

**REDE DOCTUM DE ENSINO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CARATINGA
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ENERGÉTICA DO BIOGÁS PRODUZIDO NO
REATOR UASB NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DE
CARATINGA/MG**

WALKER ALEXANDRE GONÇALVES

Trabalho de Conclusão de Curso

Caratinga/MG

2016

WALKER ALEXANDRE GONÇALVES

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ENERGÉTICA DO BIOGÁS PRODUZIDO NO
REATOR UASB NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DE
CARATINGA/MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora do Curso Superior de Engenharia Elétrica do Instituto Tecnológico de Caratinga da DOCTUM Caratinga como requisito parcial para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.
Professor Orientador: Ricardo Botelho Campos.

Caratinga/MG

2016

ANÁLISE DA VIABILIDADE ENERGÉTICA DO BIOGÁS BRODUZIDO NO REATOR UASB NA
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO EM CARATINGA/MG

Nome completo do aluno: WALKER ALEXANDRE GONÇALVES

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado perante a Banca de Avaliação composta pelos professores Ricardo Botelho Campos, Joildo Fernandes Costa Junior e José Eugênio De Oliveira E Silva, às 19:35 horas do dia 14 de dezembro de 2016, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica. Após a avaliação de cada professor e discussão a Banca Avaliadora considerou o trabalho: APROVADO (aprovado ou não aprovado), com a qualificação: ÓTIMA (Excelente, Ótima, Bom, Satisfatório ou Insatisfatório).

Trabalho indicado para publicação: () SIM (x) NÃO

Caratinga,

14 de dezembro de 2016



Professor Orientador e Presidente da Banca


Professor Avaliador 1
Professor Avaliador 2
Aluno(a)
Coordenador(a) do Curso

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por tudo o que ele me proporcionou durante essa caminhada.

Muitas foram às lutas, maiores as vitórias, e isso porque o Senhor se fez sempre presente, transformando a fraqueza em força e a derrota em vitória. Agradeço ao meu pai Wanderley e minha mãe Maria de Lourdes, por me ajudar nas horas em que mais precisei, onde sempre estiveram ao meu lado. As minhas irmãs Monalisa e Isadora, pelas orações e o apoio necessário para que esse sonho pudesse ser realizado. Aos meus familiares, amigos e colegas que de alguma forma contribuíram para essa conquista. E o meu amor Deise, que sempre esteve ao meu lado e que compreendeu todos os meus momentos de ausência.

“A batalha é árdua, mas a vitória é certa”
(AUTOR DESCONHECIDO)

GONÇALVES, Walker Alexandre. Análise da Viabilidade Energética do Biogás Produzido no Reator UASB na Estação de Tratamento de Esgoto de Caratinga/MG. Caratinga, 2016. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Elétrica - Curso de Engenharia Elétrica. Instituto Tecnológico de Caratinga, Rede DOCTUM, Caratinga, 2016.

RESUMO

Por muitos anos o Brasil ficou dependente de uma única fonte de energia elétrica que vem das usinas hidrelétricas. Com isso surgiu consequências, onde o país imediatamente teve que tomar as providências cabíveis. Mas apesar disso o Brasil com o passar dos anos, vem explorando sua capacidade de geração de energia elétrica com fontes de energias renováveis. Este trabalho tem como objetivo de incentivar e servir de exemplo para as demais ETE's (Estações de Tratamento de Esgoto). Além de está contribuindo com o meio ambiente, também será favorável ao sistema energético da região. Durante essa pesquisa vamos abordar temas como energias renováveis, as características do biogás, equipamentos necessários para a produção do mesmo, tecnologias que fazer a conversão do biogás para energia elétrica. Entender como funciona o SES (Sistema de Esgotamento Sanitário) da cidade de Caratinga – MG, demonstrando todo o processo de tratamento de esgoto. Analisar a potência e cada um dos equipamentos que são instalados na ETE e as características do projeto elétrico que nela é instalado. Fazer a estimativa de quanto a mesma terá com gastos mensais de energia elétrica, já que a ETE não está em funcionamento. Fazer os cálculos para conversão de biogás em energia elétrica. E por fim fazer um comparativo de quanto a ETE gasta com energia elétrica e o quanto o esgoto pode gerar para produzir energia elétrica, assim compensando os gastos de energia com o quanto pode ser gerado.

Palavras-chave: Biogás. ETE. Geração

GONÇALVES, Walker Alexandre. Análise da Viabilidade Energética do Biogás Produzido no Reator UASB na Estação de Tratamento de Esgoto de Caratinga/MG. Caratinga, 2016. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Elétrica - Curso de Engenharia Elétrica. Instituto Tecnológico de Caratinga, Rede DOCTUM, Caratinga, 2016

ABSTRACT

For many years, Brazil has been dependent on a single source of electricity that comes from hydroelectric power plants. With this came consequences, where the country immediately had to take the appropriate measures. But despite this Brazil over the years has been exploring its capacity to generate electricity with renewable energy sources. This work aims to encourage and serve as an example for other Ete's. Besides contributing to the environment, it will also be in favor of the region's energetic system. During this research we will cover topics such as renewable energy, the characteristics of biogas, equipment needed for the production of the same, technologies that make the conversion of biogas to electric energy. Understand how the SES (Sewage System) of the city of Caratinga - MG. Demonstrating the entire process of sewage treatment. Analyze the power and each of the equipment that is installed in the ETE and the characteristics of the electrical design that is installed in it. Estimate how much it will have with monthly electricity costs, since the ETE is not in operation. Do the calculations for conversion of biogas into electricity. And finally to make a comparison of how much the ETE spends with electric energy and how much the sewage can generate to produce electrical energy, thus compensating the energy expenses with how much can be generated.

Key words: Biogas. ETE. Generation

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Poder calorífico inferior em função do percentual do metano.....	25
Figura 2- Processo completo de um biodigestor.....	27
Figura 3- Biodigestor da Marinha.....	29
Figura 4- Biodigestor Chinês.....	29
Figura 5- Biodigestor Indiano.....	30
Figura 6- Esquema do RALF/UASB.....	31
Figura 7- Detalhes de como é feita uma turbina.....	32
Figura 8- Ciclo de uma turbina a gás.....	33
Figura 9- Composição de uma microturbina.....	34
Figura 10- Motor a gás integrado a um gerador de eletricidade a um sistema de coleta de gases de escape para geração de vapor.....	37
Figura 11- Região de Caratinga.....	39
Figura 12- EEB 01 e 02.....	40
Figura 13- EBF.....	45
Figura 14- ER e laboratório.....	47
Figura 15- Tratamento preliminar.....	50
Figura 16- Reator.....	51
Figura 17- Filtro.....	51
Figura 18- Decantador.....	52
Figura 19- Leito de Secagem.....	52
Figura 20- Planta baixa da estação de tratamento de esgoto de Caratinga/MG....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Composição típica do biogás produzido e purificado.....	24
Tabela 2- Comparação entre processo aeróbico e anaeróbico.....	24
Tabela 3- Poder calorífico inferior de vários tipos de gases.....	25
Tabela 4- Potência instalada.....	53
Tabela 5- Custo das cargas 8h de operação.....	55
Tabela 6- Custos de cargas 12h de operação.....	56
Tabela 7- Custos de cargas 24h de operação.....	57
Tabela 8- Rendimento elétrico dos geradores.....	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL-	Agência Nacional de Energia Elétrica
CEMIG-	Companhia Energética de Minas Gerais
CDV-	Caixa de Distribuição de Vazão
EBF-	Elevatório de Esgoto Bruto Final
EEB-	Elevatório Esgoto Bruto
ERC-	Elevatório de Recirculação
ETE-	Estação de Tratamento de Esgoto
IBGE-	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
OMS-	Organização Mundial da Saúde
PCI-	Poder Calorífico Inferior
QC-	Quadro de Carga
QD-	Quadro de Distribuição
QEP-	Quadro de Equalização de Potencial
QFTP-	Quadro de Força do Tratamento Preliminar
RALF-	Reator Anaeróbico de Leito Fluizado
UABS-	Up Flow Anaerobic Sludge Blanket (Fluxo ascendente manta de lodo anaeróbio).

LISTA DE SÍMBOLOS

Ee-	Energia elétrica gerada
Et-	Energia térmica disponível no biogás
Ngerador-	Rendimento do gerador
Ntec-	Eficiência da tecnologia de conversão
Pcich4	Poder calorífico inferior do metano
PEbiogás-	Potência Elétrica do biogás
Qae-	Vazão volumétrica de esgoto tratado
Qbiogás-	Produção média de biogás
Tch4-	Teor de metanos na composição do biogás purificado
Toperação-	Tempo de operação do motor
Txbg-	Média de geração de biogás

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	17
	2.1 ENERGIAS RENOVÁVEIS.....	17
	2.1.1 Energia hidrelétrica.....	17
	2.1.2 Energia eólica.....	19
	2.1.3 Energia solar.....	20
	2.1.4 Energia ondas e mares.....	20
	2.1.5 Energia geotérmica.....	21
	2.1.6 Biomassa.....	22
	2.2 BIOGÁS.....	23
	2.2.1 Processo de purificação.....	23
	2.2.2 Produção de biogás.....	24
	2.2.3 Poder calorífico do biogás.....	25
	2.2.4 Composição.....	26
	2.3 BIODIGESTORES.....	26
	2.3.1 Características.....	27
	2.3.2 Tipos de biodigestores.....	28
	2.3.3 Biodigestor da marinha.....	28
	2.3.4 Biodigestor chinês.....	29
	2.3.5 Biodigestor indiano.....	29
	2.3.6 Biodigestor RALF-UASB.....	30
	2.4 TECNOLOGIA PARA O APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS.....	31
	2.4.1 Turbina a gás.....	31
	2.4.2 Microturbinas.....	34
	2.4.3 Motores de combustão interna.....	35
3	PROCEDIMENTOS METODOLOGICOS.....	38
	3.1 CONCEITO DE SANEAMENTO BÁSICO.....	38
	3.2 SANEAMENTO BÁSICO NO MUNICÍPIO DE CARATINGA-MG.....	38
	3.3 SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DE CARATINGA-MG.....	39
4	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DE CARATINGA-MG.....	40

4.1	FUNCIONAMENTO.....	40
4.2	PROCESSO DE TRATAMENTO DO ESGOTO.....	50
4.3	POTÊNCIA INSTALADA.....	53
4.4	CUSTOS DAS CARGAS.....	54
5	PROJETO DE CONVERSÃO DO BIOGÁS PARA ENERGIA ELÉTRICA.....	58
5.1	DADOS CARACTERÍSTICOS.....	58
5.2	CÁLCULO DA PRODUÇÃO MEDIA DE BIOGÁS.....	58
	5.2.1 Cálculo da energia térmica disponível no biogás no reator UASB.....	59
	5.2.2 Cálculo da energia elétrica disponível no biogás.....	60
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	62
6.1	CÁLCULO DA MÉDIA DE BIOGÁS.....	62
6.2	CÁLCULO DA ENERGIA TÉRMICA DISPONÍVEL NO BIOGÁS.....	62
6.3	CONVERSÃO PARA GERAR ENERGIA ELÉTRICA.....	62
7	CONCLUSÃO.....	64
8	TRABALHOS FUTUROS.....	65
9	REFERÊNCIAS.....	66

1 INTRODUÇÃO

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)¹, o Brasil tem um grande potencial de geração de energia elétrica através das usinas hidrelétricas. Sendo a água com 61,2% de capacidade de gerar energia, a eólica (ventos) 5,7%, nuclear (urânio) 1,32%, biomassa (cana-de-açúcar, rejeitos urbanos e industriais) 8,8%, fóssil (óleo diesel, gasolina) 17,3%, solar (sol) 0,01%.

As usinas hidrelétricas são fontes limpas e renováveis, porém trazem alguns prejuízos para a natureza. Segundo CARNEIRO (2013)², seria impossível que a construção da Usina de Belo Monte não afetasse todo o bioma da área construída, além ainda de alterar a rotina de vida das comunidades que vivem em torno deste projeto.

Usinas nucleares também podem ser vistas como uma ameaça constante para a população, conforme cita OLIMPÍIA (2016)³, pode acontecer à contaminação pelos rejeitos da produção de energia, onde a mesma é gerada a partir de uma divisão do átomo. Podendo provocar danos na fauna e flora, um risco de contaminação, derivada de acidentes e vazamentos.

A segunda maior geração de energia elétrica do país vem das usinas termelétricas, que tem como principal fonte de geração de energia elétrica os combustíveis fósseis. NAIME (2014)⁴ aborda que o maior impacto ambiental causado por este tipo de geração são os gases, muito deles são os que provocam o efeito estufa como: óxidos e dióxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio, monóxido e dióxido de carbono e entre outros.

O Brasil tem um grande destaque em seu potencial para geração de energia elétrica de forma sustentável. Através desta atitude possibilita uma melhor qualidade

¹ ANEEL. **BIG- Banco de Informações de Geração**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>. Acesso em: 18 de abril de 2016.

² CARNEIRO, Mauricio. **A Usina Hidrelétrica de Belo Monte e suas implicações quanto aos Direitos Fundamentais da população que vive em torno do projeto**. Disponível em: <https://mauriciocarneiro.jusbrasil.com.br/artigos/113959939/a-usina-hidreletrica-de-belo-monte-e-suas-implicacoes-quanto-aos-direitos-fundamentais-da-populacao-que-vive-em-torno-do-projeto>. Acesso em: 21 de novembro de 2016.

³ SILVA, Thamires Olimpia. **Principais riscos da geração de energia nuclear para o meio ambiente**. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/geografia/principais-riscos-geracao-energia-nuclear-para-meio-ambiente.htm>>. Acesso em 21 de novembro de 2016.

⁴ NAIME, Roberto. **Sobre o impacto das Usinas Termelétricas**. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2014/11/13/sobre-os-impactos-de-usinas-termeletricas-artigo-de-roberto-naime/>. Acesso em: 21 de novembro de 2016.

de vida para a sociedade e para o meio ambiente, já que é eliminado qualquer tipo de material nocivo.

De acordo com a ANEEL (2016)⁵, a biomassa possui uma capacidade enorme de produção de energia nos próximos anos, tanto no mercado nacional como internacional. É considerada uma das alternativas para a matriz energética brasileira, o que naturalmente implicaria na redução no consumo de combustíveis fósseis.

A região de Caratinga – MG nos últimos anos vem investindo cada vez mais em saneamento básico para a população, um dos principais investimentos é a construção de uma ETE (Estação de Tratamento de Esgoto). Almeja-se que o esgoto seja lançado ao rio de forma limpa, após já ter passado por um processo de tratamento para retirada dos rejeitos urbanos e outros. Uma boa alternativa para o aproveitamento dos rejeitos seria a produção de biogás, que acarretaria a geração de energia elétrica.

