



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS DE PALMAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELETRICA

KEICY ALVES DA SILVA

**ENERGIA TERMOSSOLAR CONCENTRADA: CONTEXTO ATUAL E
PERSPECTIVAS FUTURAS**

Palmas/TO
2019

KEICY ALVES DA SILVA

**ENERGIA TERMOSSOLAR CONCENTRADA: CONTEXTO ATUAL E
PERSPECTIVAS FUTURAS**

Monografia foi avaliada e apresentada à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Palmas, Curso de Engenharia Elétrica para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Professora Orientadora Dra. Stefani Carolline Leal de Freitas.

Palmas/TO
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

S586c Silva, Keicy Alves da.
ENERGIA TERMOSSOLAR CONCENTRADA: CONTEXTO ATUAL E
PERSPECTIVAS FUTURAS. / Keicy Alves da Silva. – Palmas, TO, 2019.
54 f.

Monografia Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus
Universitário de Palmas - Curso de Engenharia Elétrica, 2019.

Orientadora : Stefâni Carolline Leal de Freitas

1. Energia limpa. 2. Termossolar concentrada. 3. Contexto atual. 4.
Perspectivas Futuras. I. Título

CDD 621.3

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer
forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte.
A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184
do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

KEICY ALVES DA SILVA

**ENERGIA TERMOSSOLAR CONCENTRADA: CONTEXTO ATUAL E PERSPECTIVAS
FUTURAS**

Monografia foi avaliada e apresentada à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Palmas, Curso de Engenharia Elétrica para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Data de aprovação: 27 / 11 / 19

Banca Examinadora

Stefani

Prof. Dra. Stefani Caroline Leal de Freitas, UFT

Priscila da Silva Oliveira

Prof. Dra. Priscila da Silva Oliveira, UFT

Bianca Carvalho Martins

Prof. Esp. Bianca Carvalho Martins, UFT

Palmas, 2019

RESUMO

Atualmente, a busca por eficiência energética e por fontes de energia alternativas e renováveis tem sido o foco de muitas pesquisas em todo o mundo. Nos últimos anos, o desenvolvimento de tecnologias solares tem demonstrado grandes avanços e com o aumento da competitividade, os custos dessas tecnologias têm caído de forma significativa. Nesta parcela do mercado, das muitas formas de obtenção de energia limpa, a solar se destaca por ser abundante gratuita e também por causar baixo impacto ambiental. A energia fotovoltaica tem sido amplamente estudada. No entanto, ainda há pouca literatura que aborde o uso de energia termossolar concentrada. É, portanto, neste contexto, que se apresenta este trabalho, o qual elucidará o cenário atual e perspectivas futuras da energia, no Brasil e no mundo, no que se refere: à forma de aproveitamento, às tecnologias associadas, aos custos, aos fatores ambientais e à legislação nacional para o licenciamento de uma central termossolar.

Palavras-chaves: Contexto. Energia limpa. Perspectivas. Termossolar concentrada.

ABSTRACT

Currently, the quest for energy efficiency and alternative and renewable energy sources has been the focus of much research around the world. In recent years, the development of solar technologies has shown great progress and with increasing competitiveness, the costs of these technologies have fallen significantly. In this niche market, of the many ways of obtaining clean energy, solar stands out for being abundant free and also for causing low environmental impact. Photovoltaic energy has been widely studied. However, there is still little literature that addresses the use of concentrated solar energy. It is, therefore, in this context, that this work is presented, which will elucidate the current scenario and future perspectives of the energy, in Brazil and in the world, in what it refers to: to the form of exploitation, associated technologies, costs, environmental factors and national legislation for the licensing of a thermo solar power plant.

Key-words: Clean energy. Concentrated solar thermal. Context. Perspectives.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Órbita da Terra em torno do Sol, com seu eixo N-S inclinado de um ângulo de 23,5°	18
Figura 2 - Radiação Direta e Difusa	19
Figura 3- Radiação Incidente em uma superfície Inclinação	20
Figura 4 - Esquema simplificado de planta CSP com armazenamento térmico.....	24
Figura 5 - Esquema de instalação e funcionamento de uma Torre Solar	26
Figura 6 - Esboço de um concentrador de disco parabólico.....	27
Figura 7 - Tecnologia de concentração cilindro parabólico.	28
Figura 8 - Tecnologia linear Fresnel.....	30
Figura 9 - Produção e consumo de eletricidade CSP até 2050.....	34
Figura 10 - Sistema solar de geração de eletricidade com armazenamento de calor	35
Figura 11 - Tecnologia termoelétrica solar concentrada	36
Figura 12 - Irradiação solar direta no Brasil.....	38
Figura 13 – Status atual do mercado de CSP em todo o mundo	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos coletores solares por grau de rastreamento.....	25
Tabela 2 - Proporção da geração solar na geração total e o comércio.....	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agencia Nacional de Energia Elétrica
CDS	Cenário de desenvolvimento sustentável
Cepel	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
Conama	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CSP	Concentrated Solar Power
DGS	Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie
DNI	Irradiação Direta Horizontal
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
IEA	International Energy Agency
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MME	Ministério de Minas e Energia
NBR	Normas Brasileiras
PV	Painel Photovoltaic
UFT	Universidade Federal do Tocantins

LISTA DE SÍMBOLOS

d	Declinação Solar
G	Irradiação Solar
I_{SC}	Irradiância Solar
$\tau_{cloud-dir}$	transmitância das nuvens
$\tau_{atm-dir}$	transmitância direta
Φ_0	radiação solar no topo da atmosfera

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	Justificativa.....	13
1.2	Objetivos.....	13
1.2.1	Objetivo geral.....	13
1.2.2	Objetivos específicos.....	14
1.3	Metodologia.....	14
1.4	Estrutura do Trabalho.....	15
2	RADIAÇÃO SOLAR E SEUS RECURSOS ENERGÉTICOS	16
2.1	Considerações Iniciais.....	16
2.2	Radiação Solar – Características.....	16
2.2.1	Radiação Incidente Na Superfície Da Terra.....	17
2.2.2	Radiação Direta.....	18
2.2.3	Radiação Média Incidente Numa Superfície Inclinada.....	19
2.3	Recursos energéticos proveniente do Sol.....	20
2.4	Considerações finais.....	21
3.	ENERGIA SOLAR CONCENTRADA.....	23
3.1	Considerações iniciais.....	23
3.2	Conversão Térmica de Energia solar.....	23
3.3	Coletores solares.....	25
3.4	Tecnologia Torre Solar.....	26
3.5	Tecnologia Disco Parabólico.....	27
3.6	Tecnologia Cilindro Parabólico.....	28
3.7	Tecnologia Fresnel.....	29
3.8	Fatores Ambientais.....	30

3.9	Considerações finais.....	32
4	CONTEXTO ATUAL E PESPECTIVAS FUTURAS.....	33
4.1	Considerações iniciais.....	33
4.2	Usina de energia termossolar.....	34
4.2.1	Brasil.....	38
4.2.2	Exterior.....	39
4.3	Legislação nacional para o licenciamento de uma Heliotérmica.....	41
4.4	Considerações finais.....	43
5	CONCLUSÃO.....	45
	REFERÊNCIAS.....	47
	ANEXOS	
	Anexo A - Celpe tocará projeto da primeira usina heliotérmica	
	brasileira.....	52
	Anexo B - Sol será maior fonte de energia até 2050, diz AIE.....	54

1 INTRODUÇÃO

O aumento acelerado da demanda de energia elétrica em todo o mundo, a necessidade de diminuir a dependência de combustíveis fósseis e a preferência por fontes de energia que não poluem, tem levado à busca de novas fontes de energia para a geração de eletricidade.

As tradicionais fontes de energia ainda constituem a base mundial da geração de eletricidade – como as grandes usinas hidrelétricas, termelétricas a carvão e petróleo e as usinas nucleares. Entretanto, tem-se observado a participação crescente de fontes alternativas de eletricidade em muitos países. Alguns exemplos são as pequenas centrais hidrelétricas, os geradores eólicos, os sistemas solares térmicos, os sistemas fotovoltaicos, as termelétricas e microturbinas alimentadas a gás natural. Essas duas últimas, embora utilizem um combustível fóssil não renovável, são mais eficientes e menos poluidoras do que as modalidades de geração baseada na queima do carvão ou do petróleo. O conceito energia alternativa não é exclusivo das fontes renováveis, entretanto a maior parte do sistema alternativo de geração de eletricidade emprega fontes renováveis.

Embora ainda com participação muito reduzida na matriz energética mundial, o uso das fontes alternativas vem crescendo muito em todo o planeta. Em diversos países, apesar de suprirem apenas uma fração da demanda da eletricidade, essas fontes ocupam um espaço importante na política pública e nos investimentos privados. Os custos das fontes alternativas de energia estão caindo com o aumento da escala de utilização, e os preços da energia elétrica por elas gerada em muitos países já se equiparam ao da energia produzida pelas fontes tradicionais.

Além de todas as vantagens citadas, a utilização de fontes alternativas motiva o desenvolvimento tecnológico e traz benefícios econômicos indiretos. Normalmente, as vantagens econômicas das fontes de energia são analisadas apenas sob a ótica do custo da energia elétrica produzida, entretanto existem ganhos associados quando se utilizam fontes alternativas.

A energia solar é a fonte primordial de energia do planeta, uma vez que todas as formas de energia existentes são originadas da ação de radiação solar sobre a Terra. Essa radiação, que incide sobre a superfície do planeta, é cerca de 10.000 vezes superior à demanda bruta de energia atual da humanidade. (Centro De Referência para as Energias Solar e Eólica; BRITO s.d.).

A energia solar para a geração térmica é uma tecnologia limpa, apesar do seu grande potencial, ainda é pouco explorada no Brasil. Segundo a ANEEL (2005) a maior parte das

fontes de energia, seja ela hidráulica, biomassa, eólica, combustível fóssil e energia dos oceanos, são formas indiretas de energia solar. A radiação solar pode ser utilizada ainda, diretamente como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluídos e ambientes e para geração de potência mecânica ou elétrica.

Segundo Reis (2005), a energia termossolar se divide em três tipos de sistemas de aproveitamento da energia térmica:

1) Sistema solar ativo, que consiste na captação da energia solar à baixa temperatura, com a utilização de vidros. Esta energia pode ser utilizada para o aquecimento de água e ambientes e, até mesmo, para transformação de água salina em água doce;

2) Sistema termossolar, possui tecnologia mais complexa que o sistema solar ativo, normalmente envolvendo espelhos, cuja captação da radiação solar gera temperaturas elevadas, possibilitando até a vaporização de líquidos, que podem ser utilizados para movimentar turbinas; e

3) Sistema solar passível, relacionado a projetos arquitetônico com o objetivo de conforto térmico e otimização da luminosidade natural.

A energia solar térmica atende hoje menos de 1% da demanda de calor mundial. (IEA, 2017). Com mais de 95% das instalações no setor da construção civil, seu uso se concentra no aquecimento doméstico de água. Assim, a energia solar térmica possui ainda uma participação pouco expressiva no mercado mundial. Neste cenário, o Brasil possui 2% da capacidade instalada no mundo. Porém, já demonstrou uma expansão no setor industrial, visto que em 2014, 17% das novas instalações foram destinadas a este setor (IEA, 2017).

O Brasil possui um ótimo índice de radiação solar, principalmente na região Nordeste. No semiárido estão os melhores índices, com valores típicos de 1.752 a 2.190 kWh/m² por ano de radiação incidente (IEA, 2017), conforme apresentado na figura 1. Isso posiciona o local entre as regiões do mundo com maior potencial de energia solar. Essas especificidades, como clima quente e alto índice de insolação ao longo do ano, compõem um quadro altamente favorável ao aproveitamento em larga escala da energia solar. A maioria das aplicações dos sistemas termossolares é para fornecimento de água quente para banho e cozinha em residências, hotéis e instalações hospitalares e industriais, bem como para aquecimento de piscinas.

Na geração termossolar, também chamada de heliotérmica ou CSP (Concentrated Solar Power), a energia solar é primeiramente convertida em energia térmica e depois em eletricidade. Seu funcionamento consiste em utilizar espelhos para concentrar a irradiação direta solar em um ponto focal, onde se localiza um receptor pelo qual passa um fluido

absorvedor (óleos sintéticos, sal fundido ou vapor d'água). Em seguida, os fluidos aquecidos, caso o fluido de transferência de calor seja igual ao fluido de trabalho da turbina, são expandidos diretamente através da turbina ou aquecem outro fluido a ser expandido. A partir disso, o processo se assemelha bastante ao de uma termelétrica convencional que utiliza um conjunto turbina-gerador (TOLMASQUIM, 2016).

Dentro deste contexto, serão apresentados os sistemas de geração de energia elétrica baseados em energia CSP sendo uma alternativa para produção em larga escala que possui impactos mínimos ao meio ambiente. Este trabalho também abordará o cenário atual e perspectivas futuras da energia no que tange: à forma de aproveitamento, às tecnologias associadas, aos custos, aos fatores ambientais e à legislação nacional para o licenciamento de uma central termossolar.

1.1 Justificativa

O aproveitamento da energia gerada pelo Sol, inesgotável na escala terrestre de tempo, tanto como fonte de calor quanto de luz, é hoje, sem sombra de dúvidas, uma das alternativas energéticas mais promissoras para enfrentar os desafios do novo milênio. E quando se fala em energia, deve-se lembrar que o Sol é responsável pela origem de praticamente todas as outras fontes de energia. Em outras palavras, as fontes de energia são, em última instância, derivadas da energia do Sol.

Anualmente $1,5 \times 1.018$ kWh de energia do Sol é fornecida, para a atmosfera terrestre, que corresponde a 10.000 vezes o consumo mundial de energia, no período de um ano (CRESESB, 2008). Isso indica que, a radiação solar além de ser responsável pela manutenção da vida na Terra, representa uma fonte energética inesgotável, tendo um grande potencial de utilização através de sistemas de captação e conversão em outra forma de energia.

