

ENERGIA HELIOTÉRMICA PARA GERAÇÃO ELÉTRICA: PANORAMA ATUAL E POTENCIALIDADE DE UTILIZAÇÃO NO BRASIL

José Alexandre F. de A. Santos, alex_caeel@yahoo.com.br^{1,2}
Eduardo Dourado Garrido, edugdvc@hotmail.com¹
Lucas Veiga Chetto Coutinho, lucaschetto@hotmail.com¹
Pedro Neves da Rocha Morelli, pedro_morelli@terra.com.br^{1,2}

¹ Centro Universitário Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – Campus Integrado de Manufatura e Tecnologia (SENAI–CIMATEC). Av. Orlando Gomes, Nº 1845, Piatã, Salvador–BA, CEP.: 41.650–010.

² Escola Politécnica Universidade Federal da Bahia. Rua Prof. Aristides Novis, Nº 02, Federação, CEP.: 40.210–630.

Resumo: A utilização de novas energias renováveis vem crescendo consistentemente nos últimos anos no mundo, o que indica um processo de transição energética global. Neste contexto, o uso das tecnologias que aproveitam a energia heliotérmica (solar térmica concentrada – CSP) para geração elétrica em grande escala é relativamente recente. Em comparação com as capacidades instaladas mundiais das tecnologias eólica e solar fotovoltaica, a capacidade instalada das tecnologias heliotérmicas ainda é muito incipiente e reduzida, mas vem apresentando crescimento significativo e é uma das modalidades energéticas promissoras. Ainda não existem grandes usinas CSP no Brasil, porém há uma região, denominada Cinturão Solar, com potencial para implantação destes empreendimentos. Desta maneira, este trabalho objetiva realizar um estudo exploratório sobre a atual situação da energia heliotérmica no mundo, as potencialidades de implantação no Brasil e os possíveis benefícios, consultando diversas fontes bibliográficas temáticas. Como resultados obtidos, confirmou-se a existência de potencial para implantação de empreendimentos heliotérmicos e a possibilidade deles atuarem de forma complementar as usinas de outras fontes energéticas já existentes e das futuras.

Palavras-chave: Energias Renováveis; Energia Heliotérmica; Segurança Energética; Cinturão Solar Brasileiro.

1. INTRODUÇÃO

A evolução das sociedades e dos sistemas produtivos vem se ampliando e dinamizando, o que implica em maior demanda por disponibilidade de energia para sustentar tal progresso humano. Consequentemente, a oferta mundial por energia está crescendo e se diversificado continuamente em termos de tipos de fonte para atender a respectiva demanda.

De acordo com Santos (2015), por conta de planejamento e segurança energética, diversos países buscam diversificar suas bases energéticas disponíveis via fontes alternativas.

Segundo De Jong (2013), as energias ditas renováveis (eólica, solar, biomassa, etc.) são alternativas que estão se viabilizando economicamente e ampliando mais e mais em comparação às energias tradicionais (combustíveis fósseis) em vários países.

Questões relacionadas à preservação ambiental, às mudanças climáticas, aos avanços nas legislações, à opinião pública e à sustentabilidade vêm influenciando na expansão do uso das fontes renováveis. Conforme a *International Energy Agency* e a *International Renewable Energy Agency* (IEA/IRENA, 2017) e Paiva *et al.*, as energias renováveis são fundamentais para uma transição energética, reduzindo o consumo de combustíveis fósseis e viabilizando uma economia de baixo carbono.

Com a expansão do uso das energias renováveis verificada nos últimos anos, vem surgindo um mercado em grande escala. Isto permite investimentos sistemáticos em avanços tecnológicos e a viabilização de uma significativa redução nos custos das novas tecnologias, tornando as energias renováveis cada vez mais competitivas e atrativas financeiramente para geração de eletricidade. As fontes de energia eólica e solar têm sido as renováveis que mais se expandem atualmente no mundo.

Em relação à energia solar, a geração elétrica que mais se expandiu foi a solar fotovoltaica. Entretanto, também há grande potencial para o uso da energia heliotérmica ou solar térmica concentrada (CSP) na geração elétrica. Segundo Tolmasquim (2016), basicamente existem 4 principais tecnologias CSP: *Cilindro parabólico*; *Torres solares*, *Refletores lineares de Fresnel*; *Discos de Stirling*. Estas tecnologias, apesar de ainda terem custos elevados e serem incipientes na geração elétrica, são bastante promissoras e podem representar futuramente uma alternativa energética estratégica.

2. METODOLOGIA

O método de pesquisa empregado foi uma pesquisa exploratória para levantamento de dados junto a órgãos governamentais, entidades nacionais e internacionais, e publicações de pesquisas e artigos técnico-científicos disponíveis ao público.

3. POTENCIAL SOLAR E EVOLUÇÃO DAS CAPACIDADES INSTALADAS NO MUNDO

De acordo com Moreira *et al.* (2017), o Sol é a principal fonte de energia para o planeta Terra, sendo direta ou indiretamente responsável por quase todos os seus processos naturais, climáticos e biológicos. O recurso solar para potencial geração de energia está desigualmente distribuído pela superfície da Terra (Figura 1).

