



## Grupo de Estudo de Geração Térmica - GGT

### DETERMINAÇÃO DA CADEIA DE NACIONALIZAÇÃO TECNOLÓGICA PARA GERAÇÃO HELIOTÉRMICA

**ROBERTO MIGUEL GUTIERREZ VELASQUEZ\* (1); RODRIGO FONSECA ARAUJO MILANI TAVARES (1);  
JOÃO HUMBERTO SERAFIM MARTINS (1); LUIS FELIPE POZZATTI (2); HOBED ROSA (2); JONAS RAFAEL  
GAZOLI (3);**

**Facto Energy (1); Eletrosul Centrais Elétricas (2); Eudora Energia (3);**

#### RESUMO

Apesar da existência de projetos de geração heliotérmica desenvolvidos ou em fase de desenvolvimento no Brasil, ainda não há nenhuma planta CSP (*Concentrated Solar Power*) de porte comercial, devido principalmente aos elevados custos nivelados da energia obtidos. Para desenvolver essa alternativa de geração renovável em escala comercial, utilizando o mecanismo de leilão ou algum outro método de incentivo, é conveniente desenvolver a indústria localmente, sendo de grande relevância o desenvolvimento de uma cadeia de fornecimento nacional. Assim sendo, este artigo visa analisar as chaves para o a implantação de uma cadeia tecnológica nacional para geração heliotérmica.

#### PALAVRAS-CHAVE

Geração heliotérmica, *Concentrated solar power*, Cadeia de valor, Nacionalização.

#### 1.0 - INTRODUÇÃO

Atualmente, no País a tecnologia heliotérmica vem sendo utilizada em pequenas plantas para geração de calor para a indústria e em plantas CSP piloto, como é o caso das usinas promovidas pela Chamada N°019/2015 da ANEEL. Para buscar desenvolver essa tecnologia em solo brasileiro foi permitida a sua participação em leilões de energia, o que ocorreu com a publicação do documento: "Expansão de geração: Empreendimentos Heliotérmicos" [1]. Ocorre que o alto custo nivelado da energia (LCOE) proveniente da tecnologia CSP, quando comparado com as outras fontes renováveis, fez com que não houvesse nenhuma empresa participante com essa tecnologia nos leilões subsequentes [2].

Para desenvolver essa alternativa de geração renovável em escala comercial, seja utilizando o mecanismo de leilão ou algum outro mecanismo de incentivo, é conveniente desenvolver a indústria local, sendo de grande relevância o desenvolvimento de uma cadeia de fornecimento nacional.

#### 2.0 - METODOLOGIA

A nacionalização de uma tecnologia para geração de energia elétrica envolve o desenvolvimento, em escala nacional, de todas as atividades da sua cadeia de valor. [3] argumentam que estas atividades são desenvolvidas através do desenvolvimento de capacitações relacionadas à manufatura e implementação, além de capacitações relacionadas à atividades transversais como P&D, financiamento e políticas públicas, sendo assim pode-se dizer que analisar o potencial de nacionalização de uma tecnologia é o mesmo que avaliar o potencial de desenvolvimento destas capacitações.

O processo de nacionalização de uma tecnologia já existente pode ser explicado com o auxílio do *Technology Readiness Level* (TRL). Tal metodologia apresenta determinadas etapas até que uma tecnologia atinja o estágio comercial [4]. Estas etapas são divididas em níveis, sendo o nível 1 o de menor desenvolvimento enquanto o 9 é o nível no qual a tecnologia encontra-se comercialmente disponível, ver Tabela 1. É importante salientar que para uma tecnologia já desenvolvida, os níveis de 1 a 5 já estão concluídos, uma vez que sua base da tecnologia CSP já está disponível em outros países. Desta forma, para o Brasil desenvolver localmente a tecnologia CSP, é interessante começar por atividades de P&D e desenvolvimento de protótipos, seguido por instalação de plantas comerciais, a fim de gerar uma demanda mínima e o desenvolvimento das atividades da cadeia de valor [4].

Tabela 1 - Descrição dos TRLs. [4][5]

TRL	Nível	Descrição
1	Princípios básicos observados e reportados	Pesquisa científica básica, publicação de artigos científicos
2	Formulação da aplicação/conceito da tecnologia	Aplicação dos princípios básicos
3	Experimentos analíticos e prova de conceito	Início de atividades laboratoriais para componentes isolados a fim de testar as aplicações sugeridas no TRL 2
4	Experimentos de sistemas em laboratório	Testes de sistemas em laboratório, testando a integração de componentes
5	Experimentos de sistemas em ambientes de relevância	Início dos testes de sistemas em ambientes simulados em condições próximas à realidade
6	Desenvolvimento de protótipos de demonstração	Desenvolvimento e instalação dos primeiros protótipos em ambiente operativo real
7	Disseminação dos protótipos e início das atividades industriais para amparar a disseminação tecnológica	Aumento da penetração da tecnologia, ainda com uso protótipos. Início das atividades industriais. Indústrias existentes começam a se adaptar para suprir a nova demanda
8	Começo da instalação de plantas com escala real, aumento da produção industrial	Novas plantas começam a ser instaladas em um ritmo atrativo para o desenvolvimento de novas indústrias e não apenas adaptação das indústrias existentes
9	Tecnologia e indústria estabelecidas	Tecnologia desenvolvida e competitiva. Indústria desenvolvida

As metodologias que analisam o potencial de nacionalização de determinada indústria de geração renovável são, geralmente, divididas em duas etapas, sendo a primeira responsável por avaliar os processos requeridos para o desenvolvimento de determinado componente ou serviço, assim como o ritmo de produção necessário para que a tecnologia se desenvolva localmente; já a segunda consiste em analisar a indústria local através de métodos diretos ou indiretos, a fim de identificar sua aptidão para suprir a demanda da nova tecnologia [6]. [6][7] argumentam que dois tipos de capacitações devem ser desenvolvidos para que a nacionalização de uma tecnologia ocorra: as de *design* e de manufatura. As capacitações de *design* estão relacionadas com o conhecimento dos processos necessários para a produção de uma unidade do componente utilizado por esta tecnologia, enquanto as de manufatura estão associadas ao ritmo de produção necessário para que a indústria local se desenvolva [6].