Além das razões supramencionadas, este trabalho vislumbra deixar uma contribuição sobre o cenário atual e as perspectivas futuras da energia termossolar como nicho de mercado para engenheiros eletricitas.

São, portanto, estas circunstâncias que viabilizam o desenvolvimento deste tema.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Apresentar um estudo sobre a energia solar térmica concentrada, abordando conceitos inerentes a radiação solar, fatores ambientais e econômicos, assim como apresentar o cenário atual e as perspectivas futuras.

1.2.2 Objetivos Específicos

Estudar e analisar as características da radiação solar e dos recursos energéticos resultantes do Sol.

Analisar a importância da energia solar como fonte de energia renovável, e seus principais sistemas de geração de energia. Avaliar as vantagens e desvantagens de cada sistema.

Estudar a Energia solar concentrada, da conversão térmica da energia solar, coletores e as tecnologias para a captação da radiação solar.

Estudar o funcionamento das usinas termossolar concentrada. Fazer um levantamento do contexto atual e as perspectivas futuras no Brasil e no Mundo.

Estudar a legislação brasileira para licenciamento de uma usina termossolar concentrada, descrevendo principais pontos relacionados à análise do local onde devem ser instalados, equipamentos utilizados para a construção de uma usina termossolar além de custos e manutenções.

1.3 Metodologia

A metodologia adotada constitui-se em uma revisão bibliográfica. O levantamento bibliográfico do tema abordado foi realizado por meio de livros-texto, periódicos, sites web e notícias em mídia. Principalmente energias renováveis, transferência de calor, sistemas de energia sustentáveis e energia solar, relatórios de instituições governamentais e de pesquisa no setor de energia.

No desenvolvimento deste estudo foi realizado o levantamento das tecnologias solares mais utilizadas mundialmente e das tecnologias em desenvolvimento com elevado potencial de aplicação. Agregado a isto foi realizado um estudo de análises da irradiação solar das áreas de aplicação. Objetivando descrever os princípios e fundamentos da energia solar térmica concentrada.

1.4 Estrutura do Trabalho

O trabalho está organizado em 5 capítulos correlacionados.

O Capítulo 1, Introdução, apresentou por meio de sua contextualização o tema proposto neste trabalho. Da mesma forma foram estabelecidos os resultados esperados por meio da definição de seus objetivos e apresentadas as limitações do trabalho permitindo uma visão clara do escopo proposto.

O Capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica da radiação solar, irradiação e seus recursos energéticos, com enfoque da radiação incidente na superfície da terra. Além de apresentar uma introdução aos sistemas de energia solar.

O Capítulo 3 abordará o conceito de energia solar concentrada e, como é feita a conversão térmica da energia solar, captada por coletores solares. Neste capítulo, também será abordado às tecnologias para concentração de energia solar, ressaltando os fatores ambientais provenientes dessas tecnologias.

No capítulo 4, apresentará um apanhado geral do contexto atual da energia termossolar concentrada, tanto no Brasil quanto no Exterior. Em seguida, apresentará um levantamento das perspectivas da energia solar concentra. Neste capítulo também será abordado conceitos, descrição e princípios de funcionamento de usinas termossolar concentrada. E a legislação nacional para implantação de Usina Termossolar Concentrada.

Por fim, o último capítulo além de discutir os resultados tratados ao longo do trabalho, também apresentará sugestões de regulamentação e meio de implantação.

2 RADIAÇÃO SOLAR E SEUS RECURSOS ENERGÉTICOS

2.1 Considerações Iniciais

O conhecimento da radiação solar incidente na Terra desempenha papel fundamental em muitas atividades humanas como, por exemplo, a agricultura, a arquitetura e o planejamento energético. A radiação solar constitui uma opção limpa e renovável de produção de energia.

O fluxo de radiação solar proveniente do Sol e que chega à Terra, é a fonte primária de todas as formas de energia conhecidas. A radiação Solar está na origem dos movimentos de circulação da atmosfera e dos oceanos, da vida vegetal e animal. A grande dispersão e a variabilidade no tempo da radiação solar são características de importância fundamentais quando se tenta usufruir da energia proveniente do Sol.

Neste capítulo será apresentada uma revisão bibliográfica da radiação solar. O capítulo é dividido em duas sessões, onde a primeira sessão abordará as características da radiação solar, radiação incidente na superfície da Terra, radiação direta, radiação média incidente em uma superfície inclinada. A segunda sessão apresentará os recursos energéticos proveniente do Sol, no que engloba a energia solar fotovoltaica, energia térmica e energia concentrada.

2.2 Radiação Solar - Características

A norma técnica brasileira ABNT NBR 10899:2013 define a radiação solar sendo a forma de transferência de energia advinda do sol através da propagação de ondas eletromagnéticas ou fótons. Essa radiação é constituída de ondas eletromagnéticas que possuem frequências e comprimentos de onda diferentes.

A ABNT NBR 10899 define também irradiação solar, como sendo a quantidade de radiação incidente em uma superfície e integrada durante um intervalo de tempo especificado, normalmente uma hora ou um dia. Comumente a irradiação solar é medida em watts por metro quadrado e simbolizada por “G”. A intensidade de radiação proveniente do sol é relativamente constante.

A norma ABNT NBR 10899 define ainda mais um termos principal: Irradiância solar, definido como a taxa na qual a radiação solar incide em uma superfície, por unidade de área desta superfície, I_{SC} , medida em watt por metro quadrado (W/m^2). E tem seu valor aceito como $1367 W/m^2$.

O Sol irradia para o espaço, em todas as direções, quantidades de energia elevada – radiação solar –, mas só uma pequena parte atinge a superfície da Terra. A quantidade de energia solar recebida à superfície da Terra varia de lugar para lugar, havendo, então, uma variação e uma distribuição desigual desta energia à superfície da atmosfera e no globo. Essa radiação é constituída de ondas eletromagnéticas que possuem frequências e comprimentos de onda diferentes. Quanto maior a frequência, maior a energia transmitida. O comprimento da onda eletromagnética é inversamente proporcional á frequência, ou seja, quanto maior a frequência da onda, menor é seu comprimento.

2.2.1 Radiação Incidente na Superfície da Terra

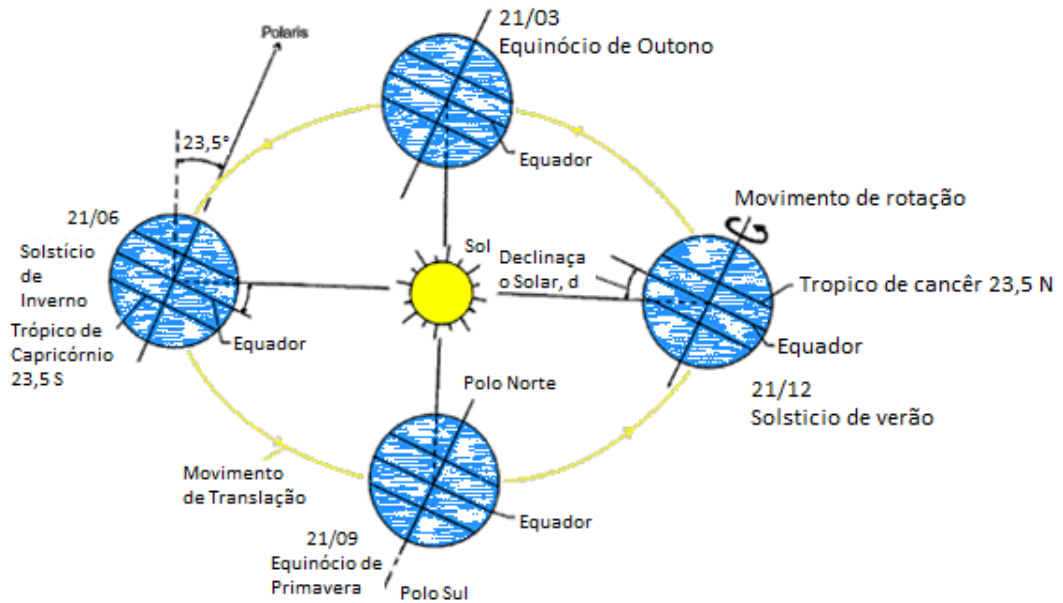
Enquanto a radiação solar incidente na atmosfera da Terra é relativamente constante, a radiação na superfície da Terra varia muito devido à:

- Efeitos atmosféricos, incluindo absorção e dispersão;
- Variações locais na atmosfera, como vapor de água, nuvens e poluição;
- Latitude do local; e
- A estação do ano e a hora do dia.

Os efeitos acima têm vários impactos na radiação solar recebida na superfície da Terra. Essas mudanças incluem variações na potência geral recebida, no conteúdo espectral da luz e no ângulo a partir do qual a luz incide em uma superfície. Além disso, uma mudança importante é que a variabilidade da radiação solar em um determinado local aumenta dramaticamente. A variabilidade é devida a efeitos locais, como nuvens e variações sazonais, além de outros efeitos, como a duração do dia em uma latitude específica. Como exemplo tem-se as regiões do deserto que tendem a ter variações mais baixas devido a fenômenos atmosféricos locais, como nuvens. Regiões equatoriais têm baixa variabilidade entre as estações.

O planeta Terra descreve em trajetória elíptica em um plano inclinado, aproximadamente $23,5^\circ$ com relação ao plano equatorial, em seu movimento anual em torno do Sol. Esta inclinação é responsável pela variação da elevação do Sol no horizonte em relação à mesma hora, ao longo dos dias, dando origem às estações do ano e dificultando os cálculos da posição do Sol para uma determinada data, como pode ser visto na figura 1.

Figura 1 – Órbita da Terra em torno do Sol, com seu eixo N-S inclinado de um ângulo de 23,5°.



Fonte: Adaptado de CRESESB (2017).

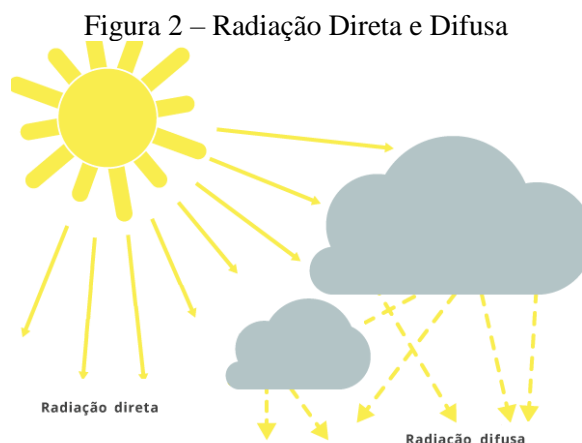
A declinação solar (d) refere-se à posição angular do Sol, em relação ao plano do Equador, ao meio dia solar. A declinação solar pode ser vista na figura 1, varia de acordo com o dia do ano, dentro dos seguintes limites:

$$-23,5^\circ < d < 23,5^\circ$$

Somando a declinação com a latitude local determina-se a trajetória do movimento aparente do Sol para um determinado dia em uma dada localidade na Terra.

2.2.2 Radiação Direta

A luz solar que atinge a superfície da Terra é composta por uma fração direta e uma fração difusa, conforme mostrado na figura 2. A radiação direta é a que chega segundo a direção do sol, sem sofrer processo de espalhamento ou reflexão, produzindo sombras bem definidas em objetos a ela exposta. Já a radiação difusa é resultado do espalhamento da radiação direta, causado por nuvens e outros componentes da atmosfera (DGS, 2008).



Fonte: Adaptado de Energia Heliotermica (2012)

A irradiação direta horizontal (DNI) é estimada assumindo que a absorção da radiação solar pelas nuvens não é significativa e que a contribuição do espalhamento da radiação solar causado pelas nuvens pode ser adicionada à transmitância atmosférica em condições de céu claro. Dessa forma, como detalhado por Martins (2001), a componente direta da irradiação solar é estimada com o uso da expressão abaixo:

$$\text{DNI} = \Phi_0 \cdot \tau_{\text{atm-dir}} \cdot \tau_{\text{cloud-dir}} \quad (1)$$

Onde:

Φ_0 é a radiação solar no topo da atmosfera;

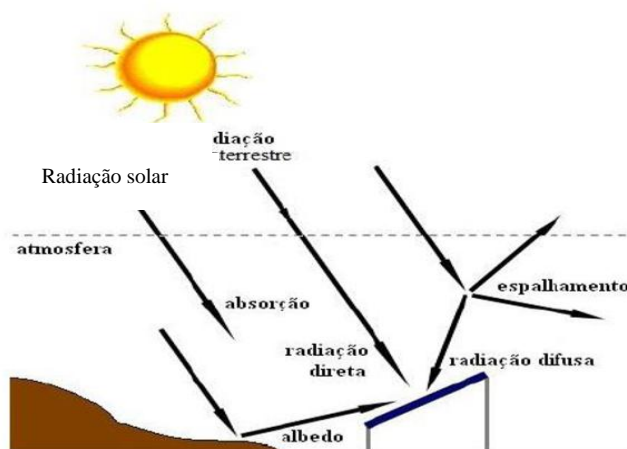
$\tau_{\text{cloud-dir}}$ representa a transmitância das nuvens e;

$\tau_{\text{atm-dir}}$ é a transmitância de céu claro para a componente direta da irradiação solar;

2.2.3 Radiação Média Incidente em uma Superfície Inclinada

Em uma superfície inclinada em relação à horizontal, além da radiação direta e difusa, a superfície recebe a incidência da radiação refletida pelo solo, denominada albedo, conforme apresentado na figura 3. De forma geral, apenas a radiação horizontal é normalmente medida. Dessa forma, foram desenvolvidos modelos para, a partir de dados de radiação global horizontal, direta e difusa medidos em determinados locais, determinar a componente difusa.