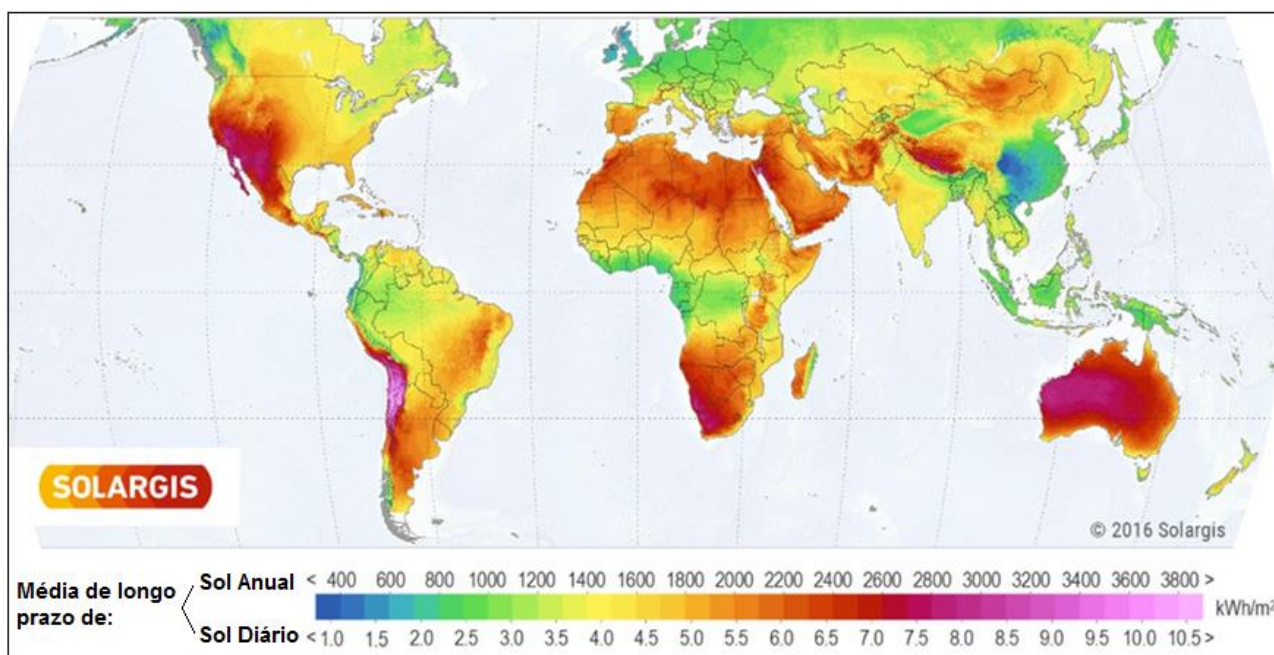


Figura 1. Irradiação Normal Global Anual e Diária obtida do SOLARGIS (2016).

O CRESESB (2012) informa que a energia solar é a energia eletromagnética (radiação) originada do Sol, que surge das reações nucleares e que, propagando-se através do espaço interplanetário, incide na superfície da Terra. A potência solar instantânea (irradiância) incidente em um dado ponto é medida em W/m^2 (potência/área) e o total de energia em um dia que atinge este ponto é medido em $\text{kWh/m}^2/\text{dia}$ (energia/área/tempo).

Ao se fazer uma comparação entre as capacidades instaladas mundiais das tecnologias solar fotovoltaica (Figura 2-a) e eólica (Figura 2-b) com a capacidade instalada das tecnologias heliotérmicas (Figura 3), constata-se sua incipiência e menor proporção em relação às duas primeiras. Entretanto, a heliotermia vem apresentando crescimento significativo, o que indica um futuro promissor para suas tecnologias.

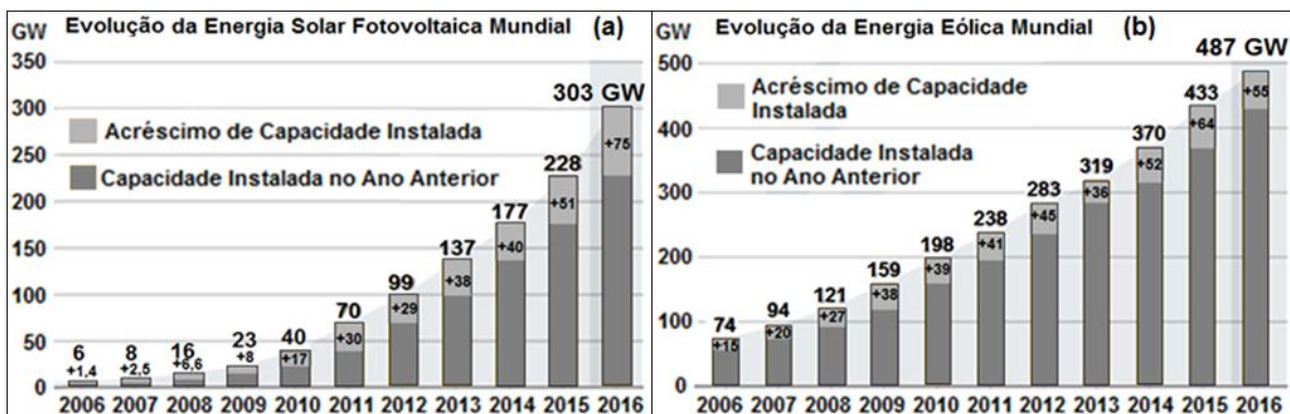


Figura 2. Crescimento das capacidades instaladas mundiais 2006–2016: (a) Solar Fotovoltaica; (b) Eólica, segundo REN21 (2017) (Adaptado).

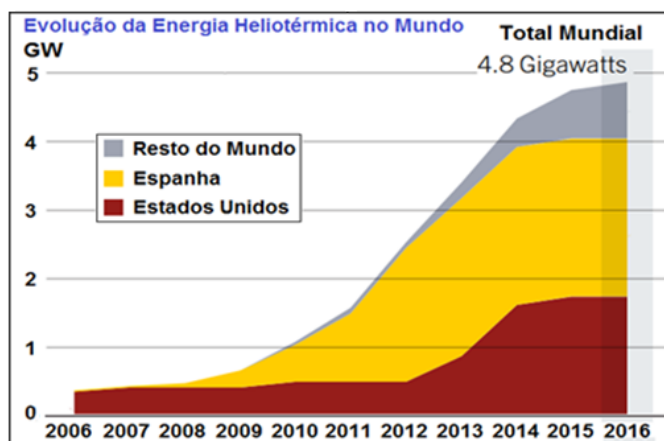


Figura 3. Crescimento da capacidade instalada mundial 2006–2016 da Energia Heliotérmica (CSP), segundo REN21 (2017) (Adaptado).

4. TECNOLOGIAS EXISTENTES E SUAS CARACTERÍSTICAS

De acordo com *National Renewable Energy Laboratory* (NREL, 2017a), o *European Solar Thermal Electricity Association* (ESTELA, 2017), Silvestre (2016) e Lodi (2011), as 4 principais tecnologias heliotérmicas existentes (Figura 4 e Tabela 1) e que poderiam ser implantadas no Brasil são: *Refletores Lineares de Fresnel*, *Torres Solares com Receptor Central*, *Cilindros Parabólicos*, *Discos de Stirling*.

Refletores lineares de Fresnel (Figura 4–A) são espelhos planos em varias fileiras, rastreados num eixo. Estes espelhos focam os raios solares em absorvedores fixados acima dos espelhos. Os absorvedores são receptores tubulares e espelhos parabólicos que coletam os raios oriundos dos espelhos que não atingem o refletor diretamente.

