**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ENERGIA E AMBIENTE
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENERGIA**

DANIEL NASCIMENTO VIVACQUA

**CONSIDERAÇÕES SOBRE A FABRICAÇÃO NACIONAL DE
MÓDULOS FOTOVOLTAICOS**

**SÃO PAULO
2016**

DANIEL NASCIMENTO VIVACQUA

CONSIDERAÇÕES SOBRE A FABRICAÇÃO NACIONAL DE MÓDULOS
FOTOVOLTAICOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Adnei Melges de Andrade

Versão Corrigida

SÃO PAULO
2016

**AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTES
TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA
FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.**

FICHA CATAOGRÁFICA

Vivacqua, Daniel Nascimento.

Considerações sobre a fabricação nacional de módulos fotovoltaicos. / Daniel Nascimento Vivacqua; orientador : Adnei Melges de Andrade – São Paulo, 2016.

92f.: il.; 30 cm.

Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Energia – Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo.

1. Energia solar. 2. Sistemas fotovoltaicos. 3. Fontes alternativas de energia. 4. Geração distribuída. I. Título.

Nome: VIVACQUA, Daniel Nascimento

Título: Considerações sobre a fabricação nacional de módulos fotovoltaicos

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Aprovado em: 26 de Setembro de 2016.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Adnei Melges de Andrade

Instituição: Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Federico Bernardino Morante Trigos

Instituição: Universidade Federal do ABC

Julgamento: Aprovado

Prof. Dr. Roberto Koji Onmori

Instituição: Universidade de São Paulo

Julgamento: Aprovado

Prof. Dr. Roberto Zilles

Instituição: Universidade de São Paulo

Julgamento: Aprovado

Dedicatória

Dedico este trabalho à minha companheira Liria, por compartilhar das alegrias e tristezas, por me incentivar em todas as minhas decisões, por me carregar nos ombros quando eu não conseguia me levantar, demonstrando a mais nobre forma de amor.

Como não poderia deixar de ser, também dedico este trabalho especialmente aos meus pais, Lúcia e Rafael, que me educaram para que tivesse força de vontade para prosseguir com meus sonhos.

Agradecimentos

Primeiramente agradeço a Deus, por me conduzir por esta jornada, possibilitar e iluminar a estrada onde caminho.

Agradeço à minha família, que me inspira e me alimenta de energia em todos os momentos, principalmente nos mais difíceis.

Agradeço aos meus amigos, que entendem o motivo das muitas ausências para dedicação ao trabalho. Em especial ao André de Oliveira, pelas grandes ideias, inspirações e discussões que marcaram esta fase da minha vida.

Por fim, agradeço a todos os professores que, mais do que disseminaram informações valiosas, também nos educaram de maneira sublime, de forma a pensar criticamente, inovar e melhorar. Em especial, agradeço ao meu orientador e grande amigo Adnei Melges de Andrade que me ajudou e incentivou, tanto com discussões, como com críticas e cobranças, para a realização deste trabalho.

RESUMO

VIVACQUA, Daniel Nascimento. Considerações sobre a fabricação nacional de módulos fotovoltaicos. 2016. 79f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

Este trabalho buscou entender a situação da atividade de fabricação de módulos fotovoltaicos no Brasil com o objetivo de avaliar a possibilidade de estimular a indústria nacional e o uso dessa fonte alternativa mais acentuadamente. Para tanto, foi necessário analisar os benefícios energéticos e econômicos da cadeia de produção, além de entender o estado da arte atual de todo o processo. É um ramo industrial que está sendo implantado no Brasil e este estudo teve como objetivo obter informações relevantes dos problemas e facilidades que os empreendedores enfrentam, e quais são os custos e benefícios à sociedade em geral, inclusive para obtenção dos sistemas fotovoltaicos pelo consumidor final. O trabalho contém uma avaliação do estado da produção e utilização dos sistemas de energia solar fotovoltaica no mundo e o que ocorre no Brasil. Buscou-se conhecer as possíveis, e/ou mais relevantes, ações regulatórias e iniciativas da área privada para viabilizar este ramo industrial. São considerados os impactos da atividade em pauta, procurando mostrar as relações de custo-benefício em projetos de geração centralizada (Leilões de Energia de Reserva) e de geração distribuída.

Palavras-chave: Energia solar fotovoltaica, Módulos fotovoltaicos, Fontes alternativas de energia, Geração distribuída.

ABSTRACT

VIVACQUA, Daniel Nascimento. Considerations about Brazilian domestic photovoltaics modules manufacturing. 2016. 79f. M.Sc. Dissertation – Graduate Program on Energy, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

This study aims to understand the status of the manufacturing activity of photovoltaic modules in Brazil to evaluate the possibility of stimulating the local production and its widespread use. It was necessary to evaluate the energetic and economic benefits of the production chain. In addition, the study focused the understanding of the current state of the art of the whole process. Photovoltaic solar energy is an industrial branch recently receiving impulse in Brazil. This study aims to obtain relevant information about the difficulties faced by the entrepreneurs and the benefits and costs to the society. The study assess the state of the production and use of solar PV systems in the world and what happens in Brazil. At this study, we sought to understand what are the possible, and/or more relevant, regulatory actions and private area initiatives to enable this industrial branch and its diffusion to the final consumers. The impacts of the related activity are considered, trying to show the cost-benefit relationship in centralized generation projects (Reserve Energy Auctions) and distributed generation.

Keywords: solar photovoltaic energy, photovoltaic modules, alternative energy sources, distributed generation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Matriz Elétrica Brasileira.....	23
Figura 2: Curva de geração térmica do SIN em MW.....	24
Figura 3: Evolução da eficiência de diversos tipos de células fotovoltaicas com o tempo.	27
Figura 4: Produção de Módulos Fotovoltaicos por Tecnologia	28
Figura 5: Curvas de aprendizagem e preço dos módulos fotovoltaicos por tecnologia com o aumento da produção.	28
Figura 6: Consumo de Silício por uso final em milhões de toneladas.	29
Figura 7: Participação dos principais países produtores na produção mundial de ferrossilício em 2013. .	30
Figura 8: Redução da quantidade de silício, por Wp nas células solares.	31
Figura 9: Cadeia produtiva do silício.....	32
Figura 10: Processo Czochralski de formação do lingote de silício monocristalino.	34
Figura 11: Produção mundial de módulos fotovoltaicos de 2005 a 2013.	35
Figura 12: Evolução da capacidade instalada de energia fotovoltaica no mundo entre os anos de 2000 a 2015.....	38
Figura 13: Aumento da capacidade instalada nos países mais atuantes na questão fotovoltaica entre os anos de 2000 a 2015.	39
Figura 14: Aumento da capacidade de geração dos países europeus por diferentes fontes, entre 2000 e 2015.....	41
Figura 15: Acréscimo da Capacidade Instalada de Geração Fotovoltaica.	41
Figura 16: Percentual da demanda por eletricidade atendida por energia solar fotovoltaica.	42
Figura 17: Curva semanal de geração solar na Alemanha	44
Figura 18: Curva semanal de geração eólica na Alemanha	44
Figura 19: Influência dos incentivos nos preços da energia, à esquerda e estimativa de redução de custos de sistemas FV em larga escala até 2050, à direita, ambos na Alemanha.....	46
Figura 20: Consumo Final de Energia por Fonte.....	57
Figura 21: Evolução Esperada da Oferta Interna de Energia	58

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
1.1 Objetivo	11
1.2 Justificativas e Motivações.....	12
1.3 Metodologia	13
2. BREVE HISTÓRICO DO SETOR ENERGÉTICO.....	15
3. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	26
3.1 Insumos – O Silício.....	29
3.2 Processos de fabricação	31
4. PANORAMAS MUNDIAL E BRASILEIRO	36
4.1 Alguns exemplos no mundo	40
4.2 Políticas de incentivos no mundo	45
4.3 Panorama Brasileiro	47
4.4 As pesquisas sobre energia solar no Brasil.....	49
4.5 A energia solar fotovoltaica - Leilões de energia e preços.....	52
4.6 Regulação	55
4.7 Demanda de energia e perspectivas	56
5. AÇÕES RECENTES NO BRASIL	59
5.1 Políticas e programas de incentivo	59
5.2 Outras iniciativas	63
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
REFERÊNCIAS	73
ANEXO A.....	84

1. INTRODUÇÃO

Por muitos anos o Brasil foi referência internacional no quesito matriz elétrica limpa e sustentável. Considerada uma matriz altamente tecnológica e renovável, mantinha o custo da energia barata frente aos outros países. Porém, a política e segurança energéticas, além das dificuldades para viabilização de novos projetos de usinas hidroelétricas, fizeram com que os planejadores optassem por um aumento acentuado de usinas termoeletricas na matriz de geração de energia elétrica nacional.

A dependência do ser humano por energia advém de um conjunto de fatores históricos que o dirigiram ao atual estado de evolução. A utilização da energia para cocção, conservação e armazenamento de alimentos abriram possibilidades para que o ser humano gastasse menos tempo e energia à procura de comida e pudesse gastar essa energia com outras ocupações. Nos dias atuais estima-se que o cérebro seja responsável por gastar cerca de 19% da energia gasta pelo corpo (Okuno, et al., 1982). Conjectura-se, então, que o ser humano, em determinada época de sua evolução, conseguiu alterar o gasto de energia corporal para mental, aumentando sua capacidade racional. Atualmente, a dependência da utilização do uso de energia nas suas mais variadas formas e a evolução tecnológica tornam o não uso da eletricidade uma forma de viver completamente obsoleta, beirando a impossibilidade.