Figura 3 – Radiação Incidente em uma superfície Inclinada



Fonte: Adaptado de Pinho et al. (2008)

Segundo Tolmasquim (2016) do ponto de vista da utilização da energia solar, o princípio mais básico e importante é a avaliação exata da radiação solar incidente em uma superfície com qualquer ângulo de inclinação e direção. No entanto, o ângulo incidente do raio solar em qualquer superfície inclinada altera-se em cada hora e a intensidade da radiação solar numa superfície inclinada também se altera, dependendo das condições atmosféricas e da localização geográfica. Isso deve-se à inclinação do eixo imaginário em torno do qual a Terra gira diariamente (movimento de rotação) e à trajetória elíptica que a Terra descreve ao redor do Sol (translação ou revolução) (TOLMASQUIM, 2016)

Tanto para as irradiações solar extraterrestre e global quanto para os valores das superfícies horizontal e vertical, as curvas apresentaram comportamento periódico, acompanhando as variações astronômicas do sol. Para superfície horizontal, maiores valores ocorrendo no verão e menores valores no inverno, enquanto que para superfície vertical, simulando uma latitude do hemisfério norte, maiores valores ocorrendo no inverno e menores no verão. Para as irradiações solares global, a dispersão dos valores é maior em função da interferência da atmosfera, com seus gases, aerossóis, vapor d'água e nuvens, que são fatores que causam a atenuação dos níveis de irradiação solar na superfície terrestre, promovendo maior variabilidade (INÁCIO, 2009; DAL PAI, 2010)

2.3 Recursos Energéticos Provenientes do Sol

Conforme o Atlas Brasileiro de Energia Solar, a energia proveniente do Sol tem maiores perspectivas de crescimento em relação as demais fontes renováveis de energia.

Tanto do ponto de vista socioeconômico como do ponto de vista ambiental, a geração de energia elétrica a partir da fonte solar proporciona inúmeros benefícios, conforme destacado por ABSOLAR (2016). Se analisado o ponto de vista elétrico, auxilia para diversificação da matriz, fazendo com que haja um aumento da segurança no fornecimento, reduzindo as perdas e diminuindo os esforços de transformadores e alimentadores. Se considerado o aspecto ambiental, há a redução da emissão de gases do efeito estufa, da emissão de materiais particulados e do uso de água para geração de energia elétrica. Em relação aos aspectos socioeconômicos, a geração de energia solar contribui com a geração de empregos locais, o que proporciona o aumento da arrecadação e de investimentos.

Conforme ANEEL (2005), quase todas as fontes de energia, incluindo hidráulica, biomassa, eólica, combustível fóssil e energia dos oceanos, são formas indiretas de energia solar. De forma direta, a radiação solar pode ser:

- i. Usada como fonte de energia térmica, colaborando para aquecimento de fluidos e de ambientes, bem como utilizada na geração de potência mecânica ou elétrica;
- ii. Convertida em energia elétrica diretamente por meio de materiais termoelétrico e fotovoltaico.

A excitação dos elétrons ocorre devido o efeito fotovoltaico de alguns materiais na presença da luz solar, ou outras formas apropriadas de energia. Através das células solares ou fotovoltaicas ocorre conversão da radiação solar em energia elétrica ocorre através de células solares ou fotovoltaicas o silício é o principal material de fabricação. A eficiência de conversão das células solares é medida pela proporção da radiação solar incidente sobre a superfície da célula que é convertida em energia elétrica. Atualmente, as melhores células apresentam um índice de eficiência de 25% (GREEN et al., 2000).

Conforme Bandeira (2012), os concentradores solares, são formados por grandes áreas espelhadas que concentram a luz solar em um ponto específico, produzindo elevadas temperaturas, destinando-se a aplicações como secagem de grãos e produção de vapor. O vapor produzido por concentradores pode gerar energia mecânica com o auxílio de uma turbina a vapor, e, posteriormente, eletricidade, por meio de um gerador, com funcionamento semelhante ao de uma termelétrica a vapor convencional.

2.4 Considerações Finais

A radiação solar que incide na Terra em um ano é 10.000 vezes maior que a demanda energética neste mesmo período, podendo ser considerada uma fonte inesgotável. Apenas uma

fração de toda a radiação solar que chega às camadas superiores da atmosfera, atinge a superfície terrestre, devido à reflexão e absorção dos raios solares pela atmosfera. Esta fração que atinge a superfície da Terra é constituída por duas componentes, uma componente direta e uma componente difusa.

De modo especial, uma terceira componente pode surgir que ocorrerá quando a superfície receptora estiver inclinada com relação à horizontal, sendo refletida pelo ambiente ao redor como solo, vegetação, obstáculos e terrenos rochosos. O coeficiente de reflexão destas superfícies é denominado de “albedo”.

O uso térmico da energia solar é interessante em áreas onde existem o abastecimento de energia elétrica porque permite a redução do consumo individual de eletricidade. Pode ainda ser utilizado em regiões frias, não abastecidas oficialmente, para melhorar o conforto térmico de moradias e áreas de criação de animais. Já o aproveitamento da energia solar para geração de eletricidade oferece áreas de usos muito mais amplas. A geração de energia elétrica a partir da tecnologia ou fotovoltaica de forma individual pode abastecer áreas desprovidas deste serviço, melhorar as condições de vida em áreas rurais, reduzir custos com energia convencional em áreas urbanas e ainda contribuir para geração de energia elétrica do sistema público.

3 ENERGIA SOLAR CONCENTRADA

3.1 Considerações Iniciais

Ao contrário das células solares (fotovoltaicas), que usa a luz para produzir eletricidade, o sistema de energia solar concentrada gera eletricidade a partir do calor. Os coletores solares usam espelhos e lentes para centralizar e focar a luz do sol em um receptor, semelhante a um tubo de caldeira. O receptor absorve e converte a luz solar em calor. O calor é então transportado para um gerador de vapor ou motor onde é convertido em eletricidade. (NREL, 2001)

A radiação solar pode ser coletada por diferentes tecnologias de CSP para fornecer calor de alta temperatura. Ao gerar energia durante o dia, o calor solar adicional pode ser coletado e armazenado, geralmente em um meio de mudança de fase, como o sal fundido (KROTHAPALLI, 2015). O calor armazenado pode ser usado durante a noite para geração de energia. Os reservatórios de estocagem devem ser termicamente isolados para que sejam capazes de manter o fluido aquecido até sua utilização final.

3.2 Conversão Térmica da Energia Solar

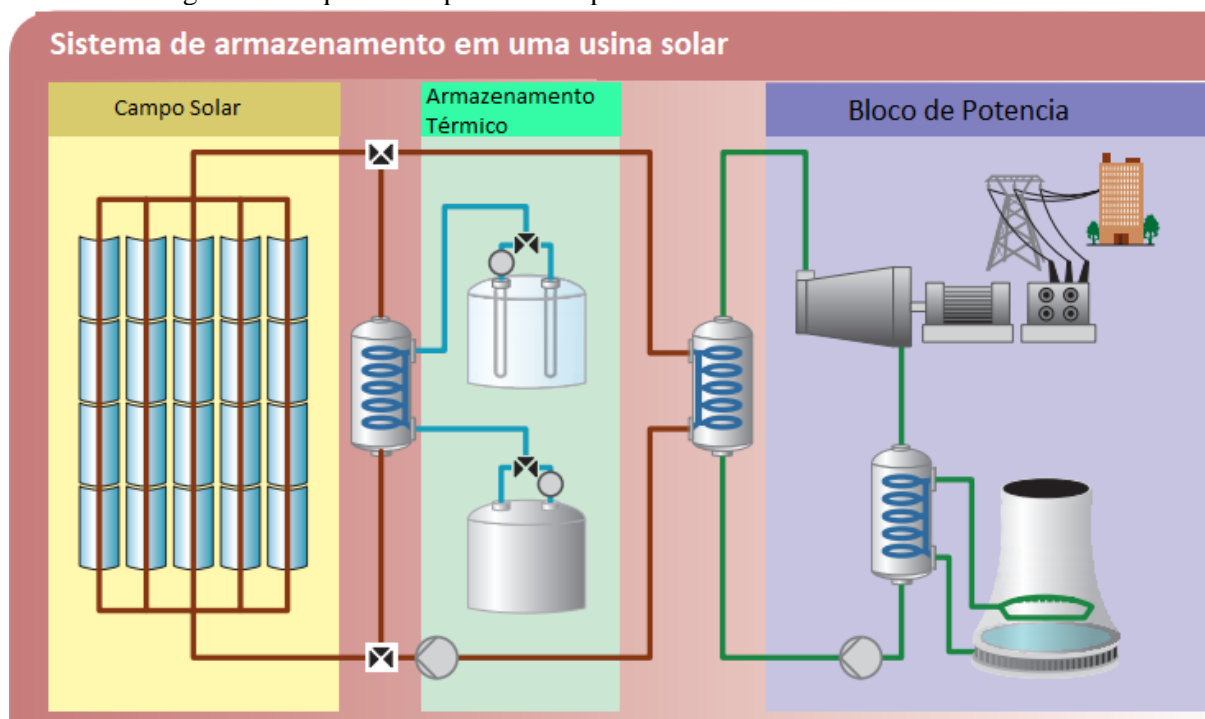
As tecnologias de heliotérmica baseiam-se em quatro componentes básicos: coletor, receptor, transporte-armazenamento, e conversão de potência. (CAMÊLO CAVALCANTI et al., 1999). O processo inicia-se quando o sistema espelhos, denominados coletores, utiliza a reflexão dos raios solares diretos. Os coletores solares acompanham a posição do Sol ao longo do dia e refletem os raios solares para um foco, onde se encontra um receptor. O receptor absorve essa luz solar concentrada e então transfere a energia térmica a alta temperatura para o fluido térmico, água por exemplo, que se mantém em alta temperatura.

No estado líquido do fluido, por exemplo, água salina, as moléculas sofrem um procedimento de separação e se desencaixam uma das outras, e adquirem a forma gasosa. Quando o fluido está na forma gasosa, e as moléculas já estão separadas, fecha-se mais rápido, já que existe uma energia adicional, passando para fora das paredes de todo o recipiente onde estejam demarcados (BERTIN, 2017). Nesses dois casos, conforme o aumento da pressão ocorre o aumento da temperatura. Centrando esta pressão em tubos estreitos e isolado. Com isso eleva-se a temperatura por compressão, e obtém-se força mecânica para transformação de energia.

O fluido do receptor é levado para o sistema de conversão de potência por meio do sistema de transporte-armazenamento. Após o calor recebido, existem duas maneiras de atuação do fluido de calor (MILANI 2016):

- a) Depois de concentrado no receptor, o fluido é direcionado para um reservatório quente do ciclo termodinâmico. A partir desse momento, o processo é igual a uma planta termelétrica convencional.
- b) A outra maneira ocorre quando se inclui um armazenamento térmico no ciclo. Uma parte do fluido quente, após ser absorvida pelo receptor, é armazenada e a outra parte vai para o processo. Esse fluido armazenado em baterias térmicas é utilizado nos períodos onde não há incidência de luz solar. A figura 4 apresenta uma planta com armazenamento térmico:

Figura 4 – Esquema simplificado de planta CSP com armazenamento térmico



Fonte: Adaptado de IEA (2010)

O sistema de conversão de potência consiste de uma máquina térmica que aciona um gerador elétrico assegurando a conversão da energia térmica em energia elétrica, de forma semelhante a geração de eletricidade convencional a partir de combustíveis fósseis ou fontes nucleares.

A tecnologia solar térmica abrange três tipos de conversão de energia: de radiação para calor, de calor para energia térmica e de energia mecânica para eletricidade.

3.3 Coletores Solares

Conforme Kalogirou (2009), os coletores solares são trocadores de calor que transformam radiação solar direta e difusa em calor. O coletor capta a radiação solar, a converte em calor, e transfere esse calor para um fluido (ar, água ou óleo em geral).

Os coletores solares térmicos podem ser divididos em duas categorias, de concentração ou não. Os coletores de concentração solar concentram a luz solar em um ponto ou em uma linha, aquecendo os fluidos de trabalho a altas temperaturas. São utilizados tanto para geração de energia elétrica quanto para dessalinização de água salobra. Os coletores que não concentram a luz solar converte a radiação solar diretamente em calor e são comumente utilizados para aquecimento de água residencial. Essa tecnologia de conversão solar térmica é a mais difundida no mercado. (KALOGIROU, 2009).

Além da concentração ou não, os coletores solares podem ser divididos em estacionários ou rastreadores, conforme Kalogirou (2009). os coletores rastreadores podem rastrear em um ou em dois eixos. Na tabela 1, será apresentada as principais características de alguns modelos, e a seguir, alguns dos principais modelos de tecnologia coletora de radiação solar serão descritos.

Tabela 1 – Classificação dos coletores solares por grau de rastreamento

<i>Motora</i>	<i>Coletor</i>	<i>Receptor</i>	<i>Faixa de temperatura (°C)</i>
Estacionário	Solar plano	Plano	30 a 80
	Tubular a vácuo	Plano	50 a 200
	Parabólico composto	Tubular	60 a 300
Rastreamento em 1 eixo	Refletor linear Fresnel	Tubular	60 a 250
	Cilíndrico parabólico	Tubular	60 a 400
Rastreamento em 2 eixo	Disco parabólico	Pontual	100 a 1500
	Torre solar	Pontual	150 a 2000

Fonte: Adaptado de KALOGIROU (2009)

3.4 Tecnologia Torre Solar

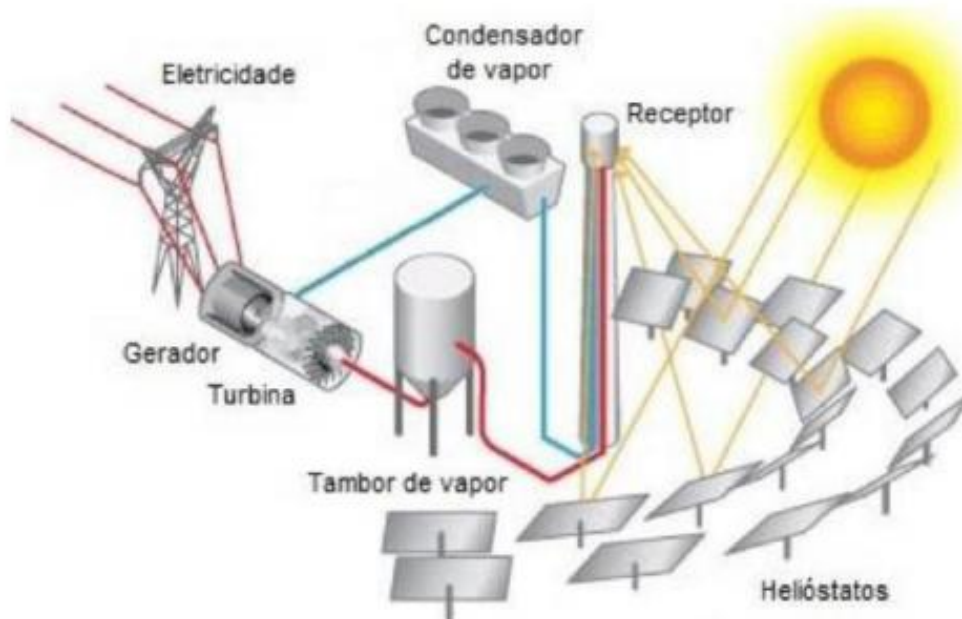
O sistema de torre de receptor central se baseia em um campo de helióstatos que se movem independentemente e são capazes de rastrear o sol em dois eixos, direcionando a radiação solar na direção do receptor central que se localiza no topo da torre próxima ao campo (BIANCHINI, 2013).