A cadeia de valor indica todos os passos necessários desde o desenvolvimento do projeto até a operação da planta, através dela é possível identificar os processos e capacitações de *design* requeridas por determinada tecnologia [8]. [9] defende que existem dois tipos de cadeia de valor, as cadeias de transferência e as cadeias de investimento, além das híbridas. As cadeias de transferência são geralmente utilizadas para produtos simples, onde o custo de transferência não é elevado, o que permite que sejam transferidos produtos pré-fabricados, enquanto a cadeia de investimento é tipicamente utilizada quando a tecnologia é de capital intensivo e de grande porte. Uma categorização alternativa é apresentada por [10], nela as cadeias de valor de uma tecnologia renovável podem ser dividida em duas: etapa de manufatura, que compreende os passos necessários para a produção de componentes; e enquanto implementação, que se relaciona com os estágios do fornecimento de serviços [10].

No que tange a segunda etapa da análise do potencial de nacionalização, responsável pela análise do nível de desenvolvimento da indústria local, é comum o uso tanto de abordagens diretas como indiretas. Os métodos diretos baseiam-se na coleta de dados de agentes locais a respeito do nível de desenvolvimento setor de interesse, pertencente. Essas interações geralmente são conduzidas através do método Delphi, através de entrevistas e workshops, se assemelhando à uma análise *bottom-up*. Os métodos indiretos por sua vez baseiam-se em índices macro, como: capacidade instalada, capacidade ociosa, número de empresas no setor, disponibilidade da matéria prima, etc. Sendo assim uma análise com perfil semelhante à uma análise *top-down*.

### 3.0 - CADEIA DE VALOR CSP

É necessário apontar que, apesar do fato de as primeiras plantas CSP terem entrado em operação já na década de 80, essa tecnologia é relativamente nova, assim existem poucas empresas em atuação voltadas para esse mercado; logo, entidades que atuam no ramo desenvolvimento comumente também atuam na manufatura, sendo

verticalmente integradas. No que tange a parte operativa da cadeia de implementação, os agentes envolvidos, geralmente são agentes locais [12].

### 3.1 Cadeia de manufatura CSP

A cadeia de manufatura da tecnologia CSP inclui atividades relacionadas, direta ou indiretamente, à fabricação de componentes. Desta forma, é interessante apresentar quais elementos compõem uma planta CSP. A tecnologia CSP se baseia na concentração da radiação solar direta (DNI) para proporcionar o aquecimento de um fluido de trabalho e posteriormente gerar eletricidade. Sendo assim, pode-se dividir seus componentes em grupos, de acordo com as transformações de energia que realizam: i) grupo relacionado à conversão de energia solar em energia térmica, no qual estão presentes espelhos, receptores, trocadores de calor, bombas, condensadores, fluidos de trabalho, tanques e fluidos de armazenamento; ii) o grupo relacionado à conversão de energia térmica em energia elétrica, neste estão presentes trocadores de calor, turbinas, condensadores e bombas ou compressores [7], ver Figura 1.

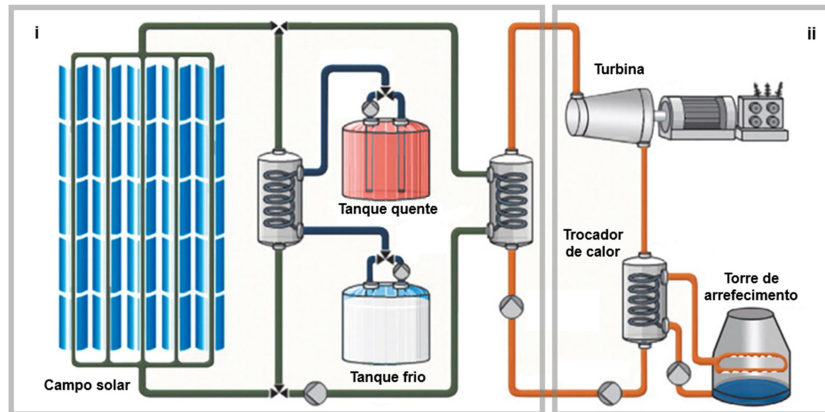


Figura 1 - Exemplo de uma planta CSP com destaque para os grupos de componentes. [13]

Como em uma planta CSP a conversão de calor em energia elétrica é geralmente executada através de um ciclo Rankine, como nas termelétricas convencionais, a indústria que abastece estes equipamentos é a indústria de maquinário de potência. A etapa de conversão de radiação solar em energia térmica engloba mais segmentos industriais, como a indústria de vidro e espelhos, responsável pela fabricação das superfícies refletoras; a indústria de aço, responsável pelo suporte dos espelhos e confecção de dutos para circulação dos fluidos; indústria química, responsável pelo fornecimento de fluidos de trabalho e armazenamento. Atualmente, o Brasil participa da cadeia de valor CSP apenas como fornecedor de matéria-prima, em especial, de aço.

