante, pois esse projeto evidenciou ser possível a instalação de uma unidade produtora de biogás com a utilização de materiais simples e de baixo custo, além disso, incentivou o próprio governo no início da década de 1980, no contexto do Programa de Mobilização Energética – PME), a estimular a sua instalação em propriedades rurais, principalmente entre os suinocultores com ênfase na geração de energia, produção de biofertilizante e redução do impacto ambiental. Esse programa governamental tinha a premissa de reduzir a dependência das pequenas propriedades rurais na aquisição de adubos químicos e de energia térmica para os diversos usos (cozimento, aquecimento, iluminação e refrigeração), bem como, reduzir a poluição causada pelos dejetos animais e aumentar a renda dos criadores (ICLEI, 2009).

Nesse período foram instalados cerca de 7 mil biodigestores nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. No entanto, problemas operacionais relacionados em especial a falta de informações e treinamento tornaram o sistema de baixa eficiência, fazendo com que muitos

produtores rurais abandonassem a tecnologia. Este foi primeiro ciclo da utilização do biogás no Brasil (BGS, 2012).

No final da década de 1990, uma nova mobilização, envolvendo o interesse pelo biogás, começou a surgir, motivado pelo advento do mercado de créditos de carbono oriundos de processos de anaerobiose no mercado de carbono via MDL (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo) (ETCHECOIN, 2000).

b) Segundo ciclo do uso do biogás:

Teve início em meados dos anos 2000 principalmente em 2005, quando da ratificação da Rússia no protocolo de Quioto, gerou euforia, principalmente, no setor agropecuário, na perspectiva de que os projetos e as Reduções Certificadas de Emissão - RCE por si só viabilizariam os empreendimentos por estar associado ao promissor mercado de créditos de carbono, onde houve mobilização de recursos para a construção de biodigestores, em especial em propriedades rurais com criação de suínos de médio e grande porte, visando à coleta e combustão do biogás (ZILOTTI, 2012).

Estima-se que entre 2005 e 2013 foram instalados no Brasil cerca de 1.000 biodigestores considerando os incentivos financeiros dos créditos de carbono, porém a flutuação dos preços recebidos na comercialização das RCEs, tem reduzido à expectativa de expansão do uso do biogás (BGS, 2013).

Conforme o mesmo autor, nota-se neste ciclo um grande avanço no campo tecnológico, e não diferente do primeiro ciclo, um grande potencial desta fonte energética. Este entendimento é compartilhado pelo governo brasileiro, pois a produção deste gás não se restringe apenas à geração de energia, mas reflete também no aspecto ambiental e na produção agrícola, visto a ênfase e necessidade de melhoria destes reivindicada pela sociedade mundial. Assim o Brasil tem disponibilizados incentivos especiais para a construção e aquisição de biodigestores, como o Programa Agricultura de Baixo Carbono, ou Programa ABC, e o Pronaf ECO, para agricultura familiar.

Verifica-se, que hoje a instalação de biodigestores e o uso de biogás é uma tecnologia bastante avançada, conhecida, desenvolvida e com um grande potencial de aplicação no mundo, como na China e na Índia, onde já vem sendo adotado a mais de meio século. Entretanto o Brasil, cuja identidade é o agronegócio, ainda possui um pequeno número de unidades instaladas quando comparado com os países asiáticos citados (BGS, 2013).

No tocante a produção de energias a partir de biomassa, o Brasil se apresenta como um dos líderes mundial, apesar disso, o cenário evidencia alguns gargalos que podem afetar produções como a do biogás. O investimento das políticas públicas como fomento seria um passo importante para garantir a manutenção dos sistemas de fabricação do biogás, além de manter a liderança do país no cenário internacional (ENEGEP, 2012).

O biogás possui potencial para se tornar um dos três grandes combustíveis do Brasil. Por isso, o seu progresso tem papel importante no equilíbrio entre as fontes de energia nacionais, principalmente diante do aumento no consumo de eletricidade (FRAGMAQ, 2012).

Atualmente, o Governo Brasileiro tem se empenhado para manter o equilíbrio entre as suas fontes de energia renováveis e tradicionais. As iniciativas para a produção do biogás no Brasil ainda são lentas, principalmente quando é feito um comparativo com o panorama internacional. A expectativa é que o investimento neste setor resulte em reflexos significativos na matriz energética do país. Como impulso, que na data de 15 de dezembro de 2009, a Agência Nacional de Energia Elétrica- ANEEL publicou a Instrução Normativa - IN 390/09, e por meio desta estabelece a imprescindível regulamentação do Decreto Lei 5163/04, que institui a Geração Distribuída no Brasil (FRAGMAQ, 2012).

Geração Distribuída é uma expressão usada para designar a geração elétrica realizada junto ou próxima do consumidor independente da potência, tecnologia e fonte de energia. Essa modalidade de geração descentralizada passa a complementar o sistema convencional. A IN 390/09 refere-se, exclusivamente, à Geração Distribuída com biogás e saneamento ambiental (INEE, 2016).

Quando o assunto são as emissões de gases do efeito estufa, o setor de energia fica entre as principais preocupações do Brasil. A saída para reduzir esse impacto pode ser encontrada, também, no desenvolvimento do biogás, que além de renovar a matriz energética brasileira, pode colaborar com a ampliação dos estudos em energias renováveis. Entretanto algumas situações favoráveis surgem no país para início dessa mudança, foi criado recentemente no Paraná, o Centro de Estudos do Biogás, que nasce com a promessa de gerar dados científicos sobre toda a cadeia de suprimentos do biogás no Brasil. O Centro possui um laboratório, onde são realizados experimentos para ilustrar o desempenho desse gás na geração de energia elétrica e estimular a importância desse combustível para o equilíbrio das energias renováveis (FRAGMAQ, 2012).

2.4.2 Mecanismo de formação do biogás

A digestão anaeróbia como processo de fermentação que gera o metano, teve seu uso inicial como sistema simplificado de tratamento de águas residuárias em pequenos aglomerados urbanos ou comunidades rurais, conhecido como "fossas sépticas", estas eram utilizadas para tratar resíduos oriundos da indústria agro-alimentar ou agropecuária. No decorrer do tempo, principalmente em países desenvolvidos esses sistemas de tratamento de esgoto obtiveram uma evolução tecnológica significativa e grau de complexidades sistêmicas mais elevadas. No final do século XX os digestores e suas tecnologias começaram a serem empregadas para realizar a estabilização das lamas resultantes da sedimentação primária e do tratamento biológico aeróbio dos esgotos (COSTA, 2006).

A digestão anaeróbia é um processo realizado por várias espécies de bactérias na ausência de oxigênio, onde atacam a estrutura dos compostos orgânicos complexos, para transforma-los em compostos simples, como metano, dióxido de carbono, sendo que os outros elementos, amônia, sulfetos e fosfatos, caracterizados como subprodutos ficam contidos na solução aquosa, que simultaneamente estrai energia e compostos necessários para o seu próprio desenvolvimento (VAN HAANDEL, 1994).

Varias substâncias químicas são geradas pela transformação da matéria orgânica na transcorrência da fermentação anaeróbia, processa-se por meio de uma cadeia de degradações sucessivas devidas as diferentes espécies de bactérias. Para os processos de fermentação, distinguem essencialmente em duas fases. A primeira fase é uma transformação das moléculas orgânicas em ácidos graxos, sais ou gás. A segunda é a transformação destes numa mistura gasosa essencialmente constituída por metano e dióxido de carbono (ZILOTTI, 2012).

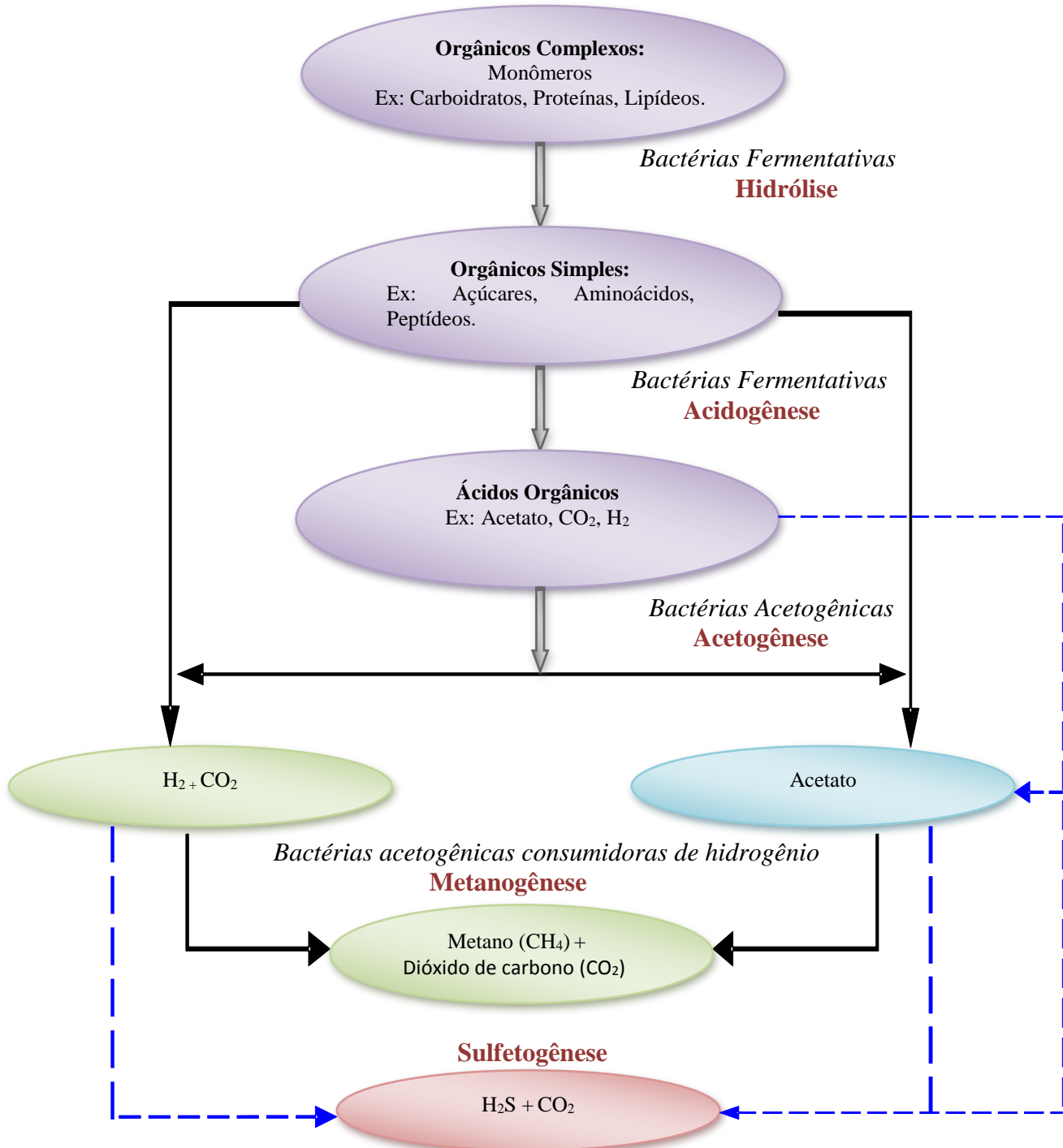
A figura 4 mostra as diferentes fases do processo de digestão anaeróbia ou degradação anaeróbia.

HIDRÓLISE: consiste na primeira fase do processo de degradação anaeróbia e 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 (MORGENROTH *et al*, 2002).

ACIDOGÊNESE: os compostos formados na fase 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. Ácidos graxos voláteis são considerados os principais produtos dos organismos fermentativos, assim estes são denominados de bactérias fermentativas acidogênicas.

Figura 4 - Fases sequenciais da produção de biogás pelo processo de biodigestão anaeróbia.



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

ACETOGÊNESE: As bactérias acetogênicas são responsáveis pela oxidação dos produtos gerados na fase acidogênica em substrato apropriado para as bactérias metanogênicas. Sendo que 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 (CHERNICHARO, 2008).

Conforme o mesmo autor, na 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.

METANOGENÊSE: nesta etapa caracterizada como a parte final do processo global de degradação anaeróbia de compostos orgânicos em metano e dióxido de carbono; sendo realizada pelas bactérias metanogênicas. Estas utilizam apenas um limitado número de substratos, como: ácido acético, hidrogênio, dióxido de carbono, ácido fórmico, metanol, metilaminas e monóxido de carbono. Sendo elas divididas em dois grupos principais: o primeiro dar-se a formação do metano a partir de ácido acético ou metanol, e o segundo o metano é gerado a partir do hidrogênio e dióxido de carbono. Esse processo é removido fisicamente da fase líquida e é emitido na fase gasosa juntamente com outros gases formados ou presentes no reator (CARON et al, 2009).

No processo de digestão anaeróbia algumas substâncias indesejadas contida no efluente não são eliminadas, como microrganismos patogênicos e nutrientes. O objetivo inicial desse processo no reator anaeróbio é a remoção de matéria orgânica na fase de pré-tratamento, após a biomassa digerida poderá 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 2 é apresentada uma comparação entre as principais vantagens e desvantagens do uso de sistemas de tratamento anaeróbio para o manejo da biomassa residual.

Tabela 2 – Características que compõem as vantagens e desvantagens do sistema de tratamento anaeróbio.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Baixa produção de sólidos, cerca de 5 a 10 vezes inferior à que ocorre nos processos aeróbios; • Baixo consumo de energia, usualmente associado a uma elevatória de chegada. Isso faz com que os sistemas tenham custos operacionais muito baixos; • Baixa demanda de área; • Baixos custos de implantação, de ordem de R\$ 20 a 40 <i>per capita</i>; • Produção de metano, um gás combustível de elevado teor calorífico; • Possibilidade de preservação da biomassa, sem alimentação do reator, por vários meses; • Tolerância e elevadas cargas orgânicas, podendo ser aplicado em pequena e grande escala e há baixo consumo de nutrientes. 	<ul style="list-style-type: none"> • As bactérias anaeróbias são susceptíveis à inibição por um grande número de compostos; • A partida do processo pode ser lenta, na ausência de lodo de semeadura adaptado; • Alguma forma de pós-tratamento é usualmente necessária; • A bioquímica e a microbiologia da digestão anaeróbia são complexas; • Possibilidade de geração de maus odores, porém controláveis; • Possibilidade de geração de efluente com aspecto desagradável; • Remoção de nitrogênio, fósforo e patógenos insatisfatória.

Fonte: Chernicharo et al, 2001 *apud* Fernandes , 2010.

2.4.3 Fatores importantes que influenciam diretamente na digestão anaeróbia

Segundo Chernicharo (2007), os fatores que influenciam a performance da digestão anaeróbia de água residuária são: (i) os fatores ambientais (temperatura, alcalinidade, pH e nutrientes) e (ii) outros fatores (impermeabilidade do ar, teor da água, capacidade de assimilação de carga tóxica, transferência de massa, sobrecarga hidráulica e atividade metanogênica). Abaixo são conceituados os de maior relevância.

- a) **Temperatura:** É um fator decisivo na digestão anaeróbia, uma vez que afeta os processos de degradação biológica, o volume de produção de gás, e de biofertilizantes. As bactérias produtoras do biogás, especialmente as que produtoras de metano, são muito sensíveis a alterações de temperatura. 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 psicrofílicas < 20 °C;
- * Mesofílicas 20 °C a 45 °C;
- * Termofílicas > 45 °C.

Assim, segundo Soares (1990), a instabilidade do processo ocorre com variação da temperatura e também em faixa termofílica, esse modo de operação pode levar o sistema ao colapso. O grupo de bactérias metanogênicas são as mais sensíveis à influências da temperatura. A faixa ideal para a produção de biogás é mesofílica, com a faixa de temperatura variando há a flutuação nos resultados do processo final de produção do gás. Por apresentar um intervalo de temperatura muito restrito de operação, pode também causar o aumento de ácidos voláteis através de baixas temperaturas, e conseqüentemente uma queda de pH.

A velocidade das reações biológicas é maior quando em temperaturas altas, 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 ocorre em baixas temperaturas (10°C), porém a eficiência e a carga orgânica tende a diminuir 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.

- b) **pH:** Alteração deste 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. As bactérias que produzem o metano apresenta boa performance de crescimento quando situado numa faixa de pH entre 6,6 e 7,4. Contudo, a estabilidade da produção de metano pode ser mantida com um pH entre 6,0 e 8,0. A faixa de pH ótima é o resultado das diversas reações que ocorrem. Caso o processo se mantenha dentro das condições de normalidade, o pH se manterá próximo à neutralidade, não afetando a eficiência da geração de biogás. Entretanto, o surgimento de 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).

- c) **Composição química do resíduo:** Substâncias orgânicas de fácil biodegradabilidade, como os carboidratos, proteínas e lipídeos, onde possibilitam maior produção de metano que as substâncias de difícil degradação, como celulose, lignina e compostos artificiais (CHERNICHARO, 2007).
- d) **Impermeabilidade ao ar:** As bactérias metanogênicas são essencialmente anaeróbias, portanto, o biodigestor deve ser perfeitamente vedado. A atividade de decomposição da matéria orgânica na presença de ar (oxigênio) produzirá apenas dióxido de carbono (CO₂) (PROSAB, 2003).
- e) **Produção e consumo de ácidos orgânicos:** A depender do valor do pH no processo de biodigestão anaeróbia, pode promover a produção de ácidos graxos e a degradação de seus compostos em metano, pois estes têm associação direta. Quando é prejudica a digestão anaeróbia em condições ótimas advém um acréscimo na concentração de ácidos voláteis, o que gera um desequilíbrio do processo. Durante certo tempo as substâncias que exercem tamponamento (alcalinidade do meio) impedem a queda do pH. Mas quando for neutralizado pelos ácidos voláteis é que ocorrerá a queda do pH (CHERNICHARO, 2007).
- f) **Alcalinidade:** A alcalinidade é um parâmetro extremamente importante para a digestão anaeróbia e que representa uma medida quantitativa de carbonato na solução advindo do CO₂. A alcalinidade possui relação de considerável importância, pois conforme as bactérias produzem dióxido de carbono e ácidos, consiste na redução do valor do pH, o carbonato/bicarbonato absorvem esses ácidos, inibindo grandes flutuações de pH (efeito tampão). Quando a quantidade de ácidos voláteis presentes é pequena, a alcalinidade total é, praticamente, igual à alcalinidade em bicarbonato. Quando os ácidos voláteis aumentam, eles são neutralizados pela alcalinidade em bicarbonato (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994).
- g) **Acidez:** Esse parâmetro está diretamente associado com o pH e com a alcalinidade no processo anaeróbio. Uma alta produção e acúmulo de ácidos voláteis pode consumir rapidamente a alcalinidade do meio e causar a redução do pH. Um exemplo disso é a biodigestão de soro de leite, que pela degradação causa acidificação do meio (PROSAB, 2003).
- h) **Nutrientes:** Para populações microbianas os principais nutrientes, em ordem decrescente de importância, são: nitrogênio, fósforo, enxofre, ferro, níquel, cobalto, molibdênio,

selênio, riboflavina e vitamina B12. Não é considerando necessário, para resíduos de animais, fazer suplementação de nutrientes para a biodigestão anaeróbia (CHERNICHARO, 2007).

- i) **Teor de água dentro do biodigestor:** Para um bom funcionamento, deve variar de 60% a 90% do peso do conteúdo total. No caso de dejetos humanos o processo pode ser aplicado, no entanto haverá um elevado teor de água (99%). Porém, os reatores são desenvolvidos para trabalharem com esse teor de água (PROSAB, 2003).

2.4.4 Composição do biogás como principal produto gerado por meio da biodigestão anaeróbia

O biogás é um produto gerado no processo de decomposição anaeróbia (sem presença de oxigênio) de resíduos orgânicos. Sendo que os percentuais desses gases se alteram conforme o substrato a ser biodigerido e o tipo de biodigestor a ser utilizado.

A composição e características do biogás dependem de algumas variáveis como: temperatura, pressão, umidade, concentração de metano e concentração de gases inertes e/ou ácidos. Podendo ter uso nas condições em que é gerado e, a depender da aplicação, pode ser necessária a redução da concentração de H_2S , CO_2 , redução da umidade ou mesmo a elevação da pressão. Em condições gerais, o biogás é composto, principalmente, por gases metano e carbônico, tendo outros gases em menor concentração como gás sulfídrico (H_2S), hidrogênio (H_2), e nitrogênio (N_2), como mostrado na tabela 3, os valores médios obtidos com a análise do biogás (ZILOTTI, 2012).

Tabela 3 - Composição da mistura gasosa do biogás.

Gases	Intervalo de concentração (%)
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_2S)	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) *apud* Faria (2012), relata que projeções de cenários futuros ainda haverá um alto lançamento de poluentes para o ambiente, tais como os perigos dos

gases do efeito estufa: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) entre outros, além de vir a ocasionar eventuais contaminações de lençóis freáticos e corpos d' água.

O metano (CH_4) é um gás que possui um potencial de efeito estufa 21 vezes maior que o do dióxido de carbono, contribuindo, substancialmente, para o agravamento do efeito estufa e, conseqüentemente, como resultado final o aquecimento global. O processo de digestão anaeróbica gera em maior quantidade o gás metano, sendo este lançado diretamente na atmosfera produz impactos ambientais substanciais. Portanto sua queima é necessária, convertendo-o para CO_2 , a fim de dirimir o nível de impacto causado ao meio ambiente. Esse gás possui características: incolor, inodoro, altamente combustível. Sua combustão apresenta uma chama azul-lilás e, às vezes, com pequenas manchas vermelhas. Não produz fuligem e seu índice de poluição atmosférico é inferior ao do butano, presente no gás de cozinha (OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006).

De acordo com Faria (2012), O Biogás é uma mistura de gases, onde o metano e o dióxido de carbono se apresentam em maiores proporções. O teor de metano varia de 40 a 75% dependendo da fonte geradora e o dióxido de carbono (CO_2) entre 25 a 40%. Visualizando um agravamento da poluição ambiental no mundo, especialmente atmosférica, devido emissões crescentes de CO_2 .

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 CO_2 ;
- * Redução do consumo de combustíveis fósseis, principais responsáveis pelo efeito estufa;

O uso do biogás traz inúmeros benefícios, principalmente, no que se refere aos 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 diversos (CENBIO, 2001).

A decomposição de material orgânico provocada por ação bacteriana dá origem ao gás Sulfídrico (H_2S), também chamado de Sulfeto de Hidrogênio Sulfurado, Ácido Hidrossulfúrico. É um gás com aspecto incolor, de cheiro desagradável característico, extremamente tóxico e mais denso do que o ar. Os efeitos desse gás em nosso organismo são perigosos, ele afeta as mucosas respiratória e ocular provocando fortes irritações e compromete a saúde do indivíduo que tem contato com o gás. O gás sulfídrico só é formado na ausência de oxigênio, e pode ser encontrado em rios poluídos, estação de tratamento de esgoto, é resultante de processos de biodegradação. E também é bastante inflamável e sua temperatura de autoignição é de $260\text{ }^\circ\text{C}$, enquanto o limite inferior de explosividade é da ordem de 4,3% no ar (em volume) (MAIA, 2011).

Além das características desse gás citada acima, quando liberado em concentrações e quantidades elevadas reage com determinados elementos presente na atmosfera e tais reações contribuem para formação de chuva ácida e também com a destruição da camada de ozônio.

O biogás é composto por vários gases, sendo que alguns necessitam de cuidados especiais quanto a sua utilização em equipamentos, devido ao seu poder de agressividade, o que pode danificar os equipamentos. Contudo, devido principalmente à presença de traços de sulfeto de hidrogênio (ácido sulfídrico- H_2S), pode provocar corrosão em materiais metálicos, principalmente nos motores a combustão que tem sua eficiência e vida útil consideravelmente reduzida (SALOMON & LORA, 2005).

As especificações do gás natural a ser comercializado no Brasil devem atender à Portaria nº 104/02, da Agência Nacional do Petróleo (ANP), a qual estabelece teores máximos de inertes (CO_2+N_2) de 5% v/v e teores máximos de H_2S de 15 mg/m^3 (PEISINO, 2009).

Para o aproveitamento do biogás como fonte de energia é necessário à remoção de alguns componentes do mesmo como: água, partículas, dióxido de carbono e ácido sulfídrico, pois a presença desses causa a redução da eficiência energética do biogás, sendo que o ácido sulfídrico é o principal agente responsável pela corrosão precoce e diminuição do rendimento do motor. Dessa forma torna-se uma estratégia usada para segurança do sistema e aumento de vida útil dos equipamentos, que conseqüentemente resulta também na redução de custos de manutenção (FRARE, 2006).