São três as configurações do sistema coletor/receptor (KALOGIROU, 2009):

- I. Os heliostatos estão em volta da torre em 360° e o receptor é cilíndrico e com o trocador de calor localizado na superfície externa da torre;
- II. Os heliostatos ficam a norte (no hemisfério norte ou sul no hemisfério sul) da torre e o trocador de calor é interno a torre;
- III. Os heliostatos se posicionam em relação à torre, mas o receptor é um plano vertical com um trocador de calor externo apenas na face direcionada para os heliostatos.

Cada heliostato é composto por quatro espelhos instalados no mesmo pilar, com área refletora total de 50 m² a 150 m² (KALOGIROU, 2009). Cada heliostato rastreia o sol individualmente e concentram a radiação no receptor. A Figura 5 demonstra como se dá a instalação de uma planta de usina CSP usando a tecnologia de Torre Solar.

Figura 5 – Esquema de instalação e funcionamento de uma Torre Solar



Fonte: ANEEL (2005)

O fluido aquecido circula na própria torre solar, sem a necessidade da instalação de tubulações nos espelhos. A torre solar gera temperaturas elevadas o bastante para transformar água em vapor (150°C a 2000°C), permitindo a movimentação de turbinas de alta potência com maior eficiência de conversão de energia mecânica para geração de eletricidade, ou ainda, a canalização para injeção direta em poços de petróleo (Malagueta, 2012).

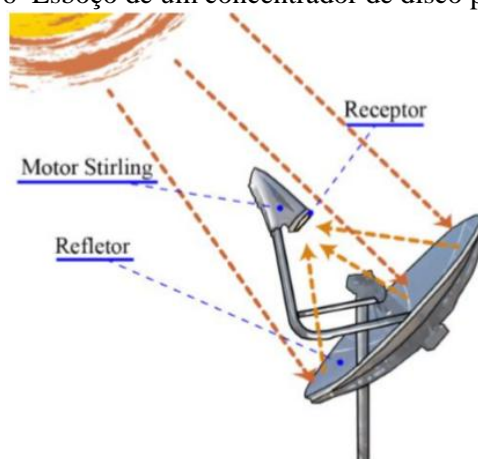
Ainda segundo ANEEL (2015), devido a sua alta capacidade de armazenar temperatura, essa tecnologia tem o potencial de atingir maior eficiência e um custo menor em relação ao modelo de calha parabólica.

3.5 Tecnologia Disco Parabólico

O disco parabólico, apresentado na figura 6, é composto por um sistema de rastreamento pontual em dois eixos, e por isso apresenta taxas de concentração (600 a 2.000), como consequência, atinge temperaturas mais altas (de 100°C a 1.500°C). Apesar da tecnologia de torre concentradora consegue atingir taxas de concentração maior que a tecnologia disco parabólico (cerca de 2.000°C) (KALOGIROU, 2009).

A tecnologia Disco parabólico, possui melhor aproveitamento possível de radiação solar, visto que consegue rastrear em dois eixos, apontando diretamente para o sol desde o nascer até o poente. O receptor, que contém o fluido de trabalho, é posicionado no ponto focal do disco parabólico. Esse tipo de coletor é modular, portanto pode ser utilizado de forma independente ou como parte de um sistema composto por vários discos parabólicos (KALOGIROU, 2009).

Figura 6–Esboço de um concentrador de disco parabólico



Fonte: Mantilla (2017)

Os raios solares incidem sobre a parábola e são concentrados no ponto focal da parábola, onde aquecem o fluido circulante. Esse calor pode ser usado de duas maneiras (KALOGIROU, 2009):

- a) ser transportado por tubulação para um sistema central;
- b) ser transformado diretamente em eletricidade em um gerador acoplado diretamente no receptor;

O segundo modelo é o mais comum. Em geral é mais interessante tanto técnica (devido a perdas térmicas) quanto economicamente gerar eletricidade em cada disco, do que conduzir o calor de cada disco até um sistema de geração central (KALOGIROU, 2009).

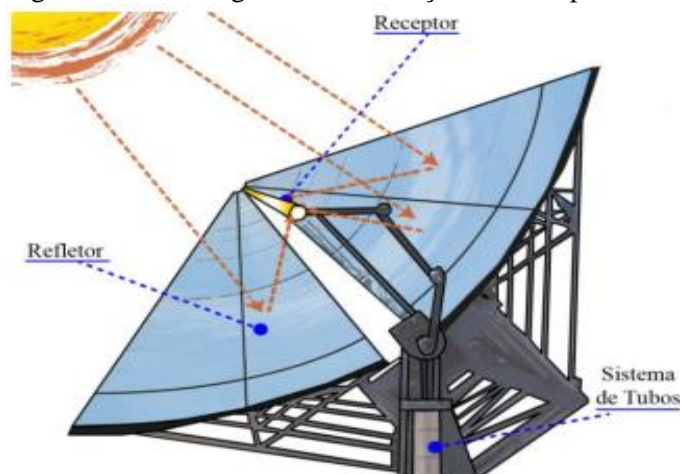
O calor é transferido para o fluido de trabalho que aciona o motor Stirling, aí então é convertido pelo motor em energia mecânica. Acoplado ao motor, está um gerador de energia elétrica, que converte a energia mecânica em energia elétrica (LODI, 2011).

Concentradores de disco parabólico são geralmente utilizados em sistemas com um gerador acoplado ao receptor para conversão direta em eletricidade. Kalogirou (2009) explica que a utilização desse tipo de tecnologia em centrais solares pode não ser conveniente devido à necessidade de transporte da energia térmica de vários receptores.

3.6 Tecnologia Cilindro Parabólico

Estes coletores permitem o aquecimento de fluidos até temperaturas de 400°C. São coletores com geometria cilíndrica parabólica e revestida por um material refletor, conforme apresentado na figura 7.

Figura 7 – Tecnologia de concentração cilindro parabólico.



Fonte: Mantilla (2017)

Ao longo da linha de foco do coletor é colocado um tubo metálico preto, chamado de receptor. Quando a parábola esta apontada para o sol, os raios diretos são refletidos pela superfície da parábola e concentrados no tubo receptor, fazendo com que o fluido que circula dentro do tubo seja aquecido (MALGUETA, 2012).

Esse fluido circula em circuito fechado dentro do tubo, sendo o fluido o responsável pelo transporte e armazenamento da energia térmica, o que torna possível a produção de eletricidade em dias nublados ou durante a noite (CRESESB, 2008).

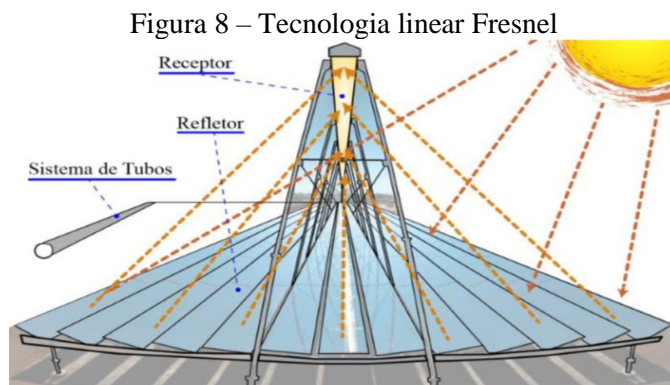
Com a energia solar absorvida nos tubos, ocorrerá a troca de calor com a água, onde trocadores de calor são usados para gerar um fluxo de vapor. O fluxo de vapor é levado até a turbina a vapor, fazendo o gerador girar e gerar eletricidade (ANEEL, 2015).

O vapor utilizado na turbina pode ser condensado em um sistema de condensação, para que seja bombeado de volta para os trocadores de calor, para que ocorra um processo de reaproveitamento do vapor (LODI, 2011).

Para que possam acompanhar o sentido de deslocamento do Sol ao longo do dia, são construídos com um sistema de rastreamento de um eixo, podendo ser orientados no sentido norte-sul ou no sentido leste-oeste (MALGUETA, 2012). Esse sistema deve ser confiável para rastrear o Sol durante o dia, inclusive durante dias nublados, e retornar a posição original no fim do dia (KALOGIROU, 2009). Durante o verão o coletor norte-sul coleta mais calor do que o leste-oeste, porém esse último tem uma produção de energia ao longo do ano mais uniforme que o sistema norte-sul (KALOGIROU, 2009).

3.7 Tecnologia Fresnel

Kalogirou (2009) classifica os coletores Fresnel em dois tipos: o coletor Fresnel de lentes e o refletor linear Fresnel. O de lentes é constituído por um material plástico transparente, concentrando os raios em um receptor, enquanto refletor linear, Figura 8, é constituído por uma série de tiras planas lineares de espelhos.



Fonte: Mantilla 2017

Segundo Zhang et al. (2013), esse sistema necessita de baixo investimento, pois é mecanicamente o mais simples e o fato de que o receptor é fixo facilita a geração de vapor direto, eliminando a necessidade de um fluido de transferência de calor. Apesar dessas vantagens, é difícil integrar o armazenamento e o sistema não gera temperaturas muito altas, consequentemente, tem uma baixa eficiência (BAHAROOM, 2015).

Embora a semelhança de funcionamento do coletor da tecnologia linear de Fresnel com o concentrador cilíndrico-parabólico, o coletor linear de Fresnel possui algumas importantes diferenças:

a) Não é necessário que as conexões sejam flexíveis, assim é possível utilizar o fluido sobre pressão, já que a linha focal, onde a energia solar se concentra, não se move.

b) Embora os espelhos planos utilizados em coletores Fresnel seja mais simples e baratos, esses espelhos têm mais perdas óticas, apresentando menor eficiência.

Uma desvantagem do refletor linear Fresnel é o cuidado necessário no projeto para evitar que um espelho cause sombra em outro, aumentando o tamanho da área a ser ocupada pela planta (KALOGIROU, 2009).

3.8 Fatores Ambientais

Como todo empreendimento gerador de energia elétrica, as usinas solares, tanto as fotovoltaicas quanto as heliotérmicas, - apresentam diversos impactos ambientais, sejam positivos ou negativos, em todo o seu ciclo de vida (TURNEY & FTHENAKIS, 2011), em variadas amplitudes e abrangências.

Segundo Tolmasquim (2016), os temas relevantes para análise dos impactos ambientais a partir de heliotérmicas são:

- 1) uso e ocupação do solo;
- 2) uso da água;
- 3) Fauna;
- 4) Saúde e Segurança;
- 5) População;
- 6) Empregos; e
- 7) Receitas.

Os impactos no uso e ocupação do solo variam muito, dependendo da tecnologia heliotérmica empregada e do tamanho dos projetos, pois, dependendo da configuração, as plantas podem ocupar espaços grandes ou pequenos. Durante a implantação de plantas heliotérmicas, pode haver interferência na fauna e na flora, especialmente se houver necessidade de desmatamento. Portanto, o ecossistema deve ser monitorado para identificar possíveis interferências e minimizar possíveis impactos.

Em relação ao consumo de água, utilizada para limpar os espelhos e refrigerar a usina. Conforme apresentado por Carter e Campbell (2009), a maior parte da água é consumida para o resfriamento, e uma pequena parte para a lavagem dos espelhos. Contudo, em áreas adequadas para implantação de usinas heliotérmicas, a água geralmente é escassa. Sendo necessário transportar água de fontes distantes, além de tratá-la, para o resfriamento do sistema, o que ocasiona em um aumento da complexidade do projeto e custo da usina. (CARTER & CAMPBELL, 2009). Neste aspecto, pesquisadores estudam novas formas de aproveitamento eficiente da água. Como alternativa tecnológica, os sistemas heliotérmicos podem se utilizar de processos de resfriamento a seco ou híbridos (TOLMASQUIM 2016). Em um sistema de resfriamento a seco, mais de 90% do uso da água pode ser reduzido (CARTER; CAMPBELL, 2009).

Em determinados tipos de projetos, principalmente em torre solar, a interferência na fauna vêm sendo relatadas (TOLMASQUIM 2016). Devido às altas temperaturas, ocorre a mortalidade por chamuscamento, havendo também casos de mortalidade por colisão com as instalações. Visando gerar o mínimo de impacto ambiental nessa área, testes com dispositivos sonoros, empoleiramento e quimiosensível que objetivam o afastamento das aves, são estudados como medidas de gestão para redução desses impactos.