A ETE está em fase de construção, mas com prazos devidos para o término. Para que ela possa operar é necessária à contratação de uma concessionária de energia elétrica, que no caso é a CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais). O maior custo operacional da ETE é com a energia elétrica, pois necessita de motores com grandes potências para que o esgoto chegue até ela.

O objetivo do trabalho não é apresentar formas de implementação técnica de equipamentos, nem quanto ao uso de energia produzida pelo sistema proposto e nem sua integração com o sistema CEMIG.

O estudo tem como principal foco apresentar como acontece a geração de energia elétrica através do biogás e demonstrar o quanto de energia é produzido com esse processo para uma população como a de Caratinga – MG. Espera-se analisar a viabilidade desse processo através de uma comparação entre os gastos de energia elétrica com a concessionária e o total de energia gerado com o biogás.

A justificativa para esta pesquisa é que um dos problemas enfrentado pelo país está ligado ao setor elétrico, já que o mesmo depende de uma única fonte de geração de energia, que são as usinas hidrelétricas.

Devido essa dependência em meados do ano de 2015, o Brasil passou por uma queda no abastecimento de energia elétrica, devido ao longo período de

⁵ ANEEL. **Fontes Renováveis- Parte II**. Disponível em: <http://biomassaworld.com.br/wp-content/uploads/2016/04/atlas.pdf>. Acesso em: 21 de novembro de 2016.

estiagem. A solução imediata para este problema foi buscar alternativas para suprir a demanda, acionando as usinas termelétricas, no entanto houve um aumento na tarifa de energia elétrica, já que a mesma utiliza de combustíveis fósseis como principal fonte de geração de energia. Com isso, a população e as grandes indústrias foram obrigadas a arcar com esses altos valores.

A metodologia usada para o desenvolvimento deste trabalho utiliza-se de técnicas e métodos científicos na obtenção de resultados relevantes ao assunto abordado. Assim, esse estudo quanto aos objetivos será exploratória e descritiva. A trajetória metodológica desenvolve-se em fases distintas. A primeira consiste em uma fundamentação teórica. A segunda fase consta de informações obtidas através de conversas e material disponibilizado pela empresa em questão, que vislumbra a apresentação do projeto.

O trabalho monográfico será dividido em seis capítulos. O capítulo primeiro abordará os conceitos, características e os potenciais elétricos de energias renováveis, biogás, biodigestores e as tecnologias de conversão do biogás para energia elétrica. O segundo capítulo, será descrito como é o sistema de esgotamento sanitário de Caratinga-MG. O terceiro capítulo, vamos abordar as características do projeto elétrico da ETE e o processo do tratamento do esgoto. O quarto será descrito os estudos realizados através de cálculos de como se faz a conversão do biogás para energia elétrica. O quinto capítulo tem como objetivo demonstrar os resultados e discussões da pesquisa. E o sexto capítulo abordará tudo o que se pode concluir com esta pesquisa.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 ENERGIAS RENOVÁVEIS

Ao abordarmos o tema energias renováveis, entende-se que são energias que vem de fontes inesgotáveis, ou seja, nunca se acaba e que ao longo do tempo vão sempre se renovando pelo meio ambiente. Como por exemplo, a energias que vem das águas, do vento, do sol, das ondas dos mares, geotérmica, biomassa e o biogás, conforme citado por REIS e SILVEIRA (2012)⁶.

De acordo com CAVALCANTI (1994)⁷, o vínculo de fases renováveis, são consideradas fontes de energia limpa, que não causam nenhum tipo de dano ao meio ambiente, ou seja, que não causam poluição. Essas energias ainda não são aproveitadas como se deve, visto que as tecnologias que são usadas não aproveitam o seu máximo.

Pode se dizer que o perfil de geração de energia elétrica no Brasil em médio prazo ainda será de usinas hidrelétricas. REIS E SILVEIRA (2012)⁸, ainda reafirmam que as fontes de energias renováveis podem ser comprometidas em longo prazo, caso o modo de política do país não se atualize para um futuro totalmente sustentável, deixando de apoiar e trazer qualidade nas soluções renováveis.

Abordaremos a seguir alguns conceitos de energias renováveis e suas propriedades.

2.1.1 ENERGIA HIDRELÉTRICA

Este tipo de energia vem das Usinas hidrelétricas, ou seja, uma energia vinda das águas dos rios. Sua construção pode variar de acordo com o tipo de operação, a mais comum são compostas de barragens onde há um grande armazenamento de água e a sua geração não dependerá da vazão do rio, mas por outro lado prejudicará o meio ambiente devido à mesma utilizar de um grande espaço para

⁶ REIS, Lineu Bélico dos; SILVEIRA, Semilda, et al. ***Energia elétrica para o desenvolvimento sustentável: Introdução de uma visão multidisciplinar***- Lineu Bélico dos Reis, Semilda Silveira (orgs). Ed.1 reimpressão- São Paulo: Editora da universidade de São Paulo; 2012.

⁷ CAVALCANTI, Clovis. ***Desenvolvimento e natureza: Estudos para uma sociedade sustentável***. INPSO-FUNDAJ, Instituto de Pesquisa Social, Fundação Joaquim Nabuco, Ministério de Educação, Governo Federal, Recife, Brasil, Outubro de 1994.

⁸ Idem 6.

poder armazenar água. Existem também usinas hidrelétricas que operam a fio d'água, dependem da vazão do rio. As mesmas só podem operar com toda sua capacidade quando á condições perfeitas, ou seja, em período de chuva.

NETO e CARVALHO (2012)⁹, explicam que uma geração deste tipo é uma fonte renovável de energia por causa do ciclo da água. Com isso não á ganho só para a sociedade, mas também para o meio ambiente, o consumo humano, para os animais e plantações na possibilidade de criação de peixes e para outros tipos de utilização da água.

Em relação ao funcionamento das usinas hidrelétricas VILLALVA e GAZOLI (2012)¹⁰, citam que a água do rio é represada através de uma barragem onde a mesma é levada até um duto. Durante esse processo, a água transforma em energia cinética durante o seu escoamento. Com o escoamento a água faz girar as pás de uma turbina o que por consequência um gerador elétrico é acionado. Depois disso, a energia que foi produzida é levada a um transformador que vai elevar essa tensão e a mesma será conduzida através de linhas de transmissão e depois um transformador abaixa essa tensão, onde são distribuídas para os grandes centros urbanos. Essa energia se torna inesgotável devido o ciclo de evaporação dos rios, o que provoca chuva, fazendo com que ela se renove a todo o momento.

A maior fonte de geração de energia elétrica do Brasil provém das usinas hidrelétricas. No ano de 1995 essa energia chegou a ter 90% de sua capacidade instalada no país. Para implantar energia hidrelétrica no Brasil demandou um grande esforço de capitalização, o que dependeu de um ponto de vista estritamente econômico, como assevera REIS e SILVEIRA (2012)¹¹.

Nos dias atuais não podemos mais assegurar o uso em plenitude e abundancia da água, devido a que os grandes impactos que as reservas de águas potáveis vêm sofrendo, chegando a atingir até mesmo um nível crítico.

⁹ NETO, Manuel Rangel Borges; CARVALHO, Cesar Marques de. **Geração de energia elétrica fundamentos**. 1.ed. São Paulo: Erica, 2012.

¹⁰ VILLALVA, Marcelo Gradella; GAZOLI, Jonas Rafael. **Energia solar fotovoltaica: Conceitos e aplicações**. 1.ed. São Paulo: Érica 2012.

¹¹ Idem 6

2.1.2 ENERGIA EÓLICA

A energia eólica é gerada com o vento, ou seja, através dos movimentos de massas de ar, que é um aquecimento entre as camadas de ar pelo sol, ou também na rotação da terra sobre seu eixo.

VILLALVA e GAZOLI (2012)¹², explica que este tipo de energia já vem sendo empregada pelo homem há muitos séculos, no transporte de acionamento de mecanismos. Esta fonte de energia é utilizada na geração de energia elétrica através de turbinas eólicas acopladas e geradores elétricos. Em lugares do nosso planeta onde tem ventos em abundância, a energia eólica se torna uma fonte inesgotável de energia elétrica.

As turbinas eólicas se dividem em dois tipos: uma de eixo vertical e outra de eixo horizontal. As de eixo vertical são usadas em pequenos geradores e tem como benefício aproveitar qualquer direção do vento. Já as de eixo horizontal, que já são acopladas em grandes geradores com vários megawatts de potência, que contam com um sistema automatizado, tem a vantagem de orientar as pás de acordo com a direção do vento.

Para que este tipo de energia seja considerado aproveitável, RAMOS e SEIDLER (2011)¹³, cita que a densidade do vento deve ser maior que 500Wm² e em uma altura de 50 metros requer a velocidade do vento a 7 e 8 m/s, ainda de acordo com o autor a Organização Mundial de Meteorologia revelou que esses dados representam 13% da superfície terrestre. Essa proporção varia muito entre regiões, já que na Europa Ocidental esse valor chega a 32%.

Para se tenha uma estimativa de energia gerada REIS (2011)¹⁴, explica que é necessário ter a velocidade média do vento, para que assim possamos ter ideia do quanto de energia elétrica pode ser gerada. Por que os aerogeradores necessitam de certa velocidade do vento para que se possa começar a gerar e só param de gerar quando a velocidade ultrapassa determinado valor.

O mercado de energia eólica no país vem em uma crescente, vários parques de geração eólica já foram instalados e alguns se encontram em construção. Em

¹² Idem 10

¹³ RAMOS, Filipe G; SEIDER, Nelson. **Estudos de energia eólica para aproveitamento em pequenos empreendimentos**. Rev. El. De. Extensão da URI, Out-2012.

¹⁴ REIS, Lineu Bélico dos. **Geração de energia elétrica-2**. Ed.rev. e atual- Barueri-SP: Manole,2011.

especial nas regiões Sul e Nordeste onde tem grandes incidentes de ventos, como assegura VILLALVA e GAZOLI (2012)¹⁵.

No entanto este tipo de geração também tem suas desvantagens, o vento nunca será constante e uniforme a todo tempo, assim vindo prejudicar a geração de energia elétrica.

2.1.3 ENERGIA SOLAR

A energia solar é entendida por SILVA (2012)¹⁶, como uma fonte bastante lucrativa, devido à incidência de sol em um ano oferecer uma energia cerca de 10.000 vezes maior que a sociedade consome.

REIS (2011)¹⁷, explica que a transmissão da energia do sol para a terra, acontece na forma de radiação eletromagnética de ondas curtas. O comprimento da onda varia de 0,3 a 3,0 μm , onde estão contidas 97% da radiação solar. Essa radiação sofre com dispersões, reflexões absorções durante seu percurso até o solo e isso acontece devido às flutuações climáticas.

De acordo com REIS e SILVEIRA (2012)¹⁸, a energia solar se divide em duas etapas: a primeira etapa acontece indiretamente através do uso do calor, assim produzindo um vapor, que vai acionar uma turbina a vapor, que por fim acionaria um gerador elétrico em uma central termelétrica e segunda etapa seria diretamente utilizando os painéis fotovoltaicos. É possível observar que é um tipo de geração limpa, ou seja, totalmente renovável, mas, porém o que deixa a desejar é o alto custo para sua implantação.

2.1.4 ENERGIA DE ONDAS E MARES

VILLALVA e GAZOLI (2012)¹⁹ esclarecem que para que haja movimento das águas nos oceanos, é necessário um efeito gravitacional do sol e a lua, como consequência acontece a formação de marés.

¹⁵ Idem 10

¹⁶ SILVA, Claudio Homero Ferreira da. *Alternativas energéticas: Uma visão cemig*. Belo Horizonte 2012.

¹⁷ Idem 14

¹⁸ Idem 6

¹⁹ Idem 10

Através da interação das ondas com os ventos é criada uma energia cinética, que se dá pelo movimento das partículas de água e a de uma energia potencial, se dá pelo deslocamento de águas do nível médio do mar. De acordo com REIS e SILVEIRA (2012)²⁰, para que aconteça um aumento das ondas, sua altura e dos níveis de energia nas marés é necessário que tenha ventos com certa duração e intensidade.

A energia das marés é o resultado do movimento alternado de enchimento e esvaziamento de baías e estuários. Com esse processo acontece a geração de energia elétrica, sendo que ele só vai ocorrer quando o nível de água estiver em condições de subir na maré cheia, segundo o que afirmam REIS e SILVEIRA (2012)²¹. Eles também explicam que para que aconteça a geração de energia elétrica através das ondas dos mares, deve conter uma barragem que é construída em um estuário, onde será equipada com uma série de comporta, que permitirá a entrada de água pela baía.

De acordo com o parágrafo anterior a eletricidade será gerada, por turbinas axiais com um diâmetro que pode atingir até nove metros. A vazão irá variar as pás das turbinas, o ângulo do distribuidor é regulado para uma máxima eficiência, mas dentre tantos fatores esse tipo de geração de energia elétrica pode deixar a desejar devido utilizar de equipamentos que tem um grande custo, por ser usado em águas marinhas.

2.1.5 GEOTÉRMICA

É caracterizada como uma energia originária através do calor que vem de dentro do solo assim acionando turbinas a vapor.

Segundo NETO e CARVALHO (2012)²², a estrutura da terra é dividida em três camadas principais, sendo o núcleo quente e denso, com temperaturas entre 4.000 a 4.700°C; o manto com temperaturas de 1.000 a 1.500°C e com uma camada fina e rochosa; e uma crosta externa com temperatura inferior a 1.000°C, sendo que ao se aproximar de 30°C-KM a temperatura da crosta tende aumentar.

²⁰ Idem 6

²¹ Idem 6

²² Idem 9

VILLALVA e GAZOLI (2012)²³ explicam que o calor no interior da terra pode ser usado como fonte de geração de energia elétrica. No nosso planeta existem regiões que se encontram a centenas de metros de profundidade e com altas temperaturas, geralmente são áreas onde tem vulcão. Existem também gêiseres, que são fontes de águas quentes que brota do solo.

Uma vantagem dessa energia é sua menor geração de gases do que os combustíveis fósseis, podendo ser considerado uma fonte inesgotável e limpa de energia.

REIS (2012)²⁴ cita que as consequências deste tipo de geração se dividem em duas partes: as permanentes, que necessita de uma manutenção constante na fonte e as temporárias, que está ligadas a exploração e perfuração do solo.

2.1.6 ENERGIA DE BIOMASSA

A energia de biomassa é produzida através da queima do conjunto de materiais, tanto animal como vegetal. A biomassa é uma fonte de energia inesgotável, pelo fato de ser constituída de materiais orgânicos e vegetais, sua regeneração acontece junto ao plantio, como explicam VILALLVA e GAZOLI (2012)²⁵.

