ESTUDO DE ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS VISANDO NACIONALIZAÇÃO E METODOLOGIA PARA ALOCAÇÃO DE PLANTAS TERMOSSOLARES CONCENTRADAS NO BRASIL

Fábio Sester Retorta – fabio.sester@lactec.org.br
Kristie Kaminski Küster – kristie.kuster@lactec.org.br
Alexandre Rasi Aoki – aoki@lactec.org.br
Institutos Lactec
Jonas Rafael Gazoli – jonas@eudoraenergia.com.br
Eudora Energia
Sergio Pereira de Souza – sergio@rtbholding.com.br
RTB Energias Renováveis
Luis Alexandre Catussi Paschoalotto[1] – luis.paschoalotto@cesp.com.br
Companhia Energética de São Paulo - CESP
Ana Carolina Franco[1] – ana-carolina@elipse.com.br
Elipse Software
[1]Mestrado em Desenvolvimento de Tecnologia dos Institutos Lactec

Resumo. *Novas tecnologias sustentáveis de energia tem papel crucial para o esforço mundial de diminuição do uso de combustíveis fósseis e emissão de gases de efeito estufa, sendo que a energia termossolar concentrada é uma destas tecnologias. A energia termossolar é vantajosa principalmente quando associada a armazenamento térmico, pois complementa a intermitência de outras fontes renováveis como eólica e solar fotovoltaica. Para uma melhor disseminação da geração de energia termossolar no Brasil, é necessário um estudo das tecnologias já implementadas mundialmente. Este trabalho apresenta uma revisão comparativa das alternativas tecnológicas para plantas termossolares concentradas visando nacionalização e um estudo de esforço versus impacto que servirá de subsídio na tomada de decisão do local mais adequado para projetos de geração termossolar em território nacional. Para a implementação de uma usina termossolar no complexo de geração de energias renováveis da UHE Porto Primavera foi escolhida a configuração de coletores cilindro-parabólicos, que apresenta potencial de nacionalização dos equipamentos da planta.*

Palavras-chave: *Energia termossolar concentrada (CSP), nacionalização, alocação.*

1 INTRODUÇÃO

A geração solar concentrada (em inglês, *Concentrated Solar Power - CSP*), ou geração heliotérmica, é definida como a produção de energia elétrica a partir de um ciclo termodinâmico, cujo calor é fornecido pela concentração da irradiação solar (Pereira *et al.*, 2014). Como fonte renovável de energia, esta é uma das tecnologias chave para mitigação do aquecimento global. Por sua característica de despachabilidade quando associada a armazenamento térmico, ela é capaz de balancear os problemas de intermitência típicos de outras fontes renováveis como solar fotovoltaica e eólica (Hernández-Moro e Martínez-Duart, 2012).

As plantas de energia termossolar com objetivo de produzir energia elétrica têm sido construídas no mundo todo, com aproximadamente 5 GW em operação até 2016 (CSP Today, 2016). Mesmo assim, a implantação global da geração heliotérmica é bem menor em relação à solar fotovoltaica, que até a mesma data já atingiu 300 GW instalados (IEA, 2016). Os custos da tecnologia CSP vêm caindo, mas para apresentarem competitividade em relação à outras fontes de geração, ainda precisam passar por curva de aprendizado de tecnologia e ganho de escala de produção (Hernández-Moro e Martínez-Duart, 2012).

O Brasil possui um potencial solar expressivo que é a mais importante pré-condição para a geração termossolar. Com irradiação direta normal anual entre 2.100 kWh/m^2 e 2.400 kWh/m^2 em uma faixa que se estende desde o Nordeste até o Sudeste/Centro-Oeste (Pereira *et al.*, 2006), o país se beneficiará com a inclusão desta tecnologia para diversificação de sua matriz energética, dada sua confiabilidade e flexibilidade operacional e vantagens ambientais.

Para incentivar a geração heliotérmica, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) lançou em 2015 a chamada nº 19 para o projeto estratégico "Pesquisa e desenvolvimento de tecnologia nacional de geração heliotérmica de energia elétrica", que pretende criar condições para o desenvolvimento de base tecnológica e infraestrutura técnica para a inserção da geração heliotérmica na matriz energética brasileira (ANEEL, 2015).

Neste contexto, a concessionária Companhia Energética de São Paulo (CESP) fará a construção de uma planta piloto termossolar na área da Usina Hidrelétrica (UHE) Eng. Sérgio Motta (conhecida como Porto Primavera), integrada a um complexo de geração renovável com fontes eólica, fotovoltaica e hidráulica. A planta será objeto de estudos em todas as fases da cadeia de valor de uma usina termossolar, desde o desenvolvimento de projeto até a sua operação.

Este artigo apresenta uma descrição das alternativas tecnológicas para a geração termossolar. Uma análise comparativa das tecnologias é realizada para consideração da nacionalização dos equipamentos e posteriormente um estudo de esforço versus impacto para decisão do local de implementação da planta termossolar na UHE Porto Primavera.

Os resultados indicam a área mais adequada para implementar uma usina de coletores cilindro-parabólicos, bem como, o potencial de nacionalização dos equipamentos a serem instalados.

2 TECNOLOGIAS DE CONCENTRAÇÃO E CONVERSÃO TERMOSSOLAR

2.1 Estrutura de uma planta termossolar

A planta termossolar é constituída por três subsistemas: o campo solar, o sistema de transferência de calor e o bloco de potência. O campo solar é composto dos concentradores, que concentram a irradiação solar direta em um receptor. A energia coletada é transportada pelo fluido de transferência de calor para os tanques de armazenamento, ou bloco de potência, conforme ilustrado na Fig.1.

