



Universidade Estadual de Maringá
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOENERGIA

JOSÉ BATISTA PEREIRA DA SILVA

ESTUDOS PARA IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DE BIOGÁS PRODUZIDO NAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS MANDACARU E SUL DA CIDADE DE MARINGÁ/PR

Maringá-PR

2022

JOSÉ BATISTA PEREIRA DA SILVA

ESTUDOS PARA IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DE BIOGÁS PRODUZIDO NAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS MANDACARU E SUL DA CIDADE DE MARINGÁ/PR

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Bioenergia da Universidade Estadual de Maringá como requisito à obtenção do título de mestre em Bioenergia. Área de Concentração: Impactos ambientais e sócio econômicos.

Orientador: Dr. Mauro A. S. Sá Ravagnani

Coorientadora: Dr.^a Camila de Brito Miranda

Maringá-PR

2022

JOSÉ BATISTA PEREIRA DA SILVA

ESTUDOS PARA IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DE BIOGÁS PRODUZIDO NAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS MANDACARU E SUL DA CIDADE DE MARINGÁ/PR

Dissertação IV apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Bioenergia da Universidade Estadual de Maringá como requisito à obtenção do título de mestre em Bioenergia. Área de Concentração: Impactos ambientais e sócio econômicos.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Dr. Mauro A. S. Sá Ravagnani
Universidade Estadual de Maringá UEM – PR

Coorientadora: Dr.^a Camila de Brito Miranda
Universidade Estadual de Maringá UEM – PR

Prof. Dr. Daniel Tait Vareschini
Universidade Estadual de Maringá UEM- PR

Prof.^a Dr.^a Carolina Borges de Carvalho
Universidade Estadual de Maringá UEM – PR

Maringá, 24 de fevereiro de 2022.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha mãe Elvira (in memoriam), a minha irmã Maria das Graças e meus filhos Anderson e Andressa, com quem compartilho minhas dores, angústias e vitórias em todos os momentos de minha vida.

Dedico, ainda, aos meus amigos Francino Costa e Marissa Kimura, por não medir esforços em ajudar, encorajando-me constantemente para a conclusão deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus Pai, Filho e Espírito Santo, por tudo que já fez e está fazendo em minha vida e por me conduzir, sustentar e me levantar nas minhas inúmeras fraquezas, pois sem Ele jamais seria capaz de realizar este trabalho;

Agradeço ao meu orientador, professor Dr. Mauro Antonio da Silva Sá Ravagnani, não só pela orientação neste trabalho, mas também pelos momentos de força e encorajamento e sobretudo pela sua amizade, paciência, atenção;

Agradeço a minha Coorientadora, professora Dr.^a Camila de Brito Miranda, não só pela coorientação neste trabalho, mas também pelos momentos de força e encorajamento e sobretudo pela sua amizade, paciência, atenção;

Ao imenso apoio de amigos e familiares, em especial minha irmã, meus filhos e sobrinhos, que souberam oferecer palavras de carinho e orações nos momentos mais difíceis de minha vida, encorajando-me a persistir, principalmente neste tempo de pandemia em que o mundo se retrai diante das enfermidades;

Agradeço aos professores e colaboradores da Universidade Estadual de Maringá - UEM pelo acolhimento e cordialidade a mim dispensados, no programa de pós-graduação em Bioenergia;

Aos colegas do Programa de Mestrado em Bioenergia pela amizade e companheirismo: Francino, Aristóteles, Marissa, Carlos, Anathan, Raoni, Ana Cláudia, André, Nighel, Guilherme e Óscar, principalmente pelas ajudas e parcerias;

À empresa ERBR – Energias Renováveis, na pessoa do Sr. Adirlei e Eng. Marcelo, pela disponibilidade de dados técnicos e valores para enriquecer este projeto;

Enfim, agradeço a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização e efetivação deste trabalho.

“Não pretendo dizer que já alcancei esta meta e que cheguei a perfeição. Não. Mas eu me empenho em conquistá-la, uma vez que também eu fui conquistado por Jesus Cristo”

(Filipenses 3, 12)

SILVA, José Batista Pereira da. **Estudos para implementação de sistemas de geração de energia elétrica a partir de biogás produzido nas estações de tratamento de esgotos mandacaru e sul da cidade de Maringá/PR**. 2020. 111 p. Dissertação (Mestrado em Bioenergia). Centro de Ciências Exatas, Universidade estadual de Maringá, Maringá, 2020.

RESUMO

Analisando o cenário para produção de energia elétrica, a matriz hidráulica tem-se destacado no Brasil como a fonte principal na geração de eletricidade. Porém, outras fontes de energia limpa têm se destacado e dentre elas o biogás. Apesar da evolução anual do uso de biogás para fins energéticos no Brasil, dados do Centro Internacional de Energias Renováveis (CIBIOGÁS), apontam apenas 521 plantas, sendo 84% destas destinadas a produção de energia elétrica e 8% destas com substratos de origem nos resíduos sólidos urbanos (RSU) e estações de tratamento de esgotos urbanos (ETEs), que fornecem 76% do volume de biogás total gerado. Sabendo-se que o biogás gerado através do lodo das ETEs apresenta grande concentração de gás metano de alto poder calorífico e baixo teor de ácido sulfídrico, é possível o aproveitamento destes para a implantação da geração distribuída de eletricidade em cidades como Maringá/PR. Neste trabalho foi realizado um estudo de viabilidade para sistemas de produção de energia elétrica a partir do biogás presente nas ETEs Mandacaru, Sul e Alvorada que atendem o município de Maringá, porém somente as ETEs Mandacaru e Sul atendem às premissas do mínimo 100.000 habitantes para viabilidade de geração de energia, para os cálculos do projeto. A partir do biogás gerado nas ETEs Mandacaru e Sul, foram calculadas a potência elétrica de geração possível, assim como os custos de investimento para implantação e operação do sistema, a relação custo-benefício e o resultado líquido financeiro após os 5 anos de vida útil dos equipamentos a serem instalados. Por fim, verificou-se a quantidade de créditos de carbono gerados com o resultado da redução de emissão dos gases de efeito estufa.

Com os resultados dos cálculos e análises minuciosas dos valores resultantes, chega-se a conclusão que este projeto de geração de energia a partir do biogás gerado nas ETEs Mandacaru e Sul da cidade de Maringá é etremamente viável uma vez que oferece um lucro líquido para a SANEPAR com a economia de energia evitada, podendo ainda de o excedente ser inserido na rede de distribuição da COPEL, utilizando-se do sistema de compensação, além da geração de créditos de carbono com a redução da emissão dos gases de efeito estufa.

Palavras-chave: Biogás, Eletricidade, ETEs

SILVA, José Batista Pereira da. **Studies for the implementation of electric energy generation systems from biogas produced at the sewage treatment plants in Mandacaru and south of the city of Maringá / PR. 2020.** 2020. 88 p. Master's dissertation (Master in Bioenergy). Exact Sciences Center, Maringá State University, Maringá, 2020.

Abstract

Analyzing the scenario for the production of electric energy, the hydraulic matrix has been highlighted in Brazil as the main source in the generation of electricity. However, other sources of clean energy have stood out and among them biogas. Despite the annual evolution of the use of biogas for energy purposes in Brazil, data from the International Center for Renewable Energy (CIBIOGÁS) indicate only 521 plants, 84% of which are intended for the production of electricity and 8% of these with substrates from waste urban solids (MSW) and urban sewage treatment plants (ETEs), which provide 76% of the total volume of biogas generated. Knowing that the biogas generated through the sludge of the ETEs has a high concentration of methane gas with high calorific value and low hydrogen sulfide content, it is possible to use them for the implementation of distributed generation of electricity in cities such as Maringá/PR. In this work, a feasibility study was carried out for systems for the production of electricity from biogas present in the ETEs Mandacaru, Sul and Alvorada that serve the municipality of Maringá, but only the ETEs Mandacaru and Sul serve the first plants of at least 100,000 inhabitants to feasibility of power generation, for project calculations. Based on the biogas generated at the Mandacaru and Sul ETEs, the electric power of possible generation was calculated, as well as the investment costs for the implementation and operation of the system, the cost-benefit ratio and the net financial result after the 5 years of useful life. of the equipment to be installed. Finally, the amount of carbon credits generated as a result of the reduction of greenhouse gas emissions was verified.

With the results of the calculations and detailed analysis of the resulting values, it is concluded that this energy generation project from the biogas generated in the Mandacaru and Sul ETEs of the city of Maringá is extremely viable since it offers a net profit for the SANEPAR with avoided energy savings, and the surplus may also be inserted into COPEL's distribution network, using the compensation system, in addition to the generation of carbon credits with the reduction of greenhouse gas emissions.

Keywords: Biogas, Electricity, ETEs

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – ETE Mandacaru – Maringá-PR	22
Figura 2 - ETE Sul Maringá-PR.....	23
Figura 3 – ETE Alvorada Maringá-PR.....	24
Figura 4 – Mapa da distribuição das ETE em Maringá.....	25
Figura 5 – Esgoto sanitário.....	26
Figura 6 – Diagrama esquemático de reator UASB	34
Figura 7 – Fases da digestão anaeróbica	37
Figura 8 – Representação esquemática das rotas de conversão de DQO e dos fluxos de metano em reatores UASB	38
Figura 9 – Necessidade de tratamento conforme o uso final	44
Figura 10 – Gasômetro com membrana e carga de peso/lastro (A); gasômetro com tubos infláveis com lastro (B); tanque de biogás com membrana dupla submetida a ar comprimido; e (C) e reservatório de biogás não pressurizado. 45	
Figura 11 – Biodigestores e gasômetro na ETE Arrudas	47
Figura 12 – Microturbina instalada na ETE Arrudas.....	47
Figura 13 – Gasômetro e CHP instalados na ETE Ribeirão Preto.	48
Figura 14 – Mapa das plantas de biogás no Brasil atualmente	50
Figura 15 – Evolução anual do número de plantas em operação e produção de biogás no Brasil.....	53
Figura 16 – Número de plantas de biogás por aplicação de fonte energética e fonte de substrato no Brasil.....	54
Figura 17 – Evolução anual do número de plantas de biogás por aplicação energética no Brasil.....	54
Figura 18 – Evolução anual do número de plantas em operação e produção de biogás no Estado do Paraná	55
Figura 19 – Número de plantas de biogás por aplicação de fonte energética e fonte de substrato no Estado do Paraná	55
Figura 20 – Evolução anual do número de plantas de biogás por aplicação energética no Estado do Paraná	56

Figura 21 – Distribuição das plantas de biogás instaladas no Estado do Paraná	56
Figura 22 – Plantas de biogás instaladas na cidade de Maringá.	57
Figura 23 – Matriz de produção de energia elétrica no Brasil.....	58
Figura 24 - Fluxograma resumido das possibilidades de utilização do biogás. 60	
Figura 25 – Geração de energia elétrica e calor	62
Figura 26 - Equivalência energética do biogás (60% de metano).....	65
Figura 27 – Metodologia para aplicação de biogás em estações de ETEs	67
Figura 28 – Tecnologias e portes de ETEs no Brasil	69
Figura 29 – Alternativas comparativas	70
Figura 30 - Arranjo de UASB com lodo ativado convencional e aproveitamento energético do biogás	72
Figura 31: Grupo Gerador a biogás- ERBR 420 kVA.....	
.....	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais características físicas e químicas do esgoto sanitário e suas contribuições per capita	2727
Tabela 2 – Resultado de análise do esgoto da ETE de Mandacaru de janeiro até junho de 2010.....	28
Tabela 3 – Resultado de análise do esgoto da ETE de Mandacaru de julho até dezembro de 2010	29
Tabela 4 – Resultado de análise do esgoto da ETE Sul de janeiro até junho de 2010	30
Tabela 5 – Resultado de análise do esgoto da ETE Sul de julho até dezembro de 2010	31
Tabela 6 – Origem e descrição dos lodos gerados no tratamento de esgotos sanitários.....	32
Tabela 7 - Taxas de produção e características típicas de lodos.....	33
Tabela 8 – Relações unitárias de produção de metano, de biogás e de energia em reatores UASB tratando esgoto sanitário	39
Tabela 9 – Composição do biogás de acordo com as matérias primas utilizadas	41
Tabela 10 – Situação das plantas de biogás com fins energéticos no Brasil em 2019	50
Tabela 11 – Situação das plantas de biogás com fins energéticos no Brasil em 2019	51
Tabela 12 – Classificação, por substrato, das plantas de biogás com fins energéticos em operação no Brasil em 2019	52
Tabela 13 – Classificação por aplicação energética do biogás das plantas em operação no Brasil em 2019.....	52
Tabela 14 – Peso específico e poder calorífico inferior do biogás em função da composição química.....	64
Tabela 15 – Poder calorífico inferior de combustíveis gasosos.....	64
Tabela 16 – Premissas para implementação do estudo.....	66

Tabela 17 – Eficiências médias de remoção em %.....	69
Tabela 18 – Características do esgoto e vazão de projeto	70
Tabela 19 – Tarifa de Energia Elétrica Copel Distribuição – Grupo B.....	81
Tabela 20 – Tarifa de Energia Elétrica Copel Distribuição – Grupo A4.....	81

ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
BAT	Benefício anualizado (R\$/ano)
CAPEX	Capital expenditure (investimento em bens de capital)
CAT	Custo atualizado total (R\$/ano)
CED	Custo unitário evitado de demanda (R\$/kW ano)
CCE	Centro para Conservação de Energia
CEE ₁	Custo unitário da energia economizada (R\$/kWh)
CIBIOGAS	Centro Internacional de Energias Renováveis–Biogás
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPASA	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
COVID-19	Corona Vírus 2019
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigenio
EE	Energia anual economizada (kWh/ano)
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
ETE	Estação de Tratamento de esgoto
GD	Geração Distribuida
GEE	Gases de Efeito Estufa

GNV	Gás Natural Veicular
IAP	Instituto das Águas do Paraná
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
kW	Quilowatt (Potência ou Demanda de energia elétrica)
kWh	Quilowatt-hora (Quantidade ou consumo de energia elétrica)
m ³	Metro cúbico (volume)
m ³ /h	Metro cúbico por hora
MCI	Motores de Combustão Interna
MME	Ministério de Minas e Energia
NL	Normal Litro – representa o volume de gás equivalente a 1 litro em condições normais de temperatura e pressão (CNTP) 0 °C e 1atm)
Nm ³	Normal metro cúbico – representa o volume de gás equivalente a 1 m ³ em condições normais de temperatura e pressão (CNTP) 0 °C e 1atm)
OPEX	Operational expenditure (despesas operacionais)
PCI	Poder Calorífico Inferior
PROBIOGÁS	Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil
RCB	Relação custo-benefício
RD	Redução de demanda (kW)
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
SST	Sólidos Suspensos Totais
ST	Sólidos Totais
STV	Sólidos Totais Voláteis
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket

VMP

Valor Máximo Permitido

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
2. REVISÃO DE LITERATURA	21
2.1. PANORAMA ATUAL DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO NA CIDADE DE MARINGÁ	21
2.2. REATORES UASB.....	33
2.3. BIODIGESTÃO ANAERÓBICA	35
2.4. BALANÇO DE DQO NO REATOR UASB E TAXA DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS	ERRO!
INDICADOR NÃO DEFINIDO.	
2.5. CARACTERÍSTICAS E PRINCIPAIS COMPOSTOS DO BIOGÁS	40
2.6. TRATAMENTO DO BIOGÁS.....	42
2.7. ARMAZENAMENTO DE BIOGÁS PARA USO EM MOTORES A GÁS.....	44
2.8. APROVEITAMENTO DO BIOGÁS EM SISTEMAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	46
2.9. PANORAMA ATUAL DE UNIDADES QUE UTILIZAM O BIOGÁS PARA APROVEITAMENTO ENERGÉTICO NO BRASIL.....	49
2.10 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	57
2.11. EQUIVALÊNCIA ENERGÉTICA DO BIOGÁS COMPARADO A OUTROS COMBUSTÍVEIS.....	ERRO!
INDICADOR NÃO DEFINIDO.	
2.12. MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA	61
2.13. MOTORES GERADORES DE ELETRICIDADE A PARTIR DO BIOGÁS	61
2.14. COMBUSTÃO E PODER CALORÍFICO INFERIOR DO BIOGÁS	63
3. METODOLOGIA	66
3.1. ALTERNATIVA 1 PARA IMPLEMENTAÇÃO DE UMA PLANTA DE BIOGÁS NAS ETES MANDACARU E SUL DE MARINGÁ.	66
3.2. REATOR UASB E LODO ATIVADO CONVENCIONAL COM SISTEMA DE APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE BIOGÁS (USBS-LAC-GAS)	71
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	74
4.1 ETE MANDACARU.....	74
!FIM IMPREVISTO DA FÓRMULA.....	
77	
4.3.1 CUSTO DE INVESTIMENTOS DO SISTEMA(CAPEX).....	77
4.3.2 CUSTO DE OPERAÇÃO DO SISTEMA (OPEX)	79
4.3.3 MODALIDADES E TARIFAS.....	79
4.3.4 POSTOS TARIFÁRIOS (DEFINIDOS POR ÁREA DE CONCESSÃO OU PERMISSÃO).....	80
4.3.5 CÁLCULO DOS BENEFÍCIOS (MÓDULO 7 DO PROPEE).....	82

4.3.5.1 CÁLCULO DOS BENEFÍCIOS DE ECONOMIA NA ETE MANDACARU.....	83
4.3.5.2 CÁLCULO DOS BENEFÍCIOS DE ECONOMIA NA ETE SUL.....	84
4.3.6 RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO – EQUAÇÃO 10.....	84
4.3.7 RESULTADO FINANCEIRO LÍQUIDO.....	85
4.4 CRÉDITO DE CARBONO.....	85
4.4.1 CRÉDITOS DE CARBONO ESTIMADOS PARA A ETE MANDACARU.....	86
4.4.2 CRÉDITOS DE CARBONO ESTIMADOS PARA A ETE SUL.....	86
5.CONCLUSÃO.....	88
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91
ANEXO I – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS BÁSICAS DO MOTOGERADOR.....	97
ANEXO II - CAPE E OPEX.....	103

1 INTRODUÇÃO

Diante da crise energética presente em função da escassez de água e a busca de novas fontes de energia elétrica, a biomassa tem oferecido elementos que, em muitos casos, não são aproveitados ou mesmo utilizados de formas adequadas, proliferando gases e outros elementos que não contribuem com a preservação do planeta terra.

Dados da “Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais” (ABRELPE) mostram que a geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) no país sofreu influência direta da pandemia da COVID-19, sendo que durante o ano de 2020 alcançou um total de aproximadamente 82,5 milhões de toneladas geradas, que corresponde a 225.965 toneladas diárias. Sendo assim, a geração média de cada brasileiro em 2020 resultou em 1,07 kg de resíduo por dia. Uma possível causa deste aumento expressivo deve-se as novas dinâmicas sociais, principalmente em momentos de total *lockdown*, em que o consumo em bares e restaurantes foram transferidos pelo sistema delivery e os demais descartes de resíduos diários passaram a acontecer nas residências. Somente na região sudeste foram geradas cerca de 113 mil toneladas diárias (50%) e 460 kg/habitante/ano, representando em torno de 50% do volume total gerado no país em 2020.

Segundo a ABRELPE, a geração total de RSU no Brasil em 2014 foi de aproximadamente 78,6 milhões de toneladas, o que representa um aumento de 2,9% de um ano para outro, comparados com o ano anterior, índice superior à taxa de crescimento populacional no país no período, que foi de 0,9%. Entre 2010 e 2021 a geração de RSU no Brasil sofreu um aumento de 23,69%, tornando-se um problema crescente para o meio ambiente. Com isto a geração de gases poluentes como o Metano, tem-se formado a partir destes resíduos e de outros como o resultado dos efluentes líquidos urbanos coletados e sem um fim específico.

O biogás é um resultado da biomassa encontrada em dejetos urbanos, industriais, agropecuários ou efluentes, através da ação de microrganismos que decompõem a matéria orgânica em um ambiente anaeróbico passando do estado sólido para o gasoso. Em muitos casos, o biogás, composto por metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂), nitrogênio (N₂), hidrogênio (H₂), oxigênio (O₂) e gás sulfídrico (H₂S), é lançado na atmosfera, contribuindo para o aquecimento global. No

entanto, esse gás produzido pelo lixo ou esgotos sanitários pode ser usado para a produção de energia elétrica. A geração de energia por esta fonte permite a redução dos gases causadores do efeito estufa, contribuindo para o combate à poluição do solo e dos lençóis freáticos.

Atualmente, três rotas tecnológicas são utilizadas para o uso do lixo e resíduos de esgotos como fonte energética. A mais disseminada e simples é a combustão direta dos resíduos sólidos. Também é utilizado o processo de gaseificação por meio da termoquímica, ocorrendo a produção de calor por meio de reações químicas. Por fim, a produção do biogás é a mais utilizada. Nela ocorre a decomposição da matéria orgânica através da ação de microrganismos em um ambiente anaeróbico, que leva a produção natural do biogás. Apesar do enorme potencial, ainda são poucas as usinas termelétricas movidas a biogás em operação no Brasil.

No final de 2009, por meio da Resolução Normativa nº 390/2009 a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) regulamentou a geração de energia elétrica a partir do biogás e sua comercialização, estabelecendo que qualquer distribuidora de energia elétrica poderia fazer chamadas públicas para comprar eletricidade produzida por biodigestores. Segundo a ANEEL, os produtores poderão enviar a eletricidade para a linha de distribuição, em vez de somente consumir (ANEEL, 2009).

Segundo AQUINO (2013), o biogás é uma ótima fonte de energia que é pouco aproveitada no Brasil. Uma vez utilizado, o biogás gerado nas Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) poderá produzir energia elétrica de forma racional e sustentável. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Estatísticas (IBGE), a cidade de Maringá tem uma população estimada no ano 2021 de 436.472 habitantes, concentrando-se a maioria na área urbana, onde o esgoto coletado é enviado às ETEs Mandacaru, Sul e Alvorada. Se o biogás extraído destas ETEs pudesse ser usado para gerar eletricidade, poderia resultar em renda extra e economia para a empresa.

Analisando o aspecto econômico, segundo Santos (2000), 1 m³ de biogás pode ser equivalente até a 6,5 kWh de energia elétrica, o que corresponde a 1,43 kWh/m³. Considerando o aspecto ambiental, isso contribui com o meio ambiente, dando uma finalidade inteligente à geração de gases poluentes resultantes das ETEs, evitando a simples queima realizada atualmente.

É importante ressaltar que a energia elétrica gerada pelo biogás das ETEs poderia ser inserida na rede da concessionária de energia elétrica local, pelo sistema de compensação, regulamentado pela ANEEL, por meio da resolução n.º 482/2012 e alterada em 24/11/2015, tendo entrado em vigor no dia 01 de março de 2016. Conforme esta resolução, quando a quantidade de energia gerada em determinado mês for superior à energia consumida naquele período, o consumidor ficará com créditos que podem ser utilizadas em até 60 meses seguintes, mesmo que seja em outras unidades consumidoras do mesmo titular.

Desta forma, sob o aspecto social, o sistema pode expandir para as agrovilas, condomínios, cooperativas ou pequenas comunidades e povoados, contribuindo para a geração de energia local, sem a necessidade de implantação de postes e redes para a transmissão de energia ao longo de propriedades, ruas e estradas, eliminando ou minimizando o problema do desmatamento nas faixas de domínio das concessionárias de energia e da mecanização agrícola. A geração de energia elétrica a partir do biogás sugere uma alternativa para a geração de energia elétrica a baixo custo, com a utilização dos gases emitidos pelas ETEs, evitando que os mesmos sejam lançados na atmosfera ou queimados sem aproveitamento algum. Assim, estará contribuindo para o meio ambiente, gerando lucros para Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), uma vez que a energia gerada poderá ser consumida pelas próprias ETEs. Além da possibilidade da geração econômica com a energia gerada, pode-se contar com um resultado financeiro proveniente da venda de créditos de carbono por conta da redução da emissão de gás metano na atmosfera e ainda, a utilização do calor gerado para secagem do lodo resultante das ETEs para serem utilizados como fertilizantes na agricultura.

O aproveitamento do biogás extraído das ETEs de Maringá pode possibilitar a geração de energia elétrica para consumo próprio, de forma racional e sustentável, com o aproveitamento dos processos realizados atualmente para extração do gás e ainda fornecendo o excedente à Companhia Paranaense de Energia (COPEL), gerando renda e economia para a SANEPAR.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar, do ponto de vista técnico-econômico, a viabilidade da implementação de duas plantas de biogás produzido nas Estações de Tratamento de Esgotos Mandacarú e Sul de Maringá, com a finalidade de geração de energia elétrica e aproveitamento térmico da queima do biogás na secagem do lodo gerado. A energia elétrica gerada pode ser utilizada no

processamento de esgoto da própria estação e a possível concessão à COPEL, pelo sistema de compensação.

Foram analisados os impactos sustentáveis desta geração, assim como a viabilidade técnica, econômica, social e ambiental, possibilitando afirmar que a geração de energia através da biomassa pode ser uma realidade no século XXI, contribuindo para o bem-estar do planeta.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. PANORAMA ATUAL DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO NA CIDADE DE MARINGÁ

O município de Maringá atende ao Plano Municipal de Saneamento Básico e Esgoto, estabelecido e revisado na lei federal nº 11.445/07 que estabelece todas as diretrizes nacionais para o saneamento básico, por meio da lei federal n.º 8.987/05, que regulamenta as instituições sob concessão do serviço público, uma vez contratada com a iniciativa privada. Segundo o IBGE, Maringá tem uma população estimada em 2021 de 436.472 habitantes sendo que cerca de 98,07% da população vive em área urbana e essa densidade populacional, indica maior produção de efluentes como esgoto e resíduos sólidos urbanos (IBGE, 2010; AMPLA, 2010; SNIRH, 2017).

O Município de Maringá, está localizado no Estado do Paraná, e já possui um sistema público de tratamento de esgotos sanitários, o qual atende atualmente cerca de 85,73% da população urbana do município, que é um excelente índice em cobertura de esgoto. Além disso, 100% dos esgotos coletados são integralmente tratados, sendo esse sistema de tratamento de esgoto operado pela (IBGE, 2010; AMPLA, 2010; SNIRH, 2017).

A Cidade de Maringá possui uma topografia privilegiada, o que possibilitou a implantação de um sistema de esgotos sanitários integralmente por gravidade, a partir da coleta até a chegada a ETE. Essa vantagem topográfica possibilitou a instalação do sistema existente de Esgotos Sanitários do município de Maringá, não necessitando de nenhuma estação elevatória. Atualmente, o complexo de esgotamento sanitário existente é constituído de três subsistemas independentes:

1. Subsistema da Bacia do Ribeirão Mandacaru;
2. Subsistema da Bacia do Ribeirão Pinguim;
3. Subsistema da Bacia do Ribeirão Morangueira.

Cada um destes subsistemas dispõe de suas próprias instalações de coleta, transporte, tratamento e destinação final do efluente. O sistema de rede coletora de esgotos sanitários da cidade de Maringá possui uma extensão de aproximadamente 1.057.884 metros, dividida por subsistema:

1. Subsistema Bacia Ribeirão Mandacaru: 401.996 metros (38%)
2. Subsistema Bacia Ribeirão Pinguim: 370.260 metros (35%)

3. Subsistema Bacia Ribeirão Morangueira: 285.628 metros (27%)

Os sistemas de tratamentos de esgoto de Maringá estão divididos em 4 partes, sendo elas: ETE Mandacaru representa 30,1%, ETE Sul representa 42,6%, ETE Alvorada representa 19,9% e soluções individuais (fossa sépticas), que representam 7,4% do esgoto tratado em Maringá (AMPLA, 2010; SNIRH, 2017).

A ETE Mandacaru (Figura 1) pertence ao subsistema de Esgotos Sanitários da Bacia do Ribeirão Mandacaru e está localizada nos Lotes de Terras Nº 118-B-2. O seu arranjo e capacidade se enquadra, segundo padronização da SANEPAR, a uma classificação tipo ETE Classe C. Possui seguintes unidades: caixa de chegada; gradeamento mecanizado; desarenador ciclônico; calha Parshall para medição da vazão afluente à ETE (esgoto bruto); reatores anaeróbios de leito fluidizado (RALF); leitos de secagem; laboratório; e poço profundo para atender as demandas de água do complexo de tratamento (AMPLA, 2010; SNIRH, 2017).