A demanda deste tipo de energia vem aumentando nos últimos tempos, já que a mesma possibilita a geração de energia elétrica em sistemas de cogeração, ou seja, propriedades isoladas com difícil acesso para a construção de redes de transmissão, esse é o tipo de geração que se torna vantajosa e ainda contribui com o meio ambiente.

VILLALVA e GAZOLI (2012)²⁶ retratam que a biomassa vegetal é uma fonte limpa, sendo que o carbono que é obtido na sua queima. As plantas o capturam da atmosfera, assim, realizam o processo de fotossíntese onde é formado um conjunto fechado de queima e plantio.

No país a biomassa também está ligada com o desenvolvimento de veículos a álcool (cana-de-açúcar), sendo uma alternativa promissora e mais adequada que os derivados do petróleo, contribuindo com o meio ambiente. Existe uma grande

²³ Idem 10

²⁴ Idem 14

²⁵ Idem 10

²⁶ Idem 10

perspectiva em relação a esse tipo de energia não só no aproveitamento dos resíduos de cana de açúcar, mas também, com a biomassa florestal e com os lixos urbanos, como explica REIS (2012)²⁷.

2.2 BIOGÁS

A mistura gasosa combustível, resultante da biodigestão anaeróbia, é chamada de biogás. Isso ocorre através da degradação da matéria orgânica, durante um processo de ação das bactérias formadas na ausência de oxigênio; e que no caso do tratamento do esgoto é chamado de lodo CENBIO (2001)²⁸.

2.2.1 PROCESSO DE PURIFICAÇÃO

PECORA (2006)²⁹, explica que após sua geração o biogás deve passar por um procedimento de purificação, principalmente por ser utilizado no sistema de conversão de energia elétrica. Esse sistema de purificação é formado por dois compartimentos instalados na linha onde o gás é captado. Depois de purificado o biogás vai para um recipiente onde fica presa a água condensada, durante sua passagem pela tubulação.

Existem dois tipos de compartimento no processo de purificação, em um deles sua formação se dá por dois tipos de peneira molecular, onde uma delas tem a função de retirar a umidade, e a outra retirar o ácido sulfídrico (H₂S), sílica gel azul, sendo usada como indicador, pois a mesma ao ser saturada forma uma coloração diferente. O outro compartimento possui cavaco de ferro, com objetivo de assegurar a retirada de H₂S, que provavelmente não tenha sofrido reação com o primeiro elemento.

Afirma ainda que o sistema de purificação é de extrema importância no tratamento do biogás, assim comprovando uma queda na composição da água e do sulfeto de hidrogênio, demonstrada na tabela abaixo:

²⁷ Idem 14

²⁸ CENBIO. *Nota Técnica VII – Geração de energia a partir do biogás gerado por resíduos urbanos*, São Paulo, 2001.

²⁹ PECORA, V. *Implementação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP: Estudo de caso*. 2006. 153 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Inter-unidades de Pós-Graduação em Energia (PIPGE), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

Tabela 1: Composição típica do biogás produzido e purificado

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

Fonte: Adaptado de Pecora (2006)

2.2.2 PRODUÇÃO BIOGÁS

O biogás pode ser produzido tanto através do processo aeróbio quanto anaeróbico. Utilizando a tabela abaixo, LIMA (2005)³⁰ demonstra que a viabilidade do processo anaeróbico é maior, se comparado ao processo aeróbio, onde a produção de lodo é menor e o consumo de energia é elevado.

Tabela 2: Comparação entre processo aeróbio e anaeróbico

	Processo aeróbio	Processo anaeróbico
Aeração	0,5 a 0,75 kg O ₂ /dia	Não necessita
Potência	Consome 20 a 30 W (p/aeração) ²	Não consome (produz 30 a 35 W) ²
Biogás	146 a 216 l/dia (65 % metano) ³	260 a 370 l/dia (100 % metano)
Lodo	315 gSSV/d ⁴	150 gSSV/d ⁵

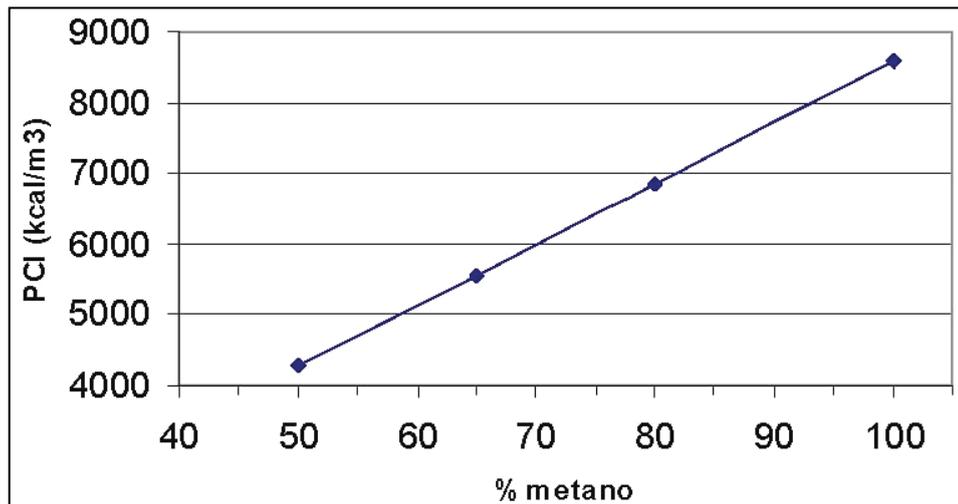
Fonte: Adaptado de LIMA (2005) - Obs.: 1 Ambos realizando o metabolismo de 1kg DQO/dia, 2 Segundo Van Haandel & Lettinga (1994), 3 A partir da biodigestão de lodos do processo aeróbio, 4 Lodo digerido, 5 (Anabolismo Acidogênico + Metanogênico)

³⁰ LIMA, F.P. *Energia no tratamento de esgotos: Análise tecnológica e institucional para a conservação de energia e o uso do biogás*. 2005. 139 f. Dissertação (Mestrado) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005

2.2.3 PODER CALORÍFICO DO BIOGÁS

Segundo LIMA (2005)³¹, o poder calorífico do biogás necessita da concentração do metano, como demonstra a figura abaixo:

Figura 1: Poder calorífico inferior em função do percentual de metano



Fonte: Adaptado de LIMA (2005)

DAVID (2002)³², afirma que a composição de metano no biogás derivada da digestão anaeróbia de lodo fica entre 60 e 70 %. Isso resulta em um poder calorífico inferior (PCI) por volta de 5.500 kcal/m³, demonstrando potencialidade de uso controlado. A tabela apresenta o PCI para distintos gases.

Tabela 3: Poder calorífico inferior de vários tipos de gases

Gases	PCI em kcal/m³
Metano (CH ₄)	8.500
Propano (C ₃ H ₈)	22.000
Butano (C ₄ H ₁₀)	28.000
Gás Natural	7.600
Biogás	5.500

Fonte: Adaptado de DAVID (2002)

³¹ Idem 30

³² DAVID, A.C. *Secagem térmica de lodos de esgoto*. 2002. 151 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

2.2.4 COMPOSIÇÃO BIOGÁS

De acordo com DAVID (2002)³³, diversos são os fatores que influenciam na composição do biogás, a seguir serão descritos alguns deles:

Composição dos resíduos - Quanto maior for a quantidade de materiais orgânicos e sólidos, maior será também a produção do biogás. Sais orgânicos, carbono e nitrogênio são considerados os principais nutrientes dos micro-organismos. Nos dejetos humanos e de animais a proporção de nitrogênio encontrado é maior.

Natureza do substrato- Existem substratos nutritivos que serve como fonte de alimento aos micro-organismos que ir á fazer a decomposição da matéria orgânica e produzir o biogás. Alguns minerais são conhecidos como oligoelementos, que em pequenas doses são obrigatório nas reações enzimáticas, dentre os principais estão: cálcio, magnésio, potássio, sódio, ferro, zinco, cobalto, molibdênio, cobre e manganês. Já elementos, como carbono, nitrogênio, oxigênio, fósforo e enxofre, são de grande importância no rendimento dos gases de fermentação.

Teor da água– Devem estar á 60% a 90% do peso do conteúdo total.

Impermeabilidade ao ar- As bactérias anaeróbicas interferem na presença e no processo de oxigênio, assim produzem apenas gás carbônico.

Temperatura– Atua fortemente no processo enzimático das bactérias formadoras de metano, considerando que a 10 °C, a atividade das bactérias é muito baixa e acima de 65 °C, as enzimas são destruídas pelo calor. A temperatura ideal para a produção de biogás é entre 32 e 37 °C para bactérias mesófilas e de 50 a 60 °C para bactérias termofílicas.

2.3 BIODIGESTORES

COLLARES PEREIRA (1998)³⁴ conceitua biodigestores, como equipamentos usados para a produção de biogás, sendo o metano (CH₄) considerado o principal gás a ser produzido. Ele é constituído por bactérias que

³³ Idem 32

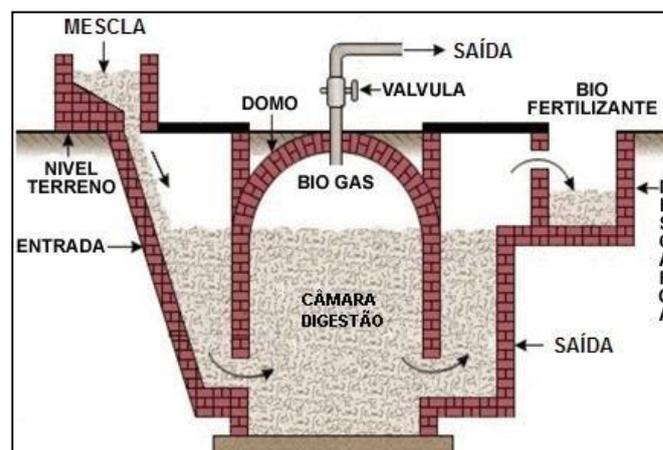
³⁴ COLLARES PEREIRA, M. *Energias renováveis, a opção inadiável*. Lisboa: Sociedade Portuguesa de Energia Solar - SPES, 1998. 256 p.

consomem a matéria orgânica, na falta de oxigênio; ou através da degradação de polímeros orgânicos, sendo que esses derivam de materiais biodegradáveis como: resíduos alimentícios, lodo de esgoto, lixo doméstico, substrato da cana-de-açúcar, vinhaça, esterco orgânico, plantas aquáticas, efluentes industriais e demais resíduos agrícolas. Em caso de digestão anaeróbia feita por biodigestores de forma planejada, forma-se uma mistura que podem ser usadas como combustível. Sendo que ela não produz gases tóxicos durante a queima, serve de aproveitamento do lixo orgânico e ainda deixa como resíduo o lodo que é um excelente biofertilizante.

2.3.1 CARACTERÍSTICAS

Biodigestor é considerado um reator, onde as reações químicas que nele acontecem deriva da origem biológica. O biogás já purificado, pode ser queimado ou usado em grupos de cogeneradores para a produção de energia elétrica e energia térmica. O biodigestor é aquecido através do calor produzido e a energia é utilizada para o consumo próprio. A figura abaixo mostra como é feito um carregamento de um biodigestor, de acordo com JUNIOR (2008)³⁵.

Figura 2: Processo completo de um biodigestor



Fonte: Adaptado de JUNIOR (2008)

³⁵ JUNIOR, Antonio Tavares de França. **Análise do aproveitamento energético do biogás produzido numa estação de tratamento de esgoto.** Disponível em: <http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariamecanica/nuplen/analise-do-aproveitamento-energetico-do-biogas-produzido-numa-estacao-de-tratamento-de-esgoto.pdf> . Acesso em 24 de julho de 2016

Esse modelo de biodigestor apresentado acima é feito em alvenaria e se localiza abaixo da superfície. Possui um lugar para saída de gás, que é regulado por uma válvula. Composto por uma entrada dos materiais orgânicos e uma saída, onde foram transformados em biofertilizantes. Esse gás que foi produzido pode ser aplicado em iluminações, fogões, geladeiras e motores de ciclo Otto, entre outros. Além de ser duradouro o número de biodigestores naturais, como o solo, águas estagnadas e os cursos de água, já possuem biodigestores com tecnologias avançadas, capazes de acelerar o processo de biodigestão dos materiais orgânicos.

De acordo com FILHO e FERREIRA (2004)³⁶ cada biodigestor tem uma característica, sendo os de produção contínua e descontínua. No caso de contínua, a produção acontece por um longo período, sem que haja a necessidade da abertura do equipamento. A biomassa é colocada ao mesmo tempo e em seguida é retirado o biofertilizante. Em forma descontínua, a biomassa é colocada dentro do biodigestor, que logo após é totalmente fechado e só será aberto após a produção do biogás, o que leva em torno de noventa dias. Em seguida, o equipamento é aberto, limpo e pronto para ser carregado novamente com materiais orgânicos.

2.3.2 TIPOS DE BIODIGESTORES

Os mais utilizados são o da Marinha, Indiano, Chinês e RALF / UASB, os quais serão descritos a seguir:

2.3.3 BIODIGESTOR DA MARINHA

Seu formato é de um modelo horizontal, sua largura é maior que a profundidade, possui um molde retangular. Sua área de exposição ao sol é grande e isso aumenta a produção de biogás, mas é necessário que esse biodigestor seja composto por um plástico maleável, tipo PVC, a tendência é que o mesmo infle com a produção de biogás, como se fosse um balão. Seu material é feito em alvenaria, assim pode ser mais larga evitando o entupimento. O plástico pode ser retirado para fazer manutenção o que facilita na limpeza. A desvantagem desse modelo é o custo do plástico.

³⁶ FILHO, G.L.; FERREIRA, E.F. *Agroenergia: Fundamentos sobre uso da energia no meio rural*. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4, 2004. Campinas: Unicamp, 2004.

Figura 3: Biodigestor da Marinha

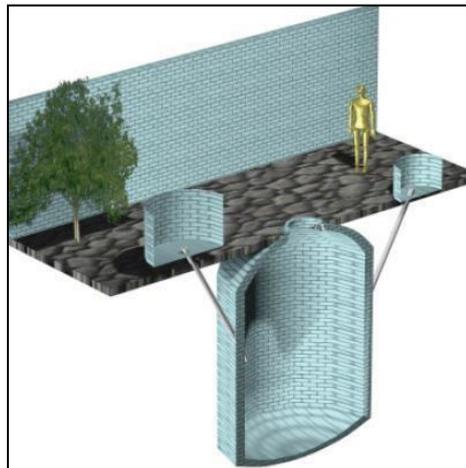


Fonte: Adaptado de FILHO e FERREIRA (2004)

2.3.4 BIODIGESTOR CHINÊS

Esse biodigestor possui um custo menor se comparado aos demais, pois sua cúpula é produzida em alvenaria. Trata-se de um modelo único, originário da China, sendo enterrado no solo. Uma de suas características é que sofre pouca variação de temperatura. A figura abaixo o biodigestor Chinês.