Quanto aos limites de emissões de poluentes gasosos, são determinados e fiscalizados por agências reguladoras. Na esfera nacional o CONAMA é a agência reguladora, tendo como vigente a Resolução 382. Devido à magnitude do país, os estados brasileiros e municípios,

através de seus órgãos ambientais, também atuam de modo semelhante ao CONAMA, fiscalizando e propondo soluções de âmbito local.

2.4.5 Capacidade calorífera do biogás

A equivalência energética entre o biogás e o combustível a ser substituído é considerado o aspecto mais importante para adotar o emprego deste, além de estudo de viabilidade técnica e econômica entre estes. 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). Estas considerações cooperam para uma previsão adequada das adaptações necessárias ao uso do biogás, sendo este como único recurso energético ou combustível complementar. A tabela 4 e 5 demonstram o P.C.I do biogás comparado a outros gases e combustíveis.

Tabela 4 - P.C.I do biogás comparado com outros gases.

Gás	PCI (Kcal/m³)
Metano	8.500
Propano	22.000
Butano	28.000
Gás de Cidade	4.000
Gás Natural	8.554
Biogás	5.500

Fonte: Genovese, 2006.

Tabela 5 - P.C.I. do biogás comparado à outros combustíveis.

Combustível	Biogás	Metano	Álcool
Quantidade	1 m³	1 m³	1 litro
Calor liberado kJ	23.400	36.000	19.812
Peso específico kg.m ³	1,2	0,72	809
Poder Cal. Inf. kJ.kg ⁻¹	19.500	50.000	24.490

Fonte: Lima, 2005.

A tabela 6 relaciona características comparativas entre vários combustíveis e apresentam também valores de massa específica e poder calorífico, tanto o inferior (água em forma de vapor) quanto o superior (água na forma líquida).

Tabela 6 - Tipos de combustíveis e seus respectivos atributos.

Combustível	Massa específica (kg/Nm ³)	Poder calorífero	
		Inferior (kcal/kg)	Superior (kcal/kg)
Petróleo	867	10.200	10.900
Carvão vapor	n.d.	4.000	4.460
Carvão metalúrgico	n.d.	7.425	7.700
Lenha	390	2.530	3.300
Cana de açúcar	n.d.	917	1.030
Óleo Diesel	851	10.180	10.750
Óleo combustível	999	9.547	10.900
Gasolina	738	10.556	11.230
GLP	552(liq.) 2,29(gás)	11.026	11.750
Nafta	704	10.462	11.320
Querosene	787	10.396	11.090
Gás canalizado	n.d.	4.230	4.700
Gás de coqueria	n.d.	4.400	4.500
Coque de carvão mineral	n.d.	6.900	7.300
Lixívia	2.100	n.d.	3.030
Carvão vegetal	250	6.115	6.800
Álcool anidro	791	6.400	7.090
Álcool hidratado	809	5.950	6.650
Bagaço de cana	n.d.	1.777	2.257
Gás de refinaria	0,78	8.272	8.800
Gás natural	n.d.	8.554	9.400

n.d. = não disponível

No caso de gases trata-se de Nm³, nas CNTP - Condições Normais de Temperatura e Pressão (1 atm, 0°C)
A composição do biogás é função direta da quantidade de matéria orgânica presente nos resíduos.

Fonte: Alves ,2000 *apud* Costa ,2006.

O biogás recebe influência características que advêm da pressão, temperatura, umidade, concentração de metano e concentração de gases inertes e/ou ácidos. A tabela 7 apresenta a variação do poder calorífico em relação à composição do biogás.

Tabela 7 - Composição do biogás com sua respectiva variação do poder calorífico.

Composição Química do Biogás	Peso Específico (kg/Nm ³)	PCI (Kcal/m ³)
10% CH ₄ , 90% CO ₂	1,8393	465,43
40% CH ₄ , 60% CO ₂	1,4643	2.338,52
60% CH ₄ , 40% CO ₂	1,2143	4.229,98
65% CH ₄ , 35% CO ₂	1,1518	4.831,14
75% CH ₄ , 25% CO ₂	1,0268	6.253,01
95% CH ₄ , 05% CO ₂	0,7768	10.469,60
99% CH ₄ , 01% CO ₂	0,7268	11.661,02

Fonte: Avellar, 2001 *apud* Costa, 2006.

O biogás pode ser usado nas condições em que é gerado nos biodigestores, sem purificação, para o acionamento de bombas hidráulicas e geradores de energia, podendo ser uma vantagem como aproveitamento energético. Para outras aplicações podem ser necessária a redução da concentração de H₂S, CO₂, redução da umidade ou mesmo a elevação da

pressão. Contudo, a queima *in natura* do biogás, em razão da presença do CO₂, é mais lenta e, energeticamente, desprende 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).

A tabela 8 apresenta as principais características físico-químicas do gás natural, tendo este como referência analítica no que tange ao aproveitamento do biogás como fonte energética.

O biogás apresenta composição variável, esta condição implica nas alterações de suas características, assim a composição dos gases de exaustão é consequência da composição do combustível, e também das condições de uso do mesmo. Logo considerando sua composição média e a realização da combustão em presença de ar atmosférico, poderão existir nos fumos da combustão SO_x, NO_x e CO, entre outros poluentes (COSTA, 2006).

Tabela 8 - Características do Gás Natural Combustível.

Características ⁽¹⁾	Unidade	Grupos energéticos			Métodos
		B (baixo)	M (médio)	A (alto)	
Poder Calorífico Superior (PCS)	kcal/N ³	8.000 a 9.000	8.000 a 10.200	10.000 a 12.500	ASTM D 3588
Densidade relativa ao ar	---	0,54 a 0,60	0,55 a 0,69	0,66 a 0,82	ASTM D 3588
Teor de ácido sulfúrico (H ₂ S), máximo	mg/m ³	20	20	20	ASTM D 5504 ou ISO 6326-3
Teor de enxofre (H ₂ S e Enxofre mercaptídico), máximo	mg/m ³	80	80	80	ASTM D 5504 ou ISO 6326-3
Teor de dióxido decarbono (CO ₂), máximo ⁽²⁾	% volume	2	2	2	ASTM D 1945 ou ISO 6974
Teor de inertes, máximo ⁽³⁾	% volume	4	4	2	ASTM D 1945 ou ISO 6974
Teor de oxigênio (O ₂), máximo	% volume	0,5	0,5	0,5	ASTM D 1945 ou ISO 6974
Ponto de orvalho em água, 1atm , máximo ⁽⁴⁾	°C	-45	-45	-45	ASTM D 5454

OBS: (1) - Limites especificados são valores referidos a 20 °C a 101,33 kPa (1atm), exceto onde indicado;

(2) - Para as regiões norte e nordeste, admite-se 3,5%;

(3) - Para as regiões norte e nordeste, admite-se 6,0%;

(4) - Para as regiões norte e nordeste, admite-se -3,9%.

Fonte: ANP *apud* Alves, 2000.

2.4.6 Purificação do biogás

Os sistemas de limpeza de gases são desenvolvidos para corrigir as propriedades naturais do biogás para que o mesmo atenda as especificações técnicas dos equipamentos de conversão (COSTA, 2006).

Segundo estudos e documentos da Companhia de Saneamento do Paraná - SANEPAR (2010), o biogás produzido em biodigestor é constituído por outros gases, além do metano (CH_4), que servirá como combustível para a produção de energia. Quanto mais purificado o biogás, melhor será sua eficiência de combustão, assim torna-se necessário efetuar a retirada dos gases que afetam sua eficácia. Outros benefícios são apresentados no tocante à purificação do biogás, pois uma vez eliminado o gás sulfídrico (H_2S), passa a contribuir para a longevidade dos equipamentos de compressão e armazenamento evitando um processo corrosivo nestes além de provocar combustão incompleta, falha de alimentação, perda de potência.

O biogás possui composição variável além de conter elemento gasoso ácido. Portanto a maioria dos digestores anaeróbios produz um biogás que contém entre 0,3 e 2% de H_2S e significantes quantidades de mercaptanas, observando-se também a presença de traços de nitrogênio e hidrogênio (AJAX ENGINES apud ALVES, 2000).

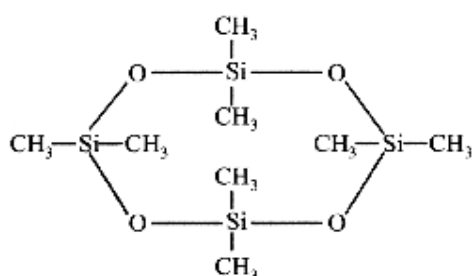
Existem varias alternativas de purificação aplicáveis ao biogás, devendo ser definida a mais adequada para o aproveitamento energético que se pretende. Todavia nos processos de purificação ou de remoção do H_2S e do CO_2 para a obtenção do CH_4 deve-se levar em conta alguns fatores: (i) viabilidade técnica e econômica; (ii) mão de obra destinada à operação do processo e (iii) características físico-química do H_2S e do CO_2 (NIELSEN, 1983).

No processo de geração do biogás contém alto teor de umidade. Qualquer resfriamento do gás durante o processo frequentemente causa condensação da fase líquida quando o gás entra no equipamento de conversão, sendo crítica a situação ao se tratar de turbinas a gás. A remoção do condensado, seguida do aquecimento do gás, produz um gás seco cuja temperatura é superior ao seu ponto de orvalho. O mesmo efeito pode ser criado pelo uso de um dissecante. Comprimindo o gás seco, e resfriando-o em seguida, produz mais condensado. Mais uma vez, o gás deve ser resfriado, separado e reaquecido, ou passado por um dissecante (COSTA, 2006).

Recentemente fabricantes de microturbinas nos EUA detectaram a presença de uma impureza no biogás até então desconhecida, a siloxina, um composto de sílica oriunda

de produtos de higiene pessoal e cosméticos, cuja fórmula estrutural é mostrada na figura 6. Sua presença, na ordem de ppb (partes por bilhão) acarreta, ao longo do tempo, problemas nos rotores de turbinas e motores pela formação de grãos de sílica (areia) no interior dos equipamentos, devido à elevada temperatura (CAPSTONE, 2001). A siloxina apresenta baixa solubilidade em água e se aglomera nos sólidos transferidos aos digestores das estações de tratamento de esgoto.

Figura 5 - Fórmula Estrutural da Siloxina.



Fonte: CAPSTONE, 2001.

Como o biogás, que contém siloxina, é queimado, o silício reage com o oxigênio formando dióxido de silício, mais conhecido como sílica. As partículas de sílica são abrasivas e possuem elevado ponto de fusão (COSTA, 2006).

A tabela 9 apresenta um resumo de diversas alternativas de purificação possíveis, sendo que seus custos são variáveis, pois estão atrelados à disponibilidade tecnológica e de materiais da localidade.

Tabela 9 - Tecnologias de remoção de impurezas do biogás.

Impureza	Descrição geral	Detalhes
Água ¹	Adsorção	Silica gel Peneira molecular Alumina
	Absorção	Etileno glicol (temperatura - 6,7°C Selexol
Hidrocarbonetos ¹	Refrigeração	Resfriamento a 2°C
	Adsorção	Carvão ativado Óleo leve Etileno glicol Selexol (temperatura entre - 6,7 °C e - 33,9°C)
	Combinação	Refrigeração com Etileno glicol e adsorção em carvão ativado

Tabela 9 - Tecnologias de remoção de impurezas do biogás (continuação).

Impureza	Descrição geral	Detalhes
CO ₂ H ₂ S ¹	Absorção	Solventes orgânicos Selexol Flúor Rectosil Soluções de sais alcalinos Potássio quente e potássio quente inibido Alcanolamina Mono, di – tri – etanol amina Deglicolamina Ucarsol-CR Peneiras moleculares
	Adsorção Separação por membranas	Carvão ativado Membrana de fibra oca
Siloxina ²	Adsorção	Carvão ativado

Fonte: ¹ALVES, 2000; ²CAPSTONE, 2001.

2.4.7 Mecanismo de produção do biogás em estações de tratamento de esgotos sanitários

A biomassa é um recurso renovável que provém da matéria orgânica que pode ser utilizada como fonte de energia elétrica (VITOR, 2010). Atualmente têm sido desenvolvidas pesquisas tecnológicas objetivando a eficiência de conversão energética da biomassa, como: a gaseificação da biomassa, e o uso do combustível gasoso em turbinas ou micro turbinas a gás ou em células de combustível (FERNANDES, 2012).

O sistema de obtenção de biogás por meio de biomassa residual é denominado de biodigestão anaeróbia, um dos processos mais promissores no campo da biotecnologia. Os reatores utilizados para a biodigestão dos resíduos são os chamados biodigestores, o qual além da produção de biogás tem como objetivo o saneamento ambiental (FERNANDES, 2012).

O biogás possui um potencial energético significativo, capaz de ser utilizado para a geração de energia elétrica, térmica ou mecânica, podendo vir a se constituir em importante centro gerador de recursos para suprir os custos ambientais das atividades que geram a biomassa residual (NISHIMURA, 2009).

De acordo com França Junior (2008), o biodigestor é um sistema de estrutura física utilizada para a geração de biogás, estes são compostos de uma mistura de gases combustíveis. São produzidos por bactérias que decompõem a matéria orgânica em ambiente anóxico (ou seja, na ausência de oxigênio) e na degradação de polímeros orgânicos derivados de matéria biodegradável, como: resíduos alimentícios, lodo de esgoto, lixo doméstico, substrato da cana-de-açúcar, vinhaça, esterco orgânico, plantas aquáticas, efluentes industriais

e demais resíduos agrícolas. Assim os biodigestores anaeróbios, adequadamente planejados produzem uma mistura gasosa proveniente da digestão anaeróbia que podem ser usadas como combustíveis, além de outros benefícios associados como não produzir gases tóxicos durante a queima e de ser uma alternativa excelente para o aproveitamento do lixo orgânico, ainda gera como resíduo o lodo que é um biofertilizante eficiente.

Biodigestor é a estrutura física (câmara), conhecido também como reator, podendo ser cilíndrico ou prismático, no qual as reações químicas têm origem biológica. O biogás produzido depois de purificado é queimado em flares ou usado em grupos co-geradores, produzindo, assim, energia elétrica e energia térmica. A energia elétrica é utilizada para consumo próprio e o calor é aproveitado para o aquecimento do biodigestor (LAMAS, 2007).

Conforme França Junior (2008), existem vários modelos de biodigestores e se diferenciam de acordo com características físicas peculiares entre eles, também existem os de produção descontínua e contínua. No primeiro caso, a biomassa é adicionada ao biodigestor, sendo totalmente vedado por um período de aproximadamente noventa dias para realizar a fermentação desta. Após este processo o biodigestor é aberto e limpo, repete-se este um novo ciclo de produção do biogás. No segundo caso, a produção pode acontecer por um longo período, sem que haja a necessidade de abertura do equipamento ou interrupção da atividade biológica e também na medida em que é depositada biomassa no biodigestor há necessidade de realizar a retirada do biofertilizante gerado.

No Brasil os biodigestores são comuns em vários modelos hidráulicos, que compõem 2 grupos: os biodigestores de fluxo hidráulico descontínuo (biodigestor de batelada), e o outro grupo o dos biodigestores com fluxo hidráulico contínuo. Sendo este último o mais difundidos no Brasil, onde os mais comuns são o indiano, chinês, tubular e o UASB/RALF (CHERNICARO, 2001).

2.4.8 Modelos de biodigestores

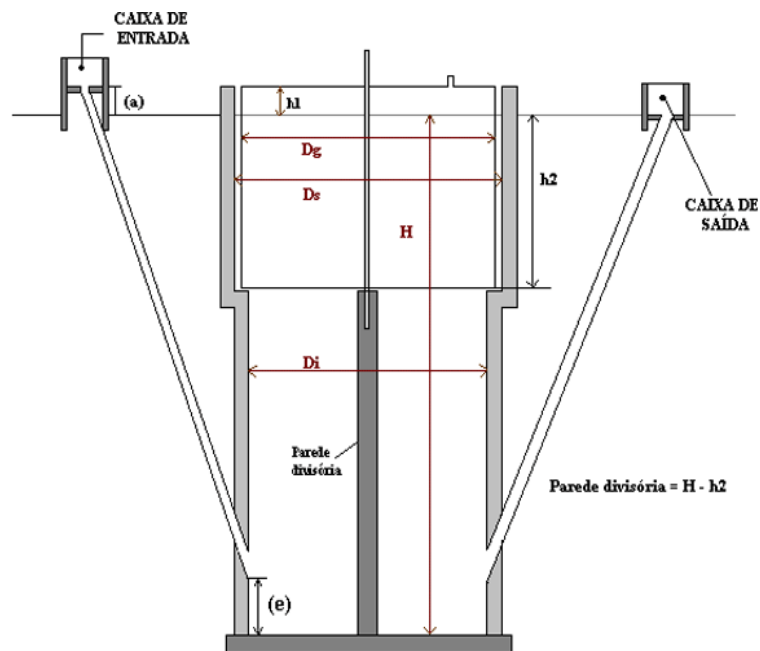
Biodigestor indiano: Caracteriza-se por possuir uma campânula como gasômetro, a qual pode estar mergulhada sobre a biomassa em fermentação, ou em um selo d'água externo, e também é composto por uma parede central que divide o tanque de fermentação em duas câmaras. Essa divisória permite realizar a circulação do material por todo o interior da câmara de fermentação (GASPAR, 2003).

A partir de 1937 na Índia foi desenvolvido o biodigestor indiano. O modelo mais conhecido, o de cúpula móvel foi lançado em 1950 por Patel. Os biodigestores de alimentação

contínua foi o um dos primeiros a ser amplamente divulgado no ocidente. Este modelo popularizou a produção de biogás, inclusive no Brasil (BARRERA, 2003).

A figura 6 mostra o biodigestor indiano em corte detalhando a composição compartimental para melhor compreensão.

Figura 6 - Biodigestor modelo Indiano.

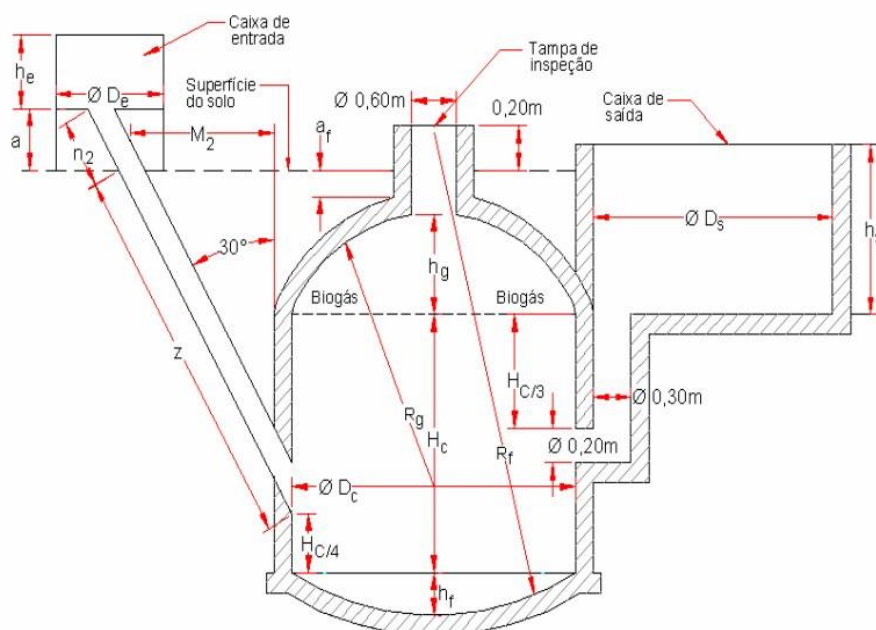


Fonte: Deganutti, 2008.

Biodigestor chinês: É formado por uma câmara cilíndrica em alvenaria para fermentação, com teto abobadado e impermeável, destinado ao armazenamento do biogás. Este funciona com base no princípio de prensa hidráulica, de modo que aumentos de pressão em seu interior, devido ao acúmulo de biogás, ocorrerão deslocamentos do efluente da câmara de fermentação para a caixa de saída, e em sentido contrário se houver descompressão (DEGANUTTI et al., 2008). Esse modelo foi desenvolvido na China, em 1936. É o biodigestor rural de maior sucesso no mundo, até hoje. Só na China foram construídos mais de 8 milhões de unidades. Por não usar cúpula móvel, pode ser construído inteiramente de alvenaria e, por isso, tem baixo custo e pouca manutenção (BARRERA, 2003).

A figura 7 expõe um biodigestor modelo chinês, com detalhes em escala.

Figura 7 - Biodigestor Chinês.



Fonte: Portes, 2005 Apud Zilotti, 2012.

Biodigestores Tubulares: Conhecido como plug-flow ou fluxo em pistão, possui entrada contínua de biomassa em uma das extremidades do biodigestor, com deslocamento até a extremidade oposta. O fluxo se processa como um êmbolo, sem misturas longitudinais. As partículas mantêm sua identidade e permanecem no tanque por um período igual ao tempo de retenção hidráulica. Para garantir isso, os biodigestores são longos, com uma elevada relação comprimento-largura, na qual a dispersão longitudinal é mínima (VON SPERLING, 1996).

Segundo Feiden (2004), o biodigestor tubular foi utilizado pela primeira vez na República da África do Sul, em 1957 e obteve resultado satisfatório o que provocou uma reação de interessados a fazer uso deste para produção de biogás com tempo reduzido de retenção hidráulica.

Este modelo de biodigestor foi bastante difundido nos EUA após o choque do petróleo e também aparece com maior registro de ocorrências na história. Em geral, é implantado sem qualquer cuidado com seu modelo hidráulico básico e sem cuidados em atender suas exigências de ausência de agitação longitudinal. No Brasil, foi otimizado para as condições locais pelo Professor Reichl, de Quatro Pontes-PR, e sua divulgação fez o interesse do biogás renascer no Brasil (ZILOTTI, 2012).

A figura 8 apresenta um Biodigestor tubular na Granja Stein, município de Entre Rios do Oeste, Estado do Paraná.

Figura 8 - Biodigestor tubular com capacidade de 800 m³.



Fonte: Feiden, 2004.

Biodigestores modelo UASB/RALF: Atualmente são os modelos mais eficientes no processo de degradação biológica. Os UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) são reatores anaeróbios de fluxo ascendente em manta de lodo, ou Reator Anaeróbio de Leito Fluidilizado (RALF). Essa estrutura física consiste basicamente de um tanque Imhoff de fluxo vertical, apresentando câmaras de sedimentação e digestão anaeróbia, sobrepostas. Souza (1986), cita que o esgoto a ser tratado é distribuído uniformemente no fundo do reator e em seu movimento ascendente atravessa uma camada de lodo biológico, passando também por um separador de fases enquanto escoar em direção à superfície.

Esse equipamento é denominado de manta de lodo devido à capacidade de receber elevadas concentrações de biomassas, o que favorece a redução do tempo de detenção hidráulica, tornando assim o sistema mais apropriado para degradação biológica de resíduos líquidos, como efluentes agroindustriais e domiciliares. O volume demandado para reatores anaeróbios de manta de lodo é substancialmente reduzido devido à concentração de biomassa ser elevada, isto comparado a outros sistemas de tratamento. Nesse modelo de reator, o gás metano produzido é recolhido na parte superior, podendo ser utilizado no reaproveitamento energético com a sua queima (CHERNICHARO, 2008).

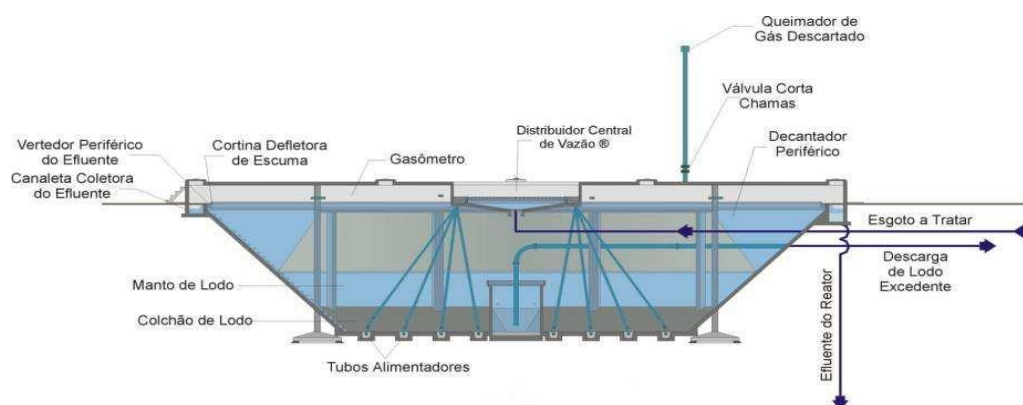
Segundo Andrade Neto (1997), *apud* Zilotti (2012), a operação do RALF inicialmente consiste em promover a condução do esgoto bruto para etapa de gradeamento fino, com o objetivo de remover os sólidos flutuantes e em suspensão, e em seguida passa para um desarenador, com intuito de remover sólidos sedimentáveis danosos ao processo. Após a etapa de gradeamento o esgoto é conduzido até uma câmara no centro superior do reator; onde é

dividido em partes iguais para alimentar tubos difusores, que conduzem o esgoto até o fundo do mesmo. Na parte inferior do reator, o esgoto em fluxo ascendente é misturado com o lodo contido em um manto previamente formado ou inoculado, rico em bactérias anaeróbias. A matéria orgânica contida no esgoto fica retida neste manto de lodo e é degradada e estabilizada por meio da atividade metabólica das bactérias.