Figura 1 – ETE Mandacaru – Maringá-PR

Fonte: <https://www.gel-eng.com.br/obra/sanepar-ete-mandacaru/>

Conta com uma vazão de tratamento em projeto igual a 362,79 L/s, atualmente a vazão média de tratamento é de 141,10 L/s ou seja 507,96 m³/h, somando um total de 12.191,04 m³/dia e 365.731,20 m³/mês, sua carga é de 6.151,40 kg DBO/dia ou 184.542,00 kg DBO/mês, atendendo uma população de aproximadamente 113.915 pessoas. A quantidade média diária de lodo produzido no

processo de tratamento é de 90,64 m³/dia ou 2.719,20 m³/mês, com um teor de sólidos de 1% (AMPLA, 2010; SNIRH, 2017).

A ETE Sul pertence ao subsistema de Esgotos Sanitários da Bacia do Ribeirão Pinguim, localizada na Estrada Jaguaruna, Lote 05, Gleba Ribeirão Pinguim, no Município de Marialva/PR, próximo da confluência dos Ribeirões Pinguim e Borba Gato. Assim como a ETE Mandacaru, sua estrutura e capacidade lhe confere, segundo padronização da SANEPAR, uma classificação tipo ETE Classe C (AMPLA, 2010; SNIRH, 2017).

A Figura 2 mostra a ETE Sul que possui as seguintes unidades: caixa de chegada; gradeamento mecanizado; caixa de areia com removedor e lavador de areia; calha Parshall para medição da vazão afluente à ETE (esgoto bruto); reatores anaeróbios de leito fluidizado (RALF); decantadores secundários; filtros biológicos convencionais de alta carga; adensador; desaguamento do lodo por centrífuga; barracão de cura de lodo (calagem); pátio de cura de lodo (630 m²); estação elevatória dos RALFs para o adensador; estação elevatória de lodo dos decantadores; estação elevatória de recirculação para os filtros biológicos; estação elevatória do sobrenadante do adensador; tanque de contato para desinfecção com cloro; laboratório; e poço profundo para atender as demandas de água do complexo de tratamento (AMPLA, 2010; SNIRH, 2017).



Figura 2 – ETE Sul Maringá-PR

Fonte: <https://www.gel-eng.com.br/wp-content/uploads/2019/12/5-15-scaled.jpg>

Possui uma vazão de projeto igual a 482 L/s. Atualmente, a vazão média de tratamento é de 200,5 L/s, ou seja, 721.80 m³/h, somando um total de 17.323,20 m³/dia e 519.696.00 m³/mês. Sua carga é de 8.722,70 kg DBO/dia ou 261.681,00 kg DBO/mês atendendo uma população de aproximadamente 161.532 pessoas. O volume médio diário de lodo produzido no tratamento é de 99,21 m³/dia ou 2.976,30 m³/mês, com um teor de sólidos de 1% (AMPLA, 2010; SNIRH, 2017).

A ETE Alvorada, identificada pela Figura 3, pertence ao subsistema de Esgotos Sanitários da Bacia do Ribeirão Morangueira, fica localizada próximo ao Jardim Alvorada e da confluência do Ribeirão Morangueira com o Ribeirão Água Pirapó e possui uma classificação tipo ETE Classe C, como a ETE Mandacaru e a ETE Sul. Dispõe das seguintes unidades: caixa de chegada; gradeamento mecanizado; desarenador; calha Parshall para medição da vazão afluente à ETE (esgoto bruto); reatores anaeróbios de leito fluidizado (RALF); leitos de secagem; e laboratório (AMPLA, 2010; SNIRH, 2017).



Figura 3 – ETE Alvorada Maringá-PR

Fonte: <https://www.gel-eng.com.br/wp-content/uploads/2019/12/ETE-Alvorada-destaque-scaled.jpg>

Possui uma vazão de projeto igual a 228,60 L/s. Atualmente, a vazão média de tratamento é de 93,50 L/s, ou seja, 336,60 m³/h, somando um total de

8.078,40 m³/dia e 242.352,00 m³/mês. Sua carga é de 4.066,50 kg DBO/dia ou 121.995 kg DBO/mês, atendendo uma população de aproximadamente 75.306 pessoas. O volume médio diário de lodo produzido no processo de tratamento é de 46,13 m³/dia ou 1.383,90 ou 261.681,00 kg DBO/mês/mês, com um teor de sólidos de 1% (AMPLA, 2010; SNIRH, 2017).

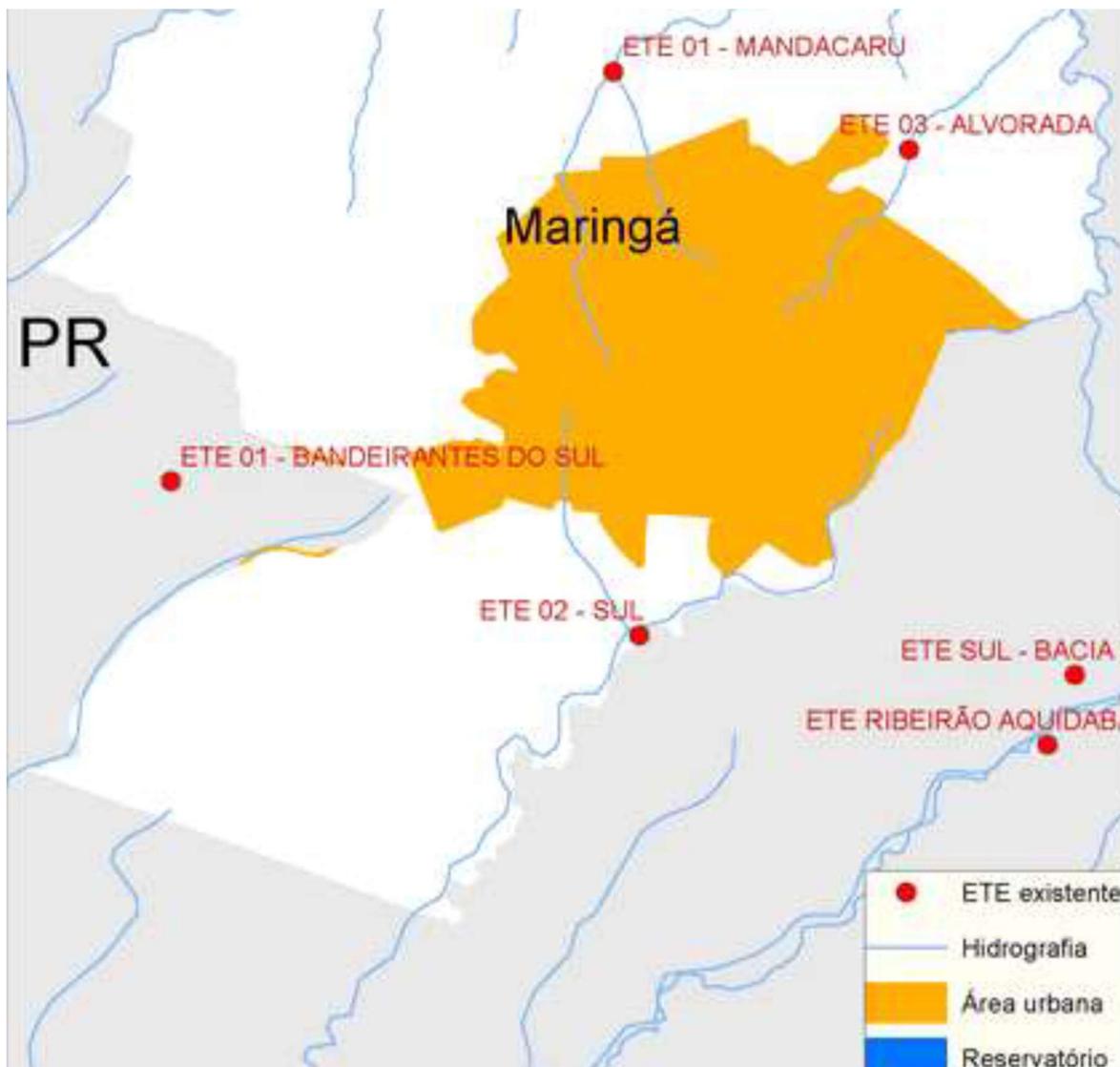


Figura 4 – Mapa da distribuição das ETE em Maringá
Fonte: SNIRH, 2017

Nenhuma das ETEs, Mandacaru, Sul e Alvorada, necessita atualmente operar com sua vazão máxima de projeto, utilizando uma média de aproximadamente 38% da sua capacidade total de tratamento. No último censo realizado em 2010 a população de Maringá era de 357.077 habitantes, (IBGE, 2010; AMPLA, 2010; SNIRH, 2017). Atualmente, a população urbana atendida com os sistemas de Esgoto no Município de Maringá/PR, considerando os dados estimados

em 2021, é de 374.187 habitantes (436.472 x 85,73%). Essa população possui uma cobertura em esgoto de 85,73%, assim calculado: população urbana (dado Censo IBGE 2010): 35.653 habitantes; taxa de ocupação domiciliar (dado Censo IBGE 2010): 3,00 habitante/domicílio; número de economias tipo residenciais em Dezembro de 2010: 100.206 unidades; população urbana atendida com serviços de esgoto: $(100.206 \times 3,00) = 300.618$ hab.; cobertura em esgoto: $[(300.618/350.653) \times 100] = 85,73\%$. (AMPLA, 2010). O mapa da Figura 4 mostra a distribuição das ETEs existente no município de Maringá.

O esgoto sanitário (Figura 5) é formado predominantemente por água, que corresponde cerca de 99,8% de sua composição volumétrica. O remanescente é composto de sólidos suspensos e sólidos dissolvidos, na forma de compostos orgânicos, nutrientes, microrganismos e sólidos inertes. As quantidades, composições específicas e concentrações do esgoto variam com a região atendida e com sua respectiva disponibilidade de água, do nível socioeconômico e das atividades desenvolvidas, incluindo as industriais, além de causas como ocorrências de infiltrações na rede coletora de esgoto (VON SPERLING, 2005).



Figura 5 – Esgoto sanitário

Fonte: <https://www.portal27>

Para usar o esgoto como substrato na digestão anaeróbia, ele deve ter elevadas concentrações de matéria orgânica biodegradável, principalmente nos lodos que são gerados pela decantação primária, no método de tratamento de esgoto, e nos lodos secundários formados no tratamento biológico aeróbio.

Confrontados aos lodos primários, os lodos secundários são predominantemente formados de biomassa, ou seja, células bacterianas que cresceram como consequência do processo de conversão biológica.

A Tabela 1 mostra, resumidamente, as principais características físicas e químicas do esgoto sanitário, bem como suas respectivas contribuições per capita.

Tabela 1 – Principais características físicas e químicas do esgoto sanitário e suas contribuições per capita

Parâmetro	Contribuição per capita			Concentração	
	(g/habitante.dia)				
	Faixa	Típico	Unidade	Faixa	Típico
Sólidos Totais	120 – 220	180	mg/L	700 – 1350	1100
Em suspensão	35 – 70	60	mg/L	200 – 450	350
Fixos	7 – 14	10	mg/L	40 – 100	80
Voláteis	25 – 60	50	mg/L	165 – 350	320
Dissolvidos	85 – 150	120	mg/L	500 – 900	700
Fixos	50 – 90	70	mg/L	200 – 550	400
Voláteis	35 – 60	50	mg/L	200 – 350	300
Sedimentáveis	–	–	mL/L	10 – 20	15
Matéria orgânica					
DBO ₅	40 – 60	50	mg/L	250 – 400	300
DQO	80 – 120	100	mg/L	450 – 800	600
DBO _{última}	60 – 90	75	mg/L	350 – 600	450
Nitrogênio total	6,0 – 10,0	8,0	mgN/L	35 – 60	45
Nitrogênio orgânico	2,5 – 4,0	3,5	mgN/L	15 – 25	20
Amônia	3,5 – 6,0	4,5	mgNH ₃ / – N/L	20 – 35	25
Nitrito	~0	~0	mgNO ₂ / – N/L	~0	~0
Nitrato	0,0 – 0,2	~0	mgNO ₃ / – N/L	0 – 1	~0
Fósforo	0,7 – 2,5	1,0	mgP/L	4 - 15	7

Fósforo orgânico	0,2 – 1,0	0,3	mgP/L	1 – 6	2
Fósforo inorgânico	0,5 – 1,5	0,7	mgP/L	3 – 6	5
pH	–	–	–	6,7 – 8,0	7,0
Alcalinidade	20 – 40	30	mgCaCO ₃ /L	100 – 250	200
Metais pesados	~0	~0	mg/L	traços	traços
Compostos orgânicos tóxicos	~0	~0	mg/L	traços	traços

Fonte: BRASIL 2017.

As Tabelas 2 e 3 apresentam, resumidamente, as principais características físicas e químicas do esgoto sanitário da ETE de Mandacaru no ano de 2010.

Tabela 2 – Resultado de análise do esgoto da ETE de Mandacaru de janeiro até junho de 2010

Parâmetro Monitorado	VMP	Resultados/Data da Coleta das Amostras (dia/mês)					
		04/01	08/02	10/03	05/04	03/05	07/06
Temperatura	< 40°C*	28,5	29,0	27,0	28,0	25,5	22,5
a							
pH	5 a 9*	7,1	7,1	7,1	7,2	7,4	7,4
DQO	125	275	481	328	302	326	320
	mg/L**						
DBO	50	80	250	155	100	120	120
	mg/L**						
Óleos minerais	20 mg/L*	5,0	14,3	5,4	5,0	5,0	5,0
Óleos vegetais e	50 mg/L*	16,7	81,3	58,1	21,7	28,6	35,1

gorduras vegetais							
Sólidos sedimentáveis	1 mL/L*	1,0	1,8	1,5	1,5	1,2	0,8
Sólidos suspensos totais	–	84	244	190	115	80	140
Fósforo total	–	8,3	8,7	8,8	9,6	11,0	9,1

Fonte: AMPLA, 2010

VMP - Valor máximo permitido.

* Valores máximos permitidos pela Resolução CONAMA 357/2005.

** Valores máximos permitidos pelo IAP – Instituto das Águas do Paraná, Portaria n.º 1013 de 24 de agosto de 2010 (autorização de uso das águas do Ribeirão Mandacaru para o lançamento do efluente da ETE Mandacaru).

Tabela 3 – Resultado de análise do esgoto da ETE de Mandacaru de julho até dezembro de 2010

Parâmetro Monitorado	VMP	Resultados/Data da Coleta das Amostras (dia/mês)					
		05/07	02/08	08/09	04/10	03/11	06/12
		Temperatura	< 40°C*	24,5	23,5	24,5	23,0
pH	5 a 9*	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4
DQO	125 mg/L**	322	129	290	359	260	280
DBO	50 mg/L**	125	56	155	130	110	115
Óleos minerais	20 mg/L*	5	5	5	5	5	5
Óleos vegetais e gorduras vegetais	50 mg/L*	28,0	25,1	36,8	30,6	28,1	20,1
Sólidos sedimentáveis	1 mL/L*	1,1	1,5	1,5	1,2	0,9	0,1
Sólidos suspensos totais	–	136	152	170	108	85	120

Fósforo total	–	10,2	9,1	10,4	9,2	7,6	6,6
---------------	---	------	-----	------	-----	-----	-----

Fonte: AMPLA, 2010.

* Valores máximos permitidos pela Resolução CONAMA 357/2005.

** Valores máximos permitidos pelo IAP – Instituto das Águas do Paraná, Portaria n.º 1013 de 24 de agosto de 2010 (autorização de uso das águas do Ribeirão Mandacarú para o lançamento do efluente da ETE Mandacarú).

As Tabelas 4 e 5 apresentam, resumidamente, as principais características físicas e químicas do esgoto sanitário da ETE de Sul no ano de 2010.

Tabela 4 – Resultado de análise do esgoto da ETE Sul de janeiro até junho de 2010

Parâmetro Monitorado	VMP	Resultados/Data da Coleta das Amostras (dia/mês)					
		04/01	08/02	10/03	05/04	03/05	07/06
Temperatura	< 40°C*	27,2	28,4	26,0	24,6	21,6	20,0
pH	5 a 9*	7,4	7,5	7,5	7,4	7,8	7,5
DQO	125 mg/L**	122	140	130	114	117	201
DBO	50 mg/L**	46	46	40	64	42	70
Óleos minerais	20 mg/L*	5	5	5	5	5	5
Óleos vegetais e gorduras vegetais	50 mg/L*	9,5	15,4	11,1	12,2	13,5	19,4
Sólidos sedimentáveis	1 mL/L*	0,1	0,7	0,1	0,4	0,1	0,5
Sólidos suspensos totais	–	40	68	40	40	64	68
Fósforo total	–	5,0	6,3	4,9	8,3	6,1	7,1

Fonte: AMPLA, 2010

* Valores máximos permitidos pela Resolução CONAMA 357/2005.

** Valores máximos permitidos pelo IAP – Instituto das Águas do Paraná, Portaria n.º 1013 de 24 de agosto de 2010 (autorização de uso das águas do Ribeirão Mandacarú para o lançamento do efluente da ETE Mandacarú).

Tabela 5 – Resultado de análise do esgoto da ETE Sul de julho até dezembro de 2010

Parâmetro Monitorado	VMP	Resultados/Data da Coleta das Amostras (dia/mês)					
		05/07	02/08	08/09	04/10	03/11	06/12
Temperatura	< 40°C*	22,6	20,9	25,1	22,5	25,3	26,0
pH	5 a 9*	7,5	7,5	7,5	7,7	7,7	7,8
DQO	125	165	200	210	134	143	159
	mg/L**						
DBO	50	70	75	85	52	60	40
	mg/L**						
Óleos minerais	20	5	5	5	5	5	5
	mg/L*						
Óleos vegetais e gorduras vegetais	50	23,7	20,0	18,7	15,0	33,7	20,8
	mg/L*						
Sólidos sedimentáveis	1 ml/L*	0,2	0,4	0,4	0,1	0,2	0,9
Sólidos suspensos totais	–	72	76	55	48	60	65
Fósforo total	–	8,2	6,6	8,1	8,4	5,1	3,8

Fonte: AMPLA, 2010

* Valores máximos permitidos pela Resolução CONAMA 357/2005.

** Valores máximos permitidos pelo IAP – Instituto das Águas do Paraná, Portaria n.º 1013 de 24 de agosto de 2010 (autorização de uso das águas do Ribeirão Mandacaru para o lançamento do efluente da ETE Mandacaru).

A Tabela 6 apresenta a adequação dos lodos gerados na ETE como substrato para digestão anaeróbia, e a Tabela 7 mostra os valores característicos de geração de lodos no Brasil. Os lodos são caracterizados pelos parâmetros sólidos totais (ST) e sólidos suspensos totais (SST), que resultam da conversão da DQO do esgoto em lodo.

Tabela 6 – Origem e descrição dos lodos gerados no tratamento de esgotos sanitários

Tipo do lodo	Etapa do tratamento	Adequação para a digestão do lodo
Lodo primário não estabilizado biologicamente	Esgoto permanece de 1 a 2 horas no decantador primário ou caixa de gordura e tanque com limpeza frequente (dias)	Os compostos orgânicos presentes no lodo primário apresentam alto valor energético, substrato ideal para digestão anaeróbia.
Lodo secundário (biomassa) não estabilizado biologicamente	Lodo ativado do tipo convencional Biofiltro aeróbio de alta carga	Nos lodos gerados (biomassa) no tratamento com alta carga (baixo tempo de retenção de sólidos), os compostos orgânicos absorvidos ainda não estão digeridos, apresentando alto valor energético para a digestão anaeróbia
Lodo primário estabilizado biologicamente	Tanque séptico, Tanque Imhoff, reator UASB, RAC (Reator Anaeróbio Compartimentado (Baffled), entre outros	Estabilização anaeróbia: O tempo de permanência em condições anaeróbias é suficiente para proporcionar a digestão dos compostos orgânicos.
	Lodo ativado de aeração prolongada, reatores de baixa carga e lagoas de tratamento	Estabilização aeróbia: a biomassa gerada está mineralizada devido à baixa carga orgânica. Estes lodos não são aptos como substratos para a digestão.

Fonte: Adaptado de Andreoli, Von Sperling & Fernandes (2010); Norma alemã DWA M 363 (2010).

Os parâmetros de caracterização de matéria orgânica do lodo são definidos pelos parâmetros sólidos totais voláteis (STV) e sólidos suspensos voláteis (SSV). Segundo Andreoli, Von Sperling e Fernandes (2010), os lodos que vierem a ser digeridos, tipicamente, têm entre 75 e 80% SV/ST e os lodos digeridos têm entre 60 e 65% SV/ST, sendo o adensamento prévio do lodo um requisito importante para o digestor.

Tabela 7 – Taxas de produção e características típicas de lodos

Origem no sistema	Relação SV/ST	Kg SST/kg aplicada	DQO %	ST lodo adensado
Lodo primário – Decantador primário	0,75 – 0,80	0,35 – 0,45		4 – 8
Lodo de excesso – Lodos ativados Convencionais	0,70 – 0,80	0,25 – 0,35		2 – 6
Lodo de excesso – Lodos ativados com aeração prolongada	0,65 – 0,55	0,50 – 0,55		2 – 6

Fontes: Adaptado de Andreoli, Von Sperling & Fernandes (2010)

2.2. REATORES UASB

Os reatores UASB tratam o esgoto sanitário, que é submetido a uma fase prévia de tratamento preliminar, objetivando à remoção de sólidos grosseiros (detritos) e areia. As unidades que formam o tratamento preliminar (grades, peneiras e desarenadores) devem ser objeto criterioso de projeto, a fim de certificar a efetiva remoção dos detritos que são prejudiciais ao funcionamento dos reatores. Uma representação esquemática de um reator UASB pode ser vista na Figura 6.

O esgoto afluente passa em um reator UASB continuamente através de um sistema de distribuição no fundo do reator e passa em fluxo ascendente pelo leito e manta de lodo, onde acontece a digestão anaeróbia, favorecida pelo contato e mistura intensiva do substrato esgoto sanitário com a matéria orgânica, com a biomassa formada no lodo. A camada de lodo é formada por microrganismos, que geram flocos suspensos ou grânulos densos. Nessa configuração, pode-se formar

uma concentração de 40 a 100 gST/L. Do efeito da floculação da biomassa provém características favoráveis à sedimentação e possibilita sua permanência no reator com tempo de retenção celular suficientemente elevado ($t_c > 30$ dias) para estabilizar a biomassa produzida.

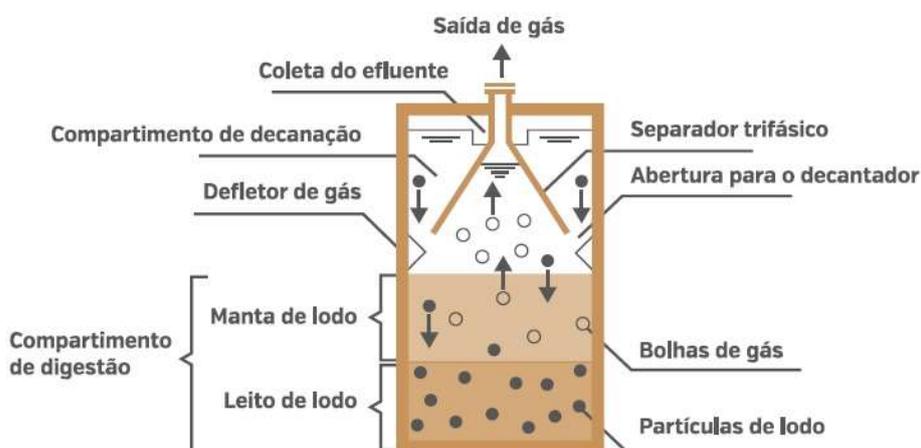


Figura 6 – Diagrama esquemático de reator UASB
Fonte: Brasil, 2017 Adaptado de Chernicharo (2007).

Após a degradação anaeróbia da matéria orgânica, os produtos – (I) o efluente tratado, (II) o biogás; e (III) a biomassa gerada – devem ser separados. A biomassa, em sua maioria, é mantida na parte inferior do reator por aderência aos flocos (pellets) e sedimentação. Uma parte da biomassa pode ser levada com o efluente junto com as bolhas de gás até a parte superior do reator, onde fica o separador trifásico.

Em volta e acima do separador trifásico, encontra-se o compartimento de decantação, onde a biomassa mais pesada é retirada do efluente líquido e redirecionada ao compartimento de digestão. Percebe-se que as partículas mais leves são perdidas junto com o efluente final. As bolhas de gás sobem na fase líquida até encontrarem a interface líquido-gás, presente no interior do separador trifásico.

Nessa interface as bolhas se desprendem, estruturando uma fase gasosa, que é o biogás. Esta atmosfera apresenta fluxo de saída por meio de tubulações, que devem direcionar o biogás a algum tipo de tratamento e/ou aproveitamento. As bolhas de gás que se condicionam verticalmente embaixo das aberturas do separador trifásico precisam ser desviadas para impedir que passem pelas mesmas aberturas, gerando turbulências no compartimento de decantação. Para isso,

colocam-se obstáculos que operam como defletores de gás abaixo das aberturas (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994; CHERNICHARO, 2007).

2.3. BIODIGESTÃO ANAERÓBICA

A digestão anaeróbia é o método de degradação biológica da matéria orgânica em condições de ausência de oxigênio que, no meio de outros subprodutos, produz o biogás. Em ETEs, a matéria prima para a produção do biogás é o esgoto. Quando a digestão anaeróbia do esgoto sanitário ocorre em um reator UASB, gera-se, como subproduto, o biogás. A geração do biogás, nesse caso, depende particularmente da concentração e da composição da matéria orgânica presente no esgoto, da temperatura do processo e das características do reator (BRASIL, 2017).

Essa utilização é muito comum em países da Europa. Em condições estáveis de operação, o reator UASB é eficiente na remoção entre 60 e 70% da DQO do esgoto sanitário e a geração específica teórica máxima de gás metano, é de $0,35 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{kg DQO}_{\text{remov}}$.

O procedimento de decomposição da matéria orgânica é muito complexo, por ser realizado por meio de uma vasta série de reações bioquímicas, decorrentes de diversas espécies de microrganismos. Estudos bioquímicos e microbiológicos apresentam a divisão do processo de decomposição anaeróbia em quatro fases: a primeira é a fase de hidrólise; a segunda é uma fase acidogênica ou fermentativa; a terceira é uma fase acetogênica e a quarta é a fase metanogênica (LEMA; MÉNDEZ 1997).

A hidrólise é o início da decomposição anaeróbia de substratos orgânicos complexos, visto que os microrganismos utilizam apenas matéria orgânica solúvel, que podem atravessar sua parede celular. A matéria orgânica é formada por três gêneros de macromoléculas: hidratos de carbono, proteínas e lipídios. No decorrer da hidrólise, as bactérias alteram os substratos orgânicos em monômeros e polímeros solúveis, ou seja, as proteínas, os hidratos de carbono e as gorduras sofrem alterações, em aminoácidos, monossacarídeos e ácidos graxos (ONUUDI, sd).

Na fase acidogênica ocorre a fermentação das moléculas orgânicas solúveis em compostos que podem ser utilizados pelas bactérias metanogênicas (acético, fórmico, H_2) e em menor quantidade, compostos orgânicos (ácido

propiónico, ácido valérico, ácido láctico e etanol), sendo oxidados por bactérias acetogênicas na próxima fase do processo (BRASIL, 2017; ONUDI, sd).

Na fase acetogênica, os ácidos propiónico e butírico e álcoois, dentre outros, são modificados pelas bactérias acetogênicas em hidrogênio, dióxido de carbono e ácido acético. Os ácidos graxos voláteis, transformam-se em ácido acético. O metabolismo dessas bactérias é inibido por altas concentrações de H_2 . As bactérias envolvidas são facultativas e possuem uma estreita cooperação com as bactérias metanogênicas. Sobrevivem em simbiose com o grupo que consome hidrogênio. As bactérias dessa fase possuem um crescimento lento e seu tempo mínimo de duplicação é de 1,5 a 4 dias (BRASIL, 2017; ONUDI, sd).

A fase metanogênica representa a fase final do processo, em que os compostos como o ácido acético, hidrogênio e dióxido de carbono são transformados em CH_4 e CO_2 . As bactérias envolvidas formam um único grupo, composto por diversas espécies de diferentes formas e estrutura celular. São rigorosamente anaeróbicas com período de duplicação de 2 a 3 dias. A Figura 7 simplifica o processo. As sulfobactérias, que são outro grupo existente nos digestores anaeróbicos, são muito significativas na presença de sulfatos (BRASIL, 2017; ONUDI, sd). Elas podem disputar com as metanobactérias, diminuindo a produção de gás metano. Em contrapartida, as sulfobactérias conseguem diminuir os sulfatos utilizando o hidrogênio gerado pelas bactérias formadoras de ácidos. Assim sendo, o hidrogênio não pode ser utilizado pelas bactérias metanogênicas. O aproveitamento energético do biogás dependerá do controle de ácido sulfídrico no gás, pois eles prejudicam as bactérias metanogênicas, além de ser muito corrosivo e poder danificar os equipamentos e motores em um sistema de geração de energia (GARCÍA; HIDALGO, 2001).

