

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E CIÊNCIAS
AMBIENTAIS

Andressa Krewer Facin

ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA, ECONÔMICA E AMBIENTAL DA
GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS EM UMA ESTAÇÃO
DE TRATAMENTO DE EFLUENTES SANITÁRIOS

Caxias do Sul

2024

Andressa Krewer Facin

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA, ECONÔMICA E AMBIENTAL DA
GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS EM UMA ESTAÇÃO
DE TRATAMENTO DE EFLUENTES SANITÁRIOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais – PPGECAM da Universidade de Caxias do Sul, como requisito para a obtenção de grau de mestre em Engenharia e Ciências Ambientais.

Orientador(a):

Prof.^a Dr.^a Renata Cornelli

Caxias do Sul

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Universidade de Caxias do Sul
Sistema de Bibliotecas UCS - Processamento Técnico

F141a Facin, Andressa Krewer

Análise de viabilidade técnica, econômica e ambiental da geração de energia elétrica a partir do biogás em uma estação de tratamento de efluentes sanitários [recurso eletrônico] / Andressa Krewer Facin. – 2024.

Dados eletrônicos.

Dissertação (Mestrado) - Universidade de Caxias do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais, 2024.

Orientação: Renata Cornelli.

Modo de acesso: World Wide Web

Disponível em: <https://repositorio.ucs.br>

1. Energia renovável. 2. Sustentabilidade e meio ambiente. 3. Biogás. 4. Estudos de viabilidade. I. Cornelli, Renata, orient. II. Título.

CDU 2. ed.: 620.92

Catalogação na fonte elaborada pela(o) bibliotecária(o)
Ana Guimarães Pereira - CRB 10/1460

Andressa Krewer Facin

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA, ECONÔMICA E AMBIENTAL DA
GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS EM UMA ESTAÇÃO
DE TRATAMENTO DE EFLUENTES SANITÁRIOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais – PPGECAM da Universidade de Caxias do Sul, como requisito para a obtenção de grau de mestre em Engenharia e Ciências Ambientais.

Orientador(a):

Prof.^a Dr.^a Renata Cornelli

Aprovada em: 28 de novembro de 2024.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Paulo André Cremonez

Universidade Federal do Paraná – UFPR

Prof.^a Dr.^a Maria Carolina Rosa Gullo

Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Dr. Roque Alberto Zin

Universidade de Caxias do Sul – UCS

Dedicatória

Dedico este trabalho a todos aqueles que não desistem dos seus sonhos, independente das dificuldades encontradas ao longo do caminho.

Resumo

Considerando a crescente demanda por energia e os consequentes problemas ambientais associados ao uso de fontes fósseis, surge a necessidade da busca por fontes renováveis e sustentáveis. O biogás surge como uma alternativa e uma potencial fonte de energia renovável, visto que é composto basicamente por metano, tem potencial calorífico e é formado através da decomposição da matéria orgânica, colaborando também com o tratamento destes. Dentro deste contexto, este estudo teve por objetivo analisar a viabilidade técnica, econômica e ambiental da geração de energia elétrica a partir do biogás oriundo de uma Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) sanitários. Para tanto, determinou-se o potencial de geração de energia com base em dados primários coletados na ETE de Cachoeira do Sul/RS, após foi realizada uma revisão sistemática da literatura, onde definiu-se que as metodologias econômicas mais adequadas eram o *Payback* Simples e Descontado, o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Custo Nivelado de Energia (LCOE). Em seguida, definiu-se quais as faixas populacionais seriam convenientes, optando-se por trabalhar com quatro cenários (de 50 a 450 mil habitantes), procedeu-se os cálculos e por fim estimou-se a quantidade evitada de carbono equivalente emitido para a atmosfera. O processo de digestão anaeróbia dos efluentes demonstrou eficiência uma vez que a quantidade de biogás produzido é suficiente para a geração de energia elétrica, apresentando assim a viabilidade técnica do projeto. A viabilidade financeira é alcançável principalmente em cenários que atendem populações maiores, a partir de 200 mil habitantes. Por fim, verificou-se que a utilização do biogás contribui significativamente para a redução das emissões de gases de efeito estufa, evitando a emissão entre 3.356,24 tCO₂eq para o cenário 1 a 30.206,12 tCO₂eq para o cenário 4. A geração de energia elétrica a partir do biogás em estações de tratamento de efluentes sanitários é uma solução sustentável e economicamente viável, que pode contribuir significativamente para a matriz energética brasileira e para a preservação ambiental.

Palavras-chave: energia renovável; sustentabilidade; viabilidade financeira.

Abstract

Considering the growing demand for energy and the consequent environmental problems associated with the use of fossil fuels, there is a need to search for renewable and sustainable sources. Biogas emerges as an alternative and a potential source of renewable energy, since it is composed basically of methane, has calorific potential and is formed through the decomposition of organic matter, also collaborating with the treatment of these. Within this context, this study aimed to analyze the technical, economic and environmental feasibility of generating electricity from biogas originating from a sanitary Effluent Treatment Plant (ETE). To this end, the energy generation potential was determined based on primary data collected at the ETE of Cachoeira do Sul/RS, after a systematic review of the literature was carried out, where it was defined that the most appropriate economic methodologies were Simple and Discounted Payback, Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR) and Levelized Cost of Energy (LCOE). Next, the population ranges that would be suitable were defined, opting to work with four scenarios (from 50 to 450 thousand inhabitants), calculations were made and finally the avoided quantity of equivalent carbon emitted into the atmosphere was estimated. The anaerobic digestion process of the effluents demonstrated efficiency since the quantity of biogas produced is sufficient to generate electricity, thus demonstrating the technical feasibility of the project. Financial feasibility is achievable mainly in scenarios that serve larger populations, from 200 thousand inhabitants. Finally, it was found that the use of biogas contributes significantly to the reduction of greenhouse gas emissions, avoiding emissions between 3,356.24 tCO₂eq for scenario 1 and 30,206.12 tCO₂eq for scenario 4. The generation of electricity from biogas in sewage treatment plants is a sustainable and economically viable solution, which can contribute significantly to the Brazilian energy matrix and to environmental preservation.

Keywords: renewable energy; sustainability; financial viability.

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	16
2. OBJETIVOS	19
2.1 OBJETIVO GERAL.....	19
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3. REFERENCIAL TEÓRICO	20
3.1 ESGOTAMENTO SANITÁRIO.....	20
3.1.1 Panorama do Brasil.....	22
3.1.2 Panorama do Rio Grande do Sul	24
3.2 TRATAMENTO DE EFLUENTE ATRAVÉS DE REATORES ANAERÓBIOS.....	25
3.2.1 Reator UASB.....	28
3.3 MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA	30
3.4 BIOGÁS.....	33
3.4.1 Biogás e geração de energia elétrica.....	36
3.4.2 Biogás no Brasil	37
3.4.3 Biogás e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODSs)	40
4. METODOLOGIA.....	43
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	43
4.2 COLETA E ANÁLISES DAS AMOSTRAS DA ETE DE CACHOEIRA DO SUL	46
4.3 DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS	47
4.4 METODOLOGIA DE ANÁLISE TÉCNICA	48
4.4.1 Estabelecimento do cálculo da produção teórica de biogás	48
4.4.2 Cálculo da potência gerada a partir do biogás.....	50
4.5 METODOLOGIAS DE ANÁLISE ECONÔMICA	50
4.5.1 Revisão sistemática das metodologias econômicas	50
4.5.2 Metodologias de análise econômica	52
4.5.3 Taxa Mínima de Atratividade	56
4.5.4 Descrição dos equipamentos necessários para adaptação da ETE	56
4.6 METODOLOGIA DE ANÁLISE AMBIENTAL	61
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
5.1 ANÁLISE TÉCNICA.....	63
5.1.1 Produção teórica de biogás e potência gerada da ETE.....	63
5.1.2 Vazões e potência dos cenários.....	64
5.2 ANÁLISE ECONÔMICA	66
5.2.1 Premissas do estudo.....	66

5.2.2 Custos de investimento	67
5.2.3 Custos de operação e manutenção	70
5.2.4 Custos evitáveis	71
5.2.5 Viabilidade econômica	72
5.3 ANÁLISE AMBIENTAL	75
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	78
7. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	80
REFERÊNCIAS.....	81
APÊNDICE.....	105
ANEXO	106

Lista de figuras

Figura 1. Volume de efluente sanitário coleta e tratado por região do Brasil.	24
Figura 2. Processo de digestão anaeróbia	27
Figura 3. Desenho esquemático reator UASB.....	30
Figura 4. Participação de renováveis na matriz energética	31
Figura 5. Fontes de energia renovável	31
Figura 6. Fontes de energia não renovável	31
Figura 7. Categorias das “outras fontes” de energia renovável.....	32
Figura 8. Participação de energia elétrica renovável.....	32
Figura 9. Fontes de energia elétrica utilizada no Brasil.....	33
Figura 10. Número de plantas e volume de biogás gerado em 2021 no Brasil.	39
Figura 11. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.....	40
Figura 12. Localização do município de Cachoeira do Sul.....	44
Figura 13. Imagem da ETE	45
Figura 14. Revisão sistemática	51
Figura 15. Resultados revisão sistemática	52
Figura 16. Desenho esquemático do sistema de geração de energia a partir do biogás.....	57
Figura 17. Gasômetro	58
Figura 18. Moto gerador ciclo Otto.	59
Figura 19. Queimador de segurança.....	60
Figura 20. Medidor de vazão de biogás.	61
Figura 21. Analisador multigases.	61
Figura 22. Equivalência do metano em relação ao dióxido de carbono	62

Lista de quadros

Quadro 1. Etapas de tratamento de efluentes sanitários	21
Quadro 2. Vantagens da produção de energia elétrica a partir do biogás.....	37
Quadro 3. Identificação das amostras.....	46
Quadro 4. Premissas utilizadas no estudo	66

Lista de tabelas

Tabela 1. Resultado do cálculo teórico de produção de biogás e da potência gerada	63
Tabela 2. Vazões e potência gerados no cenário 1	64
Tabela 3. Vazões e potência gerados no cenário 2	64
Tabela 4. Vazões e potência gerados no cenário 3	64
Tabela 5. Vazões e potência gerados no cenário 4	65
Tabela 6. Estimativa do consumo de energia elétrica para os cenários	65
Tabela 7. Custos dos equipamentos para o cenário 1	67
Tabela 8. Custos dos equipamentos para o cenário 2	68
Tabela 9. Custos dos equipamentos para o cenário 3	68
Tabela 10. Custos dos equipamentos para o cenário 4	68
Tabela 11. Custos de medição e segurança	69
Tabela 12. Custo total de investimento por cenário	70
Tabela 13. Custo de operação e manutenção mensal	71
Tabela 14. Valor médio o kWh	71
Tabela 15. Custos evitáveis por ano em cada cenário	72
Tabela 16. Análise de viabilidade econômica para o cenário 1	72
Tabela 17. Análise de viabilidade econômica para o cenário 2	73
Tabela 18. Análise de viabilidade econômica para o cenário 3	73
Tabela 19. Análise de viabilidade econômica para o cenário 4	73
Tabela 20. Vazão volumétrica e mássica anual de metano	76
Tabela 21. Vazão volumétrica e mássica anual de metano	76

Lista de abreviaturas e siglas

ABIOGÁS	Associação Brasileira de Biogás
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN	Balanco Energético Nacional
BNTD	Biblioteca Nacional de Teses e Dissertações - Capes
CENBIO	Centro Nacional de Referência em Biomassa
CH ₄	Metano
CIBiogás	Centro Internacional de Energias Renováveis
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CORSAN	Companhia Riograndense de Saneamento
DQO	Demanda química de oxigênio
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
GEE	Gases do Efeito Estufa
GLP	gás liquefeito de petróleo
H ₂ S	Sulfeto de hidrogênio
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
LATAM	Laboratório de Tecnologias Ambientais
LCOE	Custo Nivelado de Energia
N ₂	Nitrogênio
NH ₃	Amônia
O ₂	Oxigênio
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OIE	oferta interna de energia
ONU	Organização das Nações Unidas
Opep	Organização dos Países Exportadores de Petróleo
Plansab	Plano Nacional de Saneamento Básico
PROBIOGÁS	Projeto de Fomento ao Aproveitamento Energético de

	Biogás no Brasil
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket
	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
UCS	Universidade de Caxias do Sul
VPL	Valor Presente Líquido

Lista de unidades de medida

%	Porcentagem
kcal/m ³	Quilocaloria por metro cúbico
kg	Quilograma
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt hora
kWh/mês	Quilowatt hora por mês
kWh/ano	Quilowatt hora por ano
kVA	Quilovolt Ampere
HP	<i>Horsepower</i>
m ³	Metro cúbico
m ³ /h	Metro cúbico por hora
m ³ /ano	Metro cúbico por ano
m ³ /kg	Metro cúbico por quilograma
MWh	Megawatt hora
tCO ₂ eq	Tonelada de dióxido de carbono equivalente

1. INTRODUÇÃO

À medida que a população mundial cresce e a globalização se expande, hábitos e costumes mudam e, com a disponibilidade de tecnologia, aumenta a demanda por energia. Isso tem levado ao consumo acelerado, alimentando a atividade industrial e a extração de recursos naturais, resultando em uma série de problemas ambientais, sociais e estruturais (JACOBOWSKI, 2018).

Considerando que historicamente o sistema energético mundial se estruturou em torno de fontes de energia fósseis, sendo um grande emissor de dióxido de carbono (CO₂) e demais gases do efeito estufa (GEE) as ações de descarbonização e de mitigação do aquecimento global caracterizam-se como pontos principais para reestruturação da matriz energética dos países. Essas ações também dependem, necessariamente, de iniciativas para políticas energéticas que darão suporte à difusão de fontes de energia mais limpas e renováveis (LOSEKANN e TAVARES, 2020).

As transformações energéticas pelas quais o mundo deve passar nos próximos anos envolvem muitas possibilidades quanto à sua natureza e ritmo. Existe uma gama de caminhos possíveis para esta transição, considerando as diferenças econômicas, institucionais e os tipos de energia utilizados pelos países. Assim, tantos os desafios impostos quanto às estratégias a serem adotadas por cada país, são heterogêneos, pois cada experiência conta com objetivos particulares e os instrumentos de política energética também são diversos (LOSEKANN e TAVARES, 2020).

No Brasil, diferentemente da maioria dos demais países, no ano de 2021, aproximadamente 44,7% da matriz energética era composta por energias de fontes consideradas renováveis como biomassa de cana, lenha e carvão vegetal, hidráulica, eólica, biogás, entre outros (EPE, 2022). Desta forma, observa-se que a diversidade e a abundância de fontes de energia, bem como a elevada participação de fontes renováveis no sistema elétrico particularizam o caso do Brasil (LOSEKANN e TAVARES, 2020).

Por outro lado, não há como separar a questão energética da situação do saneamento básico, pois a matriz energética brasileira também é basicamente alicerçada no uso dos recursos hídricos. Com a oportunidade de adoção de novos

conceitos, existe a possibilidade de reconsiderar o atual ciclo do saneamento, onde os efluentes sanitários constituem-se como uma fonte diversificada de recursos, podendo ser reutilizada a água do seu tratamento e até extraída energia durante o processo. Além disso, considerando que a produção de esgotos é constante, pode-se afirmar que estes são uma fonte de recursos estável e desperdiçada diariamente, muitas vezes por desconhecimento ou por fatores culturais, deixando-se de aproveitar o real potencial destes (PEREIRA, 2016).

Estima-se que no Brasil sejam produzidas diariamente 9,1 mil toneladas de efluentes sanitários conforme informação disponível no Atlas do Esgoto (ANA, 2017). Entre as formas de tratamento mais consolidadas no país estão os reatores anaeróbios com centenas de unidades implantadas em sistemas de saneamento básico e um amplo número de unidades no setor industrial (PEREIRA, 2016). O tratamento anaeróbio gera como subproduto o biogás, constituído em sua quase totalidade de metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), apresentando ainda traços de outros elementos tais como CO, N_2 , NH_3 e H_2S (CABRAL *et al.*, 2016).

A produção de biogás a partir da digestão anaeróbia é considerada uma promissora fonte de energia renovável, além de também colaborar com o tratamento de materiais orgânicos, entre outros (SOARES, FEIDEN e TAVARES, 2018). O biogás possui alta composição energética e propriedades muito semelhantes ao gás natural, tornando-o adequado para diversas aplicações (JACOBOWSKI, 2018).

O aproveitamento do biogás pode oferecer importantes benefícios ambientais, econômicos, energéticos e sociais, representando uma fonte alternativa e renovável de energia cada vez mais utilizada em todo o mundo (CABRAL *et al.*, 2016). Além disso, pode ser visto como uma fonte privilegiada, uma vez que as energias convencionais apresentam custos crescentes de produção e impactos socioambientais relevantes (VIEIRA E POLLI, 2020) e configurando-se como uma das opções importantes que podem substituir gradualmente o petróleo, que enfrenta um aumento demanda e pode se esgotar (ABREU *et al.*, 2011).

Considerando o estágio atual dos serviços de coleta e tratamento de esgotos no Brasil, o potencial de aproveitamento energético do biogás é pouco expressivo, limitado a algumas estações de tratamento que possuem reatores anaeróbios ou digestores de lodo. A elevada concentração da população brasileira em grandes centros urbanos e a expressiva produção agropecuária e agroindustrial (e, portanto, de resíduos e efluentes domésticos, agropecuários e agroindustriais), mostra que o

aproveitamento do biogás no Brasil encontra-se bastante aquém do seu potencial (ZANETTE, 2009).

Desta forma, fica clara a importância de implantar sistemas que unam as tecnologias disponíveis, no entanto, alguns estudiosos têm afirmado que faltam políticas viabilizando a entrada destas tecnologias usadas nas estações de beneficiamento do biogás no Brasil (VIEIRA e POLLI, 2020). Uma das maneiras de oportunizar e incentivar novos projetos sobre este tema, é a realização da análise de viabilidade técnica, econômica e ambiental de novos projetos ou da adaptação de ETEs para utilização do biogás. A viabilidade técnica e econômica compara o valor do investimento inicial a ser realizado em determinado projeto e seus benefícios econômicos, permitindo a criação de um fluxo de caixa referente a esses investimentos, despesas e receitas, a fim de determinar os indicadores econômicos que serão alcançados com o projeto. Esta análise pode ser desenvolvida na implantação de um novo negócio, na expansão de um negócio já existente e no investimento para redução de custos (CONFORTO, 2011; MICUANSKI, 2014). Já a análise ambiental envolve identificação e a avaliação dos potenciais impactos ambientais de um projeto. Essa ferramenta também se torna essencial para a tomada de decisões sobre investimentos, pois ajuda a reconhecer os riscos ambientais relacionados ao projeto e a estabelecer medidas de mitigação apropriadas para reduzir os efeitos negativos (PROPERTY MANAGEMENT, 2024).

2. OBJETIVOS

Neste capítulo são apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos da presente dissertação.

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste estudo é analisar a viabilidade técnica, econômica e ambiental da geração de energia elétrica a partir do biogás oriundo do tratamento anaeróbio com base nos dados coletados na estação de tratamento de efluentes sanitários do município de Cachoeira do Sul/RS.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Com vistas a atender o objetivo geral dessa dissertação, são apresentados os seguintes objetivos específicos:

- a) realizar uma revisão sistemática das metodologias econômicas;
- b) determinar o potencial de geração de energia a partir do biogás com base nas coletas realizadas na ETE de Cachoeira do Sul/RS;
- c) definir as faixas populacionais que serão utilizadas na análise econômica;
- d) aplicar as metodologias econômicas escolhidas, com base na revisão sistemática;
- e) determinar, com base na redução da emissão de gases de efeito estufa (GEE), a viabilidade ambiental.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

O capítulo de referencial teórico apresentará os conceitos considerados relevantes para o desenvolvimento deste estudo, como o panorama do esgotamento sanitário do país e no Rio Grande do Sul, o tratamento de efluentes através de reatores anaeróbios e especificamente em reator UASB, um levantamento da matriz energética brasileira, dos usos do biogás e por fim, as contribuições da utilização do biogás para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

3.1 ESGOTAMENTO SANITÁRIO

Efluentes sanitários podem ser definidos como o despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas (RIO GRANDE DO SUL, 2006). Sem receber o tratamento adequado, pode causar danos à saúde pública por meio de transmissão de doenças, pode afetar os recursos hídricos e a vida vegetal e animal ao poluir fontes, rios e mares (ZILLOTI, 2012).

As principais fontes de esgoto sanitário referem-se ao uso de água para abastecimento de edifícios residenciais, comerciais e estabelecimentos com instalações para banheiros, lavanderias, cozinhas ou uso doméstico de água. São compostos por cerca de 99,9% de líquidos e somente 0,1% de sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, além dos micro-organismos, variando qualitativamente e quantitativamente de acordo com o uso da água. O líquido serve apenas como um veículo para as impurezas que os humanos excretam rotineiramente, como água do banho, urina, fezes, restos de comida, detergentes, água de lavagem e demais atividades diárias (VON SPERLING M., 1996; FUNASA, 2016). Já as substâncias componentes da fração sólida dos esgotos dependem dos costumes, da situação social e econômica da população, bem como do clima, entre outros (FUNASA, 2016).

Segundo Von Sperling (1996), a composição dos efluentes líquidos urbanos é dividida por características químicas e biológicas, sendo que o sistema de tratamento precisa necessariamente ser capaz de remover os sólidos em suspensão, a matéria orgânica, os nutrientes e alguns tipos de organismos

patogênicos. As etapas do processo de tratamento, segundo o mesmo autor que são divididas em preliminar, primária, secundária, terciária e desinfecção, conforme Quadro 1.

Quadro 1. Etapas de tratamento de efluentes sanitários

Etapa	Descrição do processo
Preliminar	Ocorre a remoção de grandes sólidos e areia para proteger as demais unidades de tratamento, os dispositivos de transporte (bombas e tubulações) e os corpos receptores
Primária	Ocorre a remoção dos sólidos em suspensão não grosseiros, ainda presentes no efluente, por meio de unidade de sedimentação, reduzindo também a matéria orgânica presente neste. Os sólidos sedimentáveis flutuantes são retirados por meio de mecanismos físicos, via decantadores. Os esgotos fluem pelos decantadores permitindo que os sólidos em suspensão de maior densidade sedimentem gradualmente no fundo, formando o lodo primário bruto. Os materiais flutuantes como graxas e óleos, de menor densidade, são removidos na superfície. Após as fases primária e secundária a eliminação de DBO deve alcançar 90%.
Secundária	Ocorre a remoção de sólidos e de matéria orgânica não sedimentável e, eventualmente, nutrientes como nitrogênio e fósforo. É nesta etapa que acontece a remoção biológica dos poluentes com o objetivo de produzir um efluente em conformidade com o padrão de lançamento previsto na legislação ambiental. Basicamente, são reproduzidos os fenômenos naturais de estabilização da matéria orgânica que ocorrem no corpo receptor, sendo que a diferença está na maior velocidade do processo, na necessidade de utilização de uma área menor e na evolução do tratamento em condições controladas.
Terciária	Ocorre a remoção de poluentes tóxicos ou não biodegradáveis ou eliminação adicional de poluentes não degradados na fase secundária.
Desinfecção	A desinfecção total pode ser feita pelo processo natural, como a lagoa de maturação, ou pelo processo artificial através da cloração, ozonização ou radiação ultravioleta

Fonte: Adaptado de VON SPERLING, 1996.

O esgotamento sanitário é constituído pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais necessárias à coleta, ao transporte, ao tratamento e à disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até sua destinação final para a produção de água de reuso ou seu lançamento de forma adequada no meio ambiente (SNIS, 2022). A coleta e o tratamento de esgotos são essenciais para o saneamento básico. Essas

ações representam promoção de saúde pública e manutenção de recursos naturais, entre eles, os corpos hídricos onde é captada a água para abastecimento público. Nos domicílios, a maior parte da água se transforma em esgoto após usos como lavagem de roupa e louça, limpeza e higiene pessoal. As impurezas incorporadas precisam ser removidas antes do retorno a ambientes naturais (SNIS, 2022).

A Lei nº 11.445/2007, atualizada pela Lei nº 14.026/2020 (BRASIL, 2020), define saneamento básico como o conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, de esgotamento sanitário, de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. A prestação dos serviços é orientada pela visão integrada dos quatro componentes e sua articulação com políticas de desenvolvimento urbano e regional, de habitação, de combate à pobreza e de sua erradicação, de proteção ambiental, de promoção da saúde, de recursos hídricos e de outras áreas de interesse social relevante, destinadas à melhoria da qualidade de vida para as quais o saneamento básico seja fator determinante.

De acordo com a Resolução nº 430/2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) o lançamento de esgotos nos corpos receptores só é legalmente permitido quando as águas residuárias não alteram o enquadramento proposto para o corpo de água receptor e, concomitantemente, atendam aos padrões de lançamento estabelecidos pela mesma (CONAMA, 2011). No entanto, a realidade do país apresenta outro panorama, onde apenas uma parcela do esgoto sanitário recebe o devido tratamento para lançamento em corpos receptores, causando grandes impactos ao meio ambiente e a saúde pública (CAMPOS *et al.*, 2017).

3.1.1 Panorama do Brasil

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Brasil possui 5.570 municípios, e a projeção populacional nacional no ano de 2021 era de aproximadamente 213 milhões de habitantes (IBGE, 2021).

Desde 1996, ano de implementação do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), vinculado ao Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional do Governo Federal, o Brasil possui um banco de dados

estruturado, que permite avaliar a evolução dos serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário. Como produto deste banco de dados, no ano de 2022, foi lançado o “Diagnóstico Temático - Serviços de Água e Esgoto - Visão Geral”, tendo como base o ano de 2021. O documento reúne as informações da prestação de serviços de esgotamento sanitário em 4.774 municípios (85,7% dos 5.570 do país), vinculados ao SNIS, abrangendo assim 95,1% da população total (202,8 milhões) (SNIS, 2022).

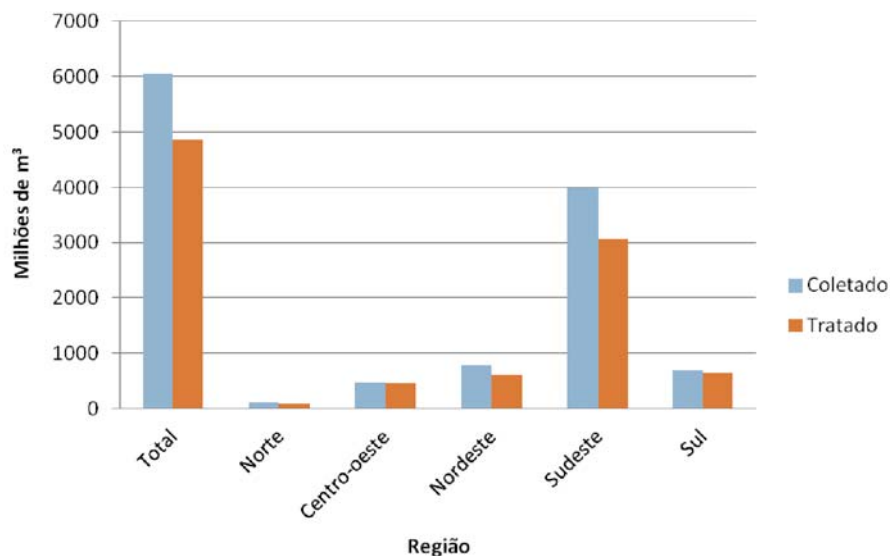
Segundo o SNIS (2022) aproximadamente 50% do total de municípios, ou seja, 2.787 cidades, contam com sistemas públicos de esgotamento sanitário. Em outros 1.987 municípios (35,7%) são utilizadas soluções alternativas individuais como fossa séptica, fossa rudimentar, vala a céu aberto e lançamento em cursos d'água. Dessas alternativas, apenas a fossa séptica é considerada como adequada pelo Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab).

Foram identificados 365 mil quilômetros de redes públicas de esgotamento sanitário, verificando uma expansão de 2,6 mil quilômetros em relação a 2020 e ampliando a cobertura do serviço para 2,7 milhões de habitantes do país ao atendimento, o que representa crescimento de 2,4% em relação a 2020. As redes de esgotos abrangem 55,8% da população total (117,3 milhões de habitantes). Os maiores índices são os da macrorregião Sudeste (81,7% e 85,9%, respectivamente) e os menores, da Norte (14,0% e 18,4%, respectivamente) (SNIS, 2022).

Em 2021, o volume de esgotos coletados chegou a 6,0 bilhões de m³, sendo que destes foram tratados 4,9 bilhões de m³, totalizando um índice geral de 51,2% de tratamento dos efluentes gerados no país. Foram contabilizadas 36,4 milhões de ligações a rede pública de esgoto, que atendem a 40,3 milhões de residências. Em relação a 2020, foram registradas 423,2 mil novas ligações e 1,3 milhão de residências ativas foram incorporadas ao sistema público (SNIS, 2022).

