

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**JÉSSICA ALVES DE FARIA
LARISSA LIMA DOS SANTOS
PAULO VITOR LIMA DOS SANTOS DE SOUZA**

GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE MICROALGAS

**VOLTA REDONDA
2021**

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE MICROALGAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Elétrica do UniFOA, como requisito à obtenção do título de Engenheiros Eletricistas.

Discentes:

Jéssica Alves de Faria

Larissa Lima dos Santos

Paulo Vitor Lima dos Santos Souza

Orientador:

Prof. Me. Edson de Paula Carvalho

Coorientadores:

Dr. Roberto Guião de Souza Lima Junior

Dra. Ana Carolina Callegario Pereira

**VOLTA REDONDA
2021**

FOLHA DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso intitulado:
GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE MICROALGAS

Elaborado por: Jéssica Alves de Faria, Larissa Lima dos Santos, Paulo Vitor Lima dos Santos de Souza, apresentado publicamente perante a Banca Avaliadora, como parte dos requisitos para conclusão do Curso de Engenharia Elétrica.

Aprovada em 19 de novembro de 2021

Banca Avaliadora:

Professor Orientador

Edson de Paula Carvalho, Mestre, Centro Universitário de Volta Redonda

Professor Avaliador

Francisco Roberto Silva de Abreu, Mestre, Centro Universitário de Volta Redonda

Professor Avaliador

Cláudio Márcio de Freitas da Silva, Mestre, Centro Universitário de Volta Redonda

“Não fique triste quando ninguém notar o que fez de bom, afinal, o sol faz um enorme espetáculo ao nascer, e mesmo assim, a maioria de nós continua dormindo.”

(Charles Chaplin)

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus por nos dar a oportunidade de chegarmos até aqui, e concluirmos o curso. Estendemos os nossos agradecimentos à nossa família pelo apoio, compreensão e disponibilidade em todos os momentos difíceis e alegres de nossa jornada. Aos professores e a instituição UniFOA por nos proporcionar um ensino de qualidade durante toda a nossa jornada acadêmica. Por fim, agradecemos aos nossos orientadores, em especial a Prof. Dra. Ana Carolina Callegario Pereira e Prof. Me. Edson de Paula Carvalho, por se disponibilizarem a nos orientar em nosso trabalho de conclusão de curso.

RESUMO

É notório o crescimento da população e conseqüentemente o aumento da demanda energética, no qual acarreta o aumento dos impactos ambientais causados devido a utilização de combustíveis fósseis. Com base neste cenário faz-se necessário o estudo de formas de geração de energia por fontes renováveis. Esta monografia dispõe de uma revisão bibliográfica, onde foi apresentada uma maneira de se gerar energia limpa através da biomassa vegetal de microalgas, visando suprir um déficit crescente da demanda energética nacional nos últimos anos. A produção desta inovadora fonte de energia alternativa traz não somente benefícios a economia como também ao meio ambiente tendo em vista que estes microrganismos absorvem dióxido de carbono (CO_2) em excesso na atmosfera e em contrapartida liberam oxigênio (O_2) através da fotossíntese. Através de estudos, foram colhidos dados para apresentar quais são as espécies de microalgas, os seus tipos de cultivo, e sua aplicação dentro da geração de energia elétrica. Ao final, pode-se observar que, com a alta produção da biomassa foram obtidos resultados positivos em relação a geração de energia elétrica afim de ser agregado a matriz energética trazendo um retorno positivo não somente a economia como ao meio ambiente.

Palavras-chave: Termoelétrica. Biogás. Fotossíntese. Fotobiorreator. Biomassa.

ABSTRACT

It is notorious the population growth and consequently the increase in energy demand, which leads to an increase in the environmental impacts caused by the use of fossil fuels. Based on this scenario, it is necessary to study forms of energy generation from renewable sources. This monograph has a bibliographical review, which presents a way to generate clean energy through the plant biomass of microalgae, aiming to supply a growing deficit in the national energy demand in recent years. The production of this innovative alternative energy source brings benefits not only to the economy but also to the environment, considering that these microorganisms absorb carbon dioxide (CO₂) in excess in the atmosphere and, in turn, release oxygen (O₂) through photosynthesis. Through studies, data were collected to present the species of microalgae, their types of cultivation, and their application within the generation of electricity. In the end, it can be observed that, with the high production of biomass, positive results were obtained in relation to the generation of electricity in order to be added to the energy matrix, bringing a positive return not only to the economy but also to the environment.

Keywords: Thermoelectric. Biogas. Photosynthesis. Photobioreactor. Biomass.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Parque eólico conectado à rede - Parque Eólico da Prainha CE.....	21
Figura 2 - Esquema de geração fotovoltaica	22
Figura 3 - Turbina maremotriz	23
Figura 4 - Amostra de <i>Chlorella Vulgaris</i>	25
Figura 5 - Agitador.....	26
Figura 6 – Diagrama esquemático experimento com seus componentes	27
Figura 7 – Biomassa de microalga	28
Figura 8 - Processo de secagem da biomassa	29
Figura 9 - Central Termoelétrica com Combustão Externa (A Vapor)	30
Figura 10 - Fluxograma de aplicação do biogás.....	32
Figura 11 - Biodigestor contínuo chinês	33
Figura 12 - Célula solar microbiana e célula combustível vegetal-microbiana	35
Figura 13 - Fotobiorreator do tipo Airlift	37
Figura 14 - Fluxograma das atividades realizadas no NPDEAS com o cultivo de microalgas	38

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Matriz elétrica brasileira	17
Gráfico 2 - Evolução da demanda energética e taxa de crescimento econômico	18

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição Típica Do Biogás	32
Tabela 2 - Decomposição da biomassa de Spirulina LEB-18 (X_T), decomposição da fração orgânica da biomassa (X_{Org}) e conversão da fração orgânica da biomassa em CH ₄ ($Y_{CH_4/Org}$)	40
Tabela 3 - Volume e composição do biogás produzido no ensaio	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EPE - Empresa de Pesquisas Energéticas

NPDEAS - Núcleo de Pesquisas e Desenvolvimento em Energia Autossustentável

FBR - Fotobiorreator

PVC - Policloreto de Vinílica

RSU - Resíduos Sólidos Urbanos

SPE - Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético

MME - Ministério de Minas e Energia

IEA - Agência Internacional de Energia

A.C. - Antes de Cristo

pH - Potencial Hidrogeniônico

PET - Polietilenotereftalato

P-MFC - Célula de combustível vegetal microbiana

UFPR - Universidade Federal do Paraná

FBR - Fotobiorreatores

LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

CO₂ - Dióxido de Carbono

O₂ - Oxigênio

H₂ - Hidrogênio

CH₄ - Metano

N₂ - Dinitrogênio

H₂S - Gás Sulfídrico

NH₃ - Hidróxido de amônia

H₂S - Gás Sulfúrico

KWh - Quilo Watts hora

MWh - Mega Watts hora

GWh - Giga Watts hora

EJ - Exajoule

X_T - Biomassa microalgal em sua decomposição

X_{org} - Resultado da fração orgânica

Y_{CH₄/Org} - Fração de biomassa em metano

m_{CH₄} - Massa de metano

m_{org} - Fração orgânica

g. g⁻¹ - Biometano

LEB-18 – Espécie de Microalga Spirulina LEB-18

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivo Geral	15
1.2 Objetivos Específicos	15
1.3 Justificativa	15
1.4 Metodologia	16
2 REFERÊNCIAL TEÓRICO	17
2.1 Energia Elétrica	17
2.1.1 Crise Energética	18
2.1.2 Impactos Ambientais Negativos	18
2.1.3 Plano Nacional de Energia	19
2.1.4 Energias Alternativas	20
2.1.4.1 Energia Eólica	20
2.1.4.2 Energia Solar	21
2.1.4.3 Energia Maremotriz	22
2.1.5 Vantagens e Desvantagens das Fontes de Energia Renováveis Apresentadas	23
2.2 Microalgas	24
2.2.1 Espécies de Microalgas	24
2.2.3 Cultivo das Microalgas	25
2.2.3.1 Céu Aberto	25
2.2.3.2 Fotobiorreator	26
2.3 Microalgas Como Fonte de Energia	29
2.3.1. Termoelétrica	29
2.3.1.1 Biomassa Como Fonte de Energia Termoelétrica	30
2.3.1.2 Biogás Produzido a Partir de Microalgas Como Fonte de Energia Termoelétrica	31

2.3.2 Turbina a Gás	33
2.3.3 Eletroquímica	34
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
4 CONCLUSÃO.....	43
5 PROPOSTA PARA PESQUISAS FUTURAS	45
6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

1 INTRODUÇÃO

O aumento da demanda energética nos últimos anos foi acompanhado de um crescente aumento da atividade poluidora causada pelos combustíveis fósseis. Por causa disso, a humanidade tem se voltado para fontes energéticas mais eficientes e preferencialmente renováveis.

Tal realidade, despertou o interesse pela utilização de biocombustíveis, especialmente o biodiesel, que é obtido a partir da prévia extração de compostos oleaginosos de biomassas vegetais e a subsequente transesterificação dos ácidos graxos presentes nesta biomassa. Entretanto, o cultivo de biomassa vegetal para a utilização como biocombustíveis esbarra na utilização de terras para cultivo de alimentos. Dessa forma, para atender a demanda, tem se pesquisado outras formas de obter biomassa vegetal.

Nos últimos anos houve um crescente aumento no interesse pela utilização de algas e microalgas também para a geração de energia elétrica. Atualmente, muitas pesquisas estão sendo desenvolvidas com a utilização de ciano bactérias para a obtenção de biomassa, principalmente pelo fato que estas podem ser cultivadas em ambientes estéreis, assim não competindo com a produção de alimentos. Outro ponto importante na adoção de ciano bactérias como fonte de biomassa reside no fato da possibilidade da adoção destes organismos em unidades de tratamento de efluentes, já que tem a capacidade de remover nitrogênio e fósforo de esgotos.

1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo realizar uma revisão de literatura narrativa, avaliando o potencial da biomassa de microalgas, para geração de energia elétrica sendo adotados os princípios de uma termoelétrica e eletroquímica.

1.2 Objetivos Específicos

- ✓ Realizar o levantamento bibliográfico atualizado sobre o tema.
- ✓ Estudar a produtividade da biomassa obtida, através do modo de cultivo mais eficiente para geração de energia elétrica.
- ✓ Avaliar a eficiência energética das microalgas dentre os processos de geração de energia elétrica, a saber: termoelétrica, biogás e eletroquímica.