Torres solares com receptor central (Figura 4–B) são estruturas que concentram a irradiação em um único ponto via reflexo de vários espelhos lineares (helióstatos), sendo rastreados individualmente para concentrar os raios solares em um único ponto no topo da torre. Neste ponto, encontra-se o receptor, onde há uma substância de transferência de calor (Ex.: sais fundidos, etc.) que é aquecida.

Cilindros parabólicos (Figura 4–C) são calhas de espelhos parabólicos, onde as superfícies dos espelhos são revestidas por camadas de máxima reflexão. Os raios solares são refletidos através deles e acertam receptores tubulares na linha do foco. Os receptores são tubos negros com revestimento anti-reflexivo, de alta capacidade de absorvância e de baixa emitância de irradiação térmica. Os coletores são rastreados em eixos paralelos à linha da calha.

Discos de Stirling (Figura 4–D) funcionam com uma tecnologia de foco em ponto, onde um espelho parabólico concentra os raios solares em um ponto em frente do coletor. Neste ponto há um receptor montado e que aquece um determinado líquido.

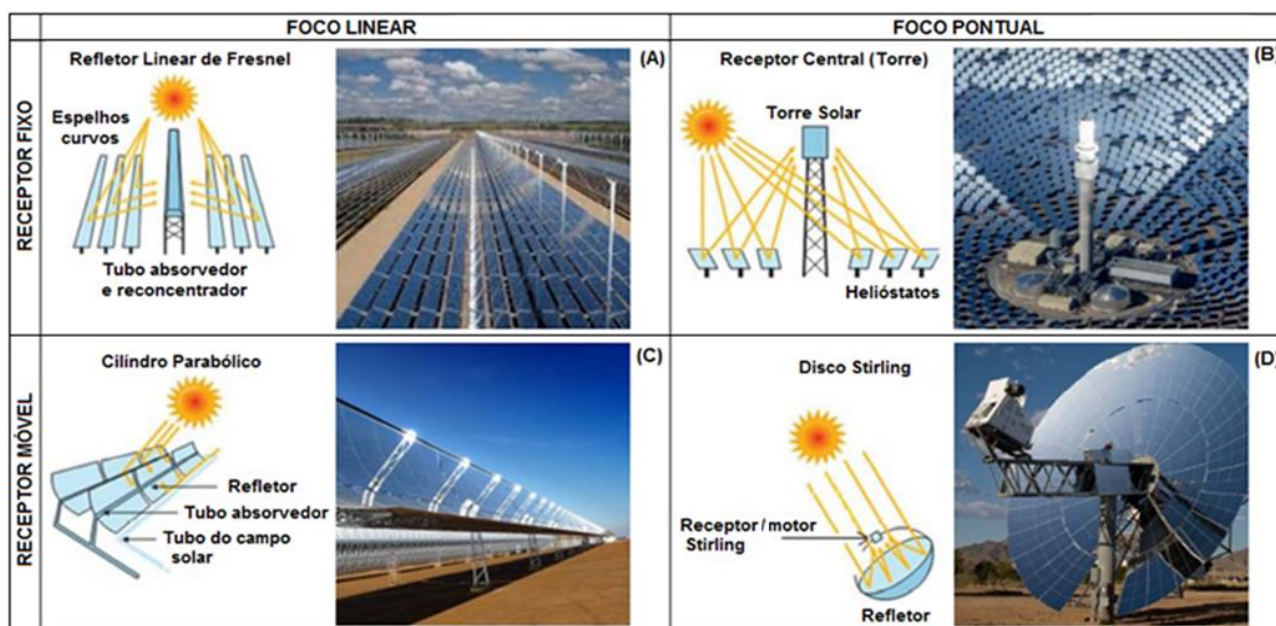


Figura 4. Tecnologias CSP: (A) Refletor Linear de Fresnel; (B) Torre Solar com Receptor Central; (C) Cilindros Parabólicos; (D) Discos de Stirling, segundo TOLMASQUIM (2016) (Adaptado).

Tabela 1. Comparação entre usinas CSP no mundo, a partir de De Oliveira e Giacaglia (2017) *apud* Silvestre (2016) e NREL (2017a, 2017b) (Adaptado).

	4 principais tecnologias existentes			
	Tubo Concentrador Linear Fresnel	Torre Solar	Cilindro Parabólico	Disco Parabólico de Stirling
Capacidades Típicas	10 MW a 200 MW	10 MW a 200 MW	100 MW a 300 MW	0,01 MW - 0,025 MW
Receptor	Móvel	Fixo	Móvel	Móvel
Temperatura de Operação	390°C	250°C a 565°C	350°C a 450°C	550°C a 750°C
Eficiência	18%	25% a 35%	14% a 20%	30%
Consumo de água	Sim	Sim	Sim	Não
Ciclo Termodinâmico	Rankine St	Rankine Sp	Rankine Sp / Bryton	Stirling / Bryton
Custo de Implementação em Milhões de U\$/MW	5.714	3.222	-	5.832
Maior empreendimento em operação até o ano de 2017	Kogan Creek Power Station	Ivanpah Solar Electric Generating System	Majave Solar	Maricopa Solar
País	Austrália	Estados Unidos	Estados Unidos	Estados Unidos
Capacidade Instalada	44 MW	392 MW	280 MW	1,5 MW
Nº de usinas geradoras	15	32	96	2

4.1. Panorama e empreendimentos CSP com Refletores Lineares de Fresnel

Usinas CSP com refletores lineares Fresnel possuem a vantagem de serem simples e usarem componentes de baixo custo. Esta tecnologia possibilita o uso de um sistema de armazenamento de vapor ou sal fundido. Apesar de apresentar um desempenho relativamente menor, isso pode ser compensado com menor custo de investimento, operação e manutenção. A Tabela 2 apresenta alguns empreendimentos existentes no mundo, segundo NREL (2017b).

Tabela 2. Exemplos de Usinas CSP com Refletor Linear Fresnel, segundo NREL (2017b) (Adaptado).

Nº	Empreendimento	Capacidade Instalada (MW)	País	Local	Início de operação
1	Dhursar	125,0	Índia	Dhursar	2014
2	Usina termoeletrica Puerto Errado 2	30,0	Espanha	Murcia	2012
3	Usina Dadri ISCC	14,0	Índia	Dadri	2017
4	Usina RENDE CSP	1,0	Itália	Rende	2014
5	Projeto-Piloto IRESEN CSP-ORS	1,0	Marrocos	Benguerir	2016

Os refletores lineares Fresnel são menos utilizados do que a tecnologia de torre solar e cilindro parabólico. De acordo com o NREL (2017b), existem quase 200 MW instalados com esse tipo de tecnologia e a primeira planta piloto foi construída na Austrália, logo depois surgiram usinas na França, Estados Unidos (EUA), Espanha, Índia entre outros.