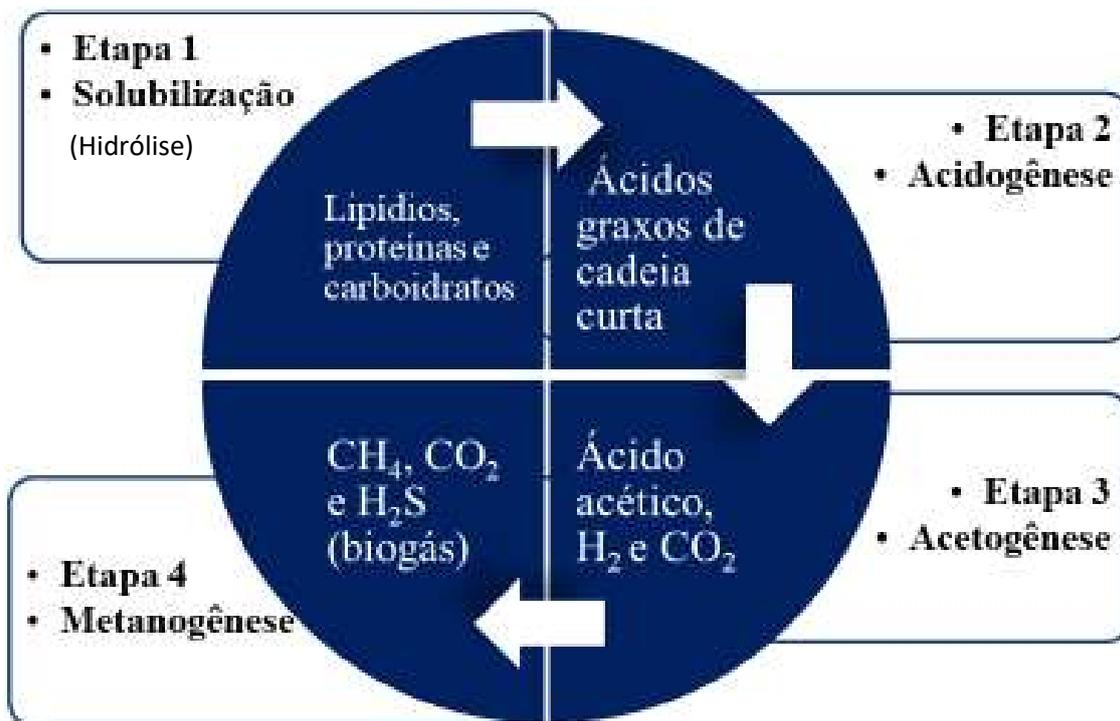


Figura 7 – Fases da digestão anaeróbica

Fonte: Adaptado de CHERNICHARO 1997; KELLEHER *et al.*, 2000

2.4. BALANÇO DE DQO NO REATOR UASB E TAXA DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Para o balanço de DQO, é fundamental considerar todas as vias de transferência. A Figura 8 mostra as rotas de conversão de DQO e os fluxos de metano em reatores UASB, fornecendo 4 parcelas principais de DQO, sendo elas: DQO convertida em biogás/metano: metano presente no biogás captado; metano dissolvido no efluente, que depende essencialmente da concentração de DQO no afluente e da temperatura e metano escapando com o gás residual, na captação de biogás (BRASIL, 2017)

Dessas vias, a mais difícil para controlar e examinar é a parte de metano que sai do sistema dissolvido ao efluente. Essa fração pode ser significativa quando a concentração de DQO no afluente é bastante baixa. Por um lado, o metano apresenta baixa solubilidade em água e pode ser rapidamente desprendido da fase líquida em reatores UASB. Já o dióxido de carbono e o sulfeto de hidrogênio são muito solúveis, saindo do reator parcialmente como gás também dissolvidos no efluente líquido (CHERNICHARO e STUETZ, 2008; SOUZA *et al.*, 2010).

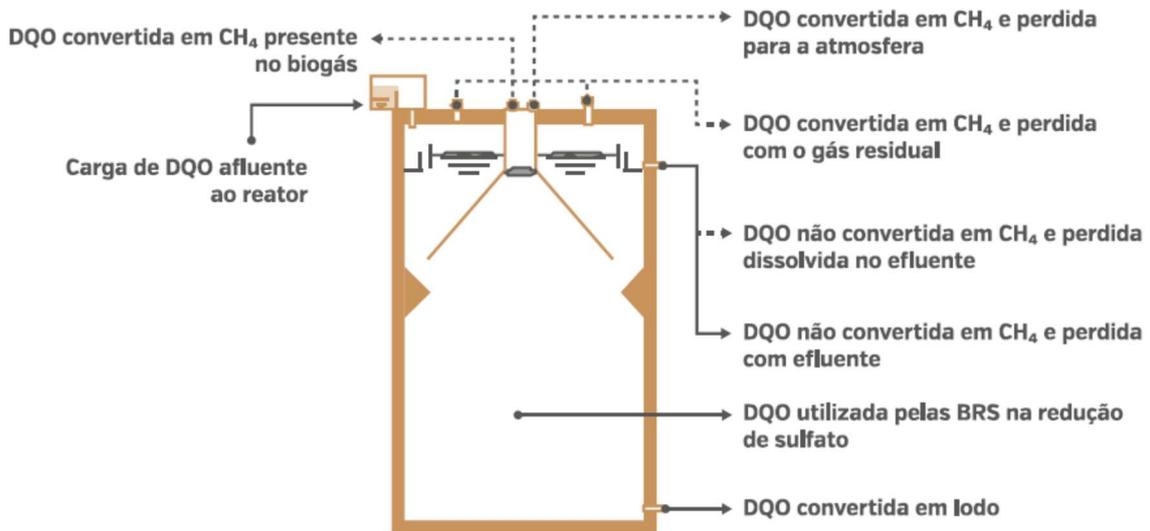


Figura 8 – Representação esquemática das rotas de conversão de DQO e dos fluxos de metano em reatores UASB

Fonte: Brasil, 2017 Adaptado de Lobato (2011)

Porém, em reatores UASB tratando esgoto doméstico, tem-se percebido a supersaturação do metano na fase líquida, que segundo os cálculos baseados na lei de Henry, pode levar a concentrações entre 15 e 50% de metano na fase líquida (VAN HAANDEL e LETTINGA 1994).

As medidas de perda de metano notados na prática normalmente variam entre 14% (KELLER, HARTLEY, 2003), 36 a 41% (SOUZA *et al.*, 2010) e 50% (AGRAWAL *et al.*, 1997; PIEROTTI, 2007). Geralmente, essa perda amplia com a carga hidráulica aplicada. Contudo, depende também de fatores como: temperatura e pressão parcial do gás no interior do reator, assim como tamanho da superfície líquida do reator. Devido à complexidade das análises em escala real, ainda ficam bastantes dúvidas sobre os valores reais das perdas de metano simultaneamente ao efluente.

Um modelo apresentado por Lobato (2011) considera as quantidades de metano dissolvidas no meio líquido, assim como as perdas na forma de gases residuais e as perdas relacionadas à redução de sulfato. Ele expõe de forma mais plausível os fenômenos físicos, químicos e biológicos inerentes aos reatores UASB, fazendo com que os resultados obtidos a partir de sua utilização apresentem menor desvio em relação aos valores mensurados. Por esse motivo, recomenda-se que as tomadas de decisão inerentes à recuperação do biogás estejam baseadas em

resultados de medições e que, se porventura tal prática não for exequível, o modelo proposto por Lobato (2011) seja utilizado.

A melhor situação, em que o potencial energético é maior, refere-se a sistemas operando com esgoto mais concentrado, menores concentrações de sulfato, maior eficiência de remoção de DQO e menores índices de perda de metano. Para a situação típica, foram aplicados valores intermediários para os dados de entrada. Os resultados dessas simulações estão sumarizados na Tabela 8.

Tabela 8 – Relações unitárias de produção de metano, de biogás e de energia em reatores UASB tratando esgoto sanitário

Relação Unitária	Unidade	Pior situação			Situação típica			Melhor situação		
		Máx.	Mín.	Média	Máx.	Mín.	Média	Máx.	Mín.	Média
Volume unitário de CH ₄ produzido	**NL.hab ⁻¹ .dia ⁻¹	9,9	3,6	6,8	13,3	7,4	10,2	16,7	11,1	13,7
	NL.m ⁻³ esgoto	8,1	16,7	42,2	103,7	34,8	64,2	134,6	51,8	81,3
Volume unitário de biogás produzido	NL.kgDQO _{remov} ⁻¹	1,5	66,0	113,4	185,8	124,2	158,3	219,1	173,9	196,0
	NL.hab ⁻¹ .dia ⁻¹	1,4	5,2	9,8	17,7	9,9	13,6	20,8	13,9	17,1
Volume unitário de biogás produzido	NL.m ⁻³ esgoto	1,1	23,8	60,3	138,3	46,4	85,6	168,3	64,8	101,6
	NL.kgDQO _{remov} ⁻¹	2,2	94,3	162,0	247,8	165,6	211,1	273,9	217,4	245,0

		0,								
		1								
	kWh.m ⁻³ esgoto	0,	0,2	0,4	1,0	0,3	0,6	1,3	0,5	0,8
		8								
Potenci	kWh.kgDQO _{remo}	1,	0,7	1,1	1,9	1,2	1,6	2,2	1,7	2,0
al	v ⁻¹	5								
energét	kWh.Nm ⁻³	7,	7,0	7,0	7,5	7,5	7,5	8,0	8,0	8,0
ico	biogás	0								
unitário	kWh.hab ⁻¹ .dia ⁻¹	0,	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
		1								
	MJ.m ⁻³ esgoto	2,	0,6	1,5	3,7	1,2	2,3	4,8	1,9	2,9
		9								
	MJ.kgDQO _{remov}	5,	2,4	4,1	6,7	4,5	5,7	7,9	6,2	7,0
	1	5								
	MJ.Nm ⁻³ biogás	2	25,	25,1	26,	26,	26,9	28,	28,	28,7
		5,	1		9	9		7	7	
		1								
	MJ.hab ⁻¹ .dia ⁻¹	0,	0,1	0,2	0,5	0,3	0,4	0,6	0,4	0,5
		4								

Fonte: Lobato, 2011

2.5. CARACTERÍSTICAS E PRINCIPAIS COMPOSTOS DO BIOGÁS

Biogás é o nome que se dá aos gases que são produzidos a partir da degradação anaeróbica ou biometanização de resíduos orgânicos, independente da matéria prima e do processo utilizado. Seus principais compostos são metano e dióxido de carbono. O valor energético do biogás é obtido através da concentração do metano, entre 20 a 25 MJ/m³, comparada com 33 a 38 MJ/m³ do gás natural, correspondendo a 67% do poder calorífico inferior do gás natural (BRASIL, 2017). A densidade do biogás é de 1,2 kg/m³, menor que a densidade do ar e a temperatura de inflamação é de 600°C. Em geral, o biogás é composto de 50 a 60% de metano, 30 a 40% de dióxido de carbono, e, em menor quantidade, de 0 a 3% de nitrogênio, 0 a 1% de hidrogênio, de 0 a 1% de oxigênio, compostos orgânicos voláteis (resíduos) e sulfureto de hidrogênio (resíduos).

A alta capacidade de aquecimento aproxima-se de 4.500 a 5.600 kcal/m³, em razão do metano. Sua capacidade de aquecimento está relacionada pela concentração de metano (8.500 kcal/m³), podendo ser elevada, eliminando parte do CO₂ existente no biogás. O CO₂ é o segundo gás mais importante, quantitativamente, na composição do biogás. Este gás é inodoro, incolor e não inflamável. Sua densidade é maior que a do ar (ONUUDI, sd). A Tabela 9 mostra algumas variações de composição do biogás de acordo com as matérias primas utilizadas.

Tabela 9 – Composição do biogás de acordo com as matérias primas utilizadas

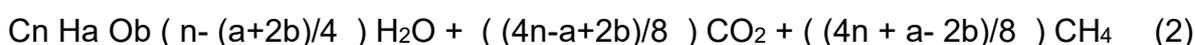
Componente	Resíduos Agrícolas	Lodos de ETE	Resíduos Industriais	Gás de Aterro
Metano	50-80%	50-80%	50-70%	45-60%
Dióxido de carbono	30-50%	20-50%	30-50%	40-60%
Água	Saturado	Saturado	Saturado	Saturado
Hidrogênio	0-2%	0-5%	0-2%	0-0,2%
Sulfureto de hidrogênio	de 100-700 ppm	0-1%	0-8%	0-1%
Amoníaco	Vestígios	Vestígios	Vestígios	0,1-1%
Monóxido de carbono	0-1%	0-1%	0-1%	0-0,2%
Nitrogênio	0-1%	0-3%	0-1%	2-5%
Oxigênio	0-1%	0-1%	0-1%	0,1-1%
Compostos orgânicos	Vestígios	Vestígios	Vestígios	0,01-0,6% NMOCs

Fonte: Modificada de Coobs, 1990; Tchobanoglous, Theisen, and Vigil 1993; EPA, 1995 Gás de aterro.

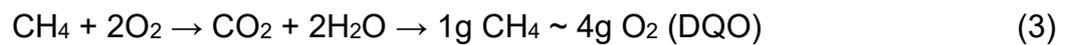
A Equação (1) global do processo poderia ser resumida com a seguinte equação:



O volume de biogás produzido em uma digestão anaeróbica depende da composição do substrato. Compostos degradáveis simples podem ser determinados com o cálculo da seguinte estequiometria:



Segundo essa equação, pode-se concluir que para cada kg de DQO eliminada, ou seja, para a decomposição anaeróbica completa de 1 kg de DQO, teoricamente se obtém 0,35 m³ de biometano, analisados em condições normais. Sabendo a composição em volume de biogás, pode-se determinar o volume que será gerado (MARAÑÓN et al, 1998). Para calcular se o biometano pode ser produzido via decomposição anaeróbica completa de 1 kg de DQO em condições normais de pressão e temperatura, aplica-se o cálculo da DQO equivalente de metano:



Para fazer a conversão da massa de biometano em volume equivalente, considera-se que 1 mol de um gás em condições normais de pressão e temperatura ocupa 22,4 L.



A geração de metano em função da DQO eliminada: 1g CH₄ ~ 4g O₂ (DQO) ~ 1,4L CH₄ → 1kg de DQO produzem 0,35m³ CH₄, ou seja, a degradação completa de 1 kg de DQO gera 0,35 m³ de CH₄.

2.6. TRATAMENTO DO BIOGÁS

Para a utilização do biogás em diversas finalidades, é necessário projetar tecnologias que purifiquem o biogás até aos níveis exigidos para o tipo de aproveitamento. Teoricamente, existe uma diferença clara entre a aplicação de biogás e de biometano. O biogás, após a remoção das principais impurezas como umidade, siloxanos e, principalmente, H₂S (sulfeto de hidrogênio), pode ser empregado para a geração de energia elétrica e energia térmica (BRASIL, 2017; ONUDI, s.d).

O biometano é o produto de uma purificação muito mais exigente e pode ser usado como substituto do gás natural veicular (GNV), sendo necessária, ainda, uma compressão para posterior armazenamento. Neste momento, não é permitido a injeção de biometano proveniente de ETEs na rede de gás natural no Brasil, apenas como uso experimental ou específico para frota veicular da própria empresa

(Resolução ANP N°8, de 30.01.2015). Entretanto, esta é uma possibilidade que pode vir a ser uma opção futura. Na Figura 9, pode-se visualizar a necessidade de tratamento de acordo com a aplicação final (BRASIL, 2017; ONUDI, s.d).

No sistema atual de saneamento básico efetivado pela SANEPAR, o esgoto coletado é enviado a uma das ETEs, onde passa por um processo de gradeamento para a retenção de resíduos sólidos e depois é enviado aos reatores para as fases anaeróbicas (sem o uso de oxigênio) e aeróbicas (com a presença de oxigênio). Nestas fases o esgoto passa por reações acidogênicas e metanogênicas, nas quais a matéria orgânica é digerida por meio de micro-organismos gerando diversos produtos químicos e gases. Os gases produzidos são: metano (CH_4), gás carbônico (CO_2), gás sulfídrico (H_2S) e, eventualmente, monóxido de carbônico (CO) e outros gases. Da carga orgânica do esgoto (fezes, urina, restos de alimentos) e outros resíduos orgânicos, são extraídos o biogás, por meio do processamento nos reatores. O gás, na maioria das vezes, por falta de investimento, acaba sendo queimado.

Para o caso da estação de tratamento de esgoto de Maringá, a principal forma de aproveitamento do biogás é a secagem de lodo (uso térmico – baixa exigência de purificação) ou a geração de energia elétrica no CHP (exigência mais elevada na purificação), ainda com a opção de aproveitamento de uma parcela de energia térmica.

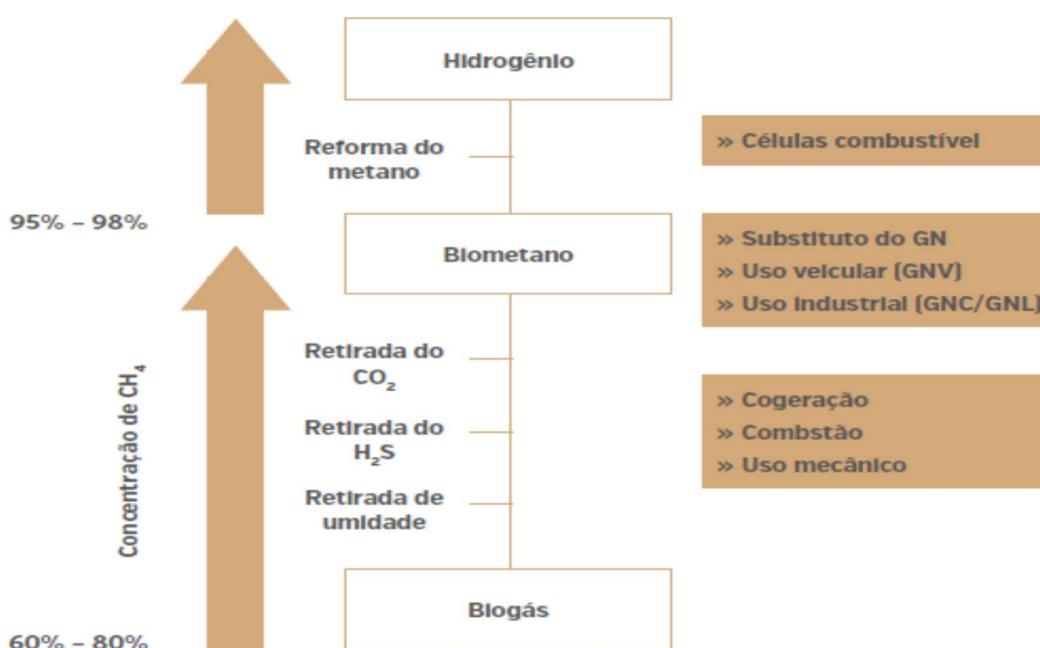


Figura 9 – Necessidade de tratamento conforme o uso final
Fonte: Valente, Victor, 2015

2.7. ARMAZENAMENTO DE BIOGÁS PARA USO EM MOTORES A GÁS

Os procedimentos e o armazenamento de biogás adotam normalmente as seguintes faixas de pressão: não pressurizado (normalmente exige soprador para o consumo): 0 kPa a 0,1 kPa (1 mbar); baixa pressão: 1 kPa a 5 kPa (10 a 50 mbar) e alta pressão: 0,1 MPa a 1 MPa (1 a 10 bar). Em função da limitada compressão do gás em baixa pressão e do armazenamento não pressurizado, nessa faixa de pressão, devem ser aplicados gasômetros infláveis. Já tanques com alta pressão, ao contrário, têm volume invariável e armazenam o biogás comprimido com pressões variáveis.

Para pequenas e médias plantas de biogás, recomenda-se o aproveitamento do armazenamento sem pressão ou de gasômetros de baixa pressão. O armazenamento sob alta pressão é viável somente em usinas de biogás de grande dimensão. Para pressões acima de 1 MPa são empregadas apenas para combustíveis de veículos, visto que, nesta situação, é necessário armazenar grandes quantidades de gás em um menor volume possível.

O desenvolvimento tecnológico trouxe uma ampla variedade de tipos de gasômetros com membranas impermeáveis, que podem ser considerados conforme a função e construção, como: tanque de biogás de baixa pressão, por exemplo: membranas com lastro (Figura 10 A); colchões infláveis com lastro (Figura 10 B); membrana dupla com contrapressão por meio de ar comprimido (Figura 10 C); tanque de biogás não pressurizado, balão de lona (Figura 10 D); ou colchões infláveis, como a Figura 10 , porém sem lastro).

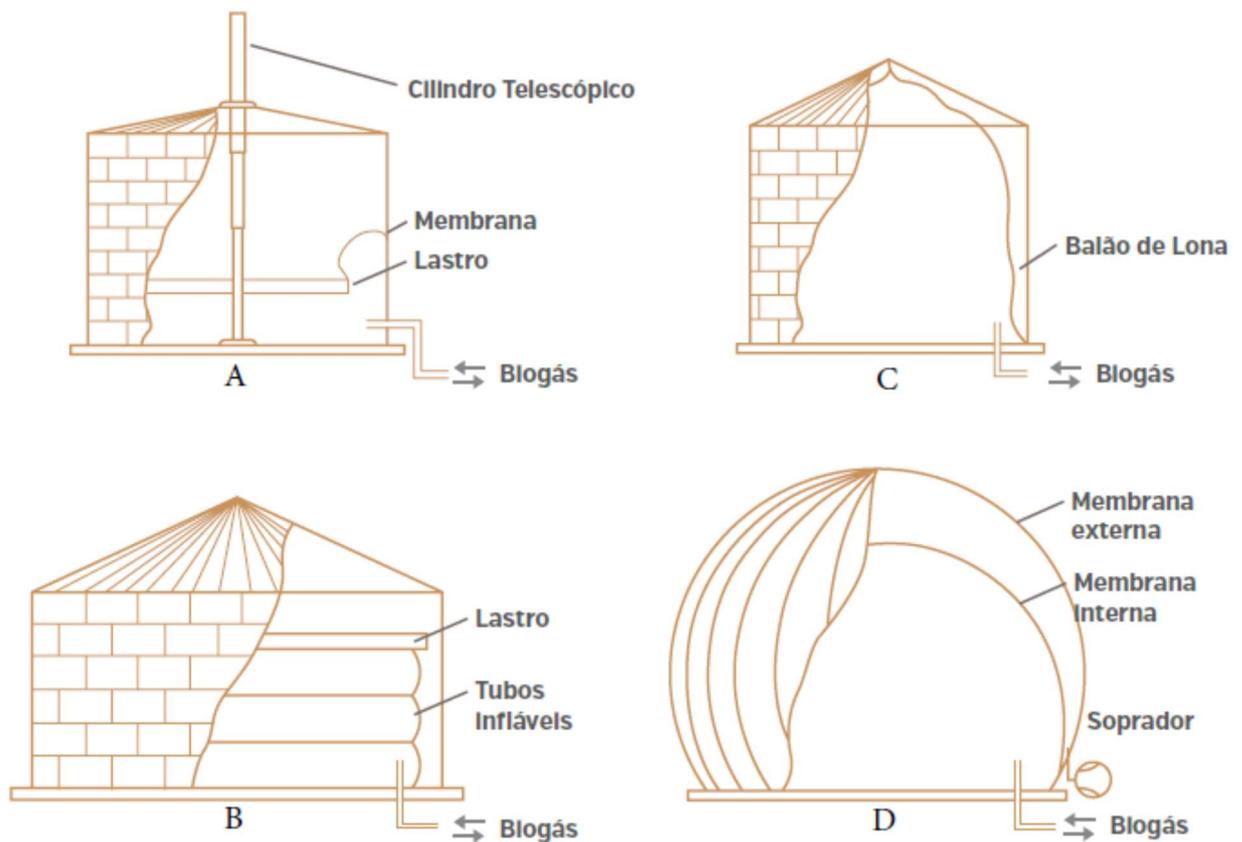


Figura 10 – Gasômetro com membrana e carga de peso/lastro (A); gasômetro com tubos infláveis com lastro (B); tanque de biogás com membrana dupla submetida a ar comprimido (C); e reservatório de biogás não pressurizado (D).

Fonte: DWA-M 363 (2010).

Os delineamentos construtivos das estruturas externa dos gasômetros englobam uma ampla variedade de materiais e de técnicas de produção, que podem ser estabelecidas de diferentes formas com os modelos funcionais apresentados acima, com diferentes tipos construtivos de estruturas externas: impermeável a gás com chapas de aço soldadas; impermeável a gás com chapas de aço parafusadas; chapas de aço ligadas por dobras; armação de aço revestido; estrutura de concreto armado; conjunto de membrana dupla e estrutura integrada à edificação principal. Com base na combinação entre o modelo funcional e estrutural, pode ser determinada a estratégia a ser aplicada em relação às inspeções e à segurança operacional (BRASIL, 2017).

2.8. APROVEITAMENTO DO BIOGÁS EM SISTEMAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Descoberto no século XVII, o biogás passou a ser considerado uma fonte de energia a partir de uma apresentação feita por Louis Pasteur, no século XIX, na qual foi feita a demonstração da geração de biogás a partir de uma mistura de estrume e água. No final do século XIX, o biogás passou a ser coletado em estações de tratamento de efluentes na Inglaterra e, na década de 1940, começou a ser aproveitado a partir de esterco de animais em plantas de geração de energia na Índia. Desde então, o processo anaeróbio tem evoluído e se expandido para o tratamento de resíduos agrícolas e industriais (SANTOS, 2000).

A aplicação de biogás em estações de tratamento de esgoto já é uma realidade em outros países. Nos Estados Unidos, há 104 ETEs que utilizam biogás provenientes de digestores de lodo como a fonte primária de combustível, totalizando uma capacidade instalada de 190 MW (EPA, 2011). Na Alemanha, a aplicação de digestores anaeróbios de lodos é muito difundida, cerca de 90% da energia produzida através do biogás é empregada para geração de energia elétrica e 10% na forma de energia térmica. No ano de 2013, foram produzidos 1.291.396 MWh de energia elétrica, sendo grande parte (93%) utilizada pelas próprias ETEs (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2015).

No Brasil, o aproveitamento energético de biogás ainda não está muito difundido. Porém, já existem plantas instaladas, bem como outras em processo de implantação. A ETE Arrudas, localizada em Belo Horizonte/MG, por exemplo, atende a aproximadamente 1,7 milhão de habitantes e aproveita o biogás produzido em digestores anaeróbios de lodo, como é possível ver na Figura 11, por meio de microturbinas, visíveis na Figura 12, que têm uma capacidade total de geração de 2.400 kW, segundo dados Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) (BRASIL, 2017).



Figura 11 – Biodigestores e gasômetro na ETE Arrudas
Fonte: Brasil, 2017



Figura 12 – Microturbina instalada na ETE Arrudas
Fonte: Brasil, 2017

Outro exemplo de ETE em operação no Brasil que também usa energeticamente o biogás gerado em digestores de lodo é a ETE Ribeirão Preto-SP. A ETE atende a cerca de 600.000 habitantes e está situada em município de mesmo nome, no estado de São Paulo. Nesta planta, a energia elétrica vem sendo produzida em dois conjuntos motor-gerador ciclo Otto (Figura 13), com potência elétrica total de 1.500 kW (GUASCOR, 2015). Em ambos os casos, a energia térmica, fornecida na geração, é utilizada para o aquecimento dos digestores anaeróbios de lodo.



Figura 13 – Gasômetro e CHP instalados na ETE Ribeirão Preto.
Fonte: GUASCOR (2015)

Analisando o processo de tratamento de esgoto da cidade de Maringá, este projeto vem propor uma pesquisa mais detalhada para estudo da viabilidade do aproveitamento deste gás para a geração de energia elétrica. Pode-se aproveitar o biogás extraído das ETE's de Maringá, e cogeração energia elétrica, resultando em renda e economia para a empresa. Segundo a própria SANEPAR, a experiência já é real em Foz do Iguaçu / PR, onde a ETE Ouro Verde, em funcionamento desde 1997, começou a gerar energia a partir do Biogás gerado nesta ETE em maio de 2008 com uma produção estimada 16.000 kWh por ano,

possibilitando que uma parte da energia gerada seja utilizada pela própria Estação de Tratamento e o excedente desta energia seja disponibilizado em rede de baixa tensão da Companhia Paranaense de Energia (Copel), já que a energia produzida pelo sistema é maior do que a demanda energética da estação. Nesta ETE são produzidos cerca de 1.500 kWh/mês, equivalente ao consumo de anual de cinco residências no período. Todo sistema da ETE Ouro Verde funciona com a energia produzida na ETE, que consome 68 KWh por mês em todos os seus processos, deixando de lançar cerca de 1,5 toneladas/ano de gás metano na atmosfera, sendo que o mesmo é um dos gases que mais contribuem para o aquecimento do planeta e 21 vezes mais poluente que o gás carbônico.