A matéria orgânica suspensa é transformada pelas bactérias contidas no manto de lodo em produtos estáveis, como água, biogás e outros elementos inertes. O reator possui uma parede defletora que serve de interface da zona de digestão e de decantação, já na parte superior interna concentram os gases gerados onde são direcionados através de um tubo para o descarte ou reaproveitamento energético. A parte sólida arrastada pelos gases retorna ao manto de lodo após o desprendimento das bolhas geradas. O líquido segue para o decantador periférico e é vertido para uma canaleta que coleta todo o efluente tratado e o conduz para o emissário. Este emissário pode conduzir o efluente para um corpo receptor ou para um pós-tratamento. O lodo excedente gerado no reator deve ser removido periodicamente para leitos de secagem e aterros sanitários (ANDRADE NETO, 1997).

A figura 10 mostra uma representação esquemática de um reator anaeróbio de fluxo ascendente e manto de lodo tronco cônico (RALF/UASB).

Figura 9 - Biodigestor modelo RALF/UASB.



Fonte: SANEPAR, 2006.

A eficiência do processo, além de depender da temperatura e acidez do meio ambiente, é altamente dependente do tempo de retenção hidráulica, ou seja, o tempo disponível para que as bactérias utilizem o substrato (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994).

Sendo a unidade fechada, o biogás produzido pode ser acumulado num gasômetro, permitindo o aproveitamento do elevado potencial energético representado pelo gás metano (FRANÇA JUNIOR, 2008).

O tratamento anaeróbio de esgoto tem alcançado níveis de progresso tecnológico relevante, devido principalmente à parte de desenvolvimento dos modernos reatores de alta taxa de aplicação orgânica, com os maiores méritos ao filtro anaeróbio ascendente e, sobretudo à configuração do UASB. A evolução dos reatores levou à busca para maximizar a aplicação prática para aproveitar todas as potencialidades dos processos anaeróbios. Todas as modernas configurações têm em comum a preocupação em atender requisitos essenciais em um reator: formação e retenção de grande quantidade de biomassa e melhoria do contato biomassa / matéria orgânica (VELA, 2006).

2.4.9 Geração de energia elétrica a partir da conversão do biogás

A gestão ambiental dos resíduos produzidos pelo homem passa pela análise de volume e composição a fim de mitigar os impactos causados pelas emissões de esgoto nas cidades. Sob essa ótica a captura do biogás para uso energético é uma solução adequada nesse momento visto à agressividade do metano como elemento poluidor atmosférico (ENEGEP, 2011).

Existem diversas tecnologias para efetuar a conversão energética do biogás. O processo que transforma um tipo de energia em outro é definida como conversão energética. No caso do biogás, a energia química contida em suas moléculas é convertida em energia mecânica por um processo de combustão controlada (relação da mistura entre ar e combustível). Essa energia mecânica ativa um gerador que a converte em energia elétrica (COSTA, 2006).

O biogás é uma mistura gasosa e rica em metano, sendo o componente predominante no gás natural combustível, hoje importado parcialmente da Bolívia pelo Brasil e usado para geração de eletricidade, abastecimento de veículos automotores, geração de calor em indústrias e abastecimento doméstico e comercial em substituição ao GLP (gás liquefeito de petróleo) (Nota Técnica VII – CENBIO, 2001).

O potencial energético do biogás varia conforme a quantidade de metano em sua composição, pois quanto mais metano, mais rico é o biogás. Sendo que o volume está diretamente relacionado com sua origem: em aterros, a proporção de metano é, em média, de 50%, quando é gerado em reatores anaeróbios de efluentes a concentração média é mais elevada, atingindo 65%. Entretanto, quando comparado com o gás natural (85 a 95% de metano), apresenta menor poder calorífico, em consequência do menor conteúdo de metano (Nota Técnica VII – CENBIO, 2001).

Para Zilotti (2012), o poder calorífico consiste na quantidade de energia disponível durante a combustão por unidade de massa ou volume de um combustível. O biogás possui uma densidade relativa, a qual esta associada entre seu peso específico e o peso específico do ar.

O poder calorífico inferior (PCI) do biogás constitui-se em torno de 19.500 KJ.Kg⁻¹, assim sendo este é estabelecido como uma boa fonte de energia. Pode ser transportado e armazenado. O armazenamento do biogás é necessário na maioria das vezes (LIMA, 2005 *apud* ZILOTTI, 2012). Para o mesmo autor é necessário estar em alerta, pois a mistura de 5% - 14% de metano e ar podem ocasionar explosão com a ignição, se o volume total for grande. Portanto, o armazenamento deste deve ser feito em um reservatório adequado.

A tabela 10 apresenta o biogás purificado e a respectiva relação de equivalência entre os principais combustíveis usualmente empregados como fonte energética.

Tabela 10 - Biogás purificado comparado a outros combustíveis.

Combustível	1m³ de biogás equivale a
Gasolina	0,613 litros
Querosene	0,579 litros
Óleo diesel	0,553 litros
Gás de cozinha (GLP)	0,454 litros
Lenha	1,536 Kg
Álcool hidratado	0,790 litros
Eletricidade	1,428 kWh

Fonte: Barrera, 2003 *apud* Zilotti, 2012.

A tabela 11 apresenta as propriedades físicas dos principais gases que compõe o biogás. Observa-se que devido ao metano possuir um volume específico muito alto, torna a armazenagem do biogás um processo difícil, principalmente por ser de difícil compressão.

Tabela 11 - Propriedades físicas do metano, gás carbônico e gás sulfídrico.

Propriedades:	Metano (CH₄)	Dióxido de carbono (CO₂)	Gás sulfídrico (H₂S)
Peso molecular	16,04	44,01	34,08
Peso específ. Ar = 1	0,555 ^a	1,52 ^a	1,189 ^b
Volume específico	1473,3 cm ³ /g ^a	543,1 cm ³ /g ^b	699,2 cm ³ /g ^b

Fonte: PECORA, 2006 *apud* Zilotti, 2012.

Nota: a) 60°C, 1 atm ; b) 70°C, 1 atm ; c) 77°C, 1 atm

O tamanho da ETE é imprescindível para proposição do aproveitamento do biogás para geração de energia. Pois esse aspecto determinará uma produção regular do biogás no período de 24 horas, portanto a ETE deverá atender, no mínimo, uma população de 10.000 habitantes, com capacidade de geração de 5.544 kWh/mês (FRANÇA JUNIOR, 2008).

2.4.10 Aspectos técnicos e mecânicos de conversão do biogás em fonte energética

Atualmente existem basicamente dois tipos de tecnologias disponíveis comercialmente para o aproveitamento do biogás como fonte de geração de energia elétrica: turbinas a gás e grupos geradores de combustão interna (Ciclo Otto).

As turbinas a gás ainda podem ser divididas por faixa de potência, até 100 kW (microturbina), com faixas de potências de poucas centenas de kW até quase 300 MW (turbinas de médio e grande porte). A tabela 12 elenca as vantagens e desvantagens de tecnologias distintas para geração do biogás.

Tabela 12 - Tecnologia para geração de energia a partir do biogás.

Tecnologia	Vantagens	Desvantagens
Motor a combustão interna	Baixo custo de manutenção Pequeno tamanho de instalação Rápida instalação Modularidade do sistema Diversidade de fornecedores de equipamentos Eficiência em carga total e parcial	Limitação de potência
Turbina a gás	Sem formação de condensados Maior confiabilidade mecânica Combustão mais completa	Investimento inicial elevado Maior sensibilidade a partículas e impurezas

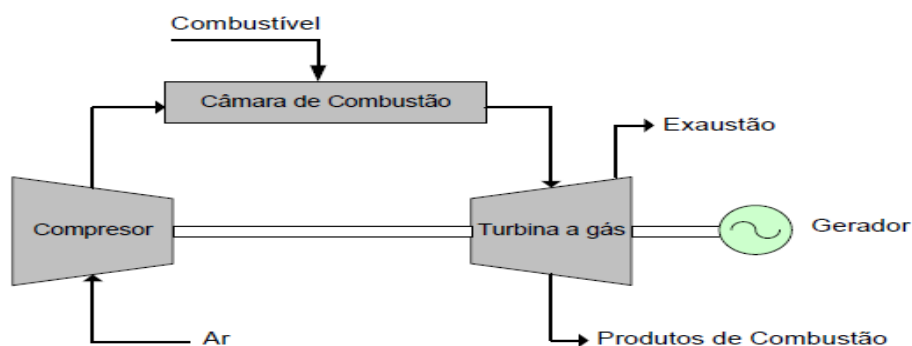
Fonte: MMA, 2005 *apud* Secchi, 2014.

Estas opções tecnológicas serão melhores detalhadas nos subitens a seguir.

2.4.10.1 Turbinas a gás

São equipamentos constituídos por elementos como: compressor, câmara de combustão e a turbina de expansão (ciclo Brayton). Na câmara de combustão é injetado ar comprimido, fornecendo assim oxigênio para a queima do combustível. Esta reação exotérmica à alta pressão transfere a energia química do combustível para os gases, elevando sua temperatura. O gás resultante é expandido na turbina, de onde se extrai a energia mecânica para acionamento do compressor e da carga acoplada ao eixo. Nas turbinas usadas em aviões a jato, os gases quentes são exauridos por meio de bocais que transformam a energia dos gases em empuxo (COSTA, 2006).

Figura 10 - Turbina a gás e gerador de energia elétrica (Ciclo Brayton aberto e simples).



Fonte: “Manual de Administração de Energia”, Secretaria de Energia do Governo do Estado de São Paulo, 2001 *apud* Costa, 2006.

Os parâmetros físicos de temperatura e pressão em condições de quanto mais elevadas forem na entrada do primeiro estágio da turbina, e quanto mais reduzida for a temperatura dos gases de exaustão, maior será a eficiência da turbina a gás. Esses fatores que alteram diretamente a eficiência de produção têm contribuído, nos últimos anos, para a evolução e aperfeiçoamento contínuo destas máquinas.

2.4.10.2 Microturbinas a gás

São pequenas turbinas, na faixa de 30 kW, operando com o ciclo Brayton, a qual faz uso do mesmo princípio de funcionamento das turbinas a gás de maior porte. Para geração de energia elétrica são derivadas da tecnologia utilizada nas APU's (Airborne Power Unit). Estas unidades são utilizadas para fornecer energia elétrica para os sistemas centrais dos aviões quando estes estão no solo e com as turbinas principais desativadas (COSTA, 2006).

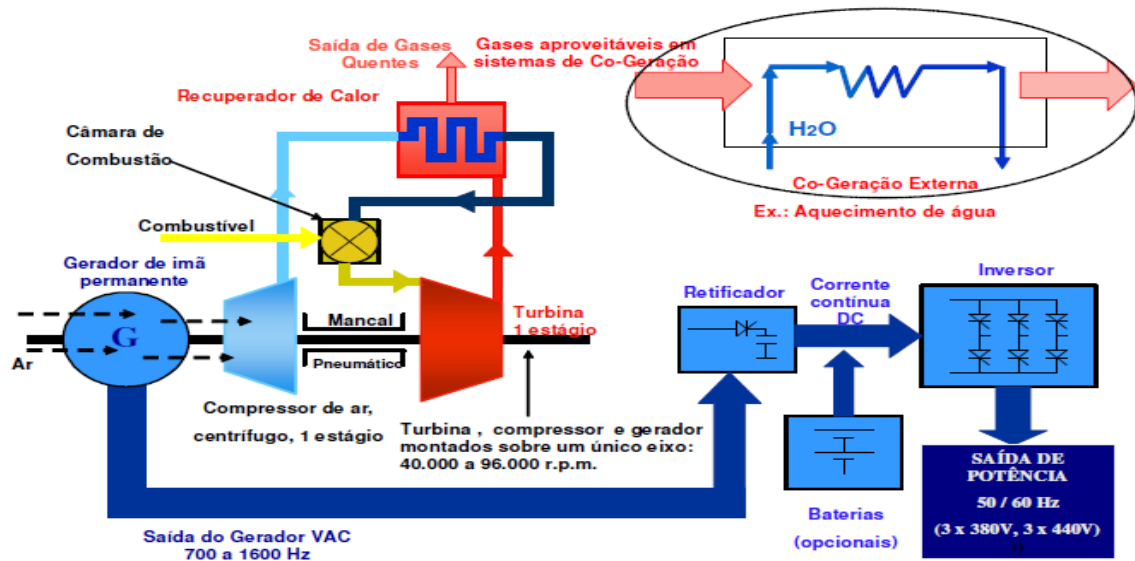
Segundo Costa (2006), o ar atmosférico entra no compressor, onde sua pressão é elevada. A seguir, o ar comprimido segue para a câmara de combustão, onde o combustível é injetado e se mistura com o ar. A mistura é então inflamada por meio de queimadores. Os gases aquecidos e em alta pressão são então expandidos por meio das pás de uma turbina, fazendo com que esta gire em alta velocidade. A turbina de expansão é montada no mesmo eixo do compressor e do gerador elétrico. Assim, quando o ciclo se completa, a turbina de expansão é responsável por fornecer a energia necessária para girar o compressor e o gerador elétrico.

No caso dos sistemas estacionários, os gases, depois da expansão na turbina, ainda contém grande quantidade de energia térmica. Esta energia pode ser utilizada em

trocadores de calor para, dependendo do sistema, produzir frio ou vapor de processo. Estes sistemas caracterizam um ciclo de co-geração (COSTA, 2006).

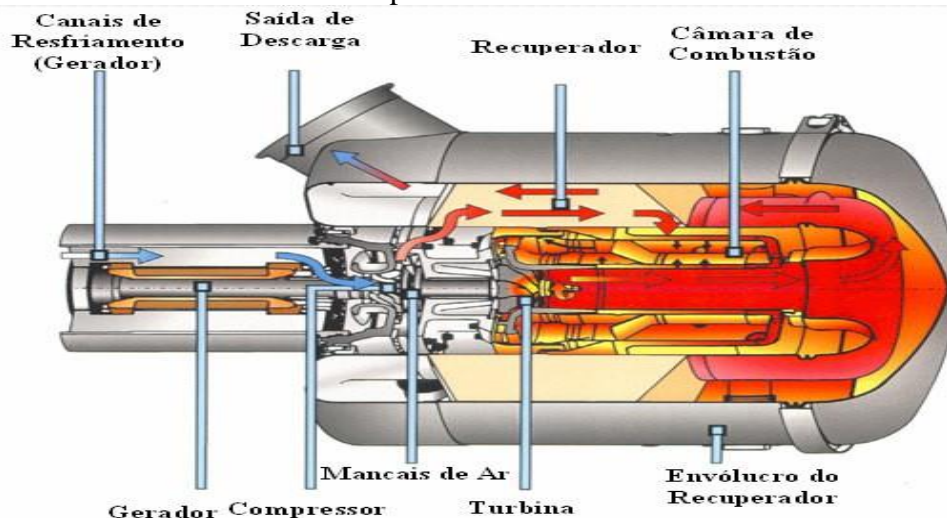
O princípio de funcionamento da Microturbina Capstone (com recuperação de calor) e seu interior são mostrados a seguir nas figuras 11 e 12 respectivamente.

Figura 11 - Princípio de funcionamento da Microturbina Capstone (com recuperação de calor).



Fonte: ENEDIS, 2002 *apud* Costa, 2006.

Figura 12 - Interior da Microturbina Capstone.

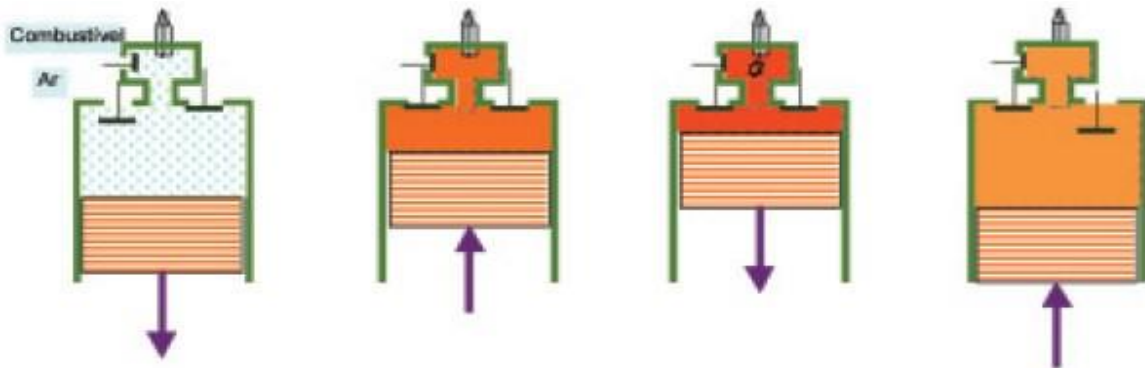


Fonte: Costa, 2006.

2.4.10.3 Motores de combustão interna

O engenheiro Alemão, Nikolaus August Otto, no ano de 1867 desenvolveu o ciclo "Otto" de quatro tempos, que até nos dias atuais são amplamente utilizado em transportes, figura 13.

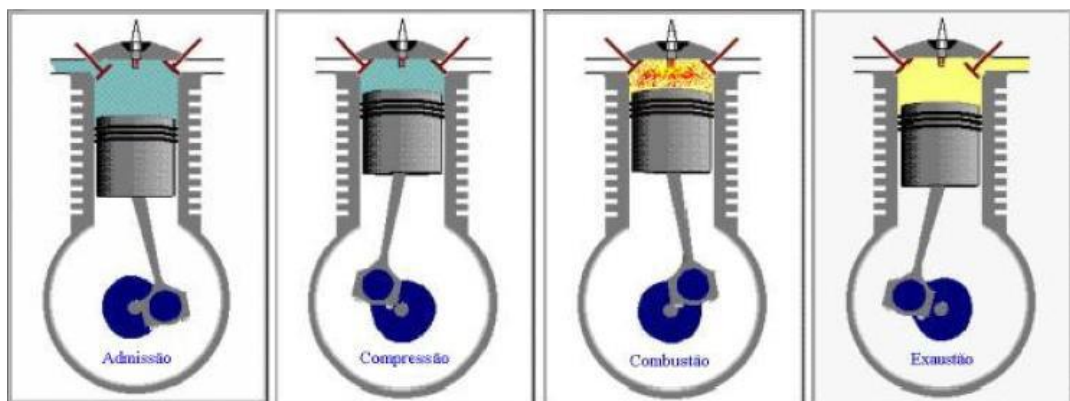
Figura 13 - Desenho esquemático do funcionamento de um motor ciclo Otto.



Fonte: “Manual de Administração de Energia”, Secretaria de Energia do Governo do Estado de São Paulo, 2001 *apud* Costa, 2006.

Outro engenheiro alemão, Rudolph Diesel, em 1892 apresentou o motor a diesel. Este foi desenvolvido para ser mais pesado e potente do que os motores a gasolina. Tem aplicação especialmente máquinas pesadas, locomotivas, navios, e em alguns automóveis, figura 14.

Figura 14 - Representação esquemática do funcionamento de um motor Diesel.



Fonte: Pecora, 2006.

O motor de combustão interna possui essa denominação devido à condição de produzir energia mecânica, por meio da queima de uma mistura de vapor e combustível dentro de um cilindro.

Esses motores possuem características peculiares no tocante ao uso do biogás, os de ciclo Otto para poder fazer uso do biogás como combustível são necessários realizar pequenas modificações. Entretanto, não são os mais indicados para geração de eletricidade. O de ciclo

Diesel apresenta-se como o mais apropriado pela sua robustez e menor custo para uma mesma potência, comparado ao de ciclo Otto. O uso do biogás como fonte de combustível nos motores de ciclo Diesel só será concebido através de duas tecnologias: a ottolização e a conversão bicomcombustível diesel/gás (PEREIRA, 2005 *apud* PRATI, 2010).

Na ottolização é necessário realizar grandes modificações nos motores. O sistema de injeção de Diesel é substituído por um sistema de carburação do gás ao ar de admissão e o sistema elétrico com velas para a ignição que passa a ser realizada por centelha. Também é necessário adequar a taxa de compressão dos motores, e para isso é imprescindível fazer modificação no cabeçote, pois os motores do ciclo Otto trabalham com taxas de compressão inferiores aos motores Diesel. Não são raras perdas de potência e performance de um motor ottolizado (SOUZA, et al. 2004 *apud* PRATI, 2010).

Nos motores de ciclo Diesel operado por bicomcombustível (diesel e biogás), faz-se a introdução do gás juntamente com o ar na fase de admissão, sendo que a ignição é feita por uma pequena injeção-piloto de diesel promove a ignição por compressão dando início à combustão do gás que é admitido no cilindro pelo coletor de admissão. Esse sistema apresenta a vantagem de não exigir modificações no motor (OBERT, 1971 *apud* PRATI, 2010).

Basicamente o que difere o motor ciclo Otto e Diesel é a forma como ocorre a combustão. No ciclo Diesel, a combustão ocorre pela compressão do combustível na câmara de combustão, enquanto no ciclo Otto, a combustão ocorre pela explosão do combustível por meio de uma fagulha na câmara de combustão (COSTA, 2006).

2.4.11 Aspectos econômicos e ambientais do uso do biogás como fonte energética

De acordo com Costa (2006) a geração de energia elétrica a partir do biogás pode ser considerada como alternativa por suas significativas vantagens estratégicas, econômicas e ambientais:

- * Vantagens estratégicas: geração descentralizada; próxima aos pontos de carga, não necessitando de investimentos em linhas de transmissão;
- * Vantagens econômicas: utilização de combustível disponível no local e de baixo custo (resíduo de processo); dinamização do setor de máquinas e equipamentos no país;
- * Vantagens ambientais: utilização de energia renovável (biomassa), com menores emissões poluentes e com balanço de carbono negativo (contribuindo para redução do efeito estufa).

Entretanto, apesar de todas estas vantagens, a geração de energia a partir de biogás ainda é incipiente em detrimento ao potencial ofertado no país. As concessionárias envolvidas com atividades de tratamento de esgotamento sanitário comungam do mesmo comportamento no que se refere ao aproveitamento do biogás como fonte de energia, apresentando pouco interesse de grande parte desses setores, aliado à complexidade de legislação do setor elétrico, até recentemente vigente no país, provocando assim a desestimulação deste processo de geração de energia alternativa.

A Agência Internacional de Energia (IEA 2006) prevê um crescimento da demanda por energia e suprimentos no mundo numa taxa anual de 1,6% até 2030, estimulada principalmente pelo crescimento exponencial do consumo energético dos países que estão em desenvolvimento. Uma das principais fontes de energia utilizadas pela humanidade ainda é de origens fósseis, a qual também é empregado como matéria-prima para a manufatura de inúmeros bens de consumo, por isso, exerce um papel cada dia mais presente e relevante na vida da sociedade. Os combustíveis fósseis são fontes de energia de importância mundial, porém a queima deste contribui para o agravamento do fenômeno efeito estufa, que são as emissões de dióxido de carbono na atmosfera.

Conforme Lima (2005), a demanda por energia em uma ETE inicia na fase de construção do sistema, gastando-se energia nas diversas etapas da execução da obra. Na operação utiliza-se energia nos equipamentos elétricos, para o bombeamento, aeração e no transporte de lodo para recirculação.

De acordo com França Junior (2008) *apud* Zilotti (2012), os custos operacionais para a produção de biogás numa planta RALF/UASB, de médio porte, situam-se entre US\$ 0,03/m³ e US\$ 0,05/m³. Para plantas de grande porte esses custos podem baixar para cerca de US\$ 0,02/m³.

De acordo com Coelho, et al. (2003), considera-se que o primeiro fator econômico a ser analisado como fonte de geração de energia elétrica é a utilização do biogás, pois este caracteriza-se por ser um gás combustível de baixo custo, uma vez que este é um subproduto de um processo de digestão anaeróbia e que, normalmente, é desprezado nas ETE's e queimado em "flare" para minimizar o impacto ambiental ou emitido diretamente no ar livre, contribuindo para o aumento de emissões dos GEE. A utilização do biogás como combustível/energia em ETE é o destino mais adequado e nobre no tocante a promoção da qualidade ambiental, além de otimizar o uso dos recursos naturais.