No que se refere a saúde e segurança, ocorre riscos ambientais relacionados à contaminação humana, do solo e da água por meio da utilização dos fluidos térmicos aplicados nos sistemas de transferência de calor durante a operação das usinas (TOLMASQUIM 2016). De acordo com Nass (2002), “contaminação é a presença, em um

ambiente, de seres patogênicos, que provocam doenças, ou substâncias, em concentração nociva ao ser humano”. O óleo térmico, fluido de trabalho de algumas usinas heliotérmicas, deve ser tratado com bastante cuidado, pois é inflamável e, caso tenha contato com o solo, pode ser nocivo ao meio ambiente.

A oportunidade de geração de empregos, podendo ser somente temporários, quando relacionados à fase de construção, ou permanentes, se associados à fase de operação. Esses impactos são positivos e devem ser potencializados com projetos de capacitação e contratação de mão de obra local.

3.9 Considerações Finais

Os sistemas solares termais demandam a existência de equipamentos de coleta, estocagem e acumulação da radiação solar convertida em calor. Em regiões tropicais, esses sistemas podem ser muito simples e apresentar grande eficiência, mas nas regiões mais frias esses sistemas precisam de novos componentes, tais como fluidos anticongelantes e válvulas de descarga para melhorar seu desempenho.

Diante da explanação para cada modelo, pode-se ter noção do grau de crescimento que a tecnologia de fonte heliotérmica vem tendo nas últimas décadas e a perspectiva de crescimento para os próximos anos. Sendo que o principal conceito utilizado é a tecnologia de cilindro parabólico que é a mais testada dentro dos quatro modelos existentes de CSP.

A área disponível para instalação de coletores de energia solar em indústrias pode ser o fator limitante para a geração de energia suficiente para atender toda demanda térmica e elétrica industrial (WALSTON et al., 2016).

Um dos desafios na avaliação dos impactos negativos está relacionado à mortalidade de aves em usinas heliotérmicas. A natureza e a magnitude dos impactos nas aves estão, geralmente, relacionadas à localização, tamanho e tecnologia das usinas (WALSTON et al., 2016).

4 CONTEXTO ATUAL E PERSPECTIVAS DA ENERGIA SOLAR CONCENTRADA

4.1 Considerações iniciais

Todas as tecnologias de CSP usam uma configuração de espelho para concentrar a energia da luz do sol em um receptor e convertê-la em calor. O calor pode então ser usado para criar vapor para acionar uma turbina para produzir energia elétrica ou usada como calor de processo industrial (SOLARPACES, 2018).

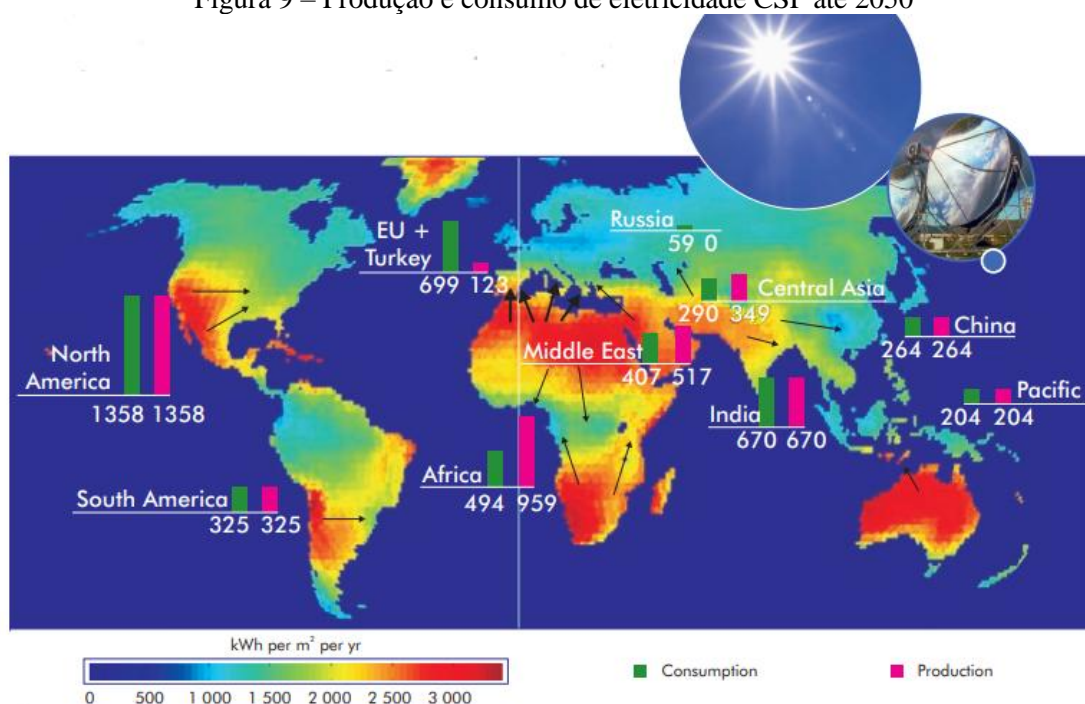
As usinas de concentração de energia solar podem integrar sistemas de armazenamento de energia térmica para gerar eletricidade durante períodos nublados ou por horas após o pôr do sol, ou antes, do nascer do sol. Essa capacidade de armazenar energia solar faz da concentração de energia solar uma fonte flexível e despachável de energia renovável (SOLARPACES, 2018).

Os sistemas CSP também podem ser combinados com usinas de ciclo combinado, resultando em usinas híbridas que fornecem energia despachada e de alto valor (SOLARPACES, 2018). Eles também podem ser integrados às usinas termelétricas existentes que usam um bloco de energia como o CSP; como carvão, gás natural, biocombustível ou usinas geotérmicas.

As usinas de CSP também podem usar combustível fóssil para suplementar a produção solar durante períodos de baixa radiação solar. Nesse caso, é utilizado um calor alimentado a gás natural ou uma caldeira / reaquecedor a vapor a gás (SOLARPACES, 2018).

A implantação de plantas de CSP no mundo está em um estágio de introdução e expansão do mercado. Pode-se verificar esse crescimento na figura 9. Em 2016, a capacidade instalada de CSP no mundo era de 4,8 GW, em comparação com 300 GW de capacidade fotovoltaica solar. A capacidade do CSP deverá dobrar até 2022 e atingir 10 GW (IEA, 2017), com quase toda a nova capacidade incorporando armazenamento. O CSP com armazenamento pode aumentar a flexibilidade de um sistema de energia, facilitando a integração de tecnologias renováveis variáveis, como energia solar fotovoltaica e eólica.

Figura 9 – Produção e consumo de eletricidade CSP até 2050



Fonte: IEA (2016).

Segundo o autor Bahar (2019) “a geração de energia solar concentrada aumentou cerca de 8% em 2018. No entanto, o CSP não está no caminho certo com o CDS (Cenário de Desenvolvimento Sustentável), que exige um crescimento médio anual de quase 26% até 2030. O planejamento de políticas que enfatize o valor do armazenamento da planta de CSP será fundamental para atrair investimentos adicionais.”

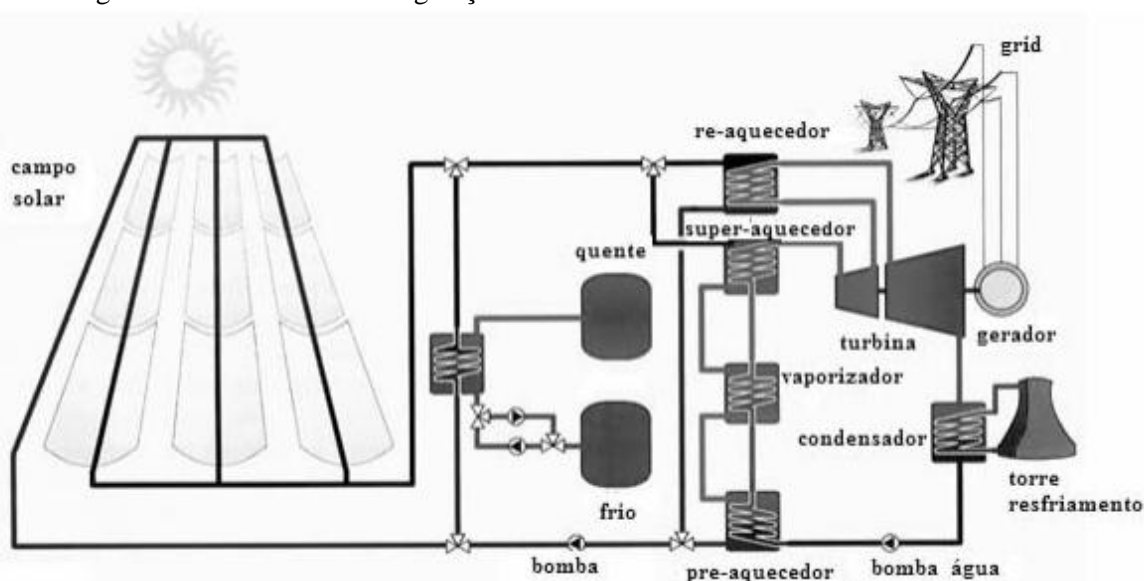
4.2 Usinas de energia termossolar concentrada

Assim como nos sistemas fotovoltaicos, a conversão direta de energia solar em eletricidade também pode ser alcançada com a tecnologia CSP. Os dispositivos termoelétricos solares podem converter energia térmica solar, com seu gradiente de temperatura induzido, em eletricidade. Eles também podem ser modificados para serem usados como tecnologia de refrigeração ou aquecimento (BARLEV et al., 2011). Recentemente, as tecnologias de CSP foram combinadas com termelétricas, a fim de obter maior eficiência (BARLEV et al., 2011).

Quanto ao dimensionamento da planta, para o mesmo tamanho do campo de concentradores solares, a proporção entre o campo, os tanques de armazenamento e a turbina do bloco de potência podem variar em função da aplicação e do regime de operação desejados (MALAGUETA, 2012).

Os sistemas industriais ligados aos coletores concentradores, mostrado na figura 10, não diferem muito de sistemas convencionais que geram calor de processo. A peça chave do sistema é o campo de coletores e o arranjo dos coletores no solo. Um fluido de calor circula pelo campo. Ao medir a temperatura do fluido na saída do coletor, um sistema de controle regula a vazão do fluido em função da radiação. O calor ganho pelo fluido é então transferido em um trocador de calor, de onde é utilizado em algum processo industrial ou armazenado em tanques para uso posterior (DGS, 2005).

Figura 10 – Sistema solar de geração de eletricidade com armazenamento de calor.



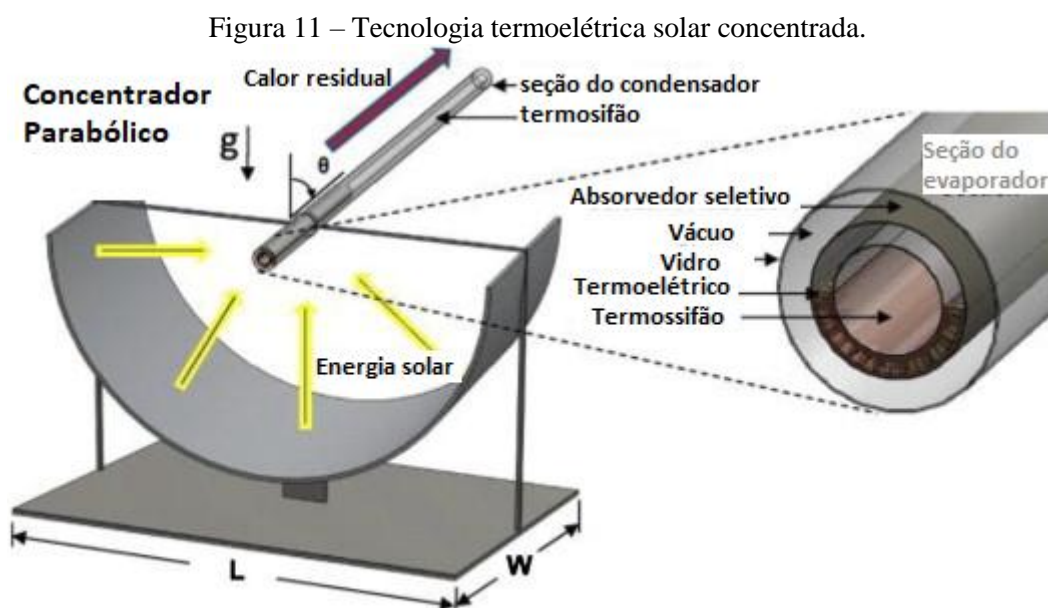
Fonte: Revista Brasileira de Energia Solar (2014).

O campo solar é o local da planta onde a radiação solar direta é coletada e absorvida por um fluido de trabalho, responsável por transportar energia do campo solar para o bloco de potência e/ou para o sistema de armazenamento de energia térmica (FERREIRA, 2018).

Segundo (DGS, 2005), o melhor arranjo para armazenamento de calor é com o uso de dois tanques, um a baixa temperatura e outro a alta temperatura. Em momentos de excesso de calor, parte do calor é transferida para um fluido de armazenamento (em geral sal fundido) em um trocador de calor, que aquece o fluido do tanque mais frio e o conduz ao tanque mais quente. Em momentos de baixa radiação, períodos nublados, ou mesmo a noite, o fluido quente do tanque de armazenamento pode ser reconduzido ao trocador de calor, para desta vez transferir calor ao sistema de geração de trabalho.

O bloco de potência é o local da planta onde a energia térmica proveniente do campo solar e/ou do sistema de armazenamento é convertida em eletricidade através de um ciclo de Rankine convencional.

Um gerador termoelétrico solar concentrado geralmente consiste em um coletor solar térmico e um gerador termoelétrico, como mostra a figura 11. O calor é absorvido pelo coletor térmico, depois concentrado e conduzido para o gerador termoelétrico, onde a resistência térmica do gerador cria uma diferença de temperatura entre a placa absorvente e o fluido, o que é proporcional ao fluxo de calor. O custo atual de materiais termoelétricos dificulta o uso generalizado de CSPs.



Fonte: adaptado de Barlev.