De acordo com [7], a capacidade instalada é vista como um indicativo das capacitações de design: desta forma considera-se que se o país possui capacidade instalada para produzir determinado componente, domina o processo necessário para produzir uma unidade deste componente. As capacitações de manufatura, por sua vez, podem ser avaliadas através da capacidade ociosa. Para tal, faz-se necessária uma comparação entre capacidade ociosa no país e demanda de produção requerida por um programa de desenvolvimento da tecnologia CSP. Assim, se existe capacidade ociosa maior ou igual à demanda, considera-se que as capacitações de manufatura são atendidas.

Em acordo com o que já foi mencionado, [15] identificou 32 fornecedores de componentes ou serviços para CSP: destes, 60% são especializados em apenas um elo da cadeia de valor, enquanto 40% das empresas atuam em mais de um segmento, além disso, identificou-se que 14 dessas empresas têm dedicação exclusiva à tecnologia heliotérmica; assim, a maioria produz componentes que podem ser aproveitados por outras indústrias, como é o caso da Siemens, que produz turbinas para plantas CSP que também podem ser utilizados em outros tipos de planta de geração de energia elétrica.

### 3.2 Cadeia de implementação CSP

A cadeia de implementação é responsável pelas atividades que não envolvem a manufatura de componentes, abrangendo ações como: Projeto e desenvolvimento da planta, atividades de *Engineering Procurement and Contract* (EPC), construção e operação da planta [9]. Essas podem ser executadas tanto por empresas nacionais quanto por estrangeiras. Quando um país está desenvolvendo uma tecnologia, é natural que o projeto seja feito por empresas estrangeiras detentoras do *know-how* necessário, porém é importante que empresas locais atuem em parceria para que as capacitações sejam desenvolvidas. Empresas que atuam nesta parte da cadeia de valor geralmente estão aptas a executar mais de um a das atividades relacionadas à implementação [15]. Dentre as principais empresas provedoras desses serviços em escala global destacam-se: Abengoa Solar, Acciona Energy, BrightSource Energy, Grupo Cobra, SENER; Solargenix/Energy LLC e Solar Reserve.

### 3.3 Capacidade de suprimento de componentes CSP em nível mundial

Para analisar o volume atual de produção em nível global, também foram empregados métodos indiretos. Para isso, tomou-se como referência o número de plantas que se encontram atualmente em desenvolvimento e construção, que são de 22 e 23, respectivamente [17]. Além disso, foi admitido que as indústrias têm capacidade para suprir toda essa demanda. A seguir será analisado cada um dos principais setores industriais responsáveis pelo fornecimento de componentes para plantas heliotérmicas.

#### a) Indústria de vidro e espelhos

A demanda de espelhos de uma planta CSP está diretamente ligada à área do campo solar. Segundo [18] a área requerida por capacidade instalada da tecnologia de torre solar é consideravelmente superior à área das outras tecnologias, porém apresenta uma razão área por energia gerada próxima à das outras tecnologias, pois projetos de torre geralmente contam com sistema de armazenamento, o que faz com que o múltiplo solar seja maior que 1. Isso torna possível a produção de energia em períodos sem irradiação. O múltiplo solar é definido como a relação entre a energia térmica fornecida pelo campo solar e a necessária para a turbina produzir a energia elétrica nominal de projeto [19].

O estudo de [20] avalia a demanda de materiais por tecnologias: para tecnologia de cilindro, a demanda de espelhos é de 130 toneladas por MWe, enquanto para tecnologia de torre, a demanda é de 110 toneladas por MWe. [17] mostra que, para plantas sem armazenamento com a mesma capacidade instalada, a tecnologia de Fresnel demanda 2,5% a mais de área que uma planta de cilindro. Logo, uma planta Fresnel demanda 133,25 toneladas de espelho por MWe. Utilizando esses dados, considerando a demanda prevista pelos projetos em construção e desenvolvimento, a indústria de espelhos que abastece o mercado CSP tem capacidade de fornecer 221.520, 328.680 e 29.904 toneladas de espelhos para as tecnologias de cilindro, torre e Fresnel, respectivamente, o que significa um montante de 580 mil toneladas.

#### b) Indústria de aço

Em [20] é apresentada uma demanda de 240 t./MWe de aço para tecnologia de cilindro e de 400 t./MWe para tecnologia de torre. [21] aponta que estruturas de Fresnel pesam 28 kg/m<sup>2</sup>. Para uma área ocupada de 8.093,72 m<sup>2</sup>/MWe [18], chega-se a uma demanda de aço para a uma planta Fresnel de 226,62 t./MWe. Assim, considerando a capacidade em desenvolvimento e em construção, a indústria de aço é capaz de fornecer 408.960,00; 1.195.200,00 e 50.747,81 toneladas de aço para as tecnologias de cilindro, torre e Fresnel, respectivamente. Totalizando 1.654 mil toneladas de aço.

#### c) Indústria Química

Em plantas CSP a indústria química é responsável por fornecer tanto o óleo sintético, que pode ser utilizado como fluido de trabalho, quanto os sais fundidos, responsáveis por armazenar energia térmica, além de ser o fluido de trabalho das plantas com tecnologia de torre solar. De acordo com [17], a maioria dos projetos em construção e desenvolvimento para a tecnologia de Fresnel utiliza o arranjo de geração direta de vapor no campo solar (*Direct Steam Generation*), sem sistema de armazenamento. Sendo assim, a tecnologia de Fresnel não necessita de fornecimento de fluidos de trabalho nem de sais fundidos; logo, não há demanda desta tecnologia para a indústria química. Dessa forma, avaliou-se apenas as tecnologias de cilindro e torre.