Ainda segundo informações do NREL (2017b), dentre as usinas que utilizam tecnologia do refletor linear Fresnel, a usina de Dhursar (Índia) é atualmente a maior em operação no mundo, tendo uma capacidade instalada de 125 MW. Ela foi projetada e construída pela empresa Areva Solar, ocupa uma área de aproximadamente 340 hectares, gera cerca de 280.000 MWh/ano. O desenvolvedor, o proprietário e o empreiteiro do empreendimento são respectivamente as empresas: *Rajasthan Sun Technique Energ*, *Reliance Power* e *Areva Solar*. A China está construindo 3 empreendimentos de 50 MW de capacidade instalada cada: Zhangjiakou, Zhangbei, Urat. Na França, a empresa SUNCNIM está construindo uma usina comercial eLLO Solar, com de 9 MW, e que ocupará 36 hectares.

Apesar da tecnologia CSP com refletores lineares Fresnel ser mais barata e simples, até o fim do ano de 2017, o Brasil ainda não possuía usinas comerciais em operação, bem como projetos para empreendimentos, visando utilizar esta tecnologia.

4.2. Panorama e empreendimentos CSP com Torres Solares com Receptores Centrais

A tecnologia torre solar com receptor central possibilitam a utilização de armazenamento térmico, assim com possui uma elevada temperatura de operação, o que melhora a eficiência do ciclo Rankine. Dentre as tecnologias CSP, a torre solar é a segunda mais utilizada, sendo a primeira a dos cilindros parabólicos. De acordo com NREL (2017c), algumas das maiores usinas CSP com torres solares ficam nos EUA, África do Sul e Espanha, de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3. Exemplos de Usinas com Torre Solar do Mundo, segundo De Oliveira e Giacaglia (2017) apud NREL (2017a) e NREL (2017c) (Adaptado).

Nº	Empreendimento	Capacidade Instalada (MW)	País	Local	Início de operação
1	Ivanpah Solar Electric Generating System (ISEGS)	392,0	Estados Unidos	Primm	2014
2	Crescent Dunes Solar Energy Project (Tonopah)	110,0	Estados Unidos	Tonopah	2015
3	Khi Solar One	50,0	África do Sul	Upington	2016
4	Planta Solar 20	20,0	Espanha	Sevilha	2009
5	Gemasolar Thermosolar Plant	19,9	Espanha	Sevilha	2011

Segundo informações do NREL (2017c), a maior usina CSP com torre solar é da empresa *Ivanpah Solar Electric Generating System*, com 392 MW de capacidade instalada. De acordo com a empresa *Ivanpah* (2017), a usina possui 173.500 heliostatos, 3 torres de energia solar e seu custo total foi em torno de 2,2 bilhões de dólares, além de ocupar uma área em torno de 1.416 hectares, localizados no deserto de Mojave, na base da montanha Clark na Califórnia (EUA) e sendo desenvolvida pelas empresas *Bright Source Energy* e *Bechtel*. A *Ivanpah* obteve a aprovação final do projeto em 2010. Porém, em 2011, a construção foi suspensa devido a um possível impacto na fauna do deserto, após o *United States Fish and Wildlife Service* emitir um relatório mencionando que o projeto ofereceria riscos à fauna. Posteriormente, as obras foram retomadas e a usina entrou em operação em fevereiro de 2014.

Além das usinas já em operação, segundo NREL (2017a, 2017c), entre o ano de 2017 e 2019, as maiores usinas previstas para entrar em operação são: Copiacó, no Chile com 260 MW; duas usinas na China, uma em Golmud e a outra em Delingha, com capacidade de 200 MW e 135 MW respectivamente; uma usina nos Marrocos, com 134 MW; e uma em Israel, com 121 MW.

O Brasil ainda não tem usinas CSP com torres solares em operação comercial, mas existem iniciativas em andamento.

4.3. Panorama e empreendimentos CSP com Cilindros Parabólicos

Os projetos de energia solar concentrada têm boa aceitação pelo mundo, principalmente em termos de cilindros parabólicos. Segundo NREL (2017d), algumas das maiores usinas CSP com cilindros parabólicos em funcionamento atualmente estão descritas na Tabela 4:

Tabela 4. Exemplos de Usinas de cilindros parabólicos do Mundo, segundo NREL (2017d) (Adaptado).

Nº	Empreendimento	Capacidade Instalada (MW)	País	Local	Início de operação
1	Mojave Solar Project	280,0	Estados Unidos	Harper Dry Lake	2014
2	Shams 1	100,0	Emirados Arabes	Madinat Zayed	2013
3	Kaxu Solar One	100,0	África do Sul	Poffader	2015
4	Martin Next Generation Solar Energy Center	75,0	Estados Unidos	Indiantown	2010
5	Abhijeet Solar Project	50,0	Índia	Phalodi	2015

Os dados do NREL (2017d) informam que projeto Mojave Solar é a maior usina CSP com cilindros parabólicos atualmente em operação, tendo 280 MW de capacidade instalada. Esta usina pertence à empresa Abengoa Solar e está localizada nos Estados Unidos. A Espanha destaca-se como país com mais usinas CSP com cilindros parabólicos de 50 MW: Andasols 1, 2 e 3; Arcosol 50; Arenales; Astexol II, Astes 1A e 1B; Casablanca; Helios I e II; Ibersol Ciudad Real (Puertollano); La Africana; La Dehesa; La Florida; La Risca (Alvarado I); Lebrija 1; Majadas I; e Manchasols 1 e 2.

O Brasil ainda não tem usinas CSP de cilindros parabólicos de grande porte, mas existem iniciativas em andamento.

4.4. Panorama e empreendimentos CSP com Discos de Stirling

Os projetos de energia solar concentrada com disco de Stirling são mais difíceis de serem encontrados quando comparados aos demais tipos de CSP descritos nesse artigo. A Tabela 5 apresenta apenas 2 exemplos destes tipos de usinas, segundo NREL (2017e):

Tabela 5. Exemplos de Usinas CSP com Discos Stirling do Mundo, segundo NREL (2017e) (Adaptado).

