

MONTAGEM DE UM DISCO SOLAR DESTINADO À DESINFECÇÃO TÉRMICA DE
BACTÉRIAS

ANAINA FERREIRA MONTEIRO DA COSTA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE
CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

2015

MONTAGEM DE UM DISCO SOLAR DESTINADO À DESINFECÇÃO TÉRMICA DE BACTÉRIAS

ANAINA FERREIRA MONTEIRO DA COSTA

Monografia apresentada ao Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Licenciada em Química.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria Cristina Canela.

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ

AGOSTO DE 2015

MONTAGEM DE UM DISCO SOLAR DESTINADO À DESINFECÇÃO TÉRMICA DE BACTÉRIAS

ANAINA FERREIRA MONTEIRO DA COSTA

“Monografia apresentada ao Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Licenciado em Química.”

Aprovada em 28 de agosto de 2015.

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Luis César Passoni
Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro

Prof.^a Dr.^a. Monique Seufitellis Curcio
Instituto Federal Fluminense *Campus* Quissamã

Prof.^a. Dr.^a. Maria Cristina Canela (Orientadora)
Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro

Aos meus pais Ana Maria e Carlos Augusto.

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente a Deus por todas as bênçãos e por ter me permitido chegar até aqui.

Aos meus pais por todo amor e dedicação e pelo apoio e incentivo nessa jornada.

A minha irmã Mirela, e meus sobrinhos Davi e Maria Luiza.

A minha orientadora Cristina pela valiosa orientação, carinho, paciência e cuidado. Obrigada também pela oportunidade, pelo conhecimento partilhado e por ser uma inspiração pra mim.

Ao Beni por ter me ensinado tanto, e pelo seu trabalho e dedicação na montagem do disco.

Ao Silvio, sempre disposto a ajudar com o disco.

A Laís e Laysa por toda ajuda com o trabalho no disco, e principalmente pela amizade e companheirismo nesses anos.

Aos colegas do Grupo de Pesquisa em Química Ambiental e do Laboratório 103.

A Jéssica, Laíssa, Marina, Rennê, Sthefanie, a professora Leda e todos os colegas do Laboratório 19 pelo conhecimento e por tantos bons momentos partilhados.

Aos colegas da turma de 2010 do curso de Licenciatura em Química, em especial ao Henrique, Thais, Damázio, Sinara e Douglas, pela amizade.

Aos amigos do Ciência sem Fronteiras, em especial ao Júlio, Leonardo e Gláucia, por estarem comigo nesse ano tão importante.

Aos professores do curso de Licenciatura em Química da UENF.

A todos que de alguma forma me ajudaram nessa caminhada.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE TABELAS	9
SIGLAS, ABREVIações E SÍMBOLOS.....	10
RESUMO.....	11
1 INTRODUÇÃO	12
1.1. Energias Renováveis.....	12
1.2. Energia Solar.....	13
1.3. Tipos de aproveitamento solar	16
1.3.1. Células Fotovoltaicas	16
1.3.2. Coletores solares	18
1.3.3. Concentradores solares	19
1.3.3.1 Concentrador Cilindro Parabólico.....	20
1.3.3.2 Concentrador de Torre Central.....	22
1.3.3.3 Concentrador Linear Fresnel.....	24
1.3.3.4 Concentrador Disco Parabólico.....	25
1.4. Outras aplicações da energia solar: Desinfecção.....	26
1.4.1. Métodos e reatores para desinfecção solar de água	28
1.5. Construção de um protótipo	30
2. OBJETIVOS	31
2.1. Objetivo geral	31
2.2. Objetivos específicos.....	31
3. METODOLOGIA.....	31
3.1. Processo de montagem do disco solar.....	32
3.2. Avaliação da Potência	36
3.3. Montagem do objeto de divulgação.....	38

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1. Montagem do disco solar	39
4.2 Seguimento solar	41
4.3 Medidas de calor no período de um dia	43
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fração de Energias Renováveis no total da produção energética (%).....	13
Figura 2: O Sol no ciclo da água e movimento das nuvens.....	14
Figura 3: Radiação Solar Global Horizontal Média Anual.....	15
Figura 4: Esquema de funcionamento de uma célula fotovoltaica.....	17
Figura 5: Sistema de Aquecimento solar com Geração de Energia Elétrica.....	18
Figura 6: Vista frontal do coletor.....	19
Figura 7: Esquema geral do fluxo de energia de um concentrador.....	20
Figura 8: Desenho de um coletor cilindro parabólico.....	21
Figura 9: Sistema de Geração de Energia Solar III.....	22
Figura 10: Planta de Energia Solar Andasol.....	23
Figura 11: Desenho de um Concentrador de Torre Central.....	23
Figura 12: Planta Solar PS10 na Espanha.....	24
Figura 13: Desenho de um Concentrador Linear Fresnel.....	25
Figura 14: Concentrador Linear Fresnel na PSA.....	25
Figura 15: Desenho de um Concentrador de Disco Parabólico.....	26
Figura 16: Disco parabólico na Plataforma Solar de Almería.....	26
Figura 17: Espectro Eletromagnético.....	27
Figura 18: Bancada de exposição das garrafas.....	29
Figura 19: Concentrador solar com revestimento de papel alumínio.....	30
Figura 20: Concentrador Cilindro Parabólico da Plataforma Solar de Almería.....	30
Figura 21: Disco solar de dupla reflexão e foco fixo instalado no CIEMAT.....	31
Figura 22: Disco solar montado na Casa Ecológica da UENF.....	33
Figura 23: Colagem do suporte de polietileno nos espelhos.....	34
Figura 24: Pintura dos espelhos primários.....	34
Figura 25: Montagem da estrutura de sustentação do disco solar.....	35
Figura 26: Espelho secundário e estrutura dos espelhos primários.....	36
Figura 27: Colocação dos espelhos primários.....	36
Figura 28: Focalização dos espelhos primários.....	37
Figura 29: Calorímetro utilizado para fazer medidas no disco solar.....	38
Figura 30: Placa utilizada para medição de temperatura com o calorímetro.....	38
Figura 31: Montagem do objeto de divulgação no programa <i>Movie Maker</i>	40
Figura 32: Espelhos danificados utilizados na primeira montagem do disco.....	41

Figura 33: Proteção realizada com a camada de tinta na parte posterior dos espelhos primários.....	41
Figura 34: Itens do Seguimento Solar - A: Imagem da fotocélula utilizada para controlar o foco do disco; B: Motor e roda dentada; C: Chapa metálica e botão de final de curso.....	43
Figura 35: Foco do disco, no local onde será colocado o reator onde passará a água.....	44
Figura 36: Variação de voltagem ao longo de um dia de medidas com hy-cal.....	45
Figura 37: Capturas do vídeo.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fontes de Energias Renováveis	12
Tabela 2 - Tipos de Concentradores Solares.....	20
Tabela 3 - Tabela de medidas do hy-cal para cada horário de medição.....	38
Tabela 4 - Valores medidos com o calorímetro em mV e kW m ⁻²	45

SIGLAS, ABREVIações E SÍMBOLOS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
Aa	Área do absorvedor
Ac	Área de Captação
CB-Solar	Centro Brasileiro para o Desenvolvimento da Energia Solar Fotovoltaica
CIEMAT	Centro De Investigaciones Energéticas Medioambientales Y Tecnológicas
CIFES	Centro Nacional para la Innovación y Fomento de las Energías Sustentables
CPC	Concentrador Parabólico Cilíndrico
CRESERB	Centro de Referência em Energia Solar e Eólica Sergio Salvador de Brito
Fc	Fator de Concentração
HTF	Fluido de Transferência de Calor
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
NREL	National Renewable Energy Laboratory
η	Eficiência
PET	Polietilenotereftalato
PSA	Plataforma Solar de Almería
Qabs	Quantidade de Energia Absorvida
Qin	Energia Incidente no concentrador
Qp	Quantidade de Energia Perdida
Qu	Energia Extraída pelo absorvedor
SEGS	Sistemas de Geração de Energia Solar
SODIS	Solar Disinfection
SOPAS	Pasteurização Solar
UV	Ultravioleta
UENF	Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas

RESUMO

Utilizar recursos naturais renováveis como fonte de produção de energia é uma prática cada vez mais comum e também importante para a preservação do ambiente. No Brasil, 41% da matriz energética é proveniente de recursos naturais, devido ao seu grande potencial hídrico. Das fontes de energias renováveis, destaca-se a energia Solar, disponível em abundância à nível mundial. A Radiação Eletromagnética emitida pelo Sol com fonte de produção de energia é utilizada de diversas maneiras, através de sistemas coletores e concentradores da radiação e sistemas fotovoltaicos. Os concentradores solares são agrupados de acordo com o seu funcionamento, o modo como recebem, concentram e transformam a energia solar em energia térmica ou elétrica. Além da produção de energia elétrica, a radiação Solar também pode ser concentrada para outros fins, como a dessalinização e desinfecção de água. Neste trabalho fez-se um estudo dos tipos de aproveitamento da energia Solar com foco nos sistemas concentradores da radiação. Construiu-se um disco solar concentrador, que possui um sistema de seguimento solar automático, que permite aproveitar o máximo da radiação emitida. O disco é de dupla reflexão, potencializando a concentração da radiação solar e possui espelhos multifacetados que facilitam a manutenção do concentrador. O disco foi construído com objetivo de aproveitar a energia térmica produzida para realizar a desinfecção térmica de água contaminadas com bactérias. Foram realizados testes de avaliação da potência do disco, e bons resultados para medidas de calor e temperatura no foco da radiação foram obtidos. Com isso, espera-se que o disco atenda as expectativas quanto a desinfecção térmica. Como parte deste trabalho, também confeccionou-se um vídeo de divulgação do disco solar instalado no Núcleo de Energias Alternativas da UENF.

1 INTRODUÇÃO

1.1. Energias Renováveis

As fontes de energias consideradas renováveis são aquelas que vêm de algum recurso natural e sua taxa de renovação é maior que a taxa de utilização (Souza, 2010). As principais fontes de recursos naturais e as respectivas energias geradas estão resumidas na Tabela 1 abaixo:

Tabela 1: Fontes de Energias Renováveis

Fonte Natural	Tipos de Energia Renovável
Sol	Energia Solar
Vento	Energia Eólica
Rios e Correntes de Água Doce	Energia Hidráulica
Marés e Oceanos	Energia Maremotriz e Energia das Ondas
Matéria Orgânica	Biomassa
Calor da Terra	Energia Geotérmica

Fonte: Portal Brasileiro de Energias Renováveis (2015).