[20] aponta que uma planta típica com tecnologia de Cilindro demanda 44 t./MWe de óleo sintético, enquanto a tecnologia de torre não demanda óleos por utilizar, geralmente, sais fundidos como fluido de trabalho. A tecnologia de cilindro demanda 560 t./MWe de sais fundidos, enquanto a tecnologia de torre demanda 147 t./MWe. À primeira vista, esses valores podem parecer incorretos, visto que a tecnologia de torre demanda sal fundido tanto para o sistema de armazenamento como fluido de trabalho. Ocorre que a tecnologia de torre opera em maiores temperaturas que a tecnologia de cilindro, logo necessita de um fluxo mássico menor para transferir a mesma quantidade de calor [22]

#### d) Maquinário de potência

Foi assumido que a indústria de maquinário de potência mundial tem capacidade para suprir toda a demanda de plantas heliotérmicas que representam um total de 4,9 GWe.

### 3.4 Cadeia CSP no Brasil

Como já mencionado, o Brasil participa da cadeia de manufatura CSP apenas no primeiro elo, como provedor de matéria-prima. Apesar disso, existem projetos pilotos no país, no âmbito de pesquisa e desenvolvimento, assim como órgãos capazes de fornecer financiamento para o desenvolvimento desta tecnologia.

#### 3.4.1 Setores Industriais e seus Principais Agentes

a) Indústria de vidro e espelhos

As principais empresas do setor de vidro e espelhos no Brasil são: CEBRACE, Guardian, Vivix, AGC, Saint-Gobain, União Brasileira de Vidros (UBV), Flabeg e Vidros Belém [23] [24]. No que tange o faturamento do setor, este vem apresentando queda, sendo que o faturamento em 2017 foi 6,5% menor que o faturamento em 2016, totalizando 3,985 bilhões de reais [23].

b) Indústria de aço

Este setor é responsável por abastecer as plantas CSP, fornecendo aço para as estruturas que suportam os espelhos. De acordo com Associação Brasileira de Estruturas de Aço – ABCEM, em 2017 havia 356 empresas fabricantes de estruturas de aço no Brasil [25]. Destas, 56% estão localizadas no Sudeste, 23% localizadas no Sul, 10% localizadas no Nordeste, 7% no centro-oeste e 4% no Norte. No que tange o faturamento, o setor de estruturas metálicas faturou, em 2016, 2,24 bilhões de reais [25].

c) Indústria química

De acordo com a Associação Brasileira da Indústria Química – ABIQUIM – a indústria química brasileira foi a oitava maior do mundo do setor em 2016, com o faturamento de 113,5 bilhões de USD, sendo responsável por 2,5% do PIB. Atualmente, algumas empresas produtoras de óleos sintéticos e fluidos térmicos participantes da cadeia de valor CSP possuem fábrica no Brasil, como é o caso da empresa Dow Chemical Company. O caso da produção de sais é parecido, uma vez que existem empresas no país que produzem tanto o nitrato de cálcio quanto o nitrato de potássio.

d) Indústria de maquinário de potência

Devido ao uso de termelétricas a bagaço-de-cana, a indústria de maquinário de potência é consolidada no Brasil, desta forma o conteúdo local nos equipamentos produzidos por este setor pode chegar a 100% [26]. Isto inclui equipamentos como, turbinas, bombas, trocadores de calor, tanques, etc., também utilizados em plantas heliotérmicas [27].

A Figura 2 apresenta a localização das principais empresas que têm o potencial de abastecer a cadeia CSP no Brasil.

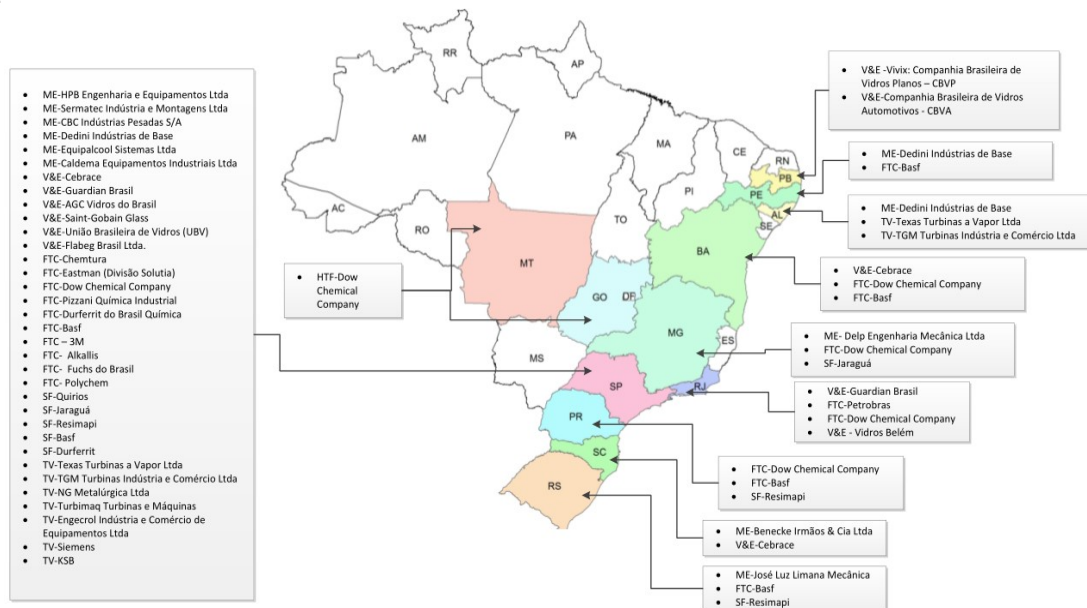


Figura 2 - Mapa da cadeia de valor CSP no Brasil. [24]

### 3.4.2 Análise dos setores transversais da cadeia de valor

A principal instituição de financiamento de empreendimentos renováveis do Brasil é o Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) [24]. Existem, basicamente, duas formas de um empreendimento renovável ser financiado por esta instituição: através do Fundo Clima ou do Finem.