No gráfico da Figura 1 apresenta-se a quantidade de esgoto coletado e a quantidade de esgoto tratado por região, onde se verifica que o maior índice de tratamento ocorre nas regiões centro-oeste e sul, com 95% e 94%, respectivamente, e o menor índice na região sudeste com 77% (SNIS, 2022).

Figura 1. Volume de efluente sanitário coleta e tratado por região do Brasil.



Fonte: Adaptado de SNIS, 2022.

Pereira (2016) destaca que o saneamento básico no Brasil tem apresentado uma crescente evolução nas últimas décadas. Os tratamentos empregados podem ser coletivos, através de redes coletoras que direcionam para uma estação de tratamento de efluente (ETE) ou alternativas descentralizadas, como fossa séptica, fossa biodigestoras, entre outros. Desta forma, pode-se observar que as tecnologias de tratamento de esgoto disponíveis e em operação no Brasil variam bastante, principalmente em função da quantidade de população atendida, nível de renda da municipalidade, área disponível, confiabilidade, eficiência, simplicidade, custos de investimento e operação, dentre outros (MOREIRA, 2017).

3.1.2 Panorama do Rio Grande do Sul

De acordo com o IBGE (2021) estado do Rio Grande do Sul conta com aproximadamente 11,5 milhões de habitantes ao longo dos seus 497 municípios. Deste montante 7,545 milhões de habitantes mora em residências sem coleta de esgoto no estado (SNIS, 2021). Em termos práticos, isso indica que 66,1% da população gaúcha não está ligada à rede geral de esgoto, um índice maior que as médias da região Sul e do Brasil. Excetuando a pequena parcela de moradias situadas na zona rural ou em áreas urbanas isoladas, cujo esgoto é usualmente

descartado sem coleta e tratamento – em fossas sépticas, por exemplo –, a maior parte dos dejetos humanos e da água utilizada por essa população retornou ao meio ambiente in natura, o que vem afetando sobremaneira o meio ambiente da região e, também, dos municípios a jusante nas bacias hidrográficas (TRATA BRASIL, 2023).

Entretanto, o maior problema identificado quanto ao sistema de saneamento do estado do Rio Grande do Sul foi a falta de tratamento do esgoto, que, mesmo com um aumento de 11,2% entre os anos de 2010 a 2021, tem-se que apenas 25,3% dos dejetos gerados recebe tratamento antes de retornar ao meio ambiente. Nesse sentido, em 3 de cada 4 das residências no estado, ocorre somente o afastamento do esgoto do local de geração, ocasionando um o déficit de 74,2% no tratamento de esgoto em 2021 (SNIS, 2021; TRATA BRASIL, 2023).

Analisando especificamente o município onde foram realizadas as análises do efluente, neste caso Cachoeira do Sul, verificou-se que este conta com uma população de 81.522 habitantes, sendo 85,53% localizados em área urbana e 14,47% em área rural (IBGE, 2021). De acordo com SNIS em 2019 somente 30,62% da população tinha acesso a serviços de esgotamento sanitário. Esses valores vão de encontro com os dados disponibilizados pela Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN, 2022), operadora dos serviços no município, onde verificou-se que aproximadamente 28.000 habitantes são atendidos pela Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) da cidade.

3.2 TRATAMENTO DE EFLUENTE ATRAVÉS DE REATORES ANAERÓBIOS

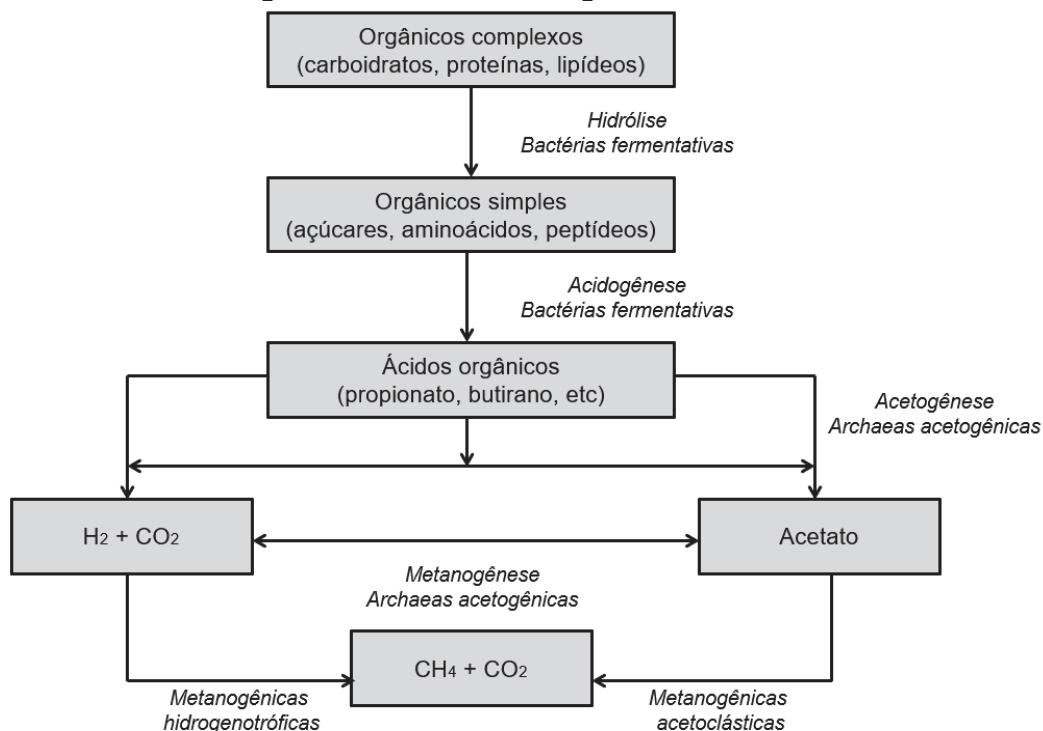
O descarte de efluentes não tratados no meio ambiente pode causar alterações nas características do solo e da água, provocando o desequilíbrio dos ecossistemas envolvidos por meio de processos de poluição e contaminação de alto impacto. Além disso, a destinação adequada de efluentes com potencial de poluição é prevista por lei por seu grau de nocividade. Desta forma, o tratamento destes efluentes se insere como uma necessidade inerente, sendo a mescla de processos químicos, físicos e biológicos com a finalidade de eliminar os elementos contaminantes contidos nestes que após serem tratados, podem retornar à natureza ou serem reutilizados em diferentes processos (FERNANDES *et al.*, 2020).

Dentro deste contexto estão as Estações de Tratamento de Esgotos comumente chamadas de ETE, cuja principal finalidade é o tratamento dos esgotos domésticos anteriormente ao descarte destes no corpo receptor, garantindo assim a qualidade do meio ambiente e o bem-estar da população. Além disso, as estações se apresentam como fundamentais infraestruturas no âmbito socioambiental e promovem condições cada vez mais indispensáveis à qualidade de vida humana nas cidades (MOREIRA, 2017).

Granato (2003) e Brito (2011), definem a digestão de matéria orgânica como um processo natural, que ocorre de forma espontânea, pois os compostos orgânicos complexos são transformados em substâncias mais simples através da ação combinada de diferentes microrganismos. Quando a decomposição ocorre por via aeróbia (presença de oxigênio) a matéria orgânica é basicamente convertida em dióxido de carbono, água e sais minerais, enquanto no processo anaeróbio (sem presença de oxigênio) formam-se principalmente compostos como o metano, dióxido de carbono e água. Este último processo é que possibilita a transformação de um material orgânico complexo em compostos como o biogás.

A digestão anaeróbia também pode ser definida como uma complexa interação de diferentes microrganismos, os quais degradam a matéria orgânica presente até a forma final de, principalmente, metano e dióxido de carbono (SOARES, FEIDEN e TAVARES, 2018). Uma vez que nenhum grupo de microrganismos apresenta condições de transformar diretamente matéria orgânica complexa nos produtos do processo anaeróbio, a digestão anaeróbia só se completa pela atuação de vários grupos de microrganismos, ocorrendo à transformação sequencial do substrato (CABRAL, 2016). Esses grupos de microrganismos trabalham interativamente na conversão da matéria orgânica em metano, gás carbônico, água, gás sulfídrico, amônia, e novas células bacterianas. Para que os processos metabólicos da digestão anaeróbia ocorram é necessária a atividade conjunta de ao menos três grupos de microrganismos distintos: as bactérias fermentativas ou acidogênicas, as bactérias sintróficas acetogênicas e os microrganismos metanogênicos (LOBATO, 2011). Segundo Kunz, Steinmetz e Amaral (2019) o processo de digestão anaeróbia pode ser dividido em quatro fases, sendo: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese conforme se apresenta na Figura 2.

Figura 2. Processo de digestão anaeróbia



Fonte: Adaptado de CHERNICHARO (2007).

Na hidrólise ocorre a degradação dos compostos de alta massa molecular como os lipídios, polissacarídeos e proteínas em substâncias orgânicas mais simples e solúveis. Esse processo ocorre pela ação de enzimas extracelulares excretadas pelas bactérias hidrolíticas. Na fase acidogênica, os produtos solúveis formados na fase anterior são utilizados como substratos por diferentes bactérias anaeróbias e facultativas, sendo degradados a ácidos orgânicos de cadeia curta, e outros compostos como álcoois, óxidos de nitrogênio, sulfeto de hidrogênio, hidrogênio e dióxido de carbono. A etapa de acetogênese é considerada crítica ao processo, sendo conduzida por um grupo de bactérias denominadas acetogênicas. Essas bactérias estabelecem relação de simbiose com as arqueas metanogênicas e as bactérias homoacetogênicas. Nessa etapa os ácidos de cadeia longa são transformados em ácidos com apenas um ou dois átomos de carbono (fórmico e acético), com a concomitante produção de hidrogênio e dióxido de carbono. A etapa final, metanogênese, ocorre em condições estritamente anaeróbias. Deste modo, o carbono contido na biomassa é convertido a dióxido de carbono e metano através da ação das arqueas metanogênicas. As arqueas metanogênicas são divididas de

acordo com suas vias metabólicas em acetoclástica e hidrogenotróficas. As arqueas metanogênicas acetoclásticas convertem acetato a metano e as arqueas metanogênicas hidrogenotróficas convertem hidrogênio e dióxido de carbono a metano (DEUBLEIN E STEINHAUSER, 2011; KUNZ, STEINMETZ E AMARAL, 2019).

A associação de reatores anaeróbios com lagoas de estabilização para o tratamento de esgoto vem ganhando destaque no cenário nacional, uma vez que traz alguns benefícios como: eficiência na remoção da carga orgânica, sistema mais compacto do que em relação aos sistemas convencionais de tratamento por reduzir a demanda de área útil, e, em alguns casos, valorização dos subprodutos resultantes da degradação biológica para fins nobres. Além disso, as estações de tratamento de esgoto consomem energia, e suas variações diferenciam entre si de acordo com os diferentes sistemas biológicos de tratamento de efluentes adotados. Portanto, os Reatores anaeróbios utilizados em algumas ETE's podem ser automatizados para fins de aproveitamento energético, levando-se em conta a eficiência de processos de tratamento integrados, os custos de implantação, e as características locais e regionais (VIEIRA, 2012).

Este processo tem sido aplicado para o tratamento de efluentes tanto em países desenvolvidos como naqueles em desenvolvimento. Contudo, sua eficiência é afetada por uma série de fatores que vão desde as condições ambientais e de operação do sistema, natureza do substrato, até as características do biodigestor (SOARES, FEIDEN e TAVARES, 2018).

3.2.1 Reator UASB

Reator *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*, também conhecido como UASB, ou reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo, é uma das formas mais eficientes atualmente no processo de degradação biológica. A concentração de biomassa no reator é bastante elevada, justificando a denominação de manta de lodo, por isso, o tempo de retenção hidráulica é pequeno, sendo o sistema mais adequado na degradação biológica de resíduos líquidos, baseado no processo de estabilização de matéria orgânica como resíduos agroindustriais e tratamento de esgoto (VIEIRA, 2012; ZILOTTI, 2012).

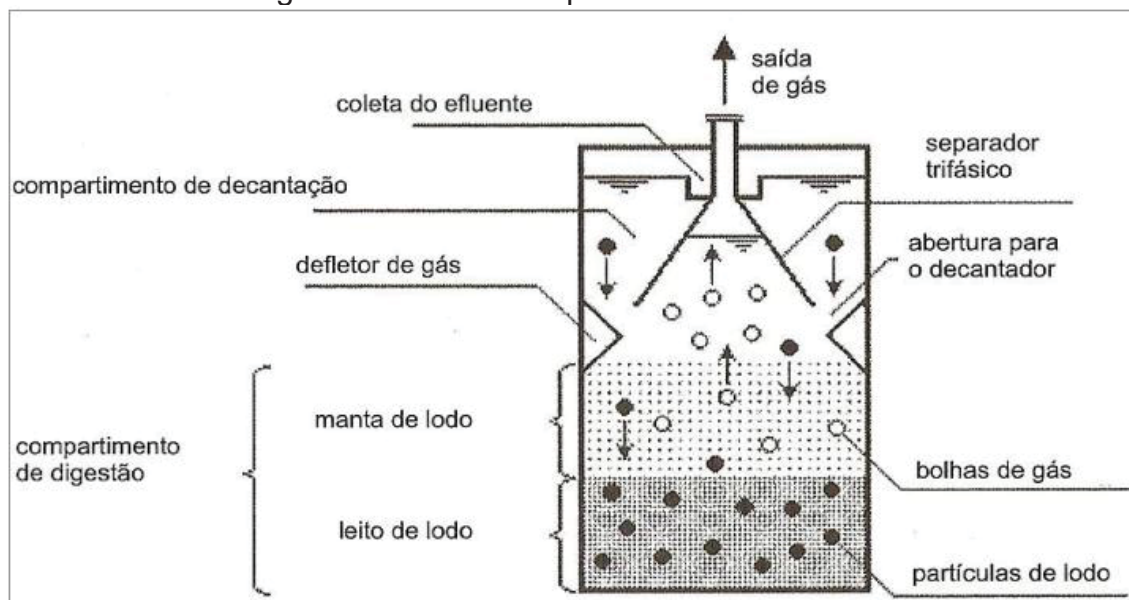
O perfil do reator caracteriza-se por uma distribuição do lodo biológico variando de muito denso e com boas condições de sedimentação, próximas ao fundo - leito de lodo, até uma zona de crescimento bacteriano mais disperso (lodo menos concentrado) e com piores condições de sedimentação denominada manta de lodo. A estabilização da matéria orgânica ocorre em todo o compartimento de digestão (leito e manta de lodo), sendo a mistura do sistema promovida pelo fluxo ascensional do esgoto e das bolhas de gás (CABRAL, 2016).

O esgoto afluente entra no reator UASB continuamente por meio de um sistema de distribuição no fundo do reator e passa em fluxo ascendente pelo leito e manta de lodo, onde ocorre a digestão anaeróbia, favorecida pelo contato e mistura intensiva do substrato (esgoto sanitário com a matéria orgânica) com a biomassa (lodo). A manta de lodo é composta por microrganismos, que formam flocos suspensos ou grânulos densos. O efeito da floculação da biomassa resulta em características favoráveis à sedimentação e permite sua permanência no reator com tempo de retenção celular suficientemente elevado (maior que 30 dias) para estabilizar a biomassa formada (BRASIL, 2017).

Após a finalização da 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 maior parte, é mantida na parte inferior do reator por adesão nos flocos (pellets) e sedimentação. Uma parte da biomassa pode ser arrastada com o efluente junto com as bolhas de gás até a parte superior do reator, onde se encontra então o separador trifásico (BRASIL, 2017). No entorno e acima do separador trifásico encontra-se o compartimento de decantação, onde o lodo mais pesado é removido da massa líquida, retornando ao compartimento de digestão, enquanto as partículas mais leves são perdidas junto ao efluente final. As bolhas de gás que se formam no compartimento de digestão sobem na fase líquida até encontrarem a interface líquido-gás, presente abaixo do separador trifásico. Nessa interface as bolhas se desprendem, formando uma fase gasosa. Essa atmosfera apresenta fluxo de saída por meio de tubulações, as quais devem conduzir o biogás a algum tipo de tratamento e/ou aproveitamento. As bolhas de gás que se formam verticalmente abaixo das aberturas do separador trifásico precisam ser desviadas para evitar que passem pelas mesmas aberturas, criando turbulências no compartimento de decantação. Para tanto se colocam obstáculos que funcionam

como defletores de gás abaixo das aberturas (CHERNICHARO, 2007). O desenho esquemático de um reator UASB é apresentado na Figura 3.

Figura 3. Desenho esquemático reator UASB



Fonte: Chernicharo (2007)

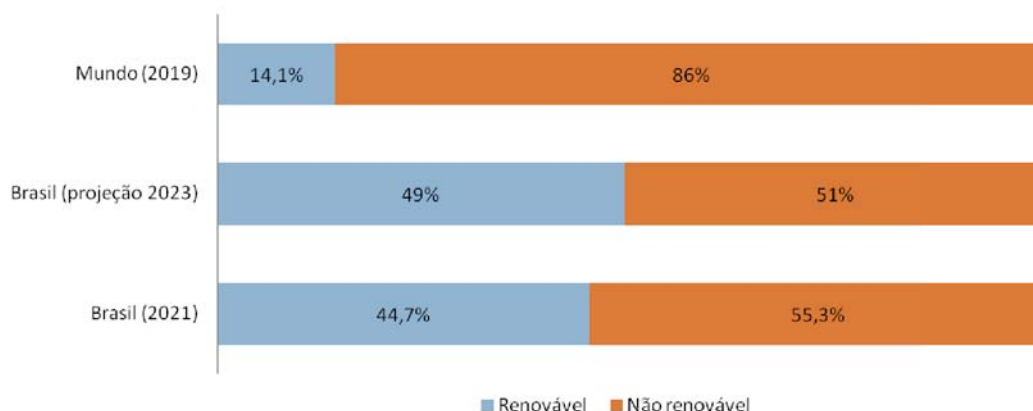
3.3 MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

Segundo Peixe (2018) o Brasil possui uma das matrizes energéticas mais limpas do mundo. O Balanço Energético Nacional (BEN) publicado em 2022, tendo como ano base 2021, apresenta que naquele ano a oferta interna de energia (OIE), que consiste no total de energia disponibilizada no país, atingiu a marca de 301,5 Mtep, com um avanço de 4,5% em relação a 2020, estando este aumento próximo a taxa de crescimento do PIB.

Entretanto, comparando-se com o ano de 2020, houve uma redução de 3,8% da participação de renováveis na matriz energética, principalmente pela queda na oferta de energia hidráulica, associada à escassez hídrica e a necessidade do acionamento das usinas termelétricas. Por outro lado, registrou-se o incremento das fontes eólica e solar na geração de energia elétrica (perda zero) e o biodiesel, que contribuíram para que a matriz energética brasileira se mantivesse em um patamar renovável de 44,7%, muito superior ao observado no resto do mundo (EPE, 2022). Ainda, de acordo com o Ministério de Minas e Energia (EPE, 2022), estima-se que

no ano de 2023 a proporção de renováveis na oferta interna de energia aumentará, atingindo cerca de 49% de participação conforme apresenta no gráfico da Figura 4.

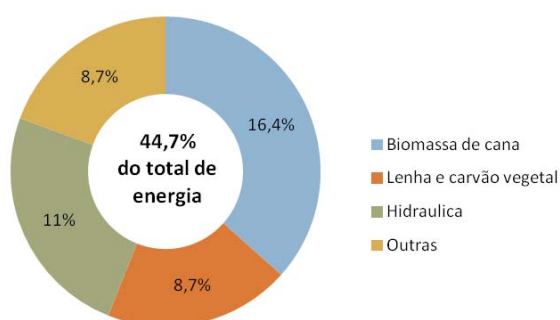
Figura 4. Participação de renováveis na matriz energética



Fonte: Adaptado de EPE (2022).

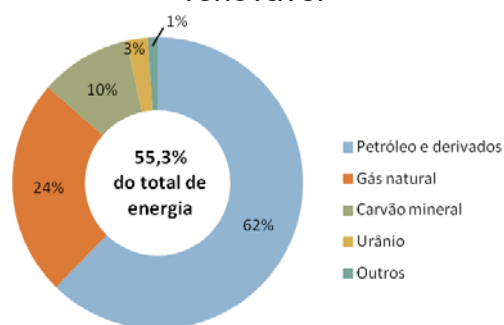
A matriz energética brasileira é proveniente de 44,7% de fontes renováveis e 55,3% de fontes não renováveis, dividida de acordo com o apresentado nos gráficos da Figura 5 e Figura 6 (EPE, 2022).

Figura 5. Fontes de energia renovável



Fonte: Adaptado de EPE (2022).

Figura 6. Fontes de energia não renovável

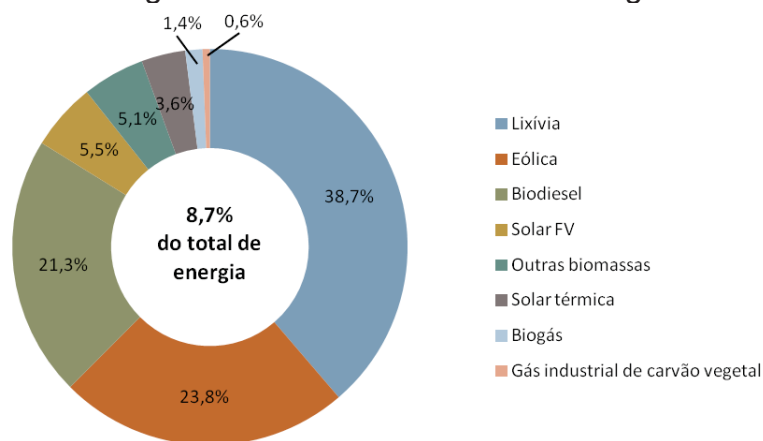


Fonte: Adaptado de EPE (2022).

Quanto a categoria “Outras” nas fontes renováveis, a divisão se dá entre 8 grupos de fontes de energia com maiores participações da lixívia, energia eólica e biodiesel, que somados são equivalentes a mais de 80% de “Outras renováveis”. Destaca-se a participação do Biogás, com 1,4%, e que teve um aumento de 20,9%

em sua utilização, se comparado com o ano de 2020, conforme apresentado no gráfico da Figura 7 (EPE, 2022).

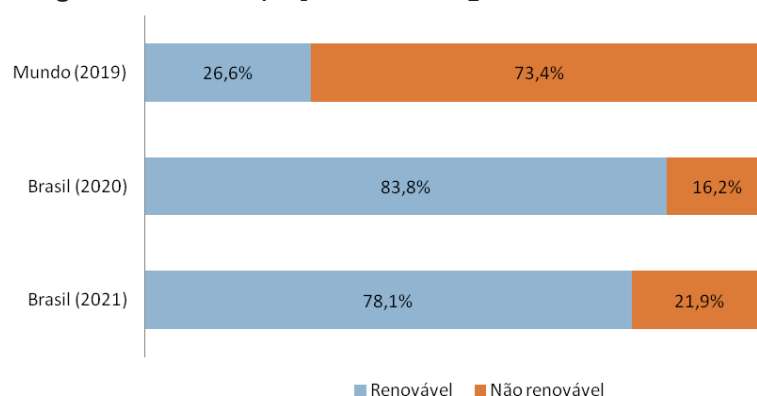
Figura 7. Categorias das “outras fontes” de energia renovável



Fonte: Adaptado de EPE (2022).

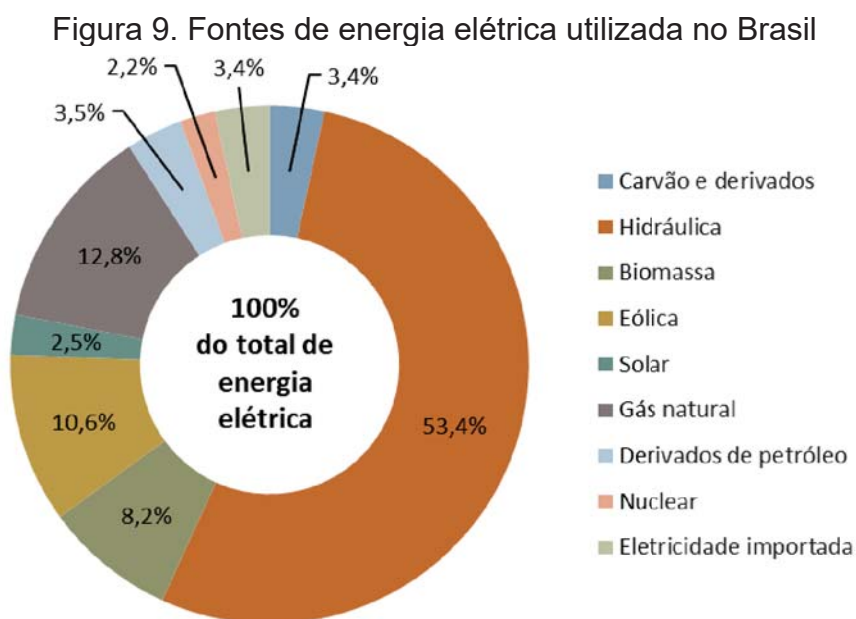
Se considerada somente a matriz elétrica brasileira, a participação de renováveis é ainda mais expressiva, comparando-se ao restante do mundo, conforme se apresenta no gráfico da Figura 8. Entretanto, analisando a participação de renováveis tem-se uma redução destes no ano de 2021, também atribuída à escassez 2021 que provocou uma redução do nível dos reservatórios das principais hidrelétricas do país e a consequente redução da oferta de hidreletricidade. Esta queda foi compensada pelo aumento da oferta de outras fontes, como o carvão, gás natural, eólica e solar fotovoltaica (EPE, 2022).

Figura 8. Participação de energia elétrica renovável



Fonte: Adaptado de EPE (2022).

Entre a participação de energia elétrica oriunda de fontes renováveis, pode ser observado no gráfico da Figura 9, que em maior percentual está a hidráulica (53,4%), seguida pela eólica (10,6%), a biomassa (8,2%), a eletricidade importada (3,4%) e a solar (2,5%).



Fonte: Adaptado de EPE (2022).

Entre as três principais fontes de energia elétrica, em terceiro lugar está a biomassa. O percentual referente a esse tipo de energia inclui bagaço de cana-de-açúcar, lixo, lenha, e outras fontes primárias, como por exemplo, o biogás. Ainda segundo o Balanço Energético Nacional (2022) a capacidade instalada de geração a Biogás por UF (MW) está mais concentrada nas regiões com maior potencial de produção de matéria orgânica, resíduos agrícolas, urbanos, industriais e florestais, como São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Bahia e Pernambuco.

3.4 BIOGÁS

O biogás foi descoberto no século 17, por Alessandro Volta, e começou a ser produzido em larga escala em biodigestores espalhados pela China e Índia com a intenção de atender as necessidades energéticas na zona rural (VIEIRA E POLLI, 2020; ZILLOTI, 2012). Antigamente era tido somente como um subproduto da digestão anaeróbia, no entanto, atualmente tem aumentado sua relevância diante da

necessidade de utilização de fontes renováveis, que sejam economicamente viáveis e auxiliem na preservação dos recursos naturais esgotáveis. As suas principais fontes são os resíduos urbano e doméstico, lodo das estações de tratamento de esgoto, resíduos agrícolas, efluentes industriais e dejetos de animais (ABIOGAS, 2018; MITO *et al.*, 2018; VIEIRA E POLLI, 2020).

A produção de biogás a partir da digestão anaeróbia de efluentes domésticos é considerada uma promissora fonte de energia renovável, além de também colaborar com o tratamento de materiais orgânicos (SOARES, FEIDEN e TAVARES, 2018). Depende da quantidade de matéria orgânica presente nos efluentes e das características do processo de tratamento, sendo que a disponibilidade de material biodegradável depende da população atendida pelos serviços de coleta e tratamento de efluentes e da produção de matéria orgânica biodegradável por pessoa (CABRAL, 2016). Entretanto, este processo pode ser afetado por diferentes fatores, devendo-se buscar as melhores condições possíveis, evitando principalmente mudanças bruscas, pois estas podem provocar um desequilíbrio no processo e afetar o desempenho da digestão adversamente, podendo até resultar na sua interrupção (SOARES, FEIDEN e TAVARES, 2018).