A facilidade de acesso à energia, nas suas mais variadas formas, não é o único, mas é um dos fatores determinantes para o desenvolvimento econômico e social de uma região. A disponibilização da energia a preços justos alavanca a possibilidade de progresso, e sua insuficiência limita a prosperidade do país. Dentre as variadas formas de energia, a energia elétrica está presente de maneira significativa no cotidiano das pessoas, principalmente nos grandes centros urbanos. Infelizmente, estima-se que cerca de 17% da população mundial não tenha acesso a eletricidade. Nos países em desenvolvimento, esse percentual pode chegar a 22%. Já na África a porcentagem de pessoas sem acesso a eletricidade é de incríveis 57%. Em todas as regiões, a população rural é menos favorecida no acesso à eletricidade (IEA, 2015). No Brasil, assim como em países industrializados ou em processo de industrialização, a energia elétrica é essencial para o desenvolvimento da indústria. É comum que setor industrial destes países responda pela maior quantidade do consumo de energia elétrica. Então o preço e a

qualidade deste insumo fundamental por vezes dita os gastos da empresa e então influencia diretamente na sua competitividade no mercado.

O Brasil é um país afortunado por seus recursos naturais. Possui uma grande quantidade de solo arável, farta hidrografia e recebe a luz solar e ventos em intensidades abundantes. Esses recursos foram e estão sendo utilizados de forma favorável para a obtenção de alimentos e conforto. É irrefutável o fato de que a utilização dos recursos naturais pelo homem como meio de geração de valor, conforto e excedentes financeiros tem-se mostrado imprópria e não-sustentável a longo prazo. Há órgãos mundiais que debatem formas da dissociação entre a exploração dos recursos naturais e o crescimento econômico (OECD, 2001). Para a manutenção de condições sustentáveis entre a utilização da natureza e geração de excedentes financeiros é necessário que investimentos em diversificação, eficiência e desenvolvimento tecnológicos sejam planejados e executados adequadamente.

1.1 Objetivo

O planejamento energético nacional tem suma importância no futuro do desenvolvimento econômico do país. A movimentação monetária do setor energético representa parte significativa do PIB e as ações implicam em consequências diretas em quase todos os setores econômicos. Como o planejamento energético envolve diversos fatores, riscos e interesses, os especialistas do setor nem sempre entram em consenso sobre o que é melhor para um país, quais políticas energéticas adotar para quais setores de consumo. A grande beleza do setor energético é surpreender com novas tecnologias, possibilidades e modelos de negócio que desafiam o modelo tradicional de suprimento (Castro, 2015). Incontestavelmente, as ações tomadas no presente irão moldar o futuro, e como um país de economia forte, território e população grandes, setor elétrico interligado e com bom funcionamento, o Brasil deve se colocar nas discussões entre os líderes mundiais.

Com este trabalho pretende-se contribuir com considerações sobre a viabilidade da fabricação de módulos fotovoltaicos no Brasil, suas formas de financiamento, inserção dessa fonte na matriz elétrica nacional e no mercado, fomentando uma indústria de caráter estratégico que tem a possibilidade de geração de empregos e valor.

Optou-se também por fazer uma análise qualitativa da viabilidade econômica da fabricação de módulos fotovoltaicos no Brasil. Este tipo de atividade cria conhecimento, giro econômico e, espera-se que haja também um retorno financeiro favorável, assim como estimula o barateamento e a adoção cada vez mais intensa da energia solar fotovoltaica. Utilizando informações relevantes para obter uma visão geral do mercado, como resultado, são obtidas algumas considerações necessárias e outras possíveis para o desenvolvimento de uma indústria consistente, incluindo o estabelecimento de ações regulatórias e governamentais que sejam favoráveis a esse ramo específico.

1.2 Justificativas e Motivações

O desenvolvimento da geração fotovoltaica em países como Alemanha, Itália, Japão, Estados Unidos e China despertou a atenção sociedade brasileira, principalmente de pesquisadores, investidores, ambientalistas e dos planejadores do sistema energético brasileiro. Em 2012 houve uma movimentação regulatória afim de instaurar os parâmetros sobre a mini e microgeração no país. Após esta regulamentação, a sociedade continuou fomentando o avanço desta fonte. Em 2014 e 2015 foram contratados 681 MW médios de fontes fotovoltaicas nos leilões de reserva para a entrada em operação em 2017, o que significou nestes leilões um total de 3.207 MWp em corrente contínua (c.c.), ou seja, medido na saída do gerador fotovoltaico, ou 2.652 MW em corrente alternada (c.a.), na saída do inversor. O Brasil não domina a cadeia de produção e não possui produção em escala de todos os componentes utilizados nos módulos, portanto depende de produtos importados de alto valor agregado. Esse contexto impulsionou alguns investidores a empreenderem fábricas no Brasil com a visão de atender ao novo mercado em crescimento.

Este trabalho pretende responder a seguinte questão: é plausível e benéfico à nação o desenvolvimento de fábricas de módulos fotovoltaicos em território nacional? A instalação destas fábricas pode significar criação de novos empregos, movimentação econômica, geração de conhecimento e agregação de valor para os produtos nacionais. Os investidores para esta indústria são atraídos para o Brasil em consequência dos leilões que contratam as usinas de energia solar fotovoltaica, o rápido desenvolvimento de um mercado de geração distribuída e o provável crescimento acentuado deste mercado. Por outro lado, países asiáticos, como por

exemplo a China, fornecem mão de obra barata, rápida melhoria de qualidade e garantias em seus produtos, exportando-os com preços extremamente competitivos.

Há grandes preocupações em relação a construção das usinas contratadas naqueles leilões. É possível que muitos investidores não tenham se precavido quanto às variações da taxa do dólar, além de que os preços da energia na época da realização dos leilões estavam altos (bandeira tarifária vermelha). Em um dos leilões, 6º LER, Leilão de Energia de Reserva, realizado em 2016, o preço contratado foi o segundo menor preço de energia solar negociado sem incentivos nas tarifas naquela época, perdendo apenas para um leilão em Dubai (Dezem, 2015). Por esses motivos, é real a preocupação de que os investidores recalculam seu fluxo financeiro e concluam que os empreendimentos se tornem inviáveis economicamente. Sendo assim, para as análises deste trabalho, é necessário considerar os aspectos econômico-financeiros, operacionais, ambientais, sociais, além da questão energética em si.

1.3 Metodologia

Para a elaboração do trabalho, inicialmente fez-se uma pesquisa para entendimento do contexto histórico do setor elétrico, qual a perspectiva da pesquisa que seria desenvolvida, se o contexto econômico, político, social, cultural seriam empecilhos ou catalisadores deste tipo de indústria.

Optou-se por fazer uma retrospectiva da história da energia no Brasil e seu desenvolvimento até os dias atuais para elucidar sobre as ações tomadas que levaram até a situação do presente desenvolvimento. Também fez-se necessário elaborar uma comparação sucinta entre as tendências mundiais e nacionais sobre o planejamento energético. Em seguida estudou-se a fonte solar e a transformação da energia dessa fonte para eletricidade, entendendo os aspectos técnicos e econômicos.

Foi realizado um levantamento de informações que serviram de base para as considerações econômicas, regulatórias e de planejamento sobre o rumo do setor.

Para o objetivo do trabalho é relevante que se tenha o conhecimento da matéria prima fundamental, o Silício, e entendimento das suas rotas de transformação. Após esse

estudo, são analisados qualitativamente dados de mercado, os benefícios e problemas envolvidos com as instalações, montagem e operação de uma linha de fabricação de módulos fotovoltaicos e as possibilidades de escalabilidade. Há que levar em conta o grande poder econômico e técnico das indústrias da China e considerar que a fabricação de células de silício no Brasil ainda é uma etapa posterior de análise, devido a sua complexidade e custo elevado, sendo que a montagem dos módulos no Brasil já é uma realidade.

São descritas algumas das principais etapas do processo de fabricação do Silício Grau Solar (Si-GS): preparação do substrato, preparação da junção p-n, deposição da camada antirrefletora, preparação dos contatos metálicos, e testes de classificação.

Foram avaliados incentivos públicos e privados que devem dar impulso à etapa de montagem de módulos fotovoltaicos.

Por fim, considerações de ordem econômica e financeira indicaram as conclusões do trabalho. Foi possível avaliar a situação do mercado, ou se a importação dos componentes sendo uma solução adequada. Com pesquisas de ordem econômicas, regulatórias e científicas foi possível uma avaliação qualitativa sobre o cenário nacional atual, o posicionamento do governo, os desafios a serem superados e as propostas a serem levadas em consideração pelos tomadores de decisões.

2. BREVE HISTÓRICO DO SETOR ENERGÉTICO

Para se fazer um entendimento franco da questão mostra-se necessário esclarecer os acontecimentos históricos, fatos relevantes e decisões tomadas que precederam o atual momento histórico. Através do entendimento do contexto geral do quadro energético é possível obter informações pertinentes que auxiliam nas tomadas de decisões futuras, com o objetivo de não repetir erros já cometidos e também nortear assertivamente as tomadas de decisão dos planejadores.

O uso da energia elétrica no Brasil se iniciou em 1876 quando Dom Pedro II foi aos EUA visitar as instalações de Thomas Alva Edison e o convidou para levar ao Brasil algumas de suas invenções. Anteriormente, apenas alguns experimentos isolados haviam sido feitos em solo nacional. Os serviços de iluminação eram feitos por lampiões a óleo de baleia e de peixe desde a década de 1810 e por uso de gás a partir da década de 1850. A primeira cidade a utilizar a eletricidade foi Rio de Janeiro, capital nacional na época, com a iluminação da Estrada de Ferro D. Pedro II, atual Central do Brasil. Alguns anos depois, foi inaugurado o primeiro serviço de iluminação pública por eletricidade da América Latina, na cidade de Campos (RJ). Logo outras cidades ganharam iluminação pública como São Paulo, Salvador e Juiz de Fora. Com isso, a atividade de geração de energia no Brasil começou a se desenvolver (Santos, 2011), (Alves Filho, 2003).