De acordo com o BNDES, o Fundo Clima tem como objetivo aplicar parte do Fundo Nacional sobre Mudança do Climática, considerado um dos instrumentos para lidar com o cumprimento das metas de emissão acordadas no acordo de Paris [28]. Este fundo consiste em um fundo contábil vinculado ao Ministério do Meio Ambiente e apoia projetos relacionados à mitigação de mudanças climáticas [28]. Ocorre que de acordo com BNDES, [28] “O protocolo de pedidos de financiamento nesta linha encontra-se suspenso em razão do comprometimento total dos recursos disponíveis”. O Finem, por sua vez, visa apoiar projetos que tragam retorno para sociedade. Através dele,

é possível financiar projetos relacionados a 28 temas, dentre eles energia solar [29]. Para o caso de geração e energia solar, a taxa de incentivo é a mais baixa, de 0,95% a.a. O custo financeiro do BNDES, a partir de janeiro de 2018, é definido pela Taxa de Longo Prazo (TLP), composta por uma parcela referente aos juros reais pré-fixados (TLP-pré) e uma parcela referente à inflação, representada pelo Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) [30]. Já a taxa de risco de crédito varia de acordo com o agente que solicita o financiamento [31]. Por fim, a taxa de juros é calculada em função do custo financeiro, da remuneração do BNDES e da taxa de risco de crédito.

#### 4.0 - POTENCIAL DE NACIONALIZAÇÃO

Para analisar o potencial de nacionalização, a indústria brasileira foi avaliada a partir de índices macro, com base no estudo de [7]. A análise das capacidades instaladas e ociosas é representativa das capacitações de design e manufatura uma vez que se há capacidade instalada, isso exprime que o país detém os meios necessários para produzir uma unidade do componente, enquanto se há capacidade ociosa para atender a demanda de uma nova tecnologia, é um indicativo de que o país está disponível a produzir determinado componente para que esse setor industrial se desenvolva.

##### 4.1 Análise da indústria brasileira

Antes de apresentar a análise de cada um dos setores de indústrias, é necessário que se defina uma taxa de capacidade instalada por ano de um programa CSP capaz de apoiar o desenvolvimento industrial. De acordo com estudos que avaliaram o potencial de nacionalização através de métodos diretos [11][21][32][33][34], diferentes setores industriais requerem diferentes ritmos de capacidade instalada para justificar que plantas permanentes sejam instaladas em um novo local. Sendo assim, é necessário que se utilize como indicador o ritmo da indústria que necessita de um maior índice de capacidade instalada por ano. De acordo com [21], a indústria que necessita do ritmo mais elevado é a indústria de espelhos, necessitando de uma capacidade instalada de 300 MWe/ano. [7], argumenta que o desenvolvimento da tecnologia CSP no Brasil deve ser feito através da tecnologia de cilindro parabólico pelo fato de ser a tecnologia mais difundida no mundo, além de ser a tecnologia das primeiras plantas instaladas.

##### 4.1.1 Indústria de vidro e espelhos

A capacidade de produção do setor de vidros e espelhos foi de 6.680 t./dia em 2017 [23]. Desta produção 27,4% dedicou-se à produção de espelhos, logo a capacidade de produção de espelhos no Brasil em 2017 foi de 1830 t./dia, bem como foi utilizada 66% da capacidade instalada, ou seja, existe uma capacidade ociosa de 44% ou 2941 t./dia [23]. De acordo com [32][35], uma planta de cilindro parabólico de 300 MWe demanda, 3600 t/ano de espelhos, ou 98,6 t./dia. Assim, fica claro que o Brasil tem capacidade ociosa mais do que suficiente para atender a demanda de um programa CSP com a instalação de 300 MWe/ano.

##### 4.1.2 Indústria de aço

A produção da indústria de aço brasileira foi, em 2017, a nona maior a nível mundial, com uma produção de 31,3 milhões de toneladas, além de ser o quinto maior exportador com um volume de 11,5 milhões de toneladas [36]. Em 2016, foram produzidas 694 mil toneladas de estruturas metálicas no Brasil e a capacidade instalada foi de 1,62 milhões de toneladas, o que indica uma capacidade ociosa de 57,16% [36] o que é equivalente a 926 mil t./ano, ou 2500 t./dia. De acordo com [37], uma planta de cilindro parabólico de 1 GWe sem armazenamento necessita de 250 mil toneladas de aço; portanto, uma produção de 75 mil t./ano ou 205 t./dia é necessária para suprir um programa CSP de 300 MWe/ano.

##### 4.1.3 Indústria química

Para quantificar a produção nacional de fluidos de trabalho e fluidos de armazenamento pode-se recorrer aos dados da ABIQUIM, assim como feito em [7]. Conforme a classificação da ABIQUIM, os óleos sintéticos são classificados na categoria “outros compostos químicos” [38]. Em 2015, a produção dessa categoria foi de 133.502 t./dia, enquanto a capacidade ociosa foi de 6.419 t./dia [38][37]. Em relação aos sais fundidos, esses são classificados como “Cloro e Alcalis” [38]. Essa apresentou, em 2015 uma capacidade instalada de 16.270 t./dia e uma capacidade ociosa de 2.929 t./dia [38]. De acordo com [37], um programa de 300 MWe/ano de plantas CSP, considerando a tecnologia de cilindro parabólico, gera uma demanda de 460 t./dia de fluidos de armazenamento e 2120 t./dia de fluidos de trabalho.

É relevante ressaltar que o Brasil não possui grandes reservas da matéria-prima necessária para manufaturar os fluidos de armazenamento, sendo uma alternativa mais viável economicamente importá-los do Chile, pois o país detém importantes reservas de nitratos [12].