O biogás é um produto gasoso resultante da mistura de gases do processo de degradação da matéria orgânica na ausência de oxigênio, ou seja, em um processo anaeróbio a partir da biomassa animal e vegetal. Os seus principais componentes são o metano e o dióxido de carbono, que variam de acordo com a origem do resíduo (ABIOGAS, 2018; MITO *et al.*, 2018; GONZALEZ *et al.*, 2009). Porém o biogás contém ainda pequenas quantidades de hidrogênio, gás sulfídrico, oxigênio, amônia e nitrogênio, entretanto, é difícil definir com precisão sua composição, pois essa depende das características da biomassa residual, temperatura, umidade, acidez, ausência de oxigênio, critérios de fermentação e do tipo de biodigestor e sua operação (LUCIO, 2015).

O potencial energético do biogás varia em função da presença de metano na sua composição, quanto maior o volume de metano presente no biogás maior será o seu poder calorífico (ROSSETO, 2014). Quando este é originário de aterros, a proporção de metano é, em média, de 50%, quando é gerado em reatores anaeróbios de efluentes a concentração média é mais elevada, atingindo 65% (CENBIO, 2001).

De acordo com Montoya *et al.* (2013) o biogás e o gás natural possuem poder calorífico semelhante com o mesmo processo de formação, realizado por meio da decomposição anaeróbia da matéria orgânica. A diferença entre eles é que o gás natural não é formado pela circulação do material orgânico presente na superfície terrestre (DA SILVA, 2017). Com a queima do gás natural, o carbono retorna para seu ciclo na atmosfera e, quando o material orgânico é convertido em biogás, não há liberação adicional de dióxido de carbono, e sim, o aproveitamento do potencial de energia que está armazenado na matéria orgânica. O poder calorífico do biogás pode variar de 5.000 kcal/m³ a 7.000 kcal/m³, em função da porcentagem com que o metano participa da sua composição, podendo chegar a 12.000 kcal/m³ se eliminado todo o gás carbônico da mistura (KARLSSON *et al.*, 2014).

Conforme Lobato (2011) o conteúdo energético do biogás, considerando concentrações de metano entre 60 e 70%, pode ser recuperado para diferentes aplicações, tais como: (i) uso direto como combustível em caldeiras, fornos e estufas em substituição aos outros tipos de combustíveis; (ii) geração de eletricidade para uso local ou venda para a rede da concessionária de energia; (iii) cogeração de eletricidade e calor; (iv) combustível alternativo visando à injeção na linha de gás natural ou o aproveitamento como combustível veicular. No meio rural pode ser utilizado, principalmente, para cocção, iluminação, refrigeração de alimentos e aquecimento de água. Além desses usos, também tem utilidade em processos térmicos para secagem de insumos. Neste último caso, o biogás gerado em estações de tratamento de esgoto doméstico e efluentes industriais pode ser utilizado para secagem e higienização do lodo da própria estação. Apesar dos diversos usos possíveis, atualmente o biogás é utilizado para produção de calor e principalmente para a geração de eletricidade (TRICASE e LOMBARDI, 2009).

O biogás pode ser usado nas mesmas aplicações que o gás natural ou mesmo o gás liquefeito de petróleo (GLP), ambos extraídos de fontes de recursos não renováveis. Pode ser utilizado em turbinas a gás ou motores de combustão interna para acionamento de equipamentos mecânicos como exaustores, ventiladores e bombas, além de geradores para produção de energia elétrica. Também pode ser usado como combustível em caldeiras para melhorar a eficiência térmica de uma planta (PEIXE, 2018).

3.4.1 Biogás e geração de energia elétrica

A energia elétrica não só desempenha um papel importante no desenvolvimento econômico e regional, mas também contribui para a melhoria da vida das pessoas por meio de usos finais, como iluminação e dispositivos de conforto, e quando são utilizados recursos renováveis para gerá-la, também é afetada, de maneira positiva, a qualidade ambiental (JACOBOWSKI, 2018). Dentro do contexto da sustentabilidade brasileira e mundial, encontra-se a energia renovável, também conhecida como energia limpa, que é apresentada como uma alternativa a fim de atender as necessidades da sociedade, porém considerando a qualidade e segurança de atendimento da demanda de eletricidade e diminuição dos impactos ambientais, ocasionados pelo intenso consumo de energia (SANTANA *et al.*, 2020).

Entre as fontes renováveis, está o aproveitamento energético do biogás, que pode oferecer importantes benefícios ambientais, econômicos, energéticos e sociais, representando uma opção cada vez mais utilizada em todo o mundo (CABRAL *et al.*, 2016). Este aproveitamento pode ser visto como uma fonte privilegiada, uma vez que as energias convencionais apresentam custos crescentes de produção e impactos socioambientais relevantes (VIEIRA E POLLI, 2020). A geração de biogás proporciona diversas vantagens, poupando o meio ambiente da exploração de recursos naturais desnecessários, e reduzindo as emissões de gases estufa, os gastos com adubação química, através da utilização de biofertilizantes, e substituição do gás GLP e do óleo diesel, dentre outros. O biogás possibilita também a substituição da energia elétrica consumida, resultando em redução de gastos (VIEIRA E POLLI, 2020).

A energia do biogás é uma das opções importantes que podem substituir gradualmente o petróleo, que enfrenta um aumento de demanda e pode se esgotar no início deste século. O Brasil pode depender da energia do biogás para atender parte da população local, desta forma o apoio para pesquisa de biogás e troca de experiências com países que são avançados neste campo é necessário (ABREU *et al.*, 2011).

Uma nota técnica elaborada pelo Centro Nacional de Referência em Biomassa (CENBIO, 2001) elenca uma série de vantagens da produção de energia

elétrica a partir do biogás que beneficiam o próprio gerador, a sociedade, o meio ambiente e as administrações públicas, conforme descrito no Quadro 2.

Quadro 2. Vantagens da produção de energia elétrica a partir do biogás

Gerador (ETE e aterros)	Redução na compra de eletricidade da concessionária; Possibilidade de venda de eletricidade à rede; Possibilidade de uso de processos de cogeração, ou seja, a geração de eletricidade tem como subproduto calor, a ser usado no tratamento do esgoto, ou mesmo ser vendido a terceiros.
Sociedade	Geração de empregos e eliminação ou redução de subempregos; Geração descentralizada e próxima aos pontos de carga, por meio de uma fonte renovável; Colaboração para a viabilidade econômica do saneamento básico.
Prefeituras	Possibilidade de receita extra, proveniente da energia gerada com biogás e vendida às concessionárias; Colaboração para a viabilidade econômica do tratamento do lixo; Menor rejeição social das instalações de saneamento, pelo melhor gerenciamento, representando um exemplo a ser seguido.
Meio ambiente	Redução das emissões de metano para a atmosfera; Redução do consumo de combustíveis fósseis; Redução na geração de odor nas vizinhanças; Melhoria nas condições das ETEs e aterros.

Fonte: Adaptado de CENBIO, 2001.

Desta forma, a utilização do biogás como fonte alternativa de energia é de extrema importância por se tratar de uma fonte renovável que produz menos poluentes atmosféricos do que os demais combustíveis atualmente em uso. No entanto, sua implementação enfrenta alguns desafios relacionados à medição de suas características, que incluem seu potencial calorífico, sua vazão e suas partes constituintes, além da necessidade de sua purificação para usos específicos (OKAMURA, 2013).

3.4.2 Biogás no Brasil

O biogás começou a ganhar impulso no Brasil a partir dos choques no preço do petróleo promovidos pela Organização dos Países Exportadores de Petróleo (Opep), na década de 1970. Como o país, à época, importava cerca de 80% de seu

consumo interno, buscou-se incrementar o uso de energias alternativas. O biogás era considerado uma alternativa viável para a diminuição de derivados de petróleo na matriz energética (MILANEZ, MAIA e GUIMARÃES, 2021).

O biogás, conforme já apresentado anteriormente, é um combustível renovável e sua produção tem importância econômica, ambiental e social, podendo melhorar a eficiência energética de alguns setores, como o sucroenergético, alimentício e de saúde. O Brasil tem significativo potencial para o uso do biogás como fonte de energia, principalmente devido à abundância de biomassa oriunda do setor agropecuário (resíduos agrícolas e pecuária confinada), o que inclui tanto as palhas e pontas, quanto a vinhaça e a torta de filtro do setor sucroenergético, também se adicionando o montante considerável que pode ser obtido através dos resíduos sólidos urbanos e esgotos. Além disso, fatores ambientais favoráveis e adaptabilidade do país no setor de energia, também são fatores determinantes para o uso desta fonte de energia (EPE, 2022; PEIXE, 2018).

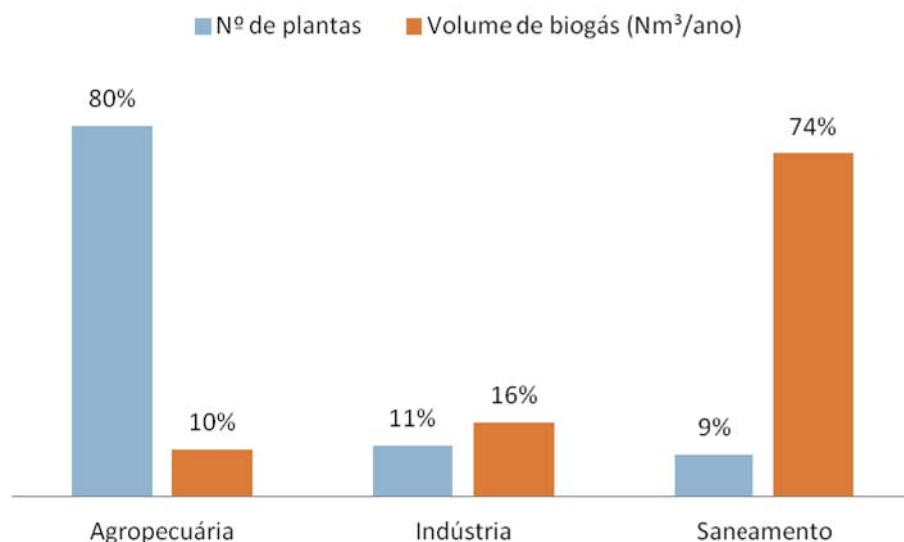
De acordo com a Associação Brasileira de Biogás (ABIOGÁS, 2017) no ano de 2017 o Brasil tinha a capacidade de produção de 28,5 bilhões de m³/ano de biogás, o que representa uma geração entre 165 a 233 milhões de MWh dependendo da origem do biogás. Desse volume, 20,5 bilhões são originados do setor sucroenergético, 5,5 bilhões de m³ da produção de alimentos e outros 2,5 bilhões de m³ derivam do saneamento básico. Ainda segundo a mesma associação, esse volume seria equivalente a cerca de 25% da disponibilidade de energia no país ou a 73% do gás natural do país. Em nova atualização, no ano de 2021, a ABIOGÁS estimou que o potencial teórico de produção de biogás brasileiro já se encontrava em 84,6 bilhões de metros cúbicos por ano, o que seria suficiente para suprir 40% da demanda interna de energia elétrica e 70% do consumo de diesel (ABIOGÁS, 2021). Comparando-se com a geração de 2,3 bilhões de metros cúbicos de biogás em 2021, tem-se que o Brasil explora apenas 3% desse potencial.

Conforme os dados publicados pelo Centro Internacional de Energias Renováveis (CIBiogás) no Panorama do Biogás no Brasil em 2021, o país gerou naquele ano 2,3 bilhões de m³/ano de biogás em 755 plantas instaladas e em operação. Em relação ao ano de 2020, foram cadastradas 102 novas plantas de biogás, sendo verificado um aumento de aproximadamente 16%.

O setor agropecuário foi responsável por 80% das plantas de biogás em operação no país, no ano de 2021. Seguido pelo setor industrial, com 11% e o setor

de saneamento com 9%, do número de plantas. Analisando-se o volume de biogás gerado, tem-se que o setor de saneamento foi responsável por 74% do volume total produzido, seguido pelos setores industrial (16%) e agropecuário (10%), conforme Figura 10.

Figura 10. Número de plantas e volume de biogás gerado em 2021 no Brasil.



Fonte: Adaptado de Cibiogás, 2021.

Infelizmente, no Brasil, o manejo mais usual quanto ao biogás gerados em ETEs é a sua queima na fase gasosa e posterior lançamento para a atmosfera. Se considerados os dados apresentados na Figura 10, verifica-se o setor de saneamento, apesar de ter menor participação na quantidade de plantas, é o setor que mais gerou energia através do biogás em 2021 no país. Entretanto o aproveitamento de biogás para fins energéticos em sistemas de tratamento de esgoto sanitário depende de um maior conhecimento sobre os principais aspectos que interferem em sua produção, associados às características de projeto, construção e operação das ETEs. Poucos estudos tratam da caracterização quantitativa e qualitativa do biogás gerado em reatores UASB tratando esgoto sanitário, em escala real (CABRAL *et al.*, 2017).

Considerando o estágio atual dos serviços de coleta e tratamento de esgotos no Brasil, o potencial de aproveitamento energético do biogás é pouco expressivo, limitado a algumas estações de tratamento que possuem reatores anaeróbios ou digestores de lodo e regionalmente isolados (ZANETTE, 2009; VIEIRA E POLLI,

2020). A elevada concentração da população brasileira em grandes centros urbanos e a expressiva produção agropecuária e agroindustrial (e, portanto, de resíduos e efluentes domésticos, agropecuários e agroindustriais), mostra que o aproveitamento do biogás no Brasil encontra-se bastante aquém do seu potencial (ZANETTE, 2009).

3.4.3 Biogás e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODSs)

Em 2015 diversos líderes mundiais se reuniram e comprometeram-se em garantir os direitos e o bem-estar de todos em um planeta saudável e próspero adotando a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável e seus 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Esses objetivos foram categorizados e distribuídos conforme observado na Figura 11.

Figura 11. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável



Fonte: Nações Unidas (2024)

Os ODS são uma iniciativa da Organização das Nações Unidas (ONU), e um apelo global à ação para erradicar a pobreza, proteção do meio ambiente e o clima, além de garantir que as pessoas, em todos os lugares, possam desfrutar de paz e

de prosperidade. Os ODS estão alocados em diferentes setores da sociedade para que a população seja atendida de forma geral e completa. Para cada objetivo, há um detalhamento com metas que englobam o atendimento e a interação com outras metas de outros objetivos (NAÇÕES UNIDAS, 2024).

Diversas são as possibilidades para a mitigação dos problemas ambientais, tanto na área urbana como rural. O investimento em saneamento básico ou a substituição de matérias-primas por outras que causam menos poluição já são consideradas medidas eficazes contra os problemas ambientais (LINS *et al.*, 2022).

A emissão de GEE está ligada ao uso de combustíveis fósseis e outras atividades, como aterros sanitários, tratamento de efluentes, sistemas de produção, atividades agrícolas, queima de biomassa e manejo de dejetos animais. A quantidade de metano liberada ao meio ambiente sem controle e tratamento é considerada perigosa (LINS *et al.*, 2022). Diante disso, o aproveitamento energético de resíduos e efluentes traz diversos benefícios, e o principal deles é tornar a energia mais acessível, confiável e sustentável, contemplando as metas dos ODS.

Quevedo (2024) defende que *“O biogás é uma solução multifacetada que contribui significativamente para o alcance dos ODS, promovendo a sustentabilidade ambiental, econômica e social”*. Segundo o autor, a produção de biogás pode contribuir significativamente para o cumprimento dos 17 ODS, oferecendo diversos benefícios que estão alinhados com cada um dos ODS, destacando-se pela sua capacidade de promover a sustentabilidade e o desenvolvimento em múltiplas frentes.

Lins *et al.* (2022), destacam a importância do biogás como uma alternativa energética sustentável que pode ser aplicada tanto em áreas urbanas quanto rurais, contribuindo significativamente para o desenvolvimento sustentável e a mitigação de problemas ambientais. Segundo os autores a digestão anaeróbia e o biogás estão relacionados ao atendimento das metas de pelo menos cinco ODS: 6, 7, 11, 12 e 13.

A Embrapa, em 2022, realizou uma revisão da literatura correlacionando os estudos encontrados com os ODS e apresentando diversos projetos da própria empresa que foram finalizados e outros que estão em execução, associados ao uso do biogás e do biometano. Concluíram que a geração e uso do biogás/biometano satisfaz diretamente 12 dos 17 ODS, sendo estes os números 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 15 (SOARES *et al.*, 2022).

Considerando os estudos apresentados, é possível afirmar que a produção e o uso do biogás pode ser uma forma de sanar ou mitigar problemas tanto locais como regionais, contribuindo para o desenvolvimento de uma região aliado com os ODS, principalmente aqueles relacionados com sustentabilidade, geração de energia e mudanças climáticas (LINS *et al.*, 2022; EMBRAPA, 2022).

4. METODOLOGIA

O capítulo de metodologia apresentará a caracterização da área de estudo e os métodos escolhidos para elaboração e desenvolvimento deste trabalho.

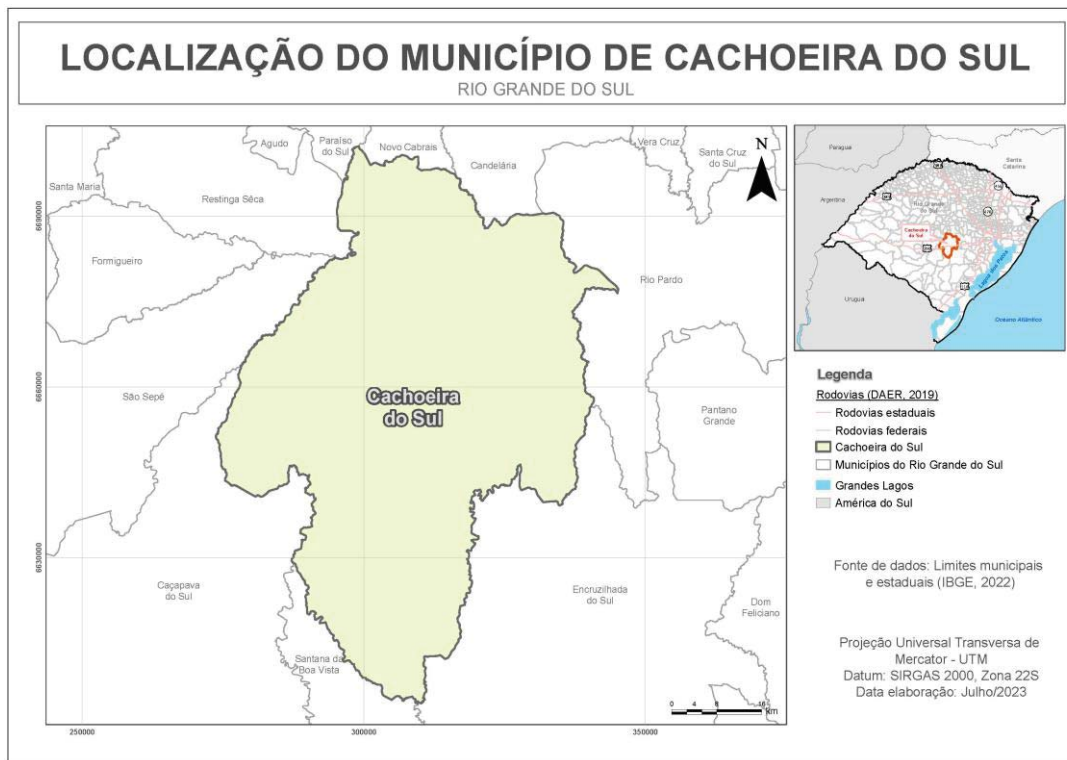
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Este estudo faz parte de um projeto de pesquisa, denominado BIOGASCOR, que tem por objetivo a geração de biogás e energia elétrica a partir de uma estação de tratamento de efluentes domésticos e a otimização das condições operacionais de processo da ETE de Cachoeira do Sul. Esse projeto é desenvolvido pela Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN) por meio da Universidade de Caxias do Sul (UCS).

O município de Cachoeira do Sul é o quinto município criado em 15 de dezembro de 1859, no Rio Grande do Sul. Localiza-se no centro do Estado, à margem esquerda do rio Jacuí, Cachoeira do Sul dista 196 km da capital, Porto Alegre (Figura 12). As principais atividades econômicas desenvolvidas no município são a agricultura e a pecuária.

A população do município, segundo IBGE (2021) é de 81.522 pessoas, dentro de uma área de unidade territorial de 3.736,064 km².

Figura 12. Localização do município de Cachoeira do Sul



Fonte: adaptado de IBGE (2022).

O município conta com uma estação de tratamento de efluentes, operada pela Corsan, construída no ano de 2008, com o objetivo de atender 57.435 habitantes. A estação é composta por uma unidade de tratamento preliminar, duas unidades de tratamento secundário (biológico), uma unidade de tratamento do lodo e desinfecção, uma unidade de preparação de cal e por fim, uma unidade de tratamento terciário (CORSAN, 2008), conforme a Figura 13.

Figura 13. Imagem da ETE



Fonte: Projeto BIOGASCOR (2022)

Entretanto, de acordo com os dados disponibilizados pela Corsan, a vazão recebida na estação é de 4.424 m³/dia, o que equivale a uma população de 27.650 pessoas, ou seja, atendendo aproximadamente metade da sua capacidade máxima de tratamento. Essa situação ocorre, pois o município não possui redes coletoras suficientes para transporte dos efluentes domésticos até a estação.

4.2 COLETA E ANÁLISES DAS AMOSTRAS DA ETE DE CACHOEIRA DO SUL

Durante a execução do projeto foram realizadas 12 visitas na ETE para coleta de amostras do efluente bruto, do efluente tratado e do lodo, conforme descrito no Quadro 3.

Quadro 3. Identificação das amostras

Amostra	Data da coleta
A1	22/11/2021
A2	16/02/2022
A3	30/06/2022
A4	19/07/2022
A5	27/09/2022
A6	23/11/2022
A7	11/01/2023
A8	21/03/2023
A9	27/06/2023
A10	26/07/2023
A11	29/08/2023
A12	07/11/2023

Fonte: autoria própria.

As amostras de efluente bruto e tratado foram coletadas de maneira composta. As coletas foram realizadas a cada 30 minutos tendo início às 10 horas e 30 minutos e seu término às 16 horas da tarde. Exceto pela A9, que foi realizada sob precipitação, e só foi possível coletar 5 amostras.

Ao todo eram coletadas 12 amostras para compor a amostra final, a cada coleta foram anotados dados de vazão (calha *parshall*), temperatura ambiente, temperatura da amostra e pH da amostra. Para composição da amostra final foram realizados dois cálculos. Primeiramente, calculou-se a porcentagem necessária de cada uma das amostras de 500 mL para obter uma amostra final de 5 L, considerando a vazão, conforme Equação 1 a seguir.

$$\%V = \left(\frac{q}{\sum q} \right) * 100 \quad (1)$$

Onde:

Q: Vazão amostra 500mL

$\sum Q$: Soma das 12 vazões

Com essa porcentagem, calculou-se qual o volume de cada uma das amostras de 500 mL seria necessário para compor os 5 litros da amostra final a partir da Equação 2 a seguir.

$$V = (\%V/100) * V_{final} \quad (2)$$

Após a composição da amostra final, esta foi armazenada nos frascos e enviados ao Laboratório de Análises e Pesquisas Ambientais (LAPAM), da Universidade de Caxias do Sul (UCS), para caracterização. Para este estudo em específico, são verificados os resultados da Demanda Química de Oxigênio (DQO) do efluente bruto, utilizado para o cálculo teórico do biogás.

4.3 DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS

Definiu-se que os cenários para realização da análise de viabilidade econômica mais adequados são por faixa de população de acordo com o descrito a seguir:

- a) Cenário 1 – 50 mil habitantes
- b) Cenário 2 – 100 mil habitantes
- c) Cenário 3 – 200 mil habitantes
- d) Cenário 4 – 450 mil habitantes

Os cenários foram definidos dessa forma, uma vez que assim será possível estipular a produção de energia elétrica a partir do biogás verificando a partir de que faixa populacional haverá viabilidade. Não é comum ETEs que atendam populações menores que 50.000 habitantes com sistemas anaeróbios seguidos de aeróbios, do tipo lodos ativados. A razão, sobretudo, é o custo elevado de implementação e

manutenção, comparado com sistemas de lagoas ou sem aeração forçada (VALENTE, 2015).

Além disso, houve dificuldade, ao longo do desenvolvimento do projeto, de retorno de empresas quanto aos orçamentos dos equipamentos necessários. Desta forma, seguiu-se os cenários utilizados por Valente (2015), uma vez que a empresa Green Representação Comercial Ltda foi a única que retornou o contato, informando que devido aos projetos em andamento não poderia realizar o auxílio, mas sugeriu que os valores utilizados pelo autor supracitado deveriam ser atualizados em 10% ao ano.

Salienta-se que o volume de efluente considerado em cada um dos cenários será de 160 litros por habitante por dia, uma vez que os cenários são situações hipotéticas que podem ser aplicados em ETEs/municípios que atendam essa quantidade de pessoas.

4.4 METODOLOGIA DE ANÁLISE TÉCNICA

Para realização da análise econômica foram utilizados os resultados obtidos pela equipe do projeto junto o Laboratório de Tecnologias Ambientais (LATAM) da UCS, do qual a autora faz parte. Especificamente para essa análise utilizou-se os resultados de DQO para o estabelecimento do cálculo da produção teórica de biogás e posterior cálculo da potência obtida com o biogás, conforme detalhado nos itens a seguir.

4.4.1 Estabelecimento do cálculo da produção teórica de biogás

Primeiramente calculou-se a DQO do metano (Equação 3), utilizando-se o valor da média da DQO obtidas através da caracterização do efluente bruto e considerando a eficiência média de 60% de remoção da DQO obtida nas campanhas. Além disso, determinou-se que o valor de $P_{x,ssv}$ é 90%, ou seja, no máximo 10% da DQO removida é utilizada para novas células.

$$DQO_{CH_4} = DQO_{bruta} * E * P_{x,ssv} \quad (3)$$

Onde:

DQO_{CH_4} : DQO metano (g O₂/m³);

DQO_{bruta} : Média da DQO bruta (g O₂/m³);

E : eficiência de remoção

$P_{X,SSV}$: Vazão mássica de produção de novas células (biomassa produzida), utilizou-se 0,9.

Após, para o cálculo do volume de metano multiplicou-se a DQO do metano por 0,35, conforme a Equação 4.

$$V_{CH_4} = 0,35 * DQO_{CH_4} \quad (4)$$

Onde:

DQO_{CH_4} : DQO metano (g O₂/m³);

V_{CH_4} : Volume de metano (L_{CH₄}/m³).

Determinou-se que para este estudo, 65% do biogás é composto de metano. Desta forma, a partir da Equação 5, calculou-se o volume de biogás gerado.

$$V_{Biogás} = \frac{V_{CH_4}}{0,65} \quad (5)$$

Onde:

$V_{Biogás}$: Volume de biogás (L_{Biogás}/m³);

V_{CH_4} : Volume de metano (L_{CH₄}/m³).

Por fim, para o cálculo da vazão de biogás gerado por hora na estação de tratamento, utilizou-se a Equação 6.

$$Q_{Biogás} = V_{biogás} * Q_{média} \quad (6)$$

Onde:

$Q_{Biogás}$: Vazão de biogás ($m^3_{biogás}/hora$);

$V_{Biogás}$: Volume de biogás ($L_{Biogás}/m^3$);

$Q_{média}$: Vazão afluyente média ($m^3/hora$).

4.4.2 Cálculo da potência gerada a partir do biogás

Considerando que 1kWh equivale a 0,6 m^3 de biogás, utilizaram-se as equações 7 e 8 apresentadas a seguir para calcular a potência gerada, em kWh e HP, a partir do volume de biogás obtido.

$$P_{kWh} = \left(\frac{V_{biogás}}{0,60} \right) * Q_{média} \quad (7)$$

P_{kWh} : Potência em kWh;

$V_{Biogás}$: Volume de biogás ($L_{Biogás}/m^3$);

$Q_{média}$: Vazão afluyente média ($m^3/hora$).

Para conversão de kWh para HP utilizou-se a seguinte equação:

$$P_{HP} = \left(\frac{P_{kWh}}{0,746} \right) \quad (8)$$

P_{HP} : Potência em HP;

P_{kWh} : Potência em kWh.