Já em 1899, com a expectativa de desenvolvimento do Rio de Janeiro e São Paulo, foi criada, em Toronto, a São Paulo Tramway, Light and Power Company Limited, empresa de capital estrangeiro que deu início a primeira linha de bondes elétricos, com eletricidade gerada pela própria companhia. Da mesma maneira, em 1904, os mesmos canadenses, em parceria com capital americano, criaram a Rio de Janeiro Tramway, Light and Power Company, com a possibilidade de explorar o transporte urbano, a iluminação pública, produção e distribuição de energia elétrica, gás canalizado e telefonia (Gomes, et al., 2002).

Houve então, a necessidade de o Estado tomar atitudes reguladoras sobre esses serviços públicos que surgiram em forma de monopólios. Em 1903, através da Lei Nº 1.145, e em 1904 através do Decreto 5.704, o então Presidente Rodrigues Alves, deu o passo inicial na regulamentação dos serviços de energia elétrica para fins de serviços públicos, inclusive através

do sistema de concessão para aproveitamento hidráulico, podendo o empreendedor utilizar o excedente em forma de autoconsumo em atividades agroindustriais. Apesar desse fato, a administração e regulamentação continuaram sendo geridas localmente (Gomes, et al., 2002), (Malaguti, 2009).

Já no início do século XX, no nordeste, um homem considerado como um dos grandes empreendedores brasileiros, Delmiro Gouveia, começou a criar uma gigantesca infraestrutura de geração de energia, importando tecnologia de ponta para suprimento de energia utilizada em suas fábricas e nas cidades onde elas ficavam, além de cidades em que o empreendedor iria instalar outras unidades de produção. Esse homem chegou a modificar cidades inteiras, construindo opções de lazer e fornecendo bem-estar para seus funcionários. Gouveia faleceu precocemente, assassinado em circunstâncias não compreendidas, e suas fábricas foram vendidas e destruídas. A crônica da época relata que a empresa que as comprou, que era sua concorrente internacional direta, destruiu tudo e jogou os restos no Rio São Francisco, eliminando a possibilidade de novos concorrentes. Segundo o autor, se não fosse este fato, seria razoável que atualmente o nordeste estivesse tão desenvolvido quanto o sul e sudeste (Alves Filho, 2003).

Até meados da década de 1920, na República Velha, a política e economia do país, baseada na agroexportação, provinham basicamente do sudeste, sendo São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro seus principais atores. A demanda de energia elétrica era suprida localmente através de capital privado, que se beneficiavam da geração elétrica para seus negócios. O parque energético nacional era constituído basicamente por pequenos sistemas isolados hidroelétricos e termoelétricos, este último com bom aproveitamento de fontes de origem vegetal. Estas geradoras de energia aos poucos foram sendo adquiridas por empresas estrangeiras. No fim da década, as empresas Light, canadense-americana, e AMFORP, americana, já haviam comprado todas as pequenas concessionárias locais e possuíam o controle nas áreas mais desenvolvidas e com a maioria dos potenciais de expansão de geração (Alves Filho, 2003), (Galvão, 2015).

A população brasileira cresceu mais de 80% nas duas primeiras décadas do século XX e, conseqüentemente houve sensível aumento da população urbana. Tal fato teve como desfecho uma elevação de consumo do mercado interno de serviços que, aliado ao fato da

Primeira Guerra Mundial, justificou o investimento na produção interna de bens de consumo. Naquele período o crescimento do aproveitamento hídrico para produção de energia foi inusitado, atendendo aos fabricantes locais (Coutinho e Oliveira, 2014). Por volta de 1925 uma grave crise hídrica abateu São Paulo, fazendo com que a população questionasse a capacidade governamental e das empresas de capital estrangeiro de planejamento e controle. A falta de água, naquela época, conduzia diretamente à problemas de saúde pública, com a proliferação de doenças epidêmicas. Como consequência, no mesmo período deflagrou-se uma crise energética, derivada do aumento da demanda de energia por produtores automobilísticos e pela indústria de café, que implantaram altos ritmos de produção no sudeste brasileiro (Galvão, 2015).

Até a crise de 1929, o modelo empregado foi o de confiança total no mercado, com a teoria econômica clássica, mas, após 1929, os governos decidiram que deveriam ser mais ativos no setor energético, de forma a controlar e verticalizar seus serviços. Após a Revolução de 1930, levando Getúlio Vargas ao poder, o então presidente rumou ao desenvolvimento industrial, para que o país não continuasse essencialmente agrícola. Em 1934 foi decretado o Código Nacional das Águas, que expunha a ideia de se fazer grandes usinas hidroelétricas, mas, por falta de capacidade financeira governamental, na época, optou-se pelo sistema de concessões, onde as usinas seriam concedidas por um certo período de tempo e devolvidas ao Estado após o término. Em linha com outros países, o Estado tomou medidas nacionalistas para fortalecer a regulamentação e o domínio estatal do setor energético. Claramente houve descontentamento por parte das duas grandes *holdings* que atuavam no setor, provocando a fuga de capital estrangeiro do país (Alves Filho, 2003), (Galvão, 2015).

Juscelino Kubitschek, presidente brasileiro entre 1956 e 1961, instaurou grandes avanços enquanto governador de Minas Gerais, incentivando naquele Estado a rápida industrialização, e para tal, alinhou diversos investimentos na área energética, entre eles a criação da CEMIG. Quando se tornou presidente da república, Juscelino instaurou o ambicioso plano de avançar 50 anos em 5, promovendo ao setor elétrico um crescimento acentuado (Alves Filho, 2003).

As crises hídricas se repetem. No final da década de 50 ocorreu outra crise hídrica, ocasião em que a empresa concessionária Light atribuiu as crises a estiagens imprevisíveis.

A Light, empresa de capital privado desde sua criação, foi reestatizada em 1979 a um preço discutível, quando sua concessão estava findando, ou seja, sua administração iria para o controle do governo de qualquer forma. A estatização de serviços públicos, seja de energia, seja de telefonia ou água, foi fruto de discussões intermináveis que não é objeto deste trabalho. É importante recordar, entretanto, que a privatização de serviços públicos, em muitas ocasiões, deu margem a ações criminosas como corrupção, mentiras e manipulações políticas. No atual modelo do setor elétrico, regulado, onde o regulador dita as regras e fica responsável pelos reajustes e revisões das concessionárias de energia, evidencia-se o cuidado e a importância de um trabalho idôneo e imparcial (Branco, 2002).

Como foi mencionado, as crises hidrológicas não são novidades. O país tem histórico de crises em 1925, no período de 1949 a 1952, que ocasionaram racionamentos de energia nos anos de 1951 e 1952, repetindo o racionamento em 2001. Nos anos de 2014 e 2015 não houve racionamento oficial de energia, mas houve racionalização e cortes no suprimento de água.

A teoria da captura regulatória, desenhada por George Stigler, em que a empresa privada captura o poder público concedente, mostrou-se verdadeira em relação aos serviços públicos de energia no passado (Stigler, 1971). Por isso, atualmente, deve-se prezar pela ética, e punição severa de casos que infrinjam a moral e agredam a economia. Cabe mencionar que a Light foi privatizada novamente em 1996, após a regulamentação dos processos de desestatização através da Lei Federal nº 8987 de 13/02/1995. Apesar de tal dispositivo estar em vigor desde 1932, a regulamentação foi criada apenas em 1995.

Nas crises hídricas no atual modelo de regulação, é costumeiro o aumento de tarifas energéticas para suprir a falta de recursos dos concessionários para cobrir seus custos financeiros e consequente pressão econômica derivada da crise energética. De fato, nessa última crise energética, de 2013 a 2015, tais fatos ocorreram. As distribuidoras e geradoras tiveram de receber ajuda financeira do governo federal, além de empréstimos de bancos públicos e privados, repassando a conta ao consumidor. O consumidor sempre é a parte mais atingida, pois as empresas concessionárias devem garantir o bom equilíbrio econômico financeiro para manter o funcionamento adequado dos serviços. Muitas vezes o Estado, que ainda detém o controle de grande parte do sistema energético, congelou ou diluiu o aumento tarifário por anos, para

controle inflacionário. O governo tem interesse em manter o custo de energia o mais baixo possível, seja por questões de políticas populistas, seja para atendimento a interesses de grupos privados, normalmente indústrias eletro intensivas. As ações políticas nefastas intensificam os problemas ocasionados pelas crises.

As construções de grandes hidroelétricas deram ao país na década de 1970 e 1980 infraestrutura energética adequada para o crescimento da demanda e certa industrialização, mas por outro lado gerou um grande endividamento público. Em meados da década de 1980, após os dois choques do petróleo em 1973 e 1979, devido à escassez de créditos, os investimentos foram drasticamente diminuídos e, com a alta do consumo e dificuldades hidrológicas, os reservatórios ficaram com capacidade armazenada muito reduzida. Em resposta houve a criação do Programa Nacional de Conservação de Energia – PROCEL, com intuito de reduzir desperdícios e racionalizar o consumo de energia elétrica. Também altos investimentos foram feitos no setor petrolífero brasileiro, afim de não depender tão majoritariamente do petróleo internacional sujeito a *lobbies* de grandes grupos.

Na década de 1990, a inflação galopante e os problemas econômicos levaram os líderes econômicos a tomarem duas decisões que afetaram drasticamente o setor: a primeira, de conter as tarifas das empresas de energia, com a objetivo de amenizar a inflação, e a segunda, de contrair dívidas não destinadas ao setor energético, mas cujas garantias seriam o parque energético. Assim, as empresas do setor elétrico estavam com dificuldades de recursos, grandes dívidas e os investimentos escassos levando a problemas na manutenção do sistema. Naquela mesma década, optou-se pela privatização parcial do sistema energético nacional, aliviando temporariamente as crises do setor. Em 1997 foi criada a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, reguladora do sistema elétrico nacional. Também em 1998 foi criada o ONS, Operador Nacional do Sistema, empresa privada sem fins lucrativos, que tinha como objetivo centralizar as operações do Sistema Nacional Interligado (SIN), administrar as linhas de transmissão e otimizar os custos e confiabilidade do sistema (Alves Filho, 2003).