1.3 Justificativa

Visando suprir a crise energética decorrente do aumento da população, para reduzir os impactos ambientais causados pela utilização de combustíveis fósseis e de fontes poluentes, buscamos uma fonte inovadora de gerar energia elétrica, onde seria possível produzir energia de uma forma limpa e renovável além de contribuir a meio ambiente na diminuição da emissão de CO₂ lançado na atmosfera. Tendo em vista esse cenário encontramos um grande potencial energético na biomassa proveniente das microalgas onde esse microrganismo para se reproduzir consome o dióxido de carbono e libera o oxigênio reduzindo assim a emissão de gases poluentes. A biomassa tem se mostrado através de pesquisa com um grande potencial de destaque na produção de energia elétrica, para agregar a matriz energética e contribuir para a preservação do meio ambiente.

1.4 Metodologia

A metodologia se refere aos procedimentos utilizados para se alcançar o conhecimento, para atingir um determinado objetivo.

Ao entendermos o quão importante é a metodologia, percebemos que não existe uma única forma e sim diversas maneiras que procuram atender as necessidades conforme o assunto e a finalidade da pesquisa, bem como as várias atividades da ciência (ARAGÃO, NETA, 2017).

O presente trabalho se trata de uma revisão bibliográfica de abordagem qualitativa, pois através da verificação de literatura contida em livros, revistas, artigos, trabalhos de conclusão de curso, irá apresentar, descrever e discutir sobre quais são os tipos de energia alternativa, quais os tipos de cultivo de microalgas, quais são as formas que se pode gerar energia elétrica através das microalgas, e ao final, irá apresentar as vantagens de se gerar energia através das microalgas, definir qual o melhor tipo de cultivo e o melhor tipo de geração de energia por microalgas.

As espécies adotadas em no estudo são: *Spirulina* e *Chlorella Vulgaris*, pois são algas de alta produção, podendo obter um período de dobragem da população variando de 4 a 24 horas.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

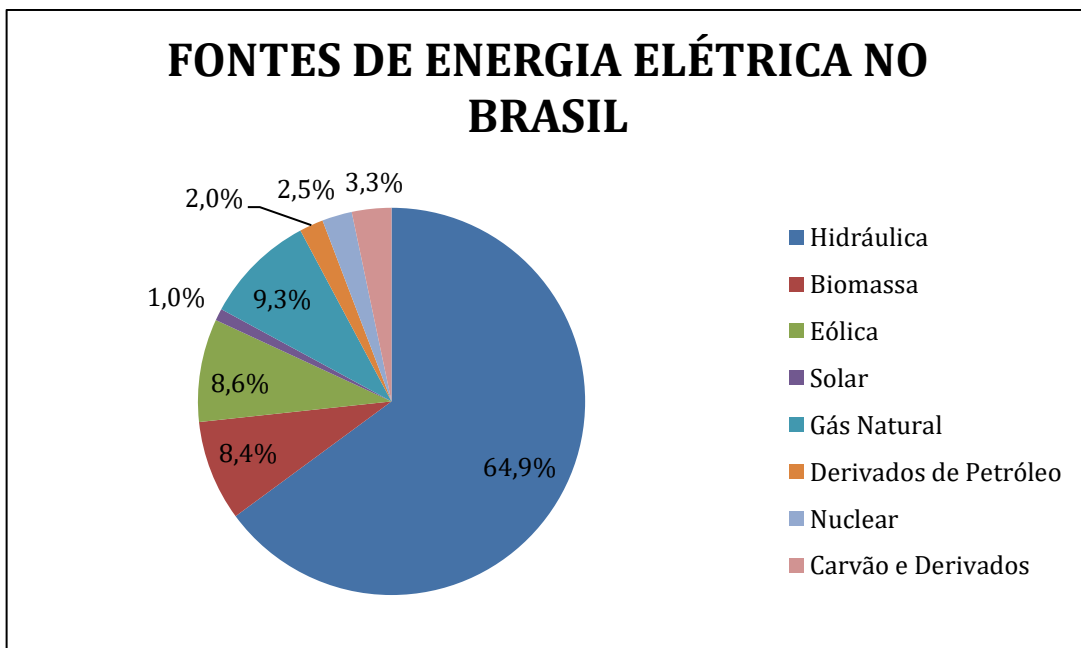
2.1 Energia Elétrica

A energia elétrica é essencial para a humanidade atualmente. Sendo usada desde os meios de transporte, tecnologias, residências e saneamento básico. Trazendo diversos benefícios, quando é disponibilizada para o consumo da população, é notável a melhora da qualidade de vida que se pode gerar a partir dela (Mehl, 2004).

A eletricidade pode ser gerada a partir de fontes renováveis e fontes não renováveis, sendo uma fonte derivada de uma diferença de potencial elétrico, onde, a corrente elétrica é gerada por meio de dois pontos distintos, envolvendo um fenômeno físico (Silva, 2015).

Trata-se de uma das formas de energia mais utilizadas pela humanidade atualmente, graças a sua facilidade de transporte e baixo índice de perda energética durante conversões. O gráfico 1, expõem a demanda em porcentagem, das fontes de energia elétrica utilizada no Brasil.

Gráfico 1 - Matriz elétrica brasileira



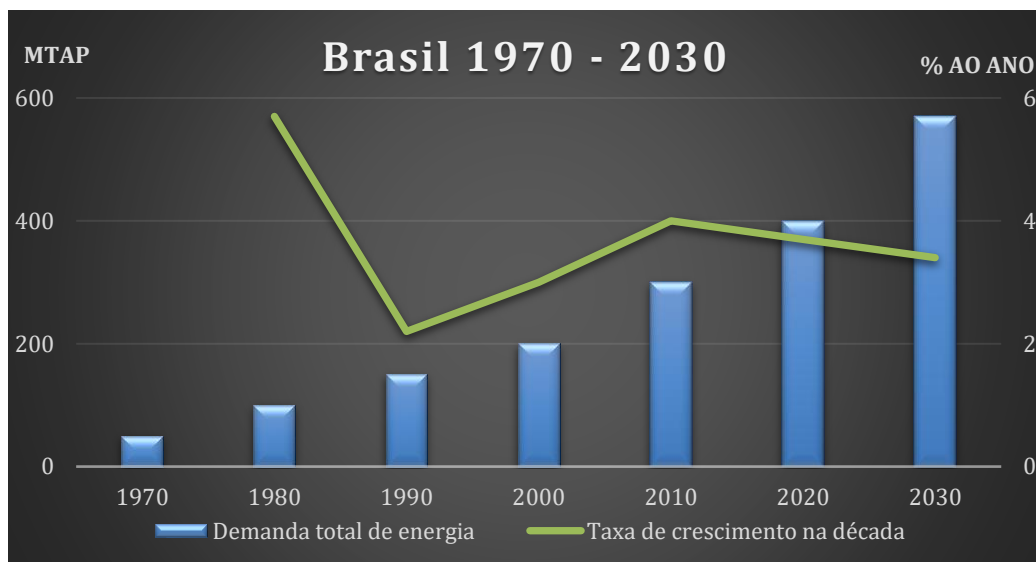
Fonte: EPE (2020)

2.1.1 Crise Energética

A crise energética, tem sido o resultado de uma tendência de desvio da capacidade de correspondência de reserva dos combustíveis fósseis, ligado ao contínuo crescimento econômico. A partir da revolução termo industrial, ocorrida no século XIX, o consumo energético intenso, característico do sistema capitalista, demonstra a incompatibilidade com o equilíbrio termodinâmico dos ecossistemas (CECHIN, 2010).

O gráfico 2 abaixo representa a crescente evolução da demanda energética e econômica nacional.

Gráfico 2 - Evolução da demanda energética e taxa de crescimento econômico



Fonte: Adaptado EPE (2020)

2.1.2 Impactos Ambientais Negativos

As mudanças climáticas são um dos principais indícios causados pela crise energética, onde se discute possíveis formas de redução da emissão de gases do efeito estufa, emitidos através da queima de combustíveis fósseis e gerado também, pelo desflorestamento mundial.

Segundo EPE estima-se que até o final desse século aconteça uma elevação na temperatura do planeta em até 4°C, situação capaz de causar impactos ambientais negativos, como já é possível ver nos tempos atuais: períodos de secas extremas levando a escassez de água, chuvas intensas causando enchentes, derretimento das calotas polares causando conseqüentemente o aumento do nível do mar podendo causar enchentes em cidades e costeiras e aparecimento de bactérias mais resistentes e danosas trazendo consigo mais doenças.

Podendo ser considerada uma “policrise” engloba diversos fatores, onde também se destaca a crise do desenvolvimento, da modernidade e de todas as sociedades, gerando diversos problemas que geram uma crise geral do planeta (MORIN&KERN, 2011 apud SILVEIRA, 2018).

2.1.3 Plano Nacional de Energia

De acordo com a Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético (SPE), o Ministério de Minas e Energia (MME) teve por responsabilidade, elaborar o planejamento do setor energético brasileiro segundo o Decreto nº 7.798/2012. O planejamento da matriz de energia teria dois pontos relevantes, relacionados a questões socioambientais e a eficiência energética, e a partir destes pontos tomavam-se o Plano Nacional de Energia 2016-2030 (PLANO NACIONAL DE ENERGIA, 2016 apud FINGER, 2018).

Foram traçados objetivos para este plano onde a agroenergia deveria se tornar um fator importante para soluções ambientais e de sustentabilidade no fornecimento de combustíveis a modo de que se provocasse o menor impacto social e econômico possível ao consumidor. A partir deste contexto surgem a ampliação nas pesquisas agro energéticas, onde a biomassa, por corresponder a mais de 10% da matriz energética brasileira, se tornaria um grande aliado segundo a Agência Internacional de Energia (IEA). A biomassa hoje é a maior fonte de energia renovável disponível, representando mais de 50 EJ de energia aproveitada com potencial para chegar a 160 EJ em 2050 (FINGER, 2018).

2.1.4 Energias Alternativas

Atualmente, os recursos naturais e renováveis tem sido pauta para diversas pesquisas, visando as diversas fontes de energias renováveis, sendo impulsionado pelas preocupações com o meio ambiente, levando em consideração, os diversos problemas ecológicos e aquecimento global gerado pela queima dos combustíveis fósseis. O correto aproveitamento dos recursos naturais das fontes renováveis é um excelente modo que leva a substituição das “energias sujas” e evita maiores danos ao planeta (AZEVEDO, 2013).

Diante destes fatos serão apresentados algumas das principais fontes de energia alternativas.

2.1.4.1 Energia Eólica

A energia proveniente das massas de ar em movimento (vento) é utilizada pelo homem há mais de 3.000 anos. A geração de energia elétrica através dos ventos se deu a partir do século XIX, utilizando-se de moinhos de grãos, transporte de mercadorias em barcos à vela bombeando água, método utilizado até os dias atuais, onde os ventos atingem hélices, girando um eixo impulsionando gerador (ATLAS, 2008).