Figura 4: Biodigestor Chinês



Fonte: Adaptado de FILHO e FERREIRA (2004)

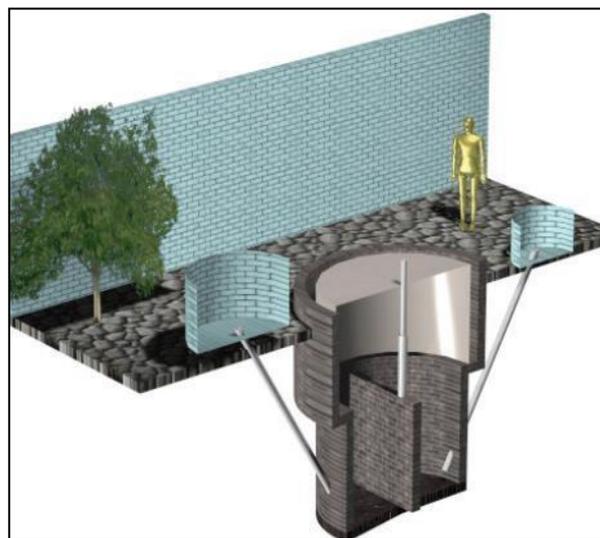
2.3.5 BIODIGESTOR INDIANO

Possui uma cúpula de ferro ou fibra, onde existe uma movimentação tanto para cima como para baixo, que varia de acordo com a produção de biogás. Aproveitando a pouca variação de temperatura do solo, o processo de fermentação é acelerado com isso favorece a ação das bactérias. Sua construção é subterrânea,

ocupando assim menos espaço e dispensando os reforços. Caso a cúpula do mesmo seja de metal, é necessário dar uma pintura com um antioxidante. Um dos cuidados a serem tomados, é estar atento ao lençol freático para não haver infiltração da matéria.

Esse biodigestor não é mais utilizado devido ter um custo muito elevado, informações trazidas da China, revela que os materiais utilizados podem ser trocados por materiais locais, tornando sua utilização viável.

Figura 5: Biodigestor Indiano

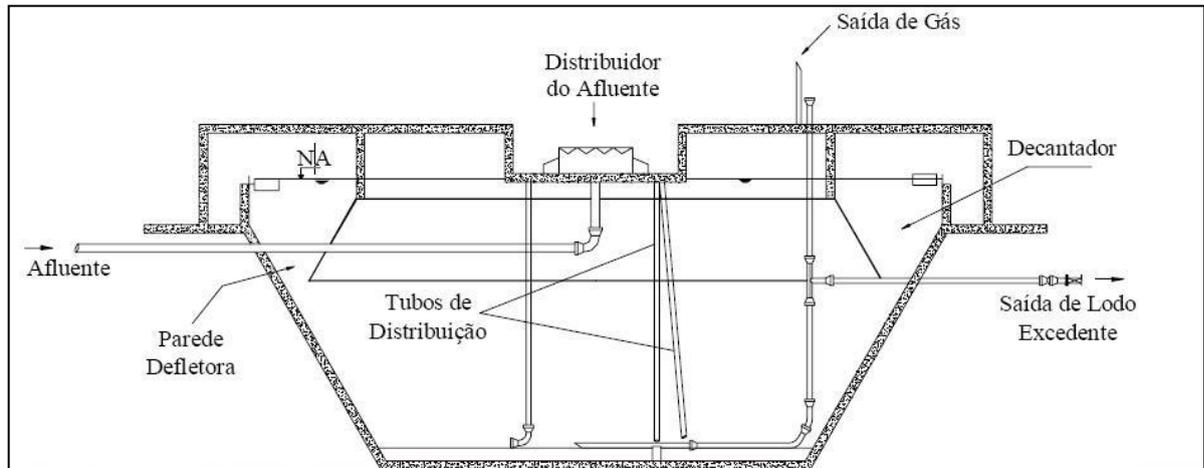


Fonte: Adaptado de FILHO e FERREIRA (2004)

2.3.6 BIODIGESTORES MODELOS RALF/UASB

São sistemas que operam com o tratamento do esgoto, como os reatores anaeróbicos de leito fluizado (Ralf), que são conhecidos com UASB (Up Flow Anaerobic Sludge Blanket Reactors). Segundo BUSATO (2004)³⁷, são utilizados no tratamento do esgoto, ou seja, tratando de maneira biológica, baseado no processo de estabilização da matéria. A figura abaixo demonstra o esquemático do biodigestor RALF-UASB.

³⁷ BUSATO, R. **Desempenho de um filtro anaeróbio de fluxo ascendente como tratamento de efluente de reator UASB - Estudo de caso da ETE de Imbituva.** 2004. 214 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

Figura 6: Esquema do RALF/UASB

Fonte: Adaptado de BUSATO (2004)

É um reator construído de apenas um tanque vertical, contendo câmaras de digestão anaeróbia e sedimentação da matéria orgânica e não necessita de nenhum tipo de energia para complementar o processo.

O esgoto que é tratado vai para o fundo do reator, onde passa por uma camada de lodo biológico, aonde será transformada matéria orgânica em biogás, ou seja, pode ser utilizado para fins energéticos.

2.4 TECNOLOGIAS PARA APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS

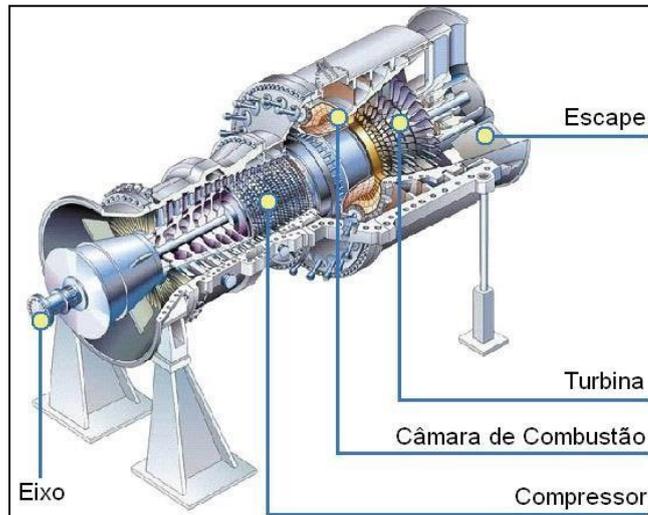
Os equipamentos disponíveis no mercado que fazem o aproveitamento energético através do biogás são as turbinas, microturbinas e os motores (ciclo diesel ou Otto), os quais serão destacados a seguir.

2.4.1 TURBINAS A GÁS

São equipamentos que fazem a conversão de uma energia combustível (biogás) em potência. Dentre suas características, destacam-se: a produção de gases em grandes volumes e a capacidade de suportar temperaturas elevadas, o que torna esse equipamento adequado aos aproveitamentos energéticos, acarretando uma melhora em seu rendimento térmico do conjunto.

As turbinas a gás são formadas por três principais componentes, uma câmara de combustão, compressor de ar e a turbina.

Figura 7: Detalhes de como é feita uma turbina



Fonte: Adaptado de JUNIOR (2008)

De acordo com JUNIOR (2008)³⁸, a turbina funciona da seguinte forma:

“O compressor é acionado pela própria turbina. Inicialmente o ar é comprimido pelo compressor elevando a pressão, em seguida é misturado ao combustível na câmara de combustão. Essa mistura é então queimada sob uma condição de pressão constante, em regime contínuo, aumentando a temperatura dos gases e introduzindo, desta forma, a energia primária no sistema. Os gases de combustão resultante da queima são expandidos na turbina transformando sua energia térmica em energia mecânica, parte dessa energia é utilizada para acionar o compressor.”

Os acionamentos das turbinas são feitos pelos próprios gases quentes que nela são produzidos pela combustão, o que dispensa a utilização de um fluido de trabalho intermediário, como o vapor ou outro tipo. Isso faz com que as unidades fiquem mais compactas para os mesmos níveis de produção de potência, o que proporcionam vantagem para funcionar com vários tipos de combustíveis, como os gases oriundos de processo de gaseificação, gás natural, querosene e biomassa.

As características que os combustíveis gasosos devem ter:

- Não formam cinzas na combustão, evitando que elas se depositem nas palhetas das turbinas e interfiram na operação;
- Os materiais não podem ser erosivos;

³⁸ Idem 35

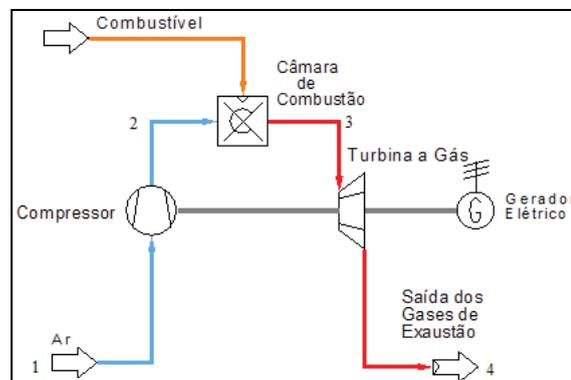
- Não podem conter também conteúdos que provoquem a corrosão das palhetas.

É um equipamento que necessita de uma parada menor. Dentre os equipamentos estudados por LAUTMAN (1993)³⁹ com os sistemas de cogeração baseados em turbinas a gás de vários tipos e portes apresentaram o fator de disponibilidade entre 90% a 96%.

Segundo informações da ANEEL (1998)⁴⁰, as turbinas a gás possuem uma certa rapidez na entrada de seu funcionamento. O tempo para que possam atingir plena carga de seu funcionamento é de 6 a 8 minutos. Já em regime de emergência demoram cerca de 15 minutos em condições normais de operação.

Este tipo de turbina possui uma fácil manutenção e controle, onde tem um controle automático. Podem ser chamadas de turbinas estacionárias, ou seja, foram desenvolvidas a partir de uma turbina de avião. A figura a seguir mostra o ciclo de uma turbina a gás.

Figura 8: Ciclo de uma turbina a gás



Fonte: Adaptado de JUNIOR (2008)

No ciclo acima o ar é aspirado pelo compressor e segue para câmara de combustão, onde o combustível é misturado, surgindo assim gases a altas temperaturas. Essa força é transferida para turbina, acionando a mesma e gerando trabalho mecânico. O eixo da turbina é conectado ao compressor e ao gerador

³⁹ LAUTMAN, L. *Reliability of natural gas cogeneration systems*. New York: Gas Research Institute, 1993. 186 p.55

⁴⁰ AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. *Guia do cogenerador de energia elétrica*. Brasília: Distrito Federal, 1998. (Série Estudos e Informações Hidrológicas e Energéticas, 5). CD ROM.

elétrico, de modo que quando existir a expansão dos gases de combustão, o ciclo de compressão é acionado e gerando assim trabalho.

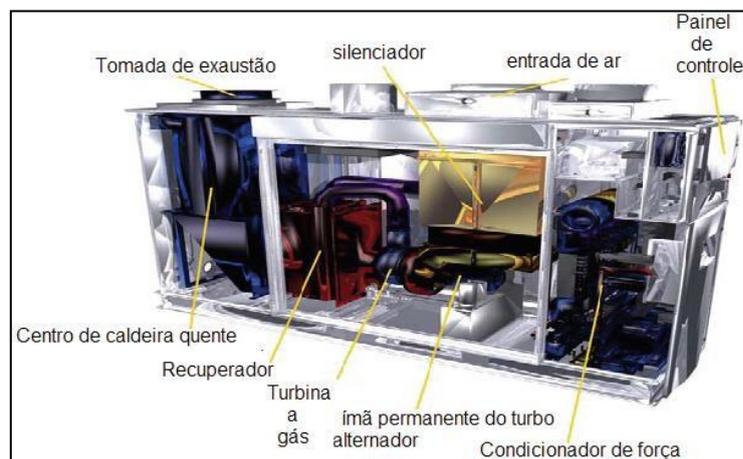
2.4.2 MICROTURBINAS

São equipamentos com dimensões reduzidas. O seu sistema é composto por compressor, câmara de combustão, turbina e gerador elétrico, com potência inferior a 250 KW. Para potências situadas entre 250 e 1.000 KW já são consideradas mini turbinas.

As linhas de microturbinas que existem no mercado, de acordo com JUNIOR (2008)⁴¹, tem como principal função a geração de energia elétrica, podendo ser utilizada em cogeração com a adição de equipamentos. Nos dias atuais, são consideradas tecnologias de ponta e de grande importância para a micro cogeração. A mesma utiliza o mesmo princípio de funcionamento das turbinas, a gás de maior porte. Neste tipo de cogeração, diminuimos consideravelmente o consumo de energia primária, em comparação a geração típica de calor e da eletricidade.

A figura abaixo demonstra a composição de uma microturbina.

Figura 9: Composição de uma microturbina



Fonte: Adaptado de JUNIOR (2008)

Quando o ar atmosférico atinge o compressor, onde a pressão é elevada, ele é comprimido e vai para a câmara de combustão, onde o combustível é injetado e se mistura com o ar. Para que ocorra a inflamação dessa mistura, são necessários

⁴¹ Idem 35

queimadores, onde os gases são aquecidos e ocorre a formação de uma pressão, assim se expande através das pás das microturbinas, fazendo com que as mesmas gire em alta velocidade.

No mesmo eixo do compressor é montada a turbina de expansão e o gerador elétrico. Para girar o compressor e o gerador elétrico é necessário que a turbina de expansão entre em operação formando o ciclo completo. Os gases depois da expansão na turbina, contem uma grande quantidade energia térmica, ou seja, podendo ser utilizadas em sistemas de trocas de calor, assim formando um ciclo de cogeração.

Geralmente as microturbinas funcionam com gás natural, no entanto, existem também as que funcionam com óleo combustível, álcool, querosene, propano e gasolina.

No biogás que é gerado em ETE's, geralmente a pressão está um pouco a baixo, então é necessária a adição de um compressor ao conjunto quando a pressão de alimentação do combustível não for suficiente.

Logo abaixo destacam-se as vantagens desse sistema de cogeração:

- Fácil manutenção, implicando menores tempos de parada;
- Arranque relativamente rápido;
- Grande confiabilidade;
- Sistema compacto e relativamente isento de vibrações, exigindo menos despesas em termos de estruturas, fundações e isolamentos acústicos;
- Não necessita de vigilância constante; disponibilidade de energia térmica a temperaturas elevadas;
- Redução significativa da emissão de poluentes e particularmente do CO₂.

Dentre as desvantagens de um sistema de micro cogeração de energia podem ser destacadas as seguintes:

- Uso menos atrativo em processos com poucas necessidades térmicas;
- Tempo de vida útil relativamente curto.