Aquela privatização, amplamente criticada pelos oposicionistas, foi embasada pelo governo por três argumentos: tarifas mais baratas, maiores investimentos para a expansão do sistema energético e melhoria de qualidade e eficiência do serviço. Apesar de todo o esforço, no fim da década ficou evidente a necessidade de um melhor planejamento devido ao grande

descompasso de crescimento entre geração e demanda de energia somado ao período de hidrologia desfavorável que culminou no racionamento de 2001.

Como resposta governamental, houve uma série de medidas afim de aprimorar e garantir o equilíbrio do setor elétrico, inclusive diversificando o parque gerador. Neste contexto foi promulgada a Lei Nº 10.438/2002 que, além de outras providências, criou o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica, Proinfa, e a Conta de Desenvolvimento Energético, CDE.

O Proinfa tem como objetivo aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimentos de Produtores Independentes Autônomos, concebidos com base em fontes eólica, pequenas centrais hidroelétricas e biomassa. Em sua primeira etapa, teve como meta a implantação de 3.300 MW de capacidade para início de fornecimento até o fim do ano de 2008, assegurando a compra da energia a ser produzida no prazo de 20 anos através de contratos celebrados pela Centrais Elétricas Brasileiras S.A., Eletrobrás. Na segunda etapa, vencida a primeira, o Programa está sendo realizado de forma que as aquelas mesmas fontes de energia atendam a 10% do consumo anual de energia elétrica do país, objetivo a ser alcançado em até 20 anos, incorporados o prazo e resultados da primeira etapa. Também foi estipulado que os custos incorridos desta contratação seriam rateados a todas as classes de consumidores finais de energia elétrica, proporcionalmente ao consumo verificado, após a exclusão dos consumidores beneficiados pela Tarifa Social de Energia Elétrica.

Já a CDE, visa o desenvolvimento energético dos Estados brasileiros. Dois de seus principais objetivos são: promover a universalização do serviço de energia elétrica em todo o território nacional e garantir recursos para os subsídios concedidos aos consumidores finais enquadrados na Subclasse Residencial Baixa Renda.

Em 2003 foi decretado o Programa Luz Para Todos, Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica, que tem como objetivo acabar com a exclusão elétrica no país que acontece principalmente em áreas rurais e remotas. Este programa, instituído através do Decreto Nº 4.873 de novembro de 2003, complementou a criação da CDE, estipulando que os recursos necessários para o custeio do programa serão derivados da CDE e da RGR, Reserva Global de Reversão. Desta forma garantiu-se o recurso monetário para o objetivo de universalização do serviço de energia em todo o território nacional, já que as

concessionárias de energia, por si só, muito provavelmente teriam seu equilíbrio econômico financeiro abalado se fossem obrigadas a cumprir com tal legislação sem subvenção econômica.

Já em 2004, foi estabelecido o novo modelo do setor elétrico. Houve a criação da Empresa de Pesquisa Energética – EPE, que é responsável pela elaboração de estudos do planejamento e expansão do sistema. O Brasil começou a melhor diversificar sua matriz energética com os leilões de geração de produtos por disponibilidade, ou seja, usinas térmicas que estariam disponíveis para gerar conforme a necessidade do sistema. A energia ficaria mais cara, mas o sistema mais robusto. O modelo funcionou adequadamente no período de hidrologia favorável.

A partir de 2012 começaram novamente os problemas derivados de um planejamento não adequado. Os reservatórios sinalizaram baixo nível e as usinas termoeletricas foram despachadas pelo Operador Nacional do Sistema - ONS, elevando o preço da energia. No final do ano, já com sinais negativos de hidrologia para o ano de 2013, o governo ainda anunciou, através da MP 579, ações para reduzir em 20% as tarifas de energia, com cortes de arrecadação de encargos e possibilidade de diminuições de lucros de empresas concessionárias, derivando em mais momentos de dúvidas no setor elétrico. A redução de tarifas, incentivando o consumo em épocas de dificuldades hídricas, teve como contra-argumento do governo a baixa elasticidade da curva de demanda com o preço, ou seja, mesmo com grandes alterações de preços, a demanda por energia não sofreria uma mudança grande. Após tomadas as ações, a redução do custo médio da energia foi de aproximadamente 18%, pois algumas empresas não aderiram ao modelo proposto pelo governo. Modelo tal que aplicou as antecipações de renovação de concessões e baixo retorno a empresa concessionária, que ficou responsável apenas pela operação e manutenção da usina, sem possibilidades de venda de energia extra e ganho econômico.

Nos anos de 2013 e 2014 ocorreu um dos piores biênios de precipitação da história recente da hidrologia fazendo com que todas as usinas térmicas fossem acionadas por diversos meses. As consequências foram graves, houve risco de corte de carga e notável elevação no preço da energia, com cerca de 45% de aumento apenas no ano de 2015 (MME (a), 2015). As distribuidoras e grande parte dos agentes do setor ficaram endividados, restando ao consumidor o peso dessa dívida diluída por um longo tempo, a ser paga através de tarifas elevadas. A atual

conjuntura põe em cheque novamente o funcionamento do modelo, o correto planejamento do setor e a capacidade governamental de se precaver adequadamente contra situações adversas como as crises hídricas.

As empresas do setor, por serem empresas grandes e com diversos ativos, se preparam com modelos e ações de longo prazo para garantir retornos financeiros mais eficientes. Quando há mudanças regulatórias e legislativas que afetam diretamente essas empresas no curtíssimo prazo, todos os trabalhos e planejamentos empresariais feitos são desperdiçados e devem ser refeitos, alterando fluxos de caixas, e por vezes gerando problemas econômico-financeiros às empresas. Portanto quanto maior a instabilidade política, econômica, regulatória e legislativa, mais os investidores são afastados do setor e maior deve ser o retorno financeiro para que esses investidores entrem ou voltem para o setor. Nos anos de 2014, 2015 e 2016, as instabilidades e dificuldades econômicas do setor levaram diversos grupos a entrarem com liminares e pedidos judiciais, prejudicando a fluidez e liquidez do mercado. Dessa forma, medidas impostas como a MP579, dessa magnitude, acabam sendo ineficientes já que a ideia é reduzir tarifas, mas com as instabilidades citadas, paga-se um retorno maior aos investidores, repassando as despesas aos consumidores.

Ocorrido o descrito, é evidente que a diversificação de fontes de energia é urgente, além da necessidade de mudanças na forma de planejamento de médio e longo prazo. A Figura 1, a seguir, evidencia a grande dependência do parque gerador nacional da hidrologia. Como é possível constatar, a utilização de outras fontes renováveis, que não a da energia de origem hidráulica, é ainda pequena. O que acontece atualmente é a contínua expansão hídrico-térmica enquanto que a expansão das implantações de energia eólica está crescendo acentuadamente e a implantação de sistemas solares fotovoltaicos, embora em crescimento, ainda se mantém incipiente. A Figura 1 é dividida pelas centrais geradoras eólicas, EOL, pequenas centrais hidroelétricas, PCH, centrais geradoras solares fotovoltaicas, UFV, usinas hidroelétricas, UHE, usinas termelétricas, UTE, usinas termonucleares, UTN.

Figura 1: Matriz Elétrica Brasileira.

Dados: (ANEEL, 2016).

Nesse contexto e haja vista a incerteza das precipitações hídricas, o Brasil não pode mais depender tão majoritariamente de apenas um tipo de energia primária, no caso a hidroeletricidade que compõe 61 % da matriz elétrica do país (ANEEL, 2016). O modelo vigente, tradicionalmente apoiado em grandes plantas geradoras deve ser modernizado. (Uczai, Tavares e Queiroz Filho, 2012). Os recursos hídricos para aproveitamento energético não são mais soluções tão desejáveis devido aos muitos problemas não solucionados derivados de construções hidroelétricas, que são simplesmente negligenciados, como o exemplo de Belo Monte (Bermann, 2013). A matriz energética mundial está se tornando cada vez mais descentralizada e é inevitável que o Brasil siga essa tendência (Uczai, Tavares e Queiroz Filho, 2012).

Na Figura 1 nota-se que já faz parte da agenda prevista do setor um aumento considerável da geração de energia eólica e solar fotovoltaica na matriz energética, assim como aumento também da geração térmica e considerável redução do percentual de capacidade instalada de geração hidroelétrica. Os dados do gráfico Parque Gerador Previsto contêm os empreendimentos outorgados pela ANEEL, portanto, os Leilões de Energia de Reserva onde foram contratados diversos empreendimentos de energia solar fotovoltaica estão inclusos no cálculo da geração prevista.

A Figura 2 mostra o histórico de geração térmica no SIN e é possível perceber o alto crescimento e consequentemente elevação exacerbada no preço da energia, além da quantidade de emissão de gases de efeito estufa.

Figura 2: Curva de geração térmica do SIN em MW.

Fonte: (WWF, 2015).

As usinas contratadas em leilões de energia de reserva entram na base da geração e, desta forma, deslocam a curva para cima, induzindo as térmicas mais caras a não gerar energia. Consequentemente é possível que o custo total de geração do sistema seja abaixo, dependendo do preço das térmicas que seriam despachadas caso não existisse esta modalidade de reserva. Portanto, é coerente observar que o custo da energia proveniente dos leilões de energia de reserva deve ser comparado com os custos das usinas mais caras despachadas por ordem de mérito.