4.5 METODOLOGIAS DE ANÁLISE ECONÔMICA

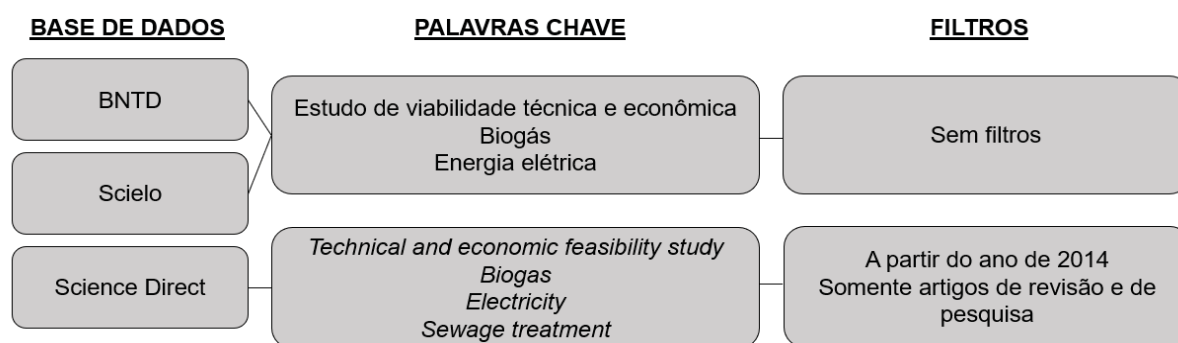
4.5.1 Revisão sistemática das metodologias econômicas

A revisão sistemática foi realizada de acordo com o recomendado por Sampaio e Mancini (2006). Segundo os autores “*esse tipo de estudo serve para nortear o desenvolvimento de projetos, indicando novos rumos para futuras investigações e identificando quais métodos de pesquisa foram utilizados em uma*

área”. São sugeridas algumas etapas iniciando com a definição da pergunta, o estabelecimento da estratégia de busca, os critérios de inclusão e exclusão dos artigos e, principalmente a análise criteriosa da qualidade dos estudos encontrados (SAMPAIO e MANCINI, 2006).

A revisão bibliográfica foi realizada através das bases de dados da Biblioteca Nacional de Teses e Dissertações - Capes (BNTD), *Scielo* e *Science Direct*. As palavras-chave selecionadas para a pesquisa foram combinadas, em português: estudo de viabilidade técnica e econômica, biogás e energia elétrica para as bases de dados da BNTD e Scielo. Já para pesquisa na *Science Direct* utilizou-se as palavras chaves em inglês: *technical and economic feasibility study*, *biogás*, *electricity*, *sewage treatment*. Salienta-se que para esta última base de dados, adicionou-se uma palavra-chave, além de filtrar a partir do ano de 2014 e somente artigos de revisão e de pesquisa, em função do volume elevado de estudos encontrados. O resumo das etapas realizadas pode ser verificado na Figura 14.

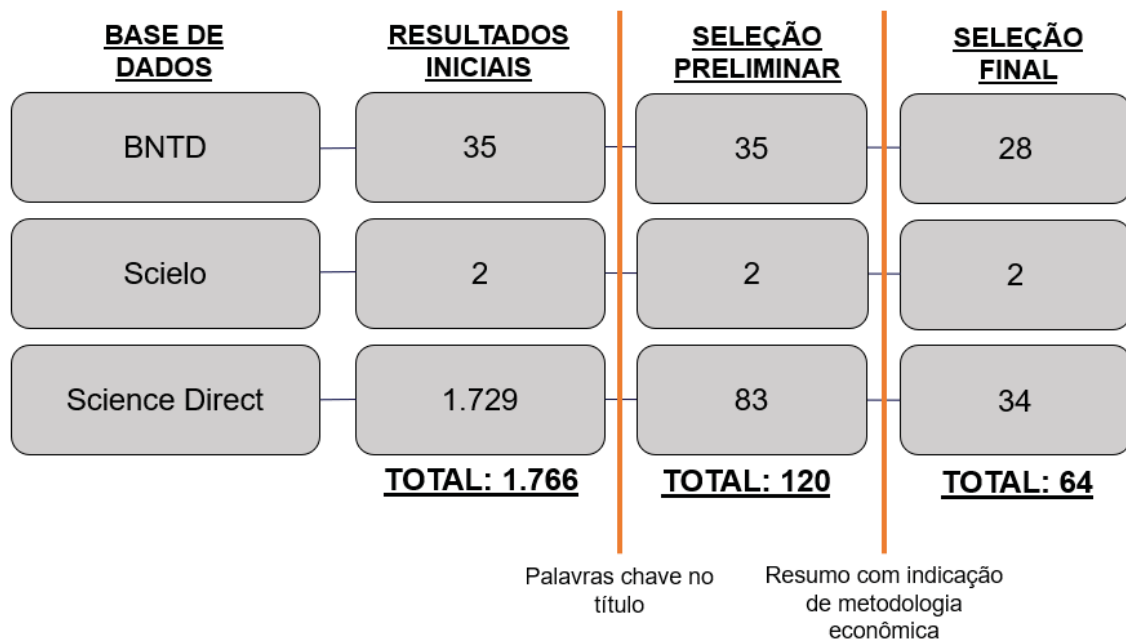
Figura 14. Revisão sistemática



Fonte: autoria própria.

O processo de busca preliminar identificou 1.766 publicações, principalmente em função da quantidade de resultados na base de dados da *Science Direct*. Porém, poucos destes estudos traziam no título alguma palavra-chave relacionada ao tema em questão. Desta forma, após a avaliação dos títulos de cada trabalho, selecionou-se 120 documentos. Por fim, realizou-se a leitura dos resumos dos 120 documentos selecionados, onde foi verificado se era apresentada alguma metodologia de análise econômica, sendo então elegidos 64 estudos que traziam alguma metodologia, conforme se apresenta na Figura 15.

Figura 15. Resultados revisão sistemática



Fonte: autoria própria.

Após a seleção dos artigos de interesse, realizou-se a leitura das metodologias de todos os estudos e estes trouxeram ao menos uma das metodologias econômicas mais usuais, que são *Payback*, Taxa Interna de Retorno (TIR) e Valor Presente Líquido (VPL). Além disso, alguns autores, apresentaram o conceito de Custo Nivelado de Energia (LCOE).

4.5.2 Metodologias de análise econômica

Por meio da revisão sistemática apresentada, foram definidas as metodologias econômicas a serem aplicadas neste estudo, que são *Payback*, Taxa Interna de Retorno (TIR), Valor Presente Líquido (VPL) e o Custo Nivelado de Energia (LCOE). A descrição de cada uma, bem com as fórmulas utilizadas, são detalhadas a seguir.

- Valor Presente Líquido (VPL)

O Valor Presente Líquido (VPL) é o valor presente de suas entradas futuras de caixa menos o valor presente do investimento inicial e das saídas futuras de caixa. A Taxa Mínima de Atratividade (TMA) é utilizada como taxa de desconto no

cálculo do valor presente das entradas e saídas de caixa (BARRAK, 2018). A equação 9, apresentada a seguir, é utilizada para cálculo do VPL.

$$VPL = I + \sum_{t=1}^N \left(\frac{FCt}{(1+i)^t} \right) \quad (9)$$

Onde:

VPL: valor presente líquido;

I: investimento inicial;

t: período de tempo;

FCt: fluxo de caixa no período t;

i: taxa de desconto ou taxa de atratividade mínima.

Se $VPL > 0$: significa que o valor presente das entradas de caixa é maior que o presente das saídas de caixa, portanto o investimento do projeto é economicamente viável.

Se $VPL = 0$: significa que o investimento é economicamente atrativo, pois o retorno esperado do projeto é iguala à TMA exigida pelos investidores.

Se $VPL < 0$: significa que o valor presente das entradas é menor do que o valor presente das saídas, logo o investimento não se torna economicamente atrativo.

- Taxa Interna De Retorno (TIR)

A TIR é uma taxa de juros implícita em uma série de pagamentos (saídas) e recebimentos (entradas), que tem a função de descontar um valor futuro ou aplicar o fator de juros sobre um valor presente, conforme o caso, para trazer ou levar cada valor do fluxo de caixa para uma data focal (data base de comparação de valores correntes de diversas datas) (PEREIRA, 2016). A metodologia TIR considera os desembolsos da empresa - valores negativos – para fazer um projeto como um “empréstimo” a ser “pago” posteriormente com os embolsos ou receitas - valores positivos - proporcionados pelo mesmo projeto. Com essa metodologia, a TIR é a taxa de retorno implícita no fluxo de caixa, que só depende da relação entre os valores positivos e negativos, a qual iguala esses desembolsos aos embolsos com isso tornando o $VPL=0$. A TIR é uma taxa média que considera toda a vida

econômica do projeto e é expressa em termos anuais (ABREU, AVELINO e MÔNACO, 2011). A TIR é usada como método de análise de investimentos, onde o investimento será economicamente atraente se a TIR for maior do que a taxa mínima de atratividade (taxa de retorno esperada pelo investimento) (PEREIRA e ALMEIDA, 2008). A equação 10, apresentada a seguir, é utilizada para cálculo da TIR.

$$VPL = 0 = I + \sum_{t=1}^N \left(\frac{FCt}{(1 + TIR)^t} \right) \quad (10)$$

Onde:

VPL: valor presente líquido;

I: investimento inicial;

t: período de tempo;

FCt: fluxo de caixa no período t;

TIR: taxa interna de retorno.

TIR > TMA: o investimento é economicamente viável, pois a taxa de retorno esperada supera a taxa mínima de atratividade exigida para a implantação do projeto.

TIR = TMA: a taxa de retorno do projeto é igual à taxa mínima de atratividade e portanto, o investimento é considerado atrativo.

TIR < TMA: a taxa de retorno esperada é inferior à taxa mínima de atratividade desejada pelos investidores.

- *Payback*

Consiste na análise de investimento que indica o período no qual se obterá o retorno do capital utilizado para realização de um determinado projeto. Possui um cálculo considerado simples, e pode ser feita através do *payback* simples calculado com base no fluxo de caixa com valores nominais, e *payback* descontado calculado com base no fluxo de caixa com valores trazidos ao valor presente líquido (BARRAK, 2018).

O *payback* descontado, que será utilizado neste estudo, visa quantificar o período de tempo em que um investimento é recuperado através dos fluxos de caixa após a realização do desembolso inicial. Ao contrário do *payback* simples, considera o valor do dinheiro no tempo, ou seja, o *payback* descontado é o tempo de recuperação do investimento, remunerado pela taxa de juros representada pela Taxa Mínima de Atratividade (TMA) (PEREIRA, 2016).

As equações 11 e 12, foram utilizadas para cálculo do *payback* simples e descontado, respectivamente, conforma apresentado a seguir.

$$PS = \frac{\text{Investimento inicial}}{\text{Fluxo de caixa anual}} \quad (11)$$

$$PD = \sum_{k=1}^j \left(\frac{FC_k}{(1 + TMA)^k} \right) \quad (12)$$

Onde:

PD: *payback* descontado;

FC_k: fluxo de caixa no ano k;

k: ano considerado

TMA: taxa mínima de atratividade

- Custo Nivelado de Energia (LCOE)

O Custo Nivelado de Energia (*Levelized Cost of Energy*) é um método consagrado internacionalmente que compara diferentes tecnologias que utilizam fontes diversas e que geram potenciais diferentes, representando o custo real por kWh de investimento, construção e operação e manutenção da planta por todo seu ciclo de vida, ou seja, representa a receita média por unidade de energia produzida para que o empreendedor recupere o investimento e os gastos com operação e manutenção (ROMEIRO *et al.*, 2015).

O LCOE é o valor presente do custo da geração de energia de uma fonte específica, calculado conforme a equação 13, apresentada a seguir.

$$LCOE = \frac{\text{soma dos custos do ciclo de vida}}{\text{soma da energia produzida ao longo do tempo}} = \frac{\sum_{t=1}^n \left(\frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t} \right)}{\sum_{t=1}^n \left(\frac{E_t}{(1+r)^t} \right)} \quad (13)$$

It: Investimento no ano t;

Mt: Gasto com Operação e Manutenção no ano t;

Ft: Gasto com combustível no ano t;

Et: Energia elétrica gerada no ano t;

r: Taxa de desconto ou TMA;

n: tempo de ciclo de vida esperado.

4.5.3 Taxa Mínima de Atratividade

Conforme solicitado pela equipe do projeto, no mês de junho de 2023, a CORSAN disponibilizou a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) a ser utilizada. Definiu-se que a TMA será de 11% a.a. em linha com os referidos estudos AGERGS/CORSAN e com as diretrizes da Resolução COSAN nº 1/81, do antigo Banco Nacional de Habitação, para elaboração de Relatórios Técnicos Preliminares em sistemas de água e esgoto.

Além disso, foi solicitado pela CORSAN que seja realizada uma Análise de Sensibilidade de Cenários considerando as seguintes taxas:

- Cenário base – TMA de 11% a. a.
- Cenário otimista – TMA de 10% a. a.
- Cenário pessimista – TMA de 12% a. a.

Destaca-se que essa análise foi considerada e realizada nos resultados apresentados no item 5.2.

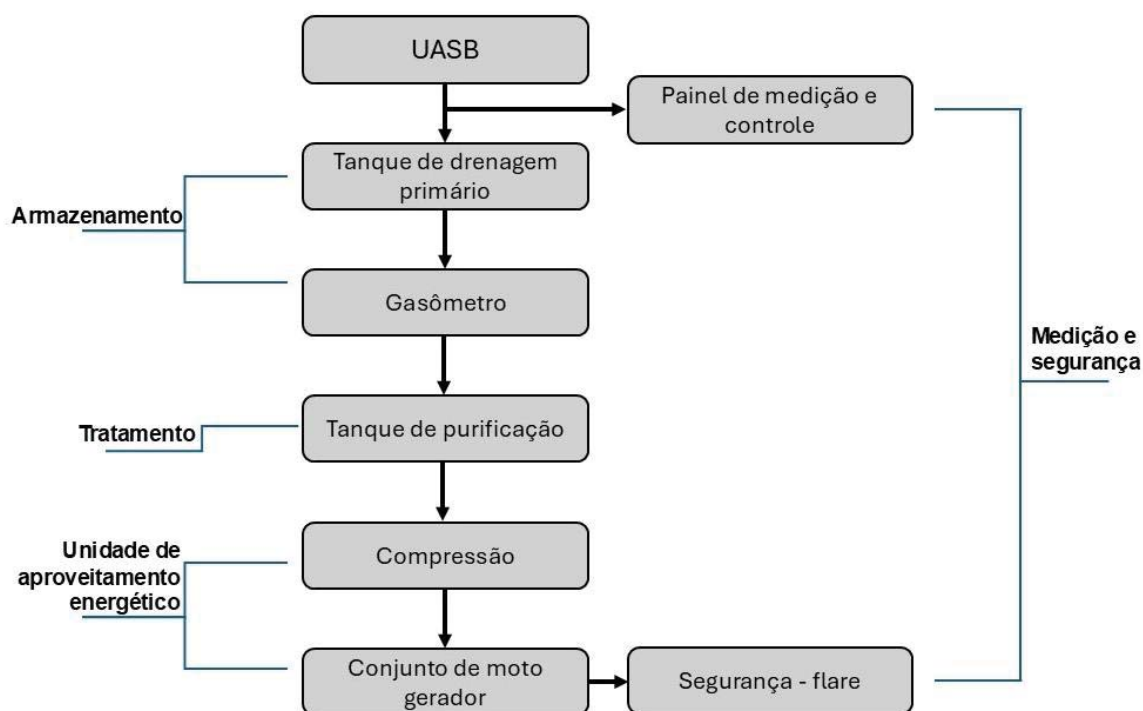
4.5.4 Descrição dos equipamentos necessários para adaptação da ETE

Para o cálculo da viabilidade econômica foi necessário realizar um levantamento dos equipamentos necessários a fim de adaptar a ETE para a utilização de biogás para geração de energia elétrica.

Para determinação dos equipamentos, este estudo baseou-se na Coletânea de publicações do PROBIOGÁS, especificamente na série chamada “Aproveitamento Energético de Biogás em Estações de Tratamento de Esgoto” publicada pelo Ministério das Cidades no ano de 2017 (BRASIL, 2017). Complementarmente também foram consultados Dos Santos *et al* (2014), Valente (2015), Campelo *et al* (2018) e Dos Reis (2021).

Os equipamentos foram divididos em armazenamento, tratamento, unidade de aproveitamento energético e medição e segurança, conforme Figura 16 e descrição a seguir.

Figura 16. Desenho esquemático do sistema de geração de energia a partir do biogás



Fonte: Adaptado de Dos Santos *et al.* (2014), Valente (2015), PROBIOGÁS (2017).

Na sequência e seguindo o fluxo de gás, primeiramente o biogás deve ser coletado na saída de gás localizada no topo do reator UASB e após para as seguintes etapas.

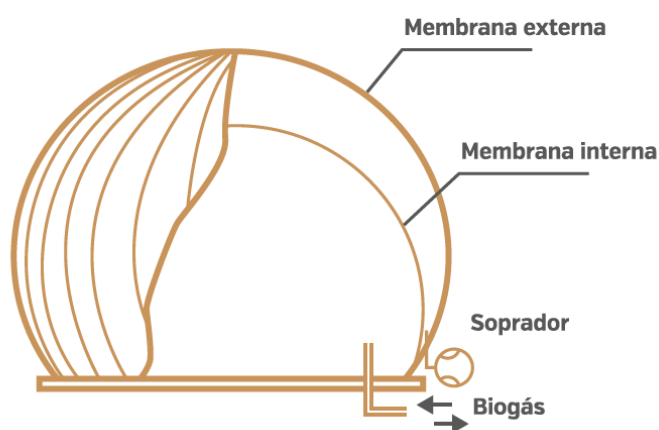
Armazenamento

Primeiramente, o gás é direcionado a um tanque de drenagem primário, que tem a função de coletar, acumular e eliminar a água e os sedimentos transportados pela corrente de gás, evitando assim obstruções na tubulação.

Após, o biogás é encaminhado para armazenamento em um gasômetro. O objetivo deste armazenamento é regularizar a vazão uma vez que há diferenças entre a produção de biogás no reator e o consumo deste no motogerador. Desta forma, evita-se a perda de gás quando há maior produção e mantém-se a vazão uniforme quando há menor produção.

Neste estudo, adotou-se a instalação de um gasômetro de membrana dupla conforme ilustração apresentada na Figura 17.

Figura 17. Gasômetro



Fonte: Probiogás (2017)

Tratamento

O biogás contém diversos compostos contaminantes que, dependendo da tecnologia utilizada para a geração de energia, necessitam ser eliminados. (PROBIOGÁS, 2017). No caso de utilização em motores de combustão interna, devem ser reduzidas principalmente as concentrações de sulfeto de hidrogênio (H_2S), vapor d'água e siloxanos.

Inicialmente realiza-se uma dessulfurização simples, com a eliminação do H_2S por meio da ligação sulfídrica com o ferro metálico (ou palha de aço), que

compõe o material de enchimento do reator. Para a dessulfurização fina e remoção de siloxanos adotou-se um sistema único de adsorção por carvão ativado.

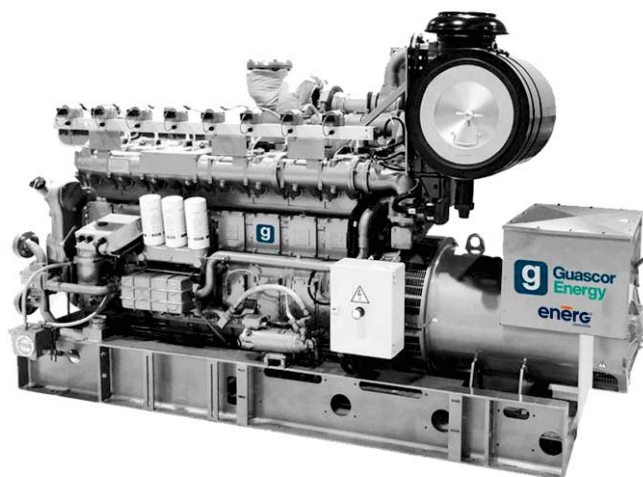
Após essas duas etapas, o biogás, já com a concentração adequada de ambos os componentes, deve passar por um vaso de desidratação que contém um trocador de calor de placas, refrigerando o biogás e condensando a umidade restante.

Unidade de aproveitamento energético

Na sequência o gás passa por uma unidade de compressão, com objetivo de garantir uma vazão adequada de entrada no sistema de cogeração. Todo o processo é automatizado e ocorre conforme as especificações dos motogeradores, sem interferência do operador.

O conjunto motogerador adotado é do tipo Otto (Figura 18). O motor é alimentado por uma mistura de biogás e ar, por meio da linha do controle e regulagem de gás. É um sistema fabricado exclusivamente para o uso do biogás como combustível.

Figura 18. Moto gerador ciclo Otto.



Fonte: Energ Geradores

Medição e segurança

Queimadores

Os queimadores de biogás (Figura 19) são indispensáveis em ETEs com etapa anaeróbia, mesmo quando o biogás não está sendo aproveitado, visando à redução de impacto ambiental e de odores (BRASIL, 2017). Quando a ETE possui instalações de aproveitamento, o queimador é necessário para o caso de ocorrência de excesso de produção de biogás, por exemplo, em função de falhas operacionais ou trabalhos de manutenção (BRASIL, 2017).

Figura 19. Queimador de segurança.



Fonte: Life Saneamento (2024).

Monitoramento

Em um sistema de aproveitamento de biogás, devem ser monitoradas a vazão e a qualidade do biogás produzido, além da pressão operacional (BRASIL, 2017). Para atender às exigências mínimas, optou-se, neste estudo, por um medidor de vazão tipo *vórtex* (Figura 20). Com relação ao monitoramento de qualidade, considerou-se um analisador multigases (Figura 21) para a determinação do teor de metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), sulfeto de hidrogênio (H_2S) e oxigênio (O_2).

Figura 20. Medidor de vazão de biogás.



Fonte: Mafetech (2024).

Figura 21. Analisador multigases.



Fonte: Union Instruments (2024).

4.6 METODOLOGIA DE ANÁLISE AMBIENTAL

Para análise ambiental, foram calculadas as emissões de gases de efeito estufa evitadas nos cenários considerados neste estudo. Primeiramente foi realizada a conversão da vazão volumétrica de metano para a vazão mássica de metano. Utilizou-se o fator de conversão igual a 1,46 m³/kg, ou seja, 1kg de metano corresponde a 1,46m³, de acordo com as especificações técnicas da Industria Brasileira de Gases. A equação é apresentada a seguir.

$$Q_{\text{mássica CH}_4} = Q_{\text{volumétrica CH}_4} / 1,46 \quad (14)$$

Onde:

$Q_{\text{volumétrica CH}_4}$: Vazão volumétrica de metano

Com a vazão mássica de metano, apresentada em toneladas anuais, foi obtido o total de metano não lançado para a atmosfera. Para tanto, utilizou-se o GWP (Global Warming Potential, em português “Potencial de Aquecimento Global”) definido no 6º Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2024). No Relatório supracitado consta que o metano (CH₄), principal constituinte do biogás, possui 27 vezes mais potencial poluidor, em relação ao efeito estufa, do que o dióxido de carbono (destacado na Figura 22).

Figura 22. Equivalência do metano em relação ao dióxido de carbono

Common chemical name or industrial designation	Chemical formula	GWP values for 100-year time horizon		
		Fourth Assessment Report (AR4)	Fifth Assessment Report (AR5)	Sixth Assessment Report (AR6)
Major Greenhouse Gases				
Carbon dioxide	CO ₂	1	1	1
Methane – non-fossil	CH ₄	25	28	27.0
Methane – fossil	CH ₄	N/A	30	29.8
Nitrous oxide	N ₂ O	298	265	273
Nitrogen trifluoride	NF ₃	17,200	16,100	17,400
Sulfur hexafluoride	SF ₆	22,800	23,500	24,300

Fonte: IPCC (2024)

De acordo com o apresentado na Figura 22, De acordo com o apresentado na Figura 22, pode-se afirmar então que, emitir 1 kg de CH₄ tem o mesmo efeito que emitir 27 kg de CO₂ na atmosfera. Desta forma, multiplicou-se a vazão mássica de CH₄ por 27 para obtenção do total de dióxido de carbono equivalente não lançado para a atmosfera.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos no desenvolvimento dessa dissertação.

5.1 ANÁLISE TÉCNICA

5.1.1 Produção teórica de biogás e potência gerada da ETE

A Tabela 1 apresenta os resultados do cálculo teórico da produção de biogás obtidos através das coletas e análises realizadas pela equipe do projeto nas visitas a ETE de Cachoeira do Sul. Salienta-se que a eficiência de remoção de DQO da estação é de 60%.

Tabela 1. Resultado do cálculo teórico de produção de biogás e da potência gerada

Parâmetro	Resultado
DQO	333,42 g/m ³
DQO _{CH4}	180,52 g/m ³
Q	212,68 m ³ /h
Q _{CH4}	63,18 L _{CH4} /m ³
Q _{Biogás}	97,20 L _{Biogás} /m ³
P _{KW}	0,162 kWh/m ³
P _{KW}	34,46 kW
P _{HP}	46,19 hp

Fonte: autoria própria.

Através dos resultados obtidos verifica-se que a potência mínima observada é de 34,46 kW. O valor obtido encontra-se um pouco abaixo do descrito no “*Guia Técnico de Aproveitamento Energético de Biogás em estação de Tratamento de Esgoto*” (BRASIL, 2017), onde para uma ETE com população equivalente de 30.000 habitantes, estima-se uma produção de energia de 50 kW.

Entretanto, pode-se afirmar que, mesmo que a potência mínima calculada esteja abaixo do esperado, há viabilidade técnica para a utilização do biogás para geração de energia elétrica.

5.1.2 Vazões e potência dos cenários

Para cada um dos cenários calculou-se, de acordo com as equações apresentadas no item 4.4, a vazão do efluente, vazão do biogás, a potência gerada e a geração de energia elétrica. Os resultados são apresentados a seguir.

Tabela 2. Vazões e potência gerados no cenário 1

Cenário 1 - 50 mil habitantes			
Parâmetro		Resultado	
Vazão do efluente	333,33 m³/h	8000 m³/dia	
Vazão de biogás	32,32 m³/h	775,58 m³/dia	
Potência gerada	53,86 kW	67,32 kVA	
Geração de energia	39317,52 kWh/mês	471810,23 kWh/ano	

Fonte: autoria própria.

Tabela 3. Vazões e potência gerados no cenário 2

Cenário 2 - 100 mil habitantes			
Parâmetro		Resultado	
Vazão do efluente	666,67 m³/h	16000 m³/dia	
Vazão de biogás	64,63 m³/h	1551,16 m³/dia	
Potência gerada	107,72 kW	134,65 kVA	
Geração de energia	78635,04 kWh/mês	943620,46 kWh/ano	

Fonte: autoria própria.

Tabela 4. Vazões e potência gerados no cenário 3

Cenário 3 - 200 mil habitantes			
Parâmetro		Resultado	
Vazão do efluente	1333,33 m³/h	32000 m³/dia	
Vazão de biogás	129,26 m³/h	3102,31 m³/dia	
Potência gerada	215,44 kW	269,30 kVA	
Geração de energia	157270,08 kWh/mês	1887240,92 kWh/ano	

Fonte: autoria própria.

Tabela 5. Vazões e potência gerados no cenário 4

Cenário 4 - 450 mil habitantes		
Parâmetro	Resultado	
Vazão do efluente	3000,00 m³/h	72000 m³/dia
Vazão de biogás	290,84 m³/h	6980,21 m³/dia
Potência gerada	484,74 kW	605,92 kVA
Geração de energia	353857,67 kWh/mês	4246292,08 kWh/ano

Fonte: autoria própria.

De acordo com Valente (2015) estima-se que para a operacionalização de uma ETE sejam consumidos 25 kWh/ano por habitante atendido. Com esse valor foi possível estimar o consumo de energia elétrica para cada um dos cenários, conforme a Tabela 6.

Tabela 6. Estimativa do consumo de energia elétrica para os cenários

Cenários	Consumo mensal (kWh/mês)	Consumo anual (kWh/ano)
Cenário 1 – 50 mil habitantes	104167	1250000
Cenário 2 – 100 mil habitantes	208333	2500000
Cenário 3 – 200 mil habitantes	416667	5000000
Cenário 4 – 450 mil habitantes	937500	11250000

Fonte: autoria própria.

A partir das tabelas apresentadas é possível verificar que em nenhum dos cenários seria gerada energia suficiente para suprir totalmente a demanda das ETEs. Porém, é possível reduzir em torno de 37,74% da necessidade de compra de energia oriunda da concessionária.

A ETE de Ribeirão Preto apresenta situação similar. Em 2011, esta ETE foi a primeira no Brasil a implantar o sistema de geração de energia elétrica no país a partir do biogás produzido no processo de tratamento de esgoto, melhorando sua eficiência energética. No ano de 2012, após a implantação do sistema de aproveitamento, foram gerados diariamente em média de 14.653 kWh e consumidos em média 28.915 kWh/dia, originando uma autossuficiência energética de aproximadamente 51%.

5.2 ANÁLISE ECONÔMICA

5.2.1 Premissas do estudo

Inicialmente apresenta-se no Quadro 4, um compilado das premissas utilizadas neste estudo, conforme justificado ao longo do texto.