Nº	Empreendimento	Capacidade Instalada (MW)	País	Local	Início de operação
1	Maricopa Solar Project	1,5	Estados Unidos	Poeria	2010
2	Tooele Army Depot	1,5	Estados Unidos	Depot	2013

De acordo com o site *Power Technology* (2017), foram instalados na usina solar de Peoria, Arizona, 60 coletor-parabólicos solares, chamados de *SunCatcher*. Cada unidade parabólica tem capacidade de produzir 25 kW e a capacidade instalada para geração elétrica é de 1,5 MW. Suficiente para suprir as necessidades energéticas de cerca de 200 casas, a maioria das unidades geradoras de eletricidade em larga escala a partir de energia solar instaladas até agora são tipicamente usinas que utilizam painéis fotovoltaicos ou concentradores da radiação solar, onde os espelhos ou calhas reflexivas criam o calor-vapor para produzir eletricidade. A tecnologia de discos Stirling também capta o calor usando um disco parabólico espelhado que se move constantemente para acompanhar o movimento do Sol. Contudo, ao invés de aquecimento de líquidos para fazer vapor e mover turbinas e geradores de eletricidade, o calor é dirigido a um pistão contendo gás hidrogênio o qual move um motor Stirling para produzir eletricidade.

No Brasil, usinas do tipo Stirling são pouco conhecidas, pesquisadas e/ou apoiadas por setores públicos e/ou privados.

5. CONTEXTO BRASILEIRO DA HELIOTERMIA E O CINTURÃO SOLAR

No Brasil, a aplicação de tecnologias heliotérmicas CSP (*Concentrating Solar Power*) ainda é muito embrionária quando comparada a outros países, principalmente a Espanha e os EUA. Todavia, o Brasil tem um significativo potencial para utilização da energia solar, bem como também dispõe de altos potenciais de outras fontes renováveis (Ex.: eólica, hídrica, etc.) exploradas no país.

Conforme o *Renewables 2017 Global Status Report* (REN21, 2017), há uma região no Brasil, denominada Cinturão Solar que apresenta condições de amplo potencial para geração elétrica via energia solar, por conta dos altos índices de irradiação. Neste cinturão solar há extensas regiões semiáridas com uma irradiação normal direta diária na ordem de 6 kWh/m², atingindo 2.000 kWh/m² anualmente (Figura 5). Segundo Martins, Abreu e Pereira (2012), a região do Nordeste contempla os requisitos técnicos para exploração da energia solar térmica na geração de eletricidade via tecnologia CSP. As informações analisadas indicam que a região do Círculo Solar, no interior do Brasil, tem potencial adequado para receber empreendimentos CSP para geração de energia elétrica, havendo destaque para o semiárido na Região Nordeste. Sulyok (2014) comenta que há imensas áreas de terra disponíveis para aplicações solares térmicas. Por exemplo, Januária e Itacarambi são 2 locais possíveis para implantação de empreendimentos CSP, pois têm: excelentes condições topográficas; disponibilidade de água para arrefecimento; acesso rodoviário; baixas velocidades do vento; e ambiente com moderadas temperaturas e pouca variação diária. Estes locais recebem anualmente uma radiação solar direta entre 1.800 e 2.300 kWh/m² e podem acomodar em larga escala usinas de energia solar térmica. Ainda de acordo com Sulyok (2014), o maior potencial está localizado na Bacia do rio São Francisco e em Sobradinho. Locais com grande potencial no Brasil estão próximos da linha do equador, o que oferece uma vantagem óptica, uma vez que o ângulo de radiação tem variação anual mais baixa. Há necessidade de mais estudos sobre aplicações eficientes de cada um dos tipos de tecnologias CSP e de ações governamentais para incentivo de seu uso.

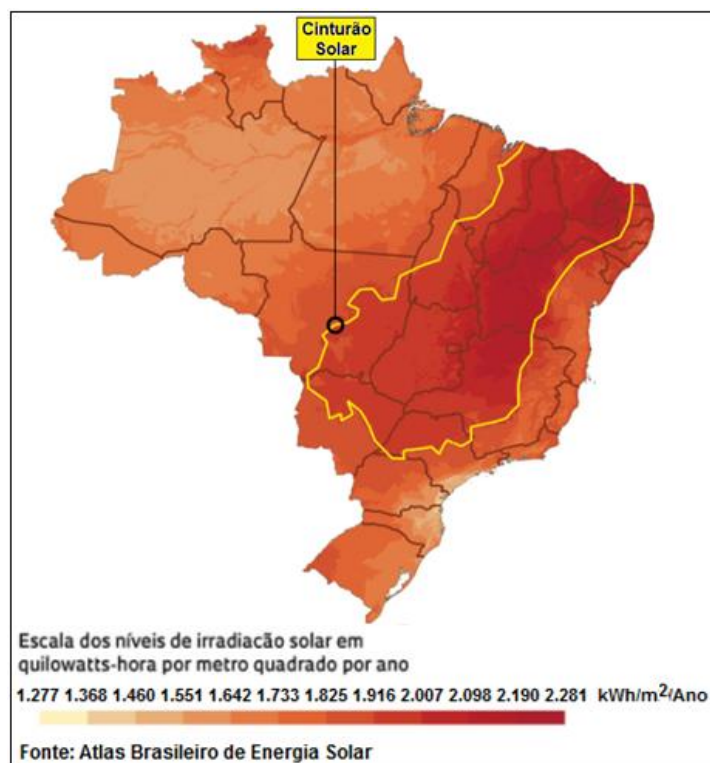


Figura 5. Região do Cinturão Solar Brasileiro, obtida na Revista Pesquisa FAPESP, 2017 (Adaptado).

De acordo com Santos (2015) e De Jong (2013), há complementariedades energéticas em várias regiões do Brasil, o que poderá potencializar significativamente os ganhos em termos de eficiência e produtividade da geração de eletricidade de várias fontes, destacando-se a hídrica, eólica e solar fotovoltaica. Ou seja, quando algumas determinadas fontes energéticas estiverem em períodos de baixas produtividades, outras fontes poderiam suprir parcialmente ou totalmente os déficits energéticos das mesmas. Neste contexto, a inserção da geração heliotérmica pode contribuir para aprimorar a complementariedade global das energias renováveis no setor elétrico brasileiro, uma vez que algumas tecnologias CSP tem capacidade de armazenamento de energia.