Uma vantagem de se adotar recursos renováveis como fonte de energia está na redução do uso das fontes não renováveis, possibilitando melhorias no atual cenário de mudanças climáticas, uma vez que produzem pouco impacto ao ambiente comparadas aos combustíveis convencionais. Outra característica vantajosa dessas energias em relação as fontes fósseis é o fato delas serem abundantes (Martins; Pereira, 2011).

Dentro desse contexto, a porcentagem da matriz energética mundial das fontes renováveis ainda é muito pequena (13%) comparada as fontes tradicionais de energias não renováveis (87%) (Ministério de Minas e Energia, 2014). Na Figura 1, é demonstrada a fração que as energias renováveis representam na produção total de energia em cada país.

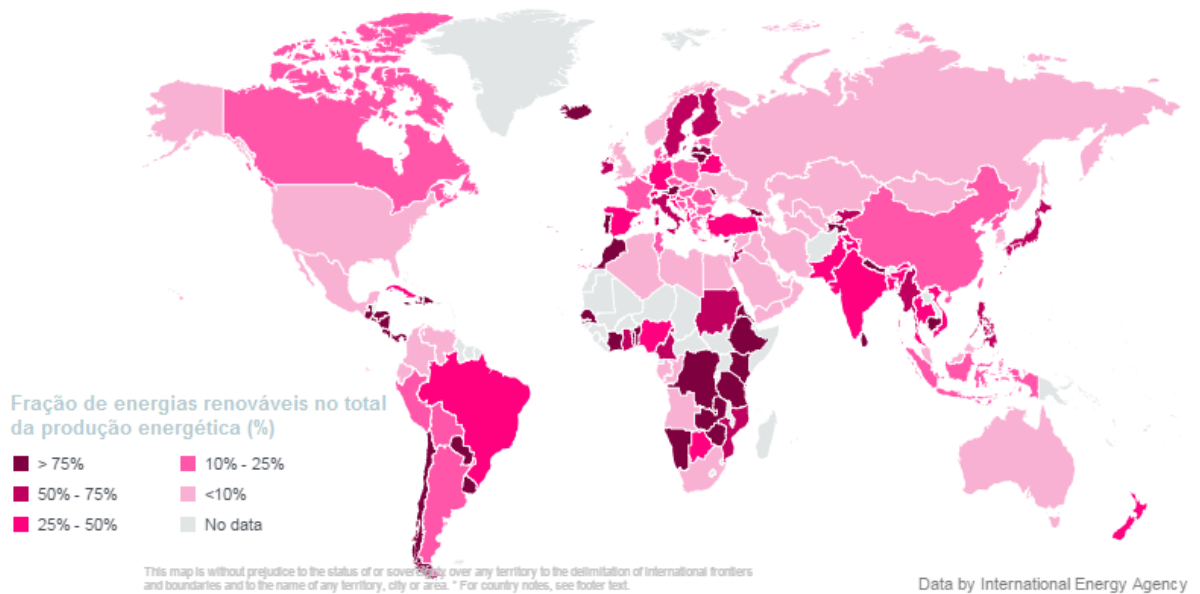


Figura 1: Fração de Energias Renováveis no total da produção energética (%) (Fonte: International Energy Agency, 2012).

Como pode-se observar, no Brasil, esse panorama é melhor que o mundial. 41% da matriz energética vêm de recursos naturais renováveis (Ministério de Minas e Energia, 2014), graças a seu grande potencial hídrico e aos programas de biocombustíveis, o que traz ao Brasil, segundo Vichi e Mansor (2009), uma grande oportunidade de se firmar como um dos líderes mundiais no setor de energia.

Ainda que não tenha alcançado números significativos comparados às fontes tradicionais de produção de energia, nas últimas décadas houve um grande crescimento das energias renováveis. Pesquisas sobre diferentes tecnologias e melhorias, tanto nos processos de captação como de armazenamento da energia vêm ganhando certo destaque. Nos Estados Unidos, patentes de energia solar e eólica cresceram em um ritmo maior que de semicondutores e comunicações digitais (Kortenhorst, 2014).

1.2. Energia Solar

O Sol é a principal fonte de energia primária presente na Terra. Ele emite radiação eletromagnética de ondas curtas responsável pelos principais processos de ordem química, física e biológica que ocorrem na atmosfera e na superfície do planeta (Querino et.al, 2011).

A energia Solar é uma fonte de energia renovável que pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica para aquecimento de ambientes e fluidos, que podem posteriormente gerar potência mecânica ou elétrica; ou pode ser convertida diretamente em energia elétrica através de materiais termoelétricos ou fotovoltaicos (Ministério do Meio Ambiente, 2015) ou ainda indiretamente, interferindo em processos que movem outras energias, como no ciclo da água, no caso das centrais hidroelétricas ou ainda no movimento dos ventos, possibilitando o funcionamento da energia eólica (figura 2).



Figura 2: O Sol no ciclo da água e movimento das nuvens.

Os fatores que influenciam na energia total incidente que chega a superfície terrestre são: as propriedades ópticas da atmosfera, como a nebulosidade e a umidade relativa do ar; a trajetória percorrida pelo Sol, que varia de acordo com o movimento de rotação da Terra em torno do seu eixo imaginário e com o movimento de translação em torno do Sol; e o relevo, a latitude e a longitude do local (Martins; Pereira, 2011).

O Atlas Brasileiro de Energia Solar, publicado em 2006 pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) traz um mapa com a radiação solar global média anual incidente em todo o Brasil (Figura 3). A Radiação global é a soma da radiação direta e difusa incidente numa superfície horizontal. Radiação direta é a radiação incidente que não sofreu espalhamento e radiação difusa é aquela decorrente do espalhamento causado por algum constituinte atmosférico (Fiorin et.al, 2011).

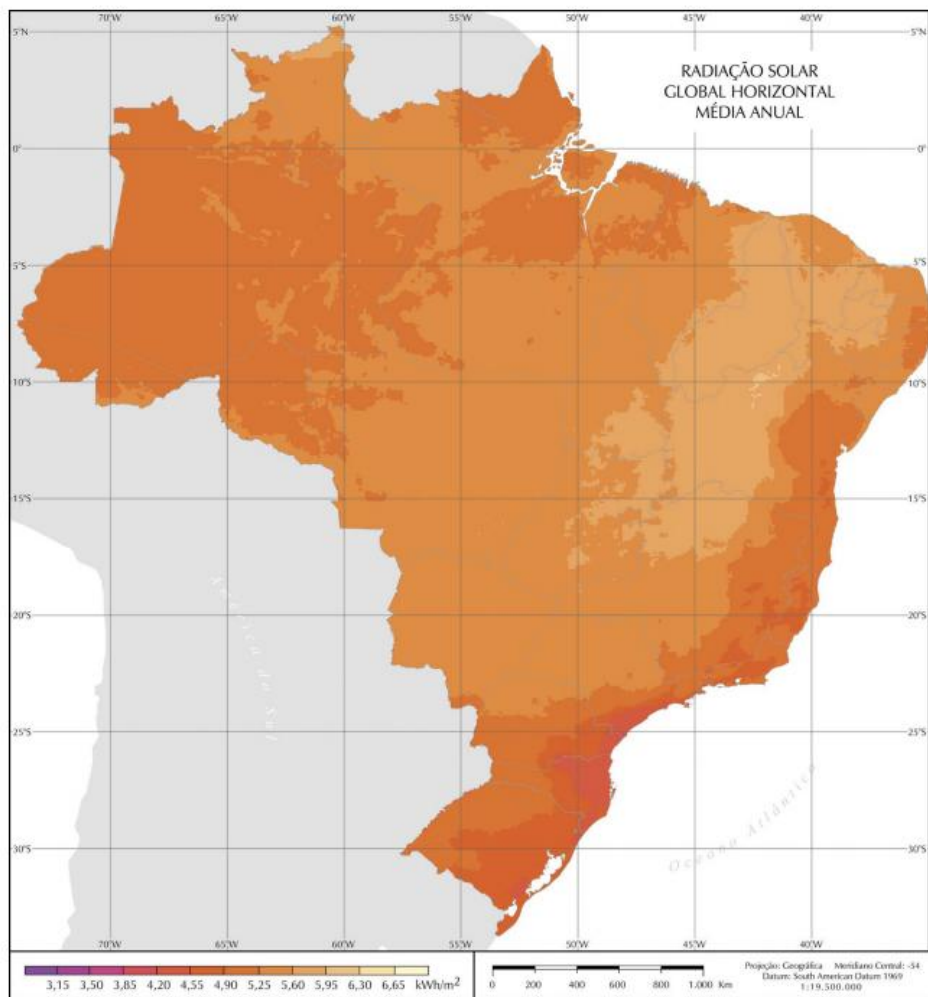


Figura 3: Radiação Solar Global Horizontal Média Anual (Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2006).

A região de maior incidência solar global (em torno de $6,5 \text{ kWh m}^{-2}$) é no Nordeste, mais especificamente no norte do estado da Bahia; e a região de menor incidência solar global (em torno de $4,25 \text{ kWh m}^{-2}$) fica no Sul do país, no litoral norte do Estado de Santa Catarina. O país possui uma boa uniformidade na irradiação e valor médio de incidência alto em todo seu território, sendo que estes valores ultrapassam os observados em países europeus como Alemanha, Espanha e França, que apresentam grandes números de projetos destinados ao uso de energia solar (Altoé; Carlo, 2012).

No Brasil, também há alguns centros que dedicam sua pesquisa a projetos com este objetivo, como o Centro Brasileiro para o Desenvolvimento da Energia Solar Fotovoltaica (CB-Solar) e o Centro de Referência em Energia Solar e Eólica Sergio Salvador de Brito (CRESERSB).

Uma das principais barreiras na utilização da energia solar é o seu custo elevado, devido aos equipamentos usados no aproveitamento dessa energia. No entanto, este vem sendo reduzido drasticamente e estudos apontam que até meados desta década seu custo será competitivo com o das tradicionais formas de geração de energia (Pitz-Paal et al., 2005; EREC/Greenpeace, 2008; Viebahn et al., 2008; Martins, Pereira, 2011).

Solucionando a problemática do custo elevado, a energia solar pode ser considerada o recurso renovável mais promissor. Principalmente em países como o Brasil, que recebe radiação solar favorável (valor médio alto e baixa variabilidade sazonal) aos diferentes tipos de aproveitamento da energia.

1.3. Tipos de aproveitamento solar

Os principais tipos de aproveitamento solar direto estão ligados a geração de energia. Para gerar energia térmica são utilizados os coletores e concentradores solares. Os concentradores solares também podem gerar energia elétrica a partir da energia térmica produzida. Para geração de energia elétrica diretamente da energia solar são utilizados sistemas fotovoltaicos.