Apesar de não haver a queima de combustíveis fósseis nesta fonte de energia renovável, a sua implantação não é privada de impactos ambientais, acarretando a modificação das paisagens com grandes torres e hélices conforme exemplificado na figura 01, ainda, ameaçando aves quando implantadas em áreas migratórias, além, dos ruídos emitidos causando incomodo e até mesmo gerando interferências nas televisões. Outro problema enfrentado na implantação da energia eólica, é o alto custo dos equipamentos, entretanto, é uma fonte de energia viável, pois traz um retorno financeiro em curto prazo (CEMIG, 2012).

Figura 1 - Parque eólico conectado à rede - Parque Eólico da Prainha CE



Fonte: (CEPEL, 2008)

2.1.4.2 Energia Solar

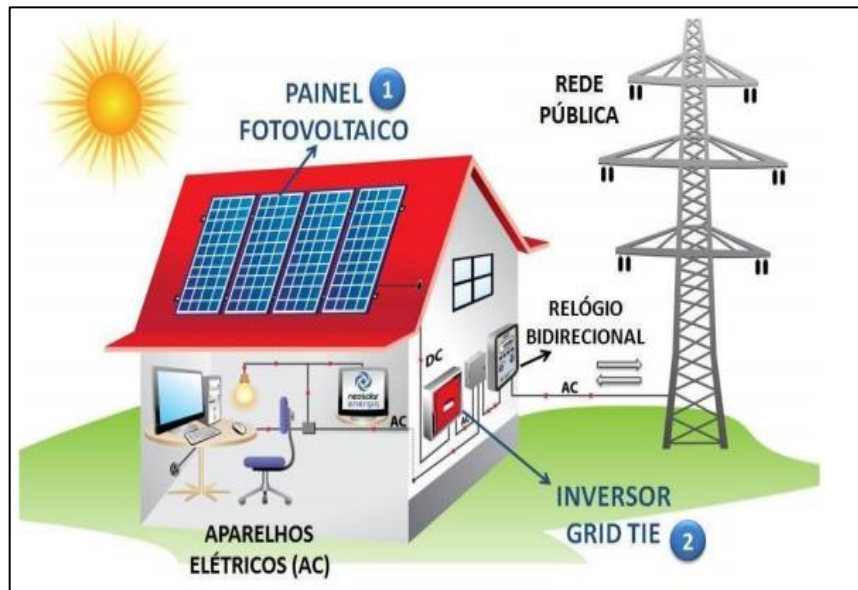
Utilizada desde os primórdios, mais especificamente no século VII a.C., quando já naquela época era utilizado o sol para secar peles e alimentos e fazer fogo por meio do uso de lentes para concentrar o sol, conseguindo queimar pequenos pedaços de madeira.

O sol representa o maior potencial de energia sobre a Terra, sendo uma fonte indireta de quase todas as outras fontes de energia. O processo de energia solar acontece devido ao aquecimento desproporcional da atmosfera, produzindo o ciclo das águas e a circulação atmosférica, de forma a ser aproveitado nos parques eólicos e com seu represamento, posteriormente proporcionando a geração de outros tipos de energia elétrica (MOREIRA *et al.*, 2010).

Com a grande incidência de raios solares emitidos no território brasileiro, o Brasil é considerado privilegiado. Além disso, vários são os benefícios desse tipo de energia, levando em consideração, a não emissão de gases poluentes na atmosfera comparada a outras energias, a mínima manutenção nas centrais solares, e a longa vida útil de seus sistemas implantados, conforme Figura 2.

Pode sim, causar alguns impactos ambientais como a emissão de produtos tóxicos durante a produção de insumos utilizados, e, não podendo ser utilizada em períodos noturnos e períodos de chuva (AGUILAR *et al.*, 2012).

Figura 2 - Esquema de geração fotovoltaica



Fonte: (NeoSolar, 2019)

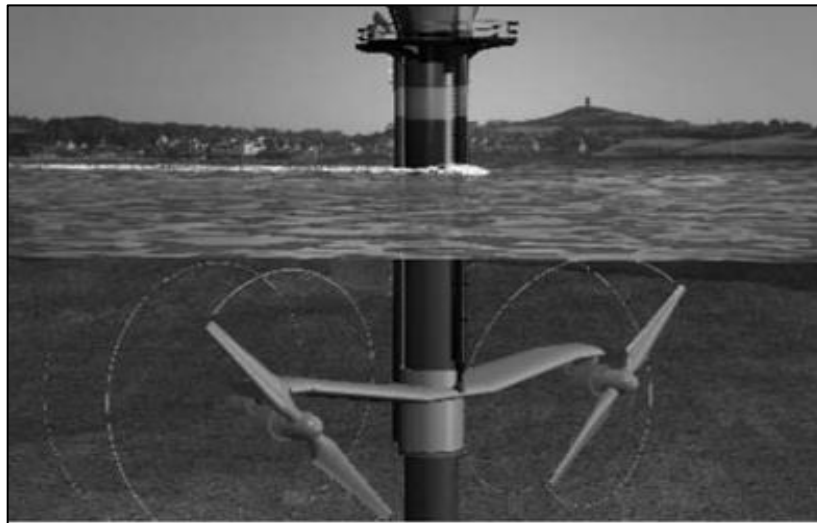
2.1.4.3 Energia Maremotriz

Assim como outras energias, a energia do mar é indiretamente oriunda da energia solar, visto que o sol aquece a superfície terrestre provocando ventos, que, entrando em contato com a água, transfere energia através da operação das tensões cisalhantes, resultando na formação e crescimento de ondas. A energia maremotriz é produto do descolamento das massas de água, transformando essa energia em uma grande oportunidade em todo o mundo, visando uma fonte limpa, sem agredir o meio ambiente (ATLAS, 2008).

O aproveitamento dessa energia, engloba no momento basicamente quatro tecnologias envolvidas, energia das ondas, energia das marés, energia térmica dos oceanos e energia cinética através das correntes marítimas. Portanto, há perspectivas de aperfeiçoamento de diferentes tecnologias, que ainda estão a dar os primeiros passos, que serão aprimoradas e posteriormente expandidas em todo o mundo ao longo dos anos (CEMIG, 2012).

Para ilustração temos um exemplo da estrutura de uma turbina maremotriz na Figura 3.

Figura 3 - Turbina maremotriz



Fonte: (Revista chilena de ingeniería, vol. 19 Nº 2, 2011)

2.1.5 Vantagens e Desvantagens das Fontes de Energia Renováveis Apresentadas

O uso de energias renováveis tem o intuito de beneficiar a população e o meio ambiente, de forma limpa, evitando impactos ambientais. Contudo, ainda assim, apresentam desvantagens, mesmo que em menor escala, com relação as energias provenientes dos combustíveis fósseis. Uma das vantagens da utilização de fontes renováveis é a redução da emissão de gases causadores do efeito estufa, reduzindo o dióxido de carbono emitido à atmosfera devido a não utilização dos combustíveis fósseis. Outra vantagem está relacionada à autonomia em relação as fontes energéticas, uma vez que faz o uso dos seus recursos naturais, que são fontes intermináveis, aumentando também, o avanço tecnológico com pesquisas e descobertas de novas fontes energéticas, crescimento econômico do país e maior empregabilidade para a população (SILVA,2020).

Como citado anteriormente, vale ressaltar, que não são totalmente vantajosas. As fontes de energias renováveis apresentam algumas desvantagens, em relação as energias vindas dos combustíveis fósseis. A primeira desvantagem a ser considerada está na modificação da paisagem, gerando impactos visuais e afastamento da fauna e flora no raio de ação. Outra desvantagem é relativa ao capital elevado de investimento para a construção e instalação, onde acaba desmotivando o investidor a

fazer as instalações, mas que pode ser recuperado ao longo da geração de energia (SILVA, 2020).

2.2 Microalgas

São microrganismos encontrados em corpos aquáticos em todo o globo terrestre e os principais integrantes do fitoplâncton, podendo ser encontradas de forma individualizada ou em colônias capazes de alcançar grandes dimensões (MONÇÃO).

As microalgas fazem parte da família de algas marítimas, diferenciadas por sua constituição celular (números de células que as formam). As microalgas são seres unicelulares, ou seja, formada por uma única célula.

Estes microrganismos (microalgas) crescem em ambientes aquáticos, porém seu metabolismo é parecido com o das plantas. Elas são mais fáceis de serem encontradas que as macroalgas, podendo sobreviver e se reproduzir em águas salgadas e doces, apresentando a coloração verde muito vista em lagos e rios. As microalgas são de suma importância pois produzem grande parte do oxigênio (O₂) de nosso planeta, sendo capaz de consumir o dióxido de carbono (CO₂) liberando O₂ ao meio ambiente. Além disto elas são responsáveis por mais de 60% da produção de toda biomassa primária da Terra (CHISTI, 2004 apound TRUZZI, 2016).

Estudo sobre estes microrganismos fotossintéticos vêm tomando relevância nos últimos anos devido sua extensa aplicação, podendo ser utilizada em diversos seguimentos como indústrias alimentícia, química, cosmética e farmacêutica, e na fabricação de rações para animais e adubos.

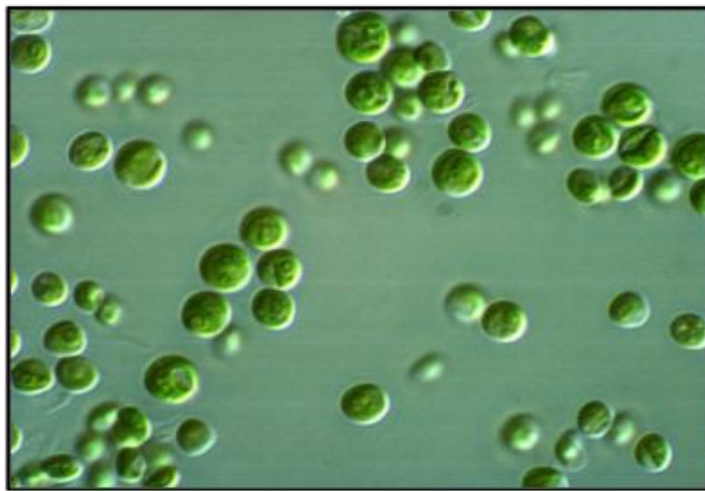
2.2.1 Espécies de Microalgas

Já existem mais de 4000 espécies de microalgas reconhecidas. Dentre as cultivadas atualmente as mais conhecidas comercialmente são: *Dunaliella salina* que são cultivadas para obtenção de caroteno, a *Haematococcus pluviails* para a obtenção de astaxantina, e a *Chlorella* e *Anthospira* (Spirulina), utilizadas para enriquecimento de alimentos naturais (BECKER, 2007 apound ANDRADE, 2014).

Em âmbito nacional ainda não existem campos de cultivo de grande porte, e sim nos mais de 40 laboratórios brasileiros nos quais esses microrganismos são mantidos (LOURENÇO & VIEIRA, 2004 apoud ANDRADE, 2014).