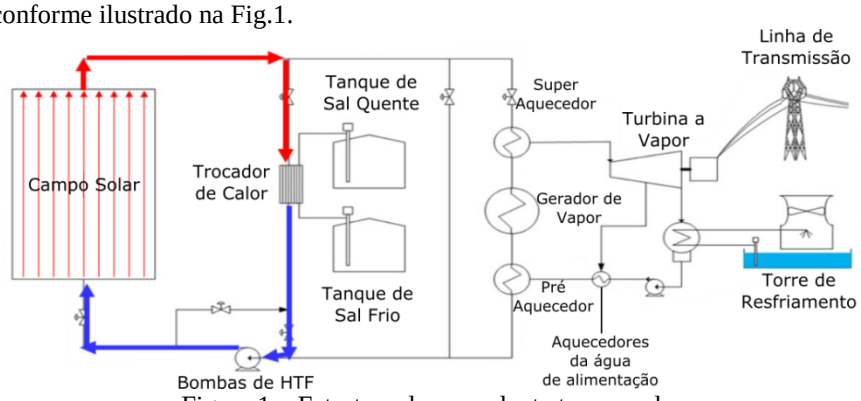

Figura 1 – Estrutura de uma planta termossolar
Fonte: Adaptado de Abengoa Solar (2018).

2.2 Transferência de calor

O fluido de transferência de calor (*Heat Transfer Fluid* - HTF) acumula a energia térmica nos coletores e a transporta até o bloco de potência. Há duas maneiras de fazer a transferência do calor à turbina (Fig. 2). A primeira é utilizar um fluido especial, do qual o calor é transferido ao fluido de trabalho do ciclo Rankine (água). Esta é a chamada geração indireta de vapor. A segunda maneira é gerar o vapor para o ciclo Rankine diretamente nos tubos absorvedores dos coletores cilindro-parabólicos e o transportar para a turbina. Esta versão é chamada de geração direta de vapor (do inglês, *Direct Steam Generation* - DSG).

Na geração indireta de vapor há dois ciclos de fluido, o HTF e a água do ciclo Rankine. A conexão térmica feita entre eles é realizada num trocador de calor. Para as plantas DSG, todo o processo de aquecimento e vaporização da água é feita diretamente no campo solar.

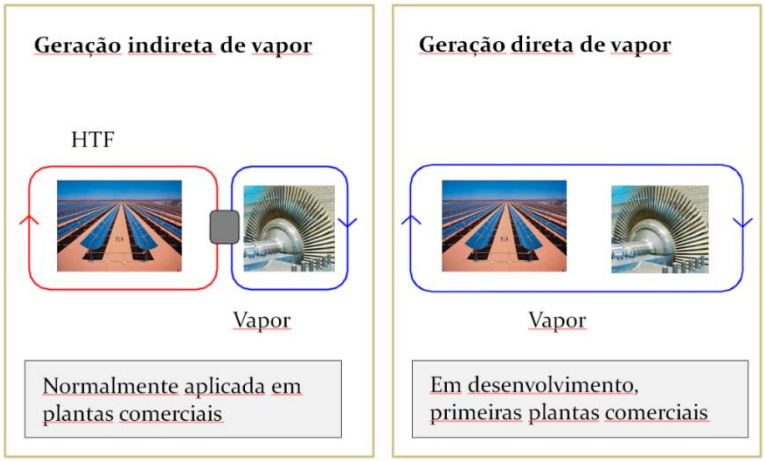

Figura 2 – Classificação de usinas termossolares de acordo com seu fluido de transferência.
Fonte: Adaptado de German Aerospace Center (2016)

2.3 Tecnologias de concentração solar

Existem dois tipos básicos de concentração da irradiação solar, a concentração com foco linear, ou com foco pontual. Esses tipos refletem em quatro principais arranjos de plantas para concentração da irradiação solar (Figura 3): sistemas com espelhos cilindro parabólicos, sistemas de torres solares, sistemas com espelhos lineares Fresnel e sistemas

de discos parabólicos. Estas tecnologias se diferenciam pela dimensão dos componentes, estrutura (arranjo e área), nível da temperatura em operação, sistemas de rastreamento do sol e dos fluidos de transferência de calor utilizados.