5.1. Projetos Existentes no Brasil referentes à CSP

O Brasil ainda não tem usinas comerciais de energia heliotérmica em operação, porém existem alguns projetos-piloto que já estão em fases mais avançadas. Além disto, alguns acordos e parcerias estão sendo firmados com países-líderes na utilização da energia solar concentrada, tais como Espanha, Alemanha e Estados Unidos.

Em 2010, o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) e o Ministério de Minas e Energia (MME) firmaram um acordo para construção de uma plataforma de pesquisas sobre helioterminia no semiárido brasileiro. Atualmente existe a plataforma on-line de Energia Heliotérmica (2017a) (site: <http://energiaheliotermica.gov.br>), que se originou no âmbito do Projeto Energia Heliotérmica, cooperação entre o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), a Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável por meio da *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit* (GIZ) GmbH e do Banco Alemão de Desenvolvimento (*KfW Entwicklungsbank*).

Em 2013, o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) lançou o primeiro edital nacional de pesquisa em helioterminia, incentivando as universidades brasileiras a realizarem estudos nesta temática. Desde então, projetos de pesquisas e desenvolvimento em várias universidades brasileiras já começaram a ser desenvolvidos, destacando-se os estados de: Santa Catarina, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraíba, Pernambuco, Ceará e o Distrito Federal.

Um projeto em andamento é o com tecnologia de calhas parabólicas e capacidade instalada de 1 MW em Petrolina, estado de Pernambuco. Executado pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL) e pela Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF), o projeto tem como objetivo inserir a tecnologia solar no mercado brasileiro e avaliar o potencial da região Nordeste (cinturão solar). Os parâmetros utilizados para determinar a localização da planta foram: irradiação direta normal, infraestrutura na região, recursos hídricos, entre outros. O projeto inicial não prevê capacidade de armazenamento, no entanto, em fases posteriores do projeto, um tanque de armazenamento poderá ser acoplado ao sistema (ENERGIA HELIOTÉRMICA, 2014). Ainda segundo o site Energia Heliotérmica (2017b), o custo de implantação do projeto é de 45 milhões de reais. Segundo Corrêa (2016), 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 desta usina CSP. Este projeto é denominado *Heliotherm* e será realizado com recursos majoritariamente provenientes da Financiadora de Estudos e Projetos do Ministério de Ciência e Tecnologia (FINEP/MCTI). Também participam desta iniciativa: a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), como co-executora; a Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação do Estado de Pernambuco (SECTI), como instituição interveniente; e a ELETROBRAS/CHESF, instituição parceira. Esta é primeira fase referente à construção de uma plataforma de pesquisa experimental para o desenvolvimento da energia solar no país, abrangendo diversos tipos de tecnologias, similar a plataformas de pesquisa existentes no exterior.

O segundo projeto em andamento e que tinha como meta inicial ficar pronto em 2016 é o SMILE. O projeto SMILE (Sistema Solar Híbrido com Microturbina para Geração de Eletricidade e Cogeração de Calor na Agroindústria) prevê a construção de 2 usinas solares com torre central para geração de eletricidade e cogeração de calor integrado a duas atividades agroindustriais (Laticínio e Matadouro). As usinas heliotérmicas serão construídas em Pirassununga, São Paulo, e em Caçara do Rio do Vento, Rio Grande do Norte. As torres terão 100 kW de potência instalada cada e serão utilizadas para suprir as necessidades elétricas e de calor de processo, utilizando o ar como fluido térmico de trabalho. A princípio, não haverá armazenamento térmico, mas ambas as plantas serão construídas com a possibilidade de implementação dessa tecnologia numa futura etapa. Para auxiliar a produção em momentos de baixa ou nenhuma disponibilidade de radiação solar, serão utilizadas caldeiras auxiliares movidas à biodiesel em um sistema de geração híbrida (ENERGIA HELIOTÉRMICA, 2014). O projeto é financiado pelo BNDES e parceiros industriais, é coordenado pelo grupo de pesquisa GREEN/USP (Universidade de São Paulo), é executado em parceria com o Centro Aeroespacial Alemão DLR, Elektro Eletricidade e Serviços S/A e a Empresa Solinova Inovação Tecnológica e Empresarial Ltda. A previsão era para que a construção das usinas se iniciasse em janeiro/2016, e que elas entrassem em operação em dezembro/2016. Entretanto, até o final de 2017, a construção não foi concluída.

Além dos projetos citados anteriormente, também foi construído na Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), em Minas Gerais, um Laboratório Solar Térmico, como resultado de uma projeto pesquisa e desenvolvimento (P&D) da ANAEEL, com 2 sistemas de disco Stirling, um sistema tipo ORC (Ciclo Orgânico de Rankine) e um sistema gaseificador/motor de 6 kWe de potência.

Outro projeto-piloto em concepção no Brasil é um no qual a Petrobrás busca reduzir o consumo elétrico com uma usina CSP localizado no Vale do Açu, no estado do Rio Grande do Norte. A planta heliotérmica comercial, está sendo projetada com capacidade de 3 MW, com a tecnologia de torre solar. O projeto será realizado em parceria com: o

Centro de Tecnologias do Gás e Energia Renovável (CTGAS-ER), a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), e a Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

5.2. Viabilidade da Heliotermia CSP

A indústria brasileira já dispõe de parte da produção necessária para cadeia produtiva da tecnologia CSP em geração térmica, como por exemplo: turbinas de vapor, geradores de energia, subestação, transformadores e aparatos civis. Todavia, é necessário desenvolver a parte de captação da energia e da manutenção do ciclo térmico, pois precisam ser importados os espelhos e os concentradores solar, equipamentos que ainda hoje são de tecnologia e fornecimento exclusivamente estrangeiros.

Ainda não existem implantadas no Brasil grandes usinas heliotérmicas com concentração (CSP) para geração elétrica. De Pierro (2017) comenta que na Região Nordeste, mais especificamente o semiárido, há potencial para empreendimentos CSP. Entretanto, De Pierro (2017) e Sulyok (2014) afirmam que os custos para empreendimentos CSP ainda são muito elevados para sua implantação no Brasil, o que demandaria então políticas públicas adequadas de incentivo. Sem políticas públicas de incentivo e enquanto os custos estiverem elevados em comparação com outras fontes energéticas, a energia heliotérmica permanecerá sem condições de compor uma parcela significativa da matriz elétrica brasileira.