Os locais mais adequados para CSP em relação à irradiação solar são os desertos do mundo (ALALEWI, 2014). O melhor recurso solar do mundo está nos desertos da África do Sul e Chile, onde a energia solar direta anual a irradiação atinge $3.000\text{kWh}/\text{m}^2$ por ano. O sul da Espanha e a costa norte da África têm $1.800 - 2.200\text{kWh}/\text{m}^2$ por ano. O sudoeste dos EUA e o alto Egito têm $2.000 - 2.800\text{kWh}/\text{m}^2$ por ano. França, Itália e Portugal têm níveis ainda mais baixos. O potencial térmico global do CSP foi estimado quase $3.000.000\text{ TWh}/\text{ano}$, o que significa 166 vezes mais do que a atual energia mundial de consumo de $18.000\text{ TWh}/\text{ano}$ (ALALEWI, 2014).

Outros fatores importantes na seleção de plantas CSP, conforme citado por Alalewi (2014) são os fatores geográficos e os fatores políticos e econômicos.

No que diz respeito aos fatores geográficos, segundo Alalewi (2014) deve-se avaliar:

- i. Disponibilidade de terras planas e não povoadas que não sejam ambientalmente sensíveis ou já sendo usado.

- ii. Disponibilidade de amplos montantes da água para resfriamento.
- iii. Distância para a rede elétrica.
- iv. Acesso rodoviário.
- v. Potenciais riscos climáticos.

Deve-se atentar também aos fatores políticos e econômicos tais como:

- i. Estabilidade política da região.
- ii. Custo do arrendamento de terras.
- iii. Existência de esquemas de incentivos governamentais.
- iv. Liberdade de investimento.
- v. Existência de um contrato de compra de energia.

As usinas de CSP sem armazenamento de energia térmica em locais com DNI anual superior a 2.000 kWh / m² por ano teriam fatores de capacidade em torno de 20 a 25%, equivalentes a cerca de 2.000 horas de operação com carga total por ano, com a perspectiva de expandir seu tempo de operação solar para basear a carga usando armazenamento de energia térmica e campos coletores maiores. (TRIEB et al., 2009)

Segundo ARVIZU et. al. (2011) dados de custos de CSP são limitados e altamente dependentes de características de cada planta, como a existência ou não de armazenamento de calor (e a capacidade de armazenamento), e de hibridização (e qual a participação desta na geração total da planta).

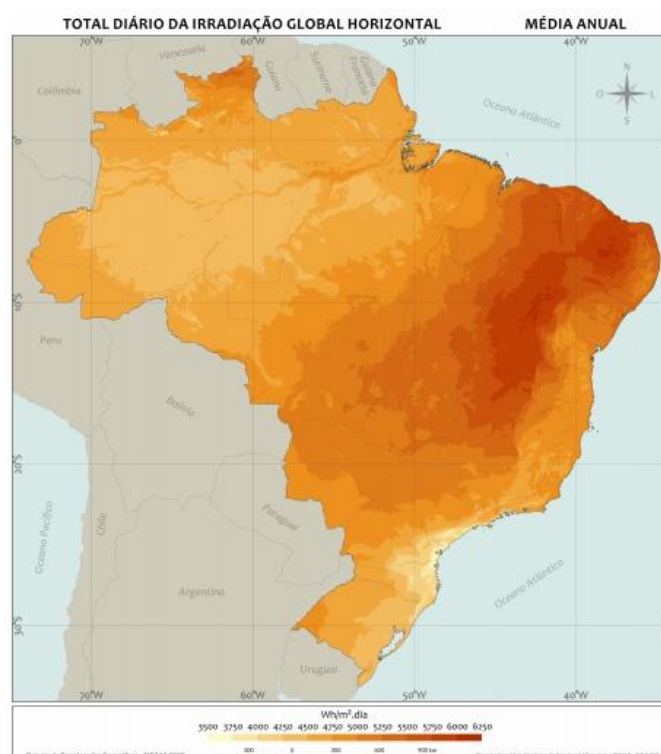
Geralmente os custos para a instalação de CSP é superior aos custos de FV. Os preços das instalações atualmente está entre R\$ 350,00 e R\$ 650,00/MWh, dependendo da tecnologia, se possui armazenamento e quantas horas de armazenamento. É esperado para 2020, a diminuição do custo total de 30% a 50%. (MME, 2017)

Os custos de investimento para plantas que incluem armazenamento tendem a ser maiores do que as sem este complemento (IRENA, 2018). Contudo, o armazenamento permite maiores fatores capacidade. Por exemplo, para centrais heliotérmicas de cilíndrico parabólico (a tecnologia com maior participação de projetos no mundo até agora), os custos totais de instalação obedecem a um intervalo de US\$ 2.550/kW a US\$ 11.265/kW para sistemas sem armazenamento.

4.2.1 Cenário no Brasil

O Brasil possui extensas regiões semiáridas com irradiação normal direta, Figura 12, da ordem de 6kWh/m^2 por dia. O maior potencial está localizado na bacia do rio São Francisco e nas áreas de Sobradinho, no nordeste. Locais potenciais no Brasil estão próximos do equador e isso tem uma vantagem óptica. Imensas áreas terrestres estão disponíveis para aplicações solares térmicas.

Figura 12 – Irradiação solar direta no Brasil



Fonte: INPE (2017).

Januária e Itacarambi têm excelentes condições topográficas, acesso à rede, água de resfriamento, acesso à estrada, baixa velocidade do vento e temperatura ambiente moderada com pouca variação diária, conforme relatório do START. Esses locais recebem radiação solar direta anual entre 1.800 e 2.300 kWh / m^2 e podem acomodar facilmente usinas de energia solar em larga escala.

Um contrato de dois anos (2010 - 2011) foi assinado entre MME e o CEPREL para apoiar o desenvolvimento de um Projeto Básico para futura implementação de uma planta piloto de CSP no nordeste do Brasil, Informações disponíveis no **anexo A**. Atualmente, o CEPREL está desenvolvendo uma instalação de pesquisa de energia solar Heliotérmica.

O projeto Heliotérmica consiste em três fases:

- 1) Construção de uma usina parabólica de 1 MW,
- 2) Adição de um sistema de armazenamento térmico,
- 3) Desenvolvimento de outras tecnologias, como torre de energia ou Fresnel linear.

A primeira fase do projeto possui um orçamento total de R \$ 28,3 milhões e foi iniciada oficialmente em dezembro de 2012 com o primeiro depósito de financiamento pela FINEP. Porém o projeto ainda não foi finalizado.

4.2.2 Cenário Mundial

A aplicação comercial da heliotermica para a geração de energia elétrica é relativamente recente. Estados Unidos e Espanha foram pioneiros no desenvolvimento de tecnologias do setor, com investimentos em P&D (pesquisa e desenvolvimento) desde as décadas de 1970 e 1980. Por exemplo, o maior centro atualmente da Europa de P&D em energia solar térmica situa-se na Espanha e foi fundado em 1977 (IEA, 2008).

Embora as primeiras experiências com calhas parabólicas datem de 1880, somente em 1983 foi implantada a primeira planta comercial, na Califórnia. Isso fez dos Estados Unidos uma referência no tema, ampliando o número de plantas comerciais e diversificando as tecnologias heliotérmica (GIZ, 2017).

Nos próximos parágrafos, será apresentado o status atual e futuro do mercado de CSP em alguns países nomeados.

A energia elétrica em 2050, poderia ser responsável por cerca de 11% da oferta mundial, em um cenário moderado da IEA, equivalente à aproximadamente 5.000 TWh de energia solar (MME, 2017). A área coberta pelas instalações seria de 8 mil km², que equivale a um quadrado de 90 km de lado (MME, 2017). A proporção da geração solar na geração total e o comércio, por região, são mostrados na tabela que segue.

Tabela 2 - Proporção da geração solar na geração total e o comércio.

<i>Países</i>	<i>2020</i>	<i>2050</i>
Austrália, parte da Ásia Central, Chile, Índia (Gujarat e Rajasthan), México, Oriente Médio, Norte da África, Peru, África do Sul, Estados Unidos (sudoeste)	5%	40%
Estados Unidos (área restante)	3%	20%
Europa (Importação) e Turquia	3%	15%
África (restante), Argentina, Brasil e Índia (restante)	1%	15%
Indonésia (Importação)	0,5%	7%
China, Rússia (Importação)	0,5%	4%

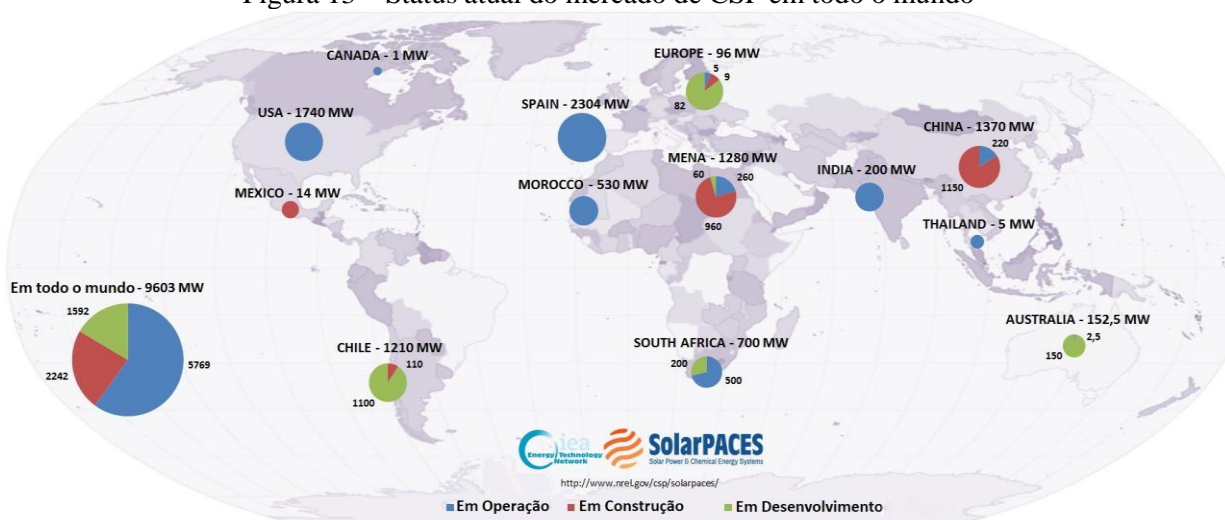
Fonte: DIE/MME (2014).

O norte da África exportaria para a Europa, e a Ásia Central exportaria para a China e Rússia. (MME, 2014).

Assim, as áreas mais favoráveis para CSP recursos estão no norte da África, sul da África, Oriente Médio, noroeste da Índia sudoeste dos Estados Unidos, norte do México, Peru, Chile, partes ocidentais da China e Austrália. Outras áreas que são adequadas incluem extremo sul da Europa e da Turquia, outros locais do sul dos EUA, países da Ásia Central, lugares no Brasil e Argentina, e algumas outras partes da China. Mais informações disponíveis no **Anexo B**.

O setor de CSP está atualmente experimentando um caminho sólido de desenvolvimento para aumentar substancialmente a capacidade instalada nos próximos anos, fornecendo uma base firme para o crescimento contínuo no futuro. A figura 13 apresenta o status atual do mercado de CSP em todo o mundo, incluindo as plantas operacionais, em construção e projetos de CSP planejados ou em desenvolvimento.

Figura 13 – Status atual do mercado de CSP em todo o mundo



Fonte: adaptado de SolarPACES (2019).

Além da Espanha e dos Estados Unidos, e alguns países onde pequenos campos solares são usados como propulsores em usinas de combustíveis fósseis em larga escala, muito poucos países têm instalações de tamanho comercial, digamos acima de 50 MW (IEA, 2014). Índia e Emirados Árabes Unidos ter plantas já sincronizadas com a rede; Marrocos e África do Sul estão finalizando suas primeiras plantas. De outros países estão implementando ou anunciaram planos ambiciosos de desenvolvimento, incluindo a Índia, Israel, Jordânia, Kuwait, Marrocos, Arábia Saudita e África do Sul, enquanto no norte do Chile o

desenvolvimento está ocorrendo no mercado (IEA, 2014). Em 2012 a Arábia anunciou que construiria usinas de CSP gerando 32 GW até 2032, criando consideráveis esperanças na indústria. Algumas conquistas iniciais nesses países serão concretizadas antes do final da década (IEA, 2014).

4.3 Legislação nacional para o licenciamento de uma Heliotérmica

O desenvolvimento da heliotermia no Brasil passa pelas mesmas fases de qualquer empreendimento do setor elétrico, que resultam de atividades comuns envolvendo obras civis e causam impactos diferenciados a depender da tecnologia (GIZ, 2017).

Como previsto na resolução do Conama (Conselho Nacional do Meio Ambiente) em 23, de janeiro de 1986, a atenção é direcionada para os impactos negativos realmente preocupantes, tais critérios devem ser considerados no sentido de proporcionar agilidade e simplificando o processo de licenciamento. Tendo como princípio a sustentabilidade do uso da fonte solar e a adoção de estratégias prévias para a seleção do local. Assim, a avaliação de impacto ambiental de uma heliotérmica deve ser menos complexa e demorada que a de termoelétricas com fontes de combustíveis fósseis (GIZ, 2017).

Compreender as fases de construção é fundamental para avaliar os impactos ambientais e estabelecer os aspectos e dados que devem ser estudados, sendo capaz de minimizar os impactos negativos e buscar potencializar os impactos positivos (GIZ, 2017). A Figura 14 apresenta as principais atividades por fase do empreendimento.