O Brasil possui história conturbada e cíclica de grandes crises hídricas que carregam diversos problemas ao setor elétrico brasileiro. Em caso de forte crise hídrica, a falta de planejamento adequado deste setor prejudica a situação, acarretando em crise energética, afetando fortemente a economia e comprometendo o crescimento do país. A mesma dificuldade, derivada de inadequado planejamento também afasta investidores que se deparam com gargalos regulatórios e riscos de não retorno de investimento. Em épocas prósperas, os investidores conseguem ótimos retornos sem muito esforço. Já nas situações críticas, as empresas ficam com problemas de caixa e algumas vezes acumulam altos prejuízos. Dessa forma, o Brasil precisa ter um planejamento energético mais retilíneo, menos flutuante, com remunerações adequadas aos investimentos e que incentive a diversificação das empresas do setor.

Por um longo período a história da energia elétrica no Brasil afastou empresas menores, contrárias aos interesses monopolistas. Até mesmo hoje em dia, grandes empresas, mais verticalizadas, conseguem um arcabouço de informações relevantes que são utilizadas ao seu favor impondo dificuldades às empresas menores e iniciantes, diminuindo oportunidades nesse mercado. Mas as oportunidades do setor elétrico tendem a crescer com o advento de novas tecnologias, como o crescimento das microrredes, trocas *on-line* de informações entre agentes e consumidores, e maior controle por toda a cadeia de geração, transmissão, distribuição, consumo e a operação do sistema. Deste fato, há possibilidade de criação de uma série de produtos e serviços diferenciados que tragam maior eficiência e facilidades aos usuários finais, inclusive possibilitando o consumidor final a ser um agente ativo na gestão do consumo de energia elétrica (Castro, 2015). Apesar disto, são apenas empresas de grande porte, muitas delas multinacionais, que têm capacidade financeira e operacional de controlar as complexas concessionárias geradoras e distribuidoras. E então, o excedente de capital procura por maior rentabilidade para determinado patamar de risco. É papel do governo, entender as características micro e macroeconômicas para oferecer aos investidores um ponto equilibrado entre risco e remuneração que sustente os investimentos necessários na infraestrutura do país.

3. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

O efeito fotovoltaico foi documentado primeiramente em 1839 por experimentos feitos por Alexandre-Edmond Becquerel, cientista que estudava o espectro solar e ao qual é creditada a primeira observação do efeito fotovoltaico. Becquerel observou a geração de corrente elétrica após incidência luminosa ao colocar cloreto de prata numa solução ácida conectada por eletrodos de platina (Becquerel, 1839).

No entanto foi apenas na metade do século XX que as células de silício começaram a ser desenvolvidas em laboratórios. Os cientistas Daryl Chapin, Calvin Fuller e Gerald Pearson desenvolveram nos laboratórios da Bell a primeira célula de silício de junção p-n com cerca de 6% eficiência de conversão (Daryl Chapin, 1954). As primeiras células solares foram desenvolvidas voltadas a aplicações aeroespaciais, em satélites por exemplo.

Com o avanço tecnológico surgiram diferentes gerações de células fotovoltaicas de silício. As células da primeira geração ainda persistem no mercado, são as células de silício mono e multicristalino. A grande maioria dos sistemas de energia fotovoltaica é constituída de módulos com células deste tipo. A segunda geração se deu através do desenvolvimento de células de filmes finos de silício amorfo, que são essencialmente utilizadas em dispositivos móveis. Atualmente já se usam células de filmes finos inclusive para grandes parques de geração solar.

As células de silício monocristalino chegam a eficiências de conversão próximas aos 20% no mercado, sendo que em laboratórios já foram alcançadas eficiências maiores que 25%, como mostra a Figura 3.

Há outras tecnologias que foram desenvolvidas para a conversão de energia solar fotovoltaica. As células de filmes finos possuem custos de fabricação reduzidos, entretanto sua eficiência de conversão é bem inferior. As células fotoeletroquímicas, ou de corante, não alcançaram posição no mercado pois sua eficiência é muito inferior às de Si. Já os dispositivos de multijunção representam grandes avanços da pesquisa, porém só têm aplicação comercial difundida em sistemas de concentração.

Figura 3: Evolução da eficiência de diversos tipos de células fotovoltaicas com o tempo.

Fonte: (NREL, 2016).

As células solares de filmes finos não têm aplicação importante na geração massiva de energia e não chegam a ser relevantes na proposta deste trabalho, como mostra a Figura 4, quando se compara sua produção com a das células de silício mono e multicristalino. O mercado de células de silício multicristalino vem ganhando espaço ao longo dos anos, enquanto que as células de filmes finos e silício monocristalino passaram por uma diminuição das suas produções percentualmente. Por exemplo, das informações retiradas do gráfico da Figura 4, dentre estes três tipos de células, a produção das células de filmes finos, em 1990, correspondeu a cerca de 28% do total de produção mundial. As células de silício cristalino foram responsáveis por aproximadamente 38% da produção mundial, enquanto que os 34% restantes foram de produção de células do tipo silício multicristalino. Já em 2000, as células de silício de filmes finos foram apenas 10% do total da produção mundial, enquanto que as de silício monocristalino e multicristalino foram de aproximadamente 42% e 38% respectivamente. Em 2015, o gráfico mostra a produção de cerca de 7%, 22% e 71% para a células de filmes finos, de silício monocristalino e multicristalino respectivamente. Este histórico evidencia a preferência do mercado pelas células de silício multicristalino, que, apesar de pouco menos eficiente que as células de silício monocristalino, possuem um custo menor.

Figura 4: Produção de Módulos Fotovoltaicos por Tecnologia

Fonte: (ISE, 2016).

O preço do módulo de silício cristalino tem caído linearmente ao longo do tempo e desde 2008 há uma queda acentuada, principalmente após a entrada das empresas chinesas no mercado como é mostrado na Figura 5. Tal fato, junto com o aprendizado tecnológico está reverberando na indústria solar, que exhibe um crescimento acelerado como já comentado. Observa-se, também, na Figura 5 um efeito de redução de custos mais intenso na curva de aprendizado dos módulos de silício cristalino (ISE, 2016).

Figura 5: Curvas de aprendizagem e preço dos módulos fotovoltaicos por tecnologia com o aumento da produção.

Fonte: (ISE, 2016).

3.1 Insumos – O Silício

O elemento Silício é o segundo elemento mais abundante da crosta terrestre com aproximadamente 27,2% em massa, o primeiro é o Oxigênio, com 45%. O silício, em seu estado livre, é sólido cinza-metálico, duro, quimicamente inerte a temperatura ambiente e com um ponto de fusão elevado.

O silício não ocorre em seu estado puro. Sua forma mais abundante é a sílica (SiO_2), encontrada em quase todas as formações rochosas da crosta terrestre, na areia, granito, argila, e no quartzo. Há formações com alto-grau de quartzito (acima de 98% de SiO_2) que possuem um valor comercial mais elevado. As características do quartzito fazem com que esse material tenha utilidade em diversas áreas industriais. A sílica é utilizada na indústria da construção, vidraria, cerâmica, tratamento de água além de setores químicos, além de ser usada para a fabricação de silício grau metalúrgico, matéria-prima de silicones e diversos derivados, vistos na Figura 6. O silício com alto grau de pureza, possui alto valor agregado, utilizado na indústria de microeletrônica e fotovoltaica.

Figura 6: Consumo de Silício por uso final em milhões de toneladas.

Fonte: (Roskill, 2014).

Na indústria, os principais produtos são o silício grau metalúrgico (Si-GM) e a liga ferrossilício. A liga ferrossilício corresponde a cerca de 75% da produção do silício, em peso. Na indústria, o silício grau metalúrgico é amplamente utilizado para produção de silicones e

aços especiais e também é a matéria prima para a produção do silício cristalino, utilizado na produção de células fotovoltaicas. Atualmente cerca de 8% a 10% do silício metalúrgico é utilizado para esse fim (Coutinho e Oliveira, 2014).

A Figura 7 a seguir expõe os principais produtores mundiais de ferrossilício, no ano de 2013. Pode-se observar que o Brasil é o quarto maior produtor mundial, porém com um vigésimo da produção da China.

Figura 7: Participação dos principais países produtores na produção mundial de ferrossilício em 2013.

Fonte:(Coutinho e Oliveira, 2014).

Os processos de fabricação dos sistemas fotovoltaicos foram consideravelmente melhorados. Nos últimos dez anos a quantidade de silício semicondutor para a fabricação de células solares passou de 16g/Wp para 6g/Wp. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.**Figura 8 demonstra a redução mencionada. É o resultado do aumento de eficiência de conversão e da fabricação de células com menor espessura. O processo de laminação, onde o corte por serras foi substituído pelo corte através de fios diamantados foi essencial para obtenção de células mais finas e com menor desperdício de material durante o processo, evidenciando a importância do avanço tecnológico para a melhoria da eficiência das técnicas de fabricação.

Figura 8: Redução da quantidade de silício, por Wp nas células solares.

Fonte: (Fürstenwerth, 2015).

A relação entre a energia estimada gasta para produção e energia produzida do mesmo componente é chamada tempo de retorno energético, ou *pay-back energy* e é calculado através das teorias de avaliação de ciclo de vida. O tempo de retorno energético depende da região de instalação. Por exemplo, no norte da Europa esse tempo pode chegar a 2,5 anos, já no sul 1,5 ano ou menos, sendo que no Brasil, devido a maiores incidências de radiação solar, esse tempo pode ser ainda menor (ISE, 2016). O estudo de Fürstenwerth baseou suas estimativas para previsões futuras atentando ao fato de que, pelo histórico de produção e preço, os módulos fotovoltaicos têm o preço reduzido em 20% cada vez que sua produção é dobrada. Ou seja, pela curva de aprendizado e com aumento da demanda, a tecnologia solar tende não apenas a ficar economicamente competitiva, mas a ser mais barata que as fontes tradicionais (Fürstenwerth, 2015).