1.3.1. Células Fotovoltaicas

As células fotovoltaicas funcionam através do chamado efeito fotovoltaico. Este efeito ocorre quando a luz solar (ou outras formas de energia) incide sobre determinados materiais e resulta na excitação dos elétrons (Figura 4). Este efeito caracteriza uma conversão direta de energia solar em energia elétrica, e foi observado pela primeira vez por Edmond Becquerel, em 1839, que percebeu que alguns materiais produziam pequenas quantidades de corrente elétrica quando eram expostos à luz (Bandeira, 2012).

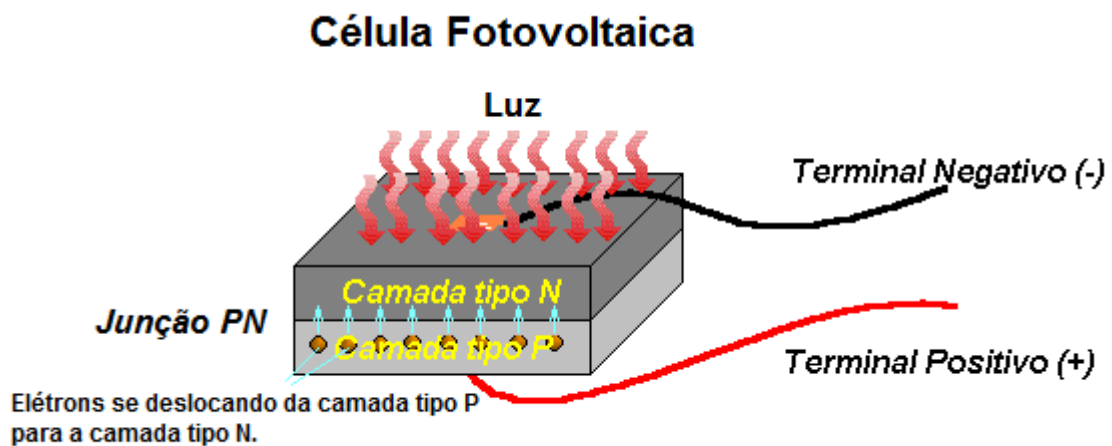


Figura 4: Esquema de funcionamento de uma célula fotovoltaica (Fonte: Algo Sobre, 2015)

Dentre os materiais que podem compor as células fotovoltaicas, destaca-se o silício. A eficiência de uma célula fotovoltaica é calculada em função da proporção da radiação solar incidente sobre a sua superfície convertida em energia elétrica (ANEEL, 2015).

As aplicações deste tipo de material são as mais variadas, como por exemplo: fornecimento de energia elétrica para locais onde outras fontes não são possíveis ou adequadas; iluminação pública; fornecimento de energia elétrica para calculadoras e relógios de pulso; até sinalizações e equipamentos de comunicação em estradas.

Os sistemas fotovoltaicos, compostos de várias células ligadas em série ou paralelo, funcionam também em dias nublados. Sua eficiência vai depender da densidade das nuvens (Ministério do Meio Ambiente, 2015). Os sistemas podem ser isolados, onde normalmente utilizam um método de armazenamento de energia ou sistemas híbridos, que utilizam além das células fotovoltaicas, outro tipo de geração de energia elétrica e sistemas conectados à rede, em que toda a energia elétrica gerada é diretamente entregue a rede de distribuição (Ferreira, Silva, 2010). Neste sentido, a Espanha possui em todo o território, as chamadas “hortas solares”, que são terrenos de cooperativas ou de empresas que estão ocupadas com painéis fotovoltaicos, que ao gerar energia para sua própria utilização, também vendem para as companhias de energia elétrica.

Frateschi e Oliveira (2015) desenvolveram um sistema híbrido capaz de fazer o aquecimento solar da água ao mesmo tempo em que gera energia elétrica através de células fotovoltaicas, com eficiência até 30% maior do que os sistemas

convencionais. Esta tecnologia foi desenvolvida por pesquisadores da UNICAMP, em Campinas e há possibilidade de adaptá-la para atender sistemas industriais (Figura 5).



Figura 5: Sistema de Aquecimento solar com Geração de Energia Elétrica (Fonte: Frateschi; Oliveira, 2015).

1.3.2. Coletores solares

Os coletores solares são dispositivos capazes de captar a energia do Sol e convertê-la em energia térmica. Sua aplicação mais simples está nos sistemas de aquecimento de água, sobretudo no setor residencial, devido ao seu alcance de temperatura relativamente baixo (inferior a 100 °C). Os coletores são compostos de uma superfície coletora, onde a energia solar vai incidir sobre, e um reservatório que vai armazenar a água aquecida pela radiação solar. A superfície coletora deve possuir uma cobertura translúcida ou transparente, onde a reflexão da radiação incidente seja a menor possível (Mendonça, 2009).

Ao adotar os coletores solares para o aquecimento de água é importante prever uma forma auxiliar de aquecimento ou um sistema de armazenamento para os períodos noturnos ou dias nublados e chuvosos. Os coletores são normalmente instalados no teto das residências e edifícios. Para suprir uma residência típica, com três ou quatro moradores, é necessária uma área de 4 m² de coletor (Bandeira, 2012).

Altoé e colaboradores (2012) simularam através do programa *EnergyPlus* um sistema solar térmico com apoio elétrico para o fornecimento de água quente de uma residência unifamiliar, para as condições climáticas de Viçosa, MG. A substituição do chuveiro elétrico pelo sistema analisado contribuiu com uma

economia de 70% no consumo de energia elétrica destinado ao aquecimento de água, e 36% no consumo geral da residência.

Basso e colaboradores (2010) analisaram um sistema voltado para residências rurais, visando a economia de energia elétrica. O protótipo construído na Faculdade Assis Gurgacz, em Cascavel - PR (Figura 6) apresentou-se viável, alcançando temperatura mínima para banho (35 °C) na maioria dos dias do estudo.



Figura 6: Vista frontal do coletor - Lados esquerdo inferior e direito superior, os sensores de temperatura (Fonte: Basso et. al, 2010).

1.3.3. Concentradores solares

Investigações arqueológicas feitas no Egito indicam que povos que viveram na há 3000 a.C., utilizavam espelhos para direcionar a luz do Sol para o interior de minas e túneis. A lenda dos espelhos de Arquimedes conta que durante a 2^a Guerra Púnica, Arquimedes construiu um espelho côncavo para concentrar os raios do Sol sobre o barco inimigo, conseguindo incendiá-lo a distância (Vieira et. al, 2008).

Assim como os coletores solares, os concentradores transformam a energia solar em energia térmica. São sistemas que alcançam elevadas temperaturas, pois são compostos de uma grande área espelhada que concentra a radiação solar em um ponto específico de área muito menor, denominado, foco. Para alcançar temperaturas mais elevadas, os coletores podem vir acompanhados de um sistema de acompanhamento do Sol durante o dia (Ferreira, 1993).

Uma das principais aplicações dos concentradores é a produção de vapor, que posteriormente pode gerar energia elétrica, em processo semelhante ao de uma termoelétrica convencional (Bandeira, 2012).

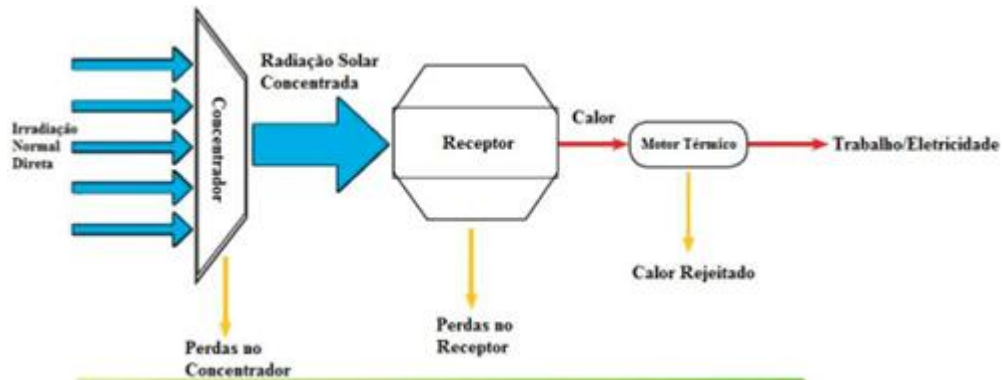


Figura 7: Esquema geral do fluxo de energia de um concentrador (Fonte: Bianchini, 2013).

Os concentradores estão divididos em quatro grandes grupos: Cilindro Parabólico, Torre Central, Linear Fresnel e Disco Parabólico. E podem ser classificados de acordo com o tipo de foco e o tipo de receptor.

Tabela 2: Tipos de Concentradores Solares

	Foco linear	Foco pontual
Receptor fixo	Linear Fresnel	Torre Central
Receptor móvel	Cilindro Parabólico	Disco Parabólico

Quanto ao tipo de receptores, os concentradores podem possuir receptor fixo ou receptor móvel, que segue o movimento do Sol junto com o concentrador. Em relação ao foco, podem possuir foco linear, em que os coletores se orientam em 1 eixo e concentram a radiação em um foco linear; ou podem se orientar em 2 eixos, concentrando a radiação sobre um foco pontual (CIFES, 2015).

1.3.3.1 Concentrador Cilindro Parabólico

O concentrador cilindro parabólico é composto de um semi-cilindro de espelhos com formato parabólico, que concentram os raios solares sobre um tubo receptor. Dentro deste tubo circula um fluido de alta capacidade térmica chamado de Fluido de Transferência de Calor (HTF - *Heat Transfer Fluid*), o qual, geralmente é um

óleo, mas também pode ser um sal fundido, ou alguma outra substância que possua alta capacidade térmica. Este fluido aquece a água, transformando-a em vapor. Esse vapor é levado a uma turbina, para gerar eletricidade (Bianchini, 2013).

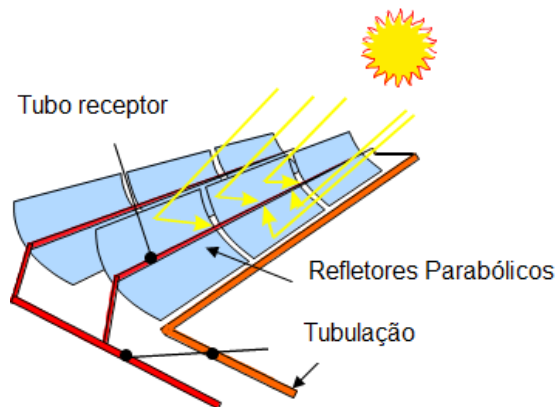


Figura 8: Desenho de um coletor cilindro parabólico (Fonte: Bianchini, 2013).