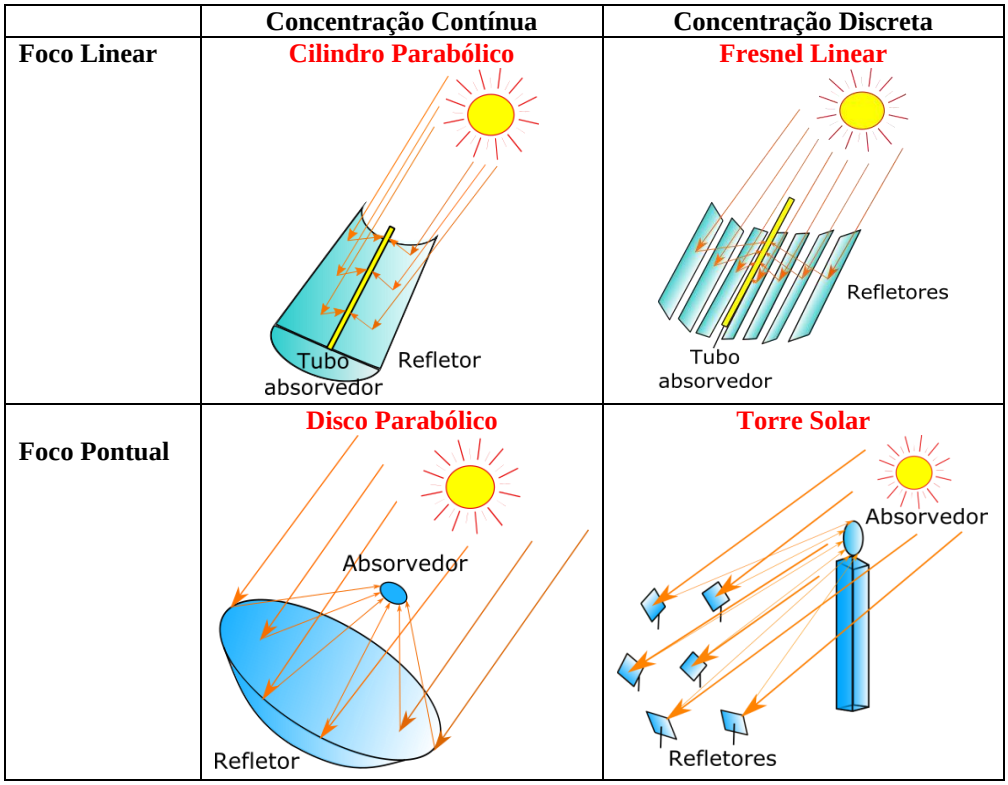

Figura 3 – Principais tecnologias de plantas heliotérmicas.
Fonte: Adaptado de German Aerospace Center (2016)

2.4 Concentradores cilindro-parabólicos

A tecnologia de espelhos cilindro parabólicos é a mais utilizada em usinas CSP com aproximadamente 96% da capacidade instalada no mundo (SolarPACES, 2013).

Os coletores cilindro parabólicos (*Parabolic Trough Concentrators* – PTC) consistem em calhas de espelhos com uma seção transversal em formato de parábola. Os espelhos refletem e concentram a radiação solar ao longo de sua linha focal, onde um tubo absorvedor está localizado. O tubo absorvedor é feito de aço de um material de alta absortividade por onde passa um fluido que absorve o calor da irradiação que foi concentrada de 30 a 100 vezes. Numa planta CSP com esta tecnologia, uma vez que o fluido tenha absorvido o calor da irradiação solar concentrada, ele é utilizado para gerar vapor num trocador de calor a aproximadamente 390 °C, que por sua vez é enviado para uma turbina a vapor ciclo Rankine.

Os concentradores cilindro-parabólicos possuem um sistema de rastreamento de um eixo, que normalmente está orientado no sentido norte-sul rastreando o Sol de leste a oeste. O sistema de acionamento e seguimento solar é composto por dois componentes: a unidade motriz e o controle local. A unidade motriz pode ser por sistema hidráulico ou por sistema moto-redutor. O controle local pode ser por malha fechada (baseado em sensor solar) ou por malha aberta (baseado em detector de posição do eixo de rotação).

2.5 Coletor Linear Fresnel

Os coletores lineares Fresnel podem ser caracterizados como espelhos paralelos, de perfil baixo, planos ou levemente curvados. Estes espelhos posicionam-se de acordo com o princípio das lentes de Fresnel, que consiste em "cortar" o elemento óptico em segmentos que tenham juntos as mesmas propriedades ópticas do elemento original, ou seja, lentes de grande abertura e curta distância focal, sem o peso e volume do material que seriam necessários a uma lente convencional.

Os espelhos planos longos, também denominados de espelhos primários, representam o maior e principal componente do coletor. Normalmente, estes são compostos de vidro, vidro laminado ou folhas de alumínio e uma estrutura traseira de aço ou alumínio (Häberle *et al.*, 2014).

Por sua vez, o receptor do coletor linear Fresnel possui duas estruturas principais, as quais são o tubo absorvedor (ou receptor). Pode-se utilizar um concentrador (ou refletor) secundário com o objetivo de corrigir a inexatidão de concentração dos refletores Fresnel, otimizando a captação de raios solares e diminuindo perdas.

O sistema de tracking é o sistema que permite a rotação dos espelhos receptores primários conforme o ângulo de incidência solar. Esse ângulo que será variado é muito pequeno. Em algumas usinas é utilizado um motor único por

módulo dos refletores Fresnel com engrenagens concatenadas para cada tira de espelho, apresentando baixo consumo de energia.

Em comparação às plantas cilindro-parabólicas, as plantas Fresnel apresentam menores custos de investimento e de operação (Collares-Pereira *et al.*, 2017). Os concentradores Linear-Fresnel possuem tubo absorvedor fixo sem necessidade de juntas móveis de alta pressão, o que favorece também a geração direta de vapor, eliminando os custos com óleo térmico. Além disso, as tiras planas de espelho são mais baratas e mais fáceis de limpar. A desvantagem desta tecnologia em relação às plantas cilindro-parabólicas é a sua menor eficiência total de conversão de energia solar em elétrica, devido às suas maiores perdas ópticas.

2.6 Torre Solar

Esta tecnologia utiliza um receptor (absorvedor), localizado na parte superior de uma torre, o qual está rodeado por espelhos (heliostatos) móveis dispostos no solo. Os heliostatos possuem um sistema de rastreamento solar de dois eixos e são responsáveis por concentrar a radiação solar no receptor da torre. A estrutura básica de uma usina de torre solar é representada na Figura 4.

O receptor absorve a radiação solar concentrada, a qual é convertida em energia térmica, aquecendo um meio de transferência de calor, o qual pode ser sólido, líquido ou gasoso. Os meios de transferência de calor mais utilizados em plantas de torre solar são o sal fundido, o ar ou a água, para geração direta de vapor. Utilizando o sal fundido chega-se a temperaturas de 565 °C.