2.4.3 MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

No sistema de cogeração atual das pequenas empresas, existe a possibilidade de ser usados de forma alternativa motores de combustão interna.

Este tipo de motor é mais usado em casos de produção de energia para emergência e em locais isolados, de forma que seu uso é mais recomendado onde sofre variações no fornecimento de energia elétrica ao longo do tempo.

JUNIOR (2008)⁴², afirma que esses motores são responsáveis por transformar energia térmica de um combustível líquido ou gasoso em energia mecânica. Em seguida, acionando os pistões que ficam dentro dos cilindros, o calor gerado é aproveitado com a utilização de energia que está sobre os gases de exaustão ou em fluidos de lubrificação e refrigeração. Para que uma quantidade de calor seja recuperada dependerá do tipo, do porte do motor e do seu regime operacional. Esses tipos de motores dividem-se em dois ciclos: otto e diesel.

Os motores de combustão interna podem ser usados vários tipos de combustíveis gasosos como: gás natural, propano, butano, biogás de síntese, nafta química e líquidos como o álcool, gasolina, diesel, biodiesel, entre outros.

Quando forem utilizados gases como o combustível, o ciclo mais recomendado é o otto, assim, realiza-se a mistura do gás com o ar em determinadas quantidades, além de obedecer a temperatura e a pressão pré-estabelecida. Também é possível o uso do gás em equipamentos de ciclo a diesel, desde que o combustível colocado na câmara de combustão seja uma mistura de gás com 3 a 5% de diesel. É preciso que haja o uso de compressores de grande potência, para que assim sejam criadas grandes pressões de gás, necessitando a injeção deste nas câmaras cilíndricas de combustão.

A figura abaixo demonstra um motor a gás integrado a um gerador de eletricidade e um sistema de coleta de gases de escape para geração de vapor.

⁴² Idem 35

Figura 10: Motor a gás integrado a um gerador de eletricidade e um sistema de coleta de gases de escape para geração de vapor



Fonte: Adaptado de JUNIOR (2008)

As principais características da cogeração por meio de motores a gás são:

- Arranque rápido;
- Fácil adaptação a variações das necessidades térmicas;
- Elevada eficiência mecânica;
- Não necessita de vigilância constante.

As principais desvantagens da cogeração de energia por meio de motores a gás são:

- Tempo de vida útil curto;
- Baixo rendimento térmico;
- Custos de manutenção elevados devido à necessidade de paradas frequentes.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 CONCEITO DE SANEAMENTO BÁSICO

O sistema de esgotos sanitários é o conjunto de obras e instalações que propicia coleta, transporte, afastamento, tratamento, e disposição final das águas residuárias, de uma forma adequada do ponto de vista sanitário e ambiental. O sistema de esgotos existe para afastar a possibilidade de contato de dejetos humanos com a população, com as águas de abastecimento, com vetores de doenças e alimentos.

De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS)⁴³, saneamento básico pode ser definido como gerenciamento de todos os fatores do meio físico humano, que podem ser nocivos a sua saúde física, mental ou social.

Segundo a Lei 11.445/2007⁴⁴, é um direito previsto na Constituição Federal do Brasil, sendo de fundamental importância na garantia de uma melhor qualidade de vida.

3.2 SANEAMENTO BÁSICO NO MUNICÍPIO DE CARATINGA/MG

O município de Caratinga se localiza ao leste do estado de Minas Gerais, pertencendo à microrregião do Caparaó. O seu território se localiza a uma altitude de 578 metros ao nível do mar e tem uma área de 1258,6km². A população estimada é de 91.342 habitantes, segundo o censo demográfico IBGE (2016)⁴⁵.

⁴³ OMS- **Organização Mundial de Saúde**. Disponível em: <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/Apostila%20IT%20179/Cap%201.pdf> Acesso em: 18 de setembro de 2016

⁴⁴ Lei 11.445/2007- **Diretrizes Nacionais Para O Saneamento Básico**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm. Acesso em: 18 de setembro de 2016

⁴⁵ IBGE, **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=311340&search=minas-gerais|caratinga|infograficos:-informacoes-completas>. Acesso em: 18 de setembro de 2016

Figura 11: Região de Caratinga



Fonte: Adaptado de IBGE (2016)

3.3 SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO CARATINGA/MG

Na região de Caratinga/MG, por vários anos os esgotos eram lançados nos cursos d'água, no entanto, essa atitude acarretou o surgimento de várias doenças através dos canais hídricos, e da presença de transmissores como: as baratas, ratos e outras espécies de animais peçonhentos, fortes odores desagradáveis, sobre tudo o estímulo à disposição inadequada de resíduos sólidos nos cursos d'água.

A região conta com interceptores que foram instalados nos córregos São João, Sales e Santa Cruz, que se situam na área urbana de Caratinga. A obra teve como objetivo de interligar o esgoto ao centro da cidade, onde o mesmo seguirá até as elevatórias de esgoto bruto e assim chegando a ETE. Com isso foi possível melhorar o sistema de tratamento de esgoto da cidade e com a inserção dessa estação na cidade, estima-se uma melhoria nos hábitos e atitudes de toda a comunidade.

4 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO

Segundo os autores HOFFMANN, GARCIA, MAYER (2015), ETE pode ser vista como um conjunto que possui a capacidade de tratar as águas residuais advindas do uso doméstico ou industriais, que após passar por um tratamento físico, químico ou biológico possam retornar aos cursos d'água.

4.1 FUNCIONAMENTO

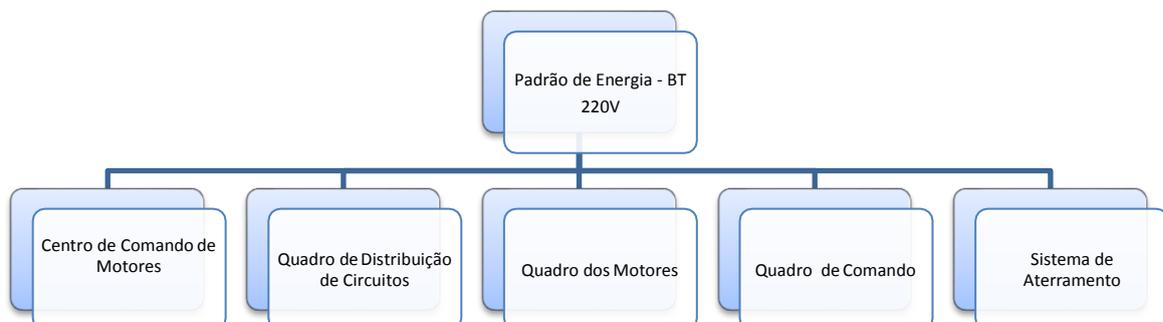
Para que o esgoto na região de Caratinga seja tratado, o mesmo passa por um longo processo até o seu destino final, que é o retorno da água tratada para o Rio Caratinga. Sendo que na fase inicial, o esgoto é coletado no centro da cidade através de dutos que se conduzem até as estações elevatórias.

- **ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS DE ESGOTO BRUTO**

Estas estações servem para que o esgoto chegue até a estação de tratamento de esgoto. O maior custo da ETE está nas estações elevatórias, ou seja, quanto menos elevatórias fizer, melhor. Em Caratinga, possui três estações elevatórias, uma localizada na saída da Avenida Dário Grossi, uma em frente o Ceasa e a outra em frente à ETE. Em especial a elevatória final terá uma subestação devido trabalhar com cargas mais potentes que as demais, sendo 2 motores de 90CV. Cada uma delas possui o seu sistema elétrico separado, como mostra as figuras a seguir:

- **Elevatório de Esgoto Bruto 01 e 02**

Figura 12: EEB-01 e 02



Fonte: Dados da pesquisa

- **Suprimento de Energia**

O suprimento de energia para deverá ser a partir de um padrão de energia em baixa Tensão em 220 volts tipo C8, cujas cargas principais são: três motores de 30 CV, sendo um de reserva.

- **Centro de Comando dos Motores**

Recebe a alimentação vinda do padrão, onde o mesmo alimentará este com:

- ✓ Circuitos trifásicos para alimentação dos 3 quadros de comando dos motores (QM's);
- ✓ 1 circuito trifásico para alimentação da distribuição de circuitos.

- **Quadro de Distribuição dos Circuitos**

O compartimento de distribuição de circuitos alimentará:

- ✓ 1 circuito trifásico para alimentação das tomadas trifásicas da sala elétrica;
- ✓ 1 circuito bifásico para alimentação da tomada bifásica da sala elétrica;
- ✓ 1 circuito monofásico para alimentação das tomadas monofásicas da sala elétrica;
- ✓ 1 circuito bifásico para alimentação da iluminação externa;
- ✓ 1 circuito monofásico para alimentação da iluminação interna;
- ✓ 1 circuito bifásico para alimentação do chuveiro existente no banheiro anexo ao depósito de ferramentas;
- ✓ 1 circuito bifásico para alimentação do QC (interno ao CCM).

- **Quadro dos Motores**

O quadro será constituído com os seguintes equipamentos.

- | | |
|--|--|
| ✓ 1- Seccionadora sob carga | ✓ 1- Chave fim de curso |
| ✓ 3- Fusíveis DIAZED | ✓ 1- Lâmpada fluorescente, 16W |
| ✓ 1-Horâmetro | ✓ 1- Exaustor de painel |
| ✓ 1- Conjunto sinaleiro | ✓ 1- Disjuntor bipolar In=6 ^a |
| ✓ 1- Disjuntor bipolar de 6 ^a | ✓ 3- Contatores auxiliares c/ 2NA + 2NF, 220V |
| ✓ 1- Voltímetro 0-300V | ✓ 1- Contator auxiliar c/ 2NA + 2NF, 127V |
| ✓ 1- Inversor de frequência | ✓ 1-Chave comutadora para voltímetro, 3 posições |

- | | |
|-------------------------------|--|
| ✓ 1- Contator tripolar | ✓ 1-Chave comutadora de amperímetro |
| ✓ 1- Amperímetro | ✓ 2- Conjuntos fusíveis tipo DIAZED, completo de 2ª |
| ✓ 1-Transformador de corrente | ✓ 3- Dispositivos de proteção contra surtos com 3 fusíveis |
| ✓ 3- Fusíveis ultra rápidos | ✓ 1- Relé de tempo eletrônico ao repouso ajuste 0-30s com bobina para 220V |

- **Proteção**

A proteção de sucção contra funcionamento a vazia e a automatização dos motores vem do CLP, mas se este não estiver funcionando, o sistema irá operar sem esta proteção, sendo necessário um operador responsável por garantir a operação adequada.

A proteção de sucção dos conjuntos motobombas da Elevatória será feita por meio de um sensor de nível ultrassônico instalado no poço de sucção da elevatória de esgoto

A proteção séptica supracitada atuará no sentido de forçar o conjunto motobomba selecionado a funcionar caso os dois motores estejam desligados, caso a proteção de nível mínimo não esteja ativada.

- **Quadro de Comando**

Cada quadro de comando dos motores da elevatória possui um sistema de controle de velocidade através de um inversor de frequência e conterà os componentes dos circuitos de força para operação dos motores.

No quadro de cargas são levados três contatos de cada QM, sendo CL o contato auxiliar do contator de linha do motor, usado para confirmar que o motor está ligado. O XF é o contato de falha do inversor de frequência, que habilita o funcionamento do motor e o XT é o contato térmico do inversor de frequência, que protege o motor de sobrecargas.

O sistema pode funcionar no modo manual ou automático, selecionado pela chave seletora CS1. No modo manual, os conjuntos moto bomba que serão acionados são selecionados pela chave CS2.

- **Sistema de Aterramento**

Composto de 3 hastes de aterramento interligadas por um condutor de cobre nu de 50mm², interligado ao Quadro de Equalização de Potencial (QEP) no interior da Elevatória, bem como ao Sistema de Aterramento do Padrão.

- **Sistema de Automação**

Um sensor de nível servirá para ligar a primeira dupla de conjunto motobomba que estiver apto para funcionamento quando o nível do poço de sucção atingir a cota 1 do referido poço conforme indicado no desenho, e a medida que o nível do poço de sucção vai subindo, ao atingir a cota 2, o segundo conjunto motobomba apto a operar será acionado, nesta condição estarão funcionando dois conjunto motobombas em paralelo. O sensor servirá também para desligar os conjuntos motobombas quando os seus respectivos níveis de operação estiverem abaixo de suas cotas pré-estabelecidas conforme indicadas no projeto básico.

O nível mínimo, ou seja, o “nível de desliga” é para proteção contra funcionamento a vazio do conjunto motobomba. O sensor de nível ao mensurar este referido nível, via CLP os conjuntos motobomba estarão impedidos de operarem.

O sensor de nível ao detectar o nível máximo, ou seja, o nível de extravasamento via CLP, será acionado o alarme presente no quadro de comando.

Se por qualquer motivo o nível de esgoto não vier atingir a cota para ligação automática após 30 minutos, o conjunto motobomba selecionado, entrará em operação pela atuação da proteção séptica, via CLP.

Para que o motor esteja apto para ligar, três condições devem ser satisfeitas. São elas:

- Não haver sobrecarga;
- Perfeito funcionamento do inversor de frequência;
- O motor não estar em manutenção.

Se a qualquer momento uma ou mais condições falharem, o motor é desligado imediatamente e o próximo motor do ciclo passa a ser acionado.

A Sequencia dos Motores tem como objetivo determinar qual o próximo motor a ser acionado dando a partida em um deles. Quando o CLP é ligado pela primeira vez inicia-se o ciclo pelo Motor 1 (M1).

Assim que este é ligado, o próximo passa a ser o Motor 2 (M2) e depois o M3, reiniciando novamente o ciclo em M1. Se algum dos motores está inabilitado, o próximo passa a ser o motor seguinte.

Para que o comando dos motores aconteça, um determinado motor será acionado automaticamente, se, e somente se:

- Estiver habilitado;
- A automatização mandar ligar o motor;
- A chave seletora CS1 estiver no modo automático;
- A proteção de sucção permitir o acionamento.

Caso qualquer uma dessas condições não aconteça o motor não entrará em operação.