##### 4.1.4 Indústria do maquinário de potência

A expansão da geração elétrica no Brasil é feita através de um sistema de leilões. Logo, pode-se recorrer a esses para avaliar a capacidade de fornecimento da indústria brasileira de maquinário de potência. Esta abordagem e a

metodologia utilizada nesta seção foi aplicada inicialmente em [7], no qual avaliou-se os leilões cujos empreendimentos contratados se encontravam em construção no ano de 2017. São eles: leilões A-5 de 2014, 2015 e 2016.

O leilão de 2014 contratou 4.009 MW que devem ser entregues em 2019; o leilão de 2015 contratou 1.059 MW que devem ser entregues em 2020; o leilão de 2016 contratou 12 MW a serem entregues em 2021 [39]. Se considerarmos que esta capacidade é instalada de forma constante, 20% será instalado a cada ano. Para o cálculo de capacidade ociosa, [40] projetou uma capacidade ociosa no setor de maquinário de potência de 14% em 2017. Assim, é possível calcular a capacidade de fornecimento e a capacidade ociosa do setor de maquinário de potência. Utilizando esses dados, obtém-se um fornecimento de 1.441 MWe e uma capacidade ociosa foi de 201,8 MWe para 2017. Dessa forma, caso um programa CSP de 300 MWe/ano tivesse começado em 2017 é possível interpretar que este setor teria um déficit de fornecimento de 98,2 MWe.

## 5.0 - ANÁLISE DO CUSTO DE NACIONALIZAÇÃO

Para calcular o custo de nacionalização para a tecnologia heliotérmica, foi feita uma comparação de taxas de financiamento. Conforme já mencionado, o principal agente financiador de projetos de energias renováveis no Brasil é o BNDES, logo, caso as empresas queiram desenvolver esta tecnologia no Brasil, o natural é que busquem financiamento nesse agente. Caso isso não seja possível, as empresas precisam recorrer a outras entidades financiadoras; sendo assim, serão comparadas duas taxas: a primeira delas a do BNDES, menor do que a oferecida por outros bancos. Desta maneira, pode-se entender que a diferença entre essas taxas representa o custo de nacionalização da tecnologia CSP que a sociedade, via BNDES, pagaria para desenvolver esta tecnologia.

Foram previstos três cenários: i) o primeiro com taxa de risco de crédito de 5%; ii) o segundo com uma taxa de 7%; iii) e o terceiro com uma taxa de 9%. Sendo assim, para o cenário 1 a taxa de juros BNDES é de 14,00% a.a., para o cenário 2 é de 16,18 % a.a., já para o cenário 3 é de 18,35% a.a.. Essas taxas serão comparadas com as taxas de dois outros bancos brasileiros que financiam projetos de energia renovável: o Banco do Brasil e o Caixa Econômica Federal. Atualmente, a taxa do Banco do Brasil é de 23,87% a.a., enquanto a taxa da Caixa Econômica Federal é de 28,32% a.a.. Essas taxas, foram diminuídas das taxas do BNDES para os três cenários, assim sendo a base de um cálculo de *spread*. A diferença de taxa foi multiplicada pelos custos de investimento e O&M de uma planta CSP de cilindro parabólico.

Plantas CSP com tecnologia de cilindro parabólico têm custo de 2,5 a 10,2 USD/W [41], sendo assim, um programa CSP de 300 MWe/ano custaria na faixa de 0,75 a 3,06 bilhões de USD/ano. Como [17] prevê uma vida útil de 25 anos para uma planta CSP, considerando esta faixa de custo e a diferença de taxa supracitadas, pode-se concluir que o custo de nacionalização desta tecnologia varia de 2,87 até 86,85 bilhões de USD em um horizonte de 25 anos, dependendo do cenário, ver Tabela 2.

Tabela 2 - resumo dos resultados dos diferentes cenários (em bi USD).

Cenário	Caixa - 0,75 bi USD/ano [bi USD]	Caixa - 3,06 bi USD/ano [bi USD]	BB - 0,75 bi USD/ano [bi USD]	BB - 3,06 bi USD/ano [bi USD]
1	21,29	86,85	7,89	32,19
2	13,15	53,67	4,78	19,50
3	8,07	32,93	2,87	11,72

## 6.0 - CONCLUSÃO

A fim desenvolver a tecnologia CSP em escala comercial no País, foi visto que é primordial o desenvolvimento de uma cadeia de fornecimento nacional. Tendo isso em vista, o escopo deste trabalho envolveu a realização da caracterização da cadeia industrial da energia heliotérmica, a avaliação da capacidade de produção em território nacional dos componentes e insumos necessários para a construção e instalação de uma planta heliotérmica, bem como a quantificação dos custos para a formação de uma base tecnológica nacional.

Foi visto que o Brasil já apresenta uma indústria desenvolvida de maquinário de potência, logo apresenta uma vantagem no desenvolvimento da tecnologia CSP, uma vez que as capacitações relacionadas a este setor já estão aperfeiçoadas.

Na análise do potencial de nacionalização, foi visto que os principais setores da cadeia de valor são capazes de atender um programa de desenvolvimento nacional da tecnologia CSP com uma taxa de crescimento de 300 MWe/ano, com exceção da indústria de maquinário de potência. Vale comentar, porém, que quando se contrata uma tecnologia geradora de energia elétrica, no caso a CSP, outras podem não ser atendidas, uma vez que o ramo de maquinário de potência também fornece o mesmo produto para outros tipos de empreendimentos. Logo, apesar



da capacidade ociosa no Brasil ser menor que a demanda provocada por esse programa, ainda seria possível atendê-la em determinados cenários.