2.9. PANORAMA ATUAL DE UNIDADE QUE UTILIZAM O BIOGÁS PARA APROVEITAMENTO ENERGÉTICO NO BRASIL.

A aplicação do biogás para a produção de energia elétrica, energia térmica e biometano vem ganhando mercado no Brasil e no mundo. Estudo desenvolvido pela Associação Brasileira de Biogás e Biometano - ABiogás, em 2018, indicou que o Brasil é o país com o maior potencial de geração de biogás do planeta, cerca de 84,6 bilhões de metros cúbicos/ano. Atualmente o Brasil conta com aproximadamente 548 plantas de biogás, das quais 521 encontram-se em operação para fins energéticos no Brasil, sendo os aterros sanitários contabilizados como plantas de biogás, produzindo um total de 1,3 bilhões de metros cúbicos ano, representando 95% das plantas identificadas. A Figura 14 mostra o mapa do Brasil com as plantas de biogás atuais (CIBIOGÁS, 2020).

A Tabela 10 detalha o número de plantas em cada situação e o respectivo volume de biogás produzido anualmente (CIBIOGÁS, 2020)

O levantamento indicou uma diminuição no número de unidades em implantação na comparação à última verificação feita em 2018, onde foram identificadas e cadastradas 82 plantas enquanto que em 2019 este número caiu para apenas 15 plantas. Esse cenário pode estar relacionado com a dificuldade na coleta de informações e identificação de plantas em fase de implantação e pelo fato de algumas plantas terem entrado em operação no período, alterando sua situação. Dentre as plantas em processo de implantação ou reformulação/reforma. 66% do volume de biogás é gerado a partir de aterros sanitários e/ou estações de tratamento

de esgoto, isto é, em sua grande maioria plantas de grande porte, justificando assim o elevado volume de biogás a ser gerado (CIBIOGÁS, 2020).



Figura 14 – Mapa das plantas de biogás no Brasil atualmente
Fonte: <https://mapbiogas.cibiogas.org/>

Tabela 10 – Situação das plantas de biogás com fins energéticos no Brasil em 2019

Situação	Quantidade de plantas	%	Volume de biogás (Nm³/ano)	%
Em operação	521	95%	1.345.498.670	76%
Em implantação	15	3%	390.048.888	22%
Em reformulação ou reforma	12	2%	43.714.780	2%
Total geral	548		1.779.262.339	100%

Fonte: CIBIOGÁS, 2020.

A metodologia aplicada ao levantamento das plantas de biogás classifica as plantas segundo o porte em 3 categorias (pequena, média e grande) e elas são subdivididas em outras 7 categorias, conforme Tabela 11. Neste compilado foram consideradas apenas plantas em operação.

Tabela 11 – Situação das plantas de biogás com fins energéticos no Brasil em 2019

Porte das plantas	Quantidade e de plantas	%	Volume de biogás (Nm³/ano)	%
Pequeno porte	408	78%	125.788.989	9%
< 500.000 Nm ³ /ano - Porte 1	337	65%	77.625.748	6%
500.001 a 1.000.000 Nm ³ /ano - Porte 2	71	13%	48.163.241	3%
Médio porte	83	16%	189.729.266	14%
1.000.001 a 3.500.000 Nm ³ /ano - Porte 3	64	12%	111.901.212	8%
3.500.001 a 5.000.000 Nm ³ /ano - Porte 4	19	4%	77.828.055	6%
Grande porte	30	6%	1.029.980.415	77%
5.000.001 a 30.000.000 Nm ³ /ano - Porte 5	19	4%	258.126.196	19%
30.000.001 a 125.000.000 Nm ³ /ano - Porte 6	10	2%	640.454.218	48%
> 125.000.001 Nm ³ /ano - Porte 7	1	0,2%	131.400.000	10%
Total	521		1.345.498.670	100%

Fonte: CIBIOGÁS, 2020.

Os dados apontam que 78% das plantas em operação no Brasil em 2019 são classificadas como de pequeno porte, ou seja, produzindo até 1.000.000 Nm³ de biogás por ano. Entretanto, essas plantas representam apenas 9% do volume total de biogás gerado. O maior volume de biogás se concentra nas plantas de grande porte, atingindo 77%, mesmo sendo a categoria com menor número de plantas, representando apenas 6% do total de plantas de biogás no Brasil. Os substratos empregados para produção de biogás estão divididos em 3 classes quanto sua origem: agropecuária, indústria, aterro sanitário e estações de tratamento de esgoto. Na Tabela 12 são apresentadas as plantas de biogás com fins energéticos do Brasil em 2019 de acordo com sua classe de substrato aplicado na produção de biogás (CIBIOGÁS, 2020).

Tabela 12 – Classificação, por substrato, das plantas de biogás com fins energéticos em operação no Brasil em 2019

Origem do substrato	Quantidade de plantas	%	Volume de biogás (Nm³/ano)	%
Agropecuária	416	80%	165.112.571	12%
Indústria	62	12%	153.858.569	12%
RSU e ETE	43	8%	1.026.527.529	76%
Total geral	521		1.345.498.670	100%

Fonte: CIBIOGÁS, 2020.

A fonte principal de substrato aplicada para produção de biogás em sistemas de biodigestão no Brasil é a agropecuária, representando 80% das plantas em operação no país. Por outro lado, sua contribuição no volume total de biogás do país é de 12%. Plantas que processam resíduos sólidos urbanos ou efluentes de estações de tratamento de esgoto representam 8% das em operação. Porém, são responsáveis por 76% do biogás produzido no país.

O levantamento de plantas de biogás considera apenas plantas que realizam algum tipo de aplicação energética (geração de energia elétrica, térmica, mecânica e/ou biometano). Na Tabela 13 pode-se observar a principal aplicação do biogás no Brasil. Observa-se que, assim como em 2018, a geração de energia elétrica continua sendo a aplicação mais representativa no cenário nacional com 84% das plantas, consumindo 86% do volume de biogás produzido

Tabela 13 – Classificação por aplicação energética do biogás das plantas em operação no Brasil em 2019

Principal aplicação energética do biogás	Quantidade de plantas	%	Volume de biogás (Nm³/ano)	%
Energia elétrica	439	84%	1.168.138.811	86%
Energia térmica	70	14%	132.094.572	10%
GNR/Biometano	6	1%	37.739.175	3%
Energia mecânica	6	1%	7.526.112	1%
Total geral	521		1.345.498.670	100%

Fonte: CIBIOGÁS, 2020.

Apesar de no ano de 2019 o número de plantas de biogás implantadas no Brasil ter reduzido em relação a 2018, este é um setor que tem crescido muito nos últimos anos, com uma média de 46 plantas de biogás novas em operação em 2017, 136 em 2018 e 123 em 2019, conforme mostra a Figura 15.

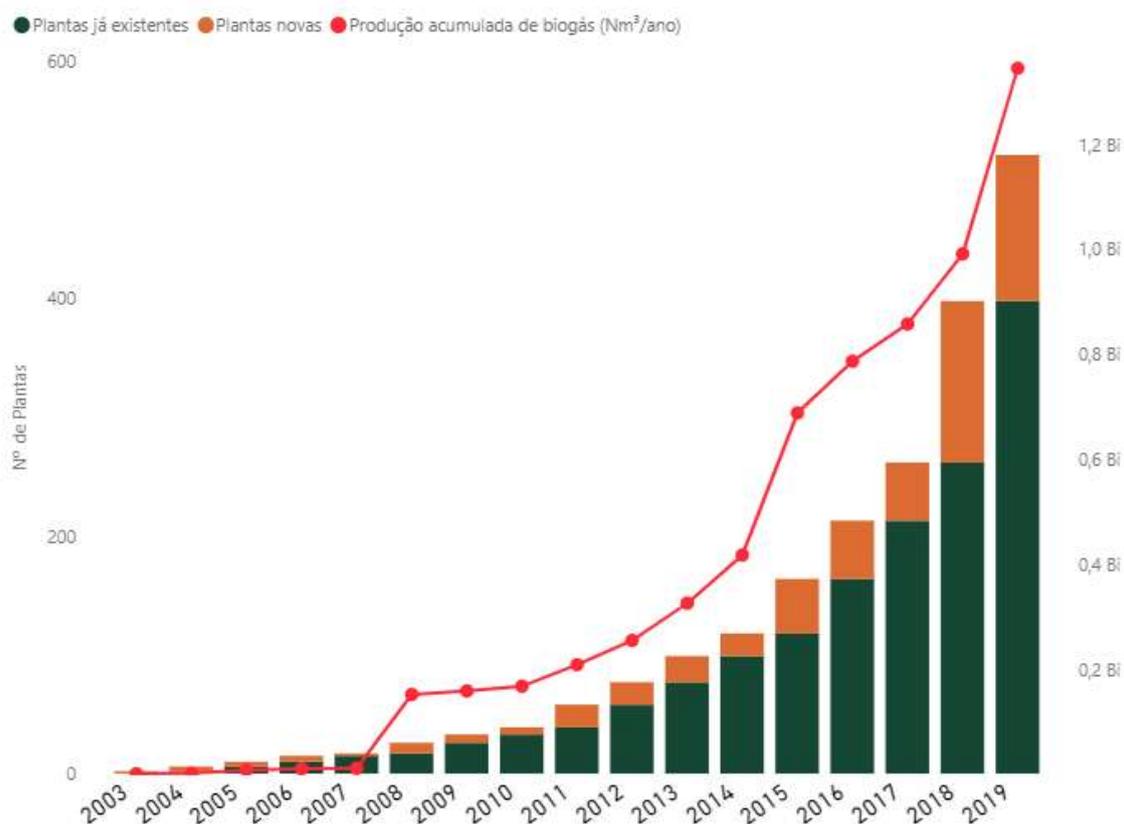


Figura 15 – Evolução anual do número de plantas em operação e produção de biogás no Brasil

Fonte: <https://mapbiogas.cibiogas.org>

As principais fontes de substratos utilizados para produção de energia elétrica nas plantas de biogás no Brasil são de origem agropecuária, seguidas das ETEs e Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), conforme mostra a Figura 16. As principais fontes para produção de energia térmica estão atreladas as fontes Industriais, seguidas das fontes agropecuárias.



Figura 16 – Número de plantas de biogás por aplicação de fonte energética e fonte de substrato no Brasil

Fonte: <https://mapbiogas.cibiogas.org>

Como mostrado na Figura 17, a principal aplicação das plantas de biogás no Brasil está no sistema de geração de energia elétrica. A Figura 17 mostra a evolução anual do número de plantas de biogás por aplicação energética nos anos de 2003 até 2019.

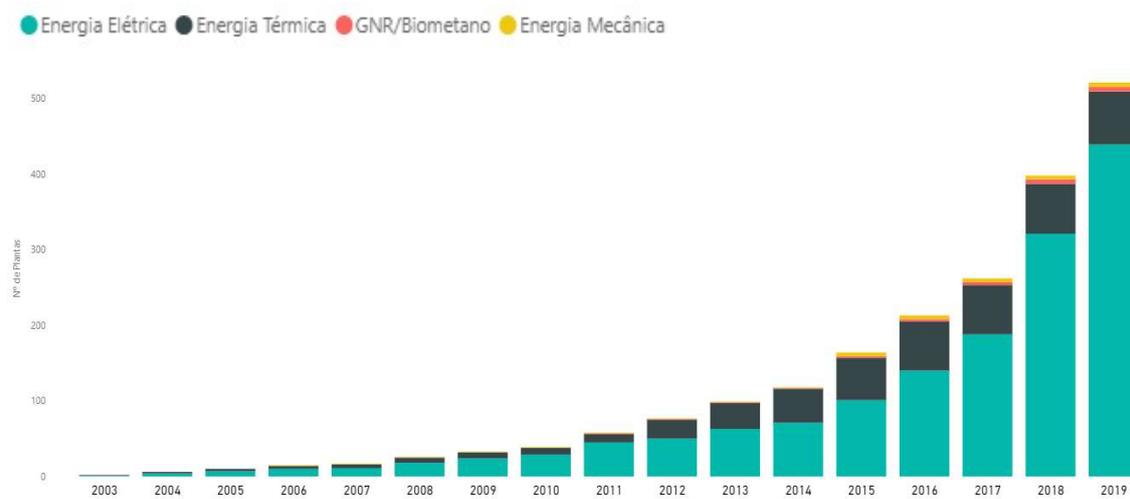


Figura 17 – Evolução anual do número de plantas de biogás por aplicação energética no Brasil

Fonte: <https://mapbiogas.cibiogas.org/>

O panorama no Estado do Paraná tem acompanhado a evolução na implementação das plantas de biogás, conforme mostra a Figura 18.



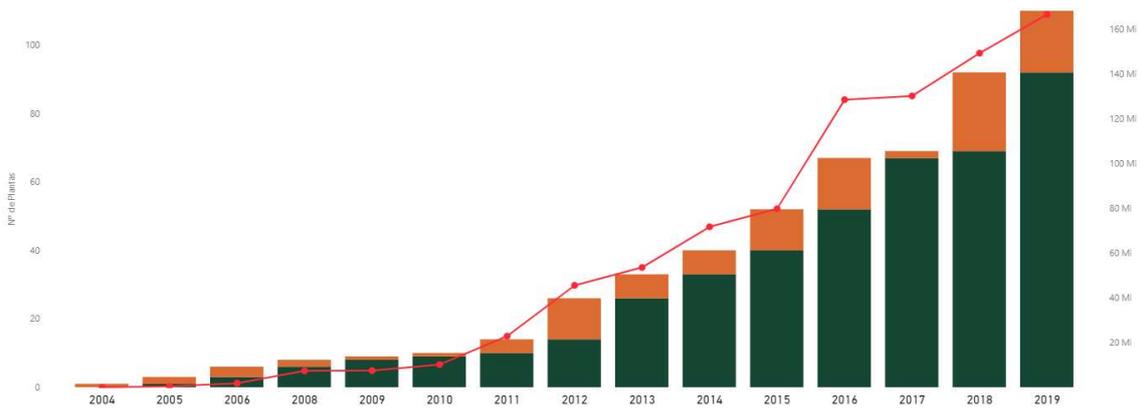


Figura 18 – Evolução anual do número de plantas em operação e produção de biogás no Estado do Paraná

Fonte: <https://mapbiogas.cibiogas.org/>

No Estado do Paraná, as principais fontes de substratos utilizados para produção de energia elétrica nas plantas de biogás também é de origem agropecuária, seguido das fontes industriais. Ainda pouco aproveitados estão as ETEs e os RSU, que apareem em último lugar, conforme a Figura 19. As principais fontes para produção de energia térmica são as fontes Industriais e as fontes agropecuárias.

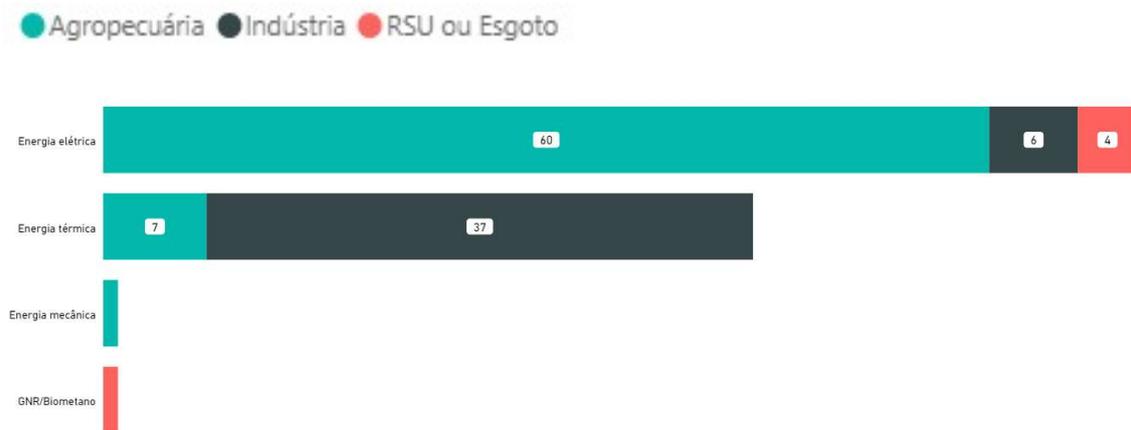


Figura 19 – Número de plantas de biogás por aplicação de fonte energética e fonte de substrato no Estado do Paraná

Fonte: <https://mapbiogas.cibiogas.org/>

Como mostrado na Figura 19, a principal aplicação das plantas de biogás no Estado do Paraná está no sistema de geração de energia elétrica. A Figura 20 mostra a evolução anual do número de plantas de biogás por aplicação energética nos anos de 2003 até 2019.

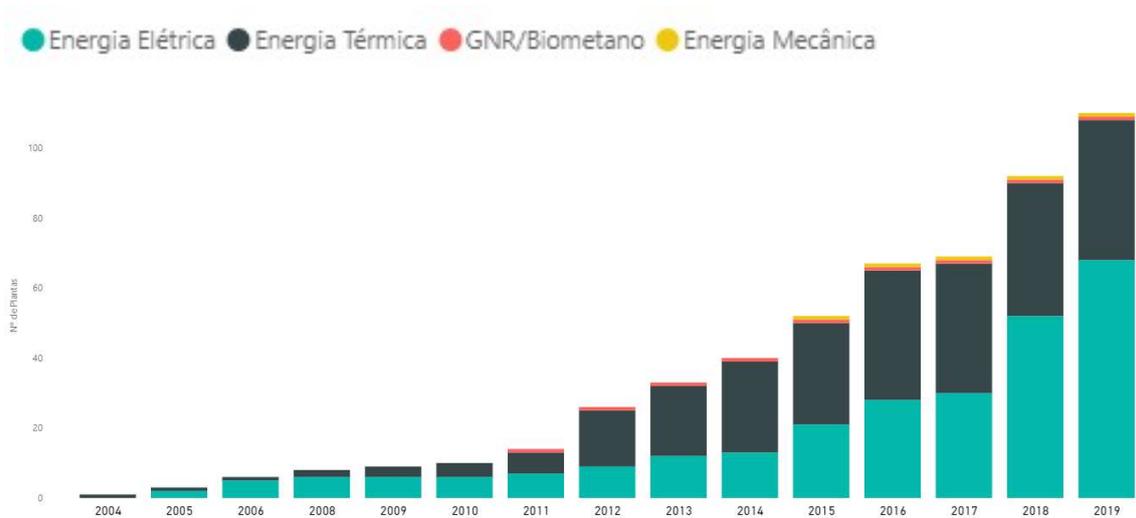


Figura 20 – Evolução anual do número de plantas de biogás por aplicação energética no Estado do Paraná

Fonte: <https://mapbiogas.cibiogas.org/>

Ao todo, o Estado do Paraná possui 116 plantas de biogás, conforme mostra a Figura 21.

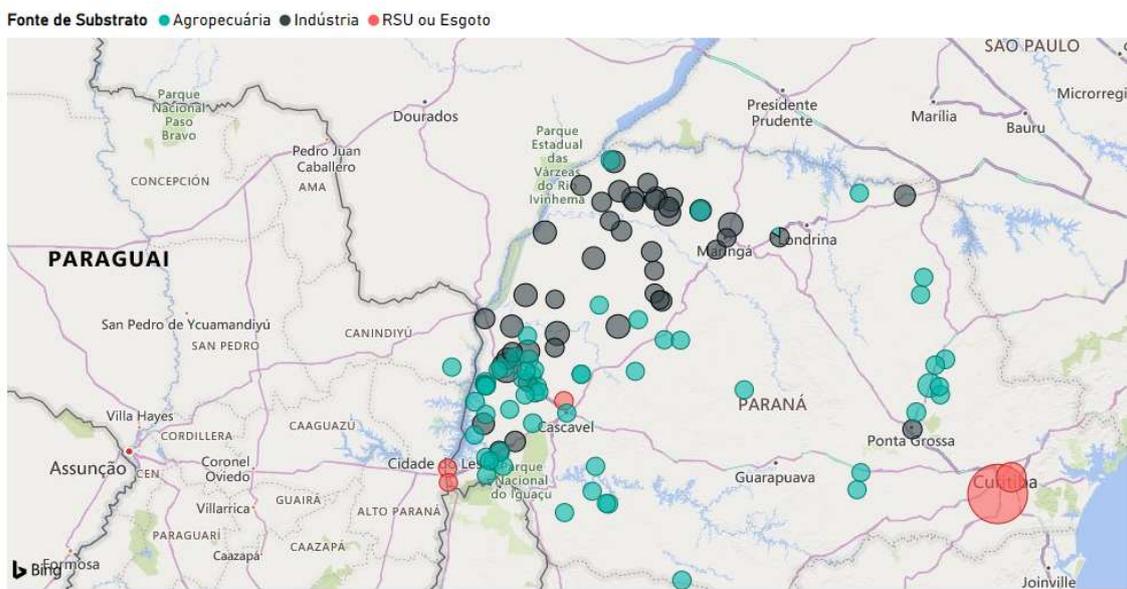


Figura 21 – Distribuição das plantas de biogás instaladas no Estado do Paraná

Fonte: <https://mapbiogas.cibiogas.org/>

Ao todo são três plantas de biogás instaladas em na cidade de Maringá, que utilizam fontes industriais, e tem como aplicação o aproveitamento térmico da queima do biogás, conforme mostra a Figura 22. Pode-se ver que o Biogás nas ETES de Maringá ainda não é aproveitado.

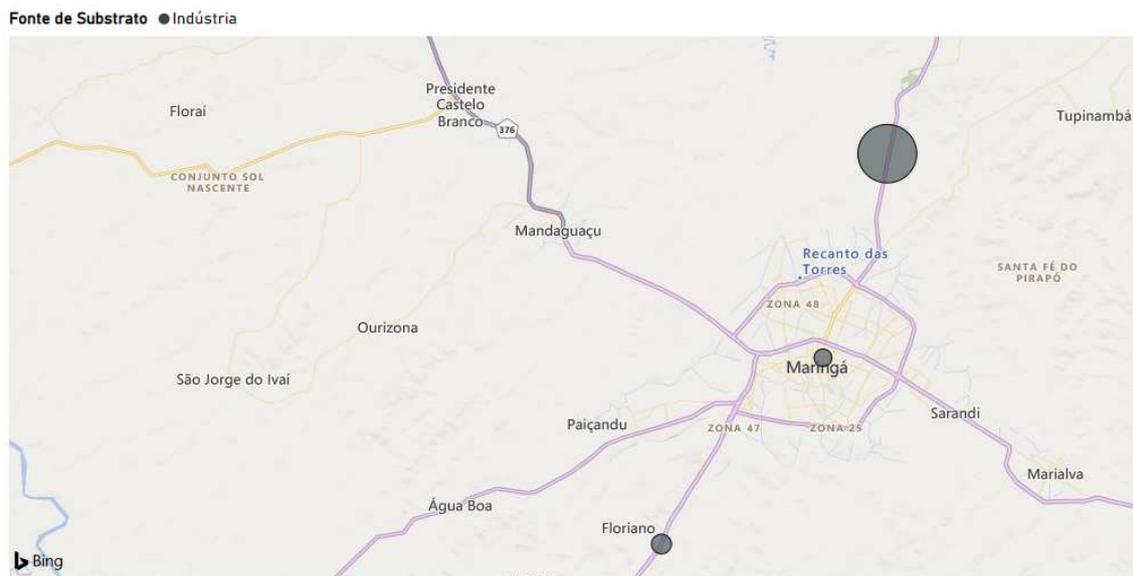


Figura 22 – Plantas de biogás instaladas na cidade de Maringá.

Fonte: <https://mapbiogas.cibiogas.org/>

2.10 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A geração de energia elétrica no Brasil em sua forma tradicional vem passando por períodos críticos nos últimos tempos. Alguns fatores têm contribuído para de forma considerável: os longos períodos de estiagem, a falta de recursos hídricos ou escassez de água em algumas regiões do país, a destruição do meio ambiente para a implantação de hidrelétricas e ainda, o alto custo para geração térmica, somados a perspectivas finitas do petróleo e impactos ambientais produzidos quando da utilização do carvão e da madeira.

Dentre as formas alternativas de energia na atualidade, destacam-se aquelas que contribuem com o meio ambiente e, dentre estas, algumas se sobressaem por serem consideradas fontes limpas de energia, como por exemplo, a eólica e a solar. Porém, temos outras fontes de energia renováveis, advindas da biomassa, como o biogás, que pode ser produzido a partir das estações de esgotos e “lixões” que, ao invés de ser um problema ambiental, podem apontar solução para a crescente demanda de energia elétrica, assim como a diminuição dos gases poluentes lançados na atmosfera.

A produção de eletricidade gerada por biomassa vem sendo assunto discutido em nível mundial, sendo tema de algumas reuniões com os maiores gestores do mundo. No ano de 2012, no Brasil, aconteceu a RIO+20, quando foram

elencados temas relacionados à poluição atmosférica e traçadas alternativas para barrar ou diminuir as emissões dos Gases de Efeito estufa (GEE) . Segundo dados publicados pelo Ministério de Minas e Energia em Boletim de Monitoramento do Sistema Elétrico – maio/2021, atualizado em 19/07/2021, o consumo de energia elétrica no Brasil teve um acréscimo de 1,4%, acumulada nos últimos 12 meses. Como mostra a Figura 23, a Matriz de Produção de Energia Elétrica em maio de 2021 no Brasil, ficou em 71,8% de origem hidráulica, 9,4% eólica, 1,1% solar e 17,7% térmica (8,5% de gás natural, 1,4% de carvão, 1,2% do petróleo, 2,1% nuclear e 4,5% da biomassa).

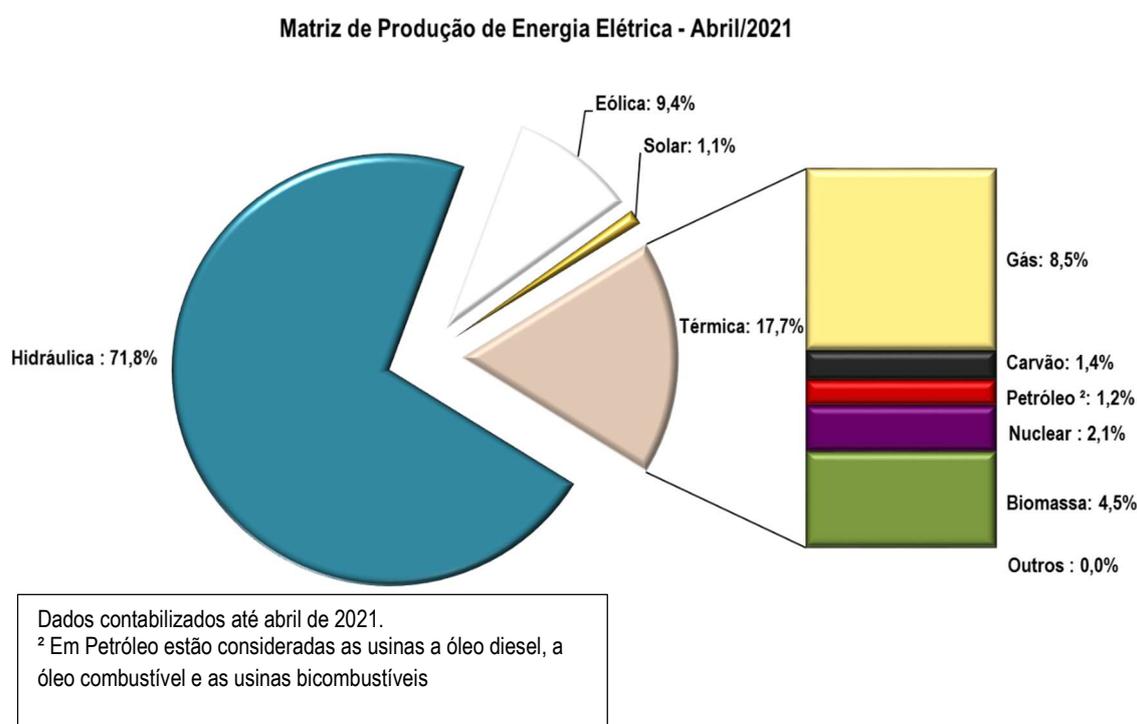


Figura 23. Matriz de produção de energia elétrica no Brasil

Fonte: MME/Boletim de Monitoramento do Sistema Elétrico – Maio/2021

A produção de energia elétrica a partir do biogás é uma solução real e atual para suprir uma parcela da carga de energia demandada em comunidades isoladas, pequenas propriedades, cooperativas, condomínios e municípios, através do aproveitamento de gases emitidos nas ETEs, lixões e ainda de outros elementos extraídos em propriedades rurais, tais como resíduos florestais, resíduos de madeira, resíduos agrícolas, dejetos de animais, aves, bovinos, caprinos, etc.