- **Cabos utilizados**

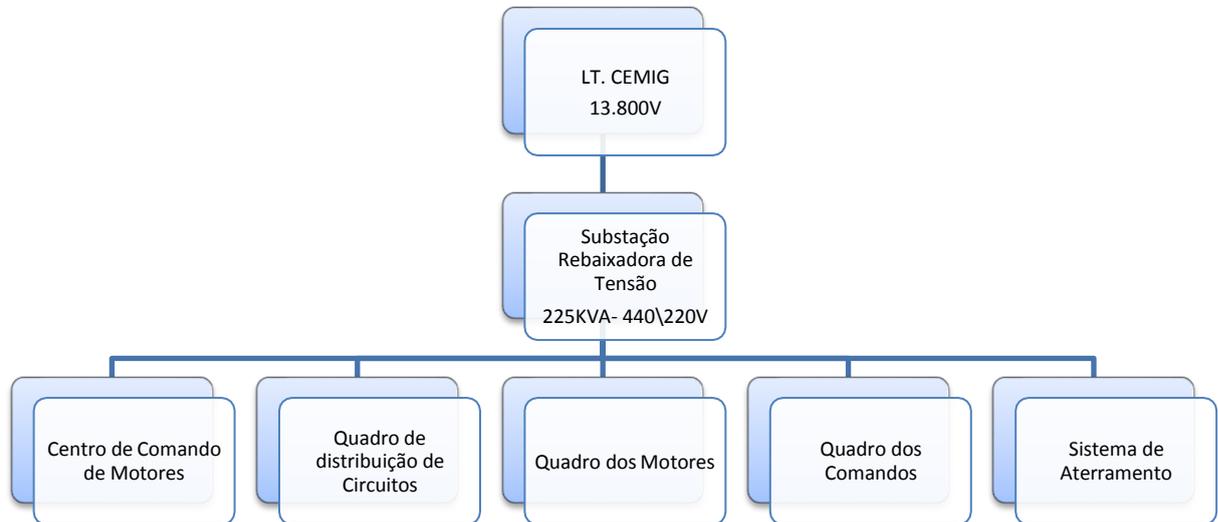
A alimentação do CCM a partir do disjuntor de 200 A do Padrão terá no interior de um eletroduto com seção de 85 mm, 1 cabo de seção 120 mm² /fase, 1 cabos de seção 120 mm² para o neutro e 1 cabos de seção # 70 mm² (nu) para o cabo terra, numa distância de 10 metros.

- **Norma Utilizada**

Os condutores de alimentação da EEB-02, foram dimensionados para a carga interna da unidade e, em obediência à norma NBR 5410, as fases e neutro terão a mesma seção.

- **Elevatório de Esgoto Bruto Final**

Figura 13: EEBF



Fonte: Dados da pesquisa

- **Suprimento de Energia**

O suprimento de energia para a EFI deverá ser a partir de uma extensão da Linha de Distribuição Trifásica da CEMIG em 13.800 volts que alimentará uma subestação rebaixadora de Tensão de 225 KVA – 440/220 V. cujas cargas principais são: três motores de 90 CV, sendo um de reserva.

- **Centro de Comando dos Motores**

Recebe a alimentação vinda da subestação, onde o mesmo alimentará;

- ✓ Circuitos trifásicos para alimentação dos 3 quadros de comando dos motores (QM's) da EFI;
- ✓ 1 circuito trifásico para alimentação da distribuição de circuitos da EFI, através de um transformador auxiliar de 15 kVA

- **.Quadro de Distribuição dos Circuitos**

O compartimento de distribuição de circuitos alimentará:

- ✓ 1 circuito trifásico para alimentação das tomadas trifásicas da sala elétrica da EFI;
- ✓ 1 circuito bifásico para alimentação da tomada bifásica da Sala Elétrica da EFI;

- ✓ 1 circuito monofásico para alimentação das tomadas monofásicas da Sala Elétrica da EFI;
- ✓ 1 circuito bifásico para alimentação da iluminação externa da EFI;
- ✓ 1 circuito monofásico para alimentação da iluminação interna da EFI;
- ✓ 1 circuito bifásico para alimentação do chuveiro existente no banheiro anexo ao depósito de ferramentas na EFI;
- ✓ 1 circuito bifásico para alimentação do QC da EFI (interno ao CCM).

- **Quadro dos Motores**

Essa elevatória contará com o os mesmo equipamentos citados no quadro acima.

- **Proteção**

A proteção do circuito de motores será a mesma utilizada na EEB 01 e 02

- **Quadro de Comando**

O principio de funcionamento do quadro de comando, será o mesmo da EEB 01 e 02.

- **Sistema de Aterramento**

Foi previsto um sistema de aterramento para a EFI composto de 3 hastes de aterramento interligadas por um condutor de cobre nu de 50mm², interligado ao quadro de equalização de potencial (QEP) no interior da elevatória, bem como ao sistema de aterramento da subestação.

- **Sistema de Automação**

Esse sistema será idêntico ao utilizado na EEB 01e 02

- **Cabos utilizados**

A alimentação do CCM a partir do disjuntor de 300 A da Subestação terá no interior de um eletroduto com seção de 110 mm, 1 cabo de seção 240 mm² /fase, 1 cabos de seção 240 mm² para o neutro e 1 cabos de seção # 120 mm² (nu) para o cabo terra, numa distância de 50 metros.

- **Normas utilizadas**

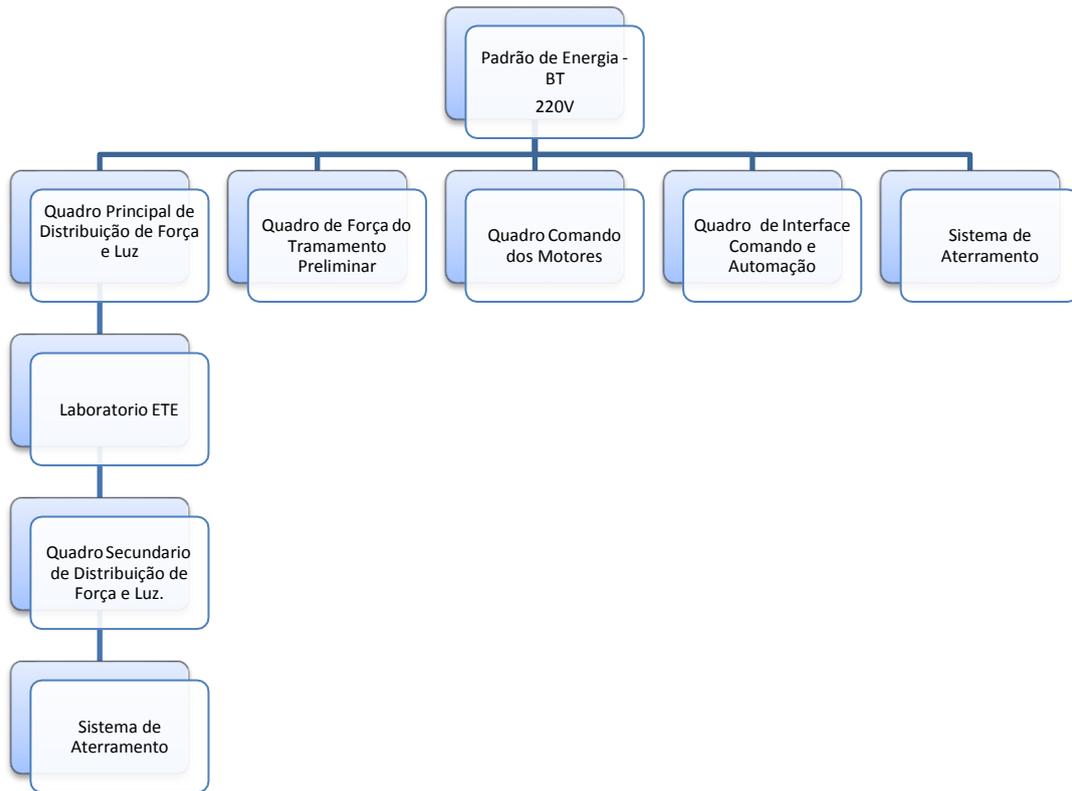
Os condutores de alimentação deste CCM foram dimensionados para a carga interna da unidade e, em obediência à norma NBR 5410, as fases e neutro terão a mesma seção.

Depois de o esgoto passar pelas elevatórias de esgoto bruto, o mesmo tem como objetivo de chegar a ETE, onde começará o seu tratamento para a o seu

destino final que é o Rio Caratinga. A ETE também possui o seu sistema elétrico separado dos demais, a seguir será explicado através da figura e as características da mesma e o seu processo do tratamento do esgoto.

- **Elevatório de Recirculação e Laboratório**

Figura 14: ER e Laboratório



Fonte: Dados da pesquisa

- **Suprimento de Energia**

O suprimento de energia para o QP da ETE deverá ser a partir de um padrão de energia em baixa tensão em 220 volts tipo C8, cujas cargas principais são dois motores de 23 CV, sendo um de reserva.

- **Quadro Principal de distribuição de Força e Luz**

Alimentará:

- ✓ Circuitos trifásicos para alimentação do quadro de comando dos motores (QM's) da ERC da ETE;
- ✓ 1 circuito trifásico para alimentação do quadro do laboratório;
- ✓ 1 circuito trifásico para alimentação da tomada trifásica da Sala Elétrica da ERC da ETE;

- ✓ 1 circuito bifásico para alimentação da tomada bifásica da Sala Elétrica da ERC da ETE;
- ✓ 1 circuito monofásico para alimentação da tomada monofásica da Sala Elétrica da ERC da ETE;
- ✓ 1 circuito bifásico para alimentação da iluminação externa área da ETE;
- ✓ 1 circuito monofásico para alimentação da iluminação interna da Sala Elétrica da ERC da ETE;
- ✓ 1 circuito bifásico para alimentação do QFTP da ETE;
- ✓ 1 circuito bifásico para alimentação do QC da ERC da ETE.

- **Quadro de Força do Tratamento Preliminar**

Alimentará:

- ✓ 1 circuito bifásico para alimentação do queimador de gás;
- ✓ 1 circuito trifásico para alimentação da tomada trifásica de 2000w;
- ✓ 1 circuito bifásico para alimentação da tomada bifásica de 2000w;
- ✓ 1 circuito monofásico para alimentação da tomada monofásica de 2000w;
- ✓ 1 circuito trifásico para alimentação da rosca transportadora 1;
- ✓ 1 circuito trifásico para alimentação da grade mecanizada;
- ✓ 1 circuito trifásico para alimentação do transportador de correia.

- **Quadro de Comando dos Motores**

Esse quadro tem o mesmo funcionamento da EEB01, 02 e EEBF.

- **Sistema de Automação**

Esse sistema também possui o funcionamento igual da EEB 01, 02 e EEBF.

- **Aterramento**

Foi previsto um Sistema de Aterramento para a ERC da ETE composto de 3 hastes de aterramento interligadas por um condutor de cobre nu de 50mm², interligado ao Quadro de Equalização de Potencial (QEP) no interior da ERC da ETE, bem como ao Sistema de Aterramento do Padrão de Energia.

- **: Cabos Utilizados**

A seção dos cabos que saem do disjuntor de 50 A do QP da ETE para alimentar o QFTP localizado no cômodo denominado Sala Elétrica da ERC será de 16 mm² para as 3 fases, 1 condutor de 16 mm² para o neutro (isolação de 1 KV) e 1 cabo terra de # 16 mm².

- **Normas**

Os condutores de alimentação deste QP foram dimensionados para a carga da unidade e, em obediência à norma NBR 5410 as fases e neutro terão a mesma seção.

- **LABORATÓRIO DA ETE**

- **Suprimento de Energia**

O suprimento de energia para o laboratório da ETE deverá ser a partir do QP - 220 volts, localizado na elevatória de recirculação da ETE (ERC da ETE).

- **Quadro de Distribuição**

Alimentará:

- ✓ 5 circuitos monofásicos para alimentação das tomadas monofásicas de uso geral (de 300W, 600W e 2000W) da sala do laboratório da ETE;
- ✓ 1 circuito bifásico para alimentação da iluminação externa do laboratório da ETE;
- ✓ Circuitos monofásicos para alimentação da iluminação interna do laboratório da ETE;
- ✓ 1 circuito bifásico para alimentação do chuveiro de 4400W no banheiro do Laboratório da ETE.

- **Sistema de Aterramento**

Foi previsto um sistema de Aterramento para o laboratório interligado com o quadro de equalização de potencial (QEP) no interior da sala elétrica da ERC. Foi previsto também um sistema de proteção contra descargas atmosféricas para o laboratório da ETE composto de pontas captoras (terminais aéreos) na cobertura da edificação, com cabo de descida, com 3 hastes de aterramento interligadas por um condutor de cobre nu de 50mm².

- **Cabos Usados**

A seção dos cabos que saem do disjuntor de 60 A do QP da ETE para alimentar o QD localizado na sala do laboratório será de 25 mm² para as 3 fases, de 25 mm² para o neutro (isolação de 1 KV) e cabo terra de # 16 mm².

- **Normas**

Os condutores de alimentação deste QD foram dimensionados para a carga da unidade elevatória, e de parte da iluminação externa que será ampliada em obediência à norma NBR 5410 as fases e neutro terão a mesma seção.

4.2 PROCESSO DE TRATAMENTO DO ESGOTO

O processo do tratamento de esgoto da região de Caratinga- MG, não necessita de energia elétrica para seu funcionamento já que todo o conjunto funciona através da gravidade.

Tratamento preliminar- É o início do tratamento do esgoto, onde são removidos esgotos sólidos grosseiros por meio das grades manuais e mecanizadas. Utilizam-se processos físicos, como gradeamento, peneiramento e a sedimentação. Existem alguns tratamentos preliminares que os materiais são separados de forma automatizada, mas não é o que acontece no caso da ETE de Caratinga. É composto por duas alas laterais e a regulagem é feita por comportas para liberar a vazão do esgoto, depois o mesmo segue para o reator.

Figura 15: Tratamento Preliminar



Fonte: Dados da Pesquisa

Reator- Onde serão eliminados os micro-organismos presentes no esgoto. Este trabalha em sistema anaeróbico e tem equipamentos que podem fazer a seleção para qual reator poderá mandar, sendo que o mesmo é constituído com quatro. Depois ele segue para um CDV (Caixa de distribuição de vazão), onde segue para o filtro.

Figura 16: Reator

Fonte: Dados da Pesquisa

Filtro- São compostos por brita, contendo uma haste em cima, que ao fazer o movimento rotativo espalha o material. Funciona na pressão hidráulica sendo que as bactérias já foram eliminadas e o esgoto estará mais limpo. E assim passará pelo CDV do decantador.

Figura 17: Filtro

Fonte: Dados da Pesquisa

Decantador- Funciona para fazer a raspagem do lodo, auxiliando na retirada a camada do mesmo que fica por cima. A seguir o lodo entra em um canal externo, que é uma calha, e vai para o leito de secagem. O esgoto já tratado vai ser devolvido para o córrego

Figura 18: Decantador



Fonte: Dados da Pesquisa

Leito de secagem- Sua primeira camada é composta por brita e areia grossa, permanecendo em um período de secagem, até poder ser levado ao aterro sanitário. Finalizando assim o processo do tratamento do esgoto.

Figura 19: Leito de secagem



Fonte: Dados da Pesquisa

4.3 POTÊNCIA INSTALADA

A tabela abaixo mostra a potência instalada na estação tratamento de esgoto de Caratinga –MG.