Segundo Pecora (2006) *apud* Zilotti (2012), o aproveitamento do biogás como fonte energética, produz vários benefícios, como a preservação ambiental, melhorias sociais, além de promover a otimização de recursos considerados “descartáveis” e/ou de baixo custo; contribui com a não dependência da fonte de energia fóssil, ampliando a oferta e variedade de combustíveis ou energia; possibilita a geração descentralizada de energia; possibilita a geração de empregos local; reduz os odores indesejados e as toxinas do ar; diminui a emissão de poluentes pela substituição de combustíveis fósseis; colabora para a viabilidade econômica dos aterros sanitários e estações de tratamento de efluentes; otimiza a utilização local de recursos; e aumenta a viabilidade do saneamento básico no país, permitindo o desenvolvimento tecnológico de empresas de saneamento e energéticas.

2.5 Mercado de Crédito de Carbono

Em 1997, na cidade de Quioto, no Japão a ONU formulou o Protocolo de Quioto com desígnio de consolidar os propósitos discutidos na CQNUMC. Neste documento ficou determinado que os países signatários adotariam medidas que contribuem para redução de suas emissões dos gases potencializadores do efeito estufa. Entretanto o Protocolo de Quioto entrou em vigor apenas no ano de 2005, onde constam metas para a redução dos níveis de emissões (GEE) aceitos para cada país. Para atingir essa meta foram desenvolvidos os mecanismos de flexibilização, entre os quais concebem os projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo-MDL. Este é o único meio dos países em desenvolvimento participarem do Protocolo de Quioto (TEIXEIRA, 2011).

O Protocolo de Quioto tem a finalidade de promover a redução de emissão de GEE de países signatários, concomitantemente, subsidiar ações de prevenção da poluição em países em desenvolvimento como o Brasil, a permanência de fontes poluidoras desenvolvem danos ambientais e sociais dos quais estamos vivenciando, isso promove uma demanda elevada de recursos públicos destinados à saúde dos trabalhadores contaminados, além de gastos para promover meios de recuperação do passivo ambiental. Todavia, o Protocolo influenciaria as fontes poluidoras a repararem os danos causados às pessoas, à nação, na medida em que são impelidas a comprar as RCE geradas por outras sociedades que têm em mente a preservação socioambiental. Assim, os países poluidores são penalizados por não emprenderem forças suficientes no sentido de evitar a poluição (PARADA, 2010).

Para o mesmo autor essa ideia é sustentada devido aos países não poluidores, que investem altas quantias em novas tecnologias e em sua produção objetivando a minimização dos impactos ambientais, possam gerar receitas ao vender os créditos e, desta forma,

compensar os elevados custos de produção. Todavia, os países signatários que não estão dispostos a investir no controle de emissão de poluentes em suas atividades produtivas, devem despendar verbas ao comprar RCE.

Para Schneider et al. (2006), *apud* Ben (2007), “o Protocolo de Quioto é a materialização dos compromissos de intervenção na emissão da poluição atmosférica, agravante do aquecimento global”. Segundo Limiro (2009), a redução média dos GEEs deverá ser abaixo dos níveis 1990. O prazo determinado para se alcançarem as metas é comum a todas as partes, qual seja, no período do primeiro compromisso, entre os anos de 2008 e 2012.

Dessa forma o combate aos efeitos danosos do aquecimento global passa pelo viés econômico da geração dos chamados créditos de carbono, segundo Meneguín (2012) é um certificado eletrônico emitido (Redução Certificada de Emissão - RCE) quando há redução de emissão de (GEE), promotor de aquecimento global (cada tonelada de dióxido de carbono deixada de ser emitida ou retirada da atmosfera, transforma-se em uma RCE), que poderá ser negociada no mercado mundial. As cotas de emissão podem ser comercializadas, ou seja, aqueles países, ou empresas que conseguem emitir menos do que foi estabelecido a eles podem vender o excedente àqueles que não conseguiram (ou não quiseram) limitar suas emissões ao número de cotas que tinham. Lembrando que os créditos de carbono são *commodities*, portanto seus preços são estabelecidos pelo mercado internacional.

Neste contexto, os projetos de MDL podem ser entendidos como a comprovação de que a redução de poluentes, emitidos pelas indústrias ou mitigados voluntariamente por uma empresa num país em desenvolvimento, emergente, como o Brasil, serão comercializados no mercado mundial com países desenvolvidos (que demandam esses créditos para cumprimento das metas de redução previstas no protocolo de Quioto). Esse mecanismo de flexibilização, figurou-se na possibilidade real da redução das emissões globais e, concomitante, aliar o desenvolvimento econômico à conservação ambiental, o que resulta numa alternativa para o desenvolvimento sustentado de países emergentes.

Meneguín (2012) ressalta ainda que os mecanismos de flexibilização que visa alcançar as metas de redução previstas no Protocolo de Quioto são: Implantação Conjunta, Comércio de Emissões e Mecanismos de Desenvolvimento Limpo. Sendo que os países emergentes como o Brasil tem acesso somente os Mecanismos de Desenvolvimento Limpo-MDL.

O Brasil como não possui meta de redução, deve desempenhar um papel relevante nesse contexto o de emissor e vendedor de créditos, pois conforme o Protocolo de Quioto, somente os países em desenvolvimento podem produzir créditos de carbono por meio do MDL e por sua vez vendê-los aos países desenvolvidos. Para alguns países desenvolvidos a meta de redução pode ser economicamente inviável, assim gera estímulos de países emergentes no que tange ao desenvolvimento limpo, tendo papel relevante no desenvolvimento sustentável.

O Comitê Executivo (CE) da UNFCCC é o órgão responsável pela supervisão do MDL, que aprova os projetos e as metodologias. A Comissão Interministerial de Mudanças do Clima é a Autoridade Nacional Designada (AND), que aprova os projetos no Brasil. O Ministério da Ciência e Tecnologia é a instituição que possui essas metodologias já aprovadas e para desenvolvimento de projeto de MDL é necessário consultá-las (REIS, 2012).

Conforme o mesmo autor, o Brasil vem se destacando no cenário mundial de mercado de crédito de carbono, pois o número de projetos está crescendo no país, até agosto de 2012, havia 290 projetos no âmbito do MDL (CQNUMC, 2012), se colocando na terceira posição, ficando atrás apenas da Índia, com 2054, e da China, com 2951 projetos.

Álvares, 2012 concluiu que possuir conhecimento amplo do mercado de crédito de carbono é um diferencial competitivo, visto a carência de profissionais qualificados nesse setor. Atualmente as empresas não visualizam mais o esforço de diminuir os gases de efeito estufa (GEE) como um problema, mas como uma solução e uma oportunidade de negócio.

O mesmo autor diz que para integrar projetos ao MDL devem-se enquadrar à categoria relativa ao seu tamanho e sua natureza, o que faz com que cada projeto possua uma metodologia específica previamente aprovada pelo Ministério da Ciência e Tecnologia ou que necessitará de aprovação.

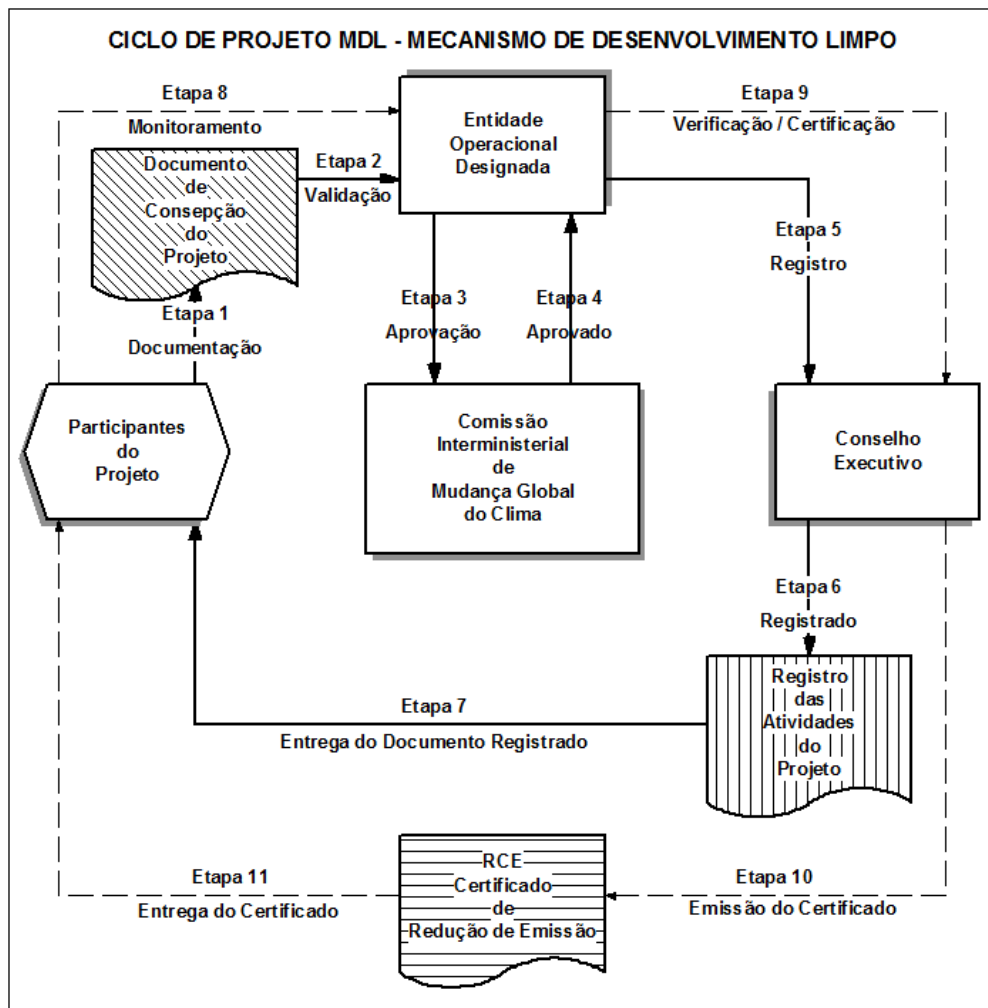
Gasparin (2005) relata que o mercado de crédito de carbono no Brasil estava crescendo, devido a ONU (Organização das Nações Unidas) aprovar projetos nesse âmbito, assim o país passou a ter olhar mais abrangente, deixando de pensar apenas no sequestro de dióxido de carbono da atmosfera a partir de plantação de florestas, mas se tornar o precursor no descarte adequado dos resíduos oriundos da suinocultura.

Ainda de acordo com o mesmo autor, os dejetos da suinocultura antes descartados inadequadamente no ambiente, agora passam por um biodigestor, produzindo o gás metano, que posteriormente é realizada a queima deste, evitando o lançamento à atmosfera. Essa

tecnologia resulta também na produção de eletricidade. Outros benefícios também são elencados como a diminuição do número de moscas e o odor característico da criação de suínos. O material restante do processo torna-se fertilizante. Assim este exemplo é uma das atividades potencialmente geradoras de crédito de carbono, que se encaixa nos projetos de MDL

As atividades de projeto de MDL para resultarem em RCEs devem, necessariamente, tramitar pelas etapas do Ciclo do Projeto, conforme descrita na figura 15, as quais segundo Lopes (2002), organizador do guia de orientação do MDL, desenvolvido pela Fundação Getulio Vargas, são: (i) Elaboração do Documento de Concepção do Projeto - DCP; (ii) Validação/Aprovação; (iii) Registro; (iv) Monitoramento; (v) Verificação/Certificação; (vi) Emissão e aprovação das RCE's.

Figura 15 - Ciclo de projeto MDL.

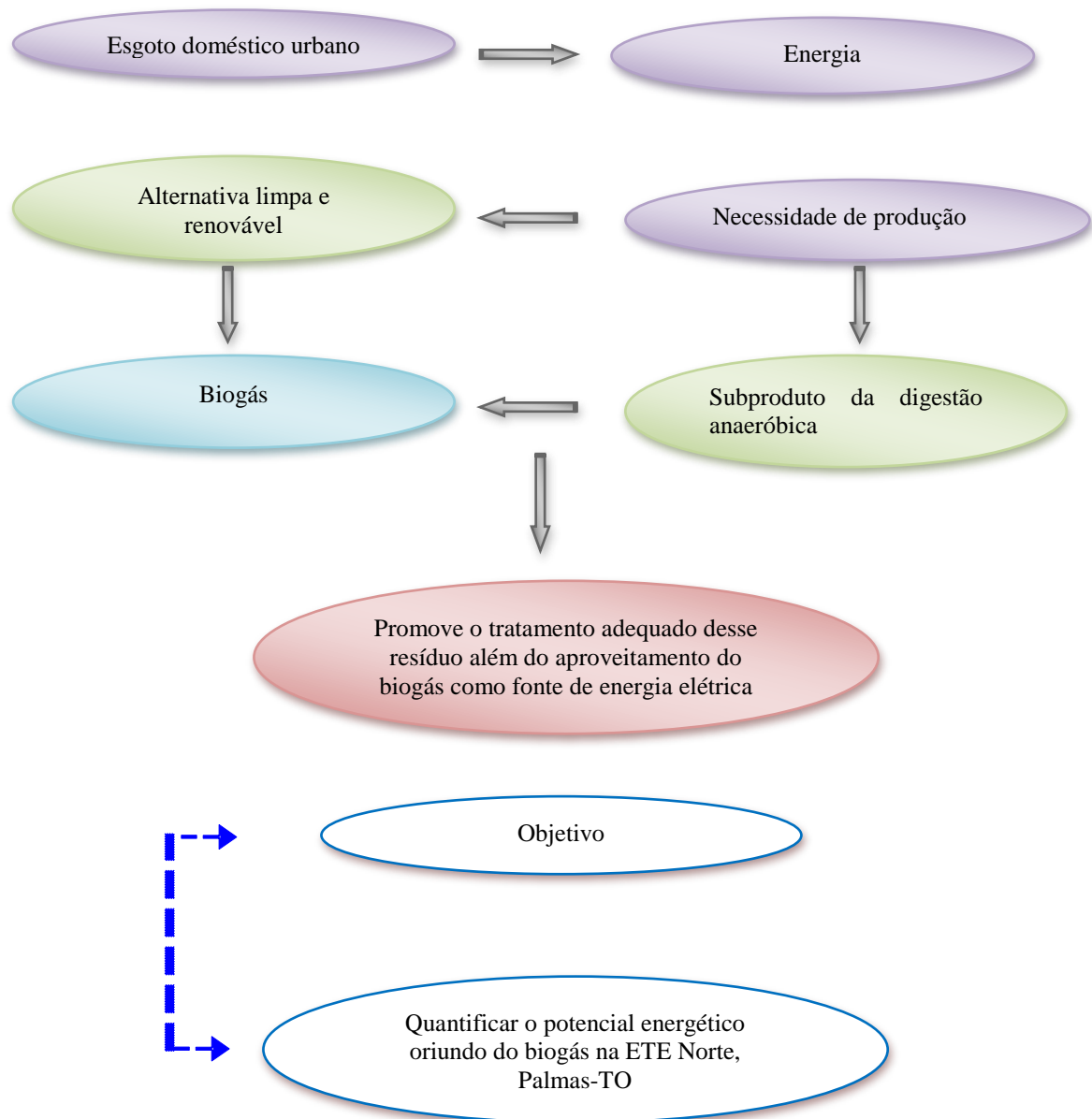


Fonte: BM&F Bovespa, 2015.

3 METODOLOGIA

Este trabalho objetiva avaliar o potencial de produção de gás metano (CH_4) para aproveitamento energético como fonte alternativa e limpa para aplicação e uso como energia elétrica na própria Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), localizada no município de Palmas-TO e denominada ETE Norte. Esse estudo passa pelo viés da tecnologia de produção e transformação do biogás em energia elétrica, custo-benefício de implantação dessa fonte alternativa e o aspecto ambiental. O fluxograma representado pela figura 16 demonstram as etapas desse estudo.

Figura 16 - Fases sequenciais metodológicas.



Fonte: próprio autor

A metodologia relacionada na execução deste é de natureza aplicada e tendo como forma um caráter exploratório já que faz um estudo de caso associado a uma pesquisa em campo.

Iniciou-se o trabalho com pesquisa bibliográfica nas áreas de consonância com tema central que é a produção de biogás e suas derivações, oriundo do tratamento de águas residuárias, resultando em uma maior solidez nas análises necessárias. Tais análises foram realizadas pela empresa responsável pela operação e monitoramento da estação, a Odebrecht Ambiental, seguindo técnicas recomendadas pelo “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” da AWWA/APHA e disponibilizadas para estudo pela Direção Gestora da Odebrecht Ambiental de Palmas-TO.

3.1 Caracterização da Área de Estudo da ETE Norte

O trabalho foi realizado tendo como base de estudo a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE Norte), da Companhia de Saneamento do Tocantins (Odebrecht Ambiental), localizada no Município de Palmas-TO. Esta ETE está em operação desde 2000, por meio das lagoas anaeróbia e facultativa. Entretanto em 2010 passou por uma ampliação, foi ampliada com a construção de 1 reator UASB, totalizando 2 unidades UASB. Em 2015 apresentou os seguintes dados operacionais: 26.888 ligações de esgoto com volume médio diário tratado de $11.872 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$, DQO média afluente de $0,700 \text{ g/m}^3$ e de saída $0,245 \text{ g/m}^3$.

A ETE está localizada nas coordenadas geográficas $10^\circ 08' 50'' \text{ S}$ e $48^\circ 21' 29'' \text{ W}$. A figura 17 representa a delimitação da área da ETE.

Figura 17: Visão panorâmica da ETE Norte, Palmas-TO

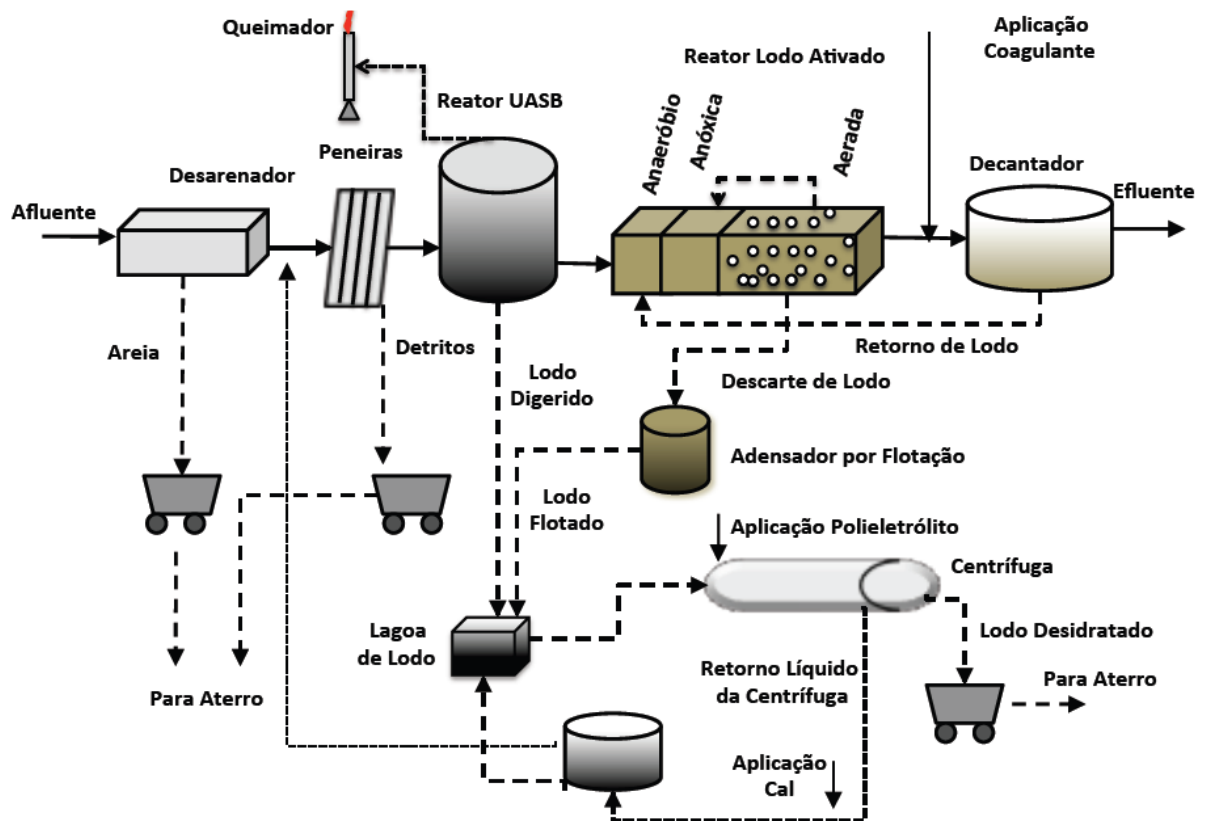


Fonte: Google Earth

Cada reator UASB como gradiente de produção do biogás possui as seguintes características dimensionais: área 860 m² (18 m x 47 m), profundidade útil de 5,5m e tempo de retenção de 8,3 horas na vazão média. O volume útil de cada reator é de 3.045 m³. O sistema foi projetado para alcançar remoção de 60% de DBO e 70% de Sólidos Suspensos nessas unidades.

O processo de tratamento de esgoto da estação é constituído por tratamento preliminar (gradeamento, desarenador, medidor de vazão); tratamento secundário (reator anaeróbico tipo UASB); sistema de queima de biogás; e pelo sistema de secagem de lodo e lagoas de estabilização facultativas. A figura 18 mostra o fluxograma de composição do sistema de tratamento de esgoto urbano da ETE Norte, Palmas-TO.

Figura 18: Fluxograma do sistema de tratamento ETE Norte.



Fonte: MKMBr Engenharia Ambiental, 2012.

O biogás produzido no processo anaeróbico é coletado por placas defletoras que conduzem o mesmo para a câmara de biogás, de onde é conduzido para o sistema de queima por meio de “flare”. Os gases de cada câmara são coletados por meio de tubulação em PRFV, ϕ 80 mm, e conduzidos ao sistema de queima de gás. Cada reator é atendido por uma linha de coleta de gás que conduzirá ao conjunto de queima, que atende a toda a estação. O sistema de

queima é composto por 2 conjuntos queimadores com a capacidade para 307 Nm³/hora cada. Cada conjunto queimador é composto por válvula corta chama, válvula reguladora de pressão (pressão de trabalho entre 5 a 10 mca) e bico queimador, protegido por cobertura. Cada linha conta ainda com uma válvula purgadora instalada em seu ponto mais baixo para retirada de umidade.

A eficiência operacional da estação no tocante a remoção da matéria orgânica é em torno de 87%, tendo o rio Tocantins (Lago UHE Luis Eduardo Magalhães) como corpo receptor dessas águas residuárias após processo de tratamento. Com esse nível de eficiência atende a Resolução CONAMA N°430/2011 e cumpre as condicionantes da licença ambiental.

A ETE Norte é a principal unidade de tratamento de águas residuárias no município de Palmas, assim apresenta também a maior demanda energética para operação da mesma. Atualmente com consumo mensal em média de 166.800kWh.

No sistema de composição do tratamento de esgoto da ETE Norte contempla um sistema de condução e queima do biogás, porém não possui armazenadores e sistema de transformação deste em energia elétrica.

Nesse trabalho será determinada a quantidade de produção do biogás por meio de cálculos matemáticos estimados, pois não foi possível aquisição de equipamento específico para medir a vazão e composição do gás produzido.

Esse estudo foi desenvolvido por meio de pesquisa bibliográfica e documental, sendo este último a etapa que compôs a coleta de dados. Estes dados foram fornecidos pela empresa gestora da ETE. Os documentos usados para gerar informações ao trabalho foram: as tabelas de controle de vazão, consumo energético da estação de tratamento de esgotos (ETE Norte). O tipo de análise definida para gerar resultados de produção energética por meio dos dados coletados foram aplicações de cálculos matemáticos com utilização de dados fornecidos com vistas a confrontar os dados coletados com o referencial teórico realizado.