As espécies adotadas em no estudo são: *Spirulina* e *Chlorella Vulgaris* pois são algas de alta produção, podendo obter um período de dobragem da população variando de 4 a 24 horas. Na Figura 4, mostra o formato elipsoidal e esférico das células *Chlorella*.

Figura 4 - Amostra de *Chlorella Vulgaris*



Fonte: Lúcio (2014)

2.2.3 Cultivo das Microalgas

Para uma reprodução controlada e mais eficiente o cultivo deve ser mantido a uma temperatura ambiente média de 25 a 35°C (TAGLIAFERRO, 2017).

Existem diversas formas de cultivar microalgas, e estes sistemas podem ser separados em dois grupos sendo eles: a céu aberto ou cultivo em fotobiorreatores.

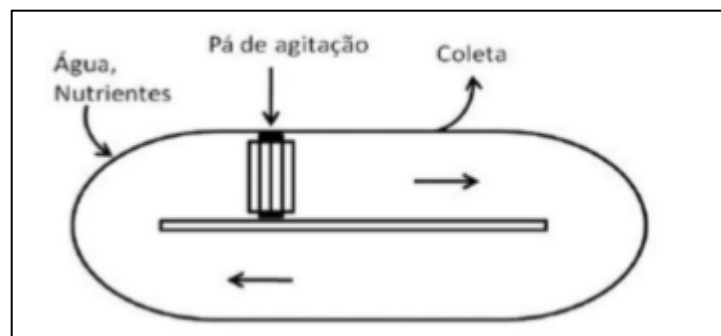
2.2.3.1 Céu Aberto

Este método é muito utilizado por ter um custo baixo para construção e operação. Geralmente são montados tanques que podem ser de concreto, fibra ou

chão batido, de no máximo 30 cm de profundidade para melhor captação de luz solar, onde são implantadas pequenas turbinas afins de impedir a sedimentação.

A Figura 5 abaixo representa o processo de cultivo a céu aberto, ilustrando o funcionamento do sentido de rotação da pá de agitação e o indicativo de adição de nutrientes e ponto de coletas.

Figura 5 - Agitador



Fonte: HOLANDA (2011)

É possível obter uma colheita anual de 1 tonelada de biomassa para um tanque 55m². Porém um dos grandes obstáculos encontrados é a impossibilidade controlar os parâmetros fisiológico e físico-químicos, perdas na captação também são fatores negativos por ser um cultivo a céu aberto, além do consumo de água altíssimo por ocuparem grande espaço (HOLANDA, 2011).

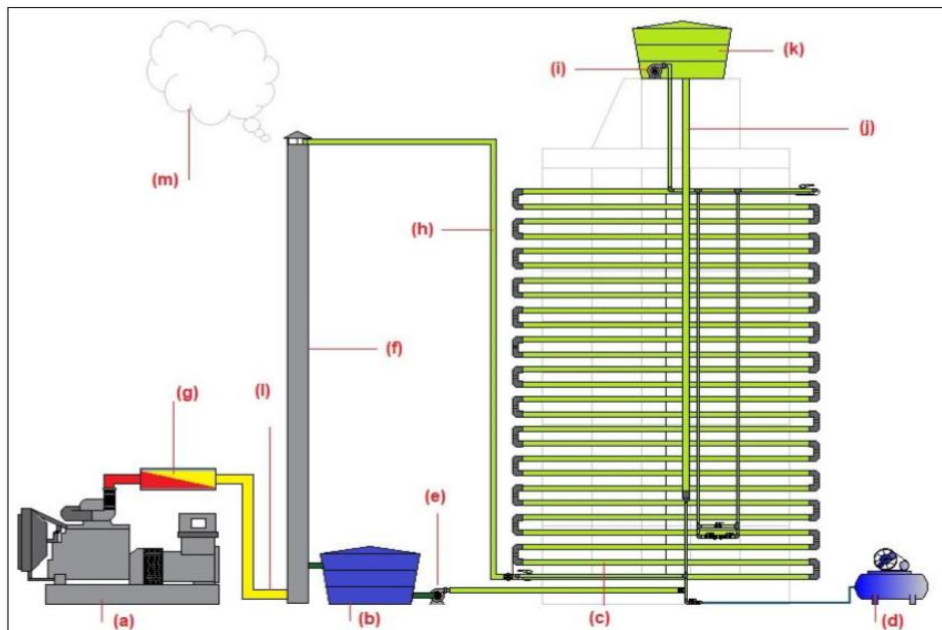
2.2.3.2 Fotobiorreator

O cultivo por fotobiorreatores proporciona uma produção maior que a de céu aberto. Por ser um sistema fechado é possível garantir a ausência de contaminação. Este sistema possui um ambiente propício em termos de luminosidade e temperatura para a produção desses microrganismos (HOLANDA, 2011).

É constituído por uma estrutura de tubos de plástico, PET, vidro e ou acrílico incolores, com espessura de no máximo 10 cm afim de permitir maior incidência de luz ao sistema. Os tubos geralmente são posicionados horizontalmente com a estimativa de ocupar menos espaço possível, como demonstrado na Figura 6. O piso na área de cultivo geralmente é pintado de branco com intuito de aumentar a refletância dos coletores. São utilizados também um sistema de válvulas, uma bomba e ligações adequadas para melhor controle do fluxo no sistema (HOLANDA, 2011).

A sua reprodução acontece de forma acelerada, e devido sua densidade a biomassa vai se depositando no fundo, e é canalizada para o próximo dispositivo que faz a separação das microalgas e da água, onde a água retorna ao tanque para dar continuidade ao ciclo e a biomassa pode ser devidamente tratada na etapa de geração de energia elétrica.

Figura 6 – Diagrama esquemático experimento com seus componentes



Fonte: NPDEAS(201)

Legenda: (a) -Gerador (b) - Reservatório 2 m³ (c) – FBR 10 m³ (d) – Compressor de ar (e) – bomba centrífuga 1 CV (f) – Fixador de emissões (g) – trocador de calor (h) – entrada de cultivo no fixador de emissões (i)- Bomba submersa de 1 CV (j)- Desgasser (k)- reservatório superior de 2 m³ (l)- entrada de gases no fixador de emissão (m) – saída de gases para atmosfera.

2.2.4 Processo de Separação de Biomassa Algal

O processo de separação é simples, porém trabalhoso, podendo ser feito por filtração, centrifugação e floculação. É importante enfatizar que a água retirada neste processo pode ser reutilizada a fim de aproveitar os nutrientes e reduzir o desperdício (TAGLIAFERRO, 2017).

Segundo Tagliaferro (2017), o processo de filtração se dá pela utilização de um filtro prensa que permite a passagem da água, retendo no recipiente a biomassa microalgal. Já a centrifugação se dá por meio da utilização de uma centrífuga que

proporciona a separação da água e da biomassa microalgal, e finalmente a floculação que se dá pela adição de uma substância coagulante adicionada à mistura para promover floculação. Os flocos formados se dirigem a superfície, permitindo a separação. A biomassa obtida nos três processos passa por um processo de secagem e enfim fica pronta para o uso.

A Figura 7 apresenta a estrutura da biomassa no momento de retirada centrifuga antes de ser levada para o processo de secagem.

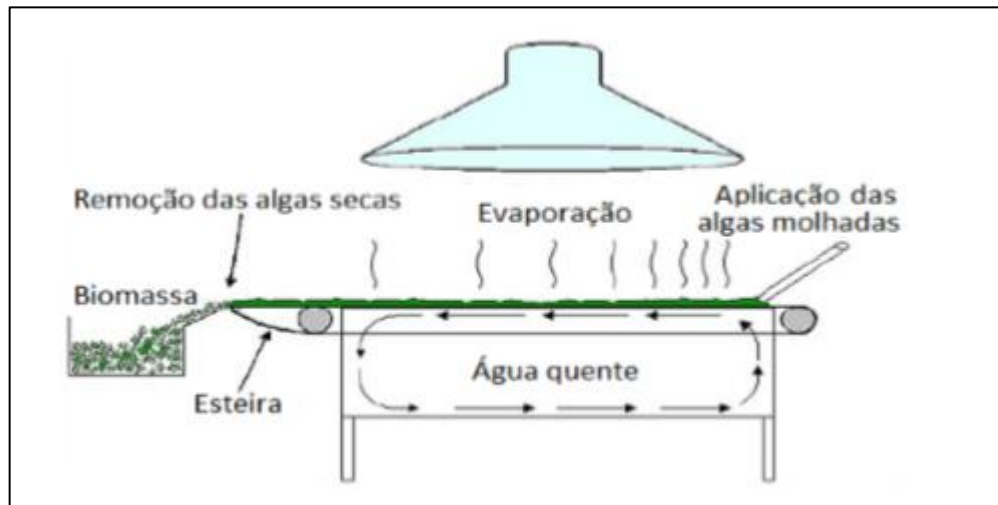
Figura 7 – Biomassa de microalga



Fonte: NPDEAS (2017)

A Figura 8, ilustra como é feito o processo de secagem da biomassa microalgal. A água utilizada no processo de secagem faz parte do sistema da termoelétrica quando no processo de geração após passar pela turbina a mesma passa do estado gasoso para o estado líquido. A fim de aproveitar o máximo da energia do sistema e utilizado a alta temperatura para contribuir no processo acelerando a secagem.

Figura 8 - Processo de secagem da biomassa



Fonte: HOLANDA (2011)

2.3 Microalgas Como Fonte de Energia

De acordo com FINGER et al., 2018, a energia gerada a partir da biomassa possui um potencial estimado de 150 a 450 J a ser atingido até 2050, levando em consideração que existe uma proporção da geração de energia em relação ao aumento da demanda energética, podendo-se considerar um crescimento estimado de 23 a 30% até a data citada.

2.3.1. Termoelétrica

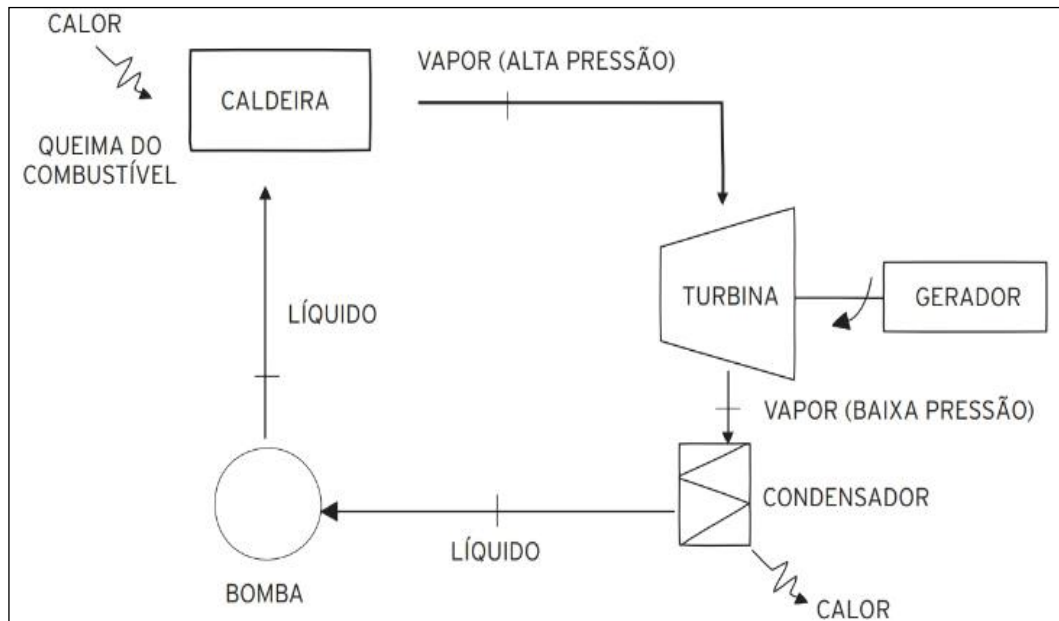
A energia termoelétrica é gerada a partir da queima de algum tipo de combustível, de fonte renovável ou não.