Tabela 4: Potência Instalada

PROJETO ELETRICO ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DE CARATINGA-MG				
Elevatório Esgoto Bruto-01				
Carga Instalada				
Descrição	Dem. em (KW)	Dem. em (KVA)	Pot.em (KW)	Pot. Em (KVA)
Motores	47,42	56,46	71,13	84,69
Iluminação/Tomadas/Chuveiro	8,12	12,45	9,96	10,15
Quadro de Comando	0,85	1	0,8	1
Demanda Total de todos acima	56,39	69,91	81,89	95,84
Elevatório Esgoto Bruto-02				
Carga Instalada				
Descrição	Dem. em (KW)	Dem. em (KVA)	Pot.em (KW)	Pot. Em (KVA)
Motores	47,42	56,46	71,13	84,69
Iluminação/Tomadas/Chuveiro	8,12	12,45	9,96	10,15
Quadro de Comando	0,85	1	0,8	1
Demanda Total de todos acima	56,39	69,91	81,89	95,84
Elevatório Final				
Carga Instalada				
Descrição	Dem. em (KW)	Dem. em (KVA)	Pot.em (KW)	Pot. Em (KVA)
Motores	139,86	216,14	209,78	246,81
Iluminação/Tomadas/Chuveiro	8,88	13,54	10,84	11,11
Quadro de Comando	0,85	1	0,8	1
Demanda Total de todos acima	149,59	230,68	221,42	258,92
Elevatório de Recirculação e Laboratório				
Carga Instalada				
Descrição	Dem. em (KW)	Dem. em (KVA)	Pot.em (KW)	Pot. Em (KVA)
Motores	18,38	21,62	36,75	43,24
Iluminação/Tomadas/Chuveiro	5,53	7,85	6,28	6,92
Quadro de Comando	0,85	1	0,8	1
Quadro de Força Tratam. Preliminar	13,49	15,56	12,48	16,86
Quadro do Laboratorio	18,98	20,03	16,02	23,72
Demanda Total de todos acima	57,23	66,06	72,33	91,74
Somatório das demandas totais				
Demanda em (KW)				Demanda em (KVA)
319,6				436,56

Fonte: Dados da Pesquisa

De acordo com a tabela acima foram utilizado os seguintes critérios

Na elevatória de Esgoto Bruto 01, 02 e elevatória final foram utilizadas as demandas, ou seja, a quantidade de motores que iram funcionar no processo do tratamento. Serão usados dois, onde um motor ficara de reserva, alem de serem lançadas as potencias totais dos três motores.

Na área da elevatória de recirculação e laboratório também utilizamos a demanda, onde será utilizado apenas um motor e o outro ficarão de reserva.

Sendo assim, nos demais itens de acordo com a descrição, foram utilizadas, potencias totais em KW, como é o caso do circuito de iluminação, tomada e chuveiro. E nos demais foram feitos os lançamentos das demandas. E por ultimo foram somadas todas as potencias totais.

4.4 CUSTOS DAS CARGAS

Como a ETE não entrou em funcionamento, não se sabe o quanto a mesma consome de energia elétrica mensalmente. Porém utilizando um cálculo é possível fazer uma estimativa de quanto ela poderá consumir assim que entrar em operação.

Também não se sabe ainda o tempo de operação da estação de tratamento de esgoto, então foi realizada a estimativa de três horários possíveis de funcionamento, que são: 8, 12 e 24 horas diárias.

As tarifas de energia dimensionadas foram de acordo com CEMIG (2016)⁴⁶, foram utilizados os valores das demais classes (bandeira vermelha)

As tabelas abaixo demonstram o custo em reais de cada carga instalada na ETE e seus respectivos tempos de funcionamento.

⁴⁶ CEMIG. **Valores de tarifas e serviços**. Disponível em: https://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Paginas/valores_de_tarifa_e_servicos.aspx. Acesso em 29 de novembro de 2016.

Tabela 5: Custos das Cargas 8h operação

TABELA DE CUSTOS						
Elevatório de Esgoto Bruto 01						
Descrição	Dem. em (KW)	Tempo	Dias/Mês	KW/h	R\$ Energia	A pagar R\$
Motores	47,42	8h	30	11380,8	0,57622	6557,8
Iluminação/Tomadas/Chuveiro	8,12	8h	30	1948,8	0,57622	1122,9
Quadro de Comando	0,85	8h	30	204	0,57622	117,5
Demanda Total de todos acima	56,39	8h	30	13533,6	0,57622	7798,2
Elevatório de Esgoto Bruto 02						
Descrição	Dem. em (KW)	Tempo	Dias/Mês	KW/h	R\$ energia	A pagar R\$
Motores	47,42	8h	30	11380,8	0,57622	6557,8
Iluminação/Tomadas/Chuveiro	8,12	8h	30	1948,8	0,57622	1122,9
Quadro de Comando	0,85	8h	30	204	0,57622	117,5
Demanda Total de todos acima	56,39	8h	30	13533,6	0,57622	7798,2
Elevatório Final						
Descrição	Dem. em (KW)	Tempo	Dias/Mês	KW/h	R\$ energia	A pagar R\$
Motores	139,86	8h	30	33566,4	0,57622	19341,6
Iluminação/Tomadas/Chuveiro	8,88	8h	30	2131,2	0,57622	1228
Quadro de Comando	0,85	8h	30	204	0,57622	117,5
Demanda Total de todos acima	149,59	8h	30	35901,6	0,57622	20687,1
Elevatório de Recirculação e Laboratório						
Descrição	Dem. em (KW)	Tempo	Dias/Mês	KW/h	R\$ energia	A pagar R\$
Motores	18,38	8h	30	4411,2	0,57622	2541,8
Iluminação/Tomadas/Chuveiro	5,53	8h	30	1327,2	0,57622	764,7
Quadro de Comando	0,85	8h	30	204	0,57622	117,5
Quadro de Força Tratam. Preliminar	13,49	8h	30	3237,6	0,57622	1865,5
Quadro do Laboratório	18,98	8h	30	4555,2	0,57622	2624,7
Demanda Total de todos acima	57,23	8h	30	13735,2	0,57622	7914,2
Somatório das demandas totais						
Demanda em (KW)			R\$ Total (A pagar)			
319,6			44197,7			

Fonte: Dados da Pesquisa

Tabela 6: Custo de cargas 12h de operação

TABELA DE CUSTOS						
Elevatório de Esgoto Bruto 01						
Descrição	Dem. Em (KW)	Tempo	Dias/Mês	KW/h	R\$ energia	A pagar R\$
Motores	47,42	12h	30	17071,2	0,57622	9836,7
Iluminação/Tomadas/Chuveiro	8,12	12h	30	2923,2	0,57622	1684,4
Quadro de Comando	0,85	12h	30	306	0,57622	176,3
Demanda Total de todos acima	56,39	12h	30	20300,4	0,57622	11697,4
Elevatório de Esgoto Bruto 02						
Descrição	Dem. Em (KW)	Tempo	Dias/Mês	KW/h	R\$ energia	A pagar R\$
Motores	47,42	12h	30	17071,2	0,57622	9836,7
Iluminação/Tomadas/Chuveiro	8,12	12h	30	2923,2	0,57622	1684,4
Quadro de Comando	0,85	12h	30	306	0,57622	176,3
Demanda Total de todos acima	56,39	12h	30	20300,4	0,57622	11697,4
Elevatório Final						
Descrição	Dem. Em (KW)	Tempo	Dias/Mês	KW/h	R\$ energia	A pagar R\$
Motores	139,86	12h	30	50349,6	0,57622	29012,4
Iluminação/Tomadas/Chuveiro	8,88	12h	30	3196,8	0,57622	1842
Quadro de Comando	0,85	12h	30	306	0,57622	176,3
Demanda Total de todos acima	149,59	12h	30	53852,4	0,57622	31030,7
Elevatório de Recirculação e Laboratório						
Descrição	Dem. Em (KW)	Tempo	Dias/Mês	KW/h	R\$ energia	A pagar R\$
Motores	18,38	12h	30	6616,8	0,57622	3812,7
Iluminação/Tomadas/Chuveiro	5,53	12h	30	1990,8	0,57622	1147,2
Quadro de Comando	0,85	12h	30	306	0,57622	176,3
Quadro de Força Tratam. Preliminar	13,49	12h	30	4856,4	0,57622	2798,3
Quadro do Laboratório	18,98	12h	30	6832,8	0,57622	3937,2
Demanda Total de todos acima	57,23	12h	30	20602,8	0,57622	11871,7
Somatório das demandas totais						
Demanda em (KW)			R\$ Total (A pagar)			
319,6			66297,2			

Fonte: Dados da Pesquisa

Tabela 7: Custos de cargas 24h de operação

TABELA DE CUSTOS						
Elevatório de Esgoto Bruto 01						
Descrição	Dem. em (KW)	Tempo	Dias/Mês	KW/h	R\$ energia	A pagar R\$
Motores	47,42	24h	30	34142,4	0,57622	19673,5
Iluminação/Tomadas/Chuveiro	8,12	24h	30	5846,4	0,57622	3368,8
Quadro de Comando	0,85	24h	30	612	0,57622	352,6
Demanda Total de todos acima	56,39	24h	30	40600,8	0,57622	23394,9
Elevatório de Esgoto Bruto 02						
Descrição	Dem. em (KW)	Tempo	Dias/Mês	KW/h	R\$ energia	A pagar R\$
Motores	47,42	24h	30	34142,4	0,57622	19673,5
Iluminação/Tomadas/Chuveiro	8,12	24h	30	5846,4	0,57622	3368,8
Quadro de Comando	0,85	24h	30	612	0,57622	352,6
Demanda Total de todos acima	56,39	24h	30	40600,8	0,57622	23394,9
Elevatório Final						
Descrição	Dem. em (KW)	Tempo	Dias/Mês	KW/h	R\$ energia	A pagar R\$
Motores	139,86	24h	30	100699,2	0,57622	58024,8
Iluminação/Tomadas/Chuveiro	8,88	24h	30	6393,6	0,57622	3684,1
Quadro de Comando	0,85	24h	30	612	0,57622	352,6
Demanda Total de todos acima	149,59	24h	30	107704,8	0,57622	62061,5
Elevatório de Recirculação e Laboratório						
Descrição	Dem. em (KW)	Tempo	Dias/Mês	KW/h	R\$ energia	A pagar R\$
Motores	18,38	24h	30	13233,6	0,57622	7625,4
Iluminação/Tomadas/Chuveiro	5,53	24h	30	3981,6	0,57622	2294,2
Quadro de Comando	0,85	24h	30	612	0,57622	352,6
Quadro de Força Tratam. Preliminar	13,49	24h	30	9712,8	0,57622	5596,7
Quadro do Laboratório	18,98	24h	30	13665,6	0,57622	7874,3
Demanda Total de todos acima	57,23	24h	30	41205,6	0,57622	23743,2
Somatório das demandas totais						
Demanda em (KW)			R\$ Total (A pagar)			
319,6			132594,5			

Fonte: Dados da Pesquisa

Vale ressaltar que para chegar ao resultado, foi utilizado o seguinte cálculo:

$$R\$ = (KW) \times (Tempo) \times (Dias/mês) \times (valor da energia).$$

5 PROJETO DE CONVERSÃO DO BIOGÁS PARA ENERGIA ELETRICA NA ETE

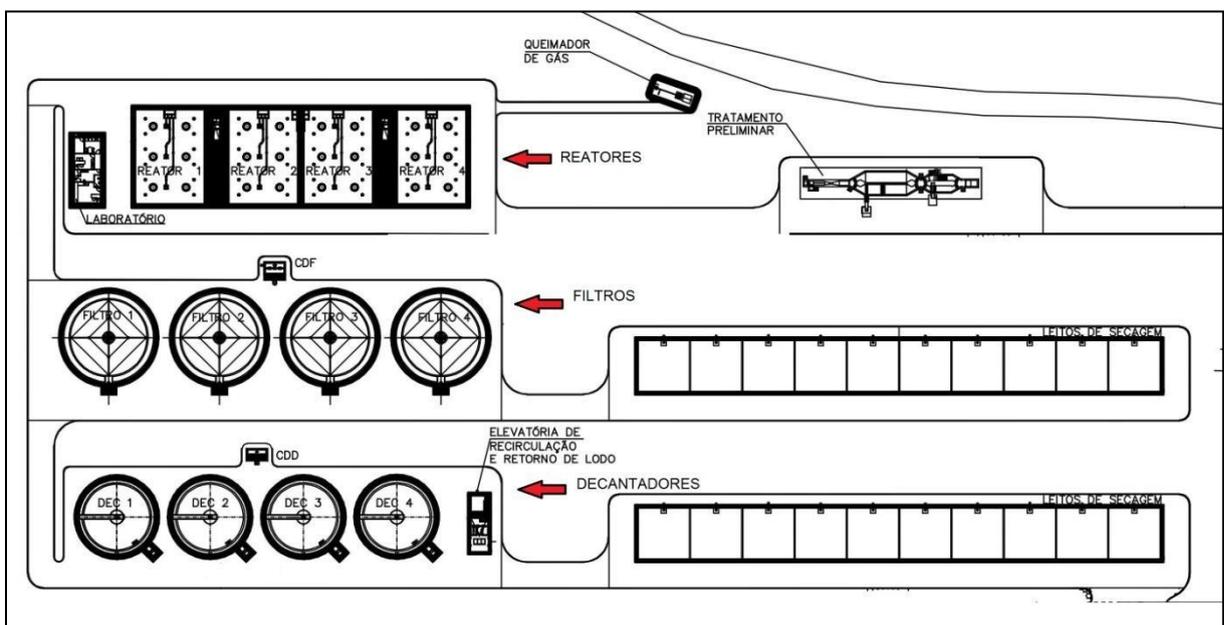
5.1 DADOS CARACTERÍSTICOS

O estudo será realizado para aproveitar o uso do biogás para a geração de energia elétrica. Serão realizados em uma ETE que será capaz de atender uma demanda de 91.342 mil habitantes.

Analisando os dados da companhia de saneamento básico da região, são consumidos por cada habitante 200 litros de água diariamente ou $0,2 \text{ m}^3$, sendo que 80% desta são convertidas em esgoto, decorrendo $0,17 \text{ m}^3$ diário para cada habitante. Diante disso a uma estimativa volumétrica de esgoto que será tratada por dia que são 14.615 m^3 dia. A vazão de esgoto é aproximadamente $0,17 \text{ m}^3/\text{s}$.

A ETE é composta por 4 filtros biológicos, 4 reatores tipos UASB e 4 decantadores, para atender toda a demanda, como demonstra a figura a seguir:

Figura 20: Planta baixa da estação de tratamento de esgoto de Caratinga



Fonte: Copasa-MG

5.2 CÁLCULO DA PRODUÇÃO MÉDIA DE BIOGÁS

Segundo MELO (2007) a taxa média de geração de biogás comparando em estações de tratamento de esgoto é de $0,17 \text{ m}^3$ de biogás por m^3 de esgoto tratado,

com isso $t_{x\text{bg}} = 0,17$. Conhecendo a vazão volumétrica de esgoto tratado em m^3 é possível calcular a média de biogás produzido.