3.2 Processos de fabricação

O processo de fabricação das células fotovoltaicas possui algumas características da indústria de microeletrônica e utiliza materiais de alta pureza, além de demandar um gasto energético significativo.

Inicialmente o silício utilizado para a fabricação de células fotovoltaicas era o mesmo utilizado na indústria da microeletrônica. É conhecido como silício *off grade* (fora da especificação da indústria eletrônica). O silício grau eletrônico Si-GE, utilizado na indústria de microeletrônica, possui 9N de pureza, ou seja, é 99,9999999% puro e seu processo de fabricação é complexo e custoso, além de energeticamente intensivo. Os processos da indústria fotovoltaica não são tão exigentes quanto os da indústria eletrônica, de modo que a pureza de 5N a 6N já permite atender as exigências técnicas e econômicas da indústria fotovoltaica. Dessa forma, a sobra do processo de fabricação do silício grau eletrônico, que não satisfazia o critério mínimo de pureza era utilizado para a fabricação de células fotovoltaicas e vendida a custos mais baixos.

Atualmente, uma pequena porcentagem ainda é derivada das sobras da indústria eletrônica, mas a grande maioria das células fotovoltaicas é produzida por silício obtido por um processo diferente daquele utilizado na indústria microeletrônica, a solidificação unidirecional, onde o gasto de energia para a transformação em material cristalino é menor, portanto mais barato. A produção do Si-GE passa pela chamada rota eletrônica, já o processo de produção do silício grau solar Si-GS passa por uma rota metalúrgica e tem a cadeia de produção representada pela Figura 9.

Figura 9: Cadeia produtiva do silício.

Fonte: (Assunção, 2010).

A matéria prima para ambos os processos é o silício grau metalúrgico Si-GM. O Brasil é um país com grandes reservas de quartzo de boa qualidade e a indústria metalúrgica no

Brasil já é consolidada e possui um preço competitivo em relação ao mercado internacional para o Si-GM (pureza cerca de 99%). Em 2013 o país foi responsável pela produção de cerca de 8% da produção mundial de Si-GM, exportando 82% desse total. Para efeitos de comparação, o Si-GM é comercializado por cerca de US\$ 2,00/kg a US\$ 3,00/kg enquanto o silício Si-GS foi comercializado por volta de US\$ 20,00/kg no fim de 2013. (Coutinho e Oliveira, 2014). O preço do quilograma do silício de pureza para fabricação das células solares, tem experimentado uma redução importante, caindo em 2016 abaixo de US\$15/kg (Bloomberg, 2015).

O silício metálico no Brasil tem a sua produção concentrada em 4 grandes empresas, Dow Corning, Rima, Minasligas e Liasa, sendo esta última especializada em silício metálico, seu único produto. Já a empresa Dow Corning tem uma linha vertical de produção voltada à produção de silicones.

O processo de obtenção do Si-GM é representado pela equação:

O processo comum é a redução carbotérmica da sílica em forno de arco elétrico. O processo pode utilizar como material redutor carvão, coque, coque de petróleo, carvão vegetal ou lascas de madeira. As reações se dão em temperaturas elevadas, consumindo grande quantidade de energia elétrica, cerca de 12 a 15kWh/kg, e muita água para refrigeração dos fornos, chamados de redução a arco elétrico. O resultado é a obtenção de silício grau metalúrgico, com pureza entre 98% e 99,5%.

Para a fabricação das células solares é necessário que se tenham lâminas de silício cristalino. As formas para obtenção de silício cristalino mais utilizadas são o processo Czochralski e a solidificação unidirecional com o insumo Si-GM. A definição do que seja Si-GS e seus processos de fabricação constituem ainda áreas em aberto no desenvolvimento tecnológico. Há diversos estudos com métodos de rotas químicas alternativas para produção de Si-GS com o consumo de menos energia, portanto, tornando o processo menos custoso.

No processo Siemens, a cristalização é feita através da reação do triclorossilano com hidrogênio em alta temperatura. Este processo resulta na decomposição do triclorossilano e no depósito de silício de maior pureza nas barras. Como resultado se tem o silício

multicristalino de alta pureza. O processo Czochralski, representado na Figura 10, consiste em fundir certa quantidade de silício multicristalino em um cadinho de quartzo de alto grau de pureza. O forno reator é aquecido a temperaturas elevadas e uma semente de silício com orientação cristalográfica específica, presa em uma haste, é inserida no líquido. Este contato com a superfície do líquido faz com que esse líquido, silício fundido, se resfrie, iniciando um processo de cristalização, seguindo a mesma orientação cristalográfica da semente. A semente é puxada verticalmente em um movimento rotacional no sentido anti-horário, de maneira que o cadinho faz a movimentação rotacional inversa. Com este movimento, quanto mais lento for, maior será o diâmetro do tarugo. Após a finalização, o lingote é levado ao processo de laminação e cortado em lâminas finas.

Figura 10: Processo Czochralski de formação do lingote de silício monocristalino.

A transformação do silício metalúrgico em silício multicristalino é intensiva em tecnologia e capital. Por isso a depreciação representa aproximadamente 30% do custo de produção e também o preço do insumo tem baixa representatividade no custo de produção. Com preço menor que US\$ 15,00/kg, são reduzidas as possibilidades de viabilizar economicamente uma nova indústria em um mercado muito competitivo. Em relação ao preço final, o módulo fotovoltaico, o insumo, silício metalúrgico, tem baixíssima representatividade, chegando a cerca de 2% do custo total de produção (Bain & Company, 2014).

A título de comentário, a Figura 11 mostra os maiores produtores de módulos fotovoltaicos por país.

Figura 11: Produção mundial de módulos fotovoltaicos de 2005 a 2013.

Fonte: (Ossenbrink, et al., 2015).

4. PANORAMAS MUNDIAL E BRASILEIRO

Para abordar mais claramente o problema, é razoável que se tenha conhecimento do panorama mundial e nacional. Assim, é possível fazer comparações e obter um melhor entendimento das diferenças e semelhanças de cada cenário.

A população mundial está próxima dos 7,5 bilhões de pessoas, três vezes maior do que em 1950, o dobro do que foi na década de 70 e 25% maior do que em 2000. A taxa de crescimento populacional atualmente é alta quando comparada com outros períodos da história. As projeções apontam que em 2035 serão aproximadamente 9 bilhões de pessoas, sendo que em 2050 pode chegar a cerca de 10 bilhões de pessoas, 33% a mais que atualmente (United Nations, 2015). Estima-se que os maiores crescimentos populacionais acontecerão na África e em países em desenvolvimento. Com essas taxas de crescimento populacional e o desenvolvimento dos países, pode-se pressupor que haverá um aumento substancial de consumo energético.

Os recursos naturais não renováveis são finitos. Quando tais recursos se tornarem escassos, ou se exaurirem, é vital que a humanidade tenha desenvolvido tecnologias que possibilitem o equilíbrio entre homem e natureza nos termos de geração e consumo energético, crescimento populacional, produção de alimentos e utilização dos recursos naturais.

A tendência mundial para a disseminação do uso de energias renováveis é inquestionável. Diversos estudos apontam para uma forte substituição da geração energética derivada de combustíveis fósseis para uma matriz energética mundial com maiores percentuais de energia renovável. As energias renováveis juntas, em 2014, responderam pela segunda maior fonte de energia elétrica, perdendo apenas para o carvão. As energias renováveis representaram 85% do aumento da produção energética total entre 2013 e 2014 (IEA, 2015).

Um fato também importante a se considerar é o aumento acentuado da população idosa em diversos países do mundo. É natural que os serviços acompanhem este aumento, ou seja, haverá maior utilização de elevadores, rampas elétricas para facilitar acesso, cadeiras de rodas elétricas, aumento de aparelhos hospitalares, entre outros. Os serviços públicos devem ser adaptados para atender a população. No Brasil, em 10 anos, no período de 2005 a 2014, o

percentual da população idosa com 65 anos ou mais passou de 5,9% para 7,6%. Já na China, nesse mesmo período, os indicadores apontam para um aumento de 7,5% para 9,2%. Em países desenvolvidos esses números são ainda mais elevados, na União Europeia esse valor passou de 16,7% para 18,8%, no Japão saltou de 19,8% para 25,7% da população e com os avanços tecnológicos, inclusive na área medicinal, esses números tendem a aumentar (The World Bank, 2016).

Em 2016, o Brasil possui cerca de 209 milhões de habitantes. Segundo as estimativas do IBGE, o crescimento populacional deve desacelerar, chegando ao pico por volta do ano de 2042, quando a previsão é que haja cerca de 228,4 milhões de brasileiros, com algo em torno de 18,5 % da população com 65 anos ou mais. A partir de então, deverá ocorrer uma queda amena anualmente, chegando em 2060 com cerca de 220 milhões de pessoas e 26,8% da população idosa, sinalizando que a expectativa é que o Brasil chegue aos índices próximos aos índices atuais dos países desenvolvidos (IBGE, 2013).