O cilindro parabólico é a tecnologia de concentração de calor mais utilizada, e se encontra em etapa comercial. As plantas solares que utilizam este tipo de tecnologia podem gerar potência na faixa de 50 até 300 MW, que é o caso dos Sistemas de Geração de Energia Solar (SEGS), localizado no deserto de Mojave, na Califórnia, Estados Unidos (Figura 9), a maior planta solar em operação do mundo, com uma capacidade de 354 MW (CIFES, 2015).



Figura 9: Sistema de Geração de Energia Solar III (Fonte: NREL, 2015)

A primeira planta solar da Europa que utilizou concentradores cilindro parabólicos para fins comerciais é a Andasol, localizada na região da Andalúcia, na Espanha, e é dividida em três instalações de 50 MW cada uma. O Fluido de Alta Capacidade Térmica utilizado é uma mistura de sais inorgânicos fundidos, e a energia solar é armazenada, podendo assim gerar eletricidade durante a noite.



Figura 10: Planta de Energia Solar Andasol (Fonte: RWE, 2015).

1.3.3.2 Concentrador de Torre Central

Este concentrador é composto de uma torre central com um receptor instalado no topo, e um campo de heliostatos ao redor, refletindo a radiação solar para o receptor. Os heliostatos são espelhos refletivos montados sobre uma superfície que permite que os espelhos se movimentem de maneira que a radiação solar direta seja refletida constantemente para o receptor (Medina, 2014).

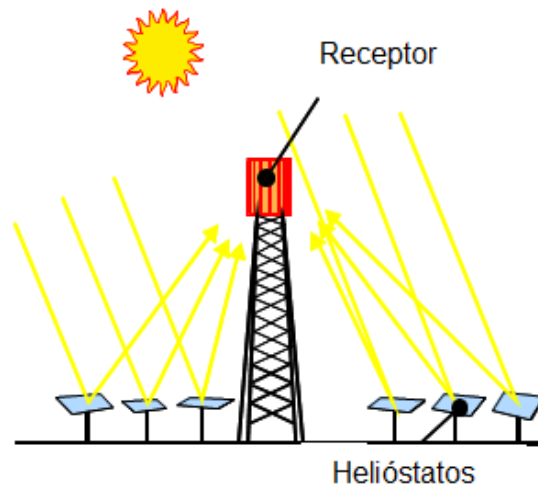


Figura 11: Desenho de um Concentrador de Torre Central (Bianchini, 2013).

Algumas torres geram vapor diretamente no receptor, enquanto outras utilizam algum fluido de transferência de calor. Este tipo de concentrador alcança temperaturas de até 1000 °C, e sua faixa de potência é entre 10 e 50 MW. É uma tecnologia mais recente que a de cilindro parabólico e se encontra em fase de demonstração. A planta Abengoa Solar PS10 na Espanha possui um sistema de concentração solar de torre central, e é a primeira planta deste tipo conectada à rede elétrica, de caráter puramente comercial. Foi inicialmente testada na Plataforma Solar de Almería (NREL, 2015).



Figura 12: Planta Solar PS10 na Espanha (Fonte: Greenpeace, 2015)

1.3.3.3 Concentrador Linear Fresnel

Este tipo de concentrador tem sua estrutura similar ao cilindro parabólico e é composto de uma estrutura de espelhos primários planos ou ligeiramente curvos que giram em dois eixos para refletir a radiação para um tubo absorvedor que está fixo em uma estrutura, e acima do tubo há um espelho secundário cilíndrico, refletindo a radiação que se desviou da sua trajetória e concentrando-a também no tubo absorvedor. Também haverá um fluido de transferência de calor circulando dentro do tubo receptor (CIFES, 2015).

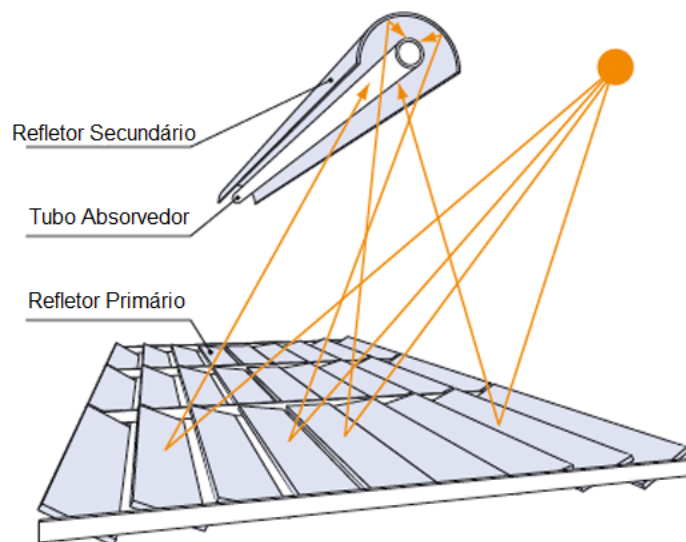


Figura 13: Desenho de um Concentrador Linear Fresnel (Fonte: Solar Euromed, 2015).

A maioria das plantas que utilizam este sistema ainda são plantas piloto com potência de até 6 MW.



Figura 14: Concentrador Linear Fresnel na PSA (Fonte: PSA, 2015).

1.3.3.4 Concentrador Disco Parabólico

Este concentrador é formado por um disco refletor de forma parabólica que concentra a radiação solar no receptor. Junto do receptor há um fluido de trabalho que é aquecido e aciona um motor de tipo Stirling e um gerador, produzindo eletricidade diretamente e evitando perdas térmicas (Medina, 2014).

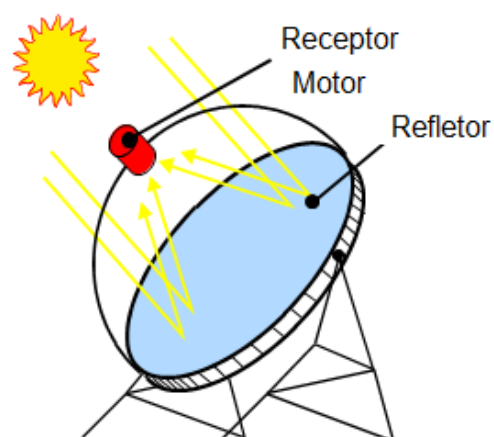


Figura 15: Desenho de um Concentrador de Disco Parabólico (Bianchini, 2013).

Este é o sistema de concentração de calor mais eficiente. Por possuir seguimento solar em dois eixos, é capaz de acompanhar e refletir a radiação solar

durante todo o dia. Atinge temperaturas muito elevadas de até 1500 °C, possui alto fator de concentração e baixas perdas térmicas. Sua faixa de potência vai de 10 a 25 kW por unidade. Plantas solares com esse tipo de tecnologia ainda estão em fase de desenvolvimento e melhoramento (CIFES, 2015).



Figura 16: Disco parabólico na Plataforma Solar de Almería (Fonte: PSA, 2015).

1.4. Outras aplicações da energia solar: Desinfecção

Um outro tipo de aproveitamento da energia solar, além da produção de energia, é a desinfecção. A radiação solar como fonte de energia em processos de desinfecção de água é uma alternativa muito promissora e tem sido frequentemente estudada nos últimos anos (Tanaka et. al, 2003; Paterniani et. al, 2005; Botto et. al, 2008; Reinaldo et. al, 2012). Tendo como fonte principal um recurso renovável, sem custo e disponível para todos, é um método que pode melhorar a qualidade de vida e as condições de saneamento básico de populações que não têm acesso à água potável, números que podem ser bem representativos em países subdesenvolvidos.

O processo de desinfecção que usa a energia solar como agente desinfetante age de diferentes formas (Amaral et. al., 2006):

- a radiação do tipo infravermelha, que causa o aquecimento da água;

- a radiação de luz ultravioleta, irradiando os micro-organismos e danificando seu material genético ou a formação de formas reativas de oxigênio que funcionam como oxidantes para estes micro-organismos.

Dentre os comprimentos de onda do espectro de radiação solar (Figura 17), o que corresponde a ação bactericida são as faixas correspondentes aos raios UV-A e do espectro violeta da luz visível, já que os raios UV-B e UV-C são quase todos retidos pela camada de ozônio (Wegelin et al, 1994; SODIS, 2015; Silva, 2004).

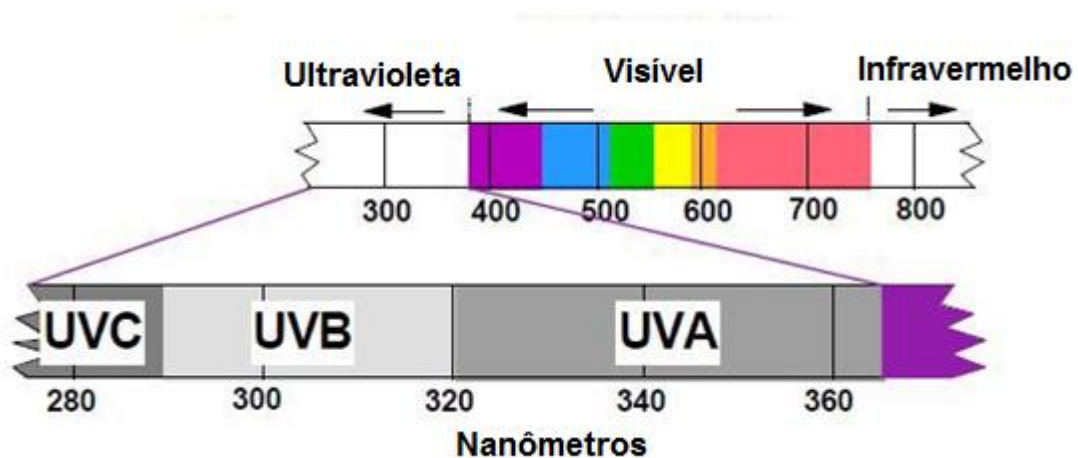


Figura 17: Espectro Eletromagnético.

Alguns trabalhos apresentados na literatura que utilizam o tratamento térmico normalmente utilizam o sol como fonte de energia e associam com a radiação UV, sendo difícil aferir se a remoção dos patógenos é devido ao aumento de temperatura ou à radiação (Gómez-Couso et al, 2012; King e Monis, 2007, Paterniani e Silva, 2005). A eficiência do processo normalmente é aumentada com a utilização de reatores, o mais comum é do tipo concentrador parabólico cilíndrico, CPC (do inglês *compound parabolic concentrators*). A temperatura da água que está sendo exposta a um tratamento solar é aumentada e auxilia no processo de desinfecção, sendo um aliado importante para matar patógenos (Gómez-Couso et al, 2012).