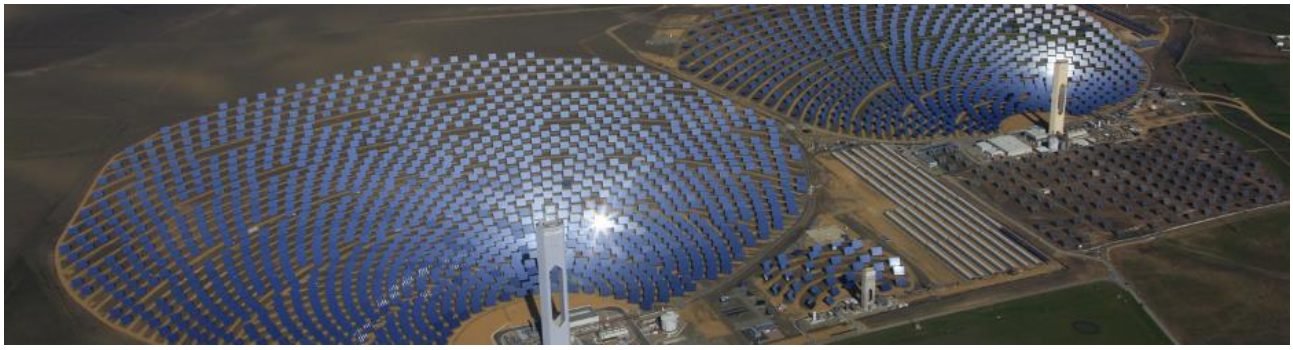

Figura 4 – Usinas de campo de heliostatos PS10 e PS20 em Andalusia, Espanha.
Fonte: Adaptado de Abengoa Solar (2018).

2.7 Armazenamento de energia

Uma grande complicação da utilização da energia solar como fonte primária de energia é a sua intermitência e sua disponibilidade cíclica. Mudanças sazonais e climáticas influenciam fortemente na quantidade de energia solar térmica que pode ser recolhida. Utilizar um sistema de armazenamento de energia com uma usina termossolar pode apresentar vantagens para melhor aproveitamento da fonte solar e gestão da potência gerada.

Usinas termossolares, quando projetadas com armazenamento, podem prover energia firme e potência despachável, em contraste a outras tecnologias renováveis. A geração termossolar se torna, portanto, uma tecnologia chave, pois como uma fonte renovável despachável é possível preencher as lacunas de geração de fontes intermitentes como a fotovoltaica e a eólica. A Figura 5 apresenta a relação entre a irradiação direta, energia armazenada e energia injetada na rede elétrica.

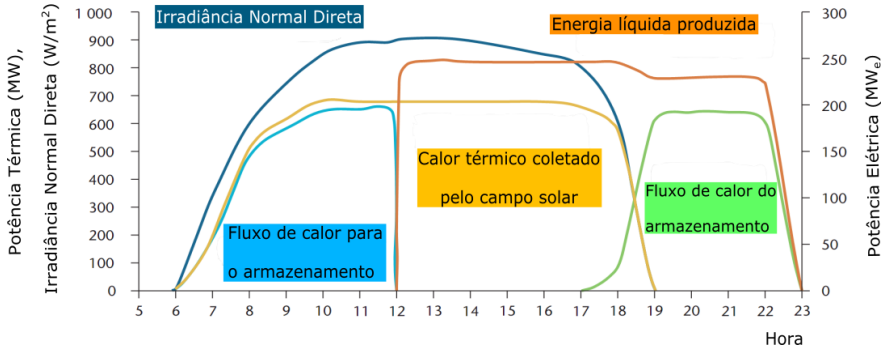

Figura 5 – Despachabilidade de uma planta termossolar com armazenamento
Fonte: Adaptado de International Energy Agency (2014).

2.8 Comparação de tecnologias

Em uma primeira comparação, pode-se analisar a razão de concentração de cada tecnologia e suas temperaturas de operação. Conforme mostra a Figura 6, quanto maior a razão de concentração dos raios solares, maior é a eficiência para temperaturas ascendentes. A calha parabólica e a tecnologia linear Fresnel possuem razões de concentração similares, e operam ambas tipicamente de 300 °C a 500 °C. A torre solar possui capacidade maior de concentração dos raios solares, e opera em temperaturas comparativamente maiores, chegando até a 1000 °C.

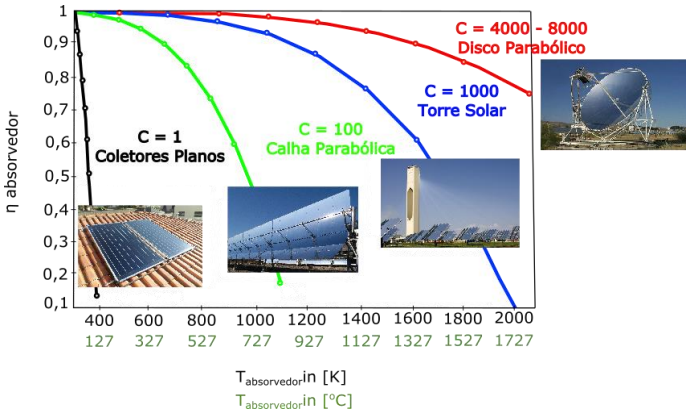

Figura 6 – Comparação de tecnologias em relação à razão de concentração solar e temperatura do absorvedor
Fonte: Adaptado de German Aerospace Center (2016).

A Tabela 1 apresenta outros parâmetros utilizados como análise comparativa destas três tecnologias, apresentando de forma resumida as características das usinas de espelhos cilindro-parabólicos, coletor Fresnel e torre solar. A tecnologia cilindro-parabólica é a mais difundida e empregada comercialmente, seguida pela torre solar.