Figura 14 – Fases de um empreendimento heliotérmico



Fonte: Projeto DKTI-CSP Energia Heliotérmica (2017)

A primeira fase, planejamento, é a fase em que se programam e se organizam as atividades do Estudo de Alternativas Tecnológicas e Locacionais, discriminando os levantamentos e estudos necessários e estimando duração e custos (GIZ, 2017). O produto final deve ser um Estudo de Viabilidade Técnico-Econômica e Ambiental, elaborado concomitantemente aos estudos ambientais que subsidiarão o licenciamento prévio do empreendimento. Nesta fase, são consultados órgãos ambientais e de recursos hídricos (quando do uso de água no sistema), bem como comitês, associações ou outras instituições relacionadas ao licenciamento ambiental. É nessa fase, também, que se avaliam os benefícios e custos de engenharia e meio ambiente. Conforme descrito em Giz (2017), a duração do planejamento depende das necessidades das obras propostas quanto à: prazos, recursos financeiros, disponibilidade de fornecimento por parte dos fabricantes e fornecedores, capacidade dos projetistas para produzir os documentos técnicos, obras, os próprios empreiteiros e, precedentemente, o licenciamento ambiental, com os programas propostos e condicionantes da Licença Prévia.

A fase de instalação inicia-se com a Licença de Instalação e, portanto, depois da aprovação de um plano de controle ambiental que contemple todos os programas ambientais propostos nos estudos ambientais, com base nas medidas mitigadoras e compensatórias (GIZ, 2017). Com a aprovação desse plano e de posse das condicionantes das licenças, podem ser iniciadas as obras, que devem se pautar no projeto básico de engenharia. Esse projeto detalha as ações das obras, as dimensões finais das estruturas, o Canteiro de Obras, o tratamento de efluentes líquidos e sólidos, os acessos, o abastecimento de água e energia, as jazidas de materiais, bem como os fabricantes e fornecedores de equipamentos e suas especificações finais, além do cronograma das atividades e ações do plano de controle ambiental. As obras serão desenvolvidas de forma mais adequada na medida em que houver integração entre as equipes de meio ambiente e engenharia (GIZ, 2017).

A fase de operação e manutenção é iniciada tão logo se dispõe da Licença de Operação, mediante constatação, pelo órgão ambiental, do cumprimento dos programas, das medidas mitigadoras e dos condicionantes das licenças precedentes. Nessa fase, iniciam-se os testes de operação das máquinas e estruturas da usina, e é feito o comissionamento das instalações, isto é, a verificação final da planta. Realizados esses testes, as usinas podem começar a gerar energia comercialmente (GIZ, 2017). Nesta fase, em especial em se tratando de heliotermia, uma tecnologia relativamente desconhecida no Brasil, é essencial que o gerenciamento ambiental forneça, a partir da execução dos programas ambientais, um *feedback* para a correção de desvios dos objetivos de conservação e preservação ambiental,

para a relatoria dos impactos reais e possíveis danos ambientais que venham a ocorrer com a operação. Nas novas plantas heliotérmicas, alguns programas de pesquisa, desenvolvimento e inovação podem ser incentivados pela ANEEL de maneira a garantir um acúmulo de conhecimento e a transmissão das lições aprendidas no Brasil. O intuito é fortalecer e garantir os princípios de sustentabilidade ambiental das plantas solares (GIZ, 2017).

4.4 Considerações Finais

Os impactos ambientais resultantes da implantação de sistemas heliotérmicos dependem e se caracterizam conforme os arranjos e diferentes tecnologias com as quais se configuram. (GIZ, 2017).

Segundo Alalewi (2014) o consumo mundial de energia é de 18.000 TWh/ano. Esse consumo é inferior ao potencial térmico global de CSP, correspondente a 3.000.000 TWh/ano

Apesar dos altos níveis de irradiação solar no território brasileiro, o uso da fonte solar no Brasil para geração de energia elétrica não apresenta a mesma relevância que possui em outros países, nem o mesmo desenvolvimento de outras fontes renováveis, como eólica e biomassa, que já representam, respectivamente, 6,7% e 9,4% da capacidade de geração instalada no país, contra apenas 0,05% da fonte solar.

Não há novos projetos de CSP na Espanha, pois incentivos foram cortados, mesmo o plano de ação para as energias renováveis (NREAP) prevê Capacidade de CSP de 5GW até 2020. Novos projetos teriam que ser projetados para exportação para outros Países europeus no quadro de alcançar 20% de energia renovável alvo da União Europeia. (IEA, 2017)

5 CONCLUSÃO

A energia solar é a fonte de energia mais disponível em abundância. Pode ser usado para produzir eletricidade por processo termodinâmico e por conversão fotovoltaica. Entre as diferentes opções disponíveis de energia solar, a energia solar concentrada é considerada a tecnologia mais eficiente disponível na atualidade e tendendo à desenvolvimentos e crescimento futuros. Sua eficiência de conversão de energia solar térmica em eletricidade é muito alta porque pode atingir temperaturas tão altas quanto 800° C. (KALOGIROU, 2019)

Devido à intermitência e disponibilidade cíclica a utilização de energia solar como fonte primária de energia torna-se complexa. As mudanças sazonais e climáticas interferem na quantidade de energia solar térmica recebida. Assim, para o aproveitamento da fonte solar e gestão de potência, torna-se vantajosa a utilização de um sistema de armazenamento de energia. (MILANI, 2016)

A energia solar tem o potencial de reduzir a dependência do fornecimento cada vez menor de combustíveis fósseis por meio da tecnologia CSP. As usinas de CSP utilizam energia térmica solar para produzir energia elétrica com base em diferentes ciclos de energia termodinâmica. Coletores solares, refletores, receptores, fluidos térmicos e turbinas são os principais componentes de cada usina de CSP e envolvem intensa transferência de calor em todas as etapas. (ALNAIMAT; RASHID, 2019)

Dentre as tecnologias disponíveis, a cilindro-parabólico destaca-se das demais, nacionalmente tem preferência de instalação, por sua flexibilidade em relação as temperaturas de processo, possui mais modularidade em relação à torre solar, e utiliza menos terreno por MW instalado em relação à torre solar. Embora a tecnologia linear Fresnel, tenha um menor custo de instalação, comparado à tecnologia cilindro parabólica, possui menor eficiência. Com potencial de redução de custos, a tecnologia Fresnel pode vir a se tornar competitiva. (IEA, 2017)

Quando as heliotérmicas são projetadas com armazenamento, podem dispor de energia estável e potência constante, comparada a outras tecnologias renováveis. Tornando a geração de energia termosolar, uma tecnologia base, pois como é uma fonte renovável despachável é possível preencher as lacunas de geração de fontes intermitentes como a fotovoltaica e a eólica.

Devido à maturidade da tecnologia, prevê-se redução nos custos de capital, aprimoramento no desempenho e na economia, bem como aumentos nas tendências e

instalações para financiar os projetos de CSP, uma expansão substancial nos mercados emergentes e tradicionais de CSP, como os Estados Unidos.

Um maior crescimento do setor de CSP é um fator-chave para uma mudança global em direção a uma participação de 100% de energia renovável até 2050 (REN21, 2019). O setor de CSP deve ser um dos maiores e mais eficientes nos próximos anos. Com um potencial significativo de redução de custos, as tecnologias de CSP têm a capacidade de ser economicamente viáveis nas regiões ensolaradas do mundo. Os recentes desafios enfrentados no setor de CSP devem-se à instabilidade política e financeira nos mercados, bem como à intensa concorrência com outras tecnologias de energia renovável, particularmente os PVs. No entanto, com os avanços tecnológicos e de redução de custos em conjunto com o suporte apropriado, espera-se que os CSPs possam fornecer uma contribuição substancial para o suprimento de demandas globais de eletricidade.

Ressalta-se que o licenciamento de uma heliotérmica segue os mesmos padrões utilizados nas usinas termoelétricas. Sendo um mercado em expansão e tendo como matéria-prima uma fonte inesgotável, propõe-se continuidade de trabalhos nesse tema que abordem:

- Projeto de uma micro usina heliotérmica de caráter experimental.

REFERÊNCIAS

- ABNT. **ABNT NBR 10899 Energia Solar Fotovoltaica - Terminologia**. [S.l.]: [s.n.], 2013. 11 p.
- Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Atlas da Energia Elétrica do Brasil**. Brasília – DF, 2005. 2ª Edição. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/Atlas/download.htm>. Acesso em: 28 de Junho de 2019.
- ANEEL, 2015. Projeto estratégico: “**Desenvolvimento da tecnologia nacional de geração heliotérmica de energia elétrica**”. Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília, 2015.
- ALALEWI, Ahmad. **Concentrated Solar Power (CSP)**. [S. l.: s. n.], 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/262178578_Concentrated_Solar_Power_CSP#pfa. Acesso em: 14 out. 2019.
- ALNAIMAT , Fadi; RASHID, Yasir. Avanços na energia solar concentrada: uma perspectiva de transferência de calor. **IntechOpen**, [S. l.], p. 231, 21 jan. 2019. DOI 10.5772 / intechopen.84575. Disponível em: <https://www.intechopen.com/books/heat-and-mass-transfer-advances-in-science-and-technology-applications>. Acesso em: 11 nov. 2019.
- ARVIZU, D.; BALAYA, P.; CABEZA, L. et al. Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation SRREN. , Chapter 3. Direct Solar Energy. Cambridge e New York: IPCC. Disponível em: <http://srren.ipcc-wg3.de/>. Acesso em: 14 out. 2019.
- Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR). **Geração Distribuída Solar Fotovoltaica**. Encontro Nacional dos Agentes do Setor Elétrico – ENASE. Rio de Janeiro, 2016.
- AZEVEDO, P.J.S. **Uma análise dos efeitos da crise econômico-financeira sobre as políticas de incentivo às energias renováveis**. [Dissertação] Universidade do Porto, 2013.
- BAHAR, Heymi. Concentrating solar power (CSP): Tracking Clean Energy Progress. In: **Renewable power**. [S. l.], 24 maio 2019. Disponível em: <https://www.iea.org/tcep/power/renewables/concentratingsolarpower/> Renewable power. Acesso em: 14 out. 2019.
- BAHAROON, D.A., Rahman, H.A., Omar, W.Z.W. & Fadhl, S.O. (2015). **Historical development of concentrating solar power technologies to generate clean electricity efficiently** – A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 41, Pages 996-1027, ISSN 1364-0321.
- BANDEIRA, F. P. M. **O aproveitamento da energia solar no Brasil**. situação e perspectivas. Brasília. Câmara dos Deputados. 2012.
- BARLEV, David et al. **Innovation in concentrated solar power**. Solar Energy Materials & Solar Cells, [s. l.], 12 maio 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927024811002777>. Acesso em: 15 out. 2019.

BERTIN, André Jeandro de Oliveira. **Análise de geração distribuída de eletricidade com tecnologia Heliotérmica em usina sucroalcooleira como vetor de economia de bagaço de cana-de-açúcar**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, [S. l.], 2017.

BIANCHINI, Henrique Magalhães; **AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE SISTEMAS DE ENERGIA SOLAR TÉRMICA**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

CAMÊLO CAVALCANTI, Evandro Sérgio *et al.* **GERAÇÃO HELIOTÉRMICA: UMA NOVA OPÇÃO DE ENERGIA LIMPA PARA O BRASIL**. VIII Congresso Brasileiro de Energia – CBE, [s. l.], 30 nov. 1999.

CARTER, N. T. & CAMPBELL, R. J., 2009. **Water Issues of Concentrating Solar Power (CSP) Electricity in the US Southwest**. s.l.:Congressional Research Service.

CONAMA. **Artigo 48 do Decreto nº 88.351, de 1º de junho de 1983**. [S. l.], 17 fev. 1986. Disponível em: www.in.gov.br/servicos/diario-oficial-da-uniao. Acesso em: 16 nov. 2019.

CRESESB. Tutorial de Energia Solar Fotovoltaica: Radiação Solar. *In: Radiação Solar*. [S. l.], 11 jun. 2008. Disponível em: www.cresesb.cepel.br/. Acesso em: 18 nov. 2019.

DGS, 2005. **Planning and installing solar thermal systems: a guide for installers, architects, and engineers**. Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie (German Solar Energy Society), James & James Ltd, UK and USA

DGS. **Photovoltaic Systems - Planning and installing**. Berlin: The German Energy Society, 2008.

EIA, 2008. **Federal financial interventions and subsidies in energy markets 2007**. Disponível em : www.eia.doe.gov/energy_in_brief/energy_subsidies.cfm. Acesso em: 14 out. 2019.

Energia solar térmica. Disponível em: <www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/energia-termossolar-ou-energia-solar-concentrada>. Acesso em: 16 mai. 2019.

FERREIRA, Willian Mendes. **Modelagem termodinâmica de uma planta fresnel com geração direta de vapor e armazenamento de energia térmica**. 2018. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, [S. l.], 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br>. Acesso em: 15 out. 2019.

FLUÍDO Térmico. [S. l.], 2014. Disponível em: energiaheliotermica.gov.br. Acesso em: 17 jun. 2019.

GIZ. **Guia de licenciamento ambiental de heliotérmicas: Subsídios para Avaliação de impacto ambiental**. [S. l.: s. n.], 2017. Disponível em: <http://pnla.mma.gov.br/publicacoes-diversas>. Acesso em: 11 nov. 2019.

GREEN, M. A. et al. Solar cell efficiency tables: version 16. **Progress in photovoltaics: research and applications**, Sydney, v. 8, p. 377-384, 2000.

IEA. **Technology Roadmap: Solar Thermal Electricity**. [S. l.]: IEA, 2014. Disponível em: <https://webstore.iea.org/>. Acesso em: 22 out. 2019.

IEA, International Energy Agency. Renewables information: Overview 2017. **IEA Statistics**, p. 8, 2017.

INÁCIO, T. **Potencial solar das radiações global, difusa e direta em Botucatu**. 2009. 84 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, Botucatu. 2009

IRENA (2018), **Renewable Power Generation Costs in 2017**, International Renewable Energy Agency.

KALOGIROU, S. A. **Solar energy engineering: processes and systems**. 1a ed. San Diego (EUA): Elsevier, 2009.

KROTHAPALLI, Anjaneyulu (ed.). Concentrated Solar Thermal Power. **Sustainable Energy Technologies**, Florida, p. 1, 23 jan. 2015. DOI 10.1007 / 978-1-4614-6431-0_33-2. Disponível em: <https://www.researchgate.net/>. Acesso em: 30 set. 2019.