Para o uso desse recurso como método de desinfecção devem ser levados em conta a distribuição dessa energia de acordo com os efeitos espaciais e sazonais. A faixa de latitude entre 15°S e 35°N é a mais indicada. Nas regiões semiáridas, o tempo médio de exposição ao sol é de 3000 horas por ano. Nas regiões mais chuvosas, entre 15°S e 15°N, diminui o tempo de insolação devido a intensidade das

chuvas, e o tempo médio de exposição cai para 2500 horas por ano. No que diz respeito aos efeitos sazonais, a intensidade da radiação UV-A depende da latitude do local, sendo que as regiões mais próximas ao equador são as de menor amplitude (SODIS, 2015; Silva, 2004).

1.4.1. Métodos e reatores para desinfecção solar de água

Tanaka e colaboradores (2003) utilizaram um sistema automatizado de aquecimento solar, com base em um coletor solar plano, para fazer a desinfecção de água contaminada com fitopatógenos e obteve-se boa eficiência da técnica na eliminação do inoculo da maioria dos patógenos à uma temperatura de 60 °C. Botto e colaboradores (2009) utilizaram de energia solar para fazer o processo de desinfecção em batelada, com água expostas ao sol em garrafas PET (Politereftalato de etileno) (Figura 18) por um período de seis horas (9 às 15 horas) e conseguiu-se reduzir a concentração de coliformes termotolerantes em até quatro unidades logarítmicas. Reinaldo e colaboradores (2012), com a ajuda de um reator solar, conseguiram com um tempo de exposição solar de 12 horas uma remoção de até 99,99% de coliformes termotolerantes. O reator utilizado foi feito de fibra de vidro em formato cilíndrico conforme as recomendações de Sanches-Roman e colaboradores (2007).



Figura 18: Bancada de exposição das garrafas (Botto, 2009).

Um método que já vêm sendo aplicado como tratamento de água potável em alguns países em desenvolvimento da África, Ásia e América Latina é o Método SODIS (Solar Disinfection), que consiste em deixar a água a ser desinfetada em garrafas PET expostas ao sol por um período de 6 horas. É eficiente na inativação de patógenos como bactérias, vírus e parasitas. Paterniani e colaboradores (2005) avaliaram o uso de um dispositivo concentrador de raios solares na desinfecção pelo método SODIS (Figura 19), reduzindo o tempo de exposição de 6 para 4 horas, sem prejuízo na eficiência do método; e obtendo além da desinfecção, a pasteurização solar (SOPAS) com o tempo de 6 horas de exposição, alcançando uma temperatura de 70 °C que inativou 100% das bactérias.

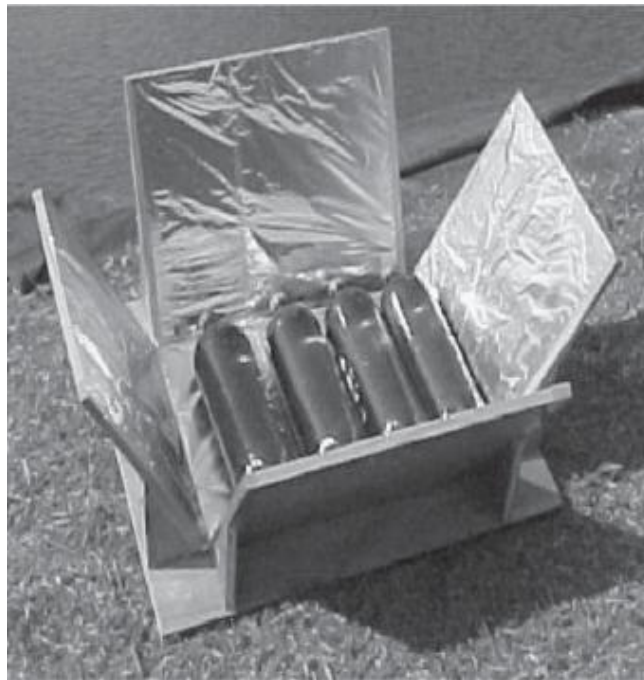


Figura 19: Concentrador solar com revestimento de papel alumínio (Paterniani et. al, 2005).

Fernandez e colaboradores (2005) realizaram um estudo sobre a desinfecção de água a partir da fotocatalise solar usando concentradores cilindro parabólicos (Figura 20). Este concentrador se mostrou eficiente, e a desativação total de bactérias *E. coli* ocorreu pela combinação da luz solar e das espécies oxidantes geradas pelo TiO_2 .



Figura 20: Concentrador Cilindro Parabólico da Plataforma Solar de Almería (Fonte: Fernandez et. al., 2005)

1.5. Construção de um protótipo

Com o objetivo de testar um sistema de desinfecção utilizando luz solar e concentradores de calor foi construído, na UENF, um disco concentrador da radiação solar de acordo com as recomendações de Cruz e Bolmant S. L. (2011). Este disco capta a luz solar através de pequenos espelhos e reflete para um espelho secundário, o qual concentra a reflexão em um foco. Neste foco é instalado um sistema para passagem da água que é aquecida a alta temperatura, para promover a desinfecção da mesma. Este sistema possui baixo custo e ocupa pouco espaço, comparado a outros tipos de concentradores, não consome reagentes químicos, além de utilizar energia renovável e precisar de pouca manutenção. Os fatores de concentração e temperatura alcançados são comparáveis com equipamentos maiores e mais caros disponíveis no mercado.

O disco é um concentrador da radiação solar de dupla reflexão e foco fixo, que se orienta segundo a posição do sol. A estrutura que contém o conjunto de espelhos primário e secundário para a dupla reflexão é perpendicular à direção da radiação solar direta (Figura 21).



Figura 21: Disco solar de dupla reflexão e foco fixo.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Compreender e participar da montagem de um disco solar destinado a desinfecção térmica de bactérias.

2.2. Objetivos específicos

- 1- Compreender os diferentes tipos de aplicações da radiação solar;
- 2- Participar da montagem de um disco solar que será utilizado para desinfecção de águas;
- 3- Realizar ensaios de temperatura no foco do disco solar;
- 4- Montar um objeto de divulgação do disco para o Núcleo de Energias Alternativas da UENF.

3. METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho consiste na remontagem do protótipo de um disco concentrador da radiação solar de acordo com as recomendações de Cruz y Bolmant S. L. (2011), que será utilizado para a desinfecção de águas contaminadas com *Escherischia coli*. O disco solar foi construído nas instalações do Núcleo de Energias Alternativas da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro

(UENF). Em sua primeira montagem, houve uma tempestade de vento e a estrutura do disco solar foi danificada. Para a realização deste estudo, o disco foi montado novamente, com uma estrutura de sustentação mais resistente.

O disco solar construído é de dupla-reflexão, espelhos primários refletem a radiação solar para um espelho secundário e este reflete e concentra toda a radiação em um foco. Possui um sistema automático de seguimento solar alimentado por uma placa fotovoltaica e controlado por uma fotocélula.



Figura 22: Disco solar montado na Casa Ecológica da UENF. 1- Placa fotovoltaica. 2 – Espelho secundário. 3 – Foco da Radiação. 4 – Roda dentada responsável pela rotação do disco (seguimento solar). 5 – Espelhos primários. 6 – Compartimento da bateria que alimenta o sistema.

3.1. Processo de montagem do disco solar

O disco solar foi construído segundo as orientações do idealizador Sr. Emílio Cruz, nas instalações do Núcleo de Energias Alternativas da Universidade Estadual

do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF). Em sua primeira montagem, houve uma tempestade de vento e a estrutura do disco solar foi danificada. Para a realização deste estudo, o disco foi montado novamente, com uma estrutura de sustentação mais resistente. A montagem foi feita de acordo com os procedimentos descritos abaixo:

- Preparação dos espelhos primários

A estrutura dos espelhos primários é dividida em 16 setores. Cada setor foi preenchido com espelhos de 10 cm x 10 cm. Em cada espelho foi colado, com cola de silicone (Tytan neutra), um suporte de polietileno preenchido com um cano de alumínio, como mostra a figura 23. Após 24 horas de cura, a parte de trás dos espelhos foi pintada com tinta spray multiuso na cor branco brilhante (Sulvinil) (Figura 24). O tempo de secagem da tinta foi de 72 horas.

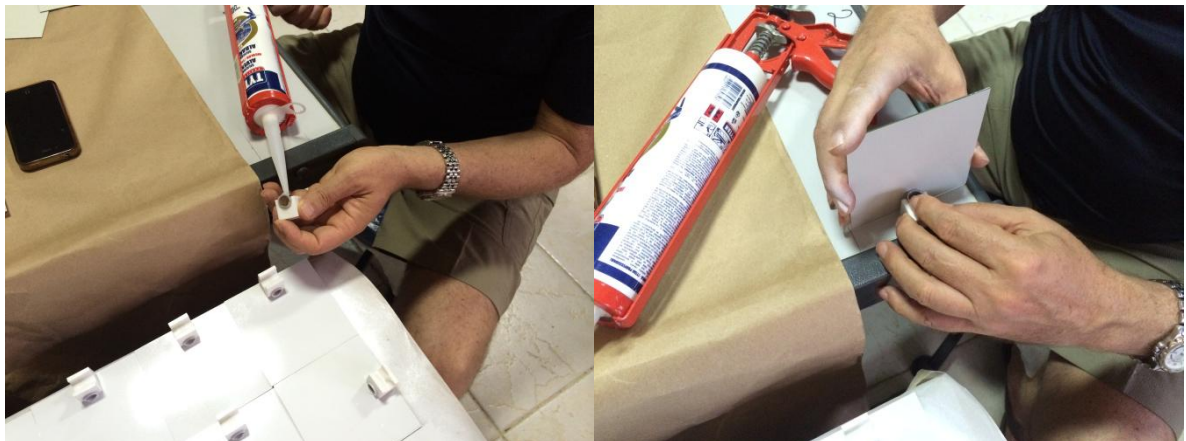


Figura 23: Colagem do suporte de polietileno nos espelhos.



Figura 24: Pintura dos espelhos primários.

- Estrutura de sustentação do disco solar

Uma estrutura de apoio feita de ferro foi construída para sustentar o disco (Figura 25). Esta estrutura sustenta o eixo de rotação junto com a roda dentada, responsável pela rotação do disco. No centro do eixo de rotação foram presas quatro hastes que sustentam o espelho secundário e a estrutura dos espelhos primários.



Figura 25: Montagem da estrutura de sustentação do disco solar.

- Estrutura dos espelhos primários e secundário

O espelho secundário foi fixado no topo das hastes, e acima dele, foi colocada o painel fotovoltaico (Yingli-96Wp) que alimenta a bateria do sistema.

A estrutura circular dos espelhos primários é dividida em 16 setores. Cada setor possui 13 hastes de alumínio, onde serão fixados 59 espelhos primários de 10 x 10 cm, totalizando 944 espelhos. Essa estrutura foi feita de alumínio para tornar o disco mais leve e facilitar a sua manipulação.