Tabela 1 - Comparação de tecnologias CSP

	Cilindros-parabólicos	**Fresnel**	**Torre solar**
Potência instalada típica	10-300 MW	10-200 MW	10-200 MW
Experiência comercial	Alta	Baixa	Média
Risco Tecnológico	Baixo	Médio	Médio
Forma típica terreno	Retângulo	Retângulo	Setor circular
Requisitos para construção	Exigente	Simples	Exigente
Temperatura de operação	300-550 °C	270 °C	260 – 1000 °C
Fluido de transf. de calor	Óleo, água/vapor	Óleo, água/vapor	Ar, sais fundidos, água/vapor
Ciclo termodinâmico	Rankine	Rankine	Rankine, Brayton
Eficiência máxima da planta	~20%	~18%	~23-35%
Eficiência anual solar-elétrica	11-16%	13%	7-20%
Uso de água	Alto	Médio	Alto
Fator de capacidade anual	25-28 % (sem armazenamento) 29-43 % (com 7h de armazenamento)	22-24 %	55 % (10h de armazenamento)
Hibridização	Sim	Sim	Sim
Estabilidade da rede	Médio para Alto (armazenamento ou híbrido)	Médio	Alto (Armazenamento grande)

Fonte: Adaptado de International Renewable Energy Agency (2012)

A tecnologia cilindro-parabólica sai à frente como tecnologia preferencial para instalação em território nacional, pois possui flexibilidade em relação às temperaturas de processo, mais modularidade em relação à torre solar, e menos utilização de terreno por MW instalado em relação à torre solar (Tab. 1). A tecnologia linear Fresnel, apesar de apresentar custos de instalação e operacionais mais baixos, possui eficiência menor comparativamente à tecnologia calha parabólica. Com potencial de redução de custos, a tecnologia Fresnel pode vir a se tornar competitiva.

Outro parâmetro importante a analisar é a possibilidade de aumentar a capacidade de uma usina, ou seja, a dificuldade de modularizar a tecnologia em análise. No caso de espelhos cilindro-parabólicos e lentes de Fresnel a dificuldade de aumentar é relativamente baixa, ao contrário das torres solares. A complexidade da construção de uma usina heliotérmica também é um parâmetro a ser analisado, sendo que a tecnologia Fresnel tem a maior simplicidade em seguida dos espelhos cilindro-parabólicos e por última a torre solar. A Tabela 2 mostra a razão de hectare por MW das três tecnologias considerando usinas de médio porte. A tecnologia torre solar, conforme mostra a Tabela 2, exige mais terreno por MW instalado. Por isso, esta tecnologia se viabiliza em áreas desérticas, com alta irradiação direta e baixo custo de aquisição de terreno.

Tabela 2 - Cálculo do uso de terra por tecnologia CSP

	Área específica (ha/MW)
Cilindro-parabólico	3
Torre solar	5
Fresnel	2

Fonte: Pereira et al. (2014).

3 METODOLOGIA PARA ALOCAÇÃO DA USINA

Para avaliar qual o local mais apropriado para instalar uma usina termossolar foi utilizada a técnica matriz esforço *versus* impacto, pertencente a análise da causa raíz (*route cause analysis*). Esta ferramenta foi desenvolvida com o objetivo de ajudar na tomada de decisão de forma a apresentar a melhor solução graficamente em função das possíveis existentes. A matriz é composta no eixo das abcissas pela métrica de esforço e no eixo das ordenadas pela métrica do impacto. Este método é apresentado em Andersen, Fagerhaug e Beltz (2012).

Para avaliar as possíveis áreas de instalação da planta termossolar na usina hidrelétrica Eng. Sérgio Motta (conhecida como Porto Primavera) foi utilizado o material da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), empregado na plataforma Energia Heliotérmica (2016), que elenca, de forma objetiva, a avaliação de locais para a instalação de plantas termossolares concentradas. Segundo a GIZ, é necessário avaliar 12 critérios para a escolha da instalação conforme a Tabela 3.

Tabela 3 - Critérios para avaliação do local

Rede elétrica	Infraestrutura de transporte	Fornecimento de combustível	Água
Topografia	Propriedades do solo	Condições climáticas	Sismologia
Irradiância normal direta	Impacto ambiental	Aceitação Social	Permissões e Licenças

Em relação a esta lista, os critérios fornecimento de combustível, condições climáticas, sismologia e qualidade da DNI não foram incluídos na análise. O fornecimento de combustível não foi avaliado porque a usina termossolar não será híbrida, portanto não haverá consumo de combustível. Os critérios condições climáticas e qualidade da DNI não foram avaliados pelo fato da distância entre os dois locais ser menor do que um quilômetro, ou seja, estão submetidos às mesmas condições climáticas e de qualidade de DNI. O critério sismologia não foi avaliado, pois os dois locais não estão sujeitos a possíveis ondas sísmicas e também não apresentariam diferenças de avaliação.

Figura 7 - Possíveis locais para instalação da planta termossolar.

Além disso, a CESP e as empresas parceiras verificaram a necessidade de adicionar mais critérios, como a segurança da planta termossolar e a visibilidade para o público. A segurança está diretamente relacionada com a necessidade de

supervisão para prevenir vandalismo e furtos na usina termossolar, seja durante ou após a fase de obra, além da segurança operacional. A visibilidade da usina termossolar é importante para disseminar o conhecimento desta tecnologia para a sociedade. A mesma também contribui com a imagem da CESP junto à população como uma concessionária inovadora em fontes alternativas de energia.

Foram analisadas duas possíveis áreas para instalação da planta termossolar e que estão destacadas na Figura 7. A primeira está localizada próxima à portaria da usina, fazendo divisa com a rodovia (opção A). Uma área bastante acessível e visível, que proporcionará a integração física entre a planta termossolar e as demais plantas fotovoltaicas e eólica. A segunda está localizada na Ilha Aurora, próxima à subestação Nova Porto Primavera 230 kV (opção B). Apesar da maior disponibilidade de espaço para construção, o terreno é arenoso. A distância até o complexo torna difícil para o visitante identificar a integração entre as fontes.