3.2 Cálculos de Estimativa de Produção de Biogás

A produção e avaliação do biogás podem ser feitas a partir da estimativa da carga de DQO afluente ao reator, que é convertida em gás metano, conforme modelado matematicamente nas equações 2, 3, 4 e 5 (CHERNICHARO, 2007). Os dados necessários para desenvolvimento desses cálculos foram fornecidos pela Odebrecht Ambiental conforme BCD-Boletim de Controle de Dados Operacionais, onde alguns parâmetros para efeito de cálculo foram pré-definidos como valores fixos conforme tabela 13:

* Estimar a quantidade de DQO removida pelo reator convertida em CH₄:

$$DQO_{CH_4} = Q \cdot (S_0 - S) - Y_{obs} \cdot Q \cdot S_0 \quad (2)$$

Onde:

DQO_{CH₄}: Carga de DQO convertido em metano (KgDQO_{CH₄}/d)

Q: Vazão de esgoto afluyente (m³/d);

S₀: Concentração de DQO afluyente (KgDQO/m³);

S: Concentração de DQO efluente (KgDQO/m³);

Y_{obs}: Coeficiente de produção de sólidos no sistema, em termos de DQO (0,11 a 0,23 KgDQO lodo/ KgDQO_{apl});

$$S = (1 - E) \cdot S_0$$

E = Eficiência de remoção do reator.

$$Q \cdot S_0 = \text{Sintetização celular}$$

* A conversão da massa de metano (KgDQO_{CH₄}/d) em produção volumétrica (m³CH₄/d) pode ser feita aplicando-se as equações seguintes:

$$Q_{CH_4} = \frac{DQO_{CH_4}}{f(T)} \quad (3)$$

Onde:

Q_{CH₄}: Produção volumétrica de metano (m³/d);

f(T): Fator de correção para a temperatura operacional do reator (KgDQO/m³).

$$f(T) = \frac{P \cdot K_{DQO}}{R \cdot (273 + T)} \quad (4)$$

Onde:

P: Pressão atmosférica (1 atm);

K_{DQO}: DQO correspondente a um mol de CH₄ (64gDQO/mol);

R: Constante dos gases (0,08206 atm.L/mol.K);

T: Temperatura operacional do reator (°C).

Com a produção teórica de metano determinada, pode-se estimar a produção total de biogás, a partir do teor esperado de metano estabelecido neste. Assim, para os casos do tratamento de esgotos domésticos, os teores de metano são geralmente da ordem de 70 a 80%.

$$Q_{biogás} = \frac{Q_{CH_4}}{C_{CH_4}} \quad (5)$$

Onde:

$Q_{biogás}$: Produção volumétrica de biogás (m³/d);

Q_{CH_4} : Produção volumétrica de metano (m³/d);

C_{CH_4} : Concentração de metano no biogás, usualmente da ordem de 70 a 80%.

3.3 Cálculo do Potencial Elétrico do Biogás em kW

Uma forma energética para se transformar em outro sistema, é necessário realizar equivalências. Neste caso para transformar o biogás em outra forma de energia será por meio do poder calorífico inferior. Para determinar a conversão do potencial calorífico inferior do biogás para o potencial elétrico empregou-se a equação 6 (PROJETO GERAÇÃO DISTRIBUIDA, 2009). A qual realiza a transformação direta.

$$PE = \frac{Q_{biogás} \cdot PCI_{biogás} \cdot n_{gerador} \cdot 4,1868}{86.400} \quad (6)$$

Onde:

PE: Potência elétrica (KW);

$Q_{biogás}$: Vazão (produção média) do biogás (m³/d);

$PCI_{biogás}$: Poder calorífico do biogás (kcal/m³);

$n_{gerador}$: 30%, baseado no valor médio das tecnologias de conversão;

4,1868: Fator de conversão de “kcal” (quilo caloria) para “kj” (quilo joule), onde 1kj/s corresponde a 1 MW.

3.4 Dados Fixos de Entrada e Saída para Realização dos Cálculos Matemáticos

A tabela 13 mostra os valores das variáveis adotadas para o cálculo do volume de biogás.

Tabela 13: variáveis fixas para cálculo do volume de biogás

Variáveis	S ₀	S	Y _{obs}	f(T)	T	% CH ₄ biogás	PCI _{biogás}
	KgDQO _a /m ³	KgDQO _e /m ³	KgDQO _{lodo} / KgDQO _{apl}	-	°C	%	Kcal/kg
Valor médio	0,700	0,245	0,17	2,61	26	70	4.831,14

- * S₀ – Boletim de Controle de Dados Operacional da ETE Norte (2015), no período de 01/012015 a 31/12/15;
- * Y_{obs} – Coeficiente de produção de sólidos no sistema predefinido em Chernicharo (2007);
- * T – Temperatura operacional do reator, considerou a variação em °C para obtenção do percentual de DQO afluente removido em reatores UASB;
- * % CH₄biogás – Percentual de CH₄ no biogás, que também atende ao aspecto técnico de quantidade mínima de metano (70%), necessária ao funcionamento do gerador conforme recomendação contida na Proposta Técnica/Comercial do Grupo Fockink (2016).
- * PCI_{biogás} – Considerou dentro da variação do poder calorífico inferior do biogás, o valor mínimo para concentração de metano de 65% a 75%, conforme tabela 7.

3.5 Dimensionamento do gasômetro

O biogás oriundo do esgoto produzido nos digestores anaeróbios para geração de energia elétrica é necessário armazená-lo antes de passar pela purificação, com vistas à obtenção do metano. Esse armazenamento é feito em um recipiente denominado de gasômetro, e para dimensioná-lo, Chernicharo (2007) considera a capacidade de reservação conforme a demanda diária de gás; a curva de variação da demanda em função da hora do dia e a taxa de produção de gás pelo digestor, porém recomenda capacidade de armazenamento mínimo a produção de 4 a 8 horas do biodigestor. Todavia, é usual dimensionar o gasômetro entre 1/3 e 1/6 da produção diária de biogás para biodigestores de grande capacidade de produção.

$$V_g = \frac{V_p}{T_c} \quad (7)$$

Onde:

V_g: Volume recomendado para gasômetro em m³;

Vp: Produção diária de biogás em m³;

Tc: Tempo de consumo do biogás em horas.

3.6 Geração de crédito de carbono e sua respectiva receita

Para comercialização do crédito de carbono no mercado mundial é necessário passar pelo ciclo do carbono, ou seja, uma série de aprovações, sendo que este procedimento gera um custo financeiro extra. Com vista à inserção dessa receita nos cálculos financeiros, onde serão avaliados nos aspectos econômicos com e sem a receita desse atributo.

O preço das reduções certificadas de emissões (RCEs) no mercado internacional em 25 de março de 2016 é de € 4,80, sendo que na mesma data a cotação do Real em relação ao Euro é de 3,9865 (INVESTING.COM). As equações (8 e 9) demonstram o desenvolvimento para alcançar a quantidade de carbono equivalente e a respectiva receita monetária.

$$Eco = Dch_4 * Vch_4 * 21 \quad (8)$$

$$Rcc = Vte * Eco * Cot \quad (9)$$

Onde:

Dch₄: Densidade do metano (0,00066 t/m³);

Vch₄: Volume de CH₄ (m³);

Eco: Equivalente em toneladas de CO₂ (t);

Vte: Valor da tonelada do equivalente de CO₂ (€);

Rcc: Receita com créditos de carbono (R\$);

Cot: Cotação do euro (€) frente ao real (R\$);

21: Potencial poluidor do metano frente ao carbono.

3.7 Aspectos técnicos do conjunto motor-gerador

A conversão do biogás em energia elétrica é realizado por motores adaptados devido a origem do funcionamento dos mesmos serem à gasolina ou diesel. O dimensionamento adequado dos motor-geradores, purificadores de gases, gasômetro, instalações elétricas e físicas implicam no sucesso da unidade geradora de energia. Para atender o potencial elétrico da ETE foi solicitado à empresa FOCKINK um orçamento contendo: motor, gerador, filtro de gás e painel de controle.

A empresa FOCKINK não possui motor-gerador para a potência elétrica requerida. Assim foi definido o uso de 02 grupos geradores trabalhando em serie, sendo estes constituídos das seguintes características técnicas: grupo gerador modelo SG100B de 100 KVA/80kW e 70 KVA/56kW, ambos automático com tensão de 380 V. Para o funcionamento é necessário possuir uma concentração mínima de 65% metano. Todo conjunto pode ser visualizado na figura 19.

Figura 19 - Conjunto motor-gerador



3.8 Análise de viabilidade econômica

3.8.1 Valor Presente Líquido – VPL

O método do VLP é definido como a soma do valor presente das receitas menos à soma do valor presente dos custos, atualizada a taxa ou taxas adequadas de desconto (KASSAI et al., 2000).

$$VPL = \sum_{t=0}^h \left[\frac{Rt}{(1+i)^t} \right] - \sum_{t=0}^h \left[\frac{Ct}{(1+i)^t} \right] \quad (10)$$

Onde:

R: Receitas;

C: Custos;

h: Período de investimentos;

t: Ano em que ocorre o custo ou a renda;

i: Taxa de desconto.

Se o VPL for negativo, a taxa de retorno do capital investido será menor que a taxa mínima de atratividade. Por outro lado, se o VPL for positivo, o retorno do investimento será suficiente para repor o capital investido, a uma determinada taxa de juro.

* Logo é considerado atraente todo investimento que apresenta VPL maior ou igual a zero.

3.8.2 Taxa Interna de Retorno – TIR

Segundo Kassai et al., (2000), a taxa interna de retorno (TIR), é uma das formas mais sofisticadas para avaliar uma proposta de investimento de capital. Ela representa a taxa de desconto que iguala, num único momento, os fluxos de caixa, entrada e saída. Ou seja, é quando a taxa produz um VPL igual a zero.

$$\left[\sum_{t=0}^r \frac{Rt}{(1+i)^{r-t}} \right] - \left[\sum_{t=0}^r \frac{Ct}{(1+i)^{r-t}} \right] = 0 \quad (11)$$

Onde:

C: Custos;

R: Receitas;

i: TIR;

r: Rotação ou vida do projeto;

t: Tempo (ano onde os custos e receitas ocorrem).

Condição viável: TIR maior que a taxa de juros de referência.

3.8.3 Método de depreciação linear

O método de depreciação linear é o método mais simples e mais utilizado. Consiste apenas em dividir o total a depreciar pelo número de anos de vida útil do bem.

$$D_t = \frac{C_i - C_f}{V_u} \quad (12)$$

Onde:

D_t: Depreciação anual, (R\$ ano-1);

C_i: Custos com materiais depreciáveis, (R\$);

C_f: Valor final do ativo, (R\$), e;

V_u: Vida útil, (ano).

3.8.4 Payback

Consiste assim num período de recuperação de um investimento (TRC) e na identificação do prazo em que o montante do dispêndio de capital efetuado seja recuperado por meio dos fluxos líquidos de caixa gerados pelo investimento, ou seja, é o tempo necessário para que o somatório das receitas se iguale ao somatório dos custos.

$$\sum_{i=0}^n Ri = \sum_{t=0}^n Ct \quad (13)$$

Onde:

Ri: Receitas;

Ct: Custos;

i , t: Período em que o custo ou receita ocorrem;

n: Número máximo de períodos.

Condição viável: TRC menor que o tempo de vida útil do projeto.

Os cálculos de indicadores de viabilidade dependem do desconto de fluxos de caixa para trazê-los à data zero (data do investimento inicial do negócio), assim é necessário definir inicialmente a taxa de desconto, ou seja, definir a TMA, que nesse caso foi adotado 12% por ser um valor usualmente praticado pelo mercado.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este trabalho apresenta como resultados a estimativa de produção de biogás e consequentemente do metano a fim avaliar o custo para o aproveitamento deste último como fonte de energia elétrica na ETE Norte em Palmas-TO. Os dados usados na tabulação deste tiveram como referência o ano de 2015. Assim, potencializa a iniciativa de inserir aos sistemas de tratamento de efluentes o aproveitamento desse subproduto (CH_4) como fonte energética, além da possibilidade de poder incluir projetos de MDL, ajustando práticas sustentáveis e retorno financeiro. Os dados de entradas usados para desenvolvimento dos cálculos para obter os resultados foram valores médios e parâmetros com valores predeterminado pela empresa operadora da ETE em estudo.

No apêndice são apresentadas as planilhas contendo informações de produção de biogás, metano e potencial elétrico de forma diária. Na tabela 14 é exposto um resumo de parâmetros de produção de biogás, metano e potencial elétrico.

4.1 Biogás Produzido vs Conversão Em Potencial Elétrico

A estimativa de produção de biogás, metano e potencial elétrico foram realizadas através da aplicação da equação (2), (5) e (6) respectivamente, associada a variáveis fixas contidas na tabela 13. Esses valores são representados mensalmente, sendo estes, transformados para forma diária obtêm-se volume médio de metano de $1.070,00 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$, correspondendo a $44,60 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. Já o potencial elétrico médio resultou em 75kW , o que equivale a oferta de consumo de energia elétrica para Estação de Tratamento de 75kWh .

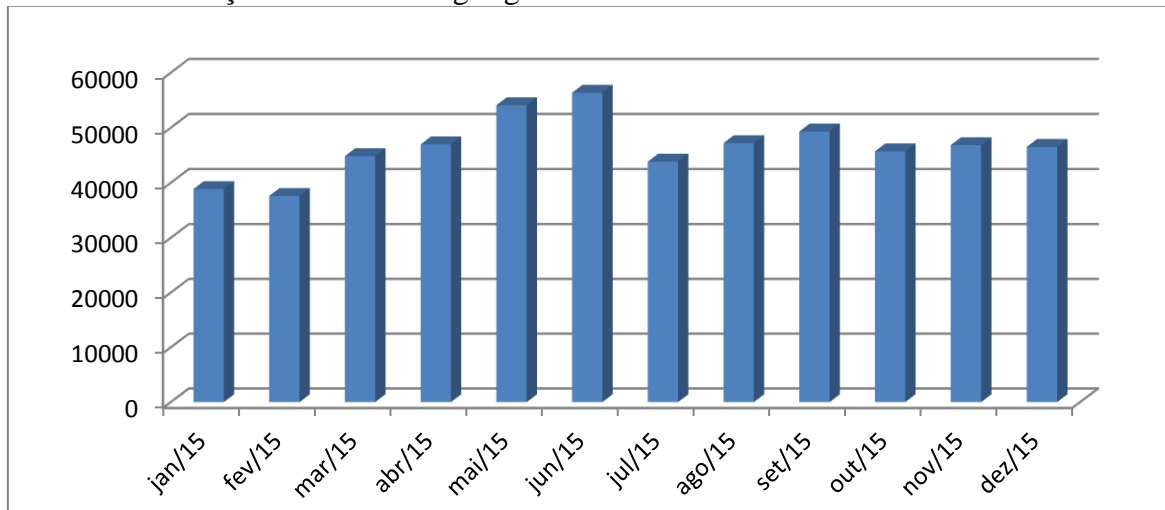
Tabela 14: Resumo do volume de biogás / metano acumulado no ano de 2015.

DATA	DQOCH ₄	Q _{biogás}	QCH ₄	PE	VOLUME TRATADO
Ref. 2015	KgDQOCH ₄ /mês	(m ³ / mês)	(m ³ / mês)	KW	(m ³)
Janeiro	101.372,17	38.863,46	27.204,42	1.910,64	301.702,89
Fevereiro	98.086,04	37.603,64	26.322,55	1.848,70	291.922,74
Março	116.993,98	44.852,46	31.396,72	2.205,08	348.196,38
Abril	122.549,07	46.982,14	32.887,50	2.309,78	364.729,39
Mai	141.087,44	54.089,27	37.862,49	2.659,18	419.903,10
Junho	147.025,59	56.365,80	39.456,06	2.771,11	437.576,16
Julho	114.363,00	43.843,81	30.690,67	2.155,49	340.366,08
Agosto	123.147,82	47.211,68	33.048,18	2.321,06	366.511,38
Setembro	128.635,11	49.315,37	34.520,76	2.424,49	382.842,60
Outubro	119.270,47	45.725,21	32.007,64	2.247,98	354.971,64
Novembro	122.189,98	46.844,47	32.791,13	2.303,01	363.660,66
Dezembro	121.382,78	46.535,01	32.574,51	2.287,80	361.258,26
TOTAL ANUAL	1.456.103,47	558.232,30	390.762,6 1	27.444,31	4.333.641,28

4.1.1 Volume de biogás relacionado com os parâmetros de pluviometria e temperatura

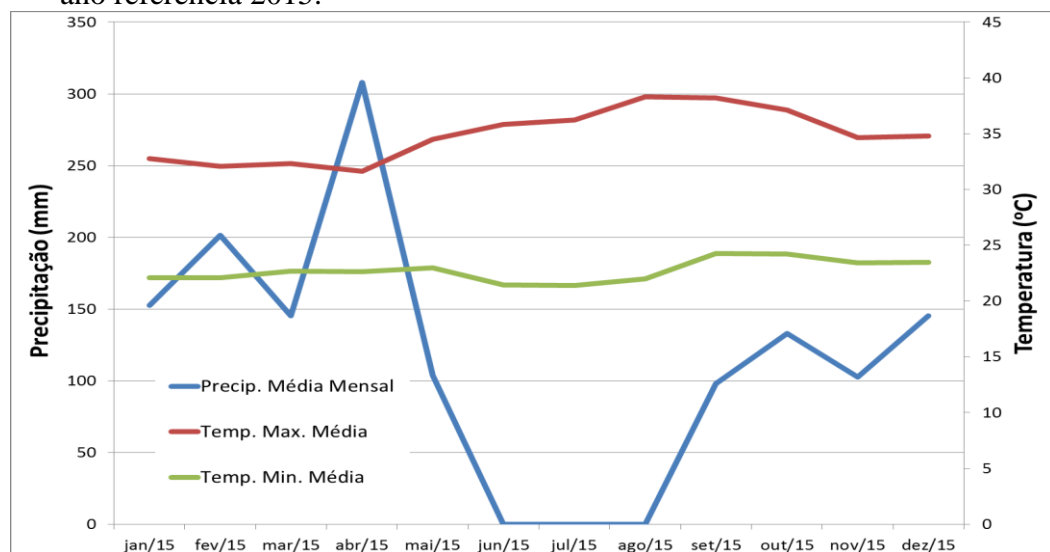
De acordo com a classificação de Koppen o clima no Estado do Tocantins é tropical. A temperatura média é de 32°C no período de seca (de abril a setembro) e de 26°C no período de chuvas (de outubro a março). Nessa condição climática o Estado do Tocantins se apresenta com potencial elevado para produção de biogás. Nos gráficos 1 e 2 mostra a o nível esperado de produção de biogás e parâmetros climáticos como: precipitação, temperatura média máxima e média mínima. Os meses de maio e junho os níveis de produção de biogás mais elevado, com acréscimo de 33,7% em relação a menor produção. Apesar dos parâmetros meteorológicos influenciarem, na prática, a produção de biogás, neste caso não foi possível avaliar a magnitude de tal influência por que se trabalho com parâmetros de produção médios.

Gráfico 1: Produção mensal de biogás gerado na ETE Norte



Fonte: próprio autor

Gráfico 2: parâmetros climáticos: Precipitação, Temperatura média máxima e media mínima, ano referência 2015.



Fonte: INMET, 2016.

4.2 Consumo de Energia Elétrica da ETE vs Receita com Metano

A ETE Norte possui um consumo de energia 2.001.955 kWh por ano com custo correspondente a R\$ 1.117.035,09, conforme relatado na tabela 15. Pormenorizando o consumo demandado em 2015, obteve uma média de 228,5kWh. Assim, a produção de metano corresponde a 32,8% do consumo energético da estação. O custo de energia por kWh é de R\$ 0,557. Com base no volume produzido de metano, e transformando-o em energia elétrica, a empresa teria uma redução no custo anual de energia na ordem R\$ 360.930,00.

Tabela 15: Resumo do consumo/custo acumulado de energia no ano de 2015

Local	Data Ref. 2015	Consumo (kWh)	Valor Pago (R\$)
ETE NORTE	Janeiro	157.196	101.577,56
ETE NORTE	Fevereiro	148.501	104.948,84
ETE NORTE	Março	138.279	80.029,69
ETE NORTE	Abril	172.493	87.661,34
ETE NORTE	Maio	161.077	82.404,65
ETE NORTE	Junho	189.575	97.873,93
ETE NORTE	Julho	206.249	108.088,41
ETE NORTE	Agosto	183.305	101.486,30
ETE NORTE	Setembro	193.818	105.536,59
ETE NORTE	Outubro	165.864	89.655,56
ETE NORTE	Novembro	140.387	82.477,06
ETE NORTE	Dezembro	145.211	75.295,16
TOTAL		2.001.955	1.117.035,09

Fonte: Odebrecht Ambiental, 2016.

4.3 Custo de Aquisição e Manutenção de Bens, Equipamentos e Depreciação

A ETE Norte produz diariamente um volume estimado de biogás na ordem de 1.530,00 m³ d⁻¹ onde 70% desse volume corresponde a 1.070,00 m³d⁻¹ de metano (CH₄) para um volume tratado de 11.873m³dia⁻¹, ou seja, para cada m³ de esgoto, produz-se 0,09m³ de metano. Essa produção está diretamente associada às condições de operação do sistema anaeróbio.

Logo com o potencial elétrico de 75kW foi possível configurar os equipamentos destinados a implementar a geração de energia elétrica. O motor-gerador terá previsão de funcionamento de 16,0 horas dia⁻¹ durante 360 dias o que totaliza 5.760,0 horas de operação por ano para efeito de custo com manutenção. O investimento inicial e os custos anuais de operação foram estabelecidos de acordo com informações orçamentária fornecidas pela empresa FOCKINK em maio de 2016.

Na avaliação do sistema proposto foi contemplada a aquisição de equipamentos, construção de abrigo para o motor-gerador, sistema de purificação do gás, e demais equipamentos necessários, conforme apresentado na tabela 16. O volume do gasômetro foi obtido através da equação 7, com relação de 1/3 do volume produzido de metano.

Tabela 16: Custos com investimento de equipamentos, materiais e instalações.

Discriminação do item	Quantidade	Valor (R\$)
Grupo gerador + painel de controle ⁽¹⁾	02	315.616,00
Isolamento térmico do escapamento ⁽¹⁾	02	7.000,00
Sistema de purificação do biogás ⁽¹⁾	01	4.000,00
Gasômetro 400m ³	01	60.000,00
Instalação elétrica da rede da concessionária até o painel	01	3.400,00
Obra civil – abrigo do conjunto motor-gerador (30m ²) ⁽²⁾	01	20.962,52
Frete	01	4.000,00
Investimento parcial		414.978,52
Margem de incerteza (20% do investimento total) ⁽³⁾	01	82.995,704
BDI–Benefícios e Despesas Indiretas (25% do total geral) ⁽⁴⁾	01	103.744,63
Investimento total de capital	-	601.718,85

⁽¹⁾Orçamento empresa FOCKINK⁽²⁾; Orçamento descrito no apêndice; ⁽³⁾Percentual adotado como fator de segurança; ⁽⁴⁾Percentual médio praticado pelo mercado.

Foram considerados na avaliação dos custos de viabilidade, em período anual, os custos de depreciação, os juros sobre o capital e os custos de operação e manutenção. A depreciação incorre na desvalorização dos bens da propriedade, decorrente do tempo. Os bens depreciáveis analisados foram: equipamentos, máquinas e edificações. A tabela 17 apresenta os dados obtidos. Não foi considerado valor final devido à inconsistência ou falta do valor de venda

Tabela 17: Depreciação de bens e equipamentos.

Equipamento/Outros	Valor inicial (R\$)	Vida útil (ano) (5)	Depreciação (R\$/ano)
Grupo gerador + painel de controle	315.616,00	10	31.561,60
Isolamento térmico do escapamento	7.000,00	10	700,00
Sistema de purificação do biogás	4.000,00	10	400,00
Gasômetro 200m ³	60.000,00	10	6.000,00
Instalação elétrica da rede da concessionária até o painel	3.400,00	10	340,00
Obra civil – abrigo do conjunto motor-gerador (30m ²)	20.962,52	25	838,50
Valor total	394.786,01	-	39.840,10

⁽⁵⁾Base Legal: Instruções Normativas SRF n.ºs. 162/98 e 130/99.

Os custos concernentes à operação e manutenção do sistema de geração de energia são descritos na tabela 18.

Tabela 18: Custos com manutenção e operação dos equipamentos.

Item/	Despesa com manutenção por tempo de funcionamento				
	Intervalo de tempo	Quant.	Valor unitário	Valor total	Custo anual
	h	und.	R\$	R\$	(R\$)
Substituição de velas	300	12	16,00	192,00	3.686,40
Substituição de cabos de velas	1000	12	23,00	276,00	1.589,76
Troca de óleo	400	22	22,00	484,00	6.969,60
Troca de filtro de óleo	400	2	65,00	130,00	1.872,00
Recondicionamento do motor	8000	2	10.500,00	21.000,00	15.120,00
Despesa parcial					29.237,76
Margem de incerteza (20% do total de O&M) ⁽¹⁾					5.847,55
Custo total					35.085,31

⁽¹⁾Percentual adotado como fator de segurança

Com base nos custos determinados acima gerou um valor total onde contempla aquisição, operação e manutenção de todo o sistema de geração de energia proposto totalizando para o primeiro ano um montante de R\$ 676.644,26. A mão-de-obra não foi considerada porque o sistema proposto de simples operação, No entanto, funcionário efetivo responsável pela operação da ETE deverá ser capacitado para dar partida no sistema quando necessário.