O princípio de geração de uma termoelétrica se dá através da conversão de energia térmica pela queima de algum combustível, em energia mecânica, através das turbinas térmicas, e depois a conversão da energia mecânica em energia elétrica através de um gerador elétrico que é acoplado as turbinas térmicas, e é acionado através da energia mecânica gerada por essas turbinas (REIS, 2011).

Segundo REIS (2011), as termoelétricas podem ser classificadas como por combustão externa, como representado na Figura 9 onde é utilizado algum tipo de combustível para aquecer o fluido de trabalho até gerar vapor, que por sua vez irá

gerar a energia mecânica através da turbina, e o gerador que se encontra acoplado a essa turbina irá gerara energia elétrica. Na combustão externa o fluido de trabalho e o combustível não entram em contato um com o outro.

Figura 9 - Central Termoelétrica com Combustão Externa (A Vapor)



Fonte: REIS (2011)

“Combustão interna: a combustão se efetua sobre uma mistura de ar e combustível. Dessa maneira, o fluido de trabalho será o conjunto de produtos da combustão. A combustão interna é o processo usado principalmente nas turbinas a gás e nas máquinas térmicas a pistão (motores a diesel, por exemplo)” (REIS, 2011, pag.130).

Para a geração de energia termoelétrica pode-se utilizar uma grande variedade de combustíveis, que podem ser: carvão mineral, gás natural, derivados do petróleo, nucleares, que são considerados fontes não renováveis, e a biomassa, que é considerada uma fonte renovável, e que será o tipo de combustível abordado neste presente trabalho (REIS, 2011).

2.3.1.1 Biomassa Como Fonte de Energia Termoelétrica

Quando se trata da geração de energia, a biomassa pode ser aproveitada através do bagaço de cana, óleo vegetal, etanol entre outros. Uma outra forma não tão comum hoje em dia, mas que com o tempo passará a ter mais visibilidade, é o aproveitamento da biomassa gerada por microalgas para geração de energia elétrica.

O processo desta termoelétrica terá como fonte de combustível a biomassa deste microrganismo, no qual terá a missão de alimentar a fornalha, que estará aquecendo a água até o ponto de evaporação, onde este vapor acionará a turbina, que está acoplada a um gerador, que por sua vez produzirá a energia elétrica. Após o vapor passar pela turbina, tomará o caminho até o condensador que trará a água a sua forma líquida pronta para retornar ao processo.

Um dos pontos positivos de se utilizar a biomassa para geração de energia elétrica, é que por não emitir óxidos de nitrogênio e enxofre, e pelo CO₂ que é lançado na atmosfera durante o processo da queima ser absorvido através da fotossíntese, esse tipo de geração de energia não apresenta emissão de poluentes, com isso se tornando um benefício para o meio ambiente.

"As microalgas podem gerar energia elétrica com eficiência. Esse processo se dá através da queima da biomassa desses microrganismos, para cada tonelada de biomassa queimada, 8,12 MWh são gerados" (HOLANDA *et al.*, 2011).

2.3.1.2 Biogás Produzido a Partir de Microalgas Como Fonte de Energia Termoelétrica

O biogás é mais uma maneira de se gerar energia de forma sustentável, e reduzindo os impactos ambientais.

O biogás é obtido a partir da decomposição anaeróbica (sem presença de oxigênio) de resíduos orgânicos sólidos ou líquidos. Ele pode ser obtido através do lixo urbano, das estações de tratamento de efluentes, pela biodigestão da vinhaça, pelos resíduos da cana-de-açúcar e pelos rejeitos animais (SALOMON, 2005).

O biogás é composto em sua maior parte por dióxido de carbono, e metano, que definirá o seu potencial energético e conseqüentemente a sua capacidade calorífica, e o restante é composto por outros tipos de gases.

Na tabela 1 pode-se ver a composição típica do biogás.

Tabela 1 - Composição Típica Do Biogás

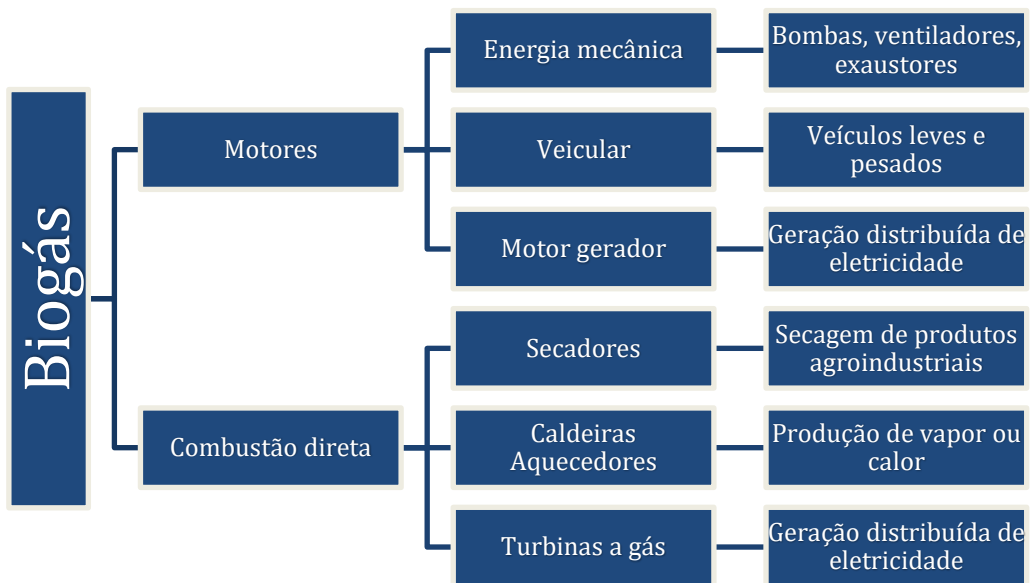
Gás	Símbolo	Concentração no biogás (%)
Metano	CH ₄	50-80
Dióxido de Carbono	CO ₂	20-40
Hidrogênio	H ₂	1-3
Nitrogênio	N ₂	0,5-3
Gás Sulfúrico e Amônia	H ₂ S, NH ₃	1-5

Fonte: CATAPAN (2010)

As vantagens de se utilizar o biogás para gerar energia elétrica são: geração a partir de uma fonte renovável, sustentável, redução na emissão de metano para a atmosfera, entre outras.

Como mostra abaixo, o fluxograma (Figura 10) expõe diversas aplicações viáveis a partir do biogás tanto para motores quanto para combustão direta.

Figura 10 - Fluxograma de aplicação do biogás



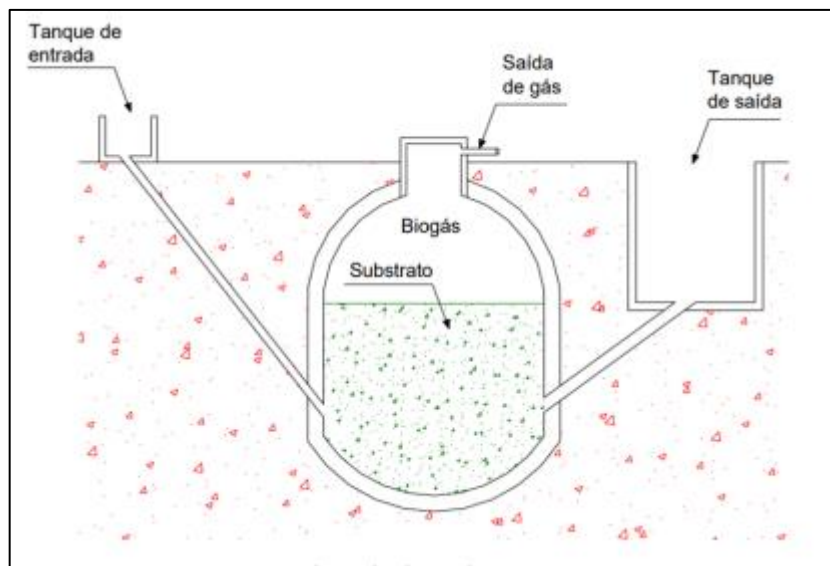
Fonte: CATAPAN (2010)

O processo de produção de biogás se dá a partir decomposição anaeróbica de matérias prima, biomassa e até mesmo resíduos, depositados em um biodigestor no qual possui duas formas distintas, sendo, a batelada e contínuo.

No biodigestor a batelada a adição da matéria orgânica só pode ser feita a cada período quando a troca se fizer necessária. Já o biodigestor contínuo é capaz de ser abastecido continuamente sem que se faça necessário aguardar um período para tal feito para o processamento e contém uma saída para o material que já foi tratado (CUSTODIO, 2008 apoud FINGER, 2018).

A Figura 11, ilustra o modelo de um biodigestor contínuo chinês.

Figura 11 - Biodigestor contínuo chinês



Fonte: ANTUNES (2019)

2.3.2 Turbina a Gás

Assim como no tópico anterior o processo para geração do biogás se dá na mesma maneira. O que o torna diferente do sistema de geração da termoelétrica e que não se faz necessário a utilização de água para a movimentação da turbina, a geração por turbina a gás se dá através da transformação de energia mecânica em energia elétrica onde é acoplado um gerador ao eixo da turbina que conforme ocorre a rotação da turbina o gerador opera produzindo energia elétrica.

Nas principais etapas temos: primeiramente ocorre a combustão que ocasionada na mistura do biogás com ar no queimador, esta combustão aplica uma energia química em um conjunto de mecanismos acoplado internamente na turbina, que faz com que esta energia seja convertida em energia cinética ou seja a turbina

começa a trabalhar e nela são instalados uns conjuntos de polia e correias juntamente ao gerador que transmitem esta energia para o rotor que por si gera um campo magnético e produz linhas magnéticas, que ao alcançar as bobinas do estator cria uma corrente elétrica, então a energia mecânica do rotor se converte em energia elétrica.