Os 10 critérios definidos e analisados nos dois possíveis locais de instalação (opção A e opção B) foram avaliados cada um em função do esforço e do impacto através da métrica baixo = 1, médio = 2 e alto 3. O impacto é relativo ao objetivo do trabalho a ser realizado para cada critério (resultado), ou seja, um alto impacto significa que afeta de forma positiva o objetivo do trabalho. O esforço está correlacionado com o custo, logística, tempo e, portanto, um alto esforço influencia negativamente o objetivo do trabalho.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Potencial de nacionalização da tecnologia escolhida

Com relação ao potencial de nacionalização da tecnologia de coletores cilindro-parabólicos, escolhida para ser instalada no complexo de fontes renováveis da UHE Porto Primavera, pode-se afirmar que os diferentes componentes da planta termossolar exigem métodos especiais de produção. Mesmo assim, o conhecimento e equipamentos das indústrias nacionais já existentes podem ser utilizados para trazer competitividade à produção (SCHLIPF, 2014). Para cada subsistema da planta termossolar, associa-se as respectivas indústrias envolvidas em sua produção e o potencial de nacionalização, conforme verifica-se na Tabela 4. Ressalta-se que esta análise contempla um horizonte de curto / médio prazo entre dois a quatro anos no futuro.

Tabela 4 – Potencial de nacionalização dos equipamentos de cada subsistema da geração solar.

SUBSISTEMA	EQUIPAMENTOS	POTENCIAL DE NACIONALIZAÇÃO (%)
Bloco de potência - indústria de aço e engenharia mecânica	Turbina a vapor	100%
	Torre de resfriamento	100%
	ETA - Estação de Tratamento de Água/Sistema de Desmineralização	100%
	Trocador de calor	100%
	Condensador	100%
	Transformador/painéis elétricos/cubículos	100%
	Estruturas metálicas	100%
	Tubulações alta, média e baixa pressão	100%
Sistema de transferência de calor - indústria química e de aço	Isolamento térmico	100%
	Bombas/válvulas para fluido térmico	50%
	Instrumentação	50%
	Tanques/reservatórios de água quente, fria, armazenamento	50%
	Fluido térmico (óleo ou sal fundido)	0%
Campo Solar - indústria de vidro	Tubos receptores	0%
	Painéis/espelhos	0%
Projeto, construção e logística	Capacitação de mão de obra de engenharia, projeto, instalação e montagem	100%

Para os equipamentos do subsistema de bloco de potência - indústria de aço e engenharia mecânica existe a probabilidade de 100 % de nacionalização, pelo fato do mercado nacional possuir equipamentos similares (não são específicos para usina termossolar), precisando de algumas adequações e mudanças. Em relação aos equipamentos do

sistema de transferência de calor – indústria química e de aço, a probabilidade de nacionalização é menor. O isolamento térmico é o único neste subsistema com probabilidade de 100 % de nacionalização, visto que esta tecnologia está consolidada em vários processos industriais. Os demais equipamentos deste subsistema são específicos para aplicação em usinas heliotérmicas e, portanto, possuem no máximo 50 % de nacionalização (a indústria nacional teria que desenvolver e aprimorar processos). O campo solar – indústria de vidro contém equipamentos que não são fabricados em território nacional, e como não existirem usinas termossolares no Brasil não existem empresas nacionais com *expertise* nesta área. Atualmente no mercado nacional existe carência ou praticamente não existe mão de obra capacitada para usinas heliotérmicas. Pretende-se ao final do projeto P&D prover essa disponibilidade de mão de obra, projeto, instalação e montagem especializada para esse mercado.

4.2 Alocação da usina termossolar concentrada

Na opção A o esforço é baixo para construir ou adaptar a infraestrutura de rede elétrica da usina termossolar, porque já existe uma infraestrutura de rede elétrica dos sistemas fotovoltaicos. Em relação ao critério infraestrutura de transporte, o esforço é baixo pelo fato de a estrada estar muito próxima e o acesso de veículos ser realizado por vias pavimentadas. A disponibilidade de água, insumo necessário para a limpeza dos espelhos dos coletores cilindro-parabólicos e alimentação do sistema de arrefecimento, representa um esforço baixo, seja para construção de um poço ou para construir um sistema de bombeamento de água de outra fonte próxima. Quanto à topografia é necessário um esforço de adequação médio (a inclinação do terreno deve ser menor que 3%, segundo informações dos fabricantes do sistema). Já o solo requer um esforço baixo pois possui uma boa capacidade de carga, facilitando o projeto das fundações. O esforço para compensar o impacto ambiental é baixo porque não há necessidade de supressão de vegetação e a área não é um corredor potencial de fauna, pois já existem construções no entorno. O esforço da aceitação social é médio, pelo fato de a usina estar exposta a visualização das pessoas que podem não entender o propósito da tecnologia. O critério de permissões e licenças necessárias para construir a usina termossolar possui um esforço alto pelo motivo da relocação do estacionamento nesta área. A segurança adequada precisa de um baixo esforço, pois esta área se encontra muito próxima de portarias que possuem vigilância. Quanto ao quesito visibilidade do público, o esforço é baixo, porque esta opção se encontra ao lado da rodovia que conecta o estado de São Paulo ao Mato Grosso do Sul, com grande fluxo de veículos.

Na opção B o esforço é médio para construir ou adaptar a infraestrutura de rede elétrica da usina termossolar, porque existe apenas um alimentador em média tensão (MT) passando próximo da região. O esforço para infraestrutura de transporte é alto pelo fato de o acesso de veículos ser realizado por via não pavimentada. Em relação à água, insumo necessário para a limpeza dos espelhos dos coletores cilindro-parabólicos e alimentação do sistema de arrefecimento, o esforço é baixo, seja para construção de um poço, seja para construir um sistema de bombeamento de água de alguma fonte próxima.

Para o critério topografia é necessário um esforço baixo, pois o terreno é plano. Já o solo possui um esforço médio por apresentar um terreno mais arenoso, necessitando de sondagens para maiores detalhes. Compensar o impacto ambiental possui esforço médio, pois, apesar de não haver necessidade de supressão de vegetação e a área não ser um corredor potencial de fauna, trata-se de uma área que pode apresentar maiores desafios do ponto de vista de licenciamento.