Além disso, é notório que a taxa de juros tem grande influência no custo de nacionalização da tecnologia: pequenas flutuações em seu valor representam uma variação de bilhões de dólares no custo de nacionalização da tecnologia heliotérmica em um horizonte de 25 anos; o que corrobora a necessidade de políticas públicas e incentivos para que essa possa competir com outras fontes de energia renováveis em leilões de energia.

## 7.0 - REFERÊNCIAS BLIOGRÁFICAS

- [1] EPE. **Expansão da geração**: Empreendimentos heliotérmicos. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-en/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-07/Instru%C3%A7%C3%B5es%20para%20cadastramento%20Leil%C3%A3o%20A-3%202013%20-%20empreendimentos%20heliot%C3%A9rmicos.pdf>>
- [2] CCEE. **Resultados consolidados dos leilões CCEE**. 2016. Disponível em: <[http://www.ccee.org.br/portal/faces/oquefazemos\\_menu\\_lateral/leiloes?\\_adf.ctrlstate=t9usjvf2x\\_4&\\_afLoop=106585020710530#%40%3F\\_afLoop%3D106585020710530%26\\_adf.ctrl-state%3Dskkiemhw6\\_4](http://www.ccee.org.br/portal/faces/oquefazemos_menu_lateral/leiloes?_adf.ctrlstate=t9usjvf2x_4&_afLoop=106585020710530#%40%3F_afLoop%3D106585020710530%26_adf.ctrl-state%3Dskkiemhw6_4)>. Acesso em: 24 jun. 2016
- [3] CONINCK, H. DE; SAGAR, A. Making sense of policy for climate technology development and transfer. **Climate Policy**, v.15, n.1, p.1–11. 2015.
- [4] DOD. **Manufacturing Readiness Assessment (MRA) Deskbook**. Department of Defence. 2009
- [5] STRAUB, J. In search of technology readiness level (TRL). **Aerospace Science and Technology**, v.46, p.312–320. 2015.
- [6] WEINREBE, G.; BALZ, M. Localization – A Major Key to Success of CSP. **Energy Procedia**, v.69, p.2090–2096. 2015.
- [7] MILANI, R. **Geração Heliotérmica**: Avaliação do impacto da utilização de novos fluidos no custo da energia gerada. Rio de Janeiro: UFRJ. 2014.
- [8] SOORIYAARACHCHI, T. M.; TSAI, I.-T.; EL KHATIB, S.; FARID, A. M.; MEZHER, T. Job creation potentials and skill requirements in, PV, CSP, wind, water-to-energy and energy efficiency value chains. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.52, p.653–668. 2015.
- [9] LEMA, R.; HANLIN, R.; HANSEN, U. E.; NZILA, C. Renewable electrification and local capability formation: Linkages and interactive learning. **Energy Policy**, v. 117, p. 326–339. 2018.
- [10] SCHMITZ, H.; LEMA, R. The Global Green Economy. In: FAGERBERG, J.; LAESTADIUS, S.; MARTIN, B. R. (Eds.). **The Triple Challenge for Europe**. [s.l.] Oxford University Press, p.119–142. 2015.
- [11] KOST, C.; THOMSEN, J.; SCHLEGL, T.; FLURI, T.; PHILIPPS, S.; LUDE, S.; HÄDRICH, I.; WEBER, D.; PLATZER, WEMER; WIRTH, H. **Support for Moroccan Solar Plan Solar Technologies in Morocco – Industry and Value Chain Assessment**, 2012.
- [12] GEREFFI, G.; DUBAY, K.; LOWE, M. **Manufacturing Climate Solutions. Carbon - Reducing Technologies and U.S. Jobs**. Chapter 4 - Concentrated Solar PowerCenter on Globalization, Governance & Competitiveness, Duke University. 2008.
- [13] BOUKELIA, Taqiy Eddine; MECIBAH, Mohamed-salah. **Parabolic trough solar thermal power plant: Potential, and projects development in Algeria**. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. p.288-297. 2013.
- [14] HALLGREN, M. **Manufacturing strategy, capabilities and performance**. Linköping: Department of Management and Engineering, Linköping University, 2007.
- [15] BRAUN, F. G.; HOOPER, E.; WAND, R.; ZLOCZYSTI, P. Holding a candle to innovation in concentrating solar power technologies: A study drawing on patent data. **Energy Policy**, v.39, n.5, p.2441–2456. 2011.
- [16] REN21. **Renewables 2010 Global Status Report**. 2010. Disponível em: <[https://web.archive.org/web/20100820221548/http://www.ren21.net/globalstatusreport/REN21\\_GSR\\_2010\\_full.pdf](https://web.archive.org/web/20100820221548/http://www.ren21.net/globalstatusreport/REN21_GSR_2010_full.pdf)>. Acesso em: 20 jun. 2018
- [17] NREL. **CSP Projects**. Disponível em: <<https://www.nrel.gov/csp/solarpaces/>>. Acesso em: 17 maio. 2018.
- [18] ONG, S.; CLINTON, C.; DENHOLM, P.; MARGOLIS, R.; HEATH, G. A. **Land-Use requirements for Solar Power Plants in the United States**. 2013. Disponível em: <<https://www.nrel.gov/docs/fy13osti/56290.pdf>>. Acesso em: 7 abr. 2018.
- [19] CARDEMIL, J. M., COLLE, S. **A base de dados swera como suporte para análises tecno-econômicas de plantas termo-solares**. PA: III Congresso Brasileiro de Energia Solar. Belém, 2010.
- [20] PIHL, E.; KUSHNIR, D.; SANDÉN, B.; JOHNSSON, F. Material constraints for concentrating solar thermal power. **Energy**, v. 44, n. 1, p. 944–954, ago. 2012.
- [21] SASTELA; DTI; GIZ. **Assessment of localization, industrialization and job creation potential of CSP infrastructure projects in South Africa - A 2030 vision for CSP**, jun. 2013.
- [22] KALOGIROU, S. **Solar energy engineering: processes and systems**. Burlington, MA: Elsevier/Academic Press, 2009.