A utilização de energias renováveis, além de ter normalmente um menor impacto ambiental, ainda tem a possibilidade de criar uma cadeia de valor onde há geração de empregos, desenvolvimento tecnológico, movimentação econômica e geração de excedentes financeiros. Países como a Alemanha, China, Coreia, Japão e Estados Unidos têm em seus programas energéticos renováveis uma notória fonte de criação de empregos. Estima-se que em 2014, a indústria fotovoltaica chegou a 2,5 milhões de empregos. Já o mercado de energia renovável (com exceção de grandes hidroelétricas), foi responsável por cerca de 7,7 milhões de empregos ao redor do mundo, um crescimento de 18% em relação a 2013. Apenas na China, cerca de 3,4 milhões de pessoas trabalham direta ou indiretamente com energias renováveis, um número relevante comparado a 2,6 milhões de empregos relacionados as áreas de petróleo e gás. As grandes hidroelétricas foram responsáveis por 1,5 milhões de empregos no mundo em 2014. Estima-se que as energias renováveis juntas, com os incentivos governamentais dos países, mais que dobre o número de empregos diretos e indiretos até 2030 (IRENA, 2015).

O crescimento da capacidade instalada de geração fotovoltaica no mundo é notável, conforme indica a Figura 12.

Figura 12: Evolução da capacidade instalada de energia fotovoltaica no mundo entre os anos de 2000 a 2015.

Fonte: adaptado de (SolarPower Europe, 2016).

Por algum tempo a Alemanha demonstrou ser o país com o maior crescimento de capacidade instalada de geração fotovoltaica, seguido pela Itália. A Figura 13 mostra que a China, Japão, Estados Unidos e Reino Unido foram os grandes propulsores da indústria fotovoltaica a partir de 2012. Estes países têm uma preocupação crescente com a questão ambiental, com o aumento de gases de efeito estufa na atmosfera e com o aquecimento global. Deve-se também levar em consideração que os referidos países também têm grande interesse econômico no desenvolvimento desta tecnologia.

Figura 13: Aumento da capacidade instalada nos países mais atuantes na questão fotovoltaica entre os anos de 2000 a 2015.

Elaboração Própria. Dados: (BP Global, 2016).

Na curva de capacidade acumulada da Alemanha e da Itália, nota-se que a derivada está menos inclinada, ou seja, estes países estão com pouco acréscimo anual de capacidade de geração fotovoltaica frente aos outros anos de seu crescimento. Isto indica que ao longo dos últimos anos houve uma desaceleração do crescimento. O setor industrial correspondente pode passar por dificuldades e a exportação passa a ser um objetivo. A adaptação dos sistemas produzidos às condições de cada país importador é um desafio vivido por essas empresas (Hahn, 2014).

Em relação aos preços praticados, vem-se observando uma queda dramática, assim como, com a evolução tecnológica, a eficiência de conversão energética vem aumentando. Com uma produção mundial em escala, os preços de módulos fotovoltaicos no final de 2013 já estavam por volta de 0,60 €/Wp na Europa, de 0,65 US\$/Wp nos EUA e por pouco menos de 3 R\$/Wp no Brasil para uma compra com certa escala (Pinho e Galdino, 2014). Porém a desvalorização do real passou de patamares próximos a R\$ 2,00 por dólar em meados de 2013 para cerca de R\$ 3,30 por dólar ao final do primeiro semestre de 2016, desfavorecendo a importação dos produtos importados. Variações acentuadas do valor da moeda, por exemplo, aquelas derivadas da instabilidade política do país, prejudicam as importações, fazendo com que os módulos fotovoltaicos fiquem mais caros. É evidente que, caso o Brasil tivesse o domínio do conhecimento e a escala de produção suficiente de toda a cadeia de valor, o cenário de dependência do produto importado seria diferente, e a viabilidade dos projetos não ficaria

tão vinculada à taxa cambial favorável ou mesmo do cenário conjuntural dessa indústria no exterior.

Em 2015, pelo quinto ano consecutivo a energia solar fotovoltaica esteve entre as duas mais importantes fontes de energia renovável instaladas na Europa. Isso mostra a sua importância no mundo atual, sendo uma das lideranças entre as novas fontes de geração e expansão. Porém, existem grandes desafios a serem superados, como a manutenção da estabilidade da rede, o desenvolvimento de módulos de fácil adaptação para diversos tipos de coberturas, o desenvolvimento de módulos mais leves, para que os telhados atuais de diversas casas suportem o peso do módulo, aumento da flexibilidade, também a escalabilidade de produção e diminuição dos custos afim de ser uma alternativa de geração de energia plenamente competitiva, sem a necessidade de incentivos (EPIA, 2014), (Hahn, 2014).

4.1 Alguns exemplos no mundo

A Europa é o continente precursor no rápido avanço da substituição da produção de energia considerada suja por energia limpa. Fato que ocorreu, não apenas pela conscientização dos dirigentes e população de alguns países, mas também pela urgência em se criar fontes mais diversificadas e eficientes. A maior parte das plantas de energia europeias foi construída antes da formação da União Europeia. Em 2016, cerca de 60% das usinas à carvão possuem mais de 30 anos. Observando o tempo estimado de vida útil das usinas à carvão, gás e nuclear, espera-se que em até 15 anos, grande parte dessas usinas estejam em fase de descomissionamento. Isso significa que, além do aumento natural de consumo energético, deve-se também substituir aquelas usinas descomissionadas.

Os países da União Europeia já sinalizam trilhar o caminho consistente de energia renovável. Nota-se na Figura 14 que o crescimento de capacidade instalada da matriz de geração de energia elétrica privilegiou os tipos solar fotovoltaica e eólica, mas também manteve alto crescimento de usinas de fontes fósseis. Esta figura mostra o acumulado das capacidades instaladas e descomissionadas entre os anos de 2000 a 2015. Em 2015 a quantidade de potência de novas instalações eólicas e solares fotovoltaicas superou em mais de três vezes a potência de novas instalações de usinas à carvão ou a gás. Como tendência, também se observa o

descomissionamento de potências consideráveis de usinas de carvão, óleo combustível e nuclear.

Figura 14: Aumento da capacidade de geração dos países europeus por diferentes fontes, entre 2000 e 2015.

Fonte: (SolarPower Europe, 2016)

Na Figura 15 é possível observar a agregação anual de energia solar fotovoltaica nas diversas regiões do mundo. Nota-se que a Europa foi responsável por impulsionar seu crescimento até 2011. De 2012 a 2015 os países asiáticos e americanos foram responsáveis por uma parcela cada vez mais significativa, demonstrando assim a tendência de diversificação. Essa diversificação acontece, obviamente, diante de um aspecto economicamente viável que possibilita que empresas consigam retorno monetário minimamente razoável para cada região.

Figura 15: Acréscimo da Capacidade Instalada de Geração Fotovoltaica.

Elaboração própria. Dados (BP Global, 2016).

O total da capacidade instalada de energia solar na Europa, no final de 2015, correspondia a 42% do total mundial. A Europa já chegou a responder por 75% da capacidade global instalada em 2010. A China, em 2015 representa 21% da capacidade mundial instalada (BP Global, 2016). Deve-se levar em conta o fato de que a indústria chinesa tem particular interesse no rápido crescimento da disseminação da energia solar para o resto do mundo. Rapidamente, pelas vantagens econômicas alcançadas, a tecnologia de geração fotovoltaica se difunde no resto do mundo.

O relatório Global Market Outlook for Solar Power 2016-2020 divulgou cenários de crescimento da capacidade instalada de energia solar em diversos países do mundo. Este relatório sinaliza que alguns países já possuem mais de 7% da sua demanda de energia coberta por geração fotovoltaica, como é o caso da Itália, Grécia e Alemanha. Em 2015, a Europa teve o abastecimento de 4%, na média, de sua demanda de energia elétrica proveniente de geração solar fotovoltaica, como mostra a Figura 16. Referido relatório também expõe como um dos cenários, a possibilidade da Europa, em 2020, já contar com 15% de sua demanda por eletricidade coberta por geração fotovoltaica. No mesmo relatório é previsto um crescimento de capacidade média anual de quase 150% para o Brasil, o segundo maior, atrás apenas da Irlanda.

Figura 16: Percentual da demanda por eletricidade atendida por energia solar fotovoltaica.

Fonte: (SolarPower Europe, 2016).

A Alemanha, um dos grandes precursores do avanço da energia solar fotovoltaica, tanto técnica como economicamente, possui um parque gerador que em 2015 fechou o ano com aproximadamente 40GWp de potência instalada, 17% do total mundial com cerca de 1,5 milhões de sistemas instalados e 45GW em energia eólica, o que representa 15% do total mundial. A estimativa da Federal Environmental Agency é que, por kWh de energia solar fotovoltaica gerada, são evitadas emissões de 715 gramas de CO₂. Em 2014 e 2015, a energia solar foi capaz de suprir 7% da demanda por energia elétrica da Alemanha, o que significou emissões evitadas, naqueles anos, de 25 e 27 milhões de toneladas de CO₂, respectivamente. Nos mesmos anos, as energias renováveis responderam por 31% e 33% da demanda por energia elétrica (ISE, 2016).

O preço médio de um sistema fotovoltaico entre 10 kWp e 100 kWp instalados nos telhados, na Alemanha, passou de 5000 €/kWp no primeiro trimestre de 2006 para 1270 €/kWp no último trimestre de 2015, uma queda de cerca de 75% do preço em 10 anos. Considerando apenas os módulos fotovoltaicos, estes tiveram uma queda de aproximadamente 82% nos preços. Em 2006, o módulo fotovoltaico representava cerca de 70% do custo total do sistema e em 2015 passou ser responsável por volta de 48% do custo do sistema (ISE, 2016). A queda drástica nos preços teve origem no rápido desenvolvimento da indústria chinesa, que, dessa forma, vem dando grande incentivo ao desenvolvimento de soluções mais econômicas e eficientes.

A Alemanha, que possui capacidade instalada de geração fotovoltaica maior que 5 GW desde 2008, possui vasta experiência na operação da geração de energia eólica e solar. Os especialistas em energia devem estudar os casos dos países europeus mais maduros neste tipo de operação para não repetir erros e evitar problemas já superados pelos precursores desta tecnologia. Uma preocupação do setor é exatamente a operação e a falta de previsibilidade para a operação destas fontes intermitentes. Por exemplo, analisando as Figuras 17 e 18 de energia gerada pelas fontes solar e eólica respectivamente, é possível perceber que, além da complementaridade sazonal, a curva de geração de energia eólica é expressivamente mais volátil do que a curva de geração de energia solar.