Outro aspecto importante a considerar é que, de acordo com a resolução n.º 482/2012 da ANEEL, alterada em 24/11/2015, em vigor desde 01 de março de 2016, a energia elétrica gerada pelo biogás da ETE poderá ser inserida na rede de energia da Concessionária de energia elétrica, pelo sistema de compensação. Outra parte interessante inovada nesta norma e que deve ser destacada é a possibilidade de “Geração Compartilhada”, que consiste na instalação de “geração distribuída de energia em condomínios ou empreendimentos de múltiplas unidades de consumo, possibilitando que a energia gerada seja repartida em porcentagem definida pelos próprios participantes da geração. Neste aspecto, poderia ser estudada a expansão do sistema de geração a partir do biogás nos diversos condomínios residenciais existentes na cidade de Maringá e outras interessadas, podendo-se ainda criar consórcios ou cooperativas de geração de energia limpa.

Segundo dados fornecidos pela ANEEL desde a publicação da resolução 486 em 2012 até outubro de 2015, foram instaladas 1.285 micro ou mini centrais geradoras de energia elétrica, sendo 1.233 (96 %) com a fonte solar fotovoltaica, 31 de fontes eólicas, 13 híbridas (solar/eólica), 6 movidas a biogás, 1 a biomassa e 1 hidráulica, ou seja, poderia haver um grande campo de pesquisa, para a utilização do biogás como fonte alternativa para geração de energia.

2.11. EQUIVALÊNCIA ENERGÉTICA DO BIOGÁS COMPARADO A OUTROS COMBUSTÍVEIS

O biogás apresenta eficiência energética elevada, similar ao gás natural, podendo substituí-lo em várias aplicações. A vantagem do biogás em relação ao gás natural, é que se trata de uma energia renovável e pode ser gerado em qualquer área onde a biomassa residual, como o lodo do esgoto esteja disponível para o processo. Entretanto, o poder calorífico do biogás é inferior ao gás natural e possui em sua composição sulfeto de hidrogênio e umidade. As principais aplicações do biogás são no sistema de combustão direta e a utilização em motores. A Figura 24 apresenta o fluxograma com as possibilidades de aproveitamento do biogás como um biocombustível.

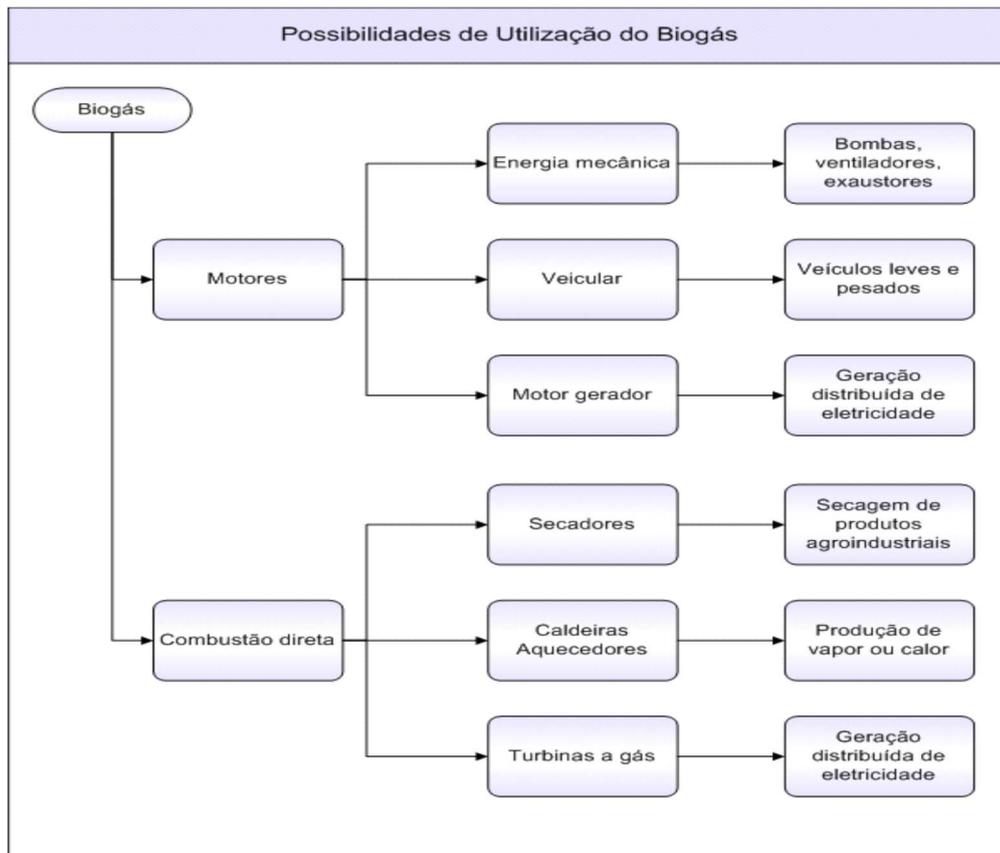


Figura 24 – Fluxograma resumido das possibilidades de utilização do biogás
Fonte: WALSH *et al.*, (1988) & CCE (2000).

Na metodologia que utiliza a combustão direta, o biogás é queimado em câmaras de combustão de turbinas a gás, caldeiras, aquecedores e secadores. A energia calorífica obtida da queima é aplicada em processos produtivos ou na geração de energia elétrica. Motores de combustão interna ligados a geradores elétricos são conhecidos como motores geradores, que podem ser utilizados por empresas de saneamento básico, propriedades rurais e agroindustriais que possuam disponibilidade de biomassa residual e biogás para a produção de energia elétrica.

A aplicação do biogás como biocombustível em motores geradores, tem incentivado projetos de geração de energia distribuída. Porém, é fundamental compreender as principais propriedades do biogás como combustível, a teoria e os parâmetros de desempenho de motores a combustão a partir do biogás, os motores geradores de eletricidade e o dimensionamento de motores geradores (SOUZA, 2016).

2.12. MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

Os motores de combustão interna (MCI), são os principais mecanismos aplicados na geração de energia elétrica a partir do biogás como combustível primário. Normalmente são motores que utilizam a ignição por faísca (ciclo otto) interligados a geradores elétricos. Para facilitar o sistema de combustão para o biogás à ± 60 % de metano, a maior parte dos motores a gás empregam o gás natural (SOUZA, 2016).

Os motores de combustão interna convertem a energia calorífica em energia mecânica diretamente aproveitável, sendo que os motores a combustão, utilizam a energia calorífica a partir da queima de combustíveis gasosos e líquidos. Assim, os motores de combustão interna transformam a energia química do combustível em energia mecânica (GIACOSA, 1986).

Para a geração de energia a partir do biogás, os motores aplicados podem ser de dois tipos: o ciclo otto e o ciclo diesel. Dentre esses, o que tem maior facilidade de adaptação para biogás é o de ciclo otto ou de ignição por faísca. A principal modificação está na regulagem do carburador para a combustão de uma mistura de ar e combustível mais pobre. O motor diesel, pode ser ajustado para aplicação do biogás no sistema dual, onde um misturador na entrada de ar é introduzido antes de ser comprimido, e o restante opera no princípio diesel. No motor dual, o combustível introduzido (diesel) entra em autoignição junto com a mistura ar -biogás, sendo que a injeção do diesel é diminuída automaticamente pelo regulador de velocidade, podendo ter uma redução no consumo de diesel no modo dual acima de 80 % (SOUZA, 2016).

O ciclo diesel pode trabalhar com 100 % de biogás. Porém, para isso ele necessita convertido para ciclo Otto. Essa conversão não é tão simples, pois envolve a remoção da bomba injetora, a inclusão de um carburador e sistema de ignição por centelha, atenuação na taxa de compressão, entre outros. Os principais fornecedores de motor a gás no Brasil fazem essa conversão (SOUZA, 2016).

2.13. MOTORES GERADORES DE ELETRICIDADE A PARTIR DO BIOGÁS

Os motores geradores a biogás mais desenvolvidos atuam com potências na ordem de 1,6 MW, possuem um mecanismo de resfriamento a água, em que os

gases de exaustão e a água quente podem ser aproveitados com ajuda de trocadores de calor (geração) para aquecimento do resíduo nos biodigestores, aquecimento da água para os processos operacionais entre outros. O emprego da energia térmica eleva a eficiência do sistema. Na Figura 25 pode-se ver um esquema, em que o biogás gerado no biodigestor é enviado para o motor gerador para geração de calor e eletricidade para o processo e o restante da produção de biogás é queimado (SOUZA, 2016).

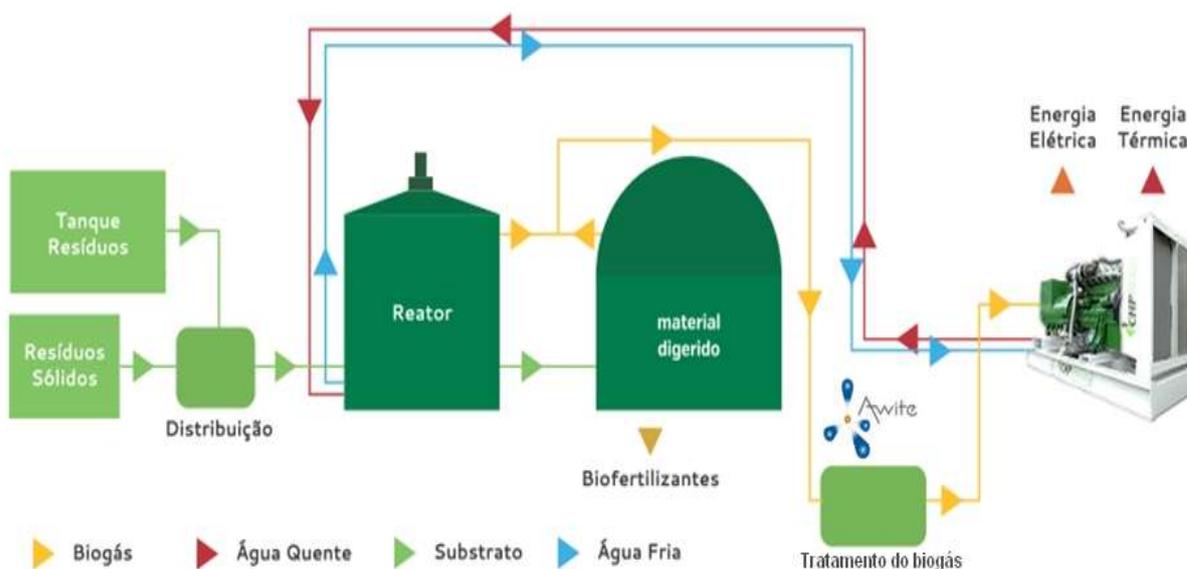


Figura 25 – Geração de energia elétrica e calor

Fonte: <https://chpbrasil.com.br/biogas>

O gerador de eletricidade é mais um motor gerador, que converte a energia mecânica em elétrica. É formado por uma parte fixa (carcaça) denominada estator, responsável pelo campo magnético, onde são situados os polos do gerador. A outra parte é móvel, o rotor, onde ocorre a força eletromotriz. O motor é agrupado ao gerador através de um acoplamento elástico que consegue absorver pequenos desalinhamentos axiais e radiais e vibrações constituídas por alterações de carga de desbalanceamento. Os geradores podem produzir eletricidade nas tensões 220/127 V, 380/220 V ou 440/254 V, de acordo com o tipo de ligação trifásica (BERNDSSEN, 2007).

2.14. COMBUSTÃO E PODER CALORÍFICO INFERIOR DO BIOGÁS

O gás metano (CH₄) presente no biogás proveniente do tratamento anaeróbico de esgotos domésticos está entre 40 a 75 %. O dióxido de carbono corresponde a 25 a 40%. Esta porcentagem pode variar de acordo com a matéria-prima e com o processo de produção do biogás (Faria, 2012). Segundo IANNICELLI, (2008), o Poder Calorífico Inferior (PCI) do Biogás é cerca de 5.500 kcal/m³ com uma proporção em torno de 60% de CH₄. Estas propriedades físico-químicas reunidas a outras propriedades do biogás demandam na escolha da tecnologia que utiliza a combustão, limpeza e modificação de equipamentos térmicos específicos para biogás. Para ocorrer a combustão no sistema, o biogás deve ser misturado a um comburente. A reação completa de combustão do metano com oxigênio é: CH₄ + 2O₂ → CO₂ + 2H₂O

O volume de metano é de um para dois volumes de oxigênio, para resultar em um volume de dióxido de carbono e dois de vapor de água, considerando que há 58% de metano no biogás e 21% de oxigênio no ar. Assim 1,72 volumes de biogás necessitam de 9,52 volumes de ar ou 1,0 volume de biogás para 5,53 de ar. Desse modo, a razão estequiométrica para combustão do biogás é 15,3% de biogás no ar, ou seja, nessa proporção a combustão é completa. Em circunstâncias no qual a composição for baixa em metano no biogás e com excesso de ar, o composto é chamado de pobre (SOUZA, 2016).

Quando há excesso de biogás em comparação ao ar, a mistura é considerada rica. Para comprovar se uma mistura é rica ou pobre em biogás, determina-se um fator lambda (λ), que é a relação entre a mistura ar combustível real (A/C real) e a mistura ar combustível estequiométrica (A/C estequiométrica) (SOUZA, 2016).

$$\lambda = \frac{A/C \text{ real}}{A/C \text{ estequiométrico}} \quad (5)$$

Sendo que:

λ < 1 → mistura rica (deficiência de ar);

λ > 1 → mistura pobre (excesso de ar);

λ = 1 → mistura estequiométrica.

É comum que motores à combustão interna possuam uma sonda lambda com a finalidade de que a mistura permaneça próxima da faixa estequiométrica, evitando que o consumo de combustível (mistura rica) eleve ou que a potência do motor (mistura pobre) atenuie. O poder calorífico inferior (PCI) é aplicado para estabelecer o potencial teórico de energia nos combustíveis. No caso do Biogás, quanto maior a concentração de metano, mais energia por unidade de massa, isto é, melhor o poder calorífico inferior (PCI) do biogás.

A Tabela 14 mostra a alternância do poder calorífico inferior do biogás e densidade em relação à composição de metano. A Tabela 15 expõe o poder calorífico inferior de alguns combustíveis. O massa específica ou a densidade do biogás necessita também da concentração de metano (SOUZA, 2016).

Tabela 14 – Peso específico e poder calorífico inferior do biogás em função da composição química

Composição química do Biogás	massa específica	PCI (kcal/kg)
10% CH ₄ e 90%	1,8393	465,43
40% CH ₄ e 60%	1,46	2333,85
60% CH ₄ e 40%	1,2143	4229,98
65% CH ₄ e 35%	1,1518	4831,14
75% CH ₄ e 25%	1,0268	6253,01
95% CH ₄ e 05%	0,7768	10469,6
99% CH ₄ e 01%	0,7268	11661,02

Fonte: IANNICELLI (2008)

Tabela 15 – Poder calorífico inferior de combustíveis gasosos

Gás	PCI (kcal/m ³)
Metano	8500
Propano	22000
Butano	28000
Gás de coqueira	4400
Gás de cidade	4000
Gás natural	8554

Fonte: IANNICELLI (2008) & ALVES (2000)

A proporção energética do biogás com 60% de metano comparada com outros combustíveis é apresentada na Figura 26.

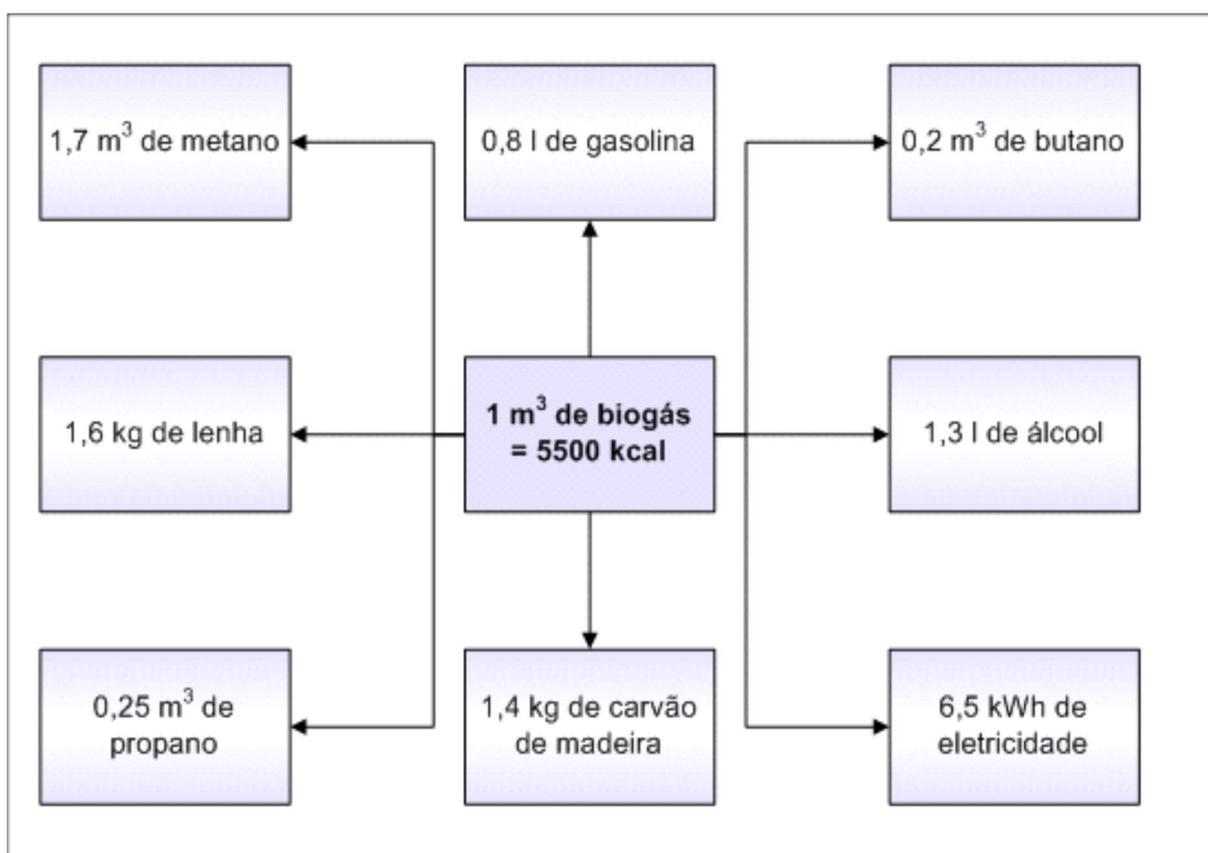


Figura 26 – Equivalência energética do biogás (60% de metano)

Fonte: WALSH *et al.*, (1988) & CCE (2000).

3. METODOLOGIA

3.1. ALTERNATIVA PARA IMPLEMENTAÇÃO DE UMA PLANTA DE BIOGÁS NAS ETES MANDACARU E SUL DE MARINGÁ.

A presente pesquisa utilizou como estrutura relatórios e estudos aplicados em ETES em três tipos de tecnologias de tratamento de esgoto, do qual duas delas são capazes de produzir biogás: o reator UASB e o digestor anaeróbio de lodo. Para a implementação foram comparadas algumas condições, como uma contribuição de esgotos resultante de uma população de no mínimo 100.000 habitantes. Os sistemas a serem avaliados são: lodo ativado de aeração prolongada (arranjo sem etapa anaeróbia) e lodo ativado convencional, seguido de tratamento anaeróbio de lodo (digestor) com e sem aproveitamento energético do biogás gerado. A Tabela 16 apresenta algumas das premissas a serem adotadas, que se apresentaram justificadas durante o trabalho. A Figura 27 mostra o fluxograma da programação do estudo.

Tabela 16 – Premissas para implementação do estudo

CRITÉRIO	PREMISSAS
População	100.000 habitantes
Forma de aproveitamento	Unidade motor-gerador ciclo Otto para geração de energia elétrica Geração elétrica contínua (24 horas por dia)
Aplicação	Concepção tecnológica de ETE nova Ampliação de um sistema de aproveitamento de biogás em ETES existentes (com ressalvas)
Tarifa de energia elétrica*	Horosazonal – verde A4 para a faixa de tensão de 2,3 a 25 kV da COELBA com desconto de 15% (detalhes nas seções 6.1.1 e 8.3.2)
Câmbio base**	R\$ 3,50 por Euro

Juros de empréstimo*	8,70% (BNDES)
Taxa de inflação*	6,50%
Destino final de lodo	Custos de disposição final em aterro sanitário sem higienização

* Base 07/2015

** Variado na análise de sensibilidade

Fonte: Brasil, 2017

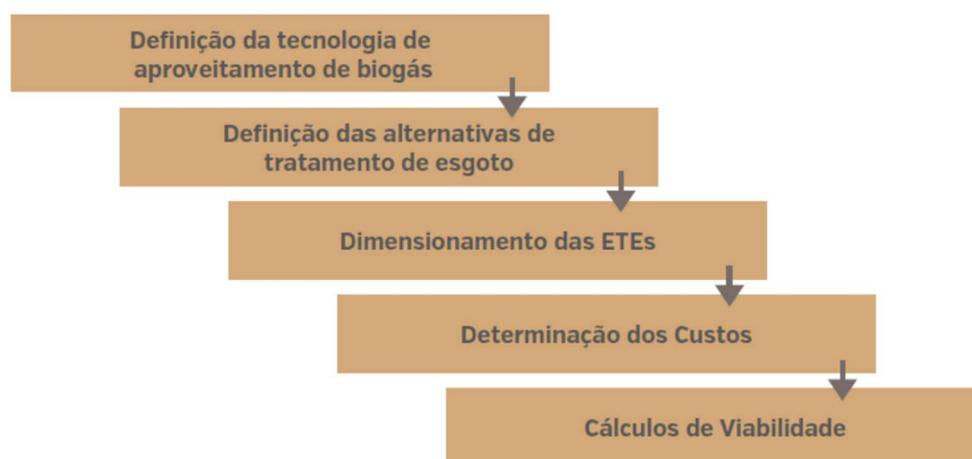


Figura 27 – Metodologia para aplicação de biogás em estações de ETEs

Fonte: Brasil, 2017

A pesquisa utilizou como base de cálculo uma população abastecida pela ETE de Mandacaru com 113.915 habitantes e pela ETE Sul com 161.532 da cidade de Maringá, pois esse porte pode proporcionar a reprodução de alguns estudos e experiências práticas que apontam a viabilidade econômica dessas instalações, No caso, somente as ETEs Mandacaru e Sul se encaixam neste padrão de viabilidade econômica para instalação de um sistema de geração de energia elétrica, pois atende uma população acima de 100.000 habitantes. Assim a ETE Alvorada não foi considerada neste estudo por não atender a premissa do número mínimo de habitantes.

VALENTE (2015) analisou a viabilidade econômica em tipos de cinco arranjos para aproveitamento energético em escalas de 50.000 a 450.000 habitantes, com uma a escala mínima populacional, com viabilidade de geração de energia elétrica, em torno de 162.000 habitantes (BRASIL, 2017). Já ROSENFELDT *et al.* (2015) por sua vez, analisou a viabilidade em um sistema de aproveitamento de energia elétrica a partir do biogás, portando como base a ETE Jacuípe II, em Feira de Santana/BA, com capacidade de atendimento de aproximadamente 100.000 habitantes. O potencial de replicabilidade pode ser previsto com base nos levantamentos de Chernicharo (2015). Em nove estados brasileiros e no Distrito Federal, foram avaliadas 1.439 ETEs (Figura 28), com várias tecnologias de tratamento, sendo que, desse conjunto, 142 estações servem a uma população superior a 100.000 habitantes. Entre as ETEs com maior porte (> 100.000 habitantes), as que possuem reator do tipo UASB, atendem aproximadamente 12 milhões habitantes, enquanto que os outros sistemas com lodos ativados atendem por volta de 25 milhões de habitantes. A título de exemplo, considerando apenas os reatores do modelo UASB, Chernicharo (2015) calculou um potencial de produção de energia elétrica, a partir de biogás, de 370 MWh/d, o que caracteriza um consumo residencial de energia elétrica diário per capita de aproximadamente 206.000 habitantes (EPE, 2015). Foi definido, a partir destes estudos, que as tecnologias de tratamento de esgoto utilizadas deveriam apresentar, pelo menos, o seguinte desempenho no tratamento, fundamentando-se no estado da arte da área: eficiência de remoção de carga orgânica (DBO) de 90%; eficiência de nitrificação de 80% (inevitável nas condições brasileiras e, conseqüentemente, considerada no dimensionamento da aeração); eficiência de desnitrificação de 60% (necessária para manter a alcalinidade mínima do sistema); e lodo excedente estabilizado, com a relação entre sólidos totais e sólidos totais voláteis suficientemente grande < 60% (Brasil, 2017).

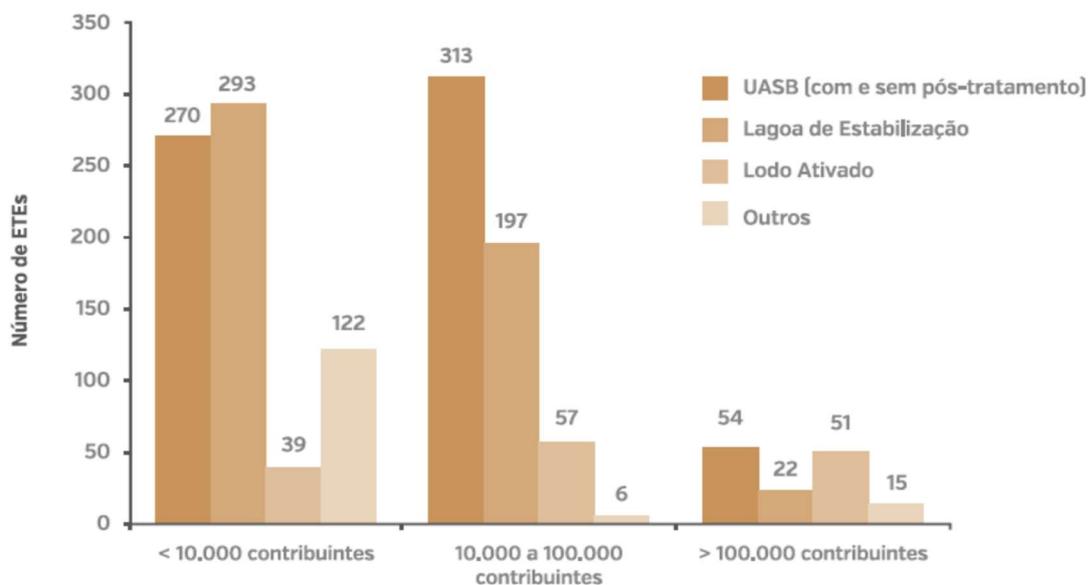


Figura 28 – Tecnologias e portes de ETEs no Brasil
Fonte: Chernicharo, 2015

Na Tabela 17, são explicadas as eficiências médias dos métodos estudados.

Tabela 17 – Eficiências médias de remoção em %.

Processo	Carga orgânica (DBO ₅)	Remoção de amônia (nitrificação)	Remoção de nitrogênio total (desnitrificação)
Lodo ativado de aeração prolongada	90 a 97	> 80	< 60
Lodo ativado Convencional	90 a 97	> 80	< 60
Lodo ativado com reator UASB	83 a 93	50 a 85	< 60

Fonte: Von Sperling, 2009

Com as premissas determinadas, chegou-se aos métodos apresentados na Figura 29.

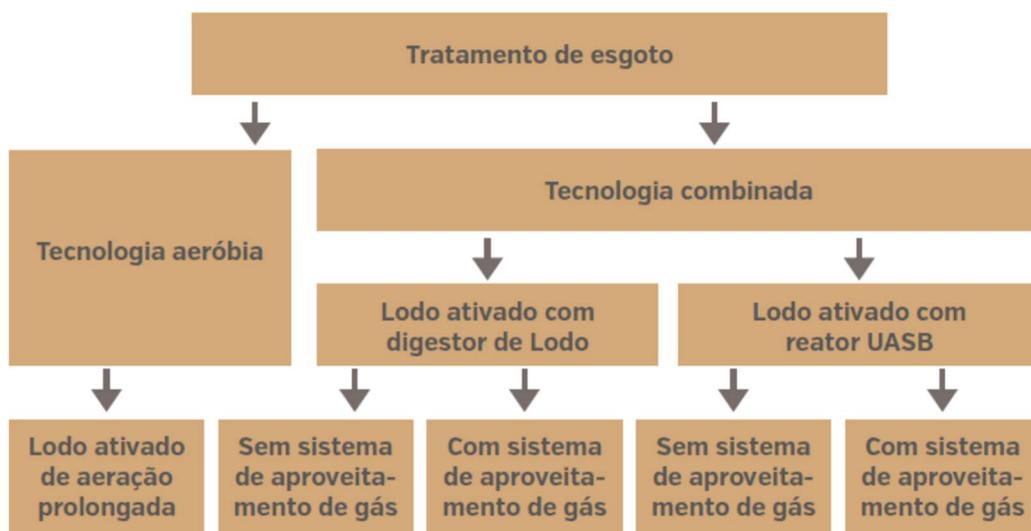


Figura 259 – Alternativas Comparativas

Fonte: Brasil, 2017

A partir da definição das premissas da pesquisa, foi realizado o dimensionamento e foram estabelecidos os arranjos e definidos os volumes de todas as unidades de tratamento, a potência instalada, o consumo de energia elétrica de aeração nas fases aeróbias e a geração do lodo excedente. Para o dimensionamento das estruturas, adotaram-se as propriedades qualitativas e quantitativas apresentadas na Tabela 18, de acordo com estudo.