Figura 26: Espelho secundário e estrutura dos espelhos primários

Após fixar a estrutura circular de alumínio nas hastes de ferro, foram colocados os espelhos primários fixados através dos suportes de polietileno (Figura 27).

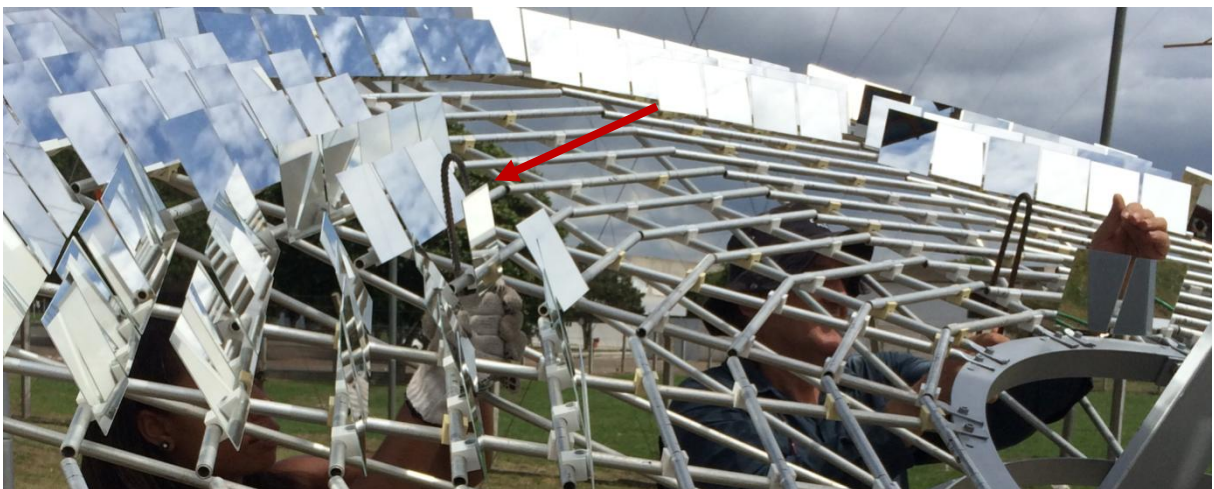


Figura 27: Colocação dos espelhos primários.

- Focalização do disco

O disco foi posicionado no solo de acordo com as coordenadas de Campos dos Goytacazes (Latitude: $21^{\circ} 45' 16''$ Sul Longitude: $41^{\circ} 19' 28''$ Oeste.), e com a ajuda de uma bússola, na direção Norte, para o melhor aproveitamento e acompanhamento da luz solar durante o dia. Também há o posicionamento com a

variação das estações do ano, a qual é feita manualmente, no centro do disco, quando necessário.

- Focalização dos espelhos primários

Como o disco possui um sistema de dupla reflexão, cada espelho primário foi focalizado manualmente (Figura 28), ajustando a sua posição através dos suportes de polietileno, para que refletisse a radiação solar no espelho secundário e esse então pudesse refletir toda a radiação para o mesmo foco central.



Figura 28: Focalização dos espelhos primários.

3.2. Avaliação da Potência

Os testes para verificação da capacidade de radiação alcançada no centro do disco solar foram realizados através de um calorímetro da marca Hy-cal Engineering (modelo C-1301-A-30-72) (Figura 29). Este calorímetro, abastecido com água foi colocado em diferentes locais de uma placa de metal colocada no local onde ficará o reator de passagem de água (foco central do disco) (Figura 30). Em cada ponto o calorímetro foi mantido por 5 segundos e foi medida a tensão produzida através de um multímetro Minnipa. Os dados de tensão foram correlacionados com os valores em kW m^{-2} , de acordo com o certificado de calibração fornecido pelo fabricante.



Figura 29: Calorímetro utilizado para fazer medidas no disco solar



Figura 30: Placa utilizada para medição de temperatura com o calorímetro.

As medidas foram realizadas inicialmente três vezes ao dia (8h, 13h e 18h), porém, para ter um resultado mais completo da variação de temperatura durante todo o dia, as medidas foram feitas a cada hora, entre 8h e 18h.

Os valores em milivolt foram anotados em uma tabela considerando a posição de cada orifício (tabela 3).

Tabela 3: Tabela de medidas do hy-cal para cada horário de medição.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									

3.3. Montagem do objeto de divulgação

Como parte deste trabalho foi confeccionado um vídeo educativo para divulgação do disco solar instalado no Núcleo de Energias Alternativas da UENF. Este vídeo será exibido aos visitantes do Núcleo, com o objetivo de informá-los sobre o projeto ali instalado.

O vídeo é dividido em 4 partes:

- Introdução;
- Montagem;
- Seguimento Solar;
- Aplicação.

A parte inicial introduz o disco solar, define o que é um concentrador e suas funções. Em seguida o vídeo traz as etapas da montagem, com fotos de todo este processo e as respectivas descrições, além de indicações das partes principais de sua estrutura. A etapa do seguimento solar explica como este processo é realizado.

Por último, o vídeo apresenta a aplicação do disco solar, neste caso o objetivo inicial que é a desinfecção térmica da água.

Este objeto de divulgação foi confeccionado através do programa *Movie Maker*, combinando arquivos de textos, imagens, vídeos e áudios.

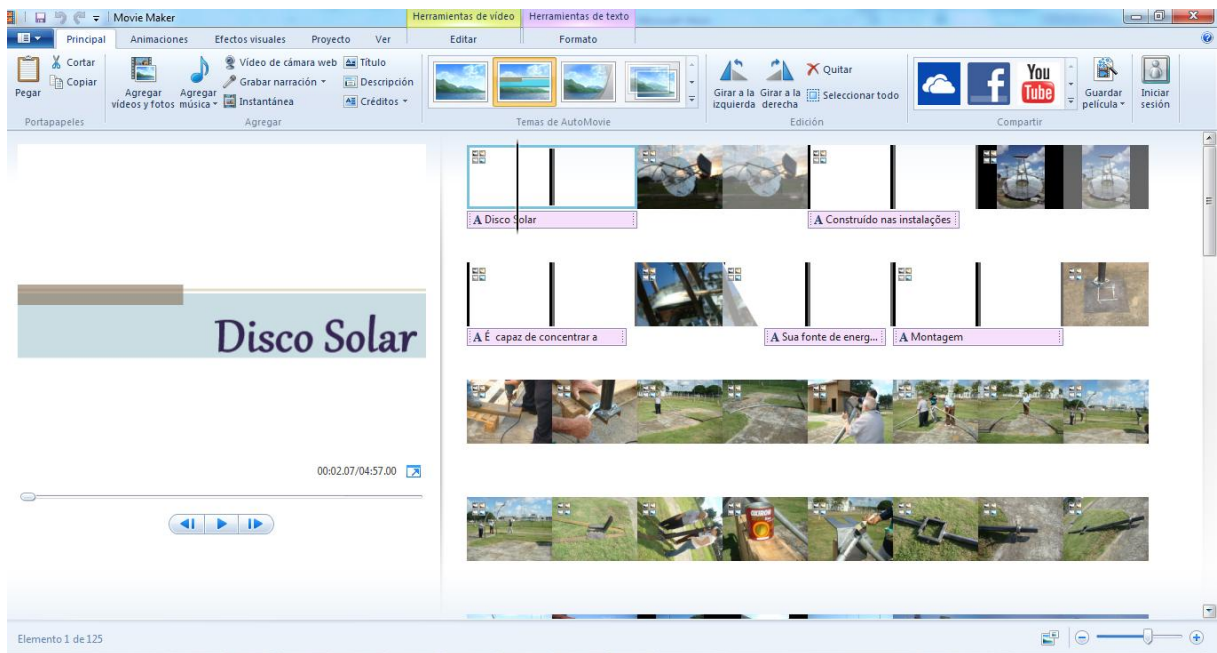


Figura 31: Montagem do objeto de divulgação no programa *Movie Maker*.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Montagem do disco solar

O processo de remontagem do disco solar apresentou algumas dificuldades, devido algumas peças terem sido danificadas após o acidente da primeira vez em que foi montado. Algumas puderam ser reutilizadas, outras foram consertadas e algumas precisaram ser trocadas. Como todo o material utilizado na confecção do disco foi importado da Espanha, as peças novas que substituíram as danificadas também tiveram de ser importadas neste processo de remontagem e algumas modificações foram necessárias e realizadas aqui no Brasil.

Os espelhos usados anteriormente não puderam ser reaproveitados porque eles sofreram um processo de corrosão (Figura 32). Inicialmente, pensou-se que seria apenas nas bordas, parte menos protegida pela camada de tinta sobre a camada espelhada. No entanto, observou-se que havia pontos de corrosão na parte

central dos espelhos (Figura 32). Segundo trabalhos da literatura, a umidade e o calor favorecem uma reação eletroquímica no metal do espelho, fazendo com que haja um processo de auto-corrosão (Ortero, 2001). Isto acontece quando a camada de tinta protetora sobre a camada refletora não isola totalmente a água e o oxigênio do metal, e o aumento de temperatura cria condições termodinâmicas favoráveis para que isto ocorra.



Figura 32: Espelhos danificados utilizados na primeira montagem do disco

Sendo assim, procurou-se uma tinta que pudesse ser facilmente aplicada na parte posterior dos espelhos, que suportasse as intempéries e, portanto, protegessem a parte espelhada dos pequenos espelhos.



Figura 33: Proteção realizada com a camada de tinta na parte posterior dos espelhos primários.

Este sistema de pequenos espelhos, ou seja, multifacetado, tem a vantagem de não promover resistência ao vento e ter uniformidade na parte espelhada, que os discos Stirling não possuem. Além disso, se há algum dano em uma parte do sistema refletor, a troca é bastante facilitada. Este disco solar também foi construído

para ser leve e autônomo, sendo o sistema de seguimento solar abastecido por uma bateria, alimentada por uma placa fotovoltaica.

4.2 Seguimento solar

O sistema de seguimento solar é feito de modo a conseguir o melhor aproveitamento da radiação. Para isso, é preciso levar em conta que a intensidade da radiação solar que chega a superfície depende da inclinação do eixo de rotação da Terra e do seu movimento de translação, que descreve uma órbita elíptica em torno do Sol.