Quadro 4. Premissas utilizadas no estudo

Critério	Premissa
Cenários/População	Cenário 1: 50 mil habitantes Cenário 2: 100 mil habitantes Cenário 3: 200 mil habitantes Cenário 4: 450 mil habitantes
Forma de aproveitamento	Unidade motor-gerador ciclo Otto para geração de energia elétrica Geração elétrica contínua (24 horas por dia)
Aplicação	Adaptação de ETEs existentes para aproveitamento de biogás
Tarifa de energia elétrica*	Horosazonal – verde subgrupo A4 faixa de tensão de 2,3 a 25 kV Valor médio considerado: R\$ 0,29
Taxa de inflação**	5,93%
Taxa Mínima de Atratividade (item 4.5.3)	Otimista 10% Base 11% Pessimista 12%

*Resolução homologatória nº 3.285, 21 de novembro de 2023 agência nacional de energia elétrica – ANEEL.

**Média dos últimos 10 anos.

Fonte: autoria própria.

5.2.2 Custos de investimento

Os custos de investimento considerados neste estudo compreendem os equipamentos descritos no item 4.5.4. Cabe salientar que não foram considerados os custos de construção da estação e de nenhuma obra civil.

Após inúmeras tentativas de contato com diversas empresas do ramo, sem sucesso quanto a retornos, optou-se por utilizar o orçamento da empresa Green Representação Comercial Ltda obtido através do estudo de Valente (2015). Ao entrar em contato com o representante da referida empresa por e-mail, este informou apenas os valores dos gasômetros, sendo que os demais equipamentos, em função da alta demanda de projetos, não seria possível atualizar, porém sugeriu fazer uma correção nos valores de 10% ao ano. Desta forma, todos os valores, exceto os gasômetros, foram atualizados em 10%, entre os anos de 2015 e 2024, considerando que o orçamento era referente ao ano de 2014. Os valores corrigidos são apresentados na Tabela 7 para o cenário 1, na Tabela 8 para o cenário 2, na Tabela 9 para o cenário 3 e na Tabela 10 para o cenário 4.

Tabela 7. Custos dos equipamentos para o cenário 1

Equipamento	Cenário 1 – 50 mil habitantes
Gasômetro	R\$ 625.000,00
Tanque de drenagem primário	R\$ 39.424,89
Filtro de carvão ativado p/ remoção dos siloxanos	R\$ 103.749,70
Tanque de drenagem secundário	R\$ 39.424,89
Tanque de purificação - Dessulfurizador	R\$ 363.123,94
Tanque de purificação - Vaso desidratação Chiller	R\$ 212.686,88
Unidade de compressão	R\$ 129.687,12
Conjunto de motogerador	R\$ 910.403,60
TOTAL	R\$ 2.423.501,02

Fonte: autoria própria.

Tabela 8. Custos dos equipamentos para o cenário 2

Equipamento	Cenário 2 – 100 mil habitantes
Gasômetro	R\$ 682.000,00
Tanque de drenagem primário	R\$ 46.168,62
Filtro de carvão ativado p/ remoção dos siloxanos	R\$ 103.749,70
Tanque de drenagem secundário	R\$ 46.168,62
Tanque de purificação - Dessulfurizador	R\$ 427.967,51
Tanque de purificação - Vaso desidratação Chiller	R\$ 246.405,53
Unidade de compressão	R\$ 155.624,55
Conjunto de motogerador	R\$ 1.456.645,77
TOTAL	R\$ 3.164.730,28

Fonte: autoria própria.

Tabela 9. Custos dos equipamentos para o cenário 3

Equipamento	Cenário 3 – 200 mil habitantes
Gasômetro	R\$ 860.000,00
Tanque de drenagem primário	R\$ 50.577,98
Filtro de carvão ativado p/ remoção dos siloxanos	R\$ 155.624,55
Tanque de drenagem secundário	R\$ 50.577,98
Tanque de purificação - Dessulfurizador	R\$ 477.248,61
Tanque de purificação - Vaso desidratação Chiller	R\$ 272.342,96
Unidade de compressão	R\$ 181.561,97
Conjunto de motogerador	R\$ 1.675.557,63
TOTAL	R\$ 3.723.491,68

Fonte: autoria própria.

Tabela 10. Custos dos equipamentos para o cenário 4

Equipamento	Cenário 4 – 450 mil habitantes
Gasômetro	R\$ 1.250.000,00
Tanque de drenagem primário	R\$ 57.062,33
Filtro de carvão ativado p/ remoção dos siloxanos	R\$ 207.499,40
Tanque de drenagem secundário	R\$ 57.062,33

Equipamento	Cenário 4 – 450 mil habitantes
Tanque de purificação - Dessulfurizador	R\$ 544.685,92
Tanque de purificação - Vaso desidratação Chiller	R\$ 311.249,10
Unidade de compressão	R\$ 207.499,40
Conjunto de motogerador	R\$ 2.794.757,50
TOTAL	R\$ 5.429.815,97

Fonte: autoria própria.

Quanto aos custos de medição e segurança, a mesma metodologia de atualização dos valores foi adotada, uma vez que estes equipamentos também são importados, como aqueles apresentados no orçamento descrito. O objetivo destes aparelhos é o monitoramento da produção e da qualidade do gás produzido, bem como a concentração deste após a filtragem. Salienta-se que o valor é o mesmo para todos os cenários. Na Tabela 11 são apresentados esses custos.

Tabela 11. Custos de medição e segurança

Equipamento	Para todos os cenários
Medidor de vazão	R\$ 61.456,13
Analizador de gases fixos	R\$ 56.447,62
TOTAL	R\$ 117.903,75

Fonte: autoria própria.

Para utilizar a eletricidade gerada a partir do biogás é preciso que sejam realizadas obras e adaptações nas instalações elétricas, capazes de garantir que, durante 24 horas por dia, essa eletricidade seja seguramente utilizada em paralelismo com a energia da rede. Assim sendo, Valente (2015) apresenta que segundo o Gerente Técnico do Instituto de Tecnologia Aplicada e inovação (ITAI) e a empresa Rotória do Brasil no ano de 2014, os custos referentes a interligação à rede seriam em torno de R\$ 100.000,00 para todos os cenários. Ao encontro disso, a PROBIOGÁS (2017) apresenta um valor de R\$ 117.570,84 fornecido também pela empresa Rotória do Brasil. Desta forma, este montante foi atualizado anualmente de acordo com a média da inflação, aqui considerada 5,93%, resultando no valor de R\$ 177.905,64 para todos os cenários.

Na Tabela 12 apresenta-se o custo total do investimento necessário para cada um dos cenários considerados neste estudo.

Tabela 12. Custo total de investimento por cenário	
Cenário	Capex – Custo total de investimento
1 – 50 mil habitantes	R\$ 2.719.310,42
2 – 100 mil habitantes	R\$ 3.460.539,68
3 – 200 mil habitantes	R\$ 4.019.301,07
4 – 450 mil habitantes	R\$ 5.725.625,37

Fonte: autoria própria.

Verifica-se que, quanto maior a população atendida, o custo total de investimento por habitante diminui. O investimento necessário para o Cenário 1, que atenderia 50 mil habitantes, é aproximadamente 47,5% do valor de investimento para o Cenário 4, que atenderia sete vezes mais pessoas. Esta diferença é justificada pelo elevado valor dos equipamentos, principalmente quando a ETE atende uma população menor.

5.2.3 Custos de operação e manutenção

Os custos considerados para todos os cenários são basicamente os custos com mão de obra e manutenção. Para os custos com mão de obra, como a ETE já conta com operadores, considerou-se um aumento no quadro de funcionários apenas para o controle e manutenção básica dos equipamentos da unidade de recuperação energética. Para os cenários 1 e 2 considerou-se a contratação de um funcionário, para os cenários 3 e 4, a contratação de dois e três funcionários, respectivamente.

De acordo com Valente (2015) e Campello *et al* (2018), 2% do custo de investimento total deve ser destinado para os custos de operação. A Tabela 13 apresenta a relação de valores utilizada considerando o custo de operação e manutenção mensal do sistema de aproveitamento de biogás da ETE.

Tabela 13. Custo de operação e manutenção mensal

Tipo	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
	50 mil habitantes	100 mil habitantes	200 mil habitantes	450 mil habitantes
Manutenção (a.a.)	54.386,21	69.210,79	80.386,02	108.596,32
Operação (a.a.)	78.000,00	78.000,00	156.000,00	234.000,00
TOTAL	132.386,21	147.210,79	236.386,02	342.596,32

Fonte: autoria própria.

O custo definido por funcionário, incluindo salário, encargos e benefícios foi de R\$ 6.000,00, além de 13° salário. Salienta-se que, para o tempo de projeto (20 anos) esses valores foram reajustados de acordo com a média da inflação apresentada no Quadro 4.

5.2.4 Custos evitáveis

Considerando que para nenhum dos cenários obteve-se a geração de energia elétrica para autossuficiência das ETEs, não haverá nenhuma receita com a venda de energia produzida além daquela que será consumida nas Estações. Desta forma, foram calculados os custos evitáveis, ou seja, o valor que não será gasto com a compra de energia elétrica da concessionária.

Para tanto, inicialmente calculou-se o valor médio do quilowatt hora com base na Resolução homologatória nº 3.285, 21 de novembro de 2023 agência nacional de energia elétrica – ANEEL (BRASIL, 2023). Os valores diferem para consumo em horário de ponta (das 18h às 21h) e para consumo fora de ponta. Desta forma, utilizou-se o valor médio para este estudo, conforme apresentado na Tabela 14.

Tabela 14. Valor médio o kWh

Tipo	Valor
Consumo de ponta	R\$ 0,42
Consumo fora de ponta	R\$ 0,27
Médio considerado	R\$ 0,29

Fonte: Adaptado de Brasil (2023)

Após, multiplicou-se o valor médio obtido pela quantidade de kWh gerados em cada um dos cenários. Os valores dos custos evitáveis anualmente são detalhados por cenário na Tabela 15.

Tabela 15. Custos evitáveis por ano em cada cenário

Cenário	Custos evitáveis anuais
Cenário 1 – 50 mil habitantes	R\$ 136.824,97
Cenário 2 – 100 mil habitantes	R\$ 273.649,93
Cenário 3 – 200 mil habitantes	R\$ 547.299,87
Cenário 4 – 450 mil habitantes	R\$ 1.231.424,70

Fonte: autoria própria.

Salienta-se que, para o fluxo de caixa da viabilidade econômica, esses valores foram reajustados anualmente conforme a média da inflação apresentada no item 5.2.1.

5.2.5 Viabilidade econômica

A partir dos dados apresentados nos itens acima, foi possível realizar os cálculos de viabilidade econômica para cada um dos cenários. A análise de viabilidade econômica foi realizada a partir do cálculo do *Payback* simples e descontado, VPL, TIR e LCOE. A seguir é apresentada a Tabela 16, a Tabela 17, a Tabela 18 e a Tabela 19, com os resultados desses parâmetros para cada escala de ETE.

Tabela 16. Análise de viabilidade econômica para o cenário 1

Parâmetro	Cenário 1 – 50 mil habitantes
VPL - Otimista	-R\$ 2.658.134,26
VPL - Base	-R\$ 2.662.976,88
VPL - Pessimista	-R\$ 2.667.264,07
TIR	-17%
LCOE	R\$ 0,83
<i>Payback</i> simples	-
<i>Payback</i> desc 10%	-
<i>Payback</i> desc 11%	-
<i>Payback</i> desc 12%	-

Fonte: autoria própria.

Tabela 17. Análise de viabilidade econômica para o cenário 2

Parâmetro	Cenário 2 – 100 mil habitantes
VPL - Otimista	-R\$ 1.717.921,78
VPL - Base	-R\$ 1.855.865,00
VPL - Pessimista	-R\$ 1.977.986,69
TIR	3%
LCOE	R\$ 0,49
<i>Payback simples</i>	-
<i>Payback desc 10%</i>	-
<i>Payback desc 11%</i>	-
<i>Payback desc 12%</i>	-

Fonte: autoria própria.

Tabela 18. Análise de viabilidade econômica para o cenário 3

Parâmetro	Cenário 3 – 200 mil habitantes
VPL - Otimista	R\$ 25.915,02
VPL - Base	-R\$ 294.298,67
VPL - Pessimista	-R\$ 577.785,16
TIR	10%
LCOE	R\$ 0,34
<i>Payback simples</i>	9,9 anos
<i>Payback desc 10%</i>	-
<i>Payback desc 11%</i>	-
<i>Payback desc 12%</i>	-

Fonte: autoria própria.

Tabela 19. Análise de viabilidade econômica para o cenário 4

Parâmetro	Cenário 4 – 450 mil habitantes
VPL - Otimista	R\$ 5.838.680,69
VPL - Base	R\$ 4.923.266,26
VPL - Pessimista	R\$ 4.112.846,14
TIR	20%
LCOE	R\$ 0,013

Parâmetro	Cenário 4 – 450 mil habitantes
<i>Payback</i> simples	5,6 anos
<i>Payback</i> desc 10%	8,1 anos
<i>Payback</i> desc 11%	8,5 anos
<i>Payback</i> desc 12%	8,9 anos

Fonte: autoria própria.

Para os cenários 1 e 2 nenhum parâmetro se demonstrou viável economicamente, não sendo possível realizar o cálculo de *payback* simples e descontado. Todos os VPLs, considerando as TMAs definidas foram negativos, bem como a TIR para o cenário 1. Mesmo que a TIR tenha sido positiva em 3% para o cenário 2, ainda assim não há viabilidade econômica, uma vez que as TMAs admitidas estão entre 10% e 12%.

O cenário 3 atingiu-se o VPL positivo para a TMA otimista e uma TIR de 10%. Sendo assim, a partir da faixa de 200 mil habitantes, é possível afirmar que há viabilidade econômica, mesmo que para o *payback* descontado não se tenha obtidos valores positivos. Além disso, para este cenário tem-se um Custo Nivelado de Energia próximo ao custo evitável do kWh da ETE, sendo este de R\$ 0,29 por kWh. Por fim, para o cenário 4, todos os parâmetros foram validados, obtendo-se a viabilidade econômica para ETEs que atendam a partir de 450 mil habitantes.

Conforme já descrito anteriormente, o orçamento obtido através do estudo de Valente (2015) foi a base para o cálculo da viabilidade econômica juntamente com a orientação do consultor responsável da empresa Green Representação Comercial Ltda, por e-mail em 2024. A pesquisa realizada pelo referido autor, analisou a viabilidade econômica do aproveitamento energético do biogás em ETEs que atendiam entre 50.000 e 450.000 habitantes, para cinco diferentes arranjos: geração de eletricidade contínua, geração no horário de ponta, cogeração com secagem parcial do lodo, secagem do lodo com geração de eletricidade para autossuprimento do secador e somente secagem do lodo. Considerando o primeiro cenário de geração de eletricidade contínua que se assemelha a esta dissertação, o autor concluiu que, à época, a escala mínima de viabilidade, com TIRs acima de 8% ao ano, estava entre 100 e 200 mil habitantes.

A análise realizada pela Probiogás, em 2017, quanto ao aproveitamento de biogás para uma escala de 100.000 habitantes, considerando os custos de

implantação e operação, e as receitas oriundas da geração de energia elétrica, demonstrou que a implantação da linha de biogás proveniente de Reatores UASB apresentou viabilidade econômica, com TIR de 19,21%, considerando a TMA de 8,7% (BRASIL, 2017). O resultado deste estudo difere do encontrado na pesquisa desta dissertação, onde para o cenário 2 (100 mil habitantes) encontrou-se uma TIR de 3%.

Em 2018, Campello *et al.* (2018) publicaram um estudo de avaliação da viabilidade econômica da exploração energética do biogás proveniente da digestão anaeróbia de esgotos e lodo em ETEs no estado de Minas Gerais. Os resultados da pesquisa demonstraram que, para o Estado, o sistema era viável para aproximadamente 86% das cidades acima de 50 mil habitantes e que, para municípios com mais de 150 mil habitantes foram obtidos altos valores de TIR e VPL, sugerindo que seria viável e atrativos os investimentos neste tipo de aproveitamento energético.

Dos Reis *et al* (2021) realizaram um estudo no município de Poços de Caldas (MG), analisando a situação de três estações de tratamento de esgoto (ETE) em funcionamento na cidade. As ETEs 1 e 2, onde foi possível realizar a análise econômica, possuíam vazão média de 270 L/s e 66,88 L/s, respectivamente. O tempo de retorno do investimento obtido nas análises para a ETE 1 foi de 25 meses, enquanto para a ETE 2 o tempo estimado foi de 221 meses. Se comparado com a presente dissertação, o *Payback* é menor do que aquele calculado, o que pode ser justificado pelos valores de orçamento obtido.

5.3 ANÁLISE AMBIENTAL

Com a estimativa do teor de metano presente no biogás, é possível calcular a quantidade de dióxido de carbono equivalente, que seria deixado de emitir para a atmosfera com utilização deste para geração de energia elétrica.

Na Tabela 20 são apresentadas as vazões volumétricas e mássicas de metano mensurados por ano em cada cenário considerado neste estudo.

Tabela 20. Vazão volumétrica e mássica anual de metano

Cenário	Vazão volumétrica de metano (m³/ano)	Vazão mássica de metano (kg/ano)
1 – 50 mil habitantes	181485,36	124305,04
2 – 100 mil habitantes	362970,72	248610,08
3 – 200 mil habitantes	725941,44	497220,16
4 – 450 mil habitantes	1633368,24	1118745,37

Fonte: autoria própria.

Considerando a vazão mássica de metano emitida por ano, multiplicou-se o valor por 27, a fim de obter-se a equivalência deste em relação as emissões de CO₂. Os resultados encontram-se na Tabela 21.

Tabela 21. Vazão volumétrica e mássica anual de metano

Cenário	tCO₂ equivalente evitadas por ano
1 – 50 mil habitantes	3356,24
2 – 100 mil habitantes	6712,47
3 – 200 mil habitantes	13424,94
4 – 450 mil habitantes	30206,12

Fonte: autoria própria.

Conforme os resultados apresentados, pode-se verificar que é possível reduzir as emissões de metano com a utilização do biogás para geração de energia elétrica entre 3.356,24 tCO₂eq para o cenário 1, podendo chegar a 30.206,12 tCO₂eq para o cenário 4.

Os resultados obtidos vão ao encontro da pesquisa realizada por Silva (2015) que, para a ETE Atuba Sul, estimou que vazão média de biogás era de 84,30 m³/h, para geração de uma potência elétrica máxima de 233 kW. Considerando esses dados, as emissões de metano reduzidas foram de 7.476,7 tCO₂eq, com o aproveitamento energético do biogás, possibilitando inclusive a venda de Certificados de Emissões Evitadas de Carbono.

A viabilidade ambiental também pode ser justificada através do chamado custo de oportunidade. Segundo a literatura, o conceito de custo de oportunidade data do século XIX, quando foi empregado por Frederick Von Wieser (1851-1926) para mensuração do valor econômico dos fatores de produção. Na concepção desse

autor, o custo de oportunidade de um fator de produção representa a renda líquida gerada por esse fator em seu melhor uso alternativo. Na ciência econômica, custo é o que o decisor sacrifica ou abandona ao fazer uma escolha. O custo de oportunidade surge quando o decisor opta, entre duas alternativas mutuamente exclusivas, por aquela menos vantajosa, abdicando de um benefício (ZAGO e PINTO, 2005).

Ou seja, quando se opta por não utilizar o biogás gerado em ETEs, opta-se por uma opção que não é vantajosa, do ponto de vista ambiental, uma vez que o biogás, por sua alta porcentagem de metano, causa significativo impacto na qualidade do ar, além de desperdiçar uma expressiva parcela de energia elétrica que deixaria de ser adquirida das concessionárias de energia.

Além disso, Campello *et al* (2018) defende que a economia promovida pelo custo evitado de energia elétrica em uma ETE com recuperação energética de biogás poderá viabilizar a implantação de novas ETEs em municípios carentes de tratamento de esgotos. Se isso fosse colocado em prática, ainda existiriam ganhos na área da saúde, uma vez que, a cada um dólar gasto em saneamento economiza-se aproximadamente cinco dólares no sistema de saúde (OMS, 2014).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo demonstrou a viabilidade técnica, econômica e ambiental da geração de energia elétrica a partir do biogás produzido em estações de tratamento de efluentes sanitários, utilizando os dados obtidos através de análises do efluente da ETE de Cachoeira do Sul/RS. A análise abrangeu diversos aspectos cruciais, desde a coleta e tratamento de amostras até a avaliação detalhada de cenários populacionais e metodologias econômicas.

Os resultados indicaram que a produção de biogás e a subsequente geração de energia elétrica são tecnicamente viáveis. Para tanto, foram realizadas coletas e análises do efluente recebido na ETE do município de Cachoeira do Sul/RS. Mesmo a ETE operando com 50% da sua capacidade de projeto, os cálculos teóricos de produção de biogás apresentaram-se favoráveis para o aproveitamento energético deste.

Para a análise econômica realizou-se primeiramente uma revisão sistemática, para definição das metodologias utilizadas. Após a revisão e análise de mais de 1.700 estudos, determinou-se que as metodologias aplicadas seriam *payback* simples e descontado, VPL, TIR e LCOE.

Após a realização dos cálculos, a análise econômica revelou que a viabilidade financeira é alcançável principalmente em cenários que atendem populações maiores, a partir de 200 mil habitantes. Para estas faixas populacionais, os indicadores econômicos como VPL, TIR e LCOE mostraram-se favoráveis, indicando que o investimento em infraestrutura para a geração de energia a partir do biogás pode ser recuperado em um prazo razoável, além de proporcionar economia significativa nos custos operacionais das ETEs.

Do ponto de vista ambiental, a utilização do biogás para geração de energia elétrica contribui significativamente para a redução das emissões de gases de efeito estufa, especialmente metano, que possui um potencial de aquecimento global superior ao dióxido de carbono. A implementação deste sistema não só ajuda na mitigação das mudanças climáticas, mas também promove a sustentabilidade ambiental ao transformar resíduos em recursos valiosos.

Em conclusão, a geração de energia elétrica a partir do biogás em estações de tratamento de efluentes sanitários representa uma solução sustentável e

economicamente viável. O biogás pode ser considerado uma fonte de energia renovável e com potencial de expansão, contribuindo significativamente para a matriz energética brasileira. Além disso, também colabora com a preservação ambiental, atendendo inclusive diversas metas relacionadas aos ODS.

7. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

De acordo com os resultados obtidos, este trabalho pode ser continuado e aprimorado, possibilitando o acompanhamento da utilização do biogás para geração de energia elétrica ao longo do tempo. Com base nos resultados desse estudo recomenda-se que em trabalhos futuros sejam exploradas as seguintes questões:

- Otimização dos processos de digestão anaeróbia;
- Medição primária do fluxo de vazão e da qualidade do biogás gerado;
- Valoração dos benefícios sociais e ambientais do aproveitamento energético do biogás para viabilizar em ETEs de menor porte;
- Estudo de viabilidade para ETEs que já contam com reatores UASB, a partir de orçamento atual;
- Possibilidade de venda de créditos de carbono.

REFERÊNCIAS

ABIOGÁS - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE BIOGÁS E BIOMETANO. **ABiogás comemora resolução da ANP que estabelece regras para controle de qualidade do biometano oriundo de aterros sanitários e ETEs.** São Paulo, 2017. Disponível em: <https://www.abiogas.org.br/anp-regulamentacao-biometano>. Acesso em: 02 de fev. 2023.

ABIOGÁS - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE BIOGÁS E BIOMETANO. **Biogás tem potencial equivalente a 25% da energia do país, aponta ABiogás.** São Paulo, 2017. Disponível em: < <https://www.abiogas.org.br/potencial-biogas-canal-energia>>. Acesso em: 20 de dez. 2023.

ABIOGÁS - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE BIOGÁS E BIOMETANO. **ABiogás divulga novo potencial do biogás para o mercado brasileiro.** São Paulo: ABiogás, 2021. Disponível em: <https://abiogas.org.br/abiogas-divulga-novo-potencial-do-biogas-para-o-mercado-brasileiro-durante-forum-em-sao-paulo/>. Acesso em: 02 de abr. 2022.

ABREU, Fábio Viana de; CORREA, João Claudio Motta França; AVELINO, Mila Rosendal; SOUZA, Mauro Carlos Lopes. Technical and economical feasibility analysis of energy generation through the biogas from waste in landfill. In: **BRAZILIAN CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING**, 21., 2011, Natal. Proceedings [...]. Natal: ABCM, 2011. Disponível em: <http://www.abcm.org.br/app/webroot/anais/cobem/2011/PDF/042401.pdf>. Acesso em: 03 de dez. 2021.

ABREU, Fábio Viana; AVELINO, Mila Rosendal; MONÂCO, Diego Preza. Estudo Técnico, Econômico e Ambiental da geração de energia através do biogás de lixo-o caso do aterro sanitário de Gramacho. **Cadernos UniFOA**, v. 6, n. 16, p. 37-43, 2011. Disponível em: <https://revistas.unifoa.edu.br/cadernos/article/view/1056>. Acesso em: 05 de dez. 2021.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas.** Brasília, 2017. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/ATLASESGOTOSDespoluicaoodeBaciasHidrograficas-ResumoExecutivo_livro.pdf>. Acesso em: 09 mar. 2023.

BARRAK, Érika. **Análise técnica e econômica da recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos através da incineração e do gás de aterro sanitário.** 2018. 138 p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia de Energia) – Faculdade de Engenharia de Energia, Universidade Federal de Itajubá, Minas Gerais, 2018. Disponível em:

<https://repositorio.unifei.edu.br/xmlui/handle/123456789/1496>. Acesso em: 10 de jan. 2022.

CONAMA - **Conselho Nacional do Meio Ambiente**. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho CONAMA. Diário Oficial da república federativa do Brasil, Brasília, DF, 16 de Lavagem de veículos Caixa de retenção do lodo Caixa separadora de água e óleo Reservatório de coagulação e floculação Caixa de retenção do lodo Lodo FeCl₃ 3 Lodo Efluente Empresa especializada Óleo Empresa especializada Disposição final maio de 2011. Acessado em: http://www.mma.gov.br/port/conama/legi_abre.cfm?codlegi=646

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. 145 p.: il. – (Aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto; 2). ISBN 978-85-7958-061-1.

BRASIL. Guia Técnico de Aproveitamento Energético de Biogás em estação de Tratamento de Esgoto. Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil, Probiogás. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, **Ministério das Cidades**, 2017.

BRASIL. Guia Técnico de Aproveitamento Energético de Biogás em estação de Tratamento de Esgoto. Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil, Probiogás. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, **Ministério das Cidades**, 2017.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. **Atualiza o marco legal do saneamento básico e dá outras providências**. Diário Oficial da União 2020; 16 jul.

BRASIL. **Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)**. Resolução Homologatória nº 3.285, de 21 de novembro de 2023. Homologa o resultado do Reajuste Tarifário Anual de 2023, as Tarifas de Energia – TE e as Tarifas de Uso do Sistema de Distribuição – TUSD referentes à DME Distribuição S.A. - DMED, e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 22 nov. 2023. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/reh20233285.pdf>. Acesso em: 15 set. 2024.

BRITO, Fernanda L. S. **Biodigestão anaeróbia em duplo estágio do bagaço de cana-de-açúcar para obtenção de biogás**. 2011. Dissertação de Mestrado - 170 pp. Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Belo Horizonte, 2011.

CABRAL, C.B.G., PLATZER, C.J., CHERNICHARO, C.A.L., BELLI, P., HOFFMANN, H. Avaliação do Biogás produzido em Reatores UASB em ETE. In: **20ª Exposição de Experiências Municipais em Saneamento**, Anais. Jaraguá do Sul - SC, 2016.

CABRAL, Carolina Bayer Gomes. **Avaliação da produção de biogás para fins energéticos em reatores anaeróbios tratando esgoto sanitário**. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental - UFSC. Florianópolis. 2016.

CAMPELLO, Laura Dardot; BARROS, Regina Mambeli; TIAGO FILHO, Geraldo Lucio; BARBOSA, Adriana de Cássia. Análise da viabilidade econômica da recuperação do biogás produzido em estações de tratamento de esgoto e do potencial disponível no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Energia**, Itajubá, v. 24, n. 2, p. 22-35, 2018.

CAMPOS, Sthefany Cristine da Silva; FERNANDES, Fernanda Costa Ferreira; SOARES, Adriano Carlos; CHARMELO, Leopoldo Concepción Loreto; ALMEIDA, Marco Antônio Zopelar. Avaliação da eficiência de fossas sépticas biodigestoras. In: **SEMINÁRIO CIENTÍFICO DA FACIG**, 1., 2015, Manhuaçu. Anais [...]. Manhuaçu: FACIG, 2017. p. 1-10.

CENBIO - Centro Nacional de Referência em Biomassa. Nota Técnica VII. GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DO BIOGÁS GERADO POR RESÍDUOS URBANOS E RURAIS. São Paulo, 2001.

CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos. **Reatores anaeróbios**. 2ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 380 p., 2007.

CIBIOGÁS - CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS. Panorama do Biogás no Brasil 2021. **CIBiogás (Brasil)** Relatório Técnico nº 001/2022 – Foz do Iguaçu, 2022. Disponível em: <https://cibiogas.org/wp-content/uploads/2022/04/NT-PANORAMA-DO-BIOGAS-NO-BRASIL-2021.pdf> . Acesso em: 20 de maio. 2023.

MITO, J. Y. de L.; KERKHOFF, S.; SILVA, J. L. G.; VENDRAME, M. G.; STEINMETZ, R. L. R.; KUNZ, A. **Metodologia para estimar o potencial de biogás e biometano a partir de plantéis suínos e bovinos no Brasil**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2018. 52 p. (Documentos / Embrapa Suínos e Aves, ISSN 0101-6245; 196).

CONFORTO, Sergio. **A Engenharia de Custos na Viabilidade Econômica de Empreendimentos Industriais**. Rio de Janeiro: Taba Cultural, 2011.

CORSAN – COMPANHIA RIOGRANDENSE DE SANEAMENTO. **MEMORIAL DESCRITIVO ETE CACHOEIRA DO SUL**. 2008.

CORSAN – COMPANHIA RIOGRANDENSE DE SANEAMENTO. **PROJETO DE PESQUISA** - OTIMIZAÇÃO DA CONDIÇÃO OPERACIONAL E DE PROCESSO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES SANITÁRIOS DE CACHOEIRA DO SUL – BIOGASCOR. 2021.

DA SILVA, Frederico Pinto. **Possibilidade de autonomia e soberania energética através da biodigestão anaeróbica em assentamento da reforma agrária: estudo de caso no projeto de assentamento Pequeno Willian-DF**. 2015. 162. Dissertação (Mestrado) – PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO RURAL – PPG – MADER, FACULDADE UnB PLANALTINA, UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, Brasília, 2015.

DEUBLEIN, Dieter; STEINHAUSER, Angelika. **Biogas from waste and renewable resources: an introduction**. John Wiley & Sons, 2011.

DOS REIS, João Marcos. **Estudo da viabilidade econômica para produção de biogás gerado nas estações de tratamento de esgoto no município de Poços de Caldas**. 2021. 48 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, 2021.

DOS SANTOS, Ivan Felipe Silva; LEITE, Marcelo Daige Prado; BARROS, Regina Mambeli; TIAGO FILHO, Geraldo Lúcio. Um estudo dos custos de implantação de empreendimentos de aproveitamento energético do biogás de estações de tratamento de esgoto. **Revista Brasileira de Energia**, v. 20, n. 2, p. 145-155, 2014.

ENERG GERADORES. Motores da Série S. **Energ Geradores**, 2024. Disponível em: <https://www.energgeradores.com.br/serie-s-sl>. Acesso em: 10 set. 2024.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional**. Brasília: MME/EPE, 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021>. Acesso em: 23 de fev. 2023.

FERNANDES, Carlos Eduardo; NETO, Elson Barbosa; OLIVEIRA, Vinícius Cassiano de; FERNANDES, Laila Isa Faustino de Araújo. Saneamento ambiental: os desafios da estação de tratamento de esgoto do DAIA em Anápolis (GO). **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 42426-42436, 2020.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA); UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE (UFF); INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL (IBAM). Esgotamento sanitário. **Cadernos Temáticos Saneamento Básico**. Brasília: FUNASA, 2016. 41 p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Global warming potential values**. 2.0 ed. August 7, 2024. 10 p.

IBG - Indústria Brasileira de Gases. Metano. [s.l.]: IBG, [2024?]. Disponível em: <URL do documento, se disponível>. Acesso em: 15 set. 2024.

GRANATO, Eder F. **Geração de Energia Através da Biodigestão Anaeróbica da Vinhaça**. 2003. f.124 Dissertação (Mestrado) Faculdade de Engenharia, UNESP, Bauru.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA – IBGE. **Cidades e Estados** – Cachoeira do Sul/RS. 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/cachoeira-do-sul/panorama>. Acesso em: 07 de dez. 2022.

LOSEKANN, Luciano; TAVARES, Amanda. Transição energética e potencial de cooperação nos BRICS em energias renováveis e gás natural. Brasília: **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea)**, 2020. 1ª ed. 71 p.

JACOBOWSKI, Marcelo. **Viabilidade econômica da cogeração de energia a partir do biogás: um estudo de caso no aterro sanitário de Toledo, Paraná**. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Agronegócio, Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Campus de Toledo, 2018.

KARLSSON, Tommy; KONRAD, Odorico; LUMI, Marluce; SCHMEIER, Nara Paula; MARDER, Munique; CASARIL, Camila Elis; KOCH, Fábio Fernandes; PEDROSO, Albari Gelson. **MANUAL BASICO DE BIOGÁS**. Lajeado: Univates, v. 1, 2014. Disponível em: <https://www.univates.br/editora-univates/media/publicacoes/71/pdf_71.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2022.

KUNZ, Airton; STEINMETZ, Ricardo Luis Radis; AMARAL, André Cestonaro do. **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato**. Concórdia: Sbera: Embrapa Suínos e Aves, 2019. p. 41-68. DOI: https://dx.doi.org/10.21452/978-85-93823-01-5.2019.01_3

LIFE SANEAMENTO. Queimador de Biogás em Aço Inoxidável. **Life Saneamento**, 2024. Disponível em: <https://www.lifesaneamento.com.br/queimador-de-biogas-aco-inoxidavel/>. Acesso em: 10 set. 2024.

LINS, Leonardo Pereira; FURTADO, Andréia Cristina; MITO, Jessica Yuki de Lima; PADILHA, Janine Carvalho. **O aproveitamento energético do biogás como ferramenta para os objetivos do desenvolvimento sustentável.** Interações, Campo Grande, MS, v. 23, n. 4, p. 1275-1286, out./dez. 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.20435/inter.v23i4.3704>.

LOBATO, L.C.S (2011). **Aproveitamento energético de biogás gerado em reatores UASB tratando esgoto doméstico.** Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

LUCIO, Luís Thiago MSc. **Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica para o Aproveitamento Energético do Biogás no município de Entre Rios do Oeste (PR) – Produção Descentralizada versus Produção Centralizada de Biogás.** Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Agosto de 2014. Professor Orientador Dr. Elisandro Pires Frigo. Professor Coorientador Dr. Helton José Alves.

MAFETECH. Medidor de Vazão tipo Vortex. **Mafetech**, 2024. Disponível em: <https://mafetech.com.br/produto/medidor-de-vazao-vortex/>. Acesso em: 10 set. 2024.

MICUANSKI, Viviane Cavaler; MSc. **Viabilidade técnica e econômica da utilização da vinhaça para geração de energia elétrica (estudo de caso).** Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Dezembro de 2014. Orientador: Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira.

MILANEZ, Artur Yabe; MAIA, Guilherme B. S.; GUIMARÃES, Diego D. Biogás: evolução recente e potencial de uma nova fronteira de energia renovável para o Brasil. **BNDES Set.**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 53, p. 177-216, 2021. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/20801>

MONTOYA, JUAN P. G.; MADERO, KAREN P. C.; GALEANO, Layrisser I.; ARRIETA, Andrés A. A. **Effect of biogas enriched with hydrogen on the operation and performance of a diesel-biogas dual engine.** v. 5, n. 2, p.61-72, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.org.co/pdf/ctyf/v5n2/v5n2a05.pdf>. Acesso em: 14 de nov. 2022.

MOREIRA, H.C. **Biogás em estações de tratamento de esgotos: os principais legados da cooperação técnica Brasil-Alemanha 2017.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017, 174 p.

OKAMURA, Layssa A. **Avaliação e melhoria do poder calorífico de biogás proveniente de resíduos sólidos urbanos.** Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

Disponível em:

http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/637/1/CT_PPGCTA_M_Okamura,%20Layssa%20Aline_2013.pdf. Acesso em: 28 de jan. 2022.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. **Nações Unidas Brasil**, 2024. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 12 out. 2024.

PEIXE, Vany Paulo. **Análise da viabilidade técnica e econômica da queima do biogás em uma usina sucroenergética**. 2018. 86f. Dissertação (Mestrado em Inovação Tecnológica) - Programa de Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, 2018.

PEREIRA, Warley Augusto; ALMEIDA, L. da S. Método manual para cálculo da taxa interna de retorno. **Revista Objetiva**, v. 4, p. 38-50, 2008.

PEREIRA, Rodrigo Alves Dos Santos. **Viabilidade técnica e econômica de estações de tratamento de esgoto com cogeração com biogás em diferentes escalas de suprimento de energia**. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2016.

Property Management. **Estudo de Viabilidade Ambiental: entenda o que é e qual sua importância**, 14 maio 2024. Disponível em: <https://propertymanagement.com.br/estudo-de-viabilidade-ambiental-entenda-o-que-e-e-qual-sua-importancia/>. Acesso em: 12 out. 2024.

QUEVEDO, Heleno. **Biogás e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)**. Portal Energia e Biogás, 17 maio 2024. Disponível em: <https://energiaebiogas.com.br/biogas-e-os-objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel-ods>. Acesso em: 12 set. 2024.

RIO GRANDE DO SUL. **Resolução CONSEMA Nº 128/2006**. Dispõe sobre a fixação de Padrões de Emissão de Efluentes Líquidos para fontes de emissão que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul. Publicado no DOE do dia 07 de dezembro de 2006. Porto Alegre.

ROMEIRO, D. L., ALMEIDA, E., LOSEKANN, L. A escolha de tecnologias de geração elétrica. In: **5th Latin American Energy Economics Meeting**, 2015.

ROSSETO, C. **Desempenho de motor-gerador de ciclo otto operado com gasolina e biogás proveniente de suinocultura e de uma estação de tratamento de esgotos**. 2014. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2014.

SAMPAIO, R.F.; MANCINI, M.C. Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, v.11, n.1, p.83-89, 2007.

SANTANA, Julie Catherine Siqueira; RIBEIRO, Maria Eduarda de Oliveira; SOUZA, Paulo Roberto de Azevedo; SOUZA, João Paulo Silva de; PERES, Silane Mattos. O uso e produção da energia limpa como método de preservação ambiental sustentável. **Revista Portos: Por um Mundo Mais Sustentável**, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.47879/ed.ep.2020144p99>. Acesso em: 12 nov. 2023.

SILVA, T. C. F. **Utilização de Biogás de Estações de Tratamento de Esgoto para Fins Energéticos**. 2015. 152 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo – São Paulo, 2015

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto – Visão Geral**. 2022. Disponível em: https://arquivos-snis.mdr.gov.br/REPUBLICACAO_DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_AE_SNIS_2022.pdf. Acesso em: 10 de mar. 2023.

SOARES, Caroline Monique Tietz; FEIDEN, Armin; TAVARES, Sidnei Gregorio. **FATORES QUE INFLUENCIAM O PROCESSO DE DIGESTÃO ANAERÓBIA NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS**. *Nativa*, [S. l.], v. 5, n. 7, p. 522-528, 2018. DOI: 10.31413/nativa.v5i7.5155. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/5155>. Acesso em: 06 de dez. 2021.

SOARES, I.P.; SCHULTZ, E.L.; GAMBETTA, R.; GONCALVES, S. B. Biogás e suas contribuições para os objetivos de desenvolvimento sustentável. Brasília: **Embrapa Agroenergia**, 2022.

TRATA BRASIL. **Benefícios econômicos da expansão do saneamento no Rio Grande do Sul**. 2023. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/beneficios-economicos-com-a-expansao-do-saneamento-no-rio-grande-do-sul/>. Acesso em: 08 de ago. 2023.

TRICASE, C.; LOMBARDI, M. State of the art and prospects of Italian biogas production from animal sewage: Technical-economic considerations. **Renewable Energy**, v. 34, n. 2, p. 477-485, 2009. Disponível em: <https://www.elsevier.com/locate/renene>. Acesso em: 12 abr. 2024.

UNION INSTRUMENTS. Multi-Gasanalyzers INCA. **Union Instruments**, 2024. Disponível em: <https://union-instruments.com/en/products/multi-gasanalyzers-inca>. Acesso em: 10 set. 2024.

VALENTE, V.B. **Análise de viabilidade econômica e escala mínima de uso do biogás de reatores anaeróbios em estações de Tratamento de Esgoto no Brasil**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

VIEIRA, Henrique Gois; POLLI, Henrique Quero. O BIOGÁS COMO FONTE ALTERNATIVA DE ENERGIA. **Revista Interface Tecnológica**, [S. l.], v. 17, n. 1, p. 388-400, 2020. DOI: 10.31510/infa.v17i1.766. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/index.php/interfacetecnologica/article/view/766>. Acesso em: 28 de nov. 2021.

VIEIRA, Délcio. **Estudo da pirólise de lodo sanitário, visando sua valorização energética**. 2012. 95 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

VON SPERLING, M. Princípios básicos do tratamento de esgoto. 3ª. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Universidade Federal de Minas Gerais**, 1996.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). **Para cada dólar investido em água e saneamento, economiza-se 4,3 dólares em saúde global**. Nações Unidas Brasil, 20 nov. 2014. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/55290-oms-para-cada-dólar-investido-em-água-e-saneamento-economiza-se-43-dólares-em-saúde-global>. Acesso em: 12 out. 2024.

ZAGO, Ana Paula Pinheiro; PINTO, Kleber Carlos Ribeiro. Custo de oportunidade: polêmicas e provocações. In: **IX Congresso Internacional de Custos**, 2005, Florianópolis. Anais [...]. Florianópolis: Associação Brasileira de Custos, 2005.

ZANETTE, André Luiz. **Potencial de aproveitamento energético do biogás no Brasil. Dissertação** (mestrado). Programa de Planejamento Energético, COPPE. Rio de Janeiro. 2009.

ZILOTTI, Hécio Alexandre Rodrigues, M.Sc.; Universidade Estadual do Oeste do Paraná, fevereiro de 2012. **Potencial de produção de biogás em uma estação de tratamento de esgoto de Cascavel para a geração de energia elétrica**. Orientador: Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira. Coorientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira.

APÊNDICE

APÊNDICE A – Cálculos

RESULTADOS DAS ANÁLISES

Data	Campanha	Resultado DQO – efluente bruto (mgO ₂ /L)	Resultado DQO – efluente tratado (mgO ₂ /L)	Eficiência de remoção DQO	Vazões observadas (m ³ /h)
22/11/2021	A1	648	149	77%	-
16/02/2022	A2	401	178	56%	176,8
30/06/2022	A3	346	153	56%	287,5
19/07/2022	A4	254	92	64%	287,5
27/09/2022	A5	296	142	52%	268,33
23/11/2022	A6	355	117	67%	268,33
11/01/2023	A7	291	176	40%	112,5
21/03/2023	A8	362	158	56%	217,5
27/06/2023	A9	336	148	56%	258,33
26/07/2023	A10	207	175	15%	50
29/08/2023	A11	298	35	88%	200
07/11/2023	A12	207	71	66%	
Média		333,4166667	132,8333333	60%	212,679

CÁLCULO DA POTÊNCIA - CENÁRIO REAL DA ETE

Média das vazões observadas (m ³ /h)	212,679
Média das vazões observadas (m ³ /dia)	5104,296

Eficiência de remoção DQO	60%	200,5833333
---------------------------	-----	-------------

PX _{ssv}	10%	Ou seja 90% da DQO vai para CH ₄ e 10% para novas células
-------------------	-----	--

DQOCH ₄	180,525	mgO ₂ /m ³ de efluente
--------------------	---------	--

V _{CH₄}	63,18375	LCH ₄ /m ³ de efluente
-----------------------------	----------	--

V _{biogás}	97,20576923	L _{biogás} /m ³ de efluente
V _{biogás}	0,097205769	m ³ biogás

Considera-se que 65% do biogás é metano	m ³ biogás/dia	m ³ de biogás/hora
	496,1670191	20,67362579

1KWh equivale a	0,6	m ³ de biogás
-----------------	-----	--------------------------

PKW	0,162009615	KW/m ³
PKW	34,45604299	KW
Php	46,18772519	hp

CÁLCULO DA POTÊNCIA - CENÁRIO 1

CENÁRIO 1 (habitantes)	50000
Produção por habitante (m³/h)	0,006666667
Produção por habitante (l/dia)	160

VALORES INICIAIS	DQO – efluente bruto (mgO ₂ /L)	Vazões cenários (m³/h)
	333,4166667	333,3333333

Média das vazões observadas (m³/h)	333,3333333
Média das vazões observadas (m³/dia)	8000

Eficiência de remoção DQO	60%	200,05
---------------------------	-----	--------

P _{Xssv}	90%	Ou seja 90% da DOQ vai para CH ₄
-------------------	-----	---

DQO _{CH₄}	180,045	mgO ₂ /m³ de efluente
-------------------------------	---------	----------------------------------

V _{CH₄}	63,01575	LCH ₄ /m³ de efluente
-----------------------------	----------	----------------------------------

V _{biogás}	96,94730769	L _{biogás} /m³ de efluente
V _{biogás}	0,096947308	m³biogás/m³efluente

Considera-se que 65% do biogás é metano	m³ biogás/dia	m³ de biogás/hora
	775,5784615	32,31576923

1KWh equivale a	0,6	m³ de biogás
-----------------	-----	--------------

PKW	0,161578846	KWh/m³
PKW	53,85961538	KWh
Php	72,19787585	hp

CÁLCULO DA POTÊNCIA - CENÁRIO 2

CENÁRIO 2 (habitantes)	100000
Produção por habitante (m³/h)	0,006666667
Produção por habitante (l/dia)	160

VALORES INICIAIS	DQO – efluente bruto (mgO ₂ /L)	Vazões cenários (m³/h)
	333,4166667	666,6666667

Média das vazões observadas (m³/h)	666,6666667
Média das vazões observadas (m³/dia)	16000

Eficiência de remoção DQO	60%	200,05
---------------------------	-----	--------

P _{Xssv}	90%	Ou seja 90% da DOQ vai para CH ₄
-------------------	-----	---

DQOCH ₄	180,045	mgO ₂ /m³ de efluente
--------------------	---------	----------------------------------

VCH ₄	63,01575	LCH ₄ /m³ de efluente
------------------	----------	----------------------------------

V _{biogás}	96,94730769	L _{biogás} /m³ de efluente
V _{biogás}	0,096947308	m³ biogás/m³ efluente

Considera-se que 65% do biogás é metano	m³ biogás/dia	m³ de biogás/hora
	1551,156923	64,63153846

1KWh equivale a	0,6	m³ de biogás
-----------------	-----	--------------

PKW	0,161578846	KWh/m³
PKW	107,7192308	KWh
Php	144,3957517	hp

CÁLCULO DA POTÊNCIA - CENÁRIO 3

CENÁRIO 3 (habitantes)	200000
Produção por habitante (m³/h)	0,006666667
Produção por habitante (l/dia)	160

VALORES INICIAIS	DQO – efluente bruto (mgO₂/L)	Vazões cenários (m³/h)
	333,4166667	1333,333333

Média das vazões observadas (m³/h)	1333,333333
Média das vazões observadas (m³/dia)	32000

Eficiência de remoção DQO	60%	200,05
---------------------------	-----	--------

P _{XSSV}	90%	Ou seja 90% da DOQ vai para CH₄
-------------------	-----	---------------------------------

DQO _{CH₄}	180,045	mgO₂/m³ de efluente
--------------------	---------	---------------------

V _{CH₄}	63,01575	L _{CH₄} /m³ de efluente
------------------	----------	----------------------------------

V _{biogás}	96,94730769	L _{biogás} /m³ de efluente
V _{biogás}	0,096947308	m³biogás/m³efluente

Considera-se que 65% do biogás é metano	m³ biogás/dia	m³ de biogás/hora
	3102,313846	129,2630769

1KWh equivale a	0,6	m³ de biogás
-----------------	-----	--------------

PKW	0,161578846	KWh/m³
PKW	215,4384615	KWh
Php	288,7915034	hp

CÁLCULO DA POTÊNCIA - CENÁRIO 4

CENÁRIO 4 (habitantes)	450000
Produção por habitante (m³/h)	0,006666667
Produção por habitante (l/dia)	160

VALORES INICIAIS	DQO – efluente bruto (mgO₂/L)	Vazões cenários (m³/h)
	333,4166667	3000

Média das vazões observadas (m³/h)	3000
Média das vazões observadas (m³/dia)	72000

Eficiência de remoção DQO	60%	200,05
---------------------------	-----	--------

P _{XSSV}	90%	Ou seja 90% da DOQ vai para CH₄
-------------------	-----	---------------------------------

DQO _{CH₄}	180,045	mgO₂/m³ de efluente
--------------------	---------	---------------------

V _{CH₄}	63,01575	LCH₄/m³ de efluente
------------------	----------	---------------------

V _{biogás}	96,94730769	L _{biogás} /m³ de efluente
V _{biogás}	0,096947308	m³ _{biogás} /m³ efluente

Considera-se que 65% do biogás é metano	m³ biogás/dia	m³ de biogás/hora
	6980,206154	290,8419231

1KWh equivale a	0,6	m³ de biogás
-----------------	-----	--------------

PKW	0,161578846	KWh/m³
PKW	484,7365385	KWh
Php	649,7808827	hp

RESUMO DAS POTÊNCIAS DE CADA CENÁRIO

Cenário	Habitantes	Potência (kw)
1	50000	53,86
2	100000	107,72
3	200000	215,44
4	450000	484,73

CAPEX – CUSTOS DE INVESTIMENTO

<i>Custos de implantação</i>				
VALORES ATUALIZADOS 10% a.a. (Exceto gasômetro)				
CUSTOS	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Gasômetro	R\$ 625.000,00	R\$ 682.000,00	R\$ 860.000,00	R\$ 1.250.000,00
Tanque de drenagem primário	R\$ 39.424,89	R\$ 46.168,62	R\$ 50.577,98	R\$ 57.062,33
Filtro de carvão ativado p/ remoção dos siloxanos	R\$ 103.749,70	R\$ 103.749,70	R\$ 155.624,55	R\$ 207.499,40
Tanque de drenagem secundário	R\$ 39.424,89	R\$ 46.168,62	R\$ 50.577,98	R\$ 57.062,33
Tanque de purificação - Dessulfurizador	R\$ 363.123,94	R\$ 427.967,51	R\$ 477.248,61	R\$ 544.685,92
Tanque de purificação - Vaso desidratação Chiller	R\$ 212.686,88	R\$ 246.405,53	R\$ 272.342,96	R\$ 311.249,10
Unidade de compressão	R\$ 129.687,12	R\$ 155.624,55	R\$ 181.561,97	R\$ 207.499,40
Conjunto de motogerador	R\$ 910.403,60	R\$ 1.456.645,77	R\$ 1.675.557,63	R\$ 2.794.757,50
TOTAL	R\$ 2.423.501,02	R\$ 3.164.730,28	R\$ 3.723.491,68	R\$ 5.429.815,97

<i>Custos de medição e segurança</i>	Para todos os cenários
Medidor de vazão	R\$ 61.456,13
Analizador de gases fixos	R\$ 56.447,62
TOTAL	R\$ 117.903,75

VALORES ATUALIZADOS 5,93% a.a. Média IPCA	
<i>Custo de interligação com a rede</i>	Para todos os cenários
	R\$ 177.905,64

CAPEX - Custos de Investimento - Total			
Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
R\$ 2.719.310,42	R\$ 3.460.539,68	R\$ 4.019.301,07	R\$ 5.725.625,37

OPEX - Custos de operação e manutenção

Manutenção a.a.	2% do valor do custo de investimento inicial		
Operação (a.m.) (a.a.) um funcionário	R\$ 6.000,00	R\$ 78.000,00	incluindo salário, encargos e benefícios

CUSTO	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Manutenção (a.a.)	R\$ 54.386,21	R\$ 69.210,79	R\$ 80.386,02	R\$ 108.596,32
Operação (a.a.)	R\$ 78.000,00	R\$ 78.000,00	R\$ 156.000,00	R\$ 234.000,00
TOTAL	R\$ 132.386,21	R\$ 147.210,79	R\$ 236.386,02	R\$ 342.596,32

RECEITAS

<i>Tipo de consumo</i>	<i>Valor</i>	<i>Horas de consumo</i>	<i>Valor por dia</i>
Valor consumo de ponta (kWh)	R\$ 0,42	3	R\$ 1,25
Valor consumo fora de ponta (kWh)	R\$ 0,27000	21	R\$ 5,67000
Valor médio (kWh)	R\$ 0,29		
Consumo de eletricidade (Valente, 2015) (kWh.hab/ano)	25		

Consumo de eletricidade estimado (kWh.hab/ano)					
Cenários		Consumo (kWh/ano)	Consumo (kWh/mês)	Valor mensal	Valor anual
Cenário 1	50000	1250000	104167	R\$ 30.208,33	R\$ 362.500,00
Cenário 2	100000	2500000	208333	R\$ 60.416,67	R\$ 725.000,00
Cenário 3	200000	5000000	416667	R\$ 120.833,33	R\$ 1.450.000,00
Cenário 4	450000	11250000	937500	R\$ 271.875,00	R\$ 3.262.500,00

Geração de eletricidade estimado (kWh/ano)					
Cenários		Geração (kWh/ano)	Geração (kWh/mês)	Custo evitado mensal	Custo evitado anual
Cenário 1	50000	471810,23	39317,52	R\$ 11.402,08	R\$ 136.824,97
Cenário 2	100000	943620,46	78635,04	R\$ 22.804,16	R\$ 273.649,93
Cenário 3	200000	1887240,92	157270,08	R\$ 45.608,32	R\$ 547.299,87
Cenário 4	450000	4246292,08	353857,67	R\$ 102.618,73	R\$ 1.231.424,70

APLICAÇÃO DAS METODOLOGIAS ECONÔMICAS POR CENÁRIO

Taxa Mínima de Atratividade	Otimista	10%
	Base	11%
	Pessimista	12%

Ano	Cenário 1 - 50 mil hab			
	CAPEX	OPEX	RECEITAS	FLUXO DE CAIXA
0	R\$ 2.719.310,42			-R\$ 2.719.310,42
1		R\$ 140.236,71	R\$ 144.938,69	R\$ 4.701,98
2		R\$ 148.552,75	R\$ 153.533,55	R\$ 4.980,80
3		R\$ 157.361,93	R\$ 162.638,09	R\$ 5.276,17
4		R\$ 166.693,49	R\$ 172.282,53	R\$ 5.589,04
5		R\$ 176.578,41	R\$ 182.498,88	R\$ 5.920,47
6		R\$ 187.049,51	R\$ 193.321,07	R\$ 6.271,56
7		R\$ 198.141,55	R\$ 204.785,01	R\$ 6.643,46
8		R\$ 209.891,34	R\$ 216.928,76	R\$ 7.037,42
9		R\$ 222.337,90	R\$ 229.792,63	R\$ 7.454,74
10		R\$ 235.522,53	R\$ 243.419,34	R\$ 7.896,80
11		R\$ 249.489,02	R\$ 257.854,10	R\$ 8.365,08
12		R\$ 264.283,72	R\$ 273.144,85	R\$ 8.861,13
13		R\$ 279.955,74	R\$ 289.342,34	R\$ 9.386,60
14		R\$ 296.557,12	R\$ 306.500,34	R\$ 9.943,22
15		R\$ 314.142,96	R\$ 324.675,81	R\$ 10.532,86
16		R\$ 332.771,63	R\$ 343.929,09	R\$ 11.157,45
17		R\$ 352.504,99	R\$ 364.324,08	R\$ 11.819,09
18		R\$ 373.408,54	R\$ 385.928,50	R\$ 12.519,96
19		R\$ 395.551,67	R\$ 408.814,06	R\$ 13.262,40
20		R\$ 419.007,88	R\$ 433.056,74	R\$ 14.048,86
CAPEX+OPEX		R\$ 7.839.349,80		
			VPL - Otimista	-R\$ 2.658.134,26
			VPL - Base	-R\$ 2.662.976,88
			VPL - Pessimista	-R\$ 2.667.264,07
			TIR	-17%
			LCOE	0,830773613