Tabela 18 – Características do esgoto e vazão de projeto

Parâmetro	Valor	Observação
População Atendida (hab.)	100.000	Adotado
Contribuição per capita (L/hab.d)	160	Adotado
Coeficiente de vazão máxima diária (k1)	1,2	Adotado
Coeficiente de vazão máxima horária (k2)	1,5	Adotado
DBO (kg/d)	5.400	Pop x (54 g/hab.dia)/1.000
DQO (kg/d)	11.000	Pop x (110 g/hab.dia)/1.000
NTK (kg/d)	1.100	Pop x (11 g/hab.dia)/1.000
ST (kg/d)	6.000	Pop x (60 g/hab.dia)/1.000
Q _{média} (m ³ /d)	16.000	(Pop x C)/1000

$Q_{\text{infiltração}} \text{ (m}^3\text{/d)}$	4.800	Adotado
$Q_{\text{máxima}} \text{ (m}^3\text{/d)}$	28.800	$Q_{\text{esgoto}} \times (k1) \times (k2)$
$Q_{\text{total}} \text{ (m}^3\text{/d)}$	33.600	$Q_{\text{máxima}} + Q_{\text{infiltração}}$
Conforme NBR 12.209 (ABNT, 2011)		

Fonte: Brasil, 2017

Para realizar o cálculo da potência elétrica a ser instalada, partiu-se do cálculo da potência térmica para estimar o teor de metano e, conseqüentemente, seu poder calorífico inferior (PCI). O biogás resultante do sistema anaeróbio de biodigestores de lodo indica teores de metano de 60 a 70% em média e um PCI entre 6,0 e 7,0 kWh/Nm³ (BRASIL 2015a). Definindo um biogás com proporção de metano de 65%, com um PCI de 6,50 kWh/m³, e um rendimento elétrico característico do motor-gerador de 38% (BRASIL, 2015a), calcula-se a potência ativa de biogás pela equação :

$$P_{\text{elétrica}} = Q_{\text{biogás, disponível}} \times \text{PCI} \times \eta_{\text{elétrico}} \quad (6)$$

em que:

$P_{\text{elétrica}}$ = Potência elétrica em kW

$Q_{\text{biogás, disponível}}$ = Vazão de biogás disponível em m³/d

$\eta_{\text{elétrico}}$ = Rendimento elétrico característico do motor-gerador em %

PCI = Poder calorífico inferior em kWh/Nm³_{biogás}

3.2. REATOR UASB E LODO ATIVADO CONVENCIONAL COM SISTEMA DE APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE BIOGÁS (USBS-LAC-GAS)

Este tipo de arranjo é composto por um reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), seguido de lodo ativado convencional, sendo esta opção já difundida no cenário atual de saneamento no Brasil e compatível com a ETE Sul de Maringá. Para a ETE Mandacarú, será necessário fazer ajuste, com a implantação de um sistema com lodo ativado e decantadores secundários.

Nesta formação, ao invés do decantador primário, faz-se uso do reator UASB, com eficiência de remoção de DQO de 90%. O excesso de lodo aeróbio ainda não estabilizado volta ao reator UASB para estabilização anaeróbia,

simultaneamente com o lodo anaeróbio já existente no reator. Implementa-se então, o sistema de aproveitamento energético de biogás por meio de um motor-gerador ciclo otto, proporcionando a geração de energia elétrica nas ETEs Sul e Mandacaru, para autoconsumo (Figura 30). Neste caso, para o aproveitamento do biogás produzidos em reatores UASB, devem ser consideradas a perda ocasionada pela saída de metano de forma dissolvida com o efluente líquido.

A perda de metano considerada na prática varia entre 14 e 50%, sofrendo influência da carga hidráulica empregada, temperatura e pressão parcial do gás no interior do reator. Vale ressaltar que este tipo de fenômeno não acontece em digestores anaeróbios de lodos (BRASIL, 2015b)

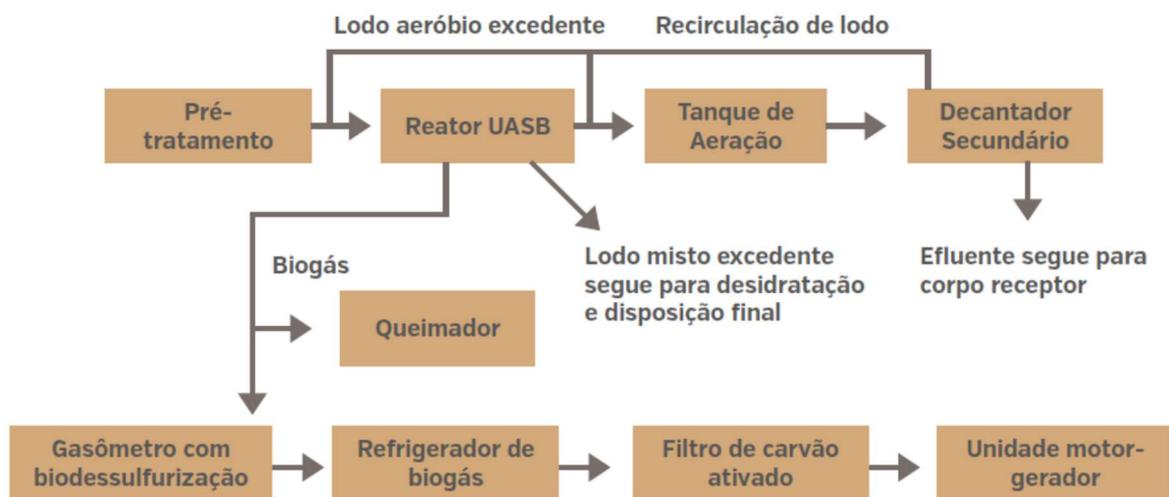


Figura 30 - Arranjo de UASB com lodo ativado convencional e aproveitamento energético do biogás

Fonte: Brasil, 2017

Para os cálculos da potência instalada, utiliza-se a Equação (6). Conforme Cabral et al. (2015), os reatores UASB produzem biogás com teores de metano mais elevados, quando equiparados aos digestores anaeróbios de lodo, indicando valores entre 60 e 85%.

Definindo uma taxa de metano de 78% e, conseqüentemente, tem-se um biogás com PCI de 7,80 kWh/Nm³. Assim, chegou-se a uma projeção de 176 kW. Partindo da disponibilidade técnica do motogerador de 8.000 horas por ano ou 333 dias, quantidade que representa 91% do tempo anual e utilizando a vazão de biogás

produzido no reator UASB de 1.427 m³/d, calculou-se a produção de energia elétrica considerada como custo evitado no fluxo de caixa desta alternativa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O cálculo para produção de biogás foi realizado a partir dos balanços de massa e energia nos digestor anaeróbio nas ETEs Mandacaru e Sul de Maringá.

4.1 – POTÊNCIA ELÉTRICA DE GERAÇÃO DA ETE MANDACARU

O número de habitantes aproximado considerado para o esgoto tratado na ETE Mandacaru foi 113.915. Com isso, tem-se uma quantidade de esgoto produzido dia = 12.191,04 m³/dia.

Em condições estáveis de operação, o reator UASB é eficiente na remoção entre 60 e 70% da DQO do esgoto sanitário e a geração específica teórica máxima de gás metano CH₄ é de 0,35 m³ CH₄/kg DQO_{remov.}

Na ETE Mandacaru, tratou-se 12.191,04 m³/dia em 2010, com média de 306 mg/L DQO (AMPLA, 2010; SNIRH, 2017).

Ou seja, para cada 3,26 m³ de esgoto tem-se, aproximadamente, 1kg de DQO. Assim, tem-se 3.739,58 Kg de DQO dia, ou seja, 3.739,58 x 0,35 = 1.308,85 m³ de metano por dia ou 39.265,50 m³ de metano por mês.

Considerando o biogás com o teor de 65% de metano para a ETE de Mandacaru, tem-se então 1.308,85/0,65 = 2.013,61 m³ de biogás por dia ou 60.408,46 m³ de biogás por mês.

Considerando a Equação (6) e o Poder Calorífico Inferior em kWh/Nm³ biogás em 65% tem-se:

$$P_{\text{elétrica}} = 2.013,61 \text{ m}^3/\text{d} \cdot 6,50 \text{ kWh/m}^3 \cdot 38\% = 4.973,61 \text{ kWh/d}$$

$$P_{\text{elétrica}} = 83,90 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 6,50 \text{ kWh/m}^3 \cdot 0,38 = 207,23 \text{ kW}$$

Estimando uma disponibilidade técnica do motogerador de 8.000 horas por ano, o que corresponde a 91% do tempo anual, calcula-se o potencial de produção de energia elétrica em 1.657.864 kWh/ano, energia considerada como custo evitado no fluxo de caixa dessa alternativa.

Como o foco dessa pesquisa é a geração de energia elétrica a partir da queima do Biogás, optou-se pela simulação da queima do biogás em motor a gás estacionário com gerador, tendo como as principais tecnologias no momento, o

motor de combustão interna tipo Otto; motor de combustão interna tipo Diesel e Microturbina adaptado ao biogás.

Para as características da ETE Mandacaru, há a necessidade de uma planta de geração de energia elétrica de pequeno porte ou porte 1, conforme classificado pela norma técnica das plantas de biogás com fins energéticos em operação no Brasil, em 2019. A premissa dessa pesquisa é aproveitar a energia elétrica produzida tanto na operação da ETE Mandacaru quanto no abatimento do excedente de energia produzida no CNPJ de qualquer unidade da SANEPAR, bem como o aproveitamento térmico dos gases gerados da queima do biogás nos motores, podendo ser aplicado na secagem do lodo biodigerido dos reatores UASB.

Optou-se pela simulação teórica da aplicação de um motogerador tipo Otto. Segundo essa estratégia de operação do motor-gerador, sendo a opção de produção de energia elétrica em operação contínua, visto que a ETE Mandacaru se enquadra no modelo, mostrou-se mais viável economicamente, segundo os estudos de viabilidade de VALENTE (2015) e BRASIL (2017).

Estimando uma disponibilidade técnica do motor-gerador de 8000 horas por ano, o que corresponde a 91% do tempo anual, calcula-se o potencial de produção de energia elétrica em 1.657.864 kWh/ano, energia considerada como custo evitado no fluxo de Caixa desta alternativa.

4.2 POTÊNCIA ELÉTRICA DE GERAÇÃO NA ETE SUL

O número de habitantes considerado para a ETE SUL foi 161.532. A quantidade de esgoto produzido dia = 17.323,20 m³/dia. Em condições estáveis de operação, o reator UASB é eficiente na remoção entre 60 e 70% da DQO do esgoto sanitário e a geração específica teórica máxima de gás metano CH₄ é de 0,35 m³ CH₄/kg DQO_{remov.}

Na ETE Sul ocorreu o tratamento de 17.323,20 m³/dia em 2010, com média de 152 mg/L DQO (AMPLA, 2010; SNIRH, 2017). Ou seja, para cada 6,57 m³ de esgoto tem-se, aproximadamente, 1 Kg DQO. Assim, são consumidos 2.636,71 Kg dia de DQO, ou seja, são produzidos 2.636,71 x 0,35 = 922,84 m³ de metano dia ou 27.685,45 m³ de metano por mês.

Considerando o biogás com o teor de 65% de metano para a ETE Mandacaru, tem-se $922,84/0,65 = 1.419,75 \text{ m}^3$ de biogás por dia ou $42.592,61 \text{ m}^3$ de biogás por mês.

Considerando a Equação (6) e o Poder Calorífico Inferior do biogás em kWh/Nm³ em 65% tem-se:

$$P_{\text{elétrica}} = 1.419,75 \text{ m}^3/\text{d} \cdot 6,50 \text{ kWh/m}^3 \cdot 38\% = 3.506,78 \text{ kWh/d}$$

$$P_{\text{elétrica}} = 59,156 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 6,50 \text{ kWh/m}^3 \cdot 0,38 = 146,116 \text{ kW}$$

Como as características da ETE SUL e da necessidade de uma planta de geração de pequeno porte, será possível aproveitar o uso da energia elétrica.

Optou-se pela simulação teórica da aplicação de um motor-gerador do tipo Otto. Segundo a estratégia de operação do motogerador, com produção de energia elétrica contínua, visto que a ETE SUL se enquadra no modelo e se mostrou mais viável economicamente, segundo estudo de viabilidade de Valente, (2015).

Estimando uma disponibilidade técnica do motogerador de 8000 horas por ano, o que corresponde a 91% do tempo anual, calcula-se o potencial de produção de energia elétrica em 1.168.928 kWh/ano, energia considerada como custo evitado no fluxo de Caixa para esta alternativa.

Essa energia elétrica produzida pode ser utilizada diretamente no local da empresa, nos equipamentos elétricos do processo de tratamento do esgoto. A energia excedente pode ser cedida à distribuidora local, e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica dessa mesma unidade consumidora ou de outra unidade consumidora de mesma titularidade. O saldo positivo de um mês pode ser utilizado para abater o consumo em outro posto tarifário, ou na fatura do mês subsequente. Os créditos de energia gerados continuam válidos por 60 meses (ANEEL, 2015; MME, 2015).

Porém, o processo promove apenas a troca de energia em kWh entre o consumidor-gerador e a distribuidora, não envolvendo a circulação de dinheiro. A Resolução Normativa ANEEL nº 687 de 2015, que complementa a 482 de 2012, estabelece que abaixo de 75 kW o sistema é de microgeração, e acima de 75 kW e até 5 MW é minigeração, e vale para qualquer fonte renovável de geração.

Portanto, tanto na ETE Mandacaru quanto na ETE SUL, a disposição final para o lodo desidratado reduzirá o seu volume final, diminuindo os custos gerados anualmente para disposição final dessa matéria prima, além de não afetar o meio

ambiente e a população. Pode até ser caracterizado e futuramente ser um produto de valor agregado como insumo agrícola, gerando uma receita a mais para empresa.

4.3 AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM PROJETO DO PEE

Com base nos procedimentos do Programa de Eficiência Energética – ROPEE, da Resolução Normativa n.º 892/2020 da ANEEL, o principal critério para avaliação da viabilidade econômica de um projeto do PEE é a Relação Custo Benefício (RCB) que ele proporciona. O benefício considerado é a valoração da energia economizada e da redução da demanda na ponta durante a vida útil do projeto para o sistema elétrico. Dois tipos de avaliação quanto aos dados disponíveis devem ser feitos pela proponente ao longo do projeto:

- a) Avaliação ex ante, com valores estimados, na fase de definição, quando se avaliam custo e benefício baseados em análises de campo, experiências anteriores, cálculos de engenharia e avaliações de preços no mercado;
- b) Avaliação ex post, com valores mensurados, consideradas a economia de energia e a redução de demanda avaliadas por ações de medição e verificação e os custos realmente despendidos.

Ao final, é possível realizar uma análise de sensibilidade, na qual é verificada a influência de variação de fatores significativos ao estudo de viabilidade.

4.3.1 CUSTO DE INVESTIMENTOS DO SISTEMA (CAPEX)

Os custos de investimento (CAPEX) considerados neste estudo compreendem as despesas para compra dos equipamentos necessários para sua devida operação, até o funcionamento do projeto para geração de energia elétrica das ETEs, exceto as obras de construção civil quando for necessária para abrigar os equipamentos, visto que em muitos casos pode ser aproveitada uma estrutura já existente no local.

De acordo com os dados constantes no Anexo 1 e fornecidos pela empresa ERBR – Energias Renováveis, com sede em Londrina, estado do Paraná, para um sistema de moto-gerador completo para atender uma geração distribuída de energia elétrica (GD), com demanda até 250 kW, o modelo apropriado será o

ERBR GSCA420 (Figura 31). O custo total de investimentos do sistema (CAPEX) para este modelo, incluindo equipamentos, transporte, instalação, monitoramento e demais acessórios é de R\$ 665.320,00 para cada unidade correspondente.

Ainda, de acordo com as informações fornecidas pela ERBR, o tempo de vida útil estimado para cada conjunto motogerador é, em média, de 5 anos. Sendo assim:

Custo de Investimento anual: R\$ 665.320,00 / 5 = R\$ 133.064,00



Figura 31 - Grupo Gerador a biogás- ERBR 420 kVA
Fonte: ERBR Energias Renováveis

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS BÁSICAS DO GRUPO MOTOGERADOR ERBR 420 kVA

Marca e Modelo: ERBR GSCA420

Fabricante: ERBR Energias Renováveis Ltda

Potência Principal: 380 kVA / 300 kW

Potência Emergência: 420 kVA / 336 kW

Potência Regime Contínuo: BA – 312 kVA / 250 kW pico

Potência Regime Contínuo: GD - 290 kVA / 230 kW pico

4.3.2 CUSTO DE OPERAÇÃO DO SISTEMA (OPEX)

Os custos de Operação do Sistema (OPEX) considerados neste estudo relacionam todos os custos operacionais para o seu bom funcionamento, incluindo gastos com manutenção, salários dos funcionários, contratação de serviços, despesas de consumo, etc. Os valores relacionados no anexo II também foram fornecidos pela empresa ERBR Energias Renováveis, que prevê para o sistema de motogerador em regime contínuo para um ciclo de vida útil de 5 anos terá um custo médio anual de operação correspondente a R\$ 322.128,85.

Pela Equação (7), calcula-se o Custo Atualizado Total (CAT) de cada sistema de geração:

$$\text{CAT} = (\text{CAPEX} + \text{OPEX}) \quad (7)$$

Sendo:

CAT - custo atualizado total (R\$/ano);

CAPEX – Custo de Investimento do sistema (R\$/ano)

OPEX – Custo de operação do sistema (R\$/ano)

Assim, $\text{CAT} = 133.064,00 + 322.128,85$

CAT = R\$ 455.192,85 /ano

4.3.3 Modalidades tarifárias

As modalidades tarifárias são um conjunto de tarifas aplicáveis ao consumo de energia elétrica e demanda de potência ativas. Elas são definidas de acordo com o Grupo Tarifário, segundo as opções de contratação definidas na Resolução Normativa nº 414/2010 da ANEEL e no Módulo 7 dos Procedimentos de Regulação Tarifária - PRORET:

Grupo A: Unidades consumidoras da Alta Tensão (Subgrupos A1, A2 e A3), Média Tensão (Subgrupos A3a e A4), e de sistemas subterrâneos (Subgrupo AS)

Horária Azul: tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e de demanda de potência, de acordo com as horas de utilização do dia (postos tarifários). Disponibilizada para todos os subgrupos do grupo A; e

Horária Verde: tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia (postos tarifários), e de uma

única tarifa de demanda de potência. Disponível para os subgrupos A3a, A4 e AS.

Grupo B: Unidades consumidoras da Baixa Tensão, das Classes Residencial (Subgrupo B1), Rural (B2), Demais Classes (B3) e Iluminação Pública (B4)

Convencional Monômnia: tarifa única de consumo de energia elétrica, independentemente das horas de utilização do dia; e

Horária Branca: tarifa diferenciada de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia (postos tarifários). Não está disponível para o subgrupo B4 e para a subclasse Baixa Renda do subgrupo B1.

4.3.4 POSTOS TARIFÁRIOS

Os postos tarifários são definidos por área de concessão ou permissão, da seguinte forma:

Grupo A, aplicam-se os horários de ponta e fora ponta. E na Tarifa Branca aplicada ao Grupo B, aplicam-se os três postos tarifários: ponta, intermediário e fora ponta.

Horário (posto) de ponta: período diário de 3h consecutivas, exceto sábados, domingos e feriados nacionais. Na área de concessão da COPEL Distribuição este período corresponde o período entre 18 e 21 horas;

Horário (posto) intermediário: período de horas conjugadas ao horário de ponta, aplicado exclusivamente às unidades consumidoras que optem pela Tarifa Branca. Pode variar de 1h a 1h30, antes e depois do horário de ponta; e

Horário (posto) fora de ponta: período diário composto pelas horas consecutivas e complementares ao horário de ponta e intermediário.

Nos fins de semana e feriados nacionais, todas as horas são consideradas como fora de ponta.

O horário especial (também conhecido como período reservado), é aplicado às unidades consumidoras rural irrigante ou aquicultura.

O horário especial é o período de 8h30min do dia que abrange toda a madrugada, em que a carga destinada à irrigação ou aquicultura recebe um desconto na tarifa de acordo com a região em que se localiza e o grupo tarifário a que pertence cada kWh consumido.

A Bandeira vermelha - Patamar 2: condições ainda mais custosas de geração. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,09492 para cada kWh consumido.

A Resolução Homologatória 2.886, de 22 de junho de 2021, estabelece as Tarifas de Energia (TE) e as Tarifas de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD). De acordo com esta resolução as tarifas de aplicação da Copel-DIS ficam reajustadas em 0,41%, correspondendo ao efeito tarifário médio a ser percebido pelos consumidores/usuários/agentes supridos da distribuidora.

A Tabelas 19 e 20 mostram os valores com impostos, atualizados em junho/2021, de acordo com a modalidade tarifária da COPEL.

Tabela 19 – Tarifa de Energia Elétrica Copel Distribuição – Grupo B

Grupo	Modalidade Tarifária	Horário	TE R\$/kWh	TUSD R\$/kWh	Total R\$/kWh
	Convencional	-	0,42991	0,40165	0,83156
	Monômia				
B		Fora Ponta	0,40976	0,29548	0,70524
	Branca	Intermediário	0,40976	0,56574	0,97550
		Ponta	0,65159	0,83601	1,4876

Fonte: Próprio autor

Tabela 20 – Tarifa de Energia Elétrica Copel Distribuição – Grupo A4

Grupo	Modalidade Tarifária	Horário	Demanda TUSD R\$/kW	Consumo TE R\$/kWh	TUSD R\$/kWh
			TUSD	TE	TUSD
			R\$/kW	R\$/kWh	R\$/kWh
	Azul	Fora Ponta	25,40	0,40976	0,12292

A4	Ponta	53,69	0,65159	0,12292
	Fora Ponta	25,40	0,40976	0,12292
	Verde			
	Ponta	25,40	0,65159	1,42741

Fonte: Próprio autor

Conforme estabelece a REN nº 414/2010, a ultrapassagem de demanda corresponde a duas vezes o valor da tarifa de aplicação. É importante ressaltar que as tarifas já estão disponibilizadas com os impostos (ICMS, PIS e COFINS) vigentes, inclusos para facilitar o entendimento do consumidor. No entanto, as alíquotas efetivas referentes ao PIS e à COFINS devem ser apuradas mensalmente, com suas variações sendo aplicadas às tarifas tempestivamente.

Podem existir variações em relação às tarifas informadas para o subgrupo A1, pois elas são definidas por consumidor, sendo:

TUSD: Tarifa de uso do sistema.

TE: Tarifa de energia.

Devido a demanda de energia nas duas ETEs estarem acima de 75 kW, não é possível o enquadramento tarifário no grupo B, optando-se então para a modalidade tarifária no sub grupo tarifário A4 , com fornecimento de energia em tensão primária de 13,80 kV, hora sazonal verde. Considerando esta modalidade de fornecimento de energia, os valores de tarifa correspondem a diferentes valores, sendo um valor referente a demanda contratada somado aos valores de consumo que é a soma de TU + TUSD. As tarifas TUSD e TE são apresentadas de forma unificada na fatura.

4.3.5 Cálculo dos benefícios (módulo 7 do PROPEE)

Considerando um Projeto de Eficiência Energética, calcula-se os benefícios do projeto de acordo com a Equação (8):

$$\text{BAT} = (\text{EE} \times \text{CEE}) + (\text{RD} \times \text{CED}) \quad (8)$$

Sendo:

BAT - benefício anualizado (R\$/ano).

EE - Energia anual economizada (kWh/ano).

CEE - custo unitário da energia economizada (R\$/kWh).

RD - redução de demanda (kW).

CED - custo unitário evitado de demanda (R\$/kWano).

Desta forma, tem-se a Equação (9):

$$\mathbf{CEE = (TU + TUSD) R\$/kWh} \quad (9)$$

Sendo:

$$\mathbf{CEE_{ponta} = (0,65159 + 1,42741) = 2,079 R\$/kWh.}$$

$$\mathbf{CEE_{Fora\ pont} = (0,40976 + 0,12292) = 0,53268 R\$/kWh}$$

$$\mathbf{CED_{ponta/Fora\ pont} = 25,40 R\$/kW \times 12 = 304,80 R\$/kW}$$

O tempo de disponibilidade do moto-gerador é de 8.000 horas/ano. Considerando o funcionamento em regime contínuo e horas diárias em horário de ponta com média anual de 252 dias úteis, o tempo de energia economizada é de 756 horas ponta/ano e 7.244 horas fora de ponta/ano.

4.3.5.1 Cálculo dos Benefícios de economia na ETE Mandacaru

Considerando o motogerador funcionando em regime contínuo de 8.000 horas/ano em horário de ponta e fora de ponta, o tempo de energia economizada é de 756 horas de ponta/ano e 7.244 horas fora de ponta/ano. Sendo a potência elétrica calculada na ETE de 207,233 kW, a previsão de energia economizada na ETE Mandacaru (EE): 1.657.864 kWh/ano, sendo 156.668 kWh/ano em horário de ponta e 1.501.196 kWh/ano em horário fora de ponta. A economia no consumo de ponta é:

$$EE \times CEE = 156.668 \text{ kWh/ano} \times 2,079 \text{ R\$/kWh}$$

$$\rightarrow \mathbf{EE_{ponta} = R\$ 325.712,77 / ano}$$

A economia no consumo no horário fora de ponta é:

$$EE \times CEE = 1.501.196 \text{ kWh/ano} \times 0,53268 \text{ R\$/kWh}$$

$$\rightarrow \mathbf{EE_{Fora\ pont} = 779.657,08 R\$/ano}$$

A economia no consumo total é: **EE_{Total} = 1.125.369,85 R\$/ano**

A redução na demanda contratada:

$$\text{BAT} = (1.125.369,85) + (207,233 \times 304,80) \rightarrow \text{BAT} = \mathbf{1.188.534,46 \text{ R\$/ano}}$$

4.3.5.2 Cálculo dos Benefícios de economia na ETE SUL:

Sendo a potência elétrica calculada na ETE de 146,116 kW, a previsão de energia economizada (EE) na ETE Sul é de 1.168.928 kWh/ano, sendo 110.464 kWh/ano em horário de ponta e 1.058.464 kWh/ano em horário fora de ponta. Sendo assim, a economia no consumo no horário de ponta é:

$$\text{EE} \times \text{CEE} = 110.464 \text{ kWh/ano} \times 2,079 \text{ R\$/kWh} \rightarrow \text{EE}_{\text{ponta}} = \mathbf{229.654,65 \text{ R\$/ano.}}$$

A economia no consumo no horário fora de ponta é:

$$\text{EE} \times \text{CEE} = 1.058.464 \text{ kWh/ano} \times 0,53268 \text{ R\$/kWh.} \rightarrow$$

$$\text{EE}_{\text{Fora ponta}} = \mathbf{563.822,60 \text{ R\$/ano}}$$

A economia no consumo total é **EE_{Total} = 793.477,25 R\$/ano.**

A redução na demanda contratada:

$$\text{BAT} = (793.477,25) + (146,116 \times 304,80) \rightarrow \text{BAT} = \mathbf{838.013,40 \text{ R\$/ano.}}$$

4.3.6 Relação custo-benefício – Equação 10 (módulo 7 do PROPEE):

A relação custo benefício será calculado pela relação anual de valores entre o custo atualizado tota (CAT) e o Benefício atualizado (BAT).

$$\text{RCB} = \frac{\text{CAT}}{\text{BAT}} \quad (10)$$

Sendo:

RCB - relação custo-benefício.

CAT - custo atualizado total (R\$/ano):

BAT - benefício anualizado (R\$/ano).