O eixo de rotação da Terra faz um ângulo de $23,45^\circ$ com a direção normal, com o plano da elíptica. Esta inclinação é responsável pelas variações sazonais da posição aparente do Sol, e conseqüentemente da variação da radiação que incide sobre a superfície também. Quando a posição do Sol atinge o seu limite, seja ao norte ou ao sul, é chamado de Solstício. O solstício de verão é quando atinge o limite ao sul, e o de inverno quando atinge o limite ao norte. O solstício de verão no hemisfério sul ocorre ao mesmo tempo que o solstício de inverno no hemisfério norte. No entanto, há dois dias no ano em que a radiação que incide sobre os hemisférios norte e sul é igual, estes são chamados de equinócios de primavera e de outono (Torres, 2012). Portanto, a radiação solar é sempre maior numa área que se estende perpendicularmente em relação aos raios solares. Uma vez que o azimute¹ e a altura solar (ângulo que o sol faz com o plano horizontal) mudam ao longo do dia e do ano, o ângulo de incidência da radiação solar varia constantemente na maior parte das áreas potenciais ao aproveitamento da energia solar.

Sendo assim, para que o disco esteja sempre aproveitando o máximo da radiação solar é importante que ele acompanhe o movimento do Sol ao longo do dia, e também acompanhe a posição em que ele se encontra de acordo com a época do ano. No Brasil o disco deve estar voltado para o Norte geográfico com uma inclinação que varia de 25° a 30° .

¹ Azimute é uma medida de abertura angular cujo valor em graus perfaz horizontalmente um círculo que vai do norte geográfico até a intersecção do brilho de uma estrela, refletido na superfície mar, com o horizonte marítimo. Originalmente, representa uma direção definida em função de sua separação angular a um ponto de origem, o Norte astronômico.

O disco foi então posicionado e orientado com a ajuda de uma bússola, de modo que a sua inclinação em relação ao plano da eclíptica permita que todos os espelhos primários estejam voltados para o Sol, recebendo a maior quantidade de radiação. O ajuste desta inclinação é feito manualmente sempre que necessário, no centro do disco.

O disco é ligado pela manhã, acompanha o movimento do Sol, mantendo-se focalizado através do controle pela fotocélula (Figura 34A). A fotocélula, quando é iluminada pela radiação solar, gera uma corrente que corta a alimentação de energia do motor. Como o motor e a roda dentada é mais rápido do que o movimento do Sol, esta fotocélula está posicionada para que seja iluminada quando o disco andar muito rápido e sair do foco. Assim, o motor para e quando volta a ter sombra sobre a fotocélula, o motor volta a funcionar (figura 34B), seguindo o Sol. Ao final da tarde, a roda dentada, que possui uma chapa de metal, aciona um botão de fim-de-curso (figura 34C), invertendo o motor para que o disco retorne à posição inicial, para iniciar o seguimento outra vez no próximo dia. O início do próximo dia, depende de um sistema de contagem de tempo que faz com que o motor seja novamente acionado.

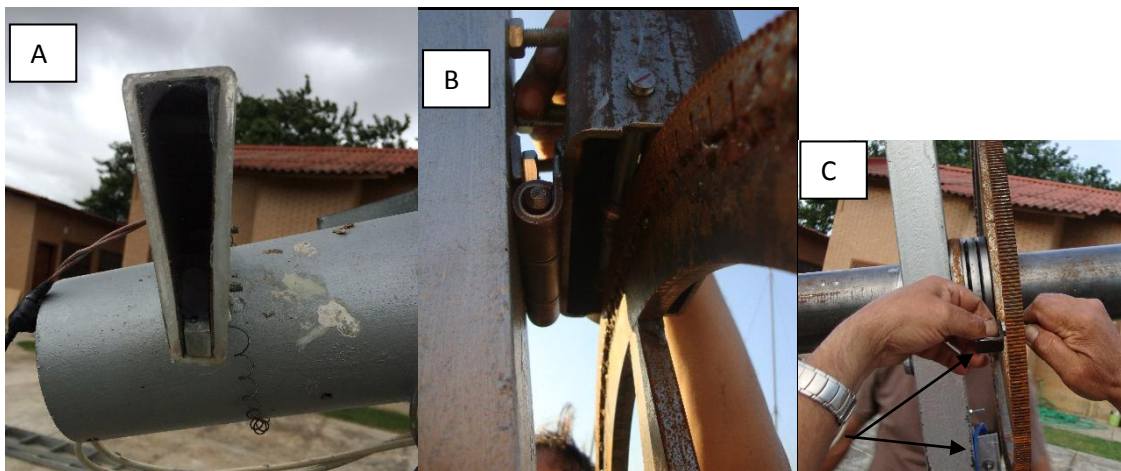


Figura 34: Itens do Seguimento Solar - A: Imagem da fotocélula utilizada para controlar o foco do disco; B: Motor e roda dentada; C: Chapa metálica e botão de final de curso.

Após a montagem foi feita a focalização dos espelhos primários individualmente, até que toda a radiação fosse concentrada no foco central (Figura 35).



Figura 35: Foco do disco, no local onde será colocado o reator onde passará a água.

4.3 Medidas de calor no período de um dia

A figura 36 demonstra os valores das medidas com o calorímetro, ao longo de um dia. A altura do gráfico é a voltagem em millivolts. A profundidade são os valores de A até I da tabela 3 e no eixo x, tem-se os valores de 1 a 9 da tabela 3, sendo que cada pico corresponde a uma hora do dia começando em 9h até 17h da esquerda para direita.

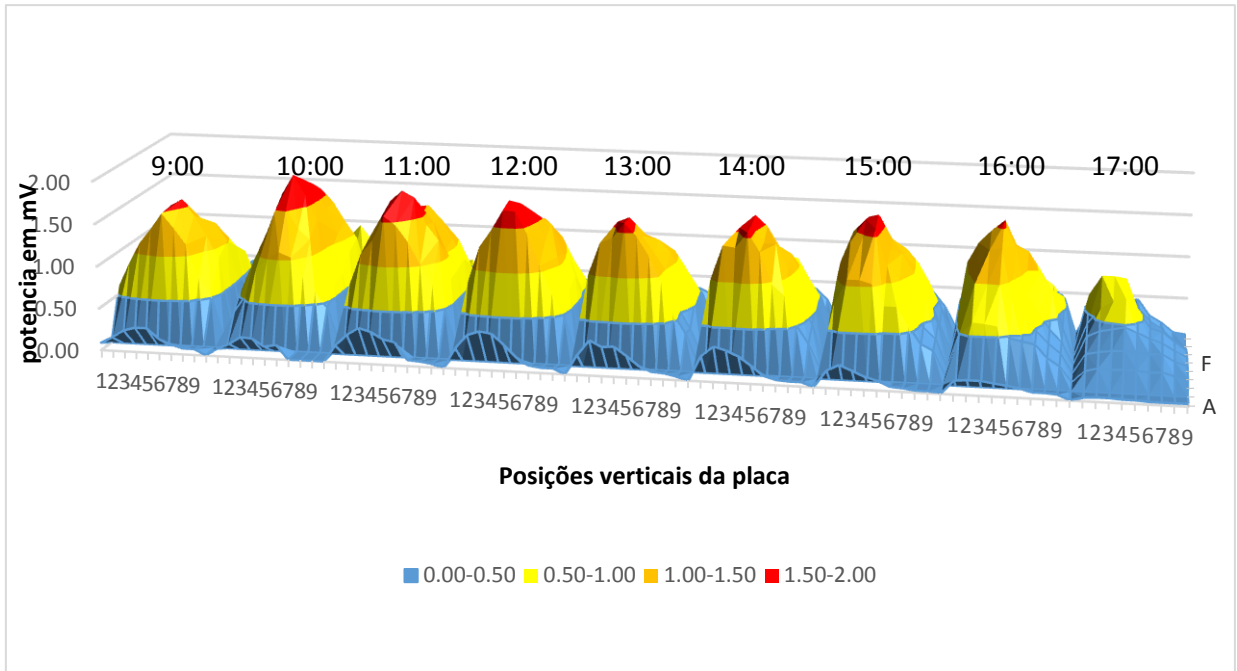


Figura 36: Variação de voltagem ao longo de um dia de medidas com hy-cal.

Neste gráfico é possível observar que o centro da caixa central é a parte de maior incidência solar, uma vez que os espelhos foram focalizados no centro, onde são obtidos os maiores valores de concentração de calor. Além disso, no início da manhã e ao final da tarde a incidência solar diminui mostrando que este período será de menor eficiência. Com o disco multifacetado é possível através da focalização dos espelhos primários distribuir melhor o foco para que toda a área onde será colocado o reator por onde passará a água receba o calor de forma mais uniforme.

Os maiores valores medidos em mV de cada hora do dia, apresentados no gráfico da figura 36, foram transformados para kW m^{-2} e estão demonstrados na tabela 4.

Tabela 4: Valores medidos com o calorímetro em mV e kW m⁻².

Horas	Valores em mV	Valores em kW m⁻²
9h	1,59	62,20
10h	1,86	72,01
11h	1,80	69,83
12h	1,74	67,65
13h	1,61	62,93
14h	1,61	62,93
15h	1,67	62,10
16h	1,55	60,75
17h	0,90	37,13

Em 2014, em fevereiro, foram realizadas também algumas medições iniciais de temperatura através da utilização de um termopar tipo K que foi colocado na parte central do reator tanto na parte de cima, onde há incidência direta do foco, quanto na parte de baixo para verificar a absorção do reator. Essas medidas foram realizadas em um dia claro com poucas nuvens. A temperatura na parte de cima chegou a 240°C e na parte de baixo a 45°C, demonstrando que o reator absorve calor, podendo transferi-lo para a água promovendo sua desinfecção.

Neste ano, na montagem do reator, colocou-se fibra de vidro em volta do compartimento onde será colocado o reator para melhor isolamento e também, aplicou-se uma tinta preta própria sobre a superfície a ser irradiada para aumentar a absorção de radiação, o que poderá contribuir para aumentar esta temperatura.

4.4 Objeto de Divulgação

O objeto de divulgação criado é um vídeo, montado conforme o procedimento descrito no subitem 3.3 e será entregue ao Núcleo de Energias Alternativas, para que possa ser exibido aos alunos e visitantes, como uma forma de divulgação, além de ser um objeto educacional também.



Figura 37: Capturas do vídeo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A radiação emitida pelo Sol, fonte natural de energia renovável, tem sido aproveitada de diversas maneiras, seja para produção de energia térmica, elétrica, desinfecção, dessalinização, entre outros. Com a realização deste estudo, conheceu-se os diferentes tipos de aproveitamento solar para produção de energia elétrica, como as células fotovoltaicas, os coletores e concentradores solares, e plantas solares de escala comercial ou piloto; podendo entender como estes processos funcionam e em que panorama essas tecnologias se encontram.

Foram realizadas a remontagem do disco solar, incluindo os reparos que eram necessários; e a focalização do disco e dos espelhos primários. O disco remontado funciona como o esperado, com um sistema de seguimento solar automático. Como o processo de montagem dependia de peças importadas e também do clima, visto que para fazer a focalização do disco e dos espelhos primários eram necessários dias de Sol com poucas nuvens, foi necessário um tempo maior que o esperado para essa etapa.