A tabela 19 esboça o resumo de custos com os itens de depreciação, M&O do sistema.

Tabela 19: Custos totais de operação e manutenção do sistema de geração de energia.

Itens	Custo (R\$/ano)
Aquisição de bens e equipamentos	601.718,854
Depreciação	39.840,10
Manutenção preventiva e operação do sistema gerador	35.085,31
Valor total	676.644,26

4.4 Receita de Reduções Certificadas (Credito de Carbono)

Um projeto de MDL possui duração de 7 a 10 anos podendo ser prorrogado por duas vezes. Entretanto para que seja possível inserir a receita de credito de carbono ao projeto de geração de energia é necessário passar pelas aprovações do ciclo MDL. O custo financeiro dessa transação gira em torno de R\$ 200.000,00, a depender do negócio se torna inviável. O volume de tCO₂e foi estimado conforme a equação (8) e (9). O valor de cada

crédito na ordem de € 4,80, sendo que cada Euro foi em cotado 2/05/2016 a R\$ 3,9865. Como o volume gerado seria de 5.415,90 tCO₂e ano⁻¹, o montante financeiro possível de ser obtido é em torno R\$ 103.635,00.

4.5 Análise de Viabilidade Financeira

Com base nos dados levantados definiu-se um cenário onde se avalia a produção de biogás, os custos financeiros para implantação de sistema de aproveitamento energético elétrico, e a consequente geração de receita. Nos investimento foram considerados obra civil, Grupo motor-gerador, painel de comando, periféricos e o projeto ciclo MDL. Os custos foram compostos pela M&O e a depreciação dos itens adquiridos. A receita corresponde a redução das despesas com energia elétrica, obtida redução do consumo de energia elétrica da rede substituída pela energia gerada no sistema e a comercialização de redução certificada de carbono.

A tabela 20 mostra o resumo dessa composição. Na análise financeira foram considerados dois casos, com e sem o advento da receita sobre a venda dos créditos de carbono.

Tabela 20: Resumo de investimento e custo de M&O, depreciação e receita financeira.

Composição	Valor (R\$)
Investimento (incluindo projeto MDL)	-876.644,26
Depreciação a.a	-39.840,10
Manutenção e operação do sistema a.a	-35.085,31
Receita (energia)	360.930,00
Receita (credito de carbono)	103.635,00

Foi efetuada a aplicação dos indicadores financeiros, permitindo assim observar a evolução financeira do projeto. A tabela 21 inclui nos resultados o item referente comercialização do crédito de carbono. Nessa simulação foi adotado TMA de 12% (expectativa de ganho do investidor), para vida útil de projeto de 10 anos. O valor do VPL foi de R\$ 1.399.831,73, o que indica viabilidade da proposta. A TIR obtida foi de 47,61%, maior que a TMA, retificando a viabilidade. O tempo de retorno do investimento (*PAYBACK*) foi de aproximadamente 2 anos e 1 meses. Apresenta-se também o *Payback* descontado, que é um indicador rigoroso. O valor obtido, de 2 anos 6 meses, mostrou-se muito próximo ao *Payback*. Portanto o projeto tem alto grau de viabilidade. Na tabela 21, estão as variáveis com respectivos valores e na tabela 22, a evolução do fluxo de caixa para 10 anos.

Tabela 21: Análise financeira com inserção da comercialização do crédito de carbono

Composição de itens utilizados na análise financeira	Valores	
Vida útil do projeto em anos		10
Receita mensal da economia em energia + venda de carbono	R\$	38.713,75
Receita anual da economia em energia + venda de carbono	R\$	464.565,00
Investimento de implantação da unidade geradora de energia	R\$	601.718,85
Investimento MDL	R\$	200.000,00
Custo operação e manutenção e depreciação a.a	R\$	74.925,41
Lucro líquido descontado	R\$	2.297.756,85
TMA a.a.		12,00%
VPL	R\$	1.399.831,73
TIR		47,61%
Pay Back em períodos (anos)		2,06
Pay Back descontado em períodos (anos)		2,46

CONDIÇÃO FINANCEIRA VIÁVEL

Tabela 22: Evolução dos parâmetros econômicos referente aos dados da tabela 21.

Perío.	Investim.	Receita	Despesa	FCL	SAR	FCD	SARD
0	801.718,85	0	0	- 801.718,85	- 801.718,85	- 801.718,85	- 801.718,85
1		464.565,00	74.925,41	389.639,59	- 412.079,26	347.892,49	- 453.826,36
2		464.565,00	74.925,41	389.639,59	- 22.439,67	310.618,30	143.208,06
3		464.565,00	74.925,41	389.639,59	367.199,92	277.337,76	134.129,70
4		464.565,00	74.925,41	389.639,59	756.839,51	247.623,00	381.752,70
5		464.565,00	74.925,41	389.639,59	1.146.479,10	221.091,97	602.844,67
6		464.565,00	74.925,41	389.639,59	1.536.118,69	197.403,54	800.248,21
7		464.565,00	74.925,41	389.639,59	1.925.758,28	176.253,16	976.501,38
8		464.565,00	74.925,41	389.639,59	2.315.397,87	157.368,90	1.133.870,27
9		464.565,00	74.925,41	389.639,59	2.705.037,46	140.507,94	1.274.378,21
10		464.565,00	74.925,41	389.639,59	3.094.677,05	125.453,52	1.399.831,73

FCL- fluxo de caixa líquido, SAR – Saldo a recuperar. FCD – Fluxo de caixa descontado. SARD- Saldo a recuperar descontado

No caso da não adoção de comercialização do crédito de carbono, mantendo-se as mesmas variáveis, como TMA e vida útil do projeto, obteve os seguintes resultados. Um VPL de R\$ 1.014.270,87, TIR de 46,48%, evidenciando assim retorno do investimento. O tempo de retorno do investimento foi de aproximadamente 2 anos e 2 meses e *Payback* descontado

de 2 anos e 7 meses. Neste caso os dois pay backs apresentaram diferença, no entanto esta, também foi muito pequena. Na tabela 23 são demonstradas as variáveis com respectivos valores e na tabela 24 a evolução dos dados para 10 anos. Comparando os dois casos, verifica-se que a adoção da venda do crédito de carbono apresenta indicadores de viabilidade mais interessantes. Pode-se afirmar que ambos os casos são plausíveis.

Tabela 23: Análise financeira sem adoção da comercialização do crédito de carbono

Composição de itens utilizados na análise financeira	Valores
Vida útil do projeto e anos	10
Receita mensal da economia em energia	R\$ 30.077,50
Receita anual da economia em energia	R\$ 360.930,00
Investimento de implantação da unidade geradora de energia	R\$ 601.718,85
Custo operação e manutenção e depreciação a.a	R\$ 74.925,41
Lucro líquido descontado	R\$ 1.688.195,98
TMA a.a.	12,00%
VPL	R\$ 1.014.270,87
TIR	46,48%
Pay Back em períodos (anos)	2,10
Pay Back descontado em períodos (anos)	2,53
CONDIÇÃO FINANCEIRA VIÁVEL	

Tabela 24: Evolução dos parâmetros econômicos

Perío.	Investim.	Receita	Despesa	FCL	SAR	FCD	SARD
0	601.718,85	0	0	-601.718,85	-601.718,85	-601.718,85	-601.718,85
1		360.930,00	74.925,41	286.004,59	-315.714,26	255.361,24	-346.357,61
2		360.930,00	74.925,41	286.004,59	29.709,67	228.001,11	118.356,50
3		360.930,00	74.925,41	286.004,59	256.294,92	203.572,42	85.215,92
4		360.930,00	74.925,41	286.004,59	542.299,51	181.761,09	266.977,00
5		360.930,00	74.925,41	286.004,59	828.304,10	162.286,69	429.263,69
6		360.930,00	74.925,41	286.004,59	1.114.308,69	144.898,83	574.162,52
7		360.930,00	74.925,41	286.004,59	1.400.313,28	129.373,95	703.536,47
8		360.930,00	74.925,41	286.004,59	1.686.317,87	115.512,46	819.048,92
9		360.930,00	74.925,41	286.004,59	1.972.322,46	103.136,12	922.185,05
10		360.930,00	74.925,41	286.004,59	2.258.327,05	92.085,82	1.014.270,87

5 CONCLUSÃO

Considerando a premissa mundial de que os processos produtivos precisam ser sustentáveis para garantir a diminuição dos impactos ambientais, o aproveitamento do biogás não deve ser abordado apenas como um interesse econômico, pois esse subproduto da digestão anaeróbia é responsável por 16% do aquecimento global (EPA, 2010). Ao utilizá-lo como fonte de energia para geração de eletricidade é totalmente viável em ambos os aspectos.

A ETE Norte conta com infraestrutura e composição do sistema de tratamento de águas residuárias favoráveis a implantação de um projeto de aproveitamento do biogás como fonte energética. Os resultados mostraram que a ETE tem potencial de geração de biogás suprimindo 32,8% da sua demanda de energia elétrica.

A implantação do sistema proposto para geração de 75 kW de energia elétrica, considerado uma produção significativa, obteve indicadores financeiros favorável, no caso com projeto de MDL com $VPL=R\$1.399.831,73$, $TIR=47,61\%$ e $Payback= 2$ anos e 6 meses. O caso sem projeto de MDL, mostrou-se igualmente viável com $VPL=R\$1.014.270,87$, $TIR=46,48\%$ e $Payback= 2$ anos e 7 meses. O primeiro caso é mais interessando do ponto de vista econômico e ambiental.

Conforme análise dos resultados, foi possível perceber que projeto de curta duração (7 anos, tempo mínimo para do projeto de MDL) mostra-se atrativo, pois foi possível comprovar que as receitas (R\$ 103.635,00 ao ano) de RCE's favoreceram o tempo de retorno do investimento.

Na implantação de um projeto dessa natureza, a geração de energia elétrica proveniente do biogás atinge três dimensões: Ambiental, Social e Econômico. A dimensão ambiental se caracteriza pelo uso sustentável de fonte renovável de energia, dimensão social, tratamento adequado do esgoto coletado garante melhoria da saúde pública e qualidade de vida da população, a dimensão econômica, a geração de receita a partir de energia que seria descartada e poluidora.

Com base em todos os aspectos apresentados, conclui-se que, nesse estudo de caso, a geração de energia elétrica a partir do biogás obtido pelo processo de biodigestão anaeróbia de ETE's é viável. Entretanto é um projeto que requer um nível de responsabilidade elevado condizentes com as premissas técnicas estabelecidas nessa área de atividade. A variação da tarifa de energia elétrica, do Dólar, do Euro (credito de carbono), condições operacionais do sistema e condição ambiental, podem ser fatores de risco para a viabilidade do sistema.

Diante dessa avaliação, a proposição de obter energia elétrica oriunda do biogás, apresenta condições favoráveis de aplicabilidade na prática.

Recomenda-se para trabalhos futuros a implantação de medidores de produção de biogás a fim de se obter valores mais precisos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACARDIS TETRAPAN (PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento). **Estudo sobre o Potencial de Geração de Energia a partir de Resíduos de Saneamento (lixo, esgoto), visando incrementar o uso de biogás como fonte alternativa de energia renovável.** Produto 6 - Resumo Executivo. São Paulo, 2010. 56p.

ALVARES, Gilberto. **Brasil é a nova promessa no mercado de Crédito de Carbono.** Outubro/2012. Disponível em: <http://www.folhavoria.com.br>. Acesso em 06 de outubro de 2015.

ALVES, J.W.S. **Diagnóstico Técnico Institucional da Recuperação e Uso Energético do Biogás Gerado pela Digestão Anaeróbica de Resíduos.** Dissertação de Mestrado, PIPGE/USP, São Paulo, 2000.

Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (2009). **Banco de Informações de Geração.** Disponível em: www.aneel.org.br. Acesso em 27 de outubro de 2015.

AMBIENTEBRASIL. Disponível em <http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3>. Acesso em 13 de maio de 2015.

ANDRADE NETO, C. O. **Sistemas Simples para Tratamento de Esgotos Sanitários – Experiência Brasileira.** 301p. Rio de Janeiro, ABES, 1997.

BARRERA, P. **Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural,** Editora Ícone, São Paulo, 2ª Ed., 2003.

BITTON, G. **Wastewater microbiology.** Ed. Wiley-Liss, 27/01/2005, p.349, New York, NY.

BEN, F. **Análise do Reconhecimento Contábil dos Créditos de Carbono.** In: XI Convenção de Contabilidade do RS. Bento Gonçalves, RS, 2007.

BGS. **Histórico do biogás.** 2012. Disponível em <http://bgsequipamentos.com.br/blog/hello-world/>. Acesso em 31 de dezembro de 2015.

BM&FBOVESPA. **O Mercado de Carbono.** Disponível em: <http://www.bmfbovespa.com.br/pt-br/mercados/mercado-de-carbono>. Acesso em 18 de agosto de 2015.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco energético nacional – BEN; Relatório final.** Brasília: MME, 2016.

BUENO, J. **A Matriz Energética Brasileira: Situação Atual e Perspectivas.** Agosto/2013. Disponível em: <http://www.riocapitaldaenergia.rj.gov.br>. Acesso em 04 de maio de 2016.

CAETANO, L. **Proposição de um sistema modificado para quantificação de biogás**, Dissertação (Mestrado) - UNESP, Campus de Jaboticabal, p. 130, 1995.

CAPSTONE. **Application Guide**. Landfill / Digester Gas Use with the Capstone Microturbine, Capstone Turbine Corporation, California, 2001.

CAPSTONE. **Application Guide**. Capstone Microturbine Fuel Requirement, Capstone Turbine Corporation, California, 2001.

CARON, C. F.; MESSIAS, J.N.; FILHO, J.S.C.; RUSSI, J.C.V.; WEBER, M.I. **Geração de energia no campus a partir da biodigestão anaeróbica**. Curitiba –PR, 2009. Disponível em http://www.utp.br/tuiuticienciaecultura/ciclo_4/tcc_42_FACET/pdfs/art_5.pdf. Acesso em 11 de novembro de 2015.

CENBIO. Nota Técnica VII - **Geração de Energia a Partir do Biogás Gerado por Resíduos Urbanos e Rurais**. São Paulo, 2001.

_____. **Relatório Técnico Final – Projeto ENER-G-BIOG**, São Paulo, 2004.

_____. **A biomassa no Brasil e o papel do CENBIO: 1ª Conferência das renováveis à eficiência energética**. São Paulo, 2012.

CHERNICHARO, C. A. L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Reatores Anaeróbios**. 2.ed. Belo Horizonte: Departamento de engenharia Sanitária e Ambiental, 379p. 2007.

_____. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Reatores Anaeróbios – Vol. 5**. 2008.

_____. (Coordenador). **Pós-tratamento de efluentes anaeróbios**. Projeto PROSAB. 544 p. Belo Horizonte, 2001.

CLASSEN, P. A. M; LIER, J. B.; STAMRS, A. J. M. **Utilization of biomass for supply of energy carrier**. Applied microbiology and biotechnology, v.52, p.741-755, 1999.

COELHO, S. T.; et al. (2006). **Geração de Energia Elétrica a partir do Biogás proveniente do Tratamento de Esgoto utilizando um Grupo gerador de 18 kW**. V Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, 02 Junho de 2006; site do CENBIO – Centro Nacional de referência em Biomassa.

_____. et al. (2003). **Programa de uso racional de energia e fontes alternativas – PUREFA**. In: CONGRESSO INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM RESÍDUOS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - ICTR, 1, 2003, São Paulo. Biodigestor modelo UASB. São Paulo: SP, 2003. 20 p.

COLDEBELLA, A, **Viabilidade do uso do biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais**. Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, Paraná. 2006. 75 p.

CONVENÇÃO-QUADRO DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE A MUDANÇA DO CLIMA. Disponível em: <http://unfccc.int/documentation/documents/items/3595>. Acesso em 06 de outubro de 2015.

COSTA, D. F. **Geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento de esgoto**. Dissertação (Mestrado em Energia) – Programa Inter-unidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 194p. 2006.

_____. et al. **Produção de Energia Elétrica a partir de Resíduos Sólidos Urbanos**. Trabalho de Graduação Interdisciplinar/FAAP, São Paulo, 2001.

DEGANUTTI R.; et al. **Biodigestores Rurais: Modelo Indiano, Chinês e Batelada**. Departamento de Artes e Representação Gráfica, FAAC - Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, UNESP - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Bauru-SP, 2008.

ENEGEP. **Análise econômica de investimentos que visam à produção de biogás e biofertilizante por meio de biodigestão anaeróbia na bovinocultura de corte**. XXXII Encontro nacional de engenharia de produção. Bento Gonçalves, RS. 2012.

EPA - Environmental Protection Agency. 2010. Disponível em <https://www3.epa.gov/climatechange/ghgemissions/global>. Acesso em 05 de abril de 2016.

ETCHECOIN, C. 2000. **Protocolo de Kyoto: Passaporte das Futuras Gerações**. In: **CENBIO NOTÍCIAS**, v.3 N°.8, p. 4.

FARIA, R. A. P. **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, PR: UNIOESTE, 2012.

FEIDEN, A.; REICHL, J.; SCHWAB, J, et al. **Avaliação da eficiência de um biogestor tubular na produção de biogás a partir de águas residuárias de suinocultura**. V ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 2004, Campinas-SP.

FERNANDES, D. M. **Biomassa e biogás da suinocultura**. 2012. 209 f. Dissertação (Energia na Agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná-Unioeste. Cascavel-PR, 2012.

FERRETTI, W. **Brasil é a nova promessa no mercado de Crédito de Carbono**. Outubro/2012. Disponível em: <http://www.folhavitoria.com.br>. Acesso em 06 de outubro de 2015.

FRAGMAQ. **Biogás no Brasil: sua importância na matriz energética brasileira.** 2012. <http://www.fragmaq.com.br/blog/energia-renovavel/biogas-no-brasil/>. Acesso em 25 de maio de 2015

FRANÇA JUNIOR, A. T. **Análise do aproveitamento energético do biogás produzido numa estação de tratamento de esgoto.** Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 148p. 2008.

FRARE, L. M. **Estudos para a implementação de uma planta para remoção de ácido sulfídrico de processos de produção de biogás.** Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 182p. 2006.

FUNASA – FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual de Saneamento.** Ministério da Saúde. Brasília, 408p. 2004.

GASPAR, R. M. B. L. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: Um estudo de caso na região de Toledo-PR. Florianópolis.** Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis, 2003, 119p.

GASPARIN, M. **Mercado para Créditos de Carbono ganha força no Brasil.** Setembro/2005. Disponível em: <http://www.biodieselbr.com/noticias/creditos-de-carbono/mercado-para-creditos-de-carbono-ganha-forca-no-brasil.htm>. Acesso em 18 de agosto de 2015.

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-SP, 2006.

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-SP, 2008.

ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade. **Manual para aproveitamento do biogás: volume um, aterros sanitários.** Secretariado para América Latina e Caribe, São Paulo, 80p. 2009.

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

INEE. O que é geração distribuída. 2016. Disponível em http://www.inee.org.br/forum_ger_distrib.asp. Acesso em 08 de maio de 2016.

INMET-Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados históricos.** 2016. Disponível em http://www.inmet.gov.br/sim/abre_graficos.php. Acesso em 04 de maio de 2016.

KASSAI, J. R. **Retorno de investimento: abordagem matemática e contábil do lucro empresarial.** 2. Edição. São Paulo. Editora Atlas, 2000. 256 p.

KOPPEN, W. **Climatologia**: com um estudio de los climas de la tierra. México: Fondo de Cultura Economica, 1948.

LAMAS, W. Q. **Análise termoeconômica aplicada a uma mini-estação de tratamento de esgoto com auto-suficiência energética**. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2007. 135 p.

LEAL, C. C. L. V.; BRITO, A. U. **Análise do custo de geração de energia elétrica pela unidade de disposição final de RSU de Macapá**. IV Congresso Brasileiro de Energia Solar e V Conferencia Latino-Americana da ISES – São Paulo, 2012.

LIMA, F. P. **Energia no tratamento de esgoto: análise tecnológica e institucional para conservação de energia e uso do biogás**. Programa Inter-unidades de Pós-Graduação em Energia – PIPGE (EP/FEA/IEE/IF). Universidade de São Paulo – USP, São Paulo. 139 p. 2005.

LIMIRO, D. **Créditos de Carbono: Protocolo de Kyoto e Projetos de MDL**. Curitiba: Juruá, 2009.

LOPES, I. V. **O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – Guia de Orientação FGV**. Coordenação-geral Ignez Vidigal Lopes. Rio de Janeiro, 2002. 90p.

MAIA, D. C. S. **Remoção de H₂S e CO₂ de biogás para utilização energética**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Estadual de Maringá. Maringá, Paraná, 2011. 86p.

MENEGUIN, F. **O que é o mercado de carbono e como ele opera no Brasil?** 2012. Disponível em: <http://www.brasil-economia-governo.org.br/2012/08/13/o-que-e-o-mercado-de-carbono-e-como-ele-opera-no-brasil>. Acesso em 02 de outubro de 2015.

MKMBR Engenharia Ambiental. **Manual de operação e manutenção: sistema de esgotamento sanitário de Palmas - ETE Vila União**. Brasília, 2012. 148p.

MORGENROTH, E.; KOMMEDAL, R.; HARREMOËS, P. **Process and modeling of hydrolysis of particulate organic matter in anaerobic wastewater treatment – a review**. *Water Science Technology*, v. 45, n. 6, p. 25-40, 2002.

NIELSEN, J. **Utilização do gás metano proveniente da purificação do gás de esgoto**. In: Energia – Fontes Alternativas. São Paulo: v. 29/30: p. 20-27, 1983.

NISHIMURA, R.; KOLTERMANN, P. I.; SOUZA, K. C. G.; ORTEGA; J. M. **Balço Energético em Suinocultura Com Geração de Energia Elétrica a Partir do Biogás**. In: VIII Conferência Internacional de Aplicações Industriais - VIII INDUSCON. Poços de Caldas, 2008.

NOGUEIRA, L. A. H. **Biodigestão, a alternativa energética**. São Paulo: Editora Nobel, 1986. p.1-93.

NUVOLARI, A. (Coordenador). **Esgoto Sanitário – Coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. 1ª Ed. Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo-SP,. 2003.

OLIVEIRA, P. A. V. de; HIGARASHI, M. M. **Geração e utilização de biogás em unidades de Produção de suínos**. Concórdia - SC, Embrapa suínos e aves. 2006 .42p.

PARADA, A. G. **Crédito de Carbono – COSIF – Portal de Contabilidade**. 2010. Disponível em <http://www.cosif.com.br>. Acesso em 03 de abril de 2015.

PECORA, V. **Implementação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP: Estudo de caso**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Inter -unidades de Pós-Graduação em Energia (PIPGE), Universidade de São Paulo, São Paulo, 153p. 2006.

PEREIRA, R. S. **Poluição hídrica causas e conseqüências**. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas UFRGS. 2004. 19p.

PEISINO, A. L. **Membranas anisotrópicas densas para a remoção de CO₂ e H₂S do gás natural**. Dissertação (Mestrado Engenharia Química). Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009. 111p

PIRES, N. J. R. M.; **T.T.E - FINAL PROJECT - BIOGAS**, 1996. Disponível em http://morango.esb.ucp.pt/~n_pires/p4.htm. Acesso em 22 de maio de 2015.

PORTES, Z. A.; **Aplicativo Computacional para Projetos de Biodigestores Rurais**. (Dissertação) Mestrado em Agronomia - Energia na Agricultura - Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP – Campus de Botucatu, Botucatu, 2005.

PRATI, L. **Geração de energia elétrica a partir do biogás gerado por biodigestores**. 2010. Monografia (Bacharelado) – Setor de Tecnologia, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, 2010. Disponível em: <http://www.eletrica.ufpr.br/ufpr2/tccs/148.pdf>. Acesso em 21 de setembro de 2015.

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

PROSAB. **Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás**, PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, RIMA – Brasil, 2003.

REIS, J. A. J. **Análise da potencialidade do mercado de projetos de crédito de carbono no Brasil**. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo-USP. Ribeirão Preto/São Paulo. 96 p. 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.

SALOMON, K. R.; LORA, E. E. S. **Estimativa do potencial de geração de energia elétrica para diferentes fontes de biogás no Brasil**. Biomassa & Energia, v.2, p.57- 67, 2005.