Onde:

Q_{bg} – Produção média de biogás (m^3)

Q_{ae} – Vazão volumétrica de esgoto tratado (m^3)

T_{xbg} – Média de geração de biogás (m^3)

Segundo DELAZARE (2004)⁴⁷, sabendo a quantidade de esgoto tratada por dia e a taxa média de geração de biogás, pode se resultar a quantidade de biogás produzido em um dia. Como demonstra a equação a seguir.

$$Q_{bg} = Q_{ae} \cdot T_{x\text{bg}}$$

5.2.1 CÁLCULO DA ENERGIA TÉRMICA DISPONÍVEL NO BIOGÁS NO REATOR UASB

Vale ressaltar que é necessário calcular a energia térmica disponível no biogás gerado no reator UASB. DELAZARE (2004)⁴⁸ explica que para realizar esse cálculo é necessário que a composição do biogás esteja purificado, como indica na tabela 1, pelo metano a ser utilizado em conversão de energia elétrica. A energia que é gerada pelo biogás no reator UASB, resulta, na energia produzida pelo gás metano. Para realizar esse cálculo é necessário utilizar vazão do biogás, multiplicando com o teor de metano, que é o mesmo depois de purificado e o seu poder calorífico inferior.

De acordo com a figura 1, a composição de metano no biogás derivada da digestão anaeróbia de lodo que fica entre 60 e 70 %, isso resulta em um poder calorífico inferior (PCI) por volta de 5.500 kcal/m^3 . O teor do biogás gerado e purificado está descrito na tabela 1. Conforme a equação a seguir:

$$E_t = Q_{\text{biogás}} \cdot t_{\text{ch}_4} \cdot \text{PCI}_{\text{ch}_4}$$

⁴⁷ DELAZARE, T. *Desnitrificação de esgoto Sanitário tratado a nível secundário através de biofiltros submersos utilizando comparativamente Metanol e Metano como fonte de Carbono*. 2004. 174 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2004

⁴⁸ Idem

Onde:

Qbiogás – Produção média de biogás

tch4 – Teor de metano na composição do biogás purificado

PCIch4 – Poder calorífico inferior do metano (kcal/m³)

Et - Energia térmica disponível no biogás (kcal/dia)

5.2.2 CÁLCULO DA ENERGIA ELÉTRICA DISPONÍVEL NO BIOGÁS

Após realizar todos os cálculos, é possível calcular a energia elétrica que o biogás pode gerar, mas vale destacar, que vai depender da eficiência da tecnologia que faz a conversão de biogás para energia elétrica e o gerador utilizado. Sendo que as eficiências dessas máquinas (turbinas a gás, microturbinas e motor de combustão interna) estão bem próximas com um valor médio de 30%. Uma vez que a média do rendimento de um gerador é 88% e os geradores apropriados para este tipo de geração variam entre 86% a 90%. Conforme a tabela abaixo:

Tabela 8: Rendimento elétrico dos geradores

Tecnologia de Conversão	Potência Instalada (kW)	Rendimento Elétrico (%)	Emissões de NO _x (ppm)
Motores a Gás (Ciclo Otto)	30 – 20.000	30 – 40	250 – 3.000
Motores a Diesel (Biogás + Diesel)	30 – 20.000	30 – 35	27
Turbinas a Gás (Médio Porte)	500 – 150.000	20 – 30	35 – 50
Micro-turbinas a Gás (Pequeno Porte)	30 – 100	24 – 28	< 9

Fonte: Adaptado de CENBIO (2004)

Antes disso deve-se calcular a potência elétrica do biogás que igual a KW. De acordo com a equação seguinte:

$$PE_{\text{biogás}} = (Et) \cdot (4,1848) \cdot (ntec) \cdot (n\text{gerador}) / 86400$$

Onde:

PEbiogás - Potência elétrica do biogás (kW);

4,1848 - Fator de conversão de “kcal” para “kJ”;

Ntec - Eficiência da tecnologia de conversão (turbina, microturbina ou motor de combustão interna);

Ngerador - Rendimento do gerador;

86.400 - Fator de conversão de dias para segundos.

Após o potencial elétrico ser encontrado, calcula-se a elétrica gerada a partir da tecnologia de conversão.

$$Ee = PE_{biogás} \cdot T_{operação}$$

Onde:

Ee - Energia elétrica gerada (kWh/dia);

PEbiogás – Potência Elétrica do biogás (KW);

T - Tempo de operação do motor (h/dia).

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para se ter uma ideia de quanto a ETE de Caratinga - MG pode gerar com o biogás é necessário saber o tempo de funcionamento. Os resultados a seguir foram realizados durante um período de 24 horas diárias.

6.1 CÁLCULO DA MÉDIA DE BIOGÁS

Assim para chegar a conclusão de quanto é gerado de energia elétrica através do biogás, é fundamental calcular a produção média de biogás por m³ dia.

Considerando que a ETE terá seu funcionamento de 24h, obteremos.

$$Q_{bg} = Q_{ae} \cdot T_{xbg}$$

$$Q_{bg} = 14.615 \cdot 0,17$$

$$Q_{bg} = 2.4845 \text{ m}^3/\text{dia}$$

6.2 CÁLCULO DA ENERGIA TÉRMICA DISPONÍVEL NO BIOGÁS

Para calcular a energia térmica do biogás é necessária sua produção média por m³ dia, conforme calculado anteriormente. A composição de metano no biogás derivada da digestão anaeróbia de lodo fica entre 60 e 70 %. Isso resulta em um poder calorífico inferior (PCI) por volta de 5.500 kcal/m³. E o seu teor de Ch₄ 80,80% que é a porcentagem de metano já purificado. Considerando seu funcionamento em 24h, obteremos:

$$E_t = (Q_{biogás} \cdot t_{ch4}) \cdot PCI_{ch4}$$

$$E_t = 2484,55 \text{ m}^3 \text{ dia} \cdot 0,808 \cdot 5500 \text{ kcal/m}^3.$$

$$E_t = 11041340,2 \text{ kcal/dia}$$

6.3 CONVERSÃO PARA GERAR ENERGIA ELÉTRICA

Considerando o rendimento das turbinas a gás, microturbinas e motor de combustão interna, com rendimento de 30%. Sabendo que a média do rendimento de um gerador é 88% e os geradores apropriados para este tipo de

geração variam entre 86% a 90%, obteremos o valor do potencial elétrico do biogás e em seguida o quanto de energia é gerado em 24h.

$$PE_{\text{biogás}} = (E_t) \cdot (4,1848) \cdot (n_{\text{tec}}) \cdot (n_{\text{gerador}}) / 86400$$

$$PE_{\text{biogás}} = (11041340,2 \text{ kcal/dia}) \cdot (4,184) \cdot (0,3) \cdot (0,88) / 86400$$

$$PE_{\text{biogás}} = 141,22 \text{ KW}$$

Diante disso é só multiplicar os resultados acima, obteremos o kWh gerado, em 24 horas. Logo em seguida, multiplicamos pelo dia mês e pelo valor da energia, assim obteremos o valor da energia em reais.

$$E_e = PE_{\text{biogás}} \cdot T_{\text{operação}}$$

$$E_e = 141,22 \cdot 24 \text{ h}$$

$$E_e = 3389,28 \text{ KWh} \times 30 \times 0,57622 = \text{R\$ } 58.589,00$$

7 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo principal analisar a viabilidade energética produzida no reator UASB na Estação de Tratamento de Esgoto de Caratinga– MG. Para se alcançar resultados buscou-se como objetivo específico, comparar os gastos de energia elétrica da ETE com o que pode ser gerado através dos reatores.

De acordo com dados levantados através de cálculos, foi constatado que caso a Estação de Tratamento de Esgoto esteja em funcionamento durante um período de 24 horas diárias, seu gasto com uma Companhia de Energia Elétrica, que nesse caso é a CEMIG, seria um total de R\$ 132.594,00.

Utilizando o raciocínio DELAZARE(2004) e seus cálculos, foi possível observar que a ETE possui uma capacidade de gerar R\$ 58.000,00 em energia elétrica. Onde este total gerado poderia ser aplicado na elevatória de esgoto bruto final, já que ela conta com cargas mais potentes, tendo assim um custo de energia elétrico mais elevado. E o restante seria aplicado as elevatórias de esgoto bruto 01 e 02, sendo que elas possui o segundo maior custo. Salientando que embora tenha sido usada apenas uma estimativa de 24 horas, é possível afirmar que isso gerara vantagens para a ETE, pois o preço cobrado nesse período é o de custo maior.

Comparando os dois valores acima citados, conclui-se que embora o total gerado através dos reatores não seja o suficiente para cobrir toda a necessidade da ETE, ainda assim se torna uma alternativa vantajosa, considerando que o total gerado representa 57% do total gastos com a companhia.

Acredita-se que os investimentos para a geração de energia através do biogás em todo país precisam ser aumentados. Ainda assim, espera-se que esse trabalho possa servir de base para novas pesquisas.

8 TRABALHOS FUTUROS

Como possíveis trabalhos futuros, pode se apontar:

- Fazer uma análise da viabilidade econômica da implantação de equipamentos que faz a geração do potencial do biogás para energia elétrica;
- Quais equipamentos que são necessários para o funcionamento adequado deste sistema;
- Mostrar como seria a interligação destes equipamentos com os sistema da Companhia de Energia Elétrica (CEMIG).

9 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Guia do cogedor de energia elétrica**. Brasília: Distrito Federal, 1998. (Série Estudos e Informações Hidrológicas e Energéticas, 5). CD ROM.

ANEEL. **BIG- Banco de Informações de Geração**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>. Acesso em: 18 de abril de 2016.

ANEEL. **Fontes Renováveis- Parte II**. Disponível em: <http://biomassaworld.com.br/wp-content/uploads/2016/04/atlas.pdf>. Acesso em: 21 de novembro de 2016

BUSATO, R. **Desempenho de um filtro anaeróbio de fluxo ascendente como tratamento de efluente de reator UASB - Estudo de caso da ETE de Imbituva**. 2004. 214 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

DELAZARE, T. **Desnitrificação de esgoto Sanitário tratado a nível secundário através de biofiltros submersos utilizando comparativamente Metanol e Metano como fonte de Carbono**. 2004.174 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2004

CARNEIRO, Mauricio. **A Usina Hidrelétrica de Belo Monte e suas implicações quanto aos Direitos Fundamentais da população que vive em torno do projeto**. Disponível em: <https://mauriciocarneiro.jusbrasil.com.br/artigos/113959939/a-usina-hidreletrica-de-belo-monte-e-suas-implicacoes-quanto-aos-direitos-fundamentais-da-populacao-que-vive-em-torno-do-projeto>. Acesso em: 21 de novembro de 2016.

CAVALCANTI, Clovis. **Desenvolvimento e Natureza: Estudos Para uma Sociedade Sustentável**. INPSO-FUNDAJ, Instituto de Pesquisa Social, Fundação Joaquim Nabuco, Ministério de Educação, Governo Federal, Recife, Brasil, Outubro de 1994.

CENBIO. **Nota Técnica VII – Geração de Energia a partir do biogás gerado por resíduos urbanos**, São Paulo, 2001.

COLLARES PEREIRA, M. **Energias Renováveis, a Opção Inadiável**. Lisboa: Sociedade Portuguesa de Energia Solar - SPES, 1998. 256 p.

JUNIOR, Antonio Tavares de França. **Análise do Aproveitamento Energético do Biogás Produzido numa Estação de Tratamento de Esgoto**. Disponível em: <http://www.feis.unesp.br/Homedepartamentos/engenhariamecanica/nuplen/analise-do-aproveitamento-energetico-do-biogas-produzido-numa-estacao-de-tratamento-de-esgoto.pdf> . Acesso em 24 de julho de 2016

DAVID, A.C. **Secagem Térmica de Lodos de Esgoto**. 2002. 151 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

Diretrizes Nacionais Para O Saneamento Básico. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm. Acesso em: 18 de setembro de 2016

FILHO, G.L.; FERREIRA, E.F. **Agroenergia: Fundamentos Sobre Uso da Energia no Meio Rural**. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4, 2004, Campinas. **Anais...** Campinas: Unicamp, 2004

IBGE, **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=311340&search=minas-gerais|caratinga|infograficos:-informacoes-completas>. Acesso em: 18 de setembro de 2016

LAUTMAN, L. **Reliability of natural gas cogeneration systems**. New York: Gas Research Institute, 1993. 186 p.55

LIMA, F.P. **Energia no tratamento de esgotos: Análise Tecnológica e Institucional para a Conservação de Energia e o Uso do Biogás**. 2005. 139 f.

Dissertação (Mestrado) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005

NAIME, Roberto. **Sobre o impacto das Usinas Termelétricas**. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2014/11/13/sobre-os-impactos-de-usinas-termeletricas-artigo-de-roberto-naime/>. Acesso em: 21 de novembro de 2016.

NETO, Manuel Rangel Borges; CARVALHO, Cesar Marques de. **Geração de Energia Elétrica Fundamentos**. 1.ed. São Paulo: Erica, 2012.

OMS- **Organização Mundial de Saúde**. Disponível em: <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/Apostila%20IT%20179/Cap%201.pdf> Acesso em: 18 de setembro de 2016 e 11.445/2007-

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

RAMOS, Filipe G; SEIDER, Nelson. **Estudos de Energia Eólica Para Aproveitamento em pequenos empreendimentos**. Rev. El. De. Extensão da URI, Out-2012.

REIS, Lineu Bélico dos; SILVEIRA, Semilda, et al. **Energia Elétrica para o desenvolvimento Sustentável: Introdução de uma visão multidisciplinar**- Lineu Bélico dos Reis, Semilda Silveira (orgs). Ed.1 reimpressão- São Paulo: Editora da universidade de São Paulo; 2012.

REIS, Lineu Bélico dos. **Geração de Energia Elétrica-2**. Ed.rev. e atual- Barueri-SP: Manole,2011.

SILVA, Claudio Homero Ferreira da. **Alternativas Energéticas: Uma Visão Cemig**. Belo Horizonte 2012.

SILVA, Thamires Olimpia. ***Principais riscos da geração de energia nuclear para o meio ambiente***. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/geografia/principais-riscos-geracao-energia-nuclear-para-meio-ambiente.htm>>. Acesso em 21 de novembro de 2016.

VILLALVA, Marcelo Gradella; GAZOLI, Jonas Rafael. ***Energia Solar Fotovoltaica: conceitos e aplicações***. 1.ed. São Paulo: Érica 2012.