Os resultados obtidos na avaliação do disco construído mostraram-se promissores (72 kW m^{-2} - 10:00, $240 \text{ }^\circ\text{C}$) e a temperatura medida na água a partir do primeiro protótipo do disco ($45 \text{ }^\circ\text{C}$) ainda poderá ser melhorada, pois houveram também algumas mudanças no reator de absorção de calor, pode-se esperar

também bons resultados na desinfecção térmica da água, uma vez que o disco alcançou temperaturas maiores que a temperatura de inativação da *Escherichia coli*.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL) - Energia Solar. Disponível em: <[www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf)>. Acesso em: jul. 2015.

ALGO Sobre. Disponível em: <<https://www.algosobre.com.br/images/stories/fisica/fotovoltaica.gif>>. Acesso em: ago. 2015.

ALTOÉ, L.; Filho, D. O.; CARLO, J. C. Análise energética de sistemas solares térmicos para diferentes demandas de água em uma residência unifamiliar. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 3, p. 75-87, 2012.

AMARAL L. A.; NUNES, A.P.; CASTANIA, J.; LORENZON, C.S.; BARROS, L.S.S.; NADER FILHO, A. Uso da radiação solar na desinfecção da água de poços rasos. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 73, n. 1, p.45-50, 2006.

BANDEIRA, F. P. M. (2012) O aproveitamento da energia solar no Brasil – situação e perspectivas. Consultoria Legislativa - Recursos minerais, hídricos e energéticos. Estudo Disponível em <http://www2.camara.leg.br/documentos-e-pesquisa/publicacoes/estnottec/areas-da-conle/tema16/2012_1261.pdf>. Acesso em jul. 2015.

BASSO, L. H.; SOUZA, S. N. M.; SIQUEIRA, J. A. C.; NOGUEIRA, C. E. C.; SANTOS, R. F. Análise de um sistema de aquecimento de água para residências rurais, utilizando energia solar. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.30, n.1, p.14-21, 2010.

BIANCHINI, H. M. Avaliação **Comparativa de Sistemas de Energia Solar Térmica**. Projeto (Graduação), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

BOTTO, M. P.; MOTA, F. S. B.; CEBALLOS, B. S. O. Efeito da oxigenação por agitação manual da água na eficiência de inativação de coliformes termotolerantes utilizando luz solar para desinfecção em batelada. **Eng Sanit Ambient**, v.14, n.3, p. 347-352, 2009.

CIFES - Centro Nacional para la Innovación y Fomento de las Energías Sustentables. Disponível em <http://cifes.gob.cl/tecnologias/files/2011/12/libro_solar.pdf>. Acesso em: ago. 2015.

CRUZ Y BOMANT S.L. "Dual-Reflection Fixed-Focus Solar Radiation Concentrator Collector Disk". Patente: WO 2011076963 A1, 2011.

EREC/GREENPEACE. Energy (R)evolution. A sustainable global energy outlook. Amsterdam, p. 260, 2008.

FIORIN, D. V.; MARTINS, F. R. ; SCHUCH, N. J.; PEREIRA, E. B. Aplicações de redes neurais e previsões de disponibilidade de recursos energéticos solares. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 1, p.1309, 2011.

FERNANDEZ, P.; BLANCO, J.; SICHEL, C.; MALATO, S. Water disinfection by solar photocatalysis using compound parabolic collectors. **Catalysis Today**, v. 101, p. 345-352, 2005.

FERREIRA, M. J. G. **Inserção da energia solar fotovoltaica no Brasil**. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

FERREIRA, R. R.; SILVA FILHO, P. C. Energia Solar FV: geração de energia limpa, In: V CONEEPI, 2010, Maceió. Disponível em: <<http://connepi.ifal.edu.br/ocs/anais/conteudo/anais/files/conferences/1/schedConfs/1/papers/1828/public/1828-5945-1-PB.pdf>>. Acesso em: jun. 2015.

FRATESCHI, N. C.; OLIVEIRA, A. V. Aquecedor Solar com Geração de Energia Elétrica. Disponível em <http://www.inova.unicamp.br/sici/visoes/ajax/ax_pdf_divulgacao.php?token=6C1CsXI4>. Acesso em: jul. 2015.

GÓMEZ-COUSO, H.; FONTÁN-SAINZ, M. FERNÁNDEZ-IBÁÑEZ, P.; AREZ-MAZÁS, E. Speeding up the solar water disinfection process (SODIS) against *Cryptosporidium parvum* by using 2.5 l static solar reactors fitted with compound parabolic concentrators (CPCs), **Acta Tropica**, v. 124, p. 235-242, 2012.

Greenpeace. Disponível em <<http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Multimedia/Fotos/2010/February/3404954/>>. Acessado em ago/2015.

INTERNATIONAL Energy Agency - Energy Atlas 2012. Disponível em: <<http://energyatlas.iea.org/?subject=-1076250891#>>. Acesso em jul. 2015.

KING, B.J.; MONIS, P.T. Critical processes affecting *Cryptosporidium* oocyst survival in the environment. **Parasitology** **2007**, v. 134, p. 309–23, 2007.

KORTENHORST, J. (2014) “The Energy Revolution Is Here”. Solutions Journal. Summer. Disponível em <<https://medium.com/solutions-journal-summer-2014/the-energy-revolution-is-here-841c6906a348>>. Acesso em jul. 2015.

MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B. Estudo comparativo da confiabilidade de estimativas de irradiação solar para o sudeste brasileiro obtidas a partir de dados de satélite e por interpolação/extrapolação de dados de superfície. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 29, n.2, p. 265-276, 2011.

MEDINA, A. A. I. **Diseño de un Concentrador Stirling**. Projeto (Graduação), Universidad Nacional Autónoma de México, Cidade do México, 2014.

MENDONÇA, B. V. **Estudo da problemática da aplicação de coletores solares para aquecimento de água, no segmento residencial de alto padrão, com bases em escala de projeto arquitetônico e dimensões de planejamento**. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

Ministério de Minas e Energia (MME). Balanço Energético Nacional 2014. Brasília, 2014. Disponível em <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2014.pdf>. Acesso em: jun. 2015.

Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/energia>>. Acesso em: jun. 2015.

NREL - National Renewable Energy Laboratory. Disponível em <http://www.nrel.gov/csp/solarpaces/project_detail.cfm/projectID=30>. Acesso em: ago. 2015.

ORTERO, E. Corrosion y degradation de materiales. Editora Sintesis, Madri, 2001, 368p, 2001.

PATERNIANI, J. E. S.; SILVA, M. J. M. Desinfecção de efluentes com tratamento terciário utilizando energia solar (sodis): avaliação do uso do dispositivo para concentração dos raios solares. **Eng. sanit. ambient**, v.10, n.1, p. 9-13, 2005.

ATLAS Brasileiro de Energia Solar 2006. Disponível em <http://www.ccst.inpe.br/wp-content/themes/ccst-2.0/pdf/atlas_solar-reduced.pdf>. Acesso em: jun. 2015.

PITZ-PAAL R.; DERSCH J.; MILOW, B. European Concentrated Solar Thermal Road-Mapping (ECOSTAR). Coordinated action sustainable energy systems SES6-CT-2003-502578. Cologne, 2005.

PORTAL Brasileiro de Energias Renováveis. Disponível em: <http://energiarenovavel.org/index.php?option=com_content&task=view&id=17&Itemid=306>. Acesso em jul. 2015.

PSA - Plataforma Solar de Almeria. Disponível em <<http://www.psa.es/webesp/archivofoto.php>>. Acesso em: ago. 2015.

QUERINO, C. A. S.; MOURA, M. A. L.; QUERINO, J. K. A. S.; RADOW, C. V.; FILHO, A. O. M. Estudo da radiação solar global e do índice de transmissividade (kt), externo e interno, em uma floresta de mangue em Alagoas – Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, n.2, p. 204 - 294, 2011.

REINALDO, G. P. B.; BATISTA, R. O.; SILVA, P. C. M. da; LEMOS FILHO, L. C. A.; NETO, M. F.; SANTOS, D. B. dos. Desempenho de sistema decanto-digestor com filtro biológico seguido por alagado construído e reator solar no tratamento de esgoto doméstico. **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**: v. 7, n.2, 2012.

RWE - Disponível em <<http://www.rwe.com/web/cms/en/1115184/rwe-innogy/sites/solar-power/andasol-3/>>. Acessado em ago/2015.

SANCHES-ROMAN, R.; SOARES, A. A.; MATOS, A. T; SEDIYAMA, G. C.; SOUZA, O.; MOUNTEER, H. A. Domestic wastewater disinfection using solar radiation for agricultural reuse. **Transactions of the ASABE**, v. 50, n.1, p. 65-71, 2007.

SILVA, M. J. M. da. **Desinfecção de Água utilizando Energia Solar (SODIS): Inativação e Recrescimento Bacteriano**. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

SODIS Efficiency: The Process. Disponível em: <http://www.sodis.ch/index_EN>. Acesso em: jun. 2015.

SOLAR Euromed. Linear Fresnel. Disponível em: <<http://www.solareuromed.com/en/miroirs-de-fresnel>>. Acesso em: ago. 2015.

SOUZA, Leila. **Energia renovável, uma necessidade nos dias de hoje**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) - Universidade Cândido Mendes, Niterói, 2010.

TANAKA, M. A. S.; Ito, M. F.; Braga, C. A. S.; Armond, G. Tratamento Térmico Solar da Água para Controle de Fitopatógenos. **Fitopatologia Brasileira**, v. 28, p. 386-393, 2003.

TORRES, R. C. **Energia Solar Fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia elétrica em edificações residenciais**. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

VICHI, F. M.; MANSOR, M. T. C. Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 757-767, 2009.

VIEBAHN, P.; KRONSHAGE, S.; TRIEB, F.; LECHON, Y. Final Report on Technical Data, Costs, and Life Cycle Inventories of Solar Thermal Power Plants. DLR. p. 95, 2008.

VIEIRA, E. M. F.; SILVA, J. P. B.; MOREIRA, S. D. F. C.; COSTA, M. F. P. C. M.; GOMES, M. J. M. A Lenda de Arquimedes no Ensino de Física: Uma Proposta para um Projecto Interdisciplinar. **A Gazeta de Física**, v. 31, n.4, p. 31-36, 2008.

WEGELIN, M.; CANONICA, S.; MECHSNER, K.; FLEISHMANN, T.; PESARO, F.; METZLER, A. Solar Water Disinfection: Scope on Process and Analysis of Radiation Experiments, **Journal of Water Supply: Research and Technology - Aqua**, v. 43, n. 3, p.154 – 169, 1994.