- [23] ABRAVIDRO. **Panorama 2018**. 2018. Disponível em: <<https://pdf.magtab.com/leitor/136/edicao/18702>>
- [24] SORIA, R. **Cenários de geração de eletricidade a partir de geradores heliotérmicos no Brasil: a influência do armazenamento de calor e da hibridização**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2011.
- [25] ABCEM. **Perfil dos Fabricantes de Estruturas de Aço**, 2017. Disponível em: <<http://www.abcem.org.br/site/biblioteca-digital/publicacoes-abcem>>
- [26] ELY, R. Avaliação Prospectiva das Rotas de Bio-Refinaria no Brasil, a partir do Bagaço de Cana-de-açúcar como Matéria Prima Básica. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.
- [27] PEREIRA, E.; CHARBEL, A.; AROREIR, I.; MESQUITA, L. C. **Mapeamento básico das condições gerais para tecnologias heliotérmicas no Brasil**. 2014.
- [28] BNDES. **BNDES - Financiamentos**. Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/fundoclima/fundo-clima>>.
- [29] BNDES. **Financiamentos - FINEM (geração de energia)**. Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/bndes-finemenergia>>.
- [30] BNDES. **Guia do Financiamento - Taxa de Longo Prazo (TLP)**. Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/guia/custosfinanceiros/tlp-taxa-de-longo-prazo/>>
- [31] BNDES. **Guia do Financiamento - Taxa de Juros**. Disponível em: <[www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes\\_pt/Institucional/Apoio\\_Financeiro/Produtos/FINEM/energiageracaorenovavel.html](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Apoio_Financeiro/Produtos/FINEM/energiageracaorenovavel.html)>
- [32] ESMAP. **Development of Local Supply Chain: The Missing Link for Concentrated Solar Power Projects in India**, 2011.
- [33] ESMAP. **Competitiveness Assessment of MENA Countries to Develop a Local Solar Industry**. 2015.
- [34] IRENA. **Evaluating Renewable Energy Manufacturing Potential in the Mediterranean Partner Countries**. 2015.
- [35] GAZZO, A.; KOST, C.; LOWE, M. **Assessment of the local manufacturing potential for CSP Projects**. 2011.
- [36] WORLD STEEL ASSOCIATION. **World Steel in Figures**, 2017. Disponível em: <<https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:0474d208-9108-4927-ace8-4ac5445c5df8/World+Steel+in+Figures+2017.pdf>>
- [37] PIHL, E.; KUSHNIR, D.; SANDÉN, B.; JOHNSON, F. Material constraints for concentrating solar thermal power. **Energy**, v. 44, n. 1, p. 944–954, ago. 2012.
- [38] ABIQUIM. **Desempenho da indústria química em 2016**. 2016. Disponível em: <<https://www.abiquim.org.br/includes/pdf/indQuimica/livreto-de-dados-2016-paginas.pdf>>
- [39] ANEEL. **Resultado de Leilões**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/resultados-de-leiloes>>. Acesso em: 21 out. 2018.
- [40] SEBRAE. **Cenários Prospectivos**. 2018. Disponível em: <[http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS\\_CHRONUS/bds/bds.nsf/1f6446ba395dee2b82e10f87dc1f4d0a/\\$File/7487.pdf](http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/1f6446ba395dee2b82e10f87dc1f4d0a/$File/7487.pdf)>. Acesso em: 25 abr. 2019.
- [41] SBC. **Leading the Energy Transition - Factbook - Concentrating Solar Power**, 2013. Disponível em: <[https://energypedia.info/images/5/56/Concentrating\\_Solar\\_Power\\_-\\_Factbook.pdf](https://energypedia.info/images/5/56/Concentrating_Solar_Power_-_Factbook.pdf)>

## 8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



**Roberto Miguel Gutierrez Velasquez** possui graduação pela Pontificia Universidad Católica do Chile (1995) e mestrado e doutorado em Engenharia Elétrica pela COPPE/UFRJ. Trabalhou durante seis anos no Grupo Neoenergia, já foi *Latin America Energy Manager* na ICF International e atuou no CEPEL durante quatro anos. Atualmente é sócio-diretor da Facto Energy.

**Rodrigo Fonseca Araujo Milani Tavares** possui graduação em engenharia mecânica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2013), mestrado em planejamento energético e atualmente realiza doutorado em Planejamento Energético com ênfase em tecnologia da energia, também na UFRJ.

**João Humberto Serafim Martins** possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina (2018) e atualmente realiza mestrado em Ciências Térmicas com ênfase em energias renováveis, também na UFSC.

**Luis Felipe Pozzatti** possui graduação (2004) e mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria. Atualmente, trabalha na empresa Eletrosul Centrais Elétricas, como Engenheiro de Estudos Energéticos e de Mercado.

**Hobed Rosa** possui graduação em Engenharia Elétrica (2007) e mestrado pela Universidade Federal de Santa Catarina. Possui curso técnico em Eletrotécnica pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa e curso

Pós-Técnico em Automação Industrial também pelo CEFET-SC (2002). Hoje atua como Engenheiro de P&D na Eletrosul Centrais Elétricas.

**Jonas Rafael Gazoli** possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas (2008). Realizou mestrado e atualmente realiza doutorado também na Unicamp. Em 2013 recebeu o Prêmio Vale-Capes de Ciência e Sustentabilidade como melhor dissertação de mestrado.