SANEPAR – CIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ. **RALF, Reator Anaeróbico de Manto de Lodo e Fluxo Ascendente reduzindo custos e economizando energia no Tratamento de Esgotos – Paraná**, 2006. Disponível em: <http://www.sanepar.com.br/sanepar/agencia>. Acesso em 5 de setembro de 2015.

_____. Paraná, 2010. Disponível em: <http://www.sanepar.com.br/sanepar/agencia>. Acesso em: 11 de outubro de 2015.

SECCHI, R. A. S. **Geração de energia elétrica a partir do biogás**. Trabalho de graduação em engenharia mecânica: FAHOR - Faculdade Horizontina, Horizontina, 2014.58p.

SILVA, E. P; CAVALIERO, C. K. N. **Perspectivas para as fontes renováveis de energia no Brasil**. Disponível em <http://www.universiabrasil.net>. Acesso em: 30 de maio de 2015.

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

SOUZA, M. E. **Criteria for the utilization, design and operation of UASB reactors**. Trabalho apresentado no Seminar on Anaerobic Treatment in Tropical Countries, São Paulo, IAWPRC/CETESB, de 25 a 29/08/86.

SOUZA, S.N.M.; PEREIRA, W.C.; NOGUEIRA, C.E.C.; PAVAN, A.A.; SORDI, A. **Custo da eletricidade gerada em conjunto motor-gerador utilizando biogás da suinocultura**. Acta Scientiarum Technology, Maringá, v.26, p.127-133, 2004.

TEIXEIRA, D. F. F. **Aspectos contábeis referentes aos créditos de carbono**. Trabalho de conclusão de curso (Departamento de ciências contábeis). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 26p. 2011.

VAN HAANDEL, A. C.& LETTINGA, G. **“Tratamento Anaeróbico de Esgotos: Um Manual para Regiões de Clima Quente”**, Epgraf, Campina Grande, 240 p. 1994.

VANZIN, E. **Procedimento para análise da viabilidade econômica do uso do biogás de aterros sanitários para geração de energia elétrica: aplicação no aterro Santa Tecla**. 2006. Dissertação (mestrado) - Faculdade de Engenharia e Arquitetura. Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo-RS, 2006.

VELA, F. J. **Tratamento de esgoto sanitário em reator anaeróbico operado em bateladas seqüenciais e periodicamente aerado**. São Carlos, 2006.

VITOR, T. R. **Biomassa Residual Como Fonte Alternativa de Energia Elétrica**. 2010. 41 p. Relatório de Estágio Supervisionado (Graduação em Engenharia Ambiental) - Faculdade União das Américas. Foz do Iguaçu, 2010.

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.

VON SPERLING, M. **Princípios básicos do tratamento de esgotos - Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte, UFMG. v.2. 211p. 1996.

WEREKO-BROBBY, C. Y., HAGEN, E. B. **Biomass conversion and technology**. New York: Editora John Wiley & Sons. 2000.

ZACHOW, C. R. **Biogás**. DeTec – Departamento de Tecnologia, UNIJUI – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Panambi, 12 p. 2000.

ZILOTTI, H. A. R. **Potencial de produção de biogás em uma estação de tratamento de esgoto de cascavel para a geração de energia elétrica**. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Universidade Unoeste, Cascavél-PR, 52p. 2012.

APÊNDICE I

Documentário fotográfico do sistema de canalização e queima do biogás.



Foto 01: Local do sistema de queimadores de gás.



Foto 02: Portão de acesso aos queimadores de gás.



Foto 03: Queimadores de gás metano.



Foto 04: Registro de segurança do sistema de queimadores.



Foto 05: Vista frontal dos queimadores de gás metano.



Foto 06: Queimador de gás metano.



Foto: Junho/2014

Foto 07: Abrigo do sistema de queimadores de gás metano



Foto: Junho/2014

Foto 08: Disposição do painel de controle e segurança do sistema de queimadores de gás.



Foto: Junho/2014

Foto 09: Botijão de gás (utilizado para alimentar o queimador, quando da insuficiência de produção de biogás).



Foto: Junho/2014

Foto 10: Vista da tubulação de transporte do gás e ponto de conexão quando da futura ampliação do sistema de tratamento de esgoto sanitário.



Foto: Junho/2014

Foto 11: Tubulação galvanizada para direcionar o gás até os queimadores.



Foto: Junho/2014

Foto 12: Queimador de biogás.

APENDICE II

Tabela 25: Dados diários de DQO, volume tratado, produção de biogás e potencial elétrico.
Ref. Janeiro de 2015.

DATA Ref. 2015	DQOCH₄ KgDQOCH₄/d	Q_{biogás} (m³/dia)	QCH₄ (m³/dia)	PE KW	VOLUME TRATADO (m³)
1-Jan	1.937,00	742,59	519,82	36,51	5.764,87
2-Jan	2.811,49	1.077,85	754,50	52,99	8.367,54
3-Jan	2.445,59	937,58	656,30	46,09	7.278,55
4-Jan	2.083,21	798,65	559,05	39,26	6.200,02
5-Jan	3.418,95	1.310,74	917,52	64,44	10.175,45
6-Jan	3.449,40	1.322,41	925,69	65,01	10.266,07
7-Jan	2.917,76	1.118,59	783,02	54,99	8.683,82
8-Jan	3.283,21	1.258,70	881,09	61,88	9.771,47
9-Jan	3.558,66	1.364,30	955,01	67,07	10.591,24
10-Jan	3.474,29	1.331,95	932,37	65,48	10.340,15
11-Jan	2.682,39	1.028,36	719,85	50,56	7.983,29
12-Jan	3.289,68	1.261,18	882,83	62,00	9.790,72
13-Jan	3.329,49	1.276,44	893,51	62,75	9.909,21
14-Jan	3.624,23	1.389,44	972,61	68,31	10.786,40
15-Jan	3.299,56	1.264,97	885,48	62,19	9.820,13
16-Jan	3.349,43	1.284,08	898,86	63,13	9.968,54
17-Jan	2.803,77	1.074,89	752,42	52,84	8.344,54
18-Jan	2.463,46	944,43	661,10	46,43	7.331,74
19-Jan	3.199,53	1.226,62	858,63	60,30	9.522,40
20-Jan	3.222,28	1.235,34	864,74	60,73	9.590,13
21-Jan	3.369,65	1.291,84	904,29	63,51	10.028,73
22-Jan	3.830,42	1.468,48	1.027,94	72,19	11.400,05
23-Jan	3.575,70	1.370,83	959,58	67,39	10.641,95
24-Jan	3.067,32	1.175,93	823,15	57,81	9.128,92
25-Jan	3.315,84	1.271,21	889,85	62,50	9.868,58
26-Jan	3.742,04	1.434,60	1.004,22	70,53	11.137,02
27-Jan	3.819,57	1.464,32	1.025,03	71,99	11.367,77
28-Jan	3.886,37	1.489,93	1.042,95	73,25	11.566,57
29-Jan	4.203,83	1.611,64	1.128,15	79,23	12.511,41
30-Jan	4.438,90	1.701,76	1.191,23	83,66	13.211,00
31-Jan	3.479,15	1.333,82	933,67	65,57	10.354,61
TOTAL	101.372,17	38.863,46	27.204,42	1.910,64	301.702,89

Tabela 26: Dados diários de DQO, volume tratado, produção de biogás e potencial elétrico.
Ref. Fevereiro de 2015.

DATA	DQOCH₄	Q_{biogás}	QCH₄	PE	VOLUME TRATADO
Ref. 2015	KgDQOCH₄/d	(m³/dia)	(m³/dia)	KW	(m³)
1-fev	2.685,86	1.029,69	720,78	50,62	7.993,62
2-fev	4.219,57	1.617,67	1.132,37	79,53	12.558,24
3-fev	2.700,63	1.035,35	724,75	50,90	8.037,60
4-fev	5.766,95	2.210,90	1.547,63	108,69	17.163,54
5-fev	4.126,95	1.582,17	1.107,52	77,78	12.282,60
6-fev	4.414,44	1.692,38	1.184,67	83,20	13.138,20
7-fev	3.189,92	1.222,93	856,05	60,12	9.493,80
8-fev	3.846,93	1.474,81	1.032,37	72,51	11.449,20
9-fev	3.978,98	1.525,44	1.067,81	74,99	11.842,20
10-fev	3.510,44	1.345,81	942,07	66,16	10.447,74
11-fev	3.884,63	1.489,27	1.042,49	73,22	11.561,40
12-fev	3.652,19	1.400,15	980,11	68,84	10.869,60
13-fev	3.880,76	1.487,78	1.041,45	73,14	11.549,88
14-fev	2.774,50	1.063,67	744,57	52,29	8.257,44
15-fev	2.008,06	769,84	538,89	37,85	5.976,36
16-fev	3.253,88	1.247,45	873,22	61,33	9.684,18
17-fev	2.607,23	999,55	699,68	49,14	7.759,62
18-fev	3.629,83	1.391,58	974,11	68,41	10.803,06
19-fev	2.531,25	970,42	679,29	47,71	7.533,48
20-fev	3.325,92	1.275,07	892,55	62,69	9.898,56
21-fev	3.024,56	1.159,54	811,68	57,01	9.001,68
22-fev	2.842,56	1.089,76	762,83	53,58	8.460,00
23-fev	3.295,47	1.263,40	884,38	62,11	9.807,96
24-fev	3.160,48	1.211,65	848,15	59,57	9.406,20
25-fev	3.870,34	1.483,79	1.038,65	72,95	11.518,86
26-fev	4.167,74	1.597,80	1.118,46	78,55	12.403,98
27-fev	4.372,02	1.676,12	1.173,28	82,40	13.011,96
28-fev	3.363,96	1.289,65	902,76	63,40	10.011,78
TOTAL	98.086,04	37.603,64	26.322,55	1.848,70	291.922,74

Tabela 27: Dados diários de DQO, volume tratado, produção de biogás e potencial elétrico.
Ref. Março de 2015.

DATA Ref. 2015	DQOCH₄ KgDQOCH₄/d	Q_{biogás} (m³/dia)	QCH₄ (m³/dia)	PE KW	VOLUME TRATADO (m³)
1-mar	3.806,43	1.459,29	1.021,50	71,74	11.328,66
2-mar	4.004,90	1.535,38	1.074,76	75,48	11.919,36
3-mar	4.207,31	1.612,97	1.129,08	79,30	12.521,76
4-mar	4.534,33	1.738,34	1.216,84	85,46	13.495,02
5-mar	4.321,84	1.656,88	1.159,82	81,46	12.862,62
6-mar	3.972,21	1.522,84	1.065,99	74,87	11.822,04
7-mar	3.651,96	1.400,07	980,05	68,83	10.868,94
8-mar	3.239,21	1.241,83	869,28	61,05	9.640,50
9-mar	3.509,17	1.345,32	941,73	66,14	10.443,96
10-mar	3.998,03	1.532,74	1.072,92	75,35	11.898,90
11-mar	3.805,89	1.459,08	1.021,35	71,73	11.327,04
12-mar	3.884,39	1.489,17	1.042,42	73,21	11.560,68
13-mar	4.234,49	1.623,39	1.136,37	79,81	12.602,64
14-mar	3.541,43	1.357,69	950,38	66,75	10.539,96
15-mar	3.870,46	1.483,83	1.038,68	72,95	11.519,22
16-mar	3.889,05	1.490,96	1.043,67	73,30	11.574,54
17-mar	3.744,07	1.435,38	1.004,77	70,57	11.143,08
18-mar	3.764,13	1.443,07	1.010,15	70,95	11.202,78
19-mar	3.537,07	1.356,02	949,22	66,67	10.527,00
20-mar	3.535,26	1.355,33	948,73	66,63	10.521,60
21-mar	4.345,61	1.665,99	1.166,20	81,91	12.933,36
22-mar	3.705,27	1.420,50	994,35	69,84	11.027,58
23-mar	3.232,72	1.239,34	867,54	60,93	9.621,18
24-mar	3.638,38	1.394,86	976,40	68,58	10.828,50
25-mar	3.998,68	1.532,99	1.073,09	75,37	11.900,82
26-mar	3.429,10	1.314,63	920,24	64,63	10.205,64
27-mar	3.746,01	1.436,12	1.005,29	70,60	11.148,84
28-mar	3.979,87	1.525,78	1.068,04	75,01	11.844,84
29-mar	2.828,39	1.084,33	759,03	53,31	8.417,82
30-mar	3.519,86	1.349,42	944,59	66,34	10.475,76
31-mar	3.518,50	1.348,90	944,23	66,32	10.471,74
TOTAL	116.993,98	44.852,46	31.396,72	2.205,08	348.196,38

Tabela 28: Dados diários de DQO, volume tratado, produção de biogás e potencial elétrico.
Ref. Abril de 2015.

DATA	DQOCH₄	Q_{biogás}	QCH₄	PE	VOLUME TRATADO
Ref. 2015	KgDQOCH₄/d	(m³/dia)	(m³/dia)	KW	(m³)
1-abr	4.127,09	1.582,22	1.107,55	77,79	12.283,02
2-abr	4.110,42	1.575,83	1.103,08	77,47	12.233,40
3-abr	3.087,26	1.183,58	828,50	58,19	9.188,28
4-abr	3.611,70	1.384,63	969,24	68,07	10.749,12
5-abr	4.322,12	1.656,99	1.159,89	81,46	12.863,46
6-abr	4.174,97	1.600,58	1.120,40	78,69	12.425,52
7-abr	4.281,00	1.641,22	1.148,86	80,69	12.741,06
8-abr	4.009,76	1.537,24	1.076,07	75,58	11.933,82
9-abr	3.578,74	1.372,00	960,40	67,45	10.651,02
10-abr	4.318,49	1.655,60	1.158,92	81,39	12.852,66
11-abr	4.002,53	1.534,46	1.074,13	75,44	11.912,28
12-abr	3.695,07	1.416,59	991,61	69,64	10.997,22
13-abr	4.173,14	1.599,87	1.119,91	78,65	12.420,06
14-abr	4.602,12	1.764,34	1.235,03	86,74	13.696,80
15-abr	4.158,56	1.594,29	1.116,00	78,38	12.376,68
16-abr	4.387,64	1.682,11	1.177,48	82,70	13.058,46
17-abr	4.182,86	1.603,60	1.122,52	78,84	12.448,99
18-abr	4.542,69	1.741,55	1.219,09	85,62	13.519,92
19-abr	3.635,61	1.393,80	975,66	68,52	10.820,28
20-abr	4.150,72	1.591,28	1.113,90	78,23	12.353,34
21-abr	3.075,23	1.178,96	825,27	57,96	9.152,46
22-abr	3.721,35	1.426,67	998,67	70,14	11.075,46
23-abr	4.287,29	1.643,63	1.150,54	80,81	12.759,78
24-abr	4.375,93	1.677,62	1.174,33	82,48	13.023,60
25-abr	4.189,59	1.606,18	1.124,33	78,96	12.469,02
26-abr	3.667,29	1.405,94	984,16	69,12	10.914,54
27-abr	4.524,95	1.734,75	1.214,32	85,29	13.467,12
28-abr	4.084,48	1.565,88	1.096,12	76,98	12.156,18
29-abr	4.558,14	1.747,47	1.223,23	85,91	13.565,88
30-abr	4.912,31	1.883,25	1.318,28	92,59	14.619,96
TOTAL	122.549,07	46.982,14	32.887,50	2.309,78	364.729,39

Tabela 29: Dados diários de DQO, volume tratado, produção de biogás e potencial elétrico.
Ref. Maio de 2015.

DATA	DQOCH₄	Q_{biogás}	QCH₄	PE	VOLUME TRATADO
Ref. 2015	KgDQOCH₄/d	(m³/dia)	(m³/dia)	KW	(m³)
1-mai	4.162,44	1.595,77	1.117,04	78,45	12.388,20
2-mai	4.397,72	1.685,97	1.180,18	82,89	13.088,46
3-mai	3.563,36	1.366,10	956,27	67,16	10.605,24
4-mai	4.516,34	1.731,45	1.212,01	85,12	13.441,50
5-mai	4.443,22	1.703,42	1.192,39	83,74	13.223,88
6-mai	4.809,63	1.843,89	1.290,72	90,65	14.314,38
7-mai	4.722,10	1.810,33	1.267,23	89,00	14.053,86
8-mai	4.870,82	1.867,35	1.307,14	91,80	14.496,48
9-mai	4.312,14	1.653,16	1.157,21	81,27	12.833,76
10-mai	3.303,10	1.266,32	886,42	62,26	9.830,64
11-mai	4.573,24	1.753,26	1.227,28	86,20	13.610,82
12-mai	4.535,82	1.738,92	1.217,24	85,49	13.499,46
13-mai	4.678,63	1.793,67	1.255,57	88,18	13.924,50
14-mai	4.605,31	1.765,56	1.235,89	86,80	13.706,28
15-mai	4.350,19	1.667,75	1.167,42	81,99	12.946,98
16-mai	4.123,99	1.581,03	1.106,72	77,73	12.273,78
17-mai	3.298,14	1.264,42	885,09	62,16	9.815,88
18-mai	4.083,09	1.565,35	1.095,74	76,96	12.152,04
19-mai	4.758,73	1.824,37	1.277,06	89,69	14.162,88
20-mai	4.537,87	1.739,70	1.217,79	85,53	13.505,58
21-mai	5.125,12	1.964,84	1.375,39	96,60	15.253,32
22-mai	4.740,66	1.817,45	1.272,21	89,35	14.109,12
23-mai	4.989,58	1.912,88	1.339,01	94,04	14.849,94
24-mai	4.208,44	1.613,41	1.129,38	79,32	12.525,12
25-mai	5.159,79	1.978,13	1.384,69	97,25	15.356,52
26-mai	5.498,48	2.107,97	1.475,58	103,63	16.364,52
27-mai	5.115,96	1.961,33	1.372,93	96,42	15.226,08
28-mai	6.057,25	2.322,19	1.625,54	114,17	18.027,54
29-mai	5.860,85	2.246,90	1.572,83	110,46	17.443,02
30-mai	3.403,57	1.304,84	913,39	64,15	10.129,68
31-mai	4.281,86	1.641,56	1.149,09	80,70	12.743,64
TOTAL	141.087,44	54.089,27	37.862,49	2.659,18	419.903,10

Tabela 30: Dados diários de DQO, volume tratado, produção de biogás e potencial elétrico.
Ref. Junho de 2015.

DATA Ref. 2015	DQOCH₄ KgDQOCH₄/d	Q_{biogás} (m³/dia)	QCH₄ (m³/dia)	PE KW	VOLUME TRATADO (m³)
1-jun	4.642,22	1.779,71	1.245,80	87,50	13.816,14
2-jun	5.559,26	2.131,28	1.491,89	104,78	16.545,42
3-jun	5.022,60	1.925,54	1.347,87	94,66	14.948,22
4-jun	4.200,82	1.610,49	1.127,34	79,18	12.502,44
5-jun	5.118,97	1.962,48	1.373,74	96,48	15.235,02
6-jun	4.693,63	1.799,42	1.259,59	88,46	13.969,14
7-jun	3.985,69	1.528,01	1.069,61	75,12	11.862,18
8-jun	5.088,65	1.950,85	1.365,60	95,91	15.144,78
9-jun	5.169,35	1.981,79	1.387,26	97,43	15.384,96
10-jun	5.291,58	2.028,65	1.420,06	99,73	15.748,74
11-jun	5.649,98	2.166,06	1.516,24	106,49	16.815,42
12-jun	5.076,95	1.946,37	1.362,46	95,69	15.109,98
13-jun	5.125,74	1.965,08	1.375,55	96,61	15.255,18
14-jun	4.564,91	1.750,07	1.225,05	86,04	13.586,04
15-jun	5.194,51	1.991,44	1.394,01	97,90	15.459,84
16-jun	5.296,92	2.030,70	1.421,49	99,84	15.764,64
17-jun	5.599,60	2.146,74	1.502,72	105,54	16.665,48
18-jun	5.400,00	2.070,22	1.449,15	101,78	16.071,42
19-jun	5.228,01	2.004,28	1.403,00	98,54	15.559,56
20-jun	5.182,15	1.986,70	1.390,69	97,67	15.423,06
21-jun	4.437,36	1.701,17	1.190,82	83,63	13.206,42
22-jun	5.031,41	1.928,91	1.350,24	94,83	14.974,44
23-jun	5.307,77	2.034,86	1.424,40	100,04	15.796,92
24-jun	4.944,46	1.895,58	1.326,90	93,19	14.715,66
25-jun	5.109,69	1.958,92	1.371,25	96,31	15.207,42
26-jun	4.621,20	1.771,65	1.240,15	87,10	13.753,56
27-jun	4.608,70	1.766,85	1.236,80	86,86	13.716,36
28-jun	3.582,75	1.373,54	961,47	67,53	10.662,96
29-jun	4.223,42	1.619,15	1.133,40	79,60	12.569,70
30-jun	4.067,30	1.559,30	1.091,51	76,66	12.105,06
TOTAL	147.025,59	56.365,80	39.456,06	2.771,11	437.576,16

Tabela 31: Dados diários de DQO, volume tratado, produção de biogás e potencial elétrico.
Ref. Julho de 2015.

DATA	DQOCH₄	Q_{biogás}	QCH₄	PE	VOLUME TRATADO
Ref. 2015	KgDQOCH₄/d	(m³/dia)	(m³/dia)	KW	(m³)
1-jul	4.380,20	1.679,26	1.175,48	82,56	13.036,32
2-jul	4.187,21	1.605,27	1.123,69	78,92	12.461,94
3-jul	4.283,80	1.642,30	1.149,61	80,74	12.749,40
4-jul	4.117,36	1.578,49	1.104,94	77,60	12.254,04
5-jul	3.349,26	1.284,02	898,81	63,13	9.968,04
6-jul	4.441,03	1.702,57	1.191,80	83,70	13.217,34
7-jul	4.252,63	1.630,35	1.141,24	80,15	12.656,64
8-jul	4.248,94	1.628,93	1.140,25	80,08	12.645,66
9-jul	3.938,66	1.509,98	1.056,99	74,23	11.722,20
10-jul	4.073,11	1.561,52	1.093,07	76,77	12.122,34
11-jul	3.447,38	1.321,64	925,15	64,98	10.260,06
12-jul	2.983,06	1.143,63	800,54	56,22	8.878,14
13-jul	3.711,01	1.422,71	995,89	69,94	11.044,68
14-jul	3.638,26	1.394,81	976,37	68,57	10.828,14
15-jul	3.714,82	1.424,17	996,92	70,02	11.056,02
16-jul	3.559,85	1.364,76	955,33	67,10	10.594,80
17-jul	3.673,84	1.408,45	985,92	69,24	10.934,04
18-jul	3.195,68	1.225,14	857,60	60,23	9.510,96
19-jul	2.814,28	1.078,92	755,24	53,04	8.375,82
20-jul	3.599,73	1.380,04	966,03	67,85	10.713,48
21-jul	3.628,80	1.391,19	973,83	68,39	10.800,00
22-jul	3.585,42	1.374,56	962,19	67,58	10.670,88
23-jul	3.573,82	1.370,11	959,08	67,36	10.636,38
24-jul	3.530,80	1.353,62	947,53	66,55	10.508,34
25-jul	3.203,50	1.228,14	859,70	60,38	9.534,24
26-jul	2.834,80	1.086,79	760,75	53,43	8.436,90
27-jul	3.647,61	1.398,40	978,88	68,75	10.855,98
28-jul	3.713,31	1.423,59	996,51	69,99	11.051,52
29-jul	3.702,40	1.419,41	993,58	69,78	11.019,06
30-jul	3.600,80	1.380,45	966,32	67,87	10.716,66
31-jul	3.731,64	1.430,61	1.001,43	70,33	11.106,06
TOTAL	114.363,00	43.843,81	30.690,67	2.155,49	340.366,08

Tabela 32: Dados diários de DQO, volume tratado, produção de biogás e potencial elétrico.
Ref. Agosto de 2015.