Existem diversos tipos de geradores, dentre os mais conhecidos temos os geradores de gás, geradores a diesel, geradores a gás com motor a diesel e geradores para biogás.

Segundo a EMBRAPA o biogás tem inúmeras aplicações, a cada 1m³ de biogás equivale a, 0,66 litros de diesel e ou 0,7 litros de gasolina e possuem também cerca de 5.000 a 7.000 Kcal/m³ de gás.

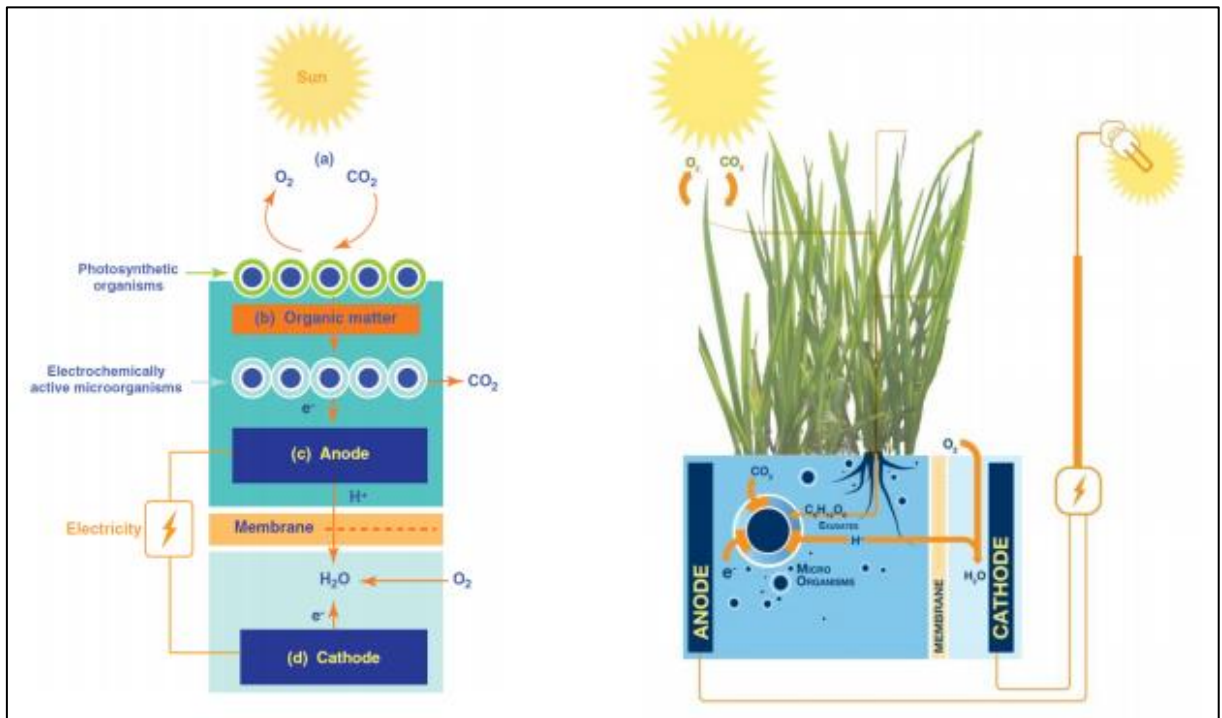
2.3.3 Eletroquímica

A energia elétrica gerada através da eletroquímica, utiliza-se de plantas vivas e bactérias formando a chamada célula de combustível vegetal microbiana ou célula P-MFC. Onde são específicas células solares microbianas que se utilizam do sistema solar para o seu funcionamento. Essa célula é um biorreator que tem a função de converter energia química em energia elétrica, através de microrganismos e suas funções catalíticas, além, de reduzir a emissão de efluentes ao meio ambiente (HELDER, 2012).

Este processo faz o uso da fotossíntese, onde, é um fenômeno natural das plantas, que ocorre em suas raízes, para se obter a eletricidade diária, produzindo sua matéria orgânica, utilizando-se da luz solar e do CO₂. Após a produção da matéria orgânica, ela fica em grande parte no solo, podendo ser oxidadas pelas bactérias que vivem próximo as raízes da planta, emitindo CO₂, prótons e elétrons. Estes elétrons são liberados para o ânodo da célula de combustível, que está diretamente conectado ao catodo, através de uma carga externa. Por sua vez, os prótons liberados pela matéria orgânica, que se encontram no lado do anodo, são transportados por meio de uma membrana para o lado do catodo, onde o oxigênio é reduzido juntamente com os prótons e elétrons para a água (HELDER, 2012).

O esquema de uma célula solar microbiana e de uma célula combustível vegetal-microbiana é mostrado abaixo na Figura 12:

Figura 12 - Célula solar microbiana e célula combustível vegetal-microbiana



Fonte: HELDER (2012)

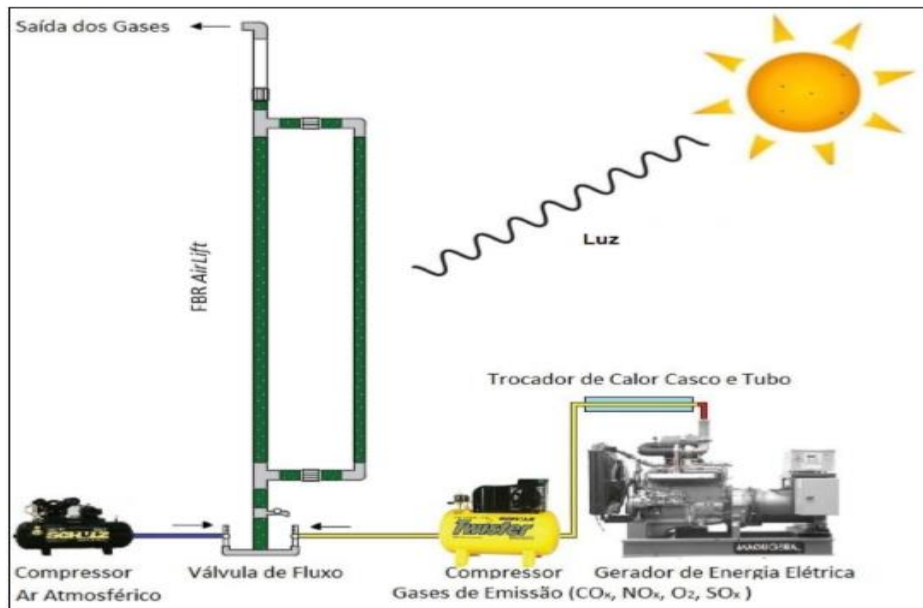
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base na revisão bibliográfica, foram adotadas as seguintes espécies de microalgas, *Spirulina* e *Chlorella Vulgaris*. Pois segundo HOLANDA et al. (2011) elas apresentam um grande potencial de reprodução em curto prazo, podendo dobrar o seu quantitativo de reprodução de 04 a 24 horas.

A biotecnologia de microrganismos fotossintéticos tem progredido em um ritmo relativamente lento, apesar de sua utilidade como fonte de compostos de alto valor agregado. Um fator limitante desse progresso tem sido a ineficiência das técnicas de cultivo em grande escala. Seus requisitos têm levado a uma ênfase no desenvolvimento de fotobiorreatores, nos quais ainda existem muitos problemas de engenharia que precisam ser resolvidos para desenvolver sistemas eficientes, em larga escala e de baixo custo. Os sistemas de produção de microrganismos fotossintéticos dividem-se principalmente em dois tipos: sistemas abertos (lagoas de estabilização, contentores) e sistemas fechados (tanques do tipo fermentador, fotobiorreatores tubulares e laminares). Em sistemas abertos é importante determinar o material de construção, controlar a turbulência, a direção do fluxo e ter a maior superfície de contato possível com a luz solar, uma vez que a cultura está em contato direto com o meio ambiente; enquanto em sistemas fechados, o projeto do sistema, o controle de temperatura, o tipo e a duração da iluminação, bem como a carga inicial do sistema devem ser considerados (KHAN et al., 2009).

Dentre as diversas formas de cultivo foi tomada como base para o estudo o cultivo por sistema fechado, onde se utiliza dos Fotobiorreatores airlift conforme mostrado na Figura 13, pois é possível ter um maior controle do processo, no que se refere a contaminação do sistema, controle da temperatura no ambiente e controle dos nutrientes, além da possibilidade de captar a emissão do CO₂ na combustão da biomassa, afim de evitar danos ao meio ambiente (HOLANDA, 2011).

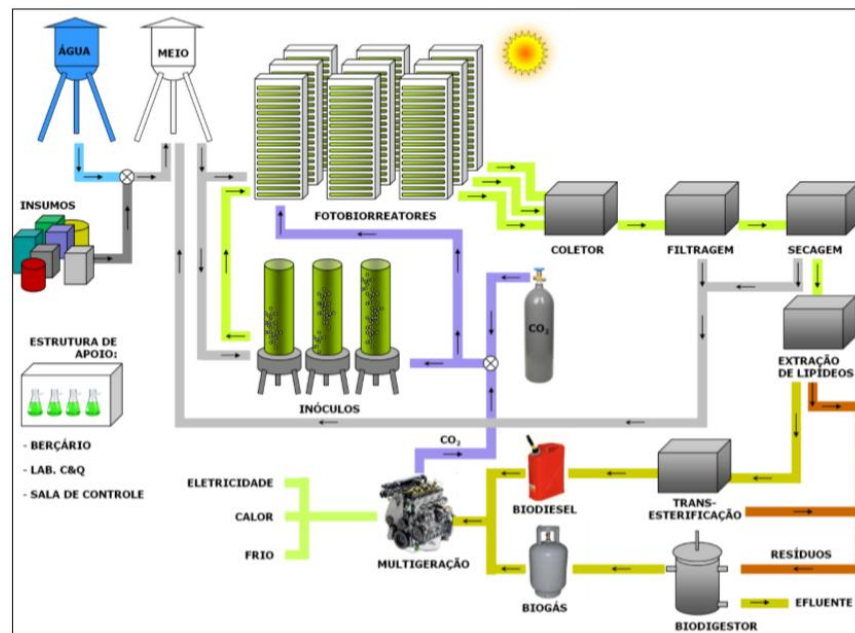
Figura 13 - Fotobiorreator do tipo Airlift



Fonte: FINGER (2018)

Segundo NPDEAS a partir deste modo de cultivo é possível se obter aproximadamente de um a dois gramas por litro de microalgas num período de 15 dias. O NPDEAS atua desde 2008 e possui fotobiorreatores tubulares, constituídos por tubos transparentes de 3,5 km cada, arranjados em uma estrutura num espaço de 10m² e possuem um volume médio de 12m³ conforme a figura 14 são representados um fluxograma das principais atividades realizadas a partir do cultivo no núcleo de pesquisas. Com base nestes dados se pode deduzir que esses FBRs são capazes de produzir a cada tonelada de CO₂ cerca de 600Kg de biomassa microalgal ou seja, com uma com uma concentração de 25,5 toneladas de CO₂ seria possível uma colheita de 15 toneladas de biomassa ao mês e 180 toneladas ao ano.