O esforço para a aceitação social é baixo, pelo fato de a área não estar exposta à visualização direta do público, dificultando avaliações. Para o critério permissões e licenças, o esforço é baixo pois não há necessidade de remoção de construções civis assim como desmatamento.

A segurança para esta localidade precisa de um esforço médio, pois esta área se encontra afastada de portarias e, por isso, impossibilita a supervisão da usina sem sistemas de monitoramento ou vigilância local. O esforço para a visibilidade do público ao empreendimento é alto, porque esta opção se encontra em uma região distante da rodovia, fora do campo de visão, com uma vegetação alta nos arredores, sendo necessária autorização das pessoas para entrar na propriedade da CESP. A Tabela 5 apresenta a ponderação dos critérios da opção A e B em função do esforço e impacto.

Tabela 5 - Ponderação do Esforço e Impacto da Opção A.

	Opção A		**Opção B**	
Critérios	**Esforço**	**Impacto**	**Esforço**	**Impacto**
1 – Rede Elétrica	1	3	2	2
2 – Infraestrutura de Transporte	1	3	3	1
3 – Disponibilidade de Água	1	3	1	3
4 – Topografia do Local	2	2	1	3
5 – Propriedades do Solo	1	3	2	2
6 – Impacto Ambiental	1	3	2	2
7 – Aceitação Social	2	2	1	3
8 – Permissões e Licenças	3	1	1	3
9 – Segurança	1	3	2	2
10 – Visibilidade para o Público	1	3	3	1

A Figura 8 e Figura 9 apresentam a relação impacto versus esforço dos critérios da opção A e B respectivamente. Os quadrantes do gráfico em azul são as melhores regiões para os critérios, sendo que dentre estas três regiões a melhor delas é onde o esforço é baixo e o impacto é alto.

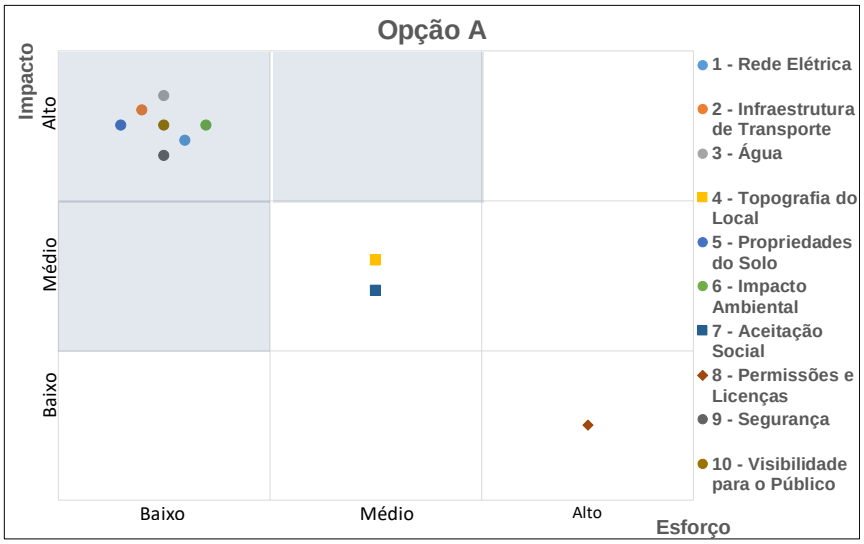

Figura 8 - Impacto versus esforço dos critérios da Opção A.

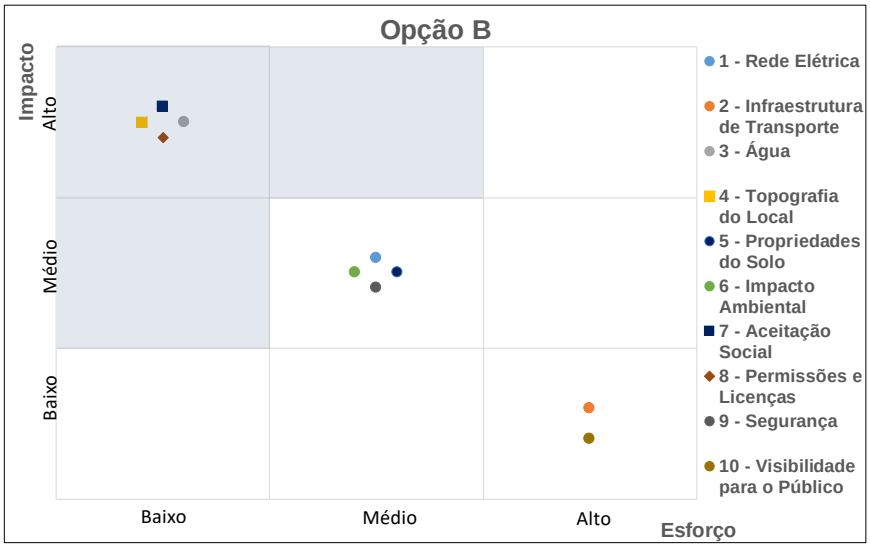

Figura 9 - Impacto versus esforço dos critérios da Opção B.

Através da Figura 8 e Figura 9 é possível verificar a disposição dos critérios em função do impacto e esforço. A diferença entre as duas opções é nítida quando observado graficamente, sendo que a Figura 8 apresenta mais critérios na região de alto impacto e baixo esforço. Entretanto, deve-se analisar os critérios que se encontram em outras regiões, de forma que o(s) tomador(es) de decisão escolha(m) uma opção com uma visão holística pelo resultado global dos critérios. Neste caso a CESP decidiu implementar a usina termossolar na opção A.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma revisão das tecnologias existentes de geração termossolar, uma análise comparativa das respectivas tecnologias e sua possibilidade de nacionalização e uma análise de esforço versus impacto para decidir o local de instalação de uma planta piloto heliotérmica em território brasileiro. A revisão das tecnologias abrangeu o fluido de transferência de calor, as tecnologias de concentração solar (Torre Solar, Cilindros Parabólicos e Lentes de Fresnel) e o armazenamento de energia. Uma comparação das tecnologias foi realizada levando em conta parâmetros de dimensão, eficiência, operação e manutenção, entre outros. Com relação ao potencial de nacionalização, constata-se que a indústria brasileira tem capacidade de fabricar todos componentes da planta termossolar, com exceção do campo solar.