DATA	DQOCH₄	Q_{biogás}	QCH₄	PE	VOLUME TRATADO
Ref. 2015	KgDQOCH₄/d	(m³/dia)	(m³/dia)	KW	(m³)
1-ago	3.376,52	1.294,47	906,13	63,64	10.049,16
2-ago	3.007,51	1.153,00	807,10	56,68	8.950,92
3-ago	3.837,23	1.471,10	1.029,77	72,32	11.420,34
4-ago	3.826,67	1.467,05	1.026,93	72,12	11.388,90
5-ago	3.855,20	1.477,98	1.034,59	72,66	11.473,80
6-ago	3.799,94	1.456,80	1.019,76	71,62	11.309,34
7-ago	3.965,03	1.520,09	1.064,06	74,73	11.800,68
8-ago	3.551,89	1.361,70	953,19	66,95	10.571,10
9-ago	3.025,81	1.160,02	812,01	57,03	9.005,40
10-ago	3.903,32	1.496,43	1.047,50	73,57	11.617,02
11-ago	3.431,01	1.315,36	920,75	64,67	10.211,34
12-ago	3.626,18	1.390,18	973,13	68,35	10.792,20
13-ago	3.896,69	1.493,89	1.045,72	73,44	11.597,28
14-ago	4.028,86	1.544,56	1.081,19	75,93	11.990,64
15-ago	4.034,24	1.546,62	1.082,64	76,04	12.006,66
16-ago	3.359,40	1.287,91	901,54	63,32	9.998,22
17-ago	4.601,08	1.763,93	1.234,75	86,72	13.693,68
18-ago	4.243,94	1.627,02	1.138,91	79,99	12.630,78
19-ago	4.038,21	1.548,14	1.083,70	76,11	12.018,48
20-ago	4.311,84	1.653,05	1.157,13	81,27	12.832,86
21-ago	4.698,47	1.801,27	1.260,89	88,56	13.983,54
22-ago	3.908,44	1.498,39	1.048,88	73,67	11.632,26
23-ago	3.635,11	1.393,61	975,52	68,51	10.818,78
24-ago	4.585,90	1.758,11	1.230,68	86,43	13.648,50
25-ago	4.762,62	1.825,86	1.278,11	89,76	14.174,46
26-ago	4.654,14	1.784,28	1.248,99	87,72	13.851,60
27-ago	4.368,75	1.674,87	1.172,41	82,34	13.002,24
28-ago	4.675,89	1.792,62	1.254,83	88,13	13.916,34
29-ago	4.124,51	1.581,23	1.106,86	77,74	12.275,34
30-ago	3.492,72	1.339,02	937,31	65,83	10.395,00
31-ago	4.520,72	1.733,13	1.213,19	85,21	13.454,52
TOTAL	123.147,82	47.211,68	33.048,18	2.321,06	366.511,38

Tabela 33: Dados diários de DQO, volume tratado, produção de biogás e potencial elétrico.
Ref. Setembro de 2015.

DATA	DQOCH₄	Q_{biogás}	QCH₄	PE	VOLUME TRATADO
Ref. 2015	KgDQOCH₄/d	(m³/dia)	(m³/dia)	KW	(m³)
1-set	4.447,96	1.705,23	1.193,66	83,83	13.237,98
2-set	4.161,35	1.595,35	1.116,75	78,43	12.384,96
3-set	4.335,67	1.662,18	1.163,53	81,72	12.903,78
4-set	4.464,69	1.711,65	1.198,15	84,15	13.287,78
5-set	3.669,89	1.406,94	984,86	69,17	10.922,28
6-set	3.829,80	1.468,24	1.027,77	72,18	11.398,20
7-set	3.326,34	1.275,23	892,66	62,69	9.899,82
8-set	3.861,75	1.480,49	1.036,35	72,79	11.493,30
9-set	4.570,35	1.752,15	1.226,51	86,14	13.602,24
10-set	4.830,15	1.851,76	1.296,23	91,04	14.375,46
11-set	5.231,70	2.005,70	1.403,99	98,61	15.570,54
12-set	5.076,65	1.946,26	1.362,38	95,68	15.109,08
13-set	4.289,24	1.644,38	1.151,07	80,84	12.765,60
14-set	4.793,75	1.837,80	1.286,46	90,35	14.267,10
15-set	5.354,13	2.052,64	1.436,85	100,91	15.934,92
16-set	5.413,85	2.075,53	1.452,87	102,04	16.112,64
17-set	5.131,93	1.967,45	1.377,21	96,73	15.273,60
18-set	4.933,43	1.891,35	1.323,95	92,98	14.682,84
19-set	4.221,30	1.618,34	1.132,84	79,56	12.563,40
20-set	3.344,46	1.282,18	897,53	63,04	9.953,76
21-set	4.102,76	1.572,89	1.101,02	77,33	12.210,60
22-set	3.951,62	1.514,95	1.060,46	74,48	11.760,78
23-set	3.998,37	1.532,87	1.073,01	75,36	11.899,92
24-set	3.943,96	1.512,01	1.058,41	74,33	11.737,98
25-set	4.137,62	1.586,26	1.110,38	77,98	12.314,34
26-set	3.797,46	1.455,85	1.019,09	71,57	11.301,96
27-set	3.331,06	1.277,04	893,93	62,78	9.913,86
28-set	4.031,98	1.545,76	1.082,03	75,99	11.999,94
29-set	3.960,13	1.518,21	1.062,75	74,64	11.786,10
30-set	4.091,75	1.568,67	1.098,07	77,12	12.177,84
TOTAL	128.635,11	49.315,37	34.520,76	2.424,49	382.842,60

Tabela 34: Dados diários de DQO, volume tratado, produção de biogás e potencial elétrico. Ref. Outubro de 2015.

DATA	DQOCH₄	Q_{biogás}	QCH₄	PE	VOLUME TRATADO
Ref. 2015	KgDQOCH₄/d	(m³/dia)	(m³/dia)	KW	(m³)
1-out	3.947,95	1.513,54	1.059,48	74,41	11.749,86
2-out	4.014,22	1.538,95	1.077,26	75,66	11.947,08
3-out	3.612,67	1.385,00	969,50	68,09	10.752,00
4-out	3.041,36	1.165,98	816,18	57,32	9.051,66
5-out	3.571,32	1.369,15	958,41	67,31	10.628,94
6-out	3.790,77	1.453,28	1.017,30	71,45	11.282,04
7-out	4.041,09	1.549,25	1.084,47	76,17	12.027,06
8-out	4.055,49	1.554,77	1.088,34	76,44	12.069,90
9-out	4.055,89	1.554,92	1.088,45	76,44	12.071,10
10-out	3.559,85	1.364,76	955,33	67,10	10.594,80
11-out	3.061,84	1.173,83	821,68	57,71	9.112,62
12-out	3.282,67	1.258,49	880,94	61,87	9.769,86
13-out	4.033,85	1.546,48	1.082,53	76,03	12.005,52
14-out	4.083,15	1.565,37	1.095,76	76,96	12.152,22
15-out	4.049,42	1.552,44	1.086,71	76,32	12.051,84
16-out	4.122,94	1.580,63	1.106,44	77,71	12.270,66
17-out	3.754,11	1.439,23	1.007,46	70,76	11.172,96
18-out	3.443,99	1.320,34	924,24	64,91	10.249,98
19-out	4.179,55	1.602,33	1.121,63	78,78	12.439,14
20-out	4.629,34	1.774,77	1.242,34	87,25	13.777,80
21-out	4.158,91	1.594,42	1.116,09	78,39	12.377,70
22-out	4.149,84	1.590,94	1.113,66	78,22	12.350,70
23-out	4.346,74	1.666,43	1.166,50	81,93	12.936,72
24-out	3.956,20	1.516,70	1.061,69	74,57	11.774,40
25-out	3.456,29	1.325,05	927,54	65,14	10.286,58
26-out	4.272,00	1.637,78	1.146,44	80,52	12.714,30
27-out	4.289,34	1.644,42	1.151,10	80,84	12.765,90
28-out	4.284,10	1.642,41	1.149,69	80,75	12.750,30
29-out	4.081,17	1.564,61	1.095,23	76,92	12.146,34
30-out	5.944,40	2.278,93	1.595,25	112,04	17.691,66
TOTAL	119.270,47	45.725,21	32.007,64	2.247,98	354.971,64

Tabela 35: Dados diários de DQO, volume tratado, produção de biogás e potencial elétrico.
Ref. Novembro de 2015.

DATA	DQOCH₄	Q_{biogás}	QCH₄	PE	VOLUME TRATADO
Ref. 2015	KgDQOCH₄/d	(m³/dia)	(m³/dia)	KW	(m³)
1-nov	4.364,52	1.673,24	1.171,27	82,26	12.989,64
2-nov	3.547,51	1.360,03	952,02	66,86	10.558,08
3-nov	4.254,06	1.630,90	1.141,63	80,18	12.660,90
4-nov	4.120,93	1.579,86	1.105,90	77,67	12.264,66
5-nov	4.040,65	1.549,08	1.084,36	76,16	12.025,74
6-nov	4.137,09	1.586,05	1.110,24	77,98	12.312,78
7-nov	3.802,34	1.457,72	1.020,40	71,67	11.316,48
8-nov	3.825,36	1.466,54	1.026,58	72,10	11.385,00
9-nov	4.244,59	1.627,26	1.139,09	80,00	12.632,70
10-nov	3.952,01	1.515,10	1.060,57	74,49	11.761,92
11-nov	4.060,34	1.556,63	1.089,64	76,53	12.084,36
12-nov	4.328,25	1.659,34	1.161,54	81,58	12.881,70
13-nov	4.221,89	1.618,56	1.132,99	79,57	12.565,14
14-nov	4.252,03	1.630,12	1.141,08	80,14	12.654,84
15-nov	3.435,81	1.317,20	922,04	64,76	10.225,62
16-nov	4.054,74	1.554,48	1.088,14	76,42	12.067,68
17-nov	4.220,60	1.618,07	1.132,65	79,55	12.561,30
18-nov	4.387,18	1.681,93	1.177,35	82,69	13.057,08
19-nov	4.125,18	1.581,49	1.107,04	77,75	12.277,32
20-nov	4.659,18	1.786,21	1.250,35	87,82	13.866,60
21-nov	3.914,23	1.500,61	1.050,43	73,77	11.649,48
22-nov	3.450,81	1.322,95	926,07	65,04	10.270,26
23-nov	5.028,81	1.927,92	1.349,54	94,78	14.966,70
24-nov	4.670,45	1.790,53	1.253,37	88,03	13.900,14
25-nov	3.802,12	1.457,63	1.020,34	71,66	11.315,82
26-nov	3.578,44	1.371,88	960,32	67,45	10.650,12
27-nov	4.500,58	1.725,41	1.207,78	84,83	13.394,58
28-nov	3.956,42	1.516,79	1.061,75	74,57	11.775,06
29-nov	3.040,53	1.165,66	815,96	57,31	9.049,20
30-nov	4.213,36	1.615,29	1.130,70	79,41	12.539,76
TOTAL	122.189,98	46.844,47	32.791,13	2.303,01	363.660,66

Tabela 36: Dados diários de DQO, volume tratado, produção de biogás e potencial elétrico.
Ref. Dezembro de 2015.

DATA Ref. 2015	DQOCH₄ KgDQOCH₄/d	Q_{biogás} (m³/dia)	QCH₄ (m³/dia)	PE KW	VOLUME TRATADO (m³)
1-dez	4.127,68	1.582,45	1.107,71	77,80	12.284,76
2-dez	4.094,25	1.569,63	1.098,74	77,17	12.185,28
3-dez	3.986,66	1.528,38	1.069,87	75,14	11.865,06
4-dez	5.351,49	2.051,62	1.436,14	100,86	15.927,06
5-dez	3.690,99	1.415,03	990,52	69,57	10.985,10
6-dez	3.303,30	1.266,40	886,48	62,26	9.831,24
7-dez	4.344,42	1.665,54	1.165,88	81,88	12.929,82
8-dez	4.178,12	1.601,78	1.121,25	78,75	12.434,88
9-dez	4.667,00	1.789,21	1.252,44	87,96	13.889,88
10-dez	4.149,13	1.590,67	1.113,47	78,20	12.348,60
11-dez	4.247,09	1.628,22	1.139,76	80,05	12.640,14
12-dez	4.824,13	1.849,45	1.294,61	90,92	14.357,52
13-dez	3.502,72	1.342,85	940,00	66,02	10.424,76
14-dez	4.138,32	1.586,53	1.110,57	78,00	12.316,44
15-dez	3.855,38	1.478,05	1.034,64	72,67	11.474,34
16-dez	4.067,12	1.559,23	1.091,46	76,66	12.104,52
17-dez	4.296,22	1.647,06	1.152,94	80,97	12.786,36
18-dez	4.056,60	1.555,19	1.088,64	76,46	12.073,20
19-dez	4.124,13	1.581,08	1.106,76	77,73	12.274,20
20-dez	3.292,75	1.262,36	883,65	62,06	9.799,86
21-dez	4.114,64	1.577,44	1.104,21	77,55	12.245,94
22-dez	3.812,38	1.461,57	1.023,10	71,85	11.346,36
23-dez	3.682,02	1.411,59	988,11	69,40	10.958,40
24-dez	3.308,32	1.268,32	887,83	62,35	9.846,18
25-dez	2.650,88	1.016,28	711,39	49,96	7.889,52
26-dez	3.303,30	1.266,40	886,48	62,26	9.831,24
27-dez	2.900,08	1.111,81	778,27	54,66	8.631,18
28-dez	3.470,34	1.330,44	931,31	65,41	10.328,40
29-dez	4.882,47	1.871,81	1.310,27	92,02	14.531,16
30-dez	3.549,25	1.360,69	952,48	66,90	10.563,24
31-dez	3.411,62	1.307,93	915,55	64,30	10.153,62
TOTAL	121.382,78	46.535,01	32.574,51	2.287,80	361.258,26

APENDICE III

Tabela 37: Orçamento do abrigo para o conjunto motor-gerador.

ORÇAMENTO BÁSICO								
Obra: Construção de abrigo para máquinas e equipamentos					Objetivo: Aproveitamento energético do metano			
Local: ETE Norte					Orçamento com base nos valores SINAPI/2015			
Município: Palmas/TO					Valor da Obra: R\$ 20.962,52			
							BDI: 25%	
ITEM	DESCRIÇÃO	UNID	QTDE	CUSTO (em R\$)		CUSTO (em R\$)		
				UNIT	TOTAL	UNIT	TOTAL	
1	VALOR COMPLETO DO MÓDULO							
1.1	ABRIGO							
1.1.1	Serviços Preliminares				248,10		310,13	
1.1.1.1	COMPOSIÇÃO/ ESTIM. MOBILIZAÇÃO E DESMOBILIZAÇÃO DE EQUIPAMENTOS	km	20,00	3,21	64,20	4,01	80,25	
1.1.1.2	73948/016 LIMPEZA MANUAL DO TERRENO (C/ RASPAGEM SUPERFICIAL)	m ²	30,00	2,39	71,70	2,99	89,63	
1.1.1.3	74077/003 LOCACAO OBRA C/PERNA PINHO 3A C/REAPROVEITAMENTO 3 VEZES	m ²	30,00	3,74	112,20	4,68	140,25	
1.1.2	Fundação				920,93		1.151,16	
1.1.2.1	73965/010 ESCAVACAO MANUAL DE VALAS RASAS, QQ TERRENO, EXCETO ROCHA, P/FUNDACOES RASAS-BALDRAMES	m ³	2,64	33,47	88,36	41,84	110,45	
1.1.2.2	73964/001 REATERRO APILOADO DE VALAS C/MATERIAL DA OBRA	m ³	0,53	28,73	15,17	35,91	18,96	

Tabela 37: Orçamento do abrigo para o conjunto motor-gerador (Continuação da tabela 37)

1.1.2.3	73907/006	CONCRETO 1:4:8 S/BETONEIRA PARA LASTRO ESP.= 5cm (lastro)	m ²	6,60	14,96	98,74	18,70	123,42
1.1.2.4	73935/001	ALVENARIA EM TIJOLO CERAMICO FURADO 10X20X20CM, 1/2 VEZ, ASSENTADO EM M2 ARGAMASSA TRACO 1:4 (CIMENTO E AREIA),E=1CM	m ²	8,80	30,23	266,02	37,79	332,53
1.1.2.5	74106/001	IMPERMEABILIZACAO COM TINTA BETUMINOSA EM FUNDACOES, BALDRAMES E MUROS DE ARRIMO, DUAS DEMAOS	m ²	17,60	6,00	105,60	7,50	132,00
1.1.2.6	73346	CONCRETO ARMADO DOSADO 15 MPA INCL MAT P/ 1 M3 PREPARO DE AREA MOLDADA FORMAS E ESCORAMENTO 60 KG DE ACO CA-50 INC MAO DE OBRA P/CORTE DOBRAGEM MONTAGEM E COLOCAÇÃO	m ²	0,22	1.577,44	347,04	1.971,80	433,80
1.1.3	Pavimentação					2.847,22		3.559,03
1.1.3.1	73919/003	CONTRAPISO EM ARGAMASSA TRACO 1:4 (CIMENTO E AREIA), ESPESSURA 4CM, PREPARO MANUAL	m ²	30,00	21,36	640,80	26,70	801,00
1.1.3.2	87251	REVESTIMENTO CERÂMICO PARA PISO COM PLACAS TIPO GRÊS DE DIMENSÕES 45X45 CM APLICADA EM AMBIENTES DE ÁREA MAIOR QUE 10 M2. AF_06/2014	m ²	30,00	64,68	1940,40	80,85	2425,50
1.1.3.3	73935/001	ALVENARIA EM TIJOLO CERAMICO FURADO 10X20X20CM, 1/2 VEZ, ASSENTADO EM M2 ARGAMASSA TRACO 1:4 (CIMENTO E AREIA),E=1CM	m ²	8,80	30,23	266,02	37,79	332,53
1.1.4	Alvenaria					2.010,47		2.513,09
1.1.4.1	73935/001	ALVENARIA EM TIJOLO CERAMICO FURADO 10X20X20CM, 1/2 VEZ, ASSENTADO EM M2 ARGAMASSA TRACO 1:4 (CIMENTO E AREIA),E=1CM	m ²	61,72	24,18	1492,64	30,23	1865,80

Tabela 37: Orçamento do abrigo para o conjunto motor-gerador (Continuação da tabela 37)

1.1.4.2	9875	COBOGO CERAMICO (ELEMENTO VAZADO), 9X20X20CM, ASSENTADO COM ARGAMASSA TRACO 1:4 DE CIMENTO E AREIA	m ²	6,60	75,74	499,88	94,68	624,86
1.1.4.3	73907/006	CONCRETO ARMADO P/VERGA RETA FCK=15MPA, CTRL B, PREP MAN, CONSUMO/M3:ACO CA-50 6KG; FORM TAB=6M2	m ²	1,20	14,96	17,95	18,70	22,44
1.1.5	Revestimento			-		4.331,51		5.414,39
1.1.5.1	87868	CHAPISCO TRACO 1:3 (CIMENTO E AREIA), ESPESSURA 0,5CM, PREPARO MANUAL	m ²	123,44	2,77	341,93	3,46	427,41
1.1.5.2	87533	EMBOCO PAULISTA (MASSA UNICA) TRACO 1:4 (CIMENTO E AREIA MEDIA), ESPESSURA 2,0CM, INCLUSO ADITIVO IMPERMEABILIZANTE, PREPARO MANUAL DA ARGAMASSA	m ²	123,44	19,98	2466,33	24,98	3082,91
1.1.5.3	75481	REBOCO ARGAMASSA TRACO 1:4,5 (CAL E AREIA FINA), ESPESSURA 0,5CM, PREPARO MECANICO DA ARGAMASSA	m ²	123,44	12,34	1523,25	15,43	1904,06
1.1.6	Cobertura			-		3.792,37		4.740,47
1.1.6.1	74088/001	COBERTURA EM TELHA DE FIBROCIMENTO ONDULADA 6 MM (2,44 X 0,92mm), INCL. MADEIRAMENTO, INCLUSO JUNTAS DE VEDACAO E ACESSORIOS DE FIXACAO	m ²	50,40	25,68	1294,27	32,10	1617,84
1.1.6.2	74141/002	LAJE PRE-MOLD BETA 12 P/3,5KN/M2 VAO 4,1M INCL VIGOTAS TIJOLOS ARMADURA NEGATIVA CAPEAMENTO 3CM CONCRETO 15MPA ESCORAMENTO MATERIAIS E MAO DE OBRA	m ²	30,00	83,27	2498,10	104,09	3122,63
1.1.7	Esquadrias					238,07		297,59
1.1.7.1	73933/002	PORTA DE FERRO, DE ABRIR, TIPO CHAPA LISA, COM GUARNICOES	m ²	1,68	141,71	238,07	177,14	297,59

Tabela 37: Orçamento do abrigo para o conjunto motor-gerador (Continuação da tabela 37)

1.1.8	Instalações elétrica/eletificação e iluminação externa					423,49		529,36
1.1.8.1	73860/008	CABO DE COBRE ISOLADO PVC 450/750 V, 2,5 MM2 - AMARELO	m	6,00	2,38	14,28	2,98	17,85
1.1.8.2	73860/009	CABO DE COBRE ISOLADO PVC 450/750 V, 2,5 MM2 - AZUL-CLARO	m	6,00	3,49	20,94	4,36	26,18
1.1.8.3	73860/011	CABO DE COBRE ISOLADO PVC 450/750 V, 2,5 MM2 - PRETO	m	6,00	7,24	43,44	9,05	54,30
1.1.8.4	73860/012	CABO DE COBRE ISOLADO PVC 450/750V 16MM2 RESISTENTE A CHAMA - AZUL-CLARO FORNECIMENTO E INSTALACAO	m	6,00	8,32	49,92	10,40	62,40
1.1.8.5	851	BUCHA E ARRUELA ALUMINIO FUNDIDO P/ ELETRODUTO 20MM (3/4")	CJ	10,00	0,71	7,10	0,89	8,88
1.1.8.6	1872	CAIXA DE PVC 4" X 2" P/ ELETRODUTO	und	3,00	2,04	6,12	2,55	7,65
1.1.8.7	1885	CURVA PVC 90G P/ ELETRODUTO ROSCAVEL 3/4"	und	2,00	2,38	4,76	2,98	5,95
1.1.8.8	1891	LUVA PVC ROSCAVEL P/ ELETRODUTO 3/4"	und	4,00	1,57	6,28	1,96	7,85
1.1.8.9	404	FITA ISOLANTE AUTO-FUSAO BT REF 3M OU SIMILAR	M	5,00	1,37	6,85	1,71	8,56
1.1.8.10	83467	INTERRUPTOR SIMPLES 3 TECLAS	PÇ	3,00	24,88	74,64	31,10	93,30
1.1.8.11	72934	ELETRODUTO PVC FLEXÍVEL (ELETRODUTO LEVE) 3/4"	M	12,00	4,62	55,44	5,78	69,30
1.1.8.12	73613	ELETRODUTO PVC ROSCAVEL DE 3/4"	M	6,00	10,64	63,84	13,30	79,80
1.1.8.13	12295	SOQUETE BASE E-27	und	2,00	2,28	4,56	2,85	5,70
1.1.8.14	83468	LÂMPADA FLUORESCENTE 20 W	und	2,00	4,40	8,80	5,50	11,00

Tabela 37: Orçamento do abrigo para o conjunto motor-gerador (Continuação da tabela 37)

1.1.8.15	3398	ISOLADOR ROLDANA DE PORCELANA VIDRADA PIBT72X72	und	2,00	2,55	5,10	3,19	6,38
1.1.8.16	20253	CAIXA PASSAGEM METALICA 35 X 35 X 12CM P/ INST ELETRICA	und	1,00	41,72	41,72	52,15	52,15
1.1.8.17	74130/001	DISJUNTOR TERMOMAGNETICO MONOPOLAR PADRAO NEMA (AMERICANO) 10 A 30A 240V, FORNECIMENTO E INSTALACAO	und	1,00	9,70	9,70	12,13	12,13
1.1.9	Instalações Hidráulicas			-	351,62		439,53	
1.1.9.1	74176/001	REGISTRO GAVETA 3/4" BRUTO LATAO - FORNECIMENTO E INSTALACAO	und	1,00	70,16	70,16	87,70	87,70
1.1.9.2	75030/001	TUBO PVC SOLDAVEL AGUA FRIA DN 25MM, INCLUSIVE CONEXOES - FORNECIMENTO E INSTALACAO	m	16,00	15,35	245,60	19,19	307,00
1.1.9.3	73956/002	TORNEIRA PLASTICA 1/2 - FORNECIMENTO E INSTALACAO	und	1,00	35,86	35,86	44,83	44,83
1.1.10	Pintura					936,59		1.170,73
1.1.10.1	6067	PINTURA C/TINTA ESMALTE 2 DEMAOS SOBRE 1 DEMAOS ZARCAO P/ESQUADRIA FERRO	m²	3,78	25,06	94,73	31,33	118,41
1.1.10.2	88487	PINTURA LATEX ACRILICA, DUAS DEMAOS	m²	123,44	6,82	841,86	8,525	1052,33
1.1.11	Limpeza Geral da Obra				45,30		56,63	
1.1.11.1	9537	LIMPEZA FINAL DE OBRA	m²	30,00	1,51	45,30	1,89	56,63
2	Placa da Obra				R\$	624,34	R\$	
2.1	74209/001	PLACA DE OBRA EM CHAPA DE ACO GALVANIZADO	m²	2,00	312,17	624,34	390,21	780,43
VALOR A TOTAL DA OBRA							16.770,01	20.962,52