Figura 14 - Fluxograma das atividades realizadas no NPDEAS com o cultivo de microalgas



Fonte: FINGER (2018)

Os fotobiorreatores se caracterizam pela facilidade de controle sobre praticamente todas as variáveis biotecnológicas de interesse, além de apresentarem benefícios fundamentais como baixo risco de contaminação, condições de operação reproduzíveis e flexibilidade de projeto. A pesquisa em culturas de microalgas tem se concentrado em alguns dos seguintes pontos:

- 1) Seleção de culturas e engenharia genética para aumentar a quantidade de lipídios nas microalgas, 2) Manipulação genética do mecanismo pelo qual as microalgas mudam seu estado normal de crescimento para produção de lipídios, a fim de manter uma melhor produção de ambos (crescimento e produção de lipídios), 3) Otimizar as características dos lipídios produzidos por microalgas para convertê-los em combustíveis por meio de processos hidro, 4) Trabalhar em conjunto com o pessoal das refinarias de petróleo para melhorar hidroprocessamento, para conversão do óleo de microalgas em óleo diesel ou gás e 5) Projeto e inovação de fotobiorreatores (Li *et al.*, 2008, p. 34).

Um dos benefícios esperados com a utilização de algas na geração de energia elétrica é que em condições adequadas, as microalgas têm uma capacidade purificadora conhecida como fitorremediação, definida como o uso de macroalgas e/ou microalgas para a remoção ou biotransformação de poluentes, de águas residuais e de um meio gasoso. Muitos fatores estão envolvidos no crescimento e composição das espécies de microalgas e suas capacidades de purificação (Shen *et*

al. 2009), portanto, suas capacidades devem ser verificadas sob as condições ambientais locais.

Outro resultado esperado é um alto índice de demanda biológica de oxigênio (DBO). Um DBO alto implica numa diminuição do oxigênio dissolvido na água, o que pode causar anaerobiose e morte de organismos. Portanto, sua eliminação pela ação das algas constitui um objetivo principal do tratamento de água. O uso de microalgas provou ser eficiente na redução de DBO também fornecendo oxigênio para bactérias aeróbias que ajudam na biotransformação (ABDEL-RAOUF et al. 2012).

Além disso, muita espécie de microalgas vem sendo conhecidas e estudadas por sua capacidade de remover metais pesados dissolvidos. Devido à sua carga superficial negativa, elas têm uma alta afinidade por íons de metais pesados, introduzindo-os por adsorção, absorção e formação de fitoquelatinas (STEPHANOPOULOS et al., 2008). Esse é um fator positivo, pois a utilização de algas pode diminuir a contaminação por metais pesados.

Além disso, um resultado que pode ser esperado é a produção de algas que podem ser consumidas pela alimentação humana. O consumo humano de microalgas é limitado a algumas espécies devido ao estrito controle sobre segurança alimentar, fatores comerciais, demanda de mercado e preparo específico. Os 3 gêneros mais proeminentes são *Chlorella*, *Spirulina* e *Dunaliella*, que são comercializados como suplementos alimentares. Além disso, algumas espécies são comercializadas por seu valor medicinal, como a *Chlorella*, que protege contra a insuficiência renal e promove o crescimento de *Lactobacilos* intestinais. Também favorece a diminuição das concentrações de colesterol no sangue. Também foi determinado que uma dieta com *Chlorella* aumenta o nível de antioxidantes em fumantes, tornando-a um suplemento que promove a saúde (LEE et al. 2010).

Dessa forma, acredita-se que além da geração de energia, as algas podem trazer resultados que irão contribuir de maneira geral em diversos aspectos ambientais e econômicos.

Para termos mais dados práticos afim de embasar mais o conteúdo tratado existe uma cidade no estado do Rio Grande do Sul, chamada Santa Vitoria do Palmar que cultiva as margens da lagoa Mangueira, microalgas da espécie *Spirulina* em biorreatores a céu aberto, coberto por estufa de filme transparente com proteção UV, utilizando-se a própria água da lagoa. Como substrato do processo foram utilizados a biomassa da *Spirulina* LEB-18.

Com a biomassa microalgal em sua decomposição (X_T), resultou em sua fração orgânica (X_{org}), foi calculada através de uma comparação de entrada e saída de massa no biorreator. Foi realizada a conversão da fração orgânica da biomassa em metano ($Y_{CH_4/Org}$) e determinada a razão entre as massas de metano e fração orgânica convertida conforme explicitado na equação abaixo.

$$Y_{CH_4/Org} = m_{CH_4} / m_{Org} \quad (1)$$

Dados:

$Y_{ch_4/org}$ – Fração de biomassa em metano

m_{CH_4} – Massa de metano

m_{org} – Fração orgânica

A comparação anterior mostrou que 72,4% de biomassa microalgal se transformou no decorrer do bioprocessamento em 80,2% de fração orgânica de biomassa, onde se levou em consideração o tamanho das microalgas Spirulinas e a alta concentração de matéria orgânica.

Após, a fração orgânica de biomassa gerada, foi convertida em biometano, gerando 0,24 g. g⁻¹.

Tabela 2 - Decomposição da biomassa de Spirulina LEB-18 (X_T), decomposição da fração orgânica da biomassa (X_{Org}) e conversão da fração orgânica da biomassa em CH₄ ($Y_{CH_4/Org}$)

Substância	Concentração (%)
X_T	72,4 ± 2,2
X_{org}	82,0 ± 2,6
$Y_{CH_4/Org}$	0,24 ± 0,05

Fonte: (HENRARD, 2011)

Em um biorreator de volume igual a 14 L, foi controlada a temperatura da solução a 35 °C, onde é uma temperatura considerada ideal para as bactérias metanogênicas, foi produzido 0,38 d⁻¹ de biogás. Ocorrem variações da quantidade de

biogás ao ocorrer a variação de temperatura (ANDRADE, 2009 apud HENRARD, 2011).

Com relação a composição do biogás obtido através da biomassa microalgal, foi resultado as porcentagens de cada componente (Tabela 3). O biogás apresentou 71,8% de metano e 0,07% de gás sulfídrico. O baixo índice de ácido sulfídrico favorece futuros processos que o biogás venha a ser submetido, facilitando a compressão e estocagem, uma vez que o H₂S provoca corrosões quando estiver em contato com máquinas compressoras e tubulações.

Tabela 3 - Volume e composição do biogás produzido no ensaio

Substância	Concentração (%)
Biogás (d ⁻¹) *	0,21 ± 0,05
CH ₄	71,8
CO ₂	27,9
H ₂ S	0,07
H ₂	0,23

Fonte: (HENRARD, 2011)

* Volume de biogás produzido em relação ao volume de meio no reator.

Uma combinação importante no processo da produção do biogás, é entre a alcalinidade da solução e o potencial hidrogeniônico. Onde são responsáveis a entregar condições favoráveis para as bactérias participantes do processo.

Segundo HENRARD (2011) em seu experimento foram encontrados valores para alcalinidade em torno de $2027,90 \pm 255,93$ mg. L⁻¹ CaCO₃ e valores para potencial hidrogeniônico entre e $6,90 \pm 0,10$, considerado dentro do intervalo adequado para as bactérias, que variam de 6,8 - 7,5. Já com relação a amônia presente no gás, obteve-se valores entre $607,41 \pm 136,46$ mg. L⁻¹, onde é considerado valores abaixo dos inibitórios, ou seja, não haverá a preocupação do gás atingir seu estado desejável e seguro para a geração de energia e consumo.

Para o processo de geração de energia por termoelétrica, pode ser utilizada diversos tipos de combustíveis, sendo ou não, renováveis. Foram abordados dois

tipos de combustíveis gerados pelas microalgas, sendo eles a própria biomassa diretamente e o biogás produzido a partir de seus resíduos.

No processo de geração de energia através das microalgas, de acordo com o método utilizado, para cada tonelada de biomassa queimada, é possível gerar cerca de 8,12 MWh, ou seja, com uma colheita de 180 toneladas de biomassa gerada no ano seria possível a produção de 1,46 GWh. Se for levado em consideração que a média de consumo de energia elétrica nas residências brasileiras for de 150KWh/mês com esta produção estaríamos alimentando mais 810 casas brasileiras no ano (HOLANDA *et al*, 2011).

Com base no referencial teórico é possível se obter a cada tonelada de biomassa cerca de 40m³ de biogás, no processo de uma termoelétrica podemos deduzir 5000Kcal/m³ que convertido em energia elétrica alcança uma média de 233 KWh por tonelada de biomassa, já no processo de turbina a gás ao considerarmos 7000Kcal/m³ e possível se obter em torno de 280KWh por tonelada de biomassa. Se adotarmos o cultivo anterior com uma estimativa de colheita de 180 toneladas por ano e possível se obter através deste processor abordados a geração de cerca de 40 GWh a 50 GWh no ano com esta produção seria capaz de sustentar a demanda energética de mais de 25 mil casas brasileiras no ano (BARROS).

4 CONCLUSÃO

Ao longo deste trabalho foi realizada uma revisão bibliográfica, apresentando uma forma de geração de energia através de microalgas com o intuito de avaliar a viabilidade de uma nova fonte de energia renovável, visando reduzir os impactos ambientais e suprir a demanda energética. Com isso, foi realizada uma revisão bibliográfica, apresentando uma forma de geração de energia através de microalgas. Foram apresentadas algumas espécies de microalgas, e dentre elas foi escolhida a microalga de espécie *Spirulina*, pois apresentou uma alta taxa de produção e as características necessárias para o processo de geração de biogás através de biomassa algal.

Para se chegar ao desenvolvimento de um processo sustentável de produção de energia a partir de algas, técnica e economicamente viável, vários fatores devem ser superados, o principal deles é o custo de produção de biomassa, que envolve a otimização dos meios, seleção e manipulação de cepas e o projeto de fotobiorreatores. No entanto, o processo de separação de biomassa, extração de óleos e subprodutos, tecnologia de transesterificação, purificação e utilização de subprodutos também devem ser considerados.

Devido ao atual estado da arte na produção de biomassa e metabólitos para biocombustíveis a partir de algas, é necessário desenvolver um processo próprio para a produção de algas em larga escala e dos metabólitos de interesse, com espécies de algas e sistemas de produção adaptados às necessidades e condições de cada região.

Assim, considerando o potencial das microalgas na geração de energia elétrica, somado aos múltiplos usos de sua biomassa, sugere-se que seu cultivo seja econômico e ambientalmente atrativo. No entanto, mais estudos devem ser realizados a esse respeito, com ênfase especial em sistemas de colheita mais eficientes, menores custos e avaliações econômicas para os diferentes usos da biomassa.