Assim, para a ETE Mandacaru a relação custo-benefício, será:

$$\text{RCB} = \frac{\text{R\$ } 455.192,85}{\text{R\$ } 1.188.534,46} \rightarrow \text{RCB}_{\text{ETE Mandacaru}} = \mathbf{0,83 \text{ ou } 38,3\%}$$

Para a ETE Sul a relação custo-benefício, será:

$$RCB = \frac{R\$ 455.192,85}{R\$ 838.013,40} \rightarrow RCB_{ETE\ Sul} = 0,543 \text{ ou } 54,3\%$$

4.3.7 Resultado Financeiro Líquido:

Ainda, do ponto de vista financeiro, considerando em valores reais, tem-se como resultado final de efetivação do projeto nas ETEs Mandacaru e Sul:

Resultado financeiro líquido para a ETE Mandacaru:

Resultado Financeiro Líquido: BAT – CAT = R\$1.188.534,46 - R\$ 455.192,85 = 733.341,61 R\$/ano.

Ou seja, no final de 5 anos, o projeto de utilização do biogás extraído da ETE Mandacaru, da cidade de Maringá, resultará um total de R\$ 3.666.708,05, que se transformará em ativos no caixa da empresa para investimentos ou projetos sociais.

Resultado financeiro líquido para a ETE SUL:

Resultado Financeiro Líquido: BAT – CAT = R\$ 838.013,40 - R\$ 455.192,85 = 382.820,55 R\$/ano.

Ou seja, no final de 5 anos, o projeto de utilização do biogás extraído da ETE sul da cidade de Maringá resultará um total de R\$ 1.914.102,75, que se transformará em ativos no caixa da empresa para investimentos ou projetos sociais.

4.4 Créditos de Carbono

De acordo com o Protocolo de Kyoto, assinado em acordo ambiental fechado durante a 3ª conferência das partes da convenção das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, realizada em Kyoto no Japão, em 1997, a emissão reduzida de CO₂ na atmosfera possibilita a venda de créditos de carbono em projetos para redução de gases de efeito estufa (GEE) (Agência Senado). Desta forma, para cada tonelada de carbono reduzida, o país recebe um crédito de carbono. Com esta

possibilidade a efetivação deste projeto poderá gerar benefícios a SANEPAR, uma vez que cada tonelada de metano equivale 21 créditos de carbono.

De acordo com o “Portal do Biogás”, o metano possui uma densidade de $0,72 \text{ kg/m}^3$ a uma pressão atmosférica de 1.013 hPa , quando se apresenta na forma de gás. Desta forma, pode-se calcular pela Equação (11), a quantidade de créditos de carbono equivalentes a este projeto, nas ETEs Mandacaru e Sul da cidade de Maringá.

$$d = m/V \rightarrow m = d.V \quad (11)$$

Sendo que:

d é a densidade do gás;

m é a massa do gás;

V é o volume do gás.

4.4.1 Créditos de Carbono estimados para a ETE Mandacaru:

Volume de metano: $39.265,50 \text{ m}^3/\text{mês}$;

Densidade do metano: $0,72 \text{ kg/m}^3$

Aplicando a Equação (11), tem-se: $m = d.V = 0,72 \text{ kg/m}^3 \cdot 39.265,50 \text{ m}^3/\text{mês} = 28.271 \text{ kg/mês} \equiv 339 \text{ toneladas/ano}$

Sendo 1 tonelada de CH_4 equivalente a 21 créditos de Carbono, tem-se a possibilidade de geração de 7.119 créditos de carbono para cada ano após a efetivação deste projeto na ETE Mandacaru, para a SANEPAR.

4.4.2 Créditos de Carbono estimados para a ETE Sul:

Volume de metano: $27.685,45 \text{ m}^3/\text{mês}$;

Densidade do metano: $0,72 \text{ kg/m}^3$;

Aplicando a Equação (11), tem-se: $m = d.V = 0,72 \text{ kg/m}^3 \cdot 27.685,45 \text{ m}^3/\text{mês} = 19.933 \text{ kg/mês} \equiv 239 \text{ toneladas/ano}$

Sendo 1 tonelada de CH_4 equivalente a 21 créditos de Carbono, tem-se a possibilidade de geração de 5.019 créditos de carbono para cada ano após a efetivação deste projeto na ETE Mandacaru, para a SANEPAR.

5. CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O biogás produzido pelo lixo ou esgotos sanitários em muitas ETEs que não tem sido aproveitado de forma adequada, sendo lançado na atmosfera, poluindo o meio ambiente e contribuindo para o aquecimento global, poderá ser utilizado na produção de energia elétrica permitindo a redução dos gases causadores do efeito estufa, contribuindo para o combate à poluição do solo e dos lençóis freáticos.

O biogás sendo uma ótima fonte de energia e pouco aproveitado ainda no Brasil, poderá produzir energia elétrica de forma racional e sustentável, o que poderá ser efetivado nas ETEs da cidade de Maringá que, segundo os dados do IBGE, consta com uma população estimada em 2021 de 436.472 habitantes, e com sistema público de tratamento de esgotos sanitários atendendo cerca de 85,73% da população urbana, sendo a maioria da população concentrada em área urbana, onde o esgoto coletado é enviado às ETEs Mandacaru, Sul e Alvorada.

Considerando-se que uma das premissas para a viabilidade de um projeto de geração de eletricidade a partir do biogás em ETEs seja para uma população mínima de 100.000 habitantes, este projeto considerou apenas a ETE Mandacaru com uma população atendida em torno de 161.532 pessoas e a ETE Sul com uma população atendida em torno de 113.915 habitantes, descartando-se nestes cálculos a ETE Alvorada com uma população atendida em torno 75.306 pessoas, por não atender uma das primícias de viabilidade.

Sendo que cada m^3 de biogás pode ser equivalente até a 6,5 kWh energia elétrica, o que corresponde a $1,43 \text{ kWh}/m^3$, dando uma finalidade inteligente à geração de gases poluentes resultantes das ETEs, evitando a simples queima realizada atualmente e contribuindo com o meio ambiente, o biogás gerado pelas ETEs Mandacaru e Sul poderão ser aproveitados para a geração de eletricidade para atender a demanda das próprias ETEs ou mesmo inserindo o excedente na rede da concessionária de energia elétrica local, pelo sistema de compensação, conforme a resolução n.º 482/2012 da ANEEL podendo os créditos ser utilizados em até 60 meses seguintes, mesmo em outras unidades consumidoras com mesmo CNPJ. Sendo assim, foram calculadas as potências elétricas estimadas de geração para cada ETE e verificada a sua viabilidade técnica, econômica e social, uma vez que poderá ser uma alternativa a baixo custo com a utilização dos gases emitidos pelas ETEs para gerar lucros para SANEPAR e ainda a possibilidade de aumentar o resultado

financeiro proveniente da venda de créditos de carbono por conta da redução da emissão de gás metano na atmosfera.

A ETE Mandacaru poderá gerar demanda média de energia em torno de 207kW, que considerando um moto-gerador com disponibilidade de 8.000 horas/ano, poderá gerar uma previsão de energia evitada de 1.657.864 kWh/ano, sendo 156.668 kWh/ano em horário de ponta e 1.501.196 kWh/ano em horário fora de ponta. Para o enquadramento tarifário Grupo A-4 horosazonal verde, a economia financeira total prevista considerando a redução da demanda contratada será de 1.188.534,46 R\$/ano.

Já a ETE Sul poderá gerar demanda média de energia em torno de 146kW, que considerando um moto-gerador com disponibilidade de 8.000 horas/ano, poderá gerar uma previsão de energia evitada de 1.168.928 kWh/ano kWh/ano, sendo 110.464 kWh/ano em horário de ponta e 1.058.464 kWh/ano em horário fora de ponta. Para o enquadramento tarifário Grupo A-4 horosazonal verde, a economia financeira total prevista considerando a redução da demanda contratada será de 838.013,40 R\$/ano.

Por razões técnicas e econômicas, para execução deste projeto em cada ETE, foi escolhido o mesmo tipo de moto-gerador, modelo ERBR GSCA420 fabricado pela empresa ERBR Energias Renováveis, com uma estimativa de 5 anos de vida útil dos equipamentos e custo total de investimento (CAPEX) de R\$ 665.320,00 ou R\$ 133.064,00/ano e custo anual de operação de R\$ 322.128,85, sendo seu custo atualizado total de investimento no valor de R\$ 455.192,85 /ano numa relação custo benefício de 38,3% para a ETE Mandacaru e 54,3% para a ETE Sul.

Considerando todos os resultados apresentados, chega-se a conclusão final que o projeto de geração de energia elétrica a partir do biogás gerado nestas ETEs torna-se extremamente viável, pois após a implantação deste projeto poderá gerar um resultado financeiro líquido de 733.341,61 R\$/ano ou R\$ 3.666.708,05 durante 5 anos na ETE Mandacaru e a ETE Sul proporcionará um resultado financeiro líquido de 382.820,55 R\$/ano ou R\$ 1.914.102,75 em 5 anos, gerando ativos no fluxo de caixa da empresa de saneamento que poderão ser convertidos em novos investimentos ou a aplicação em projetos sociais, gerando benefícios para a população do próprio município.

Além disso, haverá uma previsão estimada da geração de 7.119 créditos/ano de carbono na ETE Mandacaru e 5.019 créditos/ano de carbono na ETE Sul para a SANEPAR e ainda, a possibilidade de uma Geração compartilhada, caso as ETEs em referência tenham um consumo menor que a energia elétrica gerada pelo biogás, inserindo o excedente gerado na rede de energia da concessionária de energia elétrica, pelo sistema de compensação para ser consumida em qualquer unidade da empresa com o mesmo CNPJ e estabelecida dentro da área de concessão, como prevê a resolução n.º 482/2012 da ANEEL.

Desta forma, além dos resultados financeiros obtidos, a emissão de gases de efeito estufa que atualmente é um problema ecológico e ambiental, pode transformar-se em grandes benefícios para a cidade de Maringá, para o Brasil, para o planeta e o bem estar da humanidade.

Visto que o biogás gerado na ETE Alvorada não atende as condições mínimas para geração de energia elétrica, fica a sugestão de outros estudos futuros, como por exemplo a possibilidade de aproveitamento deste gás para uso veicular na frota da própria empresa ou mesmo a comercialização destes ou mesmo utilizar o calor gerado para secagem do lodo resultante das ETEs para serem utilizados como fertilizantes na agricultura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas, **NBR 12.209, Projeto de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitários**, 2011, disponível em: https://www.https://www.academia.edu/38726564/NBR_12_209_Projeto_de_Estações_de_Tratamento_de_Esgoto_Sanitarios, acesso em 12.02.2019.

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, **Panorama dos Resíduos sólidos no Brasil 2020**, disponível em www.abrelpe.org.br . São Paulo, SP. 2020.

AGÊNCIA SENADO. **Protocolo de Kioto**, disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/entenda-o-assunto/protocolo-de-kyoto>, acesso em 11.02.2022.

AGRAWAL, Lalit Kumar; HARADA, Hideki; OKUI, Hiroyuki. **Treatment of Dilute Wastewater in a UASB Reactor at a Moderate Temperature: Performance Aspects**. Journal of Fermentation and Bioengineering, v. 83, n. 2, p. 179-184, 1997.

ALVES, J. W. S. **Diagnóstico técnico institucional da recuperação e uso energético do biogás gerado pela digestão anaeróbia de resíduos**. São Paulo. Dissertação de Mestrado. PIPGE / USP. 2000.

AMPLA. **Levantamento e diagnóstico da situação atual do sistema de Abastecimento de água – SAA**. Consultoria ampla, disponível em: <http://www.maringa.pr.gov.br/saneamento/pmsb1.pdf>. 2010.

ANDREOLI, Cleverson V.; VON SPERLING, Marcos; FERNANDES, Fernando. **Lodos de esgoto: tratamento e disposição final**. 4. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2010. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 6).

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica, Eficiência Energética, **Procedimentos do Programa de Eficiência energética – ROPEE, RES. 892-2020**

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica, Usinas e fontes alternativas de energia, **Resolução Normativa 390**, Autorização para exploração e alteração da capacidade, **DO-U 18-12-2009**.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica, **Resolução Normativa n.º 482/2012**, alterada em 24/112015, em vigor no 01.03.2016.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica, disponível em: <https://www.aneel.gov.br/programa-eficiencia-energetica>, acesso em 22.12.2021

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica, disponível em: <https://www.aneel.gov.br/bandeiras-tarifarias>, acesso em 22.12.2021

AQUINO, V., Biogás: ótima fonte de energia que é pouca aproveitada, Revista eletrônica TAE, ed. 16, disponível em: <https://www.revistatae.com.br/artigo/583/biogas-otima-fonte-de-energia-que-e-pouco-aproveitada>.,2013.

ARCEIVALA, S.J., 1981, **Wastewater treatment and disposal**. Marcel Dekker, New York.

Brasil. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Probiogás. **Análise da viabilidade técnico-econômica de produção de energia elétrica em ETEs no Brasil a partir do biogás**. Probiogás; organizadores, Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ) – Brasília, DF : Ministério das Cidades, 2017.

Brasil. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Probiogás. **Guia técnico de aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto/** Probiogás; organizadores, Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ) ; – Brasília, DF : Ministério das Cidades, 2017.

BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Probiogás. Tecnologias de digestão anaeróbia com relevância para Brasil** / Probiogás; Organizadores, Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ); Autores: Carolina Cabral ... [et al.]. – Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2015a.

BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Probiogás. **Guia técnico de aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto/**Probiogás; Organizadores, Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ); Autores, Bruno Silveira ... [et al.]. – Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2015b.

BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Probiogás. **Análise da viabilidade técnico-econômica de produção de energia elétrica em ETEs no Brasil a partir do biogás/Probiogás**; Organizadores, Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ) ; autores: Sebastian Rosenfeldt et al. – Brasília, DF : Ministério das Cidades, 2016.

BERNSEN, C. J. **Desenvolvimento experimental e análise energética de um sistema triggerador para produção simultânea de calor, eletricidade e frio**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica. UFPR. 2007.

BIOGASBURNER. **Design equations for gás burner**. Informações disponíveis em <http://biogas.wikispaces.com/Biogasburners>, acesso 26/03/2011.

CABRAL, B. G. C.; PLATZER, C. J.; ROSENFELDT, S.; HOFFMANN, H.; CHERNICHARO C.A.L. **Caracterização do biogás gerado no tratamento de efluentes domésticos em reatores UASB no Brasil**. 28º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2015.

CCE – Centro para Conservação de Energia. **Guia técnico do biogás**. Lisboa, Portugal: Paulo Santos, Direção Geral de Energia (DGR) 116p, 2000.

CHERNICHARO, Carlos A. L. **Reatores anaeróbios**. 1. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 1997.

CHERNICHARO, Carlos A. L.; STUETZ, Richard M. **Improving the design and operation of UASB reactors for treating domestic wastewater: management of gaseous emissions**. In: IX Latin American Workshop and Seminar on Anaerobic Digestion, 2008, Eastern Island - Chile. Anais... Eastern Island - Chile: IWA, 2008. p. 504-512.

CHERNICHARO, Carlos A. L. **Reatores anaeróbios**. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. 380 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v.5).

CHERNICHARO, C.A.L. *et al.* **Anaerobic Sewage Treatment: State of the Art, Constraints and Challenges**. Viña del Mar. 2015.

CIBIOGÁS. **Nota Técnica: N° 002/2010 – Panorama do Biogás no Brasil em 2019**. Foz do Iguaçu, Abril de 2020.

COPEL. Companhia Paranaense de Energia elétrica. **Tarifas**, disponível em: <https://www.copel.com/hpcweb/copel-distribuicao/taxas-tarifas>, acesso em 22.12.2021.

DWA-M 363. **Origem, Tratamento e Utilização do Biogás**. DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef 2010.

EPA, ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Opportunities for Combined Heat and Power at Wastewater Treatment Facilities: Market Analysis and Lessons from the Field**. 57p. 2011.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2015**. Rio de Janeiro. 2015.

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.** Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

GARCÍA ENCINA, P. A; HIDALGO, M. D. (2005). **Influence of substrate feed patterns on biofilm development in anaerobic fluidized bed reactors.** *Process Biochemistry* 40, 2509-2516.

GIACOSA D. **Motores endotérmicos.** Madrid: Editorial dossat,1986, 722 p.

GUASCOR. **Ano novo, geração noval! Guascor implanta primeira usina do país com aproveitamento de biogás de uma Estação de Tratamento de Esgoto,** disponível em: <http://www.guascor.com.br/conexaoguascor/tag/biogas/>. Acesso em: 15 dez. 2015.

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

IBGE. CENSO DEMOGRÁFICO 2010. **População e condição no domicílio.** IBGE, 2010, disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pr/maringa.html>.

KELLEHER, B.P.; LEAHY, J.J.; HENIHAN, A.M.; O'DWYER, T.F.; SUTTON, D.; LEAHY, M.J. **Advances in poultry litter disposal technology – a review.** *Bioresour. Technol.*, 83, pp. 27–36. 2000.

KELLER, J.; HARTLEY, K. Greenhouse gas production in wastewater treatment: process selection is the major factor. **Water Science and Technology**, v. 47, n. 12, p. 43, 48, 2003.

Lema, J.M. y Méndez, R.J.; **Tratamientos biológicos anaerobios.** Chapter: Contaminación e ingeniería ambiental, volumen III, Contaminación de las aguas, Bueno, Julio, L. Sastre, H., Lavín, A. eds, F.I.C.Y.T, Oviedo, España, 1997.

LOBATO, L. C. S. **Aproveitamento energético de biogás gerado em reatores UASB tratando esgotos domésticos.** Tese de Doutorado. UFMG – Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Belo Horizonte – MG, 2011.

MARAÑÓN, E., FERNÁNDEZ, Y. Y CASTILLÓN, L. (2009). **Manual de Estado del Arte de la Co-digestión Anaerobia de Residuos Ganaderos y Agroindustriales.** Available at Proyecto Probiogás. Disponível em: www.probiogas.es

MME. Ministério de Minas e Energia, **Boletim de Monitoramento do Sistema Elétrico**, maio/2021, atualizado em 19.07.20121.

ONU/IDI, Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial, **Programa de capacitação em energias renováveis**. O Biogás. Observatório de energias renováveis para a América Latina e o Caribe. Sd.

PIEROTTI, S. M. **Avaliação da partida de reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB), em escala real, sob condições hidráulicas desfavoráveis**. 2007. 141 p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos-SP, 2007

PORTAL DO BIOGÁS. **Biogás**, disponível em: <https://www.portaldobiogas.com/biogas/>, acesso em 11.02.2022.

RIO+20, Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, **Sustentabilidade na Organização da Rio+20**, disponível em http://www.rio20.gov.br/clientes/rio20/rio20/sobre_a_rio_mais_20/estrategia-de-compensacao.html acesso em 12.02.2019.

ROSA A. P. , *et. al.*: - **Potencial energético e alternativas para o aproveitamento do biogás e lodo de reatores UASB: estudo de caso Estação de tratamento de efluentes Laboreaux (Itabira)** –Artigo Técnico - Revista Eng Sanit Ambient | v.21 n.2 | abr/jun 2016 | 315-328

ROSENFELDT, S.; CABRAL, C. B. G.; PLATZER, C. J.; HOFFMANN, H.; ARAUJO, R.A. **Avaliação da viabilidade econômica do aproveitamento energético do biogás por meio de motor-gerador em uma ETE**. 28º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2015.

SANTOS, P. Guia técnico de biogás. Portugal: Centro para a Conservação de Energia, 2000.

SNIRH, **Relatório de esgotamento sanitário municipal de Maringá**. Atlas esgotos Despoluição de bacias Hidrográficas, disponível em: http://portal1.snirh.gov.br/arquivos/Atlas_Esgoto/Paran%C3%A1/Relatorio_Geral/Maring%C3%A1.pdf. 2017.

SOUZA, C. L. **Estudo das rotas de formação, transporte e consumo dos gases metano e sulfeto de hidrogênio resultantes do tratamento de esgotos domésticos em reatores UASB**. Tese de Doutorado. UFMG – Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Belo Horizonte – MG, 2010.

Souza, S. N. M. **Manual de geração de energia elétrica a partir do Biogás** no meio rural, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2016.

STATISTISCHES BUNDESAMT *et. al.*: **Abwasser und Klärschlamm in Deutschland** - Statistische Betrachtungen Teil 2: Klärschlamm, Klärgas, Rechen und Sandfanggut - Korrespondenz Abwasser, Abfall, 2015

VALENTE, Victor Bustani. **Análise de viabilidade econômica e escala mínima de uso do biogás de reatores anaeróbios em estações de tratamento de esgoto no Brasil**. 2015. 198p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

VAN HAANDEL, A.; LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgoto**. Um manual para regiões de clima quente. Campina Grande, Brasil, Universidade Federal da Paraíba. 1994.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto**. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 2009. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. V.1).

VON SPERLING, M. **Lodos Ativados**. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 2005. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. V.4).

WALSH, J. L., ROSS, C. C., SMITH, M. S., HARPER, S. R. & WILKINS, W. A. **Handbook on biogas utilization. Georgia, Atlanta, USA**: Georgia Tech Research Institute (GTRI) and U. S. Department of Energy (DOE), 156P. 1988.

ANEXO I

GRUPO GERADOR A BIOGÁS

I. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS BÁSICAS DO GRUPO MOTOGERADOR



foto ilustrativa

GRUPO MOTOGERADOR – GMG - Características Técnicas

Marca e Modelo	ERBR GSCA420		
Fabricante	ERBR Energias Renováveis Ltda		
Potência	Emergência 420 kVA / 336 kW	Principal 380 kVA / 300 kW	Contínuo BA – 312 kVA / 250 kW pico GD - 290 kVA / 230 kW pico
Operação	BA: Barra aberta – apenas cargas selecionadas GD: Geração Distribuída em base load (24x7)		
Tensão Nominal	220V / 380 V		
QCC - Automático	Controlador Eletrônico		
Rotação	1800 rpm		
Frequência	60 Hz		
Fator de Potência	0,8		
Nº de fases	3 fases + neutro + terra		
Ligação	Estrela Aterrada com terminais acessíveis		
Nº de polos	04		
Regime de Operação	Contínuo por tempo indeterminado		
Modo de Operação	Automático		
Eficiência / Rendimento	de 32% a 35% a 100% de carga		
Acoplamento	Alternador no motor: rígido direto por flange		
Chassi	Perfis de chapa de aço carbono, dobrados em "U", soldados com tecnologia MIG, com pintura esmaltada ou epóxi pó, com conectores terminais para aterramento de 70 a 120 mm.		
Isoladores de Vibração	Instalados entre o chassi e o conjunto motogerador/arrefecimento		
Sistema de Escape	Silenciador industrial para atenuação de ruído		
Içamento	Estrutura dotada com pontos balanceados para içamento		
Proteção elétrica	Disjuntor motorizado		
Dimensões CxLxA	3200 mm X 1150 mm X 2900 mm		
Peso (Kg)	2.700 (com óleo) / 2890 (com óleo + água)		
Instalação	Abrigada sem cabine ou carenagem insonorizada		
Testes do Gerador	Individual em banco simulador de cargas ER-BR com potências até 300 kW		
	<ul style="list-style-type: none"> Todas as partes girantes expostas estão protegidas por coberturas adequadas 		

II. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS BÁSICAS DO MOTOR ER-BR

MOTOR – Características Técnicas	
Long Block	SCANIA Estacionário OC13 / 4 tempos / 6 cilindros / 24 válvulas
Fabricante	SCANIA LATIN AMÉRICA LTDA.
Modelo	ERBR / SCANIA
Ciclo	OTTO – “Long block” Original SCANIA a Gás
Combustível	BIOGÁS
Pressão do Gás	5 psi na entrada do sistema de admissão
Aspiração	Turbo alimentado
Filtro de AR	Elemento Seco
Refrigeração do Ar	Intercooler AR – AR (admissão)
Combustão	Pobre (Lean Brun) sem câmara de combustão
Cases de Escape Energia Térmica	0,69 kg/seg a 670 °C
Ignição	Módulo eletrônico
Rotação	1800 rpm
Arrefecimento	Refrigeração a água nos circuitos primário e secundário, com radiador a prova de corrosão e ventilador acoplado ao eixo do motor com fluxo de ar no sentido do motor para o radiador, com bomba de circulação de água mecânica e válvula termostática para controle de vazão;
Lubrificação	Sistema com bomba de óleo e refrigeração por trocador de calor interno ao motor
Kit Controle de Gás	Válvulas mecânicas e eletromecânicas, sensores eletrônicos para proteção do conjunto motogerador contemplando dispositivos de segurança para interrupção automática do fornecimento do gás em caso de não conformidades com sinalização no IHM local e remoto na sala de operação.
Regulador de velocidade	Regulador automático eletrônico de velocidade, capaz de manter, quando em regime, a velocidade em +/- 5% da velocidade nominal, para qualquer carga de 15% a 25% para motores utilizados em grupos geradores a gás com poder calorífico em torno de 4500 Kcal; (de 0 a 100% da carga nominal é uma característica de motores utilizados em grupos geradores a diesel); O regulador está calibrado para parar o motor em caso de sobrevelocidade de 20%, com sinalização no IHM local e remoto na sala de operação.
Volante de Inércia	Montado no motor e balanceado para velocidade constante
Sistema Elétrico	24Vcc / duas Baterias Chumbo ácida blindada 150 AH; Capacidade superior a 3 partidas consecutivas no motor de no máximo 15 segundos de duração para cada partida;
Alternador	Alternador acionado pelo motor com tensão de 24 Vcc – 1 POLO – 100A
Carregador de bateria	Tensão de saída constante com corrente limitada; Opera em regime de flutuação à tensão constante ou em regime de equalização a uma tensão constante mais alta. A bateria, totalmente descarregada, será recarregada em menos de 24 horas
Sistema de Partida	Permite acionamento automático programado, manual no local ou acionamento remoto da sala de operações; Não será permitida a partida em caso de ocorrência de não conformidades sendo as mesmas sinalizadas local e remotamente.
Sistema de Parada	Permite acionamento da parada individual ou geral dos grupos motogeradores de maneira automática programada, automática por não conformidades sendo elas sinalizadas local e remotamente, manual no local ou remota da sala de operações.
Testes do Motor	Com dinamômetro da marca Power Test e modelo PTX – 50X Series

III. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS BÁSICAS DO ALTERNADOR

GERADOR (ALTERNADOR) – Características Técnicas	
Marca e Modelo	WEG AG10250MI10AI – Síncrono
Fabricante	WEG Equipamentos Elétricos S.A.
Norma Técnica	ABNT NBR 6148 / 5432 / 6375
Excitação	Eletrônico – Brushless com bobina auxiliar
Sistema de Ligação	Trifásico
Refrigeração	Ventilação – Ventilador centrífugo montado no próprio eixo
Acoplamento	Acionamento direto no motor – tipo rígido com flange
Potência de saída	Potência nominal de 268 kW Contínuo (Base Load)
Tensão de saída	380V ou 440V
Frequência	60 Hz
Fator de Potência	0,8
Rendimento	94,1% com 100% de carga
Velocidade Síncrona	1800 rpm
Classe de isolamento	“H”
Sobrevelocidade	2250 RPM (25%)
Sobrecarga	50 % durante 1 minuto
Ligação do Estator	Estrela com Neutro acessível
Limite de Vibração	Conforme normas ABNT – NBR 7094 e IEC 60034-14
* Grau de proteção	IP-23

Regime de Operação	Contínuo a plena carga por tempo indeterminado
Excitação e Regulação	<p>Auto-excitação estática com ponte retificadora contendo diodos;</p> <p>Sistema de regulação eletrônica automática de tensão com variação máxima 1% da tensão nominal na saída do gerador, para qualquer carga até a capacidade nominal do gerador, com fator de potência 0,8, contendo dispositivo manual, para ajuste do valor de referência;</p> <p>Sistema de controle de tensão permite o controle da tensão ajustada constante ou fator de potência constante este controle é realizado pelo Módulo em conjunto com o AVR do Alternador;</p> <p>Os sistemas de excitação e controle de tensão possibilita uma faixa de operação em condição normal de 95% a 105% da tensão nominal;</p> <p>O regulador de tensão admite até 110% da tensão nominal;</p> <p>O sistema de excitação possui limitadores de sobreexcitação e subexcitação. Este controle é realizado pelo Módulo conjunto com o AVR do Alternador;</p>
Distorção harmônica	Abaixo de 4% (média de 3,5%)
Normas Técnicas	IEC 60034 / NBR 5117 / NBR 5052 / NBR 7094 / NEMA MG1 / VDE530 / ISSO8528
Certificações	UL / CSA
Preparado para funcionamento em regime contínuo à plena carga por um período indefinido de tempo	
Caixa de ligação com bornes terminais para circuitos de força e controle	

IV. CONFIGURAÇÃO DA TERMOELÉTRICA

Configuração dos Grupos Motogeradores		
Modelo ER-BR	QTD	Potência (pico)

GSCA420 420 kVA	1	230 kW (GD) / 250 kW (BA)	
Consumo Estimado de BIOGÁS			
<u>ESTIMADO</u> COM CARGA TOTAL EM GERAÇÃO DISTRIBUÍDA			
% Metano (CH₄)	kcal/Nm³	Consumo Unitário	Consumo Total
55 %	5.500	145 Nm³/h	145 Nm³/h
60 %	5.500	130 Nm ³ /h	130 Nm ³ /h
65 %	5.500	118 Nm ³ /h	118 Nm ³ /h
70 %	6.000	109 Nm ³ /h	109 Nm ³ /h
75 %	6.500	100 Nm ³ /h	100 Nm ³ /h
80 %	6.860	95 Nm ³ /h	95 Nm ³ /h
85 %	7.285	89 Nm ³ /h	89 Nm ³ /h
>90%	>9.200	76 Nm ³ /h	76 Nm ³ /h
<ul style="list-style-type: none"> • Nm³ (normal metro cúbico): CNTP (Condições Normais de Temperatura e Pressão) 25 °C / 1 ATM 			
<ul style="list-style-type: none"> • (GD) paralelismo permanente com a rede em geração distribuída e em BASE LOAD – neste tipo de operação a potência dos grupos geradores é configurada para atuar em média de <u>220 kW a 230 kW</u>, pois as variações na potência ativa da rede da concessionária (até 8%) provoca um ajuste automático na potência gerada para cima ou para baixo e esta média evita que os grupos geradores desarmem por sobrecarga. 			
IMPORTANTE:			

- A qualidade do biogás na pecuária em geral e principalmente na suinocultura sofre variações frequentes, que podem ocorrer em intervalos curtos de tempo;
- Esta variação se deve ao fato das diferentes fases na alimentação, biointervenções, aplicação de remédios, partos, vazios sanitários, variações de temperatura, etc;
- O consumo de biogás e o rendimento (kW/Nm³) dos grupos geradores depende diretamente dos manejos aplicados nas diferentes fases da produção animal, e em função disto e dos fatores expostos acima, o desempenho/rendimento dos grupos geradores pode sofrer variações imprevisíveis;
- Outro aspecto igualmente importante é que a variação do gás sulfeto de hidrogênio (H₂S) também sofre variações significativas nas diferentes fases de manejo.