Filho (2014) fez um estudo para obtenção de índices para instalação de uma usina heliotérmica em uma região, com alto índice de radiação direta normal, em Bom Jesus da Lapa-BA. Esse estudo teve como simulação uma usina torre solar, e apresentou bons desempenhos, tais como fator de capacidade e produção anual, atestando que o Brasil possui grandes características climáticas para implementação desse tipo de planta. Porém, o estudo mostrou que os custos são muito elevados, o que inviabiliza os empreendimentos CSP (CARDOSO, 2016).

Verificou-se que uma planta com armazenamento de 7,5 horas, obteve como menor custo 618,80 R\$/MWh (utilizando a conversão de USD em 2014), valor esse muito maior do que a média do valor nos EUA, cujo valor gira em torno 340,50 R\$/MWh. Em comparação com os projetos de energia eólica no Brasil no ano de 2014, que foram vendidos a 129,97 R\$/MWh, também se apresenta um custo elevado (FILHO, 2014).

6. CONCLUSÕES

A energia heliotérmica ainda é pouco representativa em termos de capacidade instalada mundial e são poucas as usinas de grande porte em operação. Porém, o uso destas tecnologias é bastante promissor e poderá a se desenvolver como uma das opções em energias renováveis.

Seu potencial de expansão poderá se assemelhar ao das energias eólica e solar fotovoltaica na medida em que houver maior maturidade tecnológica e redução de custos frente a outras fontes energéticas renováveis, o que a viabilizaria comercialmente as tecnologias heliotérmicas.

O Brasil ainda não dispõe de usinas de grande porte implantadas e é muito incipiente em termos de tecnologias heliotérmicas. Entretanto, na região denominada Cinturão Solar Brasileiro há bastante potencial e áreas disponíveis para futuras implantações de usinas heliotérmicas, quando as mesmas forem economicamente viáveis e a depender dos resultados futuros apontados pelos projetos-pilotos em fase de implantação. Além disto, usinas heliotérmicas poderiam agir de forma integrada e complementar as demais fontes energéticas renováveis, melhorando a segurança energética nacional.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao SENAI-CIMATEC e aos seus profissionais, a UFBA, a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), as demais entidades técnicas nacionais e internacionais e pesquisadores que direta ou indiretamente auxiliaram na elaboração deste trabalho.

8. REFERÊNCIAS

- Cardoso, C.C.. Fontes Heliotérmicas: Um Estudo sobre o Funcionamento e o Potencial de Implementação no Brasil. Trabalho de conclusão de curso, Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Curitiba, Brasil, 2016. Disponível em: <http://nupet.daelt.ct.utfpr.edu.br/tcc/engenharia/doc-equipe/2015_1_42/2015_1_42_final.pdf>. Acesso em 09/12/2017.
- Corrêa, M.. CEPEL tocará projeto da primeira usina heliotérmica brasileira. Empresa Paranoá Energia, Brasília, Brasil, 2016. Disponível em: <<http://www.paranoaenergia.com.br/noticias/2016/02/29/cepel-tocara-projeto-da-primeira-usina-heliotermica-brasileira/>>. Acesso em 11/12/2017.
- CRESEB (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito) / CEPEL (Centro de Pesquisas de Energia Elétrica). Informações institucionais, Rio de Janeiro, Brasil, 2012. Disponíveis em: <www.cresesb.cepel.br/>. Acesso em 15/11/2017.
- De Jong, P., Sanchez, A.S., Esquerre, K., Kálid, R.A., Torres, E.A.. Solar and Wind energy production in relation to the electricity load curve and hydroelectricity in the northeast region of Brazil, Renewable and Sustainable-Energy Reviews, Vol. 23, p. 526–535, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.01.050>>. Acesso em 11/12/2017.