Com base no referencial teórico, tomamos a forma de cultivo por um Fotobiorreator de modelo airlift, pois por ser um sistema fechado se torna mais prático para fazer o controle interno de temperatura, nutrientes e baixo índice de contaminação possibilitando uma maior produção desses microrganismos, para acrescentar a ideia, este modelo airlift possui uma característica ideal para o projeto onde nos possibilita a imersão controlada de CO₂ diretamente no processo onde

podemos montar um circuito fechado capturando toda emissão e evitando que seja despejado o CO₂ na atmosfera no momento da queima na geração de energia elétrica. Após a produção da biomassa, o próximo passo será a separação da microalga. Esse processo se dará a partir do método de filtragem por ser um dos mais eficiente evitando perdas de biomassa microalgal logo após a secagem estará pronta para ser utilizada no próximo processo.

Com base nos dados apresentados, das possíveis formas de geração de energia elétrica através da utilização da biomassa, e nos resultados esperados, a técnica de geração escolhida será por turbina movida por biogás produzida a partir da decomposição anaeróbica da biomassa. Para gerar o biogás seria utilizado um biodigestor contínuo pois permite que a adição de matéria seja feita continuamente sem interrupção do processo de biodigestão, após este processo o biogás estará pronto para ser utilizado.

A geração de energia ocorrerá pela queima do combustível (biogás) que será utilizado para acionar um gerador elétrico. A matéria excedente do biodigestor que é chamado de digestato pode ser extraído e utilizado como biofertilizante líquido a fim de aproveitar ao máximo o potencial dos nutrientes.

Através desta revisão bibliográfica infere-se que seria de grande vantagem a sua inclusão a matriz energética tendo em vista seu grande potencial energético, além de estar gerando eletricidade de forma limpa e sustentável. Como observação, não seria viável ampliar o Fotobiorreator afim de se obter uma maior produção pois quanto maior o tamanho conseqüentemente mais trabalhoso o controle na produção podendo impactar em perdas e contaminação no sistema, sendo mais viável criar vários polos nesta proporção afim de se obter mais qualidade na produção evitando gastos e desperdícios desnecessários.

5 PROPOSTA PARA PESQUISAS FUTURAS

Sugere-se que para pesquisas futuras sejam realizados teste em laboratórios afim de obter dados reais sobre a eficiência do projeto. Com base nesses dados recomenda-se também a realização dos estudos de viabilidade econômica, para implantação da pesquisa na matriz energética.

Uma outra proposta futura é a realização de estudos e de testes práticos sobre a geração através da eletroquímica, para que se possa obter dados sobre este tipo de geração, podendo assim fazer a comparação entre a eficiência e a viabilidade econômica da geração de energia através da eletroquímica com a geração de energia utilizando a biomassa de microalgas no princípio de uma termoelétrica.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAGÃO, José Wellington Marinho de.; NETA, Maria Adelina Hayne Mendes. **Metodologia Científica**. Salvador: UFBA, Faculdade de Educação, Superintendência de Educação a Distância, 2017. 51 p.: il.

MEHL, Ewaldo L. M. **Qualidade da Energia Elétrica**. 2004. 8 f. Curso de Pós Graduação em Engenharia Elétrica. Brasil, 2004.

SILVA, Marcelo Freitas da. **Eletricidade**. 2015. 116 f. Rede e-Tec Brasil. Santa Maria, RS, 2015.

CECHIN, Andrei Domingues, VEIGA, José Eli da. **A economia ecológica e evolucionária de Georgescu-Roegen**, Scielo Brasil, vol. 30, 2010.

CECHIN, Andrei Domingues, **A natureza como limite da economia: a contribuição de Nicholas Georgescu-Roegen**. São Paulo: SENAC, 2010.

Matriz Energética e Elétrica. Disponível em: <<http://epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 23 de março de 2021.

Energia e Aquecimento Global. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/energia-e-aquecimento-global>>. Acesso em: 23 de março de 2021.

MORIN, E., & KERN, A.G. **Terra-Pátria** (6. ed.). *IN*. SILVEIRA, Paula Galbiatti. Energia e mudanças climáticas: impactos socioambientais das hidrelétricas e diversificação da matriz energética brasileira. **Revista opinião jurídica**. v. 17, n. 33, 2018.

FINGER, Gustavo Strauch Wilin. **Aumento de biomassa de microalgas cultivadas em fotobiorreatores pela injeção de emissões de grupo motogerador diesel**. 2018. 141 f. Dissertação (mestrado) - Universidade do Paraná, 2018.

AZEVEDO, P.J.S. **Uma análise dos efeitos da crise econômica-financeira sobre as políticas de incentivo às energias renováveis.** (Dissertação) Universidade do Porto, 2013.

Atlas de energia elétrica do Brasil / Agência Nacional de Energia Elétrica. 3. Ed. Brasília: ANEEL, 2008.

CEMIG. **Alternativas energéticas: Uma visão da Cemig.** Belo Horizonte: - Companhia Energética de Minas Gerais, 2012.

Aplicações dos Sistemas Eólicos. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=251>. Acesso em: 15 de setembro de 2020.

MOREIRA, Carlos Eduardo Santos; CARDOSO, Alan Martins. **Fontes alternativas de energia renovável, que possibilitam a prevenção do meio ambiente.** Revista de Divulgação do Projeto Universidade PETROBRAS/IF Fluminense, v. 1, p. 397-402, 2010.

AGUILAR, R.S; OLIVEIRA, L.C.S; ARCANJO, G.L.F. **Energia Renovável: Os Ganhos E Os Impactos Sociais, Ambientais E Econômicos Nas Indústrias Brasileiras.** In: XXXII Encontro Nacional De Engenharia De Produção. Bento Gonçalves. Rio Grande do Sul: UFRGS, 2012.

Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica e Seus Componentes. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes>>. Acesso em: 10 de setembro de 2020.

NETO, Pedro Bezerra Leite. Exploração de energia maremotriz para geração de eletricidade: aspectos básicos e principais tendências. **Revista chilena de ingeniería.** v. 19, n. 2, p. 219-232, 2011.

SILVA, Fábio Soares Cardoso da; HAYASHI, Gabriel Koichi; SANGIULIANO, Gustavo Uyvary. **Sustentabilidade**. 2020. 41 f. Programa de Pós-Graduação em Administração e Programa de Pós-Graduação em Economia FEA/PUC-SP. São Paulo, 2020.

TAGLIAFERRO, Geronimo Virginio. **Cultivo da microalga *Chlorella minutissima* 26a em modo batelada e contínuo em fotobiorreatores de tanque de bolhas e airlift: influência do meio de cultivo no crescimento e composição da biomassa**. 2017 132 f. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de Lorena, Brasil, 2017.

HOLANDA, Laryssa Ramos de *et al.* **O cultivo de microalgas para a geração de eletricidade**. In: VII CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 2011.

Eficiência na separação de microalgas depende de cultivos com alta densidade de células. Disponível em: <http://npdeas.blogspot.com/2013/10/eficiencia-na-separacao-de-microalgas_19.html>. Acesso em: 25 de abril de 2021.

REIS, Lineu Belico dos. **Geração de energia elétrica**. 2.ed. Barueri, SP: Manole, 2011. ISBN: 978-85-204-4308-8.

SALOMON, Karina Ribeiro; LORA, Electo Eduardo Silva. Estimativa do potencial de geração de energia elétrica para diferentes fontes de biogás no Brasil. **Biomassa & Energia**. v.2, n. 1, p. 57-67, 2005.

CATAPAN, Anderson *et al.* **Formas alternativas de geração de energia elétrica a partir do biogás: Uma abordagem do custo de geração da energia**. In: XVII Congresso Brasileiro de custos. Belo Horizonte, 2010.

HELDER, Marjolein. **Electricity generation with living plants - from lab to application**. 2012. 161 f. Wageningen University, Netherlands, 2012.

Khan, S. A., Hussain, M. Z., Prasad, S. y Banerjee, U. C. 2009. **Prospects of biodiesel production from microalgae in India.** *Renew. Sust. Energ.* 13 (9): 2361–2372.

CHISTI, Y.. Microalgae: our marine forests. *IN BRUNO SCARDOELI TRUZZI. Cultivo de haematococcus pluvialis flotow (chlorophyceae) em sistema fototrófico e mixotrófico a base de meio alternativo.* p.09-10, 2016.

Pesquisas com microalgas do NPDEAS. Disponível em: <<http://npdeas.blogspot.com/2019/03/pesquisas-com-microalgas-do-npdeas.html>>. Acesso em: 6 de maio de 2021.

Os fotobiorreatores do NPDEAS. Disponível em: <<http://npdeas.blogspot.com/2011/06/os-fotobiorreatores-do-npdeas.html>>. Acesso em: 6 de maio de 2021.

Li, Q., Du, W. y Liu, D. 2008. **Perspectives of microbial oils for biodiesel production.** *Applied Microbiology Biotechnology.* 80: 749-756.

Shen, Y., Yuan, W., Pei, Z. J., Wu, Q. y Mao, E. 2009. **Microalgae mass production methods.** *Transactions of the ASABE.* 52(4): 1275–1287.

Stephanopoulos, G., Fischer, C. R. y Klein-Marcuschamer, D. 2008. **Selection and optimization of microbial hosts for biofuels production.** *Metabolic Engineering.* 10(6): 295–304.

HENRARD, Adriano A.; MEZA, Lucia Helena R.; BORGES, Joice Aline; et al.; **Produção de biogás a partir de biomassa microalgal.** 2011. Universidade Federal do Rio Grande – FURG. 7 f. Rio Grande – RS, 2011.

Lee SH, HJ Kang, H-J Lee, M-H Kang & YK Park. 2010. **Six-week supplementation with Chlorella has favorable impact on antioxidant status in Korean male smokers.** *Nutrition* 26: 175-183.

Embrapa. **Biogás.** Disponível em:
<<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fbl23vn102wx5eo0sawqe3qf9d0sy.html>>. Acesso em: 9 de maio de 2021.

Energia e Aquecimento Global. Disponível em:
<<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/energia-e-aquecimento-global>>. Acesso em:
20 de maio de 2021.

O Futuro Verde: Microalgas e Biotecnologia. Disponível em:
<<http://www.microbiologia.ufrj.br/portal/index.php/pt/destaques/novidades-sobre-a-micro/364-o-futuro-verde-microalgas-e-biotecnologia>>. Acesso em: 02 de fevereiro de 2021.

BORGES, Cauã Brum. **Biomassa De Microalgas: Separação Da Microalga Marinha Nannochloropsis Oculata Por Coagulação, Floculação E Flotação Por Ar Dissolvido.** p.17, 2014.

ANTUNES, M. L.. **Análise de possíveis cenários para utilização de biogás em um frigorífico.** 2019. 88f. monografia (especialização). – Universidade de Caxias do Sul, 2019.