Ano	Cenário 2 - 100 mil hab			
	CAPEX	OPEX	RECEITAS	FLUXO DE CAIXA
0	R\$ 3.460.539,68			-R\$ 3.460.539,68
1		R\$ 155.940,39	R\$ 289.877,37	R\$ 133.936,98
2		R\$ 165.187,66	R\$ 307.067,10	R\$ 141.879,44
3		R\$ 174.983,29	R\$ 325.276,18	R\$ 150.292,90
4		R\$ 185.359,80	R\$ 344.565,06	R\$ 159.205,26
5		R\$ 196.351,63	R\$ 364.997,77	R\$ 168.646,14
6		R\$ 207.995,28	R\$ 386.642,14	R\$ 178.646,85
7		R\$ 220.329,40	R\$ 409.570,01	R\$ 189.240,61
8		R\$ 233.394,94	R\$ 433.857,52	R\$ 200.462,58
9		R\$ 247.235,26	R\$ 459.585,27	R\$ 212.350,01
10		R\$ 261.896,31	R\$ 486.838,67	R\$ 224.942,37
11		R\$ 277.426,76	R\$ 515.708,21	R\$ 238.281,45
12		R\$ 293.878,17	R\$ 546.289,70	R\$ 252.411,54
13		R\$ 311.305,14	R\$ 578.684,68	R\$ 267.379,54
14		R\$ 329.765,54	R\$ 613.000,68	R\$ 283.235,15
15		R\$ 349.320,63	R\$ 649.351,63	R\$ 300.030,99
16		R\$ 370.035,35	R\$ 687.858,18	R\$ 317.822,83
17		R\$ 391.978,44	R\$ 728.648,17	R\$ 336.669,72
18		R\$ 415.222,76	R\$ 771.857,00	R\$ 356.634,24
19		R\$ 439.845,47	R\$ 817.628,12	R\$ 377.782,65
20		R\$ 465.928,31	R\$ 866.113,47	R\$ 400.185,16
CAPEX+OPEX		R\$ 9.153.920,21		
			VPL - Otimista	-R\$ 1.717.921,78
			VPL - Base	-R\$ 1.855.865,00
			VPL - Pessimista	-R\$ 1.977.986,69
			TIR	3%
			LCOE	R\$ 0,49

Ano	Cenário 3 - 200 mil hab				
	CAPEX	OPEX	RECEITAS	FLUXO DE CAIXA	PAYBACK SIMPLES
0	R\$ 4.019.301,07			-R\$ 4.019.301,07	-R\$ 4.019.301,07
1		R\$ 236.386,02	R\$ 547.299,87	R\$ 310.913,85	-R\$ 3.708.387,22
2		R\$ 250.403,71	R\$ 579.754,75	R\$ 329.351,04	-R\$ 3.379.036,19
3		R\$ 65.252,65	R\$ 614.134,21	R\$ 348.881,55	-R\$ 3.030.154,63
4		R\$ 280.982,13	R\$ 650.552,36	R\$ 369.570,23	-R\$ 2.660.584,40
5		R\$ 297.644,38	R\$ 689.130,12	R\$ 391.485,74	-R\$ 2.269.098,66
6		R\$ 315.294,69	R\$ 729.995,54	R\$ 414.700,85	-R\$ 1.854.397,81
7		R\$ 333.991,66	R\$ 773.284,27	R\$ 439.292,61	-R\$ 1.415.105,20
8		R\$ 353.797,37	R\$ 819.140,03	R\$ 465.342,66	-R\$ 949.762,54
9		R\$ 374.777,55	R\$ 867.715,03	R\$ 492.937,48	-R\$ 456.825,06
10		R\$ 397.001,86	R\$ 919.170,53	R\$ 522.168,67	R\$ 65.343,62
11		R\$ 420.544,07	R\$ 973.677,35	R\$ 553.133,28	R\$ 618.476,89
12		R\$ 445.482,33	R\$ 1.031.416,41	R\$ 585.934,08	R\$ 1.204.410,97
13		R\$ 471.899,44	R\$ 1.092.579,41	R\$ 620.679,97	R\$ 1.825.090,94
14		R\$ 499.883,07	R\$ 1.157.369,37	R\$ 657.486,29	R\$ 2.482.577,24
15		R\$ 529.526,14	R\$ 1.226.001,37	R\$ 696.475,23	R\$ 3.179.052,47
16		R\$ 560.927,04	R\$ 1.298.703,25	R\$ 737.776,21	R\$ 3.916.828,68
17		R\$ 594.190,01	R\$ 1.375.716,35	R\$ 781.526,34	R\$ 4.698.355,02
18		R\$ 629.425,48	R\$ 1.457.296,33	R\$ 827.870,85	R\$ 5.526.225,87
19		R\$ 666.750,41	R\$ 1.543.714,01	R\$ 876.963,59	R\$ 6.403.189,47
20		R\$ 706.288,71	R\$ 1.635.256,25	R\$ 928.967,54	R\$ 7.332.157,00
CAPEX+OPEX		R\$ 12.649.749,80			

Ano	Cenário 3 - 200 mil hab					
	PAYBACK DESCONTADO 10%		PAYBACK DESCONTADO 11%		PAYBACK DESCONTADO 12%	
0		-R\$ 4.019.301,07		-R\$ 4.019.301,07		-R\$ 4.019.301,07
1	R\$ 282.648,95	-R\$ 3.736.652,12	R\$ 280.102,56	-R\$ 3.739.198,51	R\$ 277.601,65	-R\$ 3.741.69942
2	R\$ 272.190,94	-R\$ 3.464.461,18	R\$ 267.308,69	-R\$ 3.471.889,82	R\$ 262.556,63	-R\$ 3.479.142,79
3	R\$ 262.119,88	-R\$ 3.202.341,30	R\$ 255.099,19	-R\$ 3.216.790,63	R\$ 248.327,00	-R\$ 3.230.815,79
4	R\$ 252.421,44	-R\$ 2.949.919,86	R\$ 243.447,36	-R\$ 2.973.343,27	R\$ 234.868,56	-R\$ 2.995.947,23
5	R\$ 243.081,85	-R\$ 2.706.838,02	R\$ 232.327,74	-R\$ 2.741.015,54	R\$ 222.139,53	-R\$ 2.773.807,70
6	R\$ 234.087,82	-R\$ 2.472.750,20	R\$ 221.716,01	-R\$ 2.519.299,53	R\$ 210.100,36	-R\$ 2.563.707,35
7	R\$ 225.426,57	-R\$ 2.247.323,63	R\$ 211.588,98	-R\$ 2.307.710,55	R\$ 198.713,67	-R\$ 2.364.993,68
8	R\$ 217.085,79	-R\$ 2.030.237,84	R\$ 201.924,51	-R\$ 2.105.786,04	R\$ 187.944,10	-R\$ 2.177.049,58
9	R\$ 209.053,61	-R\$ 1.821.184,23	R\$ 192.701,47	-R\$ 1.913.084,56	R\$ 177.758,20	-R\$ 1.999.291,39
10	R\$ 201.318,63	-R\$ 1.619.865,60	R\$ 183.899,70	-R\$ 1.729.184,86	R\$ 168.124,34	-R\$ 1.831.167,05
11	R\$ 193.869,84	-R\$ 1.425.995,76	R\$ 175.499,96	-R\$ 1.553.684,90	R\$ 159.012,60	-R\$ 1.672.154,45
12	R\$ 186.696,65	-R\$ 1.239.299,11	R\$ 167.483,88	-R\$ 1.386.201,02	R\$ 150.394,68	-R\$ 1.521.759,77
13	R\$ 179.788,88	-R\$ 1.059.510,23	R\$ 159.833,94	-R\$ 1.226.367,08	R\$ 142.243,83	-R\$ 1.379.515,94
14	R\$ 173.136,69	-R\$ 886.373,54	R\$ 152.533,42	-R\$ 1.073.833,67	R\$ 134.534,72	-R\$ 1.244.981,21
15	R\$ 166.730,63	-R\$ 719.642,91	R\$ 145.566,35	-R\$ 928.267,32	R\$ 127.243,42	-R\$ 1.117.737,79
16	R\$ 160.561,60	-R\$ 559.081,31	R\$ 138.917,51	-R\$ 789.349,81	R\$ 120.347,28	-R\$ 997.390,51
17	R\$ 154.620,82	-R\$ 404.460,49	R\$ 132.572,36	-R\$ 656.777,45	R\$ 113.824,89	-R\$ 883.565,62
18	R\$ 148.899,85	-R\$ 255.560,64	R\$ 126.517,03	-R\$ 530.260,42	R\$ 107.655,99	-R\$ 775.909,64

Ano	Cenário 3 - 200 mil hab					
	PAYBACK DESCONTADO 10%		PAYBACK DESCONTADO 11%		PAYBACK DESCONTADO 12%	
19	R\$ 143.390,56	-R\$ 112.170,08	R\$ 120.738,28	-R\$ 409.522,15	R\$ 101.821,42	-R\$ 674.088,22
20	R\$ 138.085,10	R\$ 25.915,02	R\$ 115.223,47	-R\$ 294.298,67	R\$ 96.303,06	-R\$ 577.785,16

Cenário 3 - 200 mil hab	
VPL - Otimista	R\$ 25.915,02
VPL - Base	-R\$ 294.298,67
VPL - Pessimista	-R\$ 577.785,16
TIR	10%
LCOE	R\$ 0,34
Payback simples	9,9
Payback desc 10%	19,8
Payback desc 11%	18,9
Payback desc 12%	20,2

Ano	Cenário 4 - 450 mil hab				
	CAPEX	OPEX	RECEITAS	FLUXO DE CAIXA	PAYBACK SIMPLES
0	R\$ 5.725.625,37			-R\$ 5.725.625,37	-R\$ 5.725.625,37
1		R\$ 342.596,32	R\$ 1.231.424,70	R\$ 888.828,38	-R\$ 4.836.796,99
2		R\$ 362.912,28	R\$ 1.304.448,19	R\$ 941.535,91	-R\$ 3.895.261,08
3		R\$ 384.432,98	R\$ 1.381.801,96	R\$ 997.368,99	-R\$ 2.897.892,09
4		R\$ 407.229,86	R\$ 1.463.742,82	R\$ 1.056.512,97	-R\$ 1.841.379,13
5		R\$ 431.378,59	R\$ 1.550.542,77	R\$ 1.119.164,18	-R\$ 722.214,94
6		R\$ 456.959,34	R\$ 1.642.489,96	R\$ 1.185.530,62	R\$ 463.315,68
7		R\$ 484.057,02	R\$ 1.739.889,61	R\$ 1.255.832,59	R\$ 1.719.148,26
8		R\$ 512.761,61	R\$ 1.843.065,07	R\$ 1.330.303,46	R\$ 3.049.451,72
9		R\$ 543.168,37	R\$ 1.952.358,82	R\$ 1.409.190,45	R\$ 4.458.642,18
10		R\$ 575.378,25	R\$ 2.068.133,70	R\$ 1.492.755,45	R\$ 5.951.397,63
11		R\$ 609.498,18	R\$ 2.190.774,03	R\$ 1.581.275,85	R\$ 7.532.673,47
12		R\$ 645.641,43	R\$ 2.320.686,93	R\$ 1.675.045,50	R\$ 9.207.718,98
13		R\$ 683.927,96	R\$ 2.458.303,67	R\$ 1.774.375,70	R\$ 10.982.094,68
14		R\$ 724.484,89	R\$ 2.604.081,07	R\$ 1.879.596,18	R\$ 12.861.690,86
15		R\$ 767.446,84	R\$ 2.758.503,08	R\$ 1.991.056,24	R\$ 14.852.747,10
16		R\$ 812.956,44	R\$ 2.922.082,31	R\$ 2.109.125,87	R\$ 16.961.872,97
17		R\$ 861.164,76	R\$ 3.095.361,79	R\$ 2.234.197,03	R\$ 19.196.070,00
18		R\$ 912.231,83	R\$ 3.278.916,75	R\$ 2.366.684,92	R\$ 21.562.754,92
19		R\$ 966.327,18	R\$ 3.473.356,51	R\$ 2.507.029,33	R\$ 24.069.784,25
20		R\$ 1.023.630,38	R\$ 3.679.326,55	R\$ 2.655.696,17	R\$ 26.725.480,43
CAPEX+OPEX		R\$ 1.084.331,66			

Ano	Cenário 4 - 450 mil hab					
	PAYBACK DESCONTADO 10%		PAYBACK DESCONTADO 11%		PAYBACK DESCONTADO 12%	
0	-R\$ 5.725.625,37	-R\$ 5.725.625,37	-R\$ 5.725.625,37	-R\$ 5.725.625,37	-R\$ 5.725.625,37	-R\$ 5.725.625,37
1	R\$ 808.025,80	-R\$ 4.917.599,57	R\$ 800.746,29	-R\$ 4.924.879,08	R\$ 793.596,77	-R\$ 4.932.028,60
2	R\$ 778.128,85	-R\$ 4.139.470,72	R\$ 764.171,66	-R\$ 4.160.707,41	R\$ 750.586,66	-R\$ 4.181.441,94
3	R\$ 749.338,08	-R\$ 3.390.132,64	R\$ 729.267,61	-R\$ 3.431.439,81	R\$ 709.907,54	-R\$ 3.471.534,39
4	R\$ 721.612,57	-R\$ 2.668.520,07	R\$ 695.957,82	-R\$ 2.735.481,99	R\$ 671.433,09	-R\$ 2.800.101,30
5	R\$ 694.912,91	-R\$ 1.973.607,16	R\$ 664.169,47	-R\$ 2.071.312,52	R\$ 635.043,81	-R\$ 2.165.057,49
6	R\$ 669.201,13	-R\$ 1.304.406,03	R\$ 633.833,08	-R\$ 1.437.479,44	R\$ 600.626,71	-R\$ 1.564.430,78
7	R\$ 644.440,69	-R\$ 659.965,34	R\$ 604.882,33	-R\$ 832.597,11	R\$ 568.074,89	-R\$ 996.355,90
8	R\$ 620.596,38	-R\$ 39.368,96	R\$ 577.253,92	-R\$ 255.343,19	R\$ 537.287,26	-R\$ 459.068,64
9	R\$ 597.634,32	R\$ 558.265,35	R\$ 550.887,46	R\$ 295.544,26	R\$ 508.168,20	R\$ 49.099,56
10	R\$ 575.521,85	R\$ 1.133.787,20	R\$ 525.725,30	R\$ 821.269,56	R\$ 480.627,30	R\$ 529.726,87
11	R\$ 554.227,54	R\$ 1.688.014,74	R\$ 501.712,44	R\$ 1.322.982,01	R\$ 454.579,02	R\$ 984.305,89
12	R\$ 533.721,12	R\$ 2.221.735,86	R\$ 478.796,39	R\$ 1.801.778,39	R\$ 429.942,46	R\$ 1.414.248,35
13	R\$ 513.973,44	R\$ 2.735.709,29	R\$ 456.927,04	R\$ 2.258.705,43	R\$ 406.641,11	R\$ 1.820.889,46
14	R\$ 494.956,42	R\$ 3.230.665,71	R\$ 436.056,59	R\$ 2.694.762,02	R\$ 384.602,62	R\$ 2.205.492,08
15	R\$ 476.643,03	R\$ 3.707.308,75	R\$ 416.139,41	R\$ 3.110.901,42	R\$ 363.758,53	R\$ 2.569.250,61
16	R\$ 459.007,24	R\$ 4.166.315,99	R\$ 397.131,96	R\$ 3.508.033,38	R\$ 344.044,12	R\$ 2.913.294,73
17	R\$ 442.023,97	R\$ 4.608.339,96	R\$ 378.992,69	R\$ 3.887.026,07	R\$ 325.398,15	R\$ 3.238.692,88
18	R\$ 425.669,09	R\$ 5.034.009,04	R\$ 361.681,94	R\$ 4.248.708,01	R\$ 307.762,74	R\$ 3.546.455,62

Ano	Cenário 4 - 450 mil hab					
	PAYBACK DESCONTADO 10%		PAYBACK DESCONTADO 11%		PAYBACK DESCONTADO 12%	
19	R\$ 409.919,33	R\$ 5.443.928,37	R\$ 345.161,87	R\$ 4.593.869,89	R\$ 291.083,10	R\$ 3.837.538,71
20	R\$ 394.752,31	R\$ 5.838.680,69	R\$ 329.396,37	R\$ 4.923.266,26	R\$ 275.307,43	R\$ 4.112.846,14

Cenário 4 - 450 mil hab	
VPL - Otimista	R\$ 5.838.680,69
VPL - Base	R\$ 4.923.266,26
VPL - Pessimista	R\$ 4.112.846,14
TIR	20%
LCOE	R\$ 0,013
Payback simples	5,6
Payback desc 10%	8,1
Payback desc 11%	8,5
Payback desc 12%	8,9

ANEXO

ANEXO A – Laudos com os resultados de DQO

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 2107/21

Cliente: **UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL - LATAM**

Endereço: Rua Francisco Getúlio Vargas - Petrópolis - Caxias do Sul/RS

Contato: LADEMIR BEAL-llbeal@ucs.br-

Solicitante: UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL - LATAM - -contato: LADEMIR BEAL-llbeal@ucs.br-

Número da amostra: 2107/21

Amostra: ÁGUA RESIDUAL: EFLUENTE LÍQUIDO

Orçamento nº: 1061/21

Amostragem e coleta: A amostragem e as informações referente a amostra são de responsabilidade do cliente.

Identificação da amostra: Efluente Bruto

Responsável pela coleta: Lademir Beal

Data / hora da coleta: 22/11/2021 00:00

Data / hora do recebimento: 24/11/2021 16:23

Temperatura de recebimento da amostra: 5,3 ° C

Período de execução dos ensaios: 24/11/21 a 03/12/21

Condições ambientais de execução dos ensaios: 23°C ± 5°C

Ensaio	Unidade	Resultado	L.Q	Metodologia utilizada
Demanda bioquímica de oxigênio ²	mgO ₂ /L	177,6	1,0	SMWW-Método 5210-B [LAPAM PE 023]
Coliformes termotolerantes ²	NMP/100mL	1,7 × 10 ⁷	1,8	SMWW-Método 9221-E [LAPAM PE 042]
Demanda química de oxigênio ²	mg O ₂ /L	648	4	SMWW-Método 5220-C [LAPAM PE 064]
Fósforo Total ²	mg P/L	4,275	0,016	SMWW-Método 4500-P B e E [LAPAM PE 019]
Nitrogênio total kjeldahl ²	mg NH ₃ -N/ L	44,68	2,80	SMWW-Método 4500-Norg-B [LAPAM PE 013]
Óleos e graxas totais ²	mg/L	15,3	10,0	SMWW-Método 5520-D [LAPAM PE 011]
Surfactantes aniônicos ²	mg MBAS/L	3,025	0,267	SMWW-Método 5540-C [LAPAM PE 009]

OBSERVAÇÕES e LEGENDAS: n.a: não aplicável, L.Q: limite quantificação,

"< " os resultados de amostras microbiológicas iniciadas com este sinal, configuram AUSÊNCIA de crescimento microbiano, NMP: Número mais provável
MBAS: Substâncias capazes de formar complexo ou par iônico com azul de metileno.

LAPAM PE: Laboratório de Análises e Pesquisas Ambientais - Procedimento de Ensaio.

SMWW: Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (2017), 23ND Edition.

O(s) ensaio(s) foi(foram) realizado(s) nas instalações permanentes do Laboratório.

²Ensaio reconhecido pela Rede Metrologica/ RS, de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017 Certificado de Reconhecimento Nº 3415A/3415B e 3415C válido até Outubro/2021. Consulte o escopo completo através do endereço: <http://www.redemetrologica.com.br/laboratorios-reconhecidos>

Os resultados contidos neste documento tem significação restrita e se aplicam somente à(s) amostra(s) ensaiada(s).

O Relatório de Ensaio não pode ser reproduzido sem a aprovação do laboratório, exceto se for reproduzido na íntegra.

Caxias do Sul, 06 de dezembro de 2021.

Edinéia Tomazi Stroeher
Engenheira Química - CRQ-V 05303789
Signatário Autorizado

Código de verificação eletrônico: 257F53117BB04F953893473671D3B562

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 0218/22

Cliente: **Projeto BIOGASCOR/LATAM**

Endereço: Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130 - Petrópolis - Caxias do Sul/RS

Contato: Jéferson Luis Alba-jlalba@ucs.br-

Solicitante: Projeto BIOGASCOR/LATAM - -contato: Jéferson Luis Alba-jlalba@ucs.br-

Número da amostra: 0218/22

Amostra: ÁGUA RESIDUAL: EFLUENTE LÍQUIDO

Orçamento nº: 0138/22

Amostragem e coleta: A amostragem e as informações referente a amostra são de responsabilidade do cliente.

Identificação da amostra: Efluente bruto (entrada)

Responsável pela coleta: Não informado

Data / hora da coleta: 16/02/2022 10:35

Data / hora do recebimento: 17/02/2022 09:57

Temperatura de recebimento da amostra: 5,3 ° C

Período de execução dos ensaios: 17/02/22 a 01/03/22

Condições ambientais de execução dos ensaios: 23°C ± 5°C

Ensaio	Unidade	Resultado	L.Q	Metodologia utilizada
Demanda bioquímica de oxigênio ²	mgO ₂ /L	234,6	1,0	SMWW-Método 5210-B [LAPAM PE 023]
Coliformes termotolerantes ²	NMP/100mL	2,1 × 10 ⁶	1,8	SMWW-Método 9221-E [LAPAM PE 042]
Demanda química de oxigênio ²	mg O ₂ /L	401	4	SMWW-Método 5220-C [LAPAM PE 064]
Fósforo Total ²	mg P/L	3,680	0,016	SMWW-Método 4500-P B e E [LAPAM PE 019]
Nitrogênio total kjeldahl ²	mg NH ₃ -N/ L	50,28	2,80	SMWW-Método 4500-Norg-B [LAPAM PE 013]
Óleos e graxas totais ²	mg/L	42,6	10,0	SMWW-Método 5520-D [LAPAM PE 011]
Surfactantes aniônicos ²	mg MBAS/L	4,534	0,267	SMWW-Método 5540-C [LAPAM PE 009]

OBSERVAÇÕES e LEGENDAS: n.a: não aplicável, L.Q: limite quantificação,

"< " os resultados de amostras microbiológicas iniciadas com este sinal, configuram AUSÊNCIA de crescimento microbiano, NMP: Número mais provável
MBAS: Substâncias capazes de formar complexo ou par iônico com azul de metileno.

A temperatura de acondicionamento da amostra para ensaios físicos-químicos atende a recomendação do SMWW >0°C e <=6°C.

LAPAM PE: Laboratório de Análises e Pesquisas Ambientais - Procedimento de Ensaio.

SMWW: Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (2017), 23ND Edition.

O(s) ensaio(s) foi(foram) realizado(s) nas instalações permanentes do Laboratório.

²Ensaio reconhecido pela Rede Metrologica/ RS, de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017 Certificado de Reconhecimento Nº 3415A/3415B e 3415C. Consulte o escopo completo através do endereço: <http://www.redemetrologica.com.br/laboratorios-reconhecidos>

Os resultados contidos neste documento tem significação restrita e se aplicam somente à(s) amostra(s) ensaiada(s).

O Relatório de Ensaio não pode ser reproduzido sem a aprovação do laboratório, exceto se for reproduzido na íntegra.

Caxias do Sul, 01 de março de 2022.

Edinéia Tomazi Stroeher
Engenheira Química - CRQ-V 05303789
Signatário Autorizado

Código de verificação eletrônico: 0C111661329411C06828D5650F8E15E3

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 0975/22

Cliente: **Projeto BIOGASCOR/LATAM**

Endereço: Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130 - Petrópolis - Caxias do Sul/RS

Contato: Jéferson Luis Alba-jlalba@ucs.br-

Solicitante: Projeto BIOGASCOR/LATAM - -contato: Jéferson Luis Alba-jlalba@ucs.br-

Número da amostra: 0975/22

Amostra: ÁGUA RESIDUAL: EFLUENTE LÍQUIDO

Orçamento nº: 0507/22

Amostragem e coleta: A amostragem e as informações referente a amostra são de responsabilidade do cliente.

Identificação da amostra: Efluente bruto

Responsável pela coleta: Não informado

Data / hora da coleta: 30/06/2022 10:30

Data / hora do recebimento: 01/07/2022 11:46

Temperatura de recebimento da amostra: 3,5 ° C

Período de execução dos ensaios: 01/07/22 a 07/07/22

Condições ambientais de execução dos ensaios: 23°C ± 5°C

Ensaio	Unidade	Resultado	L.Q	Metodologia utilizada
Demanda bioquímica de oxigênio ²	mgO ₂ /L	149,2	1,0	SMWW-Método 5210-B [LAPAM PE 023]
Coliformes termotolerantes ²	NMP/100mL	2,4 × 10 ⁵	1,8	SMWW-Método 9221-E [LAPAM PE 042]
Demanda química de oxigênio ²	mg O ₂ /L	346	4	SMWW-Método 5220-C [LAPAM PE 064]
Fósforo Total ²	mg P/L	1,205	0,016	SMWW-Método 4500-P B e E [LAPAM PE 019]
Nitrogênio total kjeldahl ²	mg NH ₃ -N/ L	41,23	2,80	SMWW-Método 4500-Norg-B [LAPAM PE 013]
Óleos e graxas totais ²	mg/L	38,7	10,0	SMWW-Método 5520-D [LAPAM PE 011]
Surfactantes aniônicos ²	mg MBAS/L	3,942	0,267	SMWW-Método 5540-C [LAPAM PE 009]

OBSERVAÇÕES e LEGENDAS: n.a: não aplicável, L.Q: limite quantificação,

"< " os resultados de amostras microbiológicas iniciadas com este sinal, configuram AUSÊNCIA de crescimento microbiano, NMP: Número mais provável
MBAS: Substâncias capazes de formar complexo ou par iônico com azul de metileno.

A temperatura de acondicionamento da amostra para ensaios físicos-químicos atende a recomendação do SMWW >0°C e <=6°C.

LAPAM PE: Laboratório de Análises e Pesquisas Ambientais - Procedimento de Ensaio.

SMWW: Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (2017), 23ND Edition.

O(s) ensaio(s) foi(foram) realizado(s) nas instalações permanentes do Laboratório.

²Ensaio reconhecido pela Rede Metrologica/ RS, de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017 Certificado de Reconhecimento Nº 3415A/3415B e 3415C. Consulte o escopo completo através do endereço: <http://www.redemetrologica.com.br/laboratorios-reconhecidos>

Os resultados contidos neste documento tem significação restrita e se aplicam somente à(s) amostra(s) ensaiada(s).

O Relatório de Ensaio não pode ser reproduzido sem a aprovação do laboratório, exceto se for reproduzido na íntegra.

Caxias do Sul, 11 de julho de 2022.

Edinéia Tomazi Stroeher
Engenheira Química - CRQ-V 05303789
Signatário Autorizado

Código de verificação eletrônico: 307F2FCF05E130F927DF18581AEB4C0B

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1489/22

Cliente: **Projeto BIOGASCOR/LATAM**

Endereço: Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130 - Petrópolis - Caxias do Sul/RS

Contato: Jéferson Luis Alba-jlalba@ucs.br-

Solicitante: Projeto BIOGASCOR/LATAM - -contato: Jéferson Luis Alba-jlalba@ucs.br-

Número da amostra: 1489/22

Amostra: ÁGUA RESIDUAL: EFLUENTE LÍQUIDO

Orçamento nº: 0557/22

Amostragem e coleta: A amostragem e as informações referente a amostra são de responsabilidade do cliente.

Identificação da amostra: Efluente bruto A4

Responsável pela coleta: não informado

Data / hora da coleta: 19/07/2022 16:00

Data / hora do recebimento: 20/07/2022 09:20

Temperatura de recebimento da amostra: 4,0 ° C

Período de execução dos ensaios: 20/07/22 a 03/08/22

Condições ambientais de execução dos ensaios: 23°C ± 5°C

Ensaio	Unidade	Resultado	L.Q	Metodologia utilizada
Demanda bioquímica de oxigênio ²	mgO ₂ /L	103,7	1,0	SMWW-Método 5210-B [LAPAM PE 023]
Coliformes termotolerantes ²	NMP/100mL	1,7 × 10 ⁶	1,8	SMWW-Método 9221-E [LAPAM PE 042]
Demanda química de oxigênio ²	mg O ₂ /L	254	4	SMWW-Método 5220-C [LAPAM PE 064]
Fósforo Total ²	mg P/L	1,930	0,016	SMWW-Método 4500-P B e E [LAPAM PE 019]
Nitrogênio total kjeldahl ²	mg NH ₃ -N/ L	31,86	2,80	SMWW-Método 4500-Norg-B [LAPAM PE 013]
Óleos e graxas totais ²	mg/L	33,2	10,0	SMWW-Método 5520-D [LAPAM PE 011]
Surfactantes aniônicos ²	mg MBAS/L	4,167	0,267	SMWW-Método 5540-C [LAPAM PE 009]

OBSERVAÇÕES e LEGENDAS: n.a: não aplicável, L.Q: limite quantificação,

"< " os resultados de amostras microbiológicas iniciadas com este sinal, configuram AUSÊNCIA de crescimento microbiano, NMP: Número mais provável MBAS: Substâncias capazes de formar complexo ou par iônico com azul de metileno.

A temperatura de acondicionamento da amostra para ensaios físicos-químicos atende a recomendação do SMWW >0°C e <=6°C.