- De Oliveira, H.M., Giacaglia, G.E.O.. Brazil Concentrated Solar Power (CSP) plant proposal for Brazil. Engineering Research Technical Reports, v. 8, n. 4, p. 1–19, 2017. Universidade de Taubaté, Taubaté, Brasil, 2017. Disponível em: <<http://www.engres.org/engres/article/viewFile/168/pdf>>. Acesso em 11/11/2017.
- De Pierro, B.. Para aproveitar o Sol: Estudo indica áreas favoráveis para explorar a energia solar no Brasil. Revista Pesquisa FAPESP. Ed. 258, São Paulo, Brasil, 2017. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2017/08/18/para-aproveitar-o-sol/>>. Acesso 15/11/2017.
- ENERGIA HELIOTÉRMICA. Existem projetos heliotérmicos no Brasil? Brasília, Brasil, 2014. Disponível em: <<http://energiaheliotermica.gov.br/pt-br/fatos/existem-projetos-heliotermicos-no-brasil>>. Acesso em 09/11/2017.
- ENERGIA HELIOTÉRMICA. Parceiros. Brasília, Brasil, 2017a. Disponível em: <<http://energiaheliotermica.gov.br/pt-br/parceiros>>. Acesso em 12/11/2017.
- ENERGIA HELIOTÉRMICA. Sistema heliotérmico pode ser instalado em Pernambuco em 2017. Brasília, Brasil, 2017b. Disponível em: <<http://energiaheliotermica.gov.br/pt-br/noticias/607-sistema-heliotermico-pode-ser-instalado-em-pernambuco-em-2017>>. Acesso em 12/11/2017.
- ESTELA (European Solar Thermal Electricity Association). Linear Fresnel Reflector. Bruxelas, Bélgica, 2017. Disponível em: <<http://www.estelasolar.org/technologies-plants/the-4-types-of-csp-electricity-technologies/linear-fresnel-reflector/>>. Acesso em 09/11/2017.
- EPE (Empresa de Planejamento Energético). Balanço Energético Nacional 2017 – Relatório Síntese: Ano Base 2016. EPE, Rio de Janeiro, Brasil, 2017. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/benrelatoriosintese.aspx>>. Acesso em 11/12/2017.
- Filho, C.M. de O.. Metodologia para Estudo de Implantação de uma Usina Heliotérmica de Receptor Central no Brasil. Projeto de graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, Brasil, 2014. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10011687.pdf>>. Acesso 11/12/2017.
- IEA (International Energy Agency), IRENA (International Renewable Energy Agency). Perspectives for the Energy Transition: Investment Needs for a Low-Carbon Energy System. IEA, Paris, França, 2017. Disponível em: <<https://www.iea.org/publications/insights/insightpublications/perspectives-for-the-energy-transition.html>>. Acesso em 11/11/2017.
- IVANPAH SOLAR ELECTRIC GENERATING SYSTEM. Informações institucionais. Disponível em: <<http://www.ivanpahsolar.com>>. Acesso em 09/11/2017.
- Lodi, C.. Perspectivas para a Geração de Energia Elétrica no Brasil Utilizando a Tecnologia Solar Térmica Concentrada. Dissertação de Mestrado, UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, Brasil, 2011. Disponível em <http://www.ppe.ufrj.br/ppes/production/tesis/cristiane_lodi.pdf>. Acesso em 11/11/2017.
- Martins, F.R., Abreu, S.L., Pereira, E.B.. Scenarios for solar thermal energy applications in Brazil. Energy Policy, n. 48, p. 640–649, 2012. Disponível em: <https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:44043513>. Acesso 11/12/2017.
- Moreira, J.R.S. (Organizador). Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética. 1ª Edição. Editora LTC, Rio de Janeiro, 2017.
- NREL (National Renewable Energy Laboratory). Concentrating Solar PowerGen3 Demonstration Roadmap, U. S. Department of Energy, NREL/TP-5500-67464, Denver, Estados Unidos, 2017a. Disponível em: <<https://www.nrel.gov/docs/fy17osti/67464.pdf>>. Acesso em 11/11/2017.
- NREL. Linear Fresnel Reflector Projects. Denver, Estados Unidos, 2017b. Disponível em: <https://www.nrel.gov/csp/solarpaces/linear_fresnel.cfm>. Acesso em 11/11/2017.
- NREL. Power Tower Projects. U. S. Department of Energy, Denver, Estados Unidos, 2017c. Disponível em: <<https://energy.gov/sites/prod/files/2017/04/f34/67464.pdf>>. Acesso 11/11/2017.
- NREL. Parabolic Trough Projects. Denver, 2017d. Disponível em: <https://www.nrel.gov/csp/solarpaces/parabolic_trough.cfm>. Acesso em 11/12/2017.
- NREL. Dish/Engine Projects. Denver, Estados Unidos, 2017e. Disponível em: <https://www.nrel.gov/csp/solarpaces/dish_engine.cfm>. Acesso 11/12/2017.
- Paiva, I., De Castro, N., Claro, V. M., Huback, V., Cabral, S., Sarney, M.. Mudanças Climáticas e Energia Renovável: Desafios e Oportunidades do Setor Elétrico no âmbito dos compromissos pré-2020 da UNFCCC, V Encontro Latino-Americano de Economia da Energia (V ELAEE), Rio de Janeiro, Brasil, 2017. Disponível em: <<http://www.gesel.ie.ufrj.br/index.php/Publications/index/2>>. Acesso em 11/11/2017.
- POWER TECHNOLOGY. The Maricopa Solar Plant Project, USA. Concentrated Solar Power, 2017. Disponível em: <<https://www.power-technology.com/projects/maricopasolarplantar/>>. Acesso em 11/12/2017.
- REN21. Renewables 2017 Global Status Report. Paris, França, 2017. Disponível em: <http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/06/17-8399_GSR_2017_Full_Report_0621_Opt.pdf>. Acesso em 16/10/2017.
- Revista Veja. Abu Dhabi inaugura maior usina de energia solar concentrada do Mundo. São Paulo, Brasil, 2016. Disponível em: <<https://veja.abril.com.br/ciencia/abu-dhabi-inaugura-maior-usina-de-energia-solar-concentrada-do-mundo/>>. Acesso em 11/12/2017.
- Santos, J.A.F.A.. Planejamento energético para a Bahia em 2050: cenários e discussões relacionados às energias renováveis para geração de eletricidade. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/19397>>. Acesso em 11/11/2017.
- Silvestre, A.D.. Desenvolvimento de Helióstatos para Geração Heliotérmica em Torres Solares. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Brasil, 2016. Disponível em: <<http://tede.biblioteca.ufpb.br/handle/tede/8496>>. Acesso em 09/11/2017.
- SOLARGIS. Free download of solar resource maps. 2017. Disponível em: <<https://solargis.com/products/maps-and-gis-data/free/overview/>>. Acesso em 11/11/2017.

Sulyok, C.. Avaliação econômica de energia heliotérmica concentrada no semiárido baiano. Dissertação de Mestrado, UFBA, Salvador, Brasil, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/16993>>. Acesso em 11/11/2017.

Tolmasquim, M.T.. (Coordenador). Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica. EPE, Rio de Janeiro, Brasil, 2016. Disponível em: <<http://antigo.epe.gov.br/Documents/Energia%20Renov%C3%A1vel%20-%20Online%2016maio2016.pdf>>. Acesso em 11/12/2017.

9. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

HELIOTERMIC ENERGY FOR ELECTRIC GENERATION: CURRENT OVERVIEW AND POTENTIAL USES IN BRAZIL

José Alexandre F. de A. Santos, alex_cael@yahoo.com.br^{1,2}
Eduardo Dourado Garrido, edugdvc@hotmail.com¹
Lucas Veiga Chetto Coutinho, lucaschetto@hotmail.com¹
Pedro Neves da Rocha Morelli, pedro_morelli@terra.com.br^{1,2}

¹ Centro Universitário Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – Campus Integrado de Manufatura e Tecnologia (SENAI–CIMATEC). Av. Orlando Gomes, Nº 1845, Piatã, Salvador–BA, CEP.: 41.650–010.

² Escola Politécnica Universidade Federal da Bahia. Rua Prof. Aristides Novis, Nº 02, Federação, CEP.: 40.210–630.

Abstract. *The use of new renewable energies has been growing consistently in recent years in the world, indicating a process of global energy transition. In this context, the use of technologies that take advantage of the heliothermic energy (concentrated solar thermal – CSP) for large-scale electric generation is relatively recent. Compared to the installed global capacities of wind power and solar photovoltaic technologies, the installed capacity of heliothermic technologies is still very incipient and small, but it has shown significant growth and is one of the promising energy modalities. There are still no large CSP plants in Brazil, but there is a region, called the Solar Belt, with potential for implementation of these enterprises. In this way, this work aims to carry out an exploratory study on the current situation of heliothermic energy in the world, the possibilities of implantation in Brazil and the possible benefits, consulting several thematic bibliographic sources. As results obtained, it was confirmed the existence of potential for the implementation of heliothermic ventures and the possibility of them to act in a complementary way to the plants of other existing and future energy sources.*

Keywords: Renewable energy, Heliothermic energy, Energy Security, Brazilian Solar Belt.