LODI, C., 2011. **Perspectivas para a Geração de Energia Elétrica no Brasil Utilizando a Tecnologia Solar Térmica Concentrada**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Disponível em: <<http://antigo.ppe.ufrj.br/ppes/production/tesis/>>. Acesso em: 03 Out. 2019

MALGUETA, Diego C. **GERAÇÃO HELIOTÉRMICA, PRINCÍPIOS E TECNOLOGIAS**. Eletrobras Cepel. Rio de Janeiro, 2012.

MANTILLA, Victor Andrés Patiño. **Avaliação técnica-econômica das tecnologias de geração heliotérmica para o caso brasileiro, considerando sistemas de armazenamento térmico e hibridização**. 2017. DISSERTAÇÃO (Pós-Graduação em Engenharia de Energia) - Universidade Federal de Itajubá, [S. l.], 2017.

MARTINS, F. R. **Influência do processo de determinação da cobertura de nuvens e dos aerossóis de queimada no modelo físico de radiação BRASIL-SR**. Tese de Doutorado apresentada no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, Agosto 2001.

MILANI, R.F.A.T. **Hibridização de energia heliotérmica com gaseificação de bagaço para geração de energia elétrica**. 2016. 132f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.ppe.ufrj.br/ppes/production/tesis/rmilani.pdf>>. Acesso em: 30 nov. 2019

MME. SECRETARIA DE PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO ENERGÉTICO. **Energia Solar no Brasil e Mundo**. Brasília/DF, 28 abr. 2014. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/3597128/11+-+Energia+Solar+%28PDF%29>, Acesso em: 14 out. 2019.

MME. SECRETARIA DE PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO ENERGÉTICO. **Energia Solar no Brasil e Mundo**. Brasília/DF, 16 out. 2017. Disponível em: [www.mme.gov.br > documents](http://www.mme.gov.br/documents). Acesso em: 18 set. 2019.

NASS, D. P., 2002. **O Conceito de Poluição**. Revista Eletrônica de Ciências, novembro. Issue nº 13.

NREL (U.S.). National Renewable Energy Laboratory (ed.). Concentrating Solar Power: Energy from Mirrors. **Energy Efficiency and Renewable Energy**. , U.s, p. 2, 19 mar. 2001. Disponível em: <https://www.nrel.gov/>. Acesso em: 30 set. 2019.

PEREIRA, Enio Bueno et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2. Ed. São José dos Campos: Swera, 2017.

PHILIBERT, C., FRANKL, P., DOBROTKOVA, Z.. Technology roadmap: Concentrating Solar Power. Internacional Energy Agency (IEA), 2010. Disponível em: http://www.iea.org/papers/2010/csp_roadmap.pdf.

REIS, L. B DOS; ELIANE A. A. FADIGAS; CLÁUDIO E. CARVALHO. **Energia, recursos naturais e a prática do desenvolvimento sustentável**. 1 a ed. Barueri (SP): Manole, 2012.

REN21. RENEWABLES 2019: GLOBAL STATUS REPORT. **REN21**, [s. l.], 2019. Disponível em: www.ren21.net/gsr-2019. Acesso em: 18 nov. 2019.

SAUER, Ildo Luís et al. Energias renováveis: ações e perspectivas na Petrobras. **Bahia Análise e Dados**, v. 16, n. 1, p. 9-22, 2006.

SOLARPACES. How CSP Works: Tower, Trough, Fresnel or Dish. **SolarPACES (Sistemas de Energia Solar e Energia Química)**, [S. l.], p. 1, 12 jun. 2018. Disponível em: <https://www.solarpaces.org/how-csp-works/>. Acesso em: 17 out. 2019.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno (Org.). **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética (epe), 2016.

TOLMASQUIM, M. T. **Geração de Energia Elétrica no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência: CENERGIA, 2005.

TRIEB, Franz *et al.* Global Potential of Concentrating Solar Power. **SolarPaces Conference Berlin**, [s. l.], 2009. Disponível em: https://www.dlr.de/tt/Portaldata/41/Resources/dokumente/institut/system/publications/Solar_Paces_Paper_Trieb_Final_Colour_corrected.pdf. Acesso em: 14 out. 2019.

TURNER, R. K.; DAILY, G. C. The Ecosystem Services Framework and Natural Capital Conservation. **Environmental & Resource Economics**, [S. l.], ano 2008, v. 39, n. 1, p. 3-11, 6 dez. 2007. DOI 10.1007/s10640-007-9176-6. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10640-007-9176-6#page-1>. Acesso em: 3 out. 2019.

TURNEY, D. & FTHENAKIS, V., 2011. **Environmental impacts from the installation and operation of large-scale solar power plants**. Journal Elsevier, agosto, Volume 15, p. 3261–3270

VILLALVA, M. **Energia solar fotovoltaica: Conceitos e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Erica, 2015.

WALSTON, L. J. et al. **A preliminary assessment of avian mortality at utility-scale solar energy facilities in the United States**. *Renewable Energy*, v. 92, p. 405–414, out. 2019.

ZHANG, H.L., Baeyens, J., Degrève, J. & Cacères, G. (2013). **Concentrated solar power plants: Review and design methodology**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 22, Pages 466-481, ISSN 1364-0321.

ANEXO A - Celpe tocará projeto da primeira usina heliotérmica brasileira

14/11/2019

Cepel tocará projeto da primeira usina heliotérmica brasileira - Paranoá Energia

[Home](#) [Quem Somos](#) [Expediente](#)


Paranoá Energia
Política Energética, Regulação, Setor Elétrico, Gás Natural, Energias Alternativas,
Empresas e Negócios

[HOME](#) [ARTIGOS](#) [NOTÍCIAS](#) [OPINIÃO DO EDITOR](#)
[NOVIDADES DO MERCADO](#) [DOCUMENTOS](#) [O QUE SE DIZ](#) [AGENDA](#)
[VÍDEOS](#)

Cepel tocará projeto da primeira usina heliotérmica brasileira

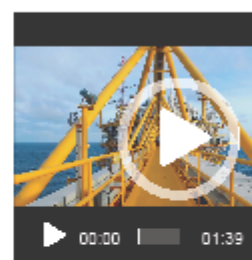
29 de fevereiro de 2016 Notícias

Maurício Corrêa, de Brasília (Com apoio da Eletrobras) —

A Eletrobras disponibilizou uma informação em seu site, na quinta-feira, 25 de fevereiro, indicando que através do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (Cepel) dará partida ao projeto de construção da primeira usina heliotérmica do Brasil, que ficará localizada no município pernambucano de Petrolina. O Cepel já assinou contrato com a empresa alemã Enolcon para consultoria técnica na elaboração de edital que visa à contratação de uma empresa de EPC (Engineering, Procurement and Construction) para execução da planta-piloto da usina, que é o principal objetivo do Projeto Heliotherm, executado pelo Eletrobras Cepel, com recursos majoritariamente provenientes da Financiadora de Estudos e Projetos (Finep/MCTI).

BUSCA NO SITE

VÍDEOS



PLD

PLD - PLANO DE CUSTOS DE INVESTIMENTO

	Q1/19	Q2/19	Q3/19	Q4/19
Paraná	101,49	101,49	101,49	101,49
CEPEL	101,49	101,49	101,49	101,49
CEPEL	101,49	101,49	101,49	101,49

Fonte: CCEE

HOME ARTIGOS NOTÍCIAS OPINIÃO DO EDITOR NOVIDADES DO MERCADO

DOCUMENTOS O QUE SE DIZ AGENDA VÍDEOS

A Enolcon já repassou ao Eletrobras Cepel as especificações técnicas da usina, que farão parte do edital para a contratação da empresa de EPC. “Do ponto de vista técnico, como a tecnologia ainda é pioneira no Brasil, será necessária a participação de empresas estrangeiras no projeto. Em um processo de licitação internacional, uma empresa estrangeira deverá constituir consórcio com uma empresa nacional para participação no edital”, explica o pesquisador.

Bem diferente da energia elétrica derivada de placas fotovoltaicas, a heliotermia é também conhecida como Concentrating Solar Power (CSP). Trata-se de um processo de uso e acúmulo do calor proveniente dos raios solares, utilizando-se espelhos para refletir a luz solar e concentrando-a em um único ponto, onde há um receptor. Dessa forma, grande quantidade de calor é acumulada e usada tanto para processos industriais que demandam altas temperaturas como para gerar eletricidade. Nesse processo, o calor do Sol é captado e armazenado para, depois, ser transformado em energia mecânica e, por fim, em eletricidade.

Em linhas gerais, o calor captado aquece um líquido que passa pelo receptor, chamado de Fluido Térmico. Esse líquido armazena o calor e serve para aquecer a água dentro da usina e gerar vapor. A partir daí, a usina heliotérmica segue os mesmos processos de uma usina termoelétrica: o vapor gerado movimenta uma turbina e aciona um gerador, produzindo, assim, energia elétrica. O Brasil ainda não dispõe desse tipo de tecnologia.

Os alemães estão muito desenvolvidos nesse campo e, através da Deutsche Gesellschaft fur Internationale Zusammenarbeit GmbH (a agência alemã para Cooperação e Desenvolvimento) vêm trabalhando discretamente no Brasil, tentando mostrar os benefícios da nova tecnologia. Várias usinas heliotérmicas já estão em operação em várias partes do mundo, como, por exemplo, Estados Unidos, Espanha, África do Sul, Argélia, Austrália, Chile, Marrocos e Egito, entre outros países.

menores indicadores técnicos do País. Até a chegada dos 10 anos da gestão do governador Roberto Requião, em três etapas, quando a Copel desceu a ladeira e bateu no fundo do poço, face ao populismo e aos equívocos na administração da companhia. Agora, ao que tudo indica, a Copel está recuperando o seu papel histórico de ser uma das jóias do SEB. A bolsa B3 acaba de apontar a Copel como a estatal que dispõe da melhor governança em todo o País, ... [Leia Mais](#) →

Noticias PR Newswire

Serasa Experian lança solução inédita para gestão da carteira de crédito de empresas
SÃO PAULO, 11

novembro, 2019, 16:12

A JA Solar fornece módulos PERC de alta eficiência a um projeto de armazenamento solar de 32 MW em Hokkaido

PEQUIM, 11 novembro, 2019, 14:02

A segunda China International Import



ANEXO B - Sol será maior fonte de energia até 2050, diz AIE



NOTÍCIAS

Sol será maior fonte de energia até 2050, diz AIE

29/09/2014

O sol poderá ser a maior fonte de eletricidade do mundo até 2050, bem mais que o combustível fóssil, a energia eólica ou a nuclear, representando boa oportunidade para países como o Brasil, segundo a Agência Internacional de Energia (AIE).

Em dois estudos publicados nesta segunda-feira, a entidade mostra como a energia solar elétrica ou fotovoltaica (PV) pode gerar até 16% da eletricidade mundial nas próximas décadas e a energia solar térmica (STE), gerada por usinas de energia solar concentrada (CSP), podem fornecer outros 11%.

Combinadas, essas duas tecnologias solares podem evitar a emissão de mais de 6 bilhões de toneladas de dióxido de carbono por ano até 2050, o que representa mais do que todas as emissões dos EUA atualmente ou do setor de transportes globalmente.

Os estudos preveem que a China continuará sendo o maior mercado de energia solar do mundo, com 37% da capacidade global. Os EUA vêm em segundo lugar.

Conforme a AIE, as áreas mais favoráveis para usinas de energia solar concentrada (CSP) estão na África, Oriente Médio, nordeste da Índia, sudeste dos EUA, norte do México, Peru, Chile, partes da China e da Austrália. Outras áreas com bom potencial incluem partes do Brasil e da Argentina, o extremo sul da Europa e da Turquia, outras áreas no sul dos Estados e países na Ásia Central.

Para a diretora-executiva da AIE, Maria van der Hoeven, a rápida queda no custo de módulos de fotovoltaica nos últimos anos abre novas perspectivas para o uso da energia solar como uma grande fonte de eletricidade nos próximos anos.

No entanto, diz ela em comunicado, as duas tecnologias são de capital muito intensivo e quase todas as despesas precisam ser feitas logo.

A entidade insiste na importância de sinais claros das autoridades, para reduzir os riscos para investidores e inspirar confiança no setor que exigirá centenas de bilhões de dólares de investimentos

nas próximas décadas. Ainda alerta que, onde houver políticas incoerentes e sinais confusos dos governos, os consumidores acabarão pagando mais pela energia e vários projetos não vão avançar.

Fonte: Valor Econômico

Categorizado em: [Geral](#)

Recomendar [Seja o primeiro de seus amigos a recomendar isso.](#)



Tweetar



Institucional

- História
- Presidência
- Diretoria
- Estatuto
- Responsabilidade Social
- Internacional
- Sede
- Subsedes
- Ambulatório Médico e Odontológico
- Logomarca

Lazer

- Colônia de Férias
- Clube de Campo

Departamentos

- Atendimento ao Sócio
- Jurídico
- Ações Sindicais
- Segurança e saúde do trabalhador
- Educação e Formação Profissional
- Participação dos Lucros e Resultados (PLR)
- Diversidade
- Inclusão da Pessoa com Deficiência
- Mulher
- Núcleo dos Aposentados
- Homologação
- Orientação na prevenção álcool e drogas
- Cultura
- Esporte e Lazer
- Cobrança

Serviços

- Ambulatório Médico e Odontológico
- Guia Médico
- Carência
- Desmarcar Consultas
- Convenções Coletivas de Trabalho
- Evolução e Declaração Salário
- Sindicato / DIEESE
- Orientação na prevenção álcool e drogas
- Reservas de Colônias de Férias
- Cadastre seu currículo
- Fique Sócio
- Taxa de Autorização para Trabalho
- Taxa Retributiva



Sindicato dos Comerciários de São Paulo

Rua Formosa, 99 - Centro - Anhangabaú - São Paulo/SP - 01049-000 - Tel.: (11) 2121-5900