LAPAM PE: Laboratório de Análises e Pesquisas Ambientais - Procedimento de Ensaio.

SMWW: Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (2017), 23ND Edition.

O(s) ensaio(s) foi(foram) realizado(s) nas instalações permanentes do Laboratório.

²Ensaio reconhecido pela Rede Metrologica/ RS, de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017 Certificado de Reconhecimento Nº 3415A/3415B e 3415C. Consulte o escopo completo através do endereço: <http://www.redemetrologica.com.br/laboratorios-reconhecidos>

Os resultados contidos neste documento tem significação restrita e se aplicam somente à(s) amostra(s) ensaiada(s).

O Relatório de Ensaio não pode ser reproduzido sem a aprovação do laboratório, exceto se for reproduzido na íntegra.

Caxias do Sul, 03 de agosto de 2022.

Edinéia Tomazi Stroehrer
Engenheira Química - CRQ-V 05303789
Signatário Autorizado

Código de verificação eletrônico: 672464F5B263ACFAA398530BA40609FF

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 2614/22

Cliente: **Projeto BIOGASCOR/LATAM**

Endereço: Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130 - Petrópolis - Caxias do Sul/RS

Contato: Jéferson Luis Alba-jlalba@ucs.br-

Solicitante: Projeto BIOGASCOR/LATAM - contato: Jéferson Luis Alba-jlalba@ucs.br-

Número da amostra: 2614/22

Amostra: ÁGUA RESIDUAL: EFLUENTE LÍQUIDO

Orçamento nº: 0812/22

Amostragem e coleta: A amostragem e as informações referente a amostra são de responsabilidade do cliente.

Identificação da amostra: Efluente bruto

Responsável pela coleta: Não informado

Data / hora da coleta: 27/09/2022 15:50

Data / hora do recebimento: 28/09/2022 10:46

Temperatura de recebimento da amostra: 9,1 ° C

Período de execução dos ensaios: 28/09/22 a 11/10/22

Condições ambientais de execução dos ensaios: 23°C ± 5°C

Ensaio	Unidade	Resultado	L.Q	Metodologia utilizada
Demanda bioquímica de oxigênio ²	mgO ₂ /L	238,0	1,0	SMWW-Método 5210-B [LAPAM PE 023]
Coliformes termotolerantes ²	NMP/100mL	1,6 × 10 ⁶	1,8	SMWW-Método 9221-E [LAPAM PE 042]
Demanda química de oxigênio ²	mg O ₂ /L	296	4	SMWW-Método 5220-C [LAPAM PE 064]
Fósforo Total ²	mg P/L	4,800	0,016	SMWW-Método 4500-P B e E [LAPAM PE 019]
Nitrogênio total kjeldahl ²	mg NH ₃ -N/ L	46,84	2,80	SMWW-Método 4500-Norg-B [LAPAM PE 013]
Óleos e graxas totais ²	mg/L	64,7	10,0	SMWW-Método 5520-D [LAPAM PE 011]
Surfactantes aniônicos ²	mg MBAS/L	1,703	0,267	SMWW-Método 5540-C [LAPAM PE 009]

OBSERVAÇÕES e LEGENDAS: n.a: não aplicável, L.Q: limite quantificação,

"< " os resultados de amostras microbiológicas iniciadas com este sinal, configuram AUSÊNCIA de crescimento microbiano, NMP: Número mais provável
MBAS: Substâncias capazes de formar complexo ou par iônico com azul de metileno.

A temperatura de acondicionamento da amostra para o(s) ensaio(s) físicos-químicos esta em DESACORDO com a recomendação do SMWW de >0°C e <=6°C. O(s) resultado(s) pode(em) sofrer desvio(s) pelo não atendimento desta recomendação.

LAPAM PE: Laboratório de Análises e Pesquisas Ambientais - Procedimento de Ensaio.

SMWW: Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (2017), 23ND Edition.

O(s) ensaio(s) foi(foram) realizado(s) nas instalações permanentes do Laboratório.

²Ensaio reconhecido pela Rede Metrologica/ RS, de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017 Certificado de Reconhecimento Nº 3415A/3415B e 3415C. Consulte o escopo completo através do endereço: <http://www.redemetrologica.com.br/laboratorios-reconhecidos>

Os resultados contidos neste documento tem significação restrita e se aplicam somente à(s) amostra(s) ensaiada(s).

O Relatório de Ensaio não pode ser reproduzido sem a aprovação do laboratório, exceto se for reproduzido na íntegra.

Caxias do Sul, 11 de outubro de 2022.

Edinéia Tomazi Stroehrer
Engenheira Química - CRQ-V 05303789
Signatário Autorizado

Código de verificação eletrônico: 351ACBB4CD0D6A78B2A50EAB63061957

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 2905/22

Cliente: **Projeto BIOGASCOR/LATAM**

Endereço: Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130 - Petrópolis - Caxias do Sul/RS

Contato: Jéferson Luis Alba-jlalba@ucs.br-

Solicitante: Projeto BIOGASCOR/LATAM - contato: Jéferson Luis Alba-jlalba@ucs.br-

Número da amostra: 2905/22

Amostra: ÁGUA RESIDUAL: EFLUENTE LÍQUIDO

Orçamento nº: 0958/22

Amostragem e coleta: A amostragem e as informações referente a amostra são de responsabilidade do cliente.

Identificação da amostra: A6 - Bruto

Responsável pela coleta: Não informado

Data / hora da coleta: 23/11/2022 10:00

Data / hora do recebimento: 24/11/2022 11:13

Temperatura de recebimento da amostra: 3,5 ° C

Período de execução dos ensaios: 24/11/22 a 02/12/22

Condições ambientais de execução dos ensaios: 23°C ± 5°C

Ensaio	Unidade	Resultado	L.Q	Metodologia utilizada
Demanda bioquímica de oxigênio ²	mgO ₂ /L	124,2	1,0	SMWW-Método 5210-B [LAPAM PE 023]
Coliformes termotolerantes ²	NMP/100mL	1,6 × 10 ⁵	1,8	SMWW-Método 9221-E [LAPAM PE 042]
Demanda química de oxigênio ²	mg O ₂ /L	355	4	SMWW-Método 5220-C [LAPAM PE 064]
Fósforo Total ²	mg P/L	3,590	0,016	SMWW-Método 4500-P B e E [LAPAM PE 019]
Nitrogênio total kjeldahl ²	mg NH ₃ -N/ L	36,62	2,80	SMWW-Método 4500-Norg-B [LAPAM PE 013]
Óleos e graxas totais ²	mg/L	52,9	10,0	SMWW-Método 5520-D [LAPAM PE 011]
Surfactantes aniônicos ²	mg MBAS/L	2,708	0,267	SMWW-Método 5540-C [LAPAM PE 009]

OBSERVAÇÕES e LEGENDAS: n.a: não aplicável, L.Q: limite quantificação,

"< " os resultados de amostras microbiológicas iniciadas com este sinal, configuram AUSÊNCIA de crescimento microbiano, NMP: Número mais provável
MBAS: Substâncias capazes de formar complexo ou par iônico com azul de metileno.

A temperatura de acondicionamento da amostra para ensaios físicos-químicos atende a recomendação do SMWW >0°C e <=6°C.

LAPAM PE: Laboratório de Análises e Pesquisas Ambientais - Procedimento de Ensaio.

SMWW: Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (2017), 23ND Edition.

O(s) ensaio(s) foi(foram) realizado(s) nas instalações permanentes do Laboratório.

²Ensaio reconhecido pela Rede Metrologica/ RS, de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017 Certificado de Reconhecimento Nº 3415A/3415B e 3415C. Consulte o escopo completo através do endereço: <http://www.redemetrologica.com.br/laboratorios-reconhecidos>

Os resultados contidos neste documento tem significação restrita e se aplicam somente à(s) amostra(s) ensaiada(s).

O Relatório de Ensaio não pode ser reproduzido sem a aprovação do laboratório, exceto se for reproduzido na íntegra.

Caxias do Sul, 02 de dezembro de 2022.

Edinéia Tomazi Stroeher
Engenheira Química - CRQ-V 05303789
Signatário Autorizado

Código de verificação eletrônico: 1C2174ED6C9004324D3D15BB1CD0C70B

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 0052/23

Cliente: **Projeto BIOGASCOR/LATAM**

Endereço: Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130 - Petrópolis - Caxias do Sul/RS

Contato: Jéferson Luis Alba-jlalba@ucs.br-

Solicitante: Projeto BIOGASCOR/LATAM - contato: Jéferson Luis Alba-jlalba@ucs.br-

Número da amostra: 0052/23

Amostra: ÁGUA RESIDUAL: EFLUENTE LÍQUIDO

Orçamento nº: 0014/23

Amostragem e coleta: A amostragem e as informações referente a amostra são de responsabilidade do cliente.

Identificação da amostra: A7 - Efluente bruto

Responsável pela coleta: Isadora

Data / hora da coleta: 11/01/2023 10:00

Data / hora do recebimento: 12/01/2023 11:10

Temperatura de recebimento da amostra: 13,3 ° C

Período de execução dos ensaios: 13/01/23 a 17/01/23

Condições ambientais de execução dos ensaios: 23°C ± 5°C

Ensaio	Unidade	Resultado	L.Q	Metodologia utilizada
Demanda bioquímica de oxigênio ²	mgO ₂ /L	182,6	1,0	SMWW-Método 5210-B [LAPAM PE 023]
Coliformes termotolerantes ²	NMP/100mL	$2,4 \times 10^7$	1,8	SMWW-Método 9221-E [LAPAM PE 042]
Demanda química de oxigênio ²	mg O ₂ /L	291	4	SMWW-Método 5220-C [LAPAM PE 064]
Fósforo Total ²	mg P/L	5,900	0,016	SMWW-Método 4500-P B e E [LAPAM PE 019]
Nitrogênio total kjeldahl ²	mg NH ₃ -N/L	61,36	2,80	SMWW-Método 4500-Norg-B [LAPAM PE 013]
Óleos e graxas totais ²	mg/L	25,0	10,0	SMWW-Método 5520-D [LAPAM PE 011]
Surfactantes aniônicos ²	mg MBAS/L	1,819	0,267	SMWW-Método 5540-C [LAPAM PE 009]

OBSERVAÇÕES e LEGENDAS: n.a: não aplicável, L.Q: limite quantificação,

"< " os resultados de amostras microbiológicas iniciadas com este sinal, configuram AUSÊNCIA de crescimento microbiano, NMP: Número mais provável
MBAS: Substâncias capazes de formar complexo ou par iônico com azul de metileno.

A temperatura de acondicionamento da amostra para o(s) ensaio(s) físicos-químicos esta em DESACORDO com a recomendação do SMWW de >0°C e <=6°C. O(s) resultado(s) pode(em) sofrer desvio(s) pelo não atendimento desta recomendação.

LAPAM PE: Laboratório de Análises e Pesquisas Ambientais - Procedimento de Ensaio.

SMWW: Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (2017), 23ND Edition.

O(s) ensaio(s) foi(foram) realizado(s) nas instalações permanentes do Laboratório.

²Ensaio reconhecido pela Rede Metrologica/ RS, de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017 Certificado de Reconhecimento Nº 3415A/3415B e 3415C. Consulte o escopo completo através do endereço: <http://www.redemetrologica.com.br/laboratorios-reconhecidos>

Os resultados contidos neste documento tem significação restrita e se aplicam somente à(s) amostra(s) ensaiada(s).

O Relatório de Ensaio não pode ser reproduzido sem a aprovação do laboratório, exceto se for reproduzido na íntegra.

Caxias do Sul, 18 de janeiro de 2023.

Edinéia Tomazi Stroehrer
Engenheira Química - CRQ-V 05303789
Signatário Autorizado

Código de verificação eletrônico: 7F978F7E91B481533740FEF5A6E06171

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 0393/23

Cliente: **Projeto BIOGASCOR/LATAM**

Endereço: Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130 - Petrópolis - Caxias do Sul/RS

Contato: Jéferson Luis Alba-jlalba@ucs.br-

Solicitante: Projeto BIOGASCOR/LATAM - contato: Jéferson Luis Alba-jlalba@ucs.br-

Número da amostra: 0393/23

Amostra: ÁGUA RESIDUAL: EFLUENTE LÍQUIDO

Orçamento nº: 0198/23

Amostragem e coleta: A amostragem e as informações referente a amostra são de responsabilidade do cliente.

Identificação da amostra: Amostra A8 - Bruto

Responsável pela coleta: Isadora

Data / hora da coleta: 21/03/2023 10:00

Data / hora do recebimento: 22/03/2023 10:15

Temperatura de recebimento da amostra: 6,3 °C

Período de execução dos ensaios: 22/03/23 a 28/03/23

Condições ambientais de execução dos ensaios: 23°C ± 5°C

Ensaio	Unidade	Resultado	L.Q	Metodologia utilizada
Demanda bioquímica de oxigênio ²	mgO ₂ /L	234,6	1,0	SMWW-Método 5210-B [LAPAM PE 023]
Coliformes termotolerantes ²	NMP/100mL	1,6 × 10 ⁵	1,8	SMWW-Método 9221-E [LAPAM PE 042]
Demanda química de oxigênio ²	mg O ₂ /L	362	4	SMWW-Método 5220-C [LAPAM PE 064]
Fósforo Total ²	mg P/L	5,225	0,016	SMWW-Método 4500-P B e E [LAPAM PE 019]
Nitrogênio total kjeldahl ²	mg NH ₃ -N/L	53,51	2,80	SMWW-Método 4500-Norg-B [LAPAM PE 013]
Óleos e graxas totais ²	mg/L	16,8	10,0	SMWW-Método 5520-D [LAPAM PE 011]
Surfactantes aniônicos ²	mg MBAS/L	1,484	0,267	SMWW-Método 5540-C [LAPAM PE 009]

OBSERVAÇÕES e LEGENDAS: n.a: não aplicável, L.Q: limite quantificação,

"<" os resultados de amostras microbiológicas iniciadas com este sinal, configuram AUSÊNCIA de crescimento microbiano, NMP: Número mais provável
MBAS: Substâncias capazes de formar complexo ou par iônico com azul de metileno.

A temperatura de acondicionamento da amostra para o(s) ensaio(s) físicos-químicos esta em DESACORDO com a recomendação do SMWW de >0°C e <=6°C. O(s) resultado(s) pode(em) sofrer desvio(s) pelo não atendimento desta recomendação.

LAPAM PE: Laboratório de Análises e Pesquisas Ambientais - Procedimento de Ensaio.

SMWW: Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (2017), 23ND Edition.

O(s) ensaio(s) foi(foram) realizado(s) nas instalações permanentes do Laboratório.

²Ensaio reconhecido pela Rede Metrologica/ RS, de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017 Certificado de Reconhecimento Nº 3415A/3415B e 3415C. Consulte o escopo completo através do endereço: <http://www.redemetrologica.com.br/laboratorios-reconhecidos>

Os resultados contidos neste documento tem significação restrita e se aplicam somente à(s) amostra(s) ensaiada(s).

O Relatório de Ensaio não pode ser reproduzido sem a aprovação do laboratório, exceto se for reproduzido na íntegra.

Caxias do Sul, 29 de março de 2023.

Edinéia Tomazi Stroehrer
Engenheira Química - CRQ-V 05303789
Signatário Autorizado

Código de verificação eletrônico: 121D349DE36D422ED30F1CBD390E20E7

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 0839/23

Cliente: **Projeto BIOGASCOR/LATAM**

Endereço: Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130 - Petrópolis - Caxias do Sul/RS

Contato: Jéferson Luis Alba-jlalba@ucs.br-

Solicitante: Projeto BIOGASCOR/LATAM - -contato: Jéferson Luis Alba-jlalba@ucs.br-

Número da amostra: 0839/23

Amostra: ÁGUA RESIDUAL: EFLUENTE LÍQUIDO

Orçamento nº: 0446/23

Amostragem e coleta: A amostragem e as informações referente a amostra são de responsabilidade do cliente.

Identificação da amostra: A9 - Efluente bruto

Responsável pela coleta: Isadora

Data / hora da coleta: 27/06/2023 10:00

Data / hora do recebimento: 28/06/2023 10:50

Temperatura de recebimento da amostra: 2,7 ° C

Período de execução dos ensaios: 28/06/23 a 03/07/23

Condições ambientais de execução dos ensaios: 23°C ± 5°C

Ensaio	Unidade	Resultado	L.Q	Metodologia utilizada
Demanda bioquímica de oxigênio ²	mgO ₂ /L	204,1	1,0	SMWW-Método 5210-B [LAPAM PE 023]
Coliformes termotolerantes ²	NMP/100mL	1,6 × 10 ⁷	1,8	SMWW-Método 9221-E [LAPAM PE 042]
Demanda química de oxigênio ²	mg O ₂ /L	336	4	SMWW-Método 5220-C [LAPAM PE 064]
Fósforo Total ²	mg P/L	2,120	0,016	SMWW-Método 4500-P B e E [LAPAM PE 019]
Nitrogênio total kjeldahl ²	mg NH ₃ -N/ L	43,29	2,80	SMWW-Método 4500-Norg-B [LAPAM PE 013]
Óleos e graxas totais ²	mg/L	47,3	10,0	SMWW-Método 5520-D [LAPAM PE 011]
Surfactantes aniônicos ²	mg MBAS/L	2,967	0,267	SMWW-Método 5540-C [LAPAM PE 009]

OBSERVAÇÕES e LEGENDAS: n.a: não aplicável, L.Q: limite quantificação,

"< " os resultados de amostras microbiológicas iniciadas com este sinal, configuram AUSÊNCIA de crescimento microbiano, NMP: Número mais provável
MBAS: Substâncias capazes de formar complexo ou par iônico com azul de metileno.

A temperatura de acondicionamento da amostra para ensaios físicos-químicos atende a recomendação do SMWW >0°C e <=6°C.

LAPAM PE: Laboratório de Análises e Pesquisas Ambientais - Procedimento de Ensaio.

SMWW: Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (2017), 23ND Edition.

O(s) ensaio(s) foi(foram) realizado(s) nas instalações permanentes do Laboratório.

²Ensaio reconhecido pela Rede Metrologica/ RS, de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017 Certificado de Reconhecimento Nº 3415A/3415B e 3415C. Consulte o escopo completo através do endereço: <http://www.redemetrologica.com.br/laboratorios-reconhecidos>

Os resultados contidos neste documento tem significação restrita e se aplicam somente à(s) amostra(s) ensaiada(s).

O Relatório de Ensaio não pode ser reproduzido sem a aprovação do laboratório, exceto se for reproduzido na íntegra.

Caxias do Sul, 04 de julho de 2023.

Edinéia Tomazi Stroeher
Engenheira Química - CRQ-V 05303789
Signatário Autorizado

Código de verificação eletrônico: 5DE13924A3883AA23E5228D161B449F3

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1035/23

Cliente: **Projeto BIOGASCOR/LATAM**

Endereço: Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130 - Petrópolis - Caxias do Sul/RS

Contato: Jéferson Luis Alba-jlalba@ucs.br-

Solicitante: Projeto BIOGASCOR/LATAM - contato: Jéferson Luis Alba-jlalba@ucs.br-

Número da amostra: 1035/23

Amostra: ÁGUA RESIDUAL: EFLUENTE LÍQUIDO

Orçamento nº: 0510/23

Amostragem e coleta: A amostragem e as informações referente a amostra são de responsabilidade do cliente.

Identificação da amostra: Efluente bruto

Responsável pela coleta: Isadora

Data / hora da coleta: 25/07/2023 16:00

Data / hora do recebimento: 26/07/2023 14:13

Temperatura de recebimento da amostra: 4,6 °C

Período de execução dos ensaios: 26/07/23 a 03/08/23

Condições ambientais de execução dos ensaios: 23°C ± 5°C

Ensaio	Unidade	Resultado	L.Q	Metodologia utilizada
Demanda bioquímica de oxigênio ²	mgO ₂ /L	137,4	1,0	SMWW-Método 5210-B [LAPAM PE 023]
Coliformes termotolerantes ²	NMP/100mL	3,5 × 10 ⁴	1,8	LAPAM PE 042
Demanda química de oxigênio ²	mg O ₂ /L	207	4	SMWW-Método 5220-C [LAPAM PE 064]
Fósforo Total ²	mg P/L	4,020	0,016	SMWW-Método 4500-P B e E [LAPAM PE 019]
Nitrogênio total kjeldahl ²	mg NH ₃ -N/L	12,31	3,00	SMWW-Método 4500-Norg-B [LAPAM PE 013]
Óleos e graxas totais ²	mg/L	11,4	10,0	LAPAM PE 011
Surfactantes aniônicos ²	mg MBAS/L	0,550	0,267	SMWW-Método 5540-C [LAPAM PE 009]

OBSERVAÇÕES e LEGENDAS: n.a: não aplicável, L.Q: limite quantificação,

"< " os resultados de amostras microbiológicas iniciadas com este sinal, configuram AUSÊNCIA de crescimento microbiano, NMP: Número mais provável
MBAS: Substâncias capazes de formar complexo ou par iônico com azul de metileno.

A temperatura de acondicionamento da amostra para ensaios físicos-químicos atende a recomendação do SMWW >0°C e <=6°C.

LAPAM PE: Laboratório de Análises e Pesquisas Ambientais - Procedimento de Ensaio.

SMWW: Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (2023), 24th Edition.

O(s) ensaio(s) foi(foram) realizado(s) nas instalações permanentes do Laboratório.

²Ensaio reconhecido pela Rede Metrologica/ RS, de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017 Certificado de Reconhecimento Nº 3415A/3415B e 3415C. Consulte o escopo completo através do endereço: <http://www.redemetrologica.com.br/laboratorios-reconhecidos>

Os resultados contidos neste documento tem significação restrita e se aplicam somente à(s) amostra(s) ensaiada(s).

O Relatório de Ensaio não pode ser reproduzido sem a aprovação do laboratório, exceto se for reproduzido na íntegra.

Caxias do Sul, 04 de agosto de 2023.

Edinéia Tomazi Stroeher
Engenheira Química - CRQ-V 05303789
Signatário Autorizado

Código de verificação eletrônico: DBC0CE7192271BA8C4D4E4E20B2185E6

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1194/23

Cliente: **Projeto BIOGASCOR/LATAM**

Endereço: Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130 - Petrópolis - Caxias do Sul/RS

Contato: Jéferson Luis Alba-jlalba@ucs.br-

Solicitante: Projeto BIOGASCOR/LATAM - -contato: Jéferson Luis Alba-jlalba@ucs.br-

Número da amostra: 1194/23

Amostra: ÁGUA RESIDUAL: EFLUENTE LÍQUIDO

Orçamento nº: 0568/23

Amostragem e coleta: A amostragem e as informações referente a amostra são de responsabilidade do cliente.

Identificação da amostra: Efluente bruto

Responsável pela coleta: Isadora

Data / hora da coleta: 29/08/2023 10:00

Data / hora do recebimento: 30/08/2023 10:27

Temperatura de recebimento da amostra: 2,7 ° C

Período de execução dos ensaios: 30/08/23 a 14/09/23

Condições ambientais de execução dos ensaios: 23°C ± 5°C

Ensaio	Unidade	Resultado	L.Q	Metodologia utilizada
Demanda bioquímica de oxigênio ²	mgO ₂ /L	196,4	1,0	SMWW-Método 5210-B [LAPAM PE 023]
Coliformes termotolerantes ²	NMP/100mL	9,2 × 10 ⁶	1,8	LAPAM PE 042
Demanda química de oxigênio ²	mg O ₂ /L	298	4	SMWW-Método 5220-C [LAPAM PE 064]
Fósforo Total ²	mg P/L	4,250	0,016	SMWW-Método 4500-P B e E [LAPAM PE 019]
Nitrogênio total kjeldahl ²	mg NH ₃ -N/ L	49,23	3,00	SMWW-Método 4500-Norg-B [LAPAM PE 013]
Óleos e graxas totais ²	mg/L	48,9	10,0	LAPAM PE 011
Surfactantes aniônicos ²	mg MBAS/L	2,213	0,267	SMWW-Método 5540-C [LAPAM PE 009]

OBSERVAÇÕES e LEGENDAS: n.a: não aplicável, L.Q: limite quantificação,

"< " os resultados de amostras microbiológicas iniciadas com este sinal, configuram AUSÊNCIA de crescimento microbiano, NMP: Número mais provável MBAS: Substâncias capazes de formar complexo ou par iônico com azul de metileno.

A temperatura de acondicionamento da amostra para ensaios físicos-químicos atende a recomendação do SMWW >0°C e <=6°C.

LAPAM PE: Laboratório de Análises e Pesquisas Ambientais - Procedimento de Ensaio.

SMWW: Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (2023), 24th Edition.

O(s) ensaio(s) foi(foram) realizado(s) nas instalações permanentes do Laboratório.

²Ensaio reconhecido pela Rede Metrologica/ RS, de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017 Certificado de Reconhecimento Nº 3415A/3415B e 3415C. Consulte o escopo completo através do endereço: <http://www.redemetrologica.com.br/laboratorios-reconhecidos>

Os resultados contidos neste documento tem significação restrita e se aplicam somente à(s) amostra(s) ensaiada(s).

O Relatório de Ensaio não pode ser reproduzido sem a aprovação do laboratório, exceto se for reproduzido na íntegra.

Caxias do Sul, 14 de setembro de 2023.

Karen Petyele Loreno
Engenheira Química - CRQ 053004461
Signatário Autorizado

Código de verificação eletrônico: D1589D1C353E6402B1B89CC34AEE1069

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1458/23

Cliente: **Projeto BIOGASCOR/LATAM**

Endereço: Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130 - Petrópolis - Caxias do Sul/RS

Contato: Jéferson Luis Alba-jlalba@ucs.br-

Solicitante: Projeto BIOGASCOR/LATAM - -contato: Jéferson Luis Alba-jlalba@ucs.br-

Número da amostra: 1458/23

Amostra: ÁGUA RESIDUAL: EFLUENTE LÍQUIDO

Orçamento nº: 0627/23

Amostragem e coleta: A amostragem e as informações referente a amostra são de responsabilidade do solicitante.

Identificação da amostra: Efluente bruto

Responsável pela coleta: Não informado

Data / hora da coleta: 07/11/2023 10:00

Data / hora do recebimento: 08/11/2023 11:25

Temperatura de recebimento da amostra: 5,9 ° C

Período de execução dos ensaios: 08/11/23 a 16/11/23

Condições ambientais de execução dos ensaios: 23°C ± 5°C

Ensaio	Unidade	Resultado	L.Q	Metodologia utilizada
Demanda bioquímica de oxigênio ²	mgO ₂ /L	78,9	1,0	SMWW-Método 5210-B [LAPAM PE 023]
Coliformes termotolerantes ²	NMP/100mL	1,3 × 10 ⁷	1,8	LAPAM PE 042
Demanda química de oxigênio ²	mg O ₂ /L	207	4	SMWW-Método 5220-C [LAPAM PE 064]
Fósforo Total ²	mg P/L	2,520	0,016	SMWW-Método 4500-P B e E [LAPAM PE 019]
Nitrogênio total kjeldahl ²	mg NH ₃ -N/L	29,64	3,00	SMWW-Método 4500-Norg-B [LAPAM PE 013]
Óleos e graxas totais ²	mg/L	30,0	10,0	LAPAM PE 011
Surfactantes aniônicos ²	mg MBAS/L	3,041	0,267	SMWW-Método 5540-C [LAPAM PE 009]

OBSERVAÇÕES e LEGENDAS: n.a: não aplicável, L.Q: limite quantificação,

"< " os resultados de amostras microbiológicas iniciadas com este sinal, configuram AUSÊNCIA de crescimento microbiano, NMP: Número mais provável
MBAS: Substâncias capazes de formar complexo ou par iônico com azul de metileno.

A temperatura de acondicionamento da amostra para ensaios físicos-químicos atende a recomendação do SMWW >0°C e <=6°C.

LAPAM PE: Laboratório de Análises e Pesquisas Ambientais - Procedimento de Ensaio.

SMWW: Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (2023), 24th Edition.

O(s) ensaio(s) foi(foram) realizado(s) nas instalações permanentes do Laboratório.

²Ensaio reconhecido pela Rede Metrologica/ RS, de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017 Certificado de Reconhecimento Nº 3415A/3415B e 3415C. Consulte o escopo completo através do endereço: <http://www.redemetrologica.com.br/laboratorios-reconhecidos>

Os resultados contidos neste documento tem significação restrita e se aplicam somente à(s) amostra(s) ensaiada(s).

O Relatório de Ensaio não pode ser reproduzido sem a aprovação do laboratório, exceto se for reproduzido na íntegra.

Caxias do Sul, 21 de novembro de 2023.

Karen Petyele Loreno
Engenheira Química - CRQ 053004461
Signatário Autorizado

Código de verificação eletrônico: 47A6DC1CB623FA3E5391857702BD514D