ANEXO II

CAPEX E OPEX

I. CUSTO DE INVESTIMENTOS – CAPEX

FONTE: ERBR – ENERGIAS RENOVÁVEIS

GRUPO GERADOR			
ITENS	Q TD	Valor Unitário	Valor Total
GRUPO GERADOR ERBR GSCA420 BIO			
AT GD			
<ul style="list-style-type: none">Tensão 380 VKIT de injeção biogás p/ médio metano (>55%);QTA – equipado com controlador eletrônico WOODWARD EASYGEN 2500 para Gerenciamento e Controles automáticosSem carenagem	1	R\$ 583.700,00	R\$ 583.700,00
STARTUP			
<ul style="list-style-type: none">deslocamento / estadia / horas técnicas / comissionamento dos painéis - 5 dias úteis em horário comercial	1	R\$ 12.700,00	R\$ 12.700,00
TOTAL GRUPO GERADOR			R\$ 550.400,00

OPCIONAIS:

PROTEÇÃO PARA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA			
PAINEL DE PROTEÇÃO ERBR – BAIXA TENSÃO	1	R\$ 57.970,00	R\$ 57.970,00

<ul style="list-style-type: none"> Painel de proteção nos grupos geradores para geração distribuída <ul style="list-style-type: none"> - Relê eletrônico - DPS Classe 1 - Sistema NOBREAK – com carregador de baterias. 			
<p>O projeto de Geração distribuída deverá ser realizado por empresa especializada e o seu custo varia de acordo com a exigências da concessionária e da potência a ser gerada onde o enquadramento pode ser: microgeração até 75 kW ou minigeração acima de 75 kW</p>			
MONITORAMENTO REMOTO ON-LINE			
60.429 - MÓDULO IOT ERBR 4.0 SCA EG-25	1	R\$ 12.750,00	R\$ 12.750,00
ANUIDADE – ARMAZENAMENTO DE DADOS <ul style="list-style-type: none"> Custo anual para armazenamento em “nuvem” dos registros das informações sempre mantendo os últimos 12 meses de operação 	1	R\$ 600,00	R\$ 600,00
ERBR/SFP FILTRO H2S BAIXA PRESSÃO			
ITENS	Q TD	Valor Unitário	Valor Total
60802 - ERBR/SFP Dosadora de AR - 02 Rotâmetros	1	R\$ 9.700,00	R\$ 9.700,00
60902 - ERBR/SFP Secagem do Biogás 3,5 HP / 5 CV / Carvão / 380V <ul style="list-style-type: none"> Unidade condensadora 3°C a 5°C em ponto de orvalho – secagem do biogás. 	1	R\$ 43.700,00	R\$ 43.700,00
OPÇÕES DE COGERAÇÃO – ENERGIA TÉRMICA			
ITENS	Q	Valor	Valor

	TD	Unitário	Total
<p>COGERAÇÃO 350 kWt: Módulo utilizando a água do bloco do motor (170 kWt) e gases de escape (180 kWt);</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pré-aquecimento de água: 20°C a 60°C / 6 m³/h • Água circuito fechado/serpentina: 40°C a 60°C / 15 m³/h 	1	R\$ 156.700,00	R\$ 156.700,00
<p>COGERAÇÃO 180 kWt: Módulo utilizando os gases de escape</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pré-aquecimento de água: 20°C a 60°C / 4 m³/h • Água circuito fechado/serpentina: 40°C a 60°C / 7,5 m³/h 	1	R\$ 100.750,00	R\$ 100.750,00

CARENAGEM / CONTAINER INSONORIZADOS			
ITENS	Q TD	Valor Unitário	Valor Total
<p>CARENAGEM INSONORIZADA</p> <ul style="list-style-type: none"> • 85db @ 1,5m ±3db 	1	R\$ 117.000,00	R\$ 117.000,00
<p>CONTAINER ACÚSTICO "20 pés"</p> <ul style="list-style-type: none"> • 85db @ 1,5m ±3db 	1	R\$ 0,00	R\$ 0,00
ATENUAÇÃO ACÚSTICA PARA ABRIGO EM ALVENARIA - 85 DB a 1,5 mts			
ITENS	Q TD	Valor Unitário	Valor Total
<p>KIT ACÚSTICO PARA GRUPO GERADOR</p>	1	R\$ 29.200,00	R\$ 29.200,00
<p>PORTA ACÚSTICA PARA O ABRIGO</p>	1	R\$	R\$

		12.700,00	12.700,00
--	--	-----------	-----------

PRODUTOS	Q TD	Vlr. UNIT. (R\$)	Vlr. TOTAL (R\$)
<p>GRUPO GERADOR DE ENERGIA A BIOGÁS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Módulo IOT ERBR 4.0 • Painel de gerenciamento e controle automático • Painel de Proteção para Geração Distribuída 	1	R\$ 623.450,00	R\$ 623.450,00
<p>ERBR/SFP FILTRO H2S BAIXA PRESSÃO</p> <ul style="list-style-type: none"> • ERBR/SFP Dosadora de AR • ERBR/SFP Secagem do Biogás 	1	R\$ 41.870,00	R\$ 41.870,00
TOTAL GERAL			R\$ 665.320,00

II. CUSTO DE OPERAÇÃO – OPEX

Fonte: ERBR Energias Renováveis

Todas as partes e peças estão disponíveis no mercado nacional e podem ser adquiridas na rede de distribuidores SCANIA e no mercado de autopeças especializado.

CRONOGRAMA BASEADO NA QUALIDADE DO BIOGÁS: H2S < 200 ppmV e UMIDADE < 75%

A vida útil do motor pode ser prolongada ou reduzida dependendo da qualidade do biogás e dos produtos utilizados nas manutenções programadas

MÉDIA ANUAL HORAS DE OPERAÇÃO	8000 HORAS	UND	QTD	PERÍODO HORAS
Inspeção do nível de óleo do motor		MO	1	diário
Inspeção do nível de água do radiador		MO	1	
Inspeção colméia do radiador		MO	1	
Inspeção colméia do Intercooler		MO	1	
Verificação de vazamentos / sujeiras		MO	1	
Inspeção da proteção da hélice do motor		MO	1	
Inspeção da tensão das correias		MO	1	
Inspeção de barulhos anormais no motor		MO	1	
Troca de Óleo lubrificante		LT	36	250
Troca do Filtro de óleo lubrificante		PÇ	1	500
Velas de Ignição		PÇ	6	
Limpeza e lubrificação do Atuador F-séries		MO	1	
Limpeza e lubrificação do Atuador Trim Valve		MO	1	
Inspeção dos cabos de ignição		MO	1	
Inspeção tensão correia bomba d'água		MO	1	
Inspeção do Indicador de restrição do filtro de ar		MO	1	
Limpeza do intercooler		MO	1	
Limpeza do Radiador de água		MO	1	
Limpeza do Radiador de óleo da turbina		MO	1	
Limpeza do filtro rotativo do óleo lubrificante		MO	1	
Trocar anel oring do filtro rotativo		PÇ	1	
Cabo de Vela de Ignição		PÇ	6	750
Inspeção da concentração do anti-corrosivo		MO	1	1000
Ajuste de folga de válvulas do cabeçote		MO	1	1500
Troca de elemento do filtro de ar		PÇ	1	2000
Troca aditivo anti-corrosivo Radiador		LT	20	2500
Troca da turbina		PÇ	1	4000
Troca da válvula termostática+Junta		PÇ	1	
Sonda Lambda		PÇ	1	
Testes dos sensores de proteção (água e óleo)		MO	1	
Troca do cabeçote - remanufaturado		CJ	1	
Bucha de biela		PÇ	6	
Jogo de bronzinas móvel		PÇ	6	
KIT - Pistão, Anéis, Camisa com anéis orings		PÇ	6	
Bucha de balanceiros		PÇ	12	
Bomba de água		PÇ	1	
Válvula termostática		PÇ	1	6000
Anéis Oring de vedação da caneta		PÇ	6	
Junta do carter		PÇ	1	
Juntas de cabeçotes		PÇ	6	
Juntas do coletor do escapamento		PÇ	6	
Juntas do coletor de admissão		PÇ	6	
Juntas superior da tampa de válvulas		PÇ	6	
Juntas inferior da tampa de válvulas		PÇ	6	
Inspeção da bomba de óleo		MO	1	
Mangureira tanque de expansão		PÇ	1	
Mangueiras do sistema de Arrefecimento		PÇ	3	
Mangureira de arrefecimento		PÇ	1	
Correia ventilador		PÇ	1	8000
Correia bomba água e alternador		PÇ	1	
Inspeção geral do alternador		MO	1	
Desmontagem completa do motor		MO	1	
Medição da face do bloco		MO	1	24.000
Medição de comando		MO	1	
Medição de virabrequim		MO	1	
Limpeza química do bloco		MO	1	
Medição de mancal		MO	1	
Projeção de camisa		MO	1	
Buchas do comando de válvulas		PC	7	
Bronzina de mancal fixa		PC	7	
Arruela de encosto do virabrequim		PC	2	
Junta da tampa lateral do filtro rotativo		PC	1	
Juntas da tampa lateral do bloco		PC	3	
Bomba de óleo		PC	1	
Correia 8 PK		PC	1	
Correia 10 PK		PC	1	
Chicote elétrico		PC	1	

PREVENTIVA - GRUPO GERADOR COM MOTOR SCANIA OC13

Todas as partes e peças estão disponíveis no mercado nacional e podem ser adquiridas na rede de distribuidores SCANIA e no mercado de autopeças especializado.

CRONOGRAMA BASEADO NA QUALIDADE DO BIOGÁS: H2S < 200 ppmV e UMIDADE < 75%

A vida útil do motor pode ser prolongada ou reduzida dependendo da qualidade do biogás e dos produtos utilizados nas manutenções programadas

MÉDIA ANUAL HORAS DE OPERAÇÃO	8.000	UND	QTD	PERÍODO HORAS	TEMPO Hrs/Min	f			CICLOS pl ANO	PROVISÃO ANUAL			
						PREÇO VENDA	PREÇO TOTAL	CUSTO HORA					
Inspeção do nível de óleo do motor		MO	1	diário	1 hr	R\$ -	R\$ -	R\$ -	365	R\$ -			
Inspeção do nível de água do radiador		MO	1			R\$ -	R\$ -	R\$ -		R\$ -			
Inspeção colméia do radiador		MO	1			R\$ -	R\$ -	R\$ -		R\$ -			
Inspeção colméia do Intercooler		MO	1			R\$ -	R\$ -	R\$ -		R\$ -			
Verificação de vazamentos / sujeiras		MO	1			R\$ -	R\$ -	R\$ -		R\$ -			
Inspeção do respiro do carter de óleo		MO	1			R\$ -	R\$ -	R\$ -		R\$ -			
Inspeção da proteção da hélice do motor		MO	1			R\$ -	R\$ -	R\$ -		R\$ -			
Inspeção da tensão das correias		MO	1			R\$ -	R\$ -	R\$ -		R\$ -			
Inspeção de barulhos anormais no motor		MO	1			R\$ -	R\$ -	R\$ -		R\$ -			
Troca de Óleo lubrificante		LT	36			250	3 hr	R\$ 22,00		R\$ 792,00	R\$ 3,17	32,00	R\$ 25.344,00
Troca do Filtro de óleo lubrificante		PÇ	1	R\$ 198,00	R\$ 198,00			R\$ 0,79	R\$ 6.336,00				
Velas de Ignição (limpeza/ajuste ou troca)		PÇ	6	500	3 hr	R\$ 26,00	R\$ 156,00	R\$ 0,31	16,00	R\$ 2.496,00			
Limpeza e lubrificação do Atuador F-séries		MO	1			R\$ -	R\$ -	R\$ -		R\$ -			
Limpeza e lubrificação do Atuador Trim Valve		MO	1			R\$ -	R\$ -	R\$ -		R\$ -			
Inspeção dos cabos de ignição		MO	1			R\$ -	R\$ -	R\$ -		R\$ -			
Inspeção tensão correia bomba d'água		MO	1			R\$ -	R\$ -	R\$ -		R\$ -			
Inspeção da restrição do filtro de ar		MO	1			R\$ -	R\$ -	R\$ -		R\$ -			
Limpeza do intercooler		MO	1			R\$ -	R\$ -	R\$ -		R\$ -			
Limpeza do Radiador de água		MO	1			R\$ -	R\$ -	R\$ -		R\$ -			
Limpeza do Radiador de óleo da turbina		MO	1			R\$ -	R\$ -	R\$ -		R\$ -			
Limpeza do filtro rotativo do óleo lubrificante		MO	1			R\$ -	R\$ -	R\$ -		R\$ -			
Trocar anel oring do filtro rotativo		PÇ	1			R\$ 8,80	R\$ 8,80	R\$ 0,02		R\$ 140,80			
Cabo de Vela de Ignição		PÇ	6	750	20 min	R\$ 80,00	R\$ 480,00	R\$ 0,64	10,67	R\$ 5.120,00			
Inspeção da concentração do anti-corrosivo		MO	1	1000	2 hr	R\$ -	R\$ -	R\$ -	8,00	R\$ -			
Ajuste de folga de válvulas do cabeçote		MO	1			R\$ -	R\$ -	R\$ -		R\$ -			
Troca de elemento do filtro de ar		PÇ	1	1500	20 min	R\$ 158,00	R\$ 158,00	R\$ 0,11	5,33	R\$ 842,67			
Troca aditivo anti-corrosivo Radiador		LT	20	2000	1 hr	R\$ 45,00	R\$ 900,00	R\$ 0,45	4,00	R\$ 3.600,00			
Troca da turbina		PÇ	1	2500	2 hr	R\$ 2.700,00	R\$ 2.700,00	R\$ 1,08	3,20	R\$ 8.640,00			
Troca da válvula termostática+Junta		PÇ	1	4000	1 hr	R\$ 580,00	R\$ 580,00	R\$ 0,15	2,00	R\$ 1.160,00			
Sonda Lambda		PÇ	1			R\$ 1.080,00	R\$ 1.080,00	R\$ 0,27		R\$ 2.160,00			
Testes dos sensores de proteção (água/óleo)		MO	1			R\$ -	R\$ -	R\$ -		R\$ -			
Troca do cabeçote - remanufaturado		CJ	1			R\$ 19.000,00	R\$ 19.000,00	R\$ 3,17		R\$ 25.333,33			
Bucha de biela		PÇ	6			R\$ 320,00	R\$ 1.920,00	R\$ 0,32		R\$ 2.560,00			
Jogo de bronzinas móvel		PÇ	6			R\$ 330,00	R\$ 1.980,00	R\$ 0,33		R\$ 2.640,00			
KIT - Pistão, Anéis, Camisa com anéis orings		PÇ	6			R\$ 7.500,00	R\$ 45.000,00	R\$ 7,50		R\$ 60.000,00			
Bucha de balanceiros		PÇ	12			R\$ 178,00	R\$ 2.136,00	R\$ 0,36		R\$ 2.848,00			
Bomba de água		PÇ	1			R\$ 1.800,00	R\$ 1.800,00	R\$ 0,30		R\$ 2.400,00			
Válvula termostática		PÇ	1			R\$ 650,00	R\$ 650,00	R\$ 0,11		R\$ 866,67			
Anéis Oring de vedação da caneta		PÇ	6	R\$ 8,00	R\$ 48,00	R\$ 0,01	R\$ 64,00						
Junta do carter		PÇ	1	R\$ 230,00	R\$ 230,00	R\$ 0,04	R\$ 306,67						
Juntas de cabeçotes		PÇ	6	R\$ 406,00	R\$ 2.436,00	R\$ 0,41	R\$ 3.248,00						
Juntas do coletor do escapamento		PÇ	6	R\$ 45,00	R\$ 270,00	R\$ 0,05	R\$ 360,00						
Juntas do coletor de admissão		PÇ	6	R\$ 52,00	R\$ 312,00	R\$ 0,05	R\$ 416,00						
Juntas superior da tampa de válvulas		PÇ	6	R\$ 41,12	R\$ 246,72	R\$ 0,04	R\$ 328,96						
Juntas inferior da tampa de válvulas		PÇ	6	R\$ 41,12	R\$ 246,72	R\$ 0,04	R\$ 328,96						
Inspeção da bomba de óleo		MO	1	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -						
Mangureira tanque de expansão		PÇ	1	8000	3 hrs	R\$ 195,00	R\$ 195,00	R\$ 0,02	1	R\$ 195,00			
Manguejas do sistema de Arrefecimento		PÇ	3			R\$ 109,00	R\$ 327,00	R\$ 0,04		R\$ 327,00			
Mangureira de arrefecimento		PÇ	1			R\$ 37,00	R\$ 37,00	R\$ 0,00		R\$ 37,00			
Correia ventilador		PÇ	1			R\$ 260,00	R\$ 260,00	R\$ 0,03		R\$ 260,00			
Correia bomba água e alternador		PÇ	1			R\$ 580,00	R\$ 580,00	R\$ 0,07		R\$ 580,00			
Inspeção geral do alternador		MO	1			R\$ 5.800,00	R\$ 5.800,00	R\$ 0,73		R\$ 5.800,00			
TOTAL GERAL ANUAL										R\$ 164.739,05			
CUSTO HORA MEDIO ANUAL										R\$ 20,59			

OVERHAUL - ESTRUTURA DO MOTOR SCANIA OC13

CRONOGRAMA BASEADO NA QUALIDADE DO BIOGÁS: H2S < 200 ppmV e UMIDADE < 75%

A vida útil do motor pode ser prolongada ou reduzida dependendo da qualidade dos produtos utilizados nas manutenções periódicas realizadas nos equipamentos;

Seleção de valor: 1=sim 0=não

DESCRIÇÃO PEÇAS E SERVIÇOS	UND	QTD	PERÍODO HORAS	TEMPO Hrs/Min	PREÇO VENDA	PREÇO TOTAL	CUSTO HORA	CICLOS p/ ANO	PROVISÃO ANUAL
Desmontagem completa do motor	MO	1	24.000	160 hrs (30 dias)	R\$ 7.000,00	R\$ 7.000,00	R\$ 0,29	0,33	R\$ 2.333,33
Medição da face do bloco	MO	1			R\$ 700,00	R\$ 700,00	R\$ 0,03		R\$ 233,33
Medição de comando	MO	1			R\$ 550,00	R\$ 550,00	R\$ 0,02		R\$ 183,33
Medição de virabrequim	MO	1			R\$ 1.350,00	R\$ 1.350,00	R\$ 0,06		R\$ 450,00
Limpeza química do bloco	MO	1			R\$ 1.150,00	R\$ 1.150,00	R\$ 0,05		R\$ 383,33
Medição de mancal	MO	1			R\$ 340,00	R\$ 340,00	R\$ 0,01		R\$ 113,33
Projeção de camisa	MO	1			R\$ 980,00	R\$ 980,00	R\$ 0,04		R\$ 326,67
Buchas do comando de válvulas	PC	7			R\$ 235,00	R\$ 1.645,00	R\$ 0,07		R\$ 548,33
Bronzina de mancal fixa	PC	7			R\$ 190,00	R\$ 1.330,00	R\$ 0,06		R\$ 443,33
Arruela de encosto do virabrequim	PC	2			R\$ 190,00	R\$ 380,00	R\$ 0,02		R\$ 126,67
Junta da tampa lateral do filtro rotativo	PC	1			R\$ 160,00	R\$ 160,00	R\$ 0,01		R\$ 53,33
Juntas da tampa lateral do bloco	PC	3			R\$ 68,00	R\$ 204,00	R\$ 0,01		R\$ 68,00
Bomba de óleo	PC	1			R\$ 2.650,00	R\$ 2.650,00	R\$ 0,11		R\$ 883,33
Correia 8 PK	PC	1			R\$ 280,00	R\$ 280,00	R\$ 0,01		R\$ 93,33
Correia 10 PK	PC	1			R\$ 580,00	R\$ 580,00	R\$ 0,02		R\$ 193,33
Chicote elétrico	PC	1			R\$ 2.650,00	R\$ 2.650,00	R\$ 0,11		R\$ 883,33
TOTAL					R\$ 21.949,00	R\$ 0,91			R\$ 7.316,33
Custo hora médio anual								R\$ 0,91	

US\$ DOLAR
5,25

CUSTO LIFE CICLE 5 ANOS - 8.000 HORAS/ANO

PERÍODO	**Mão de Obra	EQUIPAMENTOS	PEÇAS UNITÁRIO	PEÇAS TOTAL	PEÇAS+MO	CUSTO HORA	CUSTO HORA US\$
1º Ano	R\$ 153.000,00	1	R\$ 164.739,05	R\$ 164.739,05	R\$ 317.739,05	R\$ 39,72	\$ 7,57
2º Ano	R\$ 153.000,00		R\$ 164.739,05	R\$ 164.739,05	R\$ 317.739,05	R\$ 39,72	\$ 7,57
3º Ano - Overhaul	R\$ 153.000,00		R\$ 186.688,05	R\$ 186.688,05	R\$ 339.688,05	R\$ 42,46	\$ 8,09
4º Ano	R\$ 153.000,00		R\$ 164.739,05	R\$ 164.739,05	R\$ 317.739,05	R\$ 39,72	\$ 7,57
5º Ano	R\$ 153.000,00		R\$ 164.739,05	R\$ 164.739,05	R\$ 317.739,05	R\$ 39,72	\$ 7,57
Total Período	R\$ 765.000,00		R\$ 845.644,27	R\$ 845.644,27	R\$ 1.610.644,27	R\$ 40,27	\$ 7,67
Média Anual	R\$ 153.000,00		R\$ 169.128,85	R\$ 169.128,85	R\$ 322.128,85	R\$ 40,27	\$ 7,67

MAO DE OBRA PARA OPERAÇÃO DA TERMOELETRICA

salário	encargos	salário+encargos	qtd	total mês	total anual
R\$ 2.500,00	1,7	R\$ 4.250,00	3	R\$ 12.750,00	R\$ 153.000,00

3 funcionários - turnos de 8 horas - Operação 24 hrs diárias
Turnos de 24 horas:

1 colaborador das 7:00 hrs às 17:00 hrs
1 colaborador das 17:00 hrs às 6:00 hrs - 12 hrs x 36 hrs
1 folguista

participação semestral por cumprimento de meta
(R\$/kWgerado)

PREVENTIVA - GRUPO GERADOR COM MOTOR SCANIA OC13

Todas as partes e peças estão disponíveis no mercado nacional e podem ser adquiridas na rede de distribuidores SCANIA e no mercado de autopeças especializado.

CRONOGRAMA BASEADO NA QUALIDADE DO BIOGÁS: H2S < 200 ppmV e UMIDADE < 75%

A vida útil do motor pode ser prolongada ou reduzida dependendo da qualidade do biogás e dos produtos utilizados nas manutenções programadas

MÉDIA ANUAL HORAS DE OPERAÇÃO	8000 HORAS	UND	QTD	PERÍODO HORAS	TEMPO Hrs/Min	CICLOS p/ ANO
Inspeção do nível de óleo do motor		MO	1	diário	1 hr	365
Inspeção do nível de água do radiador		MO	1			
Inspeção colméia do radiador		MO	1			
Inspeção colméia do Intercooler		MO	1			
Verificação de vazamentos / sujeiras		MO	1			
Inspeção do respiro do carter de óleo		MO	1			
Inspeção da proteção da hélice do motor		MO	1			
Inspeção da tensão das correias		MO	1			
Inspeção de barulhos anormais no motor		MO	1			
Troca de Óleo lubrificante		LT	36	250	3 hr	32,00
Troca do Filtro de óleo lubrificante		PÇ	1			
Velas de Ignição		PÇ	6	500	3 hr	16,00
Limpeza e lubrificação do Atuador F-séries		MO	1			
Limpeza e lubrificação do Atuador Trim Valve		MO	1			
Inspeção dos cabos de ignição		MO	1			
Inspeção tensão correia bomba d'água		MO	1			
Inspeção do Indicador de restrição do filtro de ar		MO	1			
Limpeza do intercooler		MO	1			
Limpeza do Radiador de água		MO	1			
Limpeza do Radiador de óleo da turbina		MO	1			
Limpeza do filtro rotativo do óleo lubrificante		MO	1			
Trocar anel oring do filtro rotativo		PÇ	1			
Cabo de Vela de Ignição		PÇ	6	750	20 min	1,67
Inspeção da concentração do anti-corrosivo		MO	1	1000	2 hr	8,00
Ajuste de folga de válvulas do cabeçote		MO	1			
Troca de elemento do filtro de ar		PÇ	1	1500	20 min	5,33
Troca aditivo anti-corrosivo Radiador		LT	20	2000	1 hr	4,00
Troca da turbina		PÇ	1	2500	2 hr	3,20
Troca da válvula termostática+Junta		PÇ	1	4000	1 hr	2,00
Sonda Lambda		PÇ	1			
Testes dos sensores de proteção (água e óleo)		MO	1			
Troca do cabeçote - remanufaturado		CJ	1			
Bucha de biela		PÇ	6			
Jogo de bronzinas móvel		PÇ	6			
KIT - Pistão, Anéis, Camisa com anéis orings		PÇ	6			
Bucha de balanceiros		PÇ	12			
Bomba de água		PÇ	1			
Válvula termostática		PÇ	1			
Anéis Oring de vedação da caneta		PÇ	6			
Junta do carter		PÇ	1			
Juntas de cabeçotes		PÇ	6			
Juntas do coletor do escapamento		PÇ	6			
Juntas do coletor de admissão		PÇ	6			
Juntas superior da tampa de válvulas		PÇ	6			
Juntas inferior da tampa de válvulas		PÇ	6			
Inspeção da bomba de óleo		MO	1			
Mangueira tanque de expansão		PÇ	1	8000	3 hrs	1
Mangueiras do sistema de Arrefecimento		PÇ	3			
Mangueira de arrefecimento		PÇ	1			
Correia ventilador		PÇ	1			
Correia bomba água e alternador		PÇ	1			
Inspeção geral do alternador		MO	1			
Desmontagem completa do motor		MO	1			
Medição da face do bloco		MO	1			
Medição de comando		MO	1			
Medição de virabrequim		MO	1			
Limpeza química do bloco		MO	1			
Medição de mancal		MO	1			
Projeção de camisa		MO	1			
Buchas do comando de válvulas		PC	7			
Bronzina de mancal fixa		PC	7			
Arruela de encosto do virabrequim		PC	2			
Junta da tampa lateral do filtro rotativo		PC	1			
Juntas da tampa lateral do bloco		PC	3			
Bomba de óleo		PC	1			
Correia 8 PK		PC	1			
Correia 10 PK		PC	1			
Chicote elétrico		PC	1			