A análise esforço versus impacto expressa a avaliação dos possíveis locais de instalação da usina heliotérmica de forma gráfica, auxiliando o tomador de decisão obter uma visão inteira de todos os critérios considerados. De acordo com a avaliação esforço versus impacto realizada nos locais de provável instalação da planta piloto na usina Porto Primavera, a opção A é a mais indicada para implementar uma usina CSP. Esta opção é mais viável por resultar em critérios de baixo

esforço e de alto impacto na metodologia, como infraestrutura de rede elétrica e transporte, propriedades do solo, impacto ambiental e segurança na região. Este método pode ser aplicado em outras regiões com o objetivo de inserção em larga escala da tecnologia de geração termossolar concentrada em território brasileiro.

AGRADECIMENTOS

À CESP como proponente do Projeto de P&D "Integração de fonte de geração termossolar por meio da nacionalização e implantação de usina piloto ao complexo de energias alternativas da UHE Porto Primavera" (Ref. P&D-0061-0050/2016), que visa atender ao P&D Estratégico da Chamada nº 19/2015 da ANEEL, tendo como Executoras as empresas: MRTS Consultoria, Institutos Lactec, Eudora Energia, RTB Energias Renováveis e M.FAP Consultoria Elétrica.

REFERÊNCIAS

Abengoa Solar. Plantas Solares para Terceros. Disponível em: http://www.abengoasolar.com/-web/es/plantas_solares/plantas_para_terceros/ Acessado em: Janeiro de 2018.

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Chamada de Projeto de P&D Estratégico nº19/2015: Desenvolvimento de Tecnologia Nacional de Geração Heliotérmica de Energia Elétrica. Brasília, 2015. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/PD%20Estrategico%20019-2015.pdf. Acessado em: Outubro de 2017

Bjorn, A., Fagerhaug, T., Beltz, M. Root Cause Analysis and Improvement in the Healthcare Sector. ASQ Quality Press, Milwaukee, Wisconsin, p. 256, 2010.

Collares-Pereira, M., Canavarro, D., Guerreiro, L.L. Linear Fresnel Reflector (LFR) plants using superheated steam, molten salts, and other heat transfer fluids. Advances in Concentrating Solar Thermal Research and Technology. Elsevier, 2017.

CSP Today. CSP Global Tracker. 04-2016. Disponível em: http://www.csptoday.com/global-tracker/content5.php. Acessado em: Outubro de 2017.

German Aerospace Center DLR. Advanced CSP Teaching Materials, 2016.

Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit. CSP em Foco. Seminar:CSP – Fundamentals, Technology and Economics. Fevereiro, 2016.

Häberle, A., Scherer S., Berger, M., and Farian, J. Fresnel CSP technology state of the art and market overview, 2014. Disponível em: http://energiaheliotermica.gov.br/pt-br/especialistas/csp-mercado-pesquisa-e-desenvolvimento/tecnologia-csp-fresnel. Acessado em: Outubro de 2017

Hernández-Moro, J. & Martínez-Duart, J.M. CSP electricity cost evolution and grid parities based on de IEA roadmaps. Energy Policy, vol. 41, pp. 184-192, 2012.

Internation Energy Agency (IEA). Technology Roadmap – Solar Thermal Electricity, 2014 Edition. IEA Publications, Paris: 2014.

International Energy Agency (IEA), World Energy Outlook 2016. IEA Publications, Paris: 2016.

International Renewable Energy Agency, Renewable Energy Technologies Cost Analysis Series: Concentrating Solar Power, Compr. Renew. Energy, vol. 3, no. 2, pp. 595–636, 2012.

Pereira, E. B., Martins, F. R., Abreu, S. L., Rüther, R. Atlas Brasileiro de Energia Solar. São José dos Campos: INPE, 2006.

Pereira, E. M. D., Charbel, A., Aroreir, I., e Mesquita, L. C. de S. Mapeamento básico das precondições gerais para tecnologias heliotérmicas no Brasil, Projeto Energia Heliotérmica, Brasília: 2014.

Schlipf, D., Stenglein, M., Schneider, G. CSP in Brazil – Perspectives for Industrial Development. Projeto Energia Heliotérmica, Brasília: 2014.

SolarPACES, Task 1: Solar Thermal Electric Systems, 2013.

STUDY OF TECHNOLOGICAL ALTERNATIVES AIMING NATIONAL INDUSTRIALIZATION AND METHODOLOGY FOR ALLOCATION OF CONCENTRATED SOLAR POWER PLANTS IN BRAZIL

Abstract. *New sustainable energy technologies play a crucial role in the global effort to reduce the use of fossil fuels and the emission of greenhouse gases, including concentrated solar power as one of these technologies. The solar thermal energy is advantageous mainly when associated with thermal storage, since it complements the intermittency of other renewable sources such as wind and solar photovoltaic. For a better dissemination of solar thermal energy generation in Brazil, a study of technologies already implemented worldwide is necessary. This paper presents a comparative review of the technological alternatives for concentrated solar power plants aiming national industrialization and an effort versus impact study that will serve as basis for decision making at the most suitable place for solar thermal generation projects in the Brazilian territory. For the implementation of a solar thermal plant in the complex of renewable energy generation of the Porto Primavera HPP was chosen the configuration of parabolic trough collectors, which has the potential to nationalize the plant equipment.*

Key words*: Concentrated solar power, national industrialization, allocation.*