Weekly Production Solar

Figura 17: Curva semanal de geração solar na Alemanha.

Fonte: ISE, 2014.

Weekly Production Wind

Figura 18: Curva semanal de geração eólica na Alemanha

Fonte: ISE, 2014.

No Japão, após o acidente nuclear de Fukushima em 2011, quando apenas 2% da sua energia produzida era de origem renovável, o governo japonês decidiu por trilhar uma estratégia de crescimento rápido da geração de energia através de fontes renováveis e diminuição da geração nuclear. Em 2012 iniciou-se o incentivo nas tarifas que, em 2 anos, resultou no crescimento de 10,5 GW em novas instalações fotovoltaicas. Apesar do alvo dos incentivos nas tarifas, naquele país, ser o segmento de consumidores não residenciais, 30% das novas instalações foram de consumidores residenciais, em sua maioria novos empreendimentos. Em 2013 houve uma tendência de construção de grandes projetos, maiores que 1 MW de geração, e logo após, devido à escassez de áreas ou a dificuldades de proximidade com linhas de transmissão, projetos médios tornaram-se os alvos de empreendedores (Hahn, 2014).

Em relação ao mercado japonês, devido a dificuldades de mercado, os módulos residenciais careciam de concorrência o que complicava seu acesso. Já a parcela não residencial encontrou um mercado amplo, favorecido pela estreita ligação com indústrias europeias. Apesar deste contexto, empresas de eletricidade denunciaram problemas de estabilidade nas redes, o que ofuscou o crescimento acelerado de fontes renováveis no Japão. No entanto, o preço alto pago pelo incentivo governamental faz com que ainda sejam economicamente vantajosas muitas instalações, demandando de inovações em produtos, principalmente europeus (Hahn, 2014). Em 2014 o governo Japonês anunciou o *New Energy Basic Plan*, que mostrou a intenção de que a energia nuclear e a de térmicas a carvão assumissem novamente papéis protagonistas no setor energético.

4.2 Políticas de incentivos no mundo

Historicamente, os preços do Wp da energia solar fotovoltaica foram altos, o que inviabilizava sua utilização econômica na maioria dos projetos, comparando com outros tipos de fonte de energia. Ao longo do crescimento de uma conscientização ambiental, aliada a avanços tecnológicos, os módulos ganharam maior visibilidade, e a produção se tornou escalável a ponto dos preços estarem caindo gradualmente. Em certos países utilizam-se incentivos do tipo *feed-in-tariff* (FiT) ou *feed-in-premium* (FiP) que dão vantagens monetárias ou fiscais à sistemas fotovoltaicos e, por vezes, também outros tipos de geração considerada limpa, que atendam a requisitos pré-determinados, viabilizando grandes quantidades de projetos em curtos períodos de tempo. Na Europa alguns países criaram incentivos monetários que tornavam as instalações não apenas viáveis como também lucrativas, obtendo altos índices de crescimento da capacidade instalada de energia fotovoltaica e, por vezes, desequilibrando o mercado energético. No ano de 2005 já 30 países haviam implantado algum tipo de FiT ou FiP, dentre os quais 8 eram países em desenvolvimento. Em 2012 este número aumentou para 60, com 30 países em desenvolvimento (IRENA, 2012).

O *feed-in-tariff* utiliza normalmente um mecanismo de dissolução de preços para cada tipo de geração, ou seja, um tipo de geração de energia mais barata recebe menos dinheiro, um tipo de geração de energia mais cara recebe mais dinheiro. Frequentemente este tipo de incentivo se dá a contratos de longo prazo com decaimento ao longo do tempo. Dessa forma,

para o consumidor final residencial por exemplo, o preço da energia é dado pelo preço médio ponderado de um portfólio de geração de energia de diversas origens, portanto esse tipo de incentivo encarece esse preço médio de energia pago pelo consumidor. No Brasil, por exemplo, onde o setor elétrico é pautado pela modicidade tarifária e a expansão do parque gerador se dá através de leilões, este tipo de incentivo não é possível de acordo com as leis e regulamentos setoriais. Porém, para contornar a situação, o governo pode fazer leilões específicos para determinados tipos de energia.

Diferentemente do anterior, o *feed-in-premium* é um incentivo monetário dado no topo do preço de mercado. Ou seja, o empreendedor deste tipo de energia incentivada recebe um bônus monetário a mais que o preço de mercado normal. O bônus pode ter valor máximo e mínimo e pode variar ou não com o preço de mercado, dependendo da política energética de cada país (IRENA, 2012).

Os incentivos FiT ou FiP variam de acordo com o país. Uma forma de alcançar o resultado esperado é que o prêmio pago por essa energia vá diminuindo de acordo com o crescimento da capacidade instalada e o planejamento elaborado, visando um mercado autossustentável. A Figura 19 ilustra a média de prêmios dados para os programas de FiT ao longo dos anos, além da estimativa de redução de custos de sistemas fotovoltaicos de larga escala. O prêmio tende a diminuir o crescimento da capacidade instalada.

Figura 19: Influência dos incentivos nos preços da energia, à esquerda e estimativa de redução de custos de sistemas FV em larga escala até 2050, à direita, ambos na Alemanha.

Gráfico: (Agora Energiewende Rosenstrasse, 2016).

É possível observar que, no mercado de energia norte americano, assim como na Alemanha, na França, e em outros países europeus, já houveram ocasiões de preços de energia *spot* negativos. Ou seja, o preço de curto prazo, de determinado período dentro do dia fica abaixo de zero. Isso significa que houve um excesso de oferta repentina de energia e o preço negativo representa os sinais de mercado adequado para reduzir a geração ou aumentar o consumo. Esse tipo de distorção ocorre quando há uma certa inflexibilidade de produção de energia no sistema de maneira que é economicamente vantajoso se consumir mais energia em vez de diminuir a produção. Também pode significar, em alguns casos, que certo tipo de geração, apesar de ser flexível, recebe outros incentivos financeiros, como por exemplo créditos tributários, fazendo com que, mesmo com certo patamar de preço negativo, seja vantajoso continuar a produção. Por exemplo, se uma usina de energia eólica recebe US\$ 20,00 de crédito tributário por MWh de geração, como incentivo para estimular as energias renováveis, então, para essa usina, mais vale não parar a produção até que o preço de curto prazo seja menor que US\$ 20,00 negativos.

4.3 Panorama Brasileiro

É recomendável que o Brasil se posicione adequadamente frente às tendências mundiais de energia para que seja possível o desenvolvimento de cadeias de valor que possam trazer vantagens socioeconômicas no futuro.

Em 2014 a hidroeletricidade representou 11,8% da produção de energia primária no Brasil. O petróleo respondeu por 42,8% dessa energia. Analisando o período de 10 anos, de 2005 a 2014, as energias renováveis passaram de 46,7% para 43,5% do total da produção anual. Isso demonstra que, ao contrário das tendências mundiais, aos poucos a energia renovável tem perdido espaço na matriz energética nacional, ou seja, há crescimento mais acentuado das fontes não renováveis. Nesses mesmos 10 anos, as fontes não renováveis cresceram 44%, enquanto as fontes renováveis apenas 26,8%. Vale notar o fato de que, desde algumas décadas, a energia primária é utilizada em sua maior parte (65% a 75%) nos processos de transformação e o restante (35% a 25%) no consumo final. A oferta interna de energia elétrica em 2014 teve como principais atores a hidroeletricidade, representando 65,2%, o gás natural com 13,0%, a

biomassa com 7,3%, derivados do petróleo com 6,9%, carvão e derivados com 3,2%, energia nuclear com 2,5% e energia eólica com 2,0%. (EPE (a), 2015)

O crescimento da produção e uso das energias não renováveis tem como base o fato de que um dos principais motores econômicos do país é a indústria automobilística. Com incentivos fiscais e o desempenho econômico brasileiro no período houve aumento de vendas de veículos, e o aumento acentuado de consumo de combustível leva a necessidade do mesmo aumento na produção de combustíveis.

Em 50 anos, de 1965 até 2015, o consumo anual de energia primária brasileira passou de 22,1 para 297,6 milhões de toneladas equivalentes de petróleo. Isso significa uma média de crescimento anual de aproximadamente 5,4%. Para comparação, nesse mesmo período de 50 anos, os Estados Unidos tiveram um crescimento médio de 1,2% ao ano, enquanto na China e Índia, esses valores foram de 6,4% e 5,3% respectivamente. Se esta mesma análise for feita para os últimos 10 anos, ou seja, de 2006 até 2015, o consumo anual de energia no Brasil cresceu numa média de 4,0% ao ano, enquanto os EUA não tiveram alteração significativa e a China e Índia respectivamente fecharam com crescimentos de 6,0% e 4,9% (BP Global, 2016). Por este fato conclui-se que o Brasil passa por um período de crescimento e maturação industrial. O país não alcançou um crescimento de consumo de energia tão elevado quanto a China e Índia, também porque a base em 1965 era bem distinta já que estes dois países possuíam consumo energético muito baixo. Porém, em relação aos EUA, o consumo de energia experimentou um crescimento mais acelerado. Cabe salientar que neste período de 50 anos, apenas em 4 destes anos ocorreu decréscimo no consumo anual de energia primária. O maior decréscimo ocorreu em 1981, chegando a queda de 2,5% em relação ao ano anterior.

Em 2015, a carga do SIN recuou 1,7%, passando de 65.085 MWmédio em 2014 para 63.987 MWmédio em 2015, alinhada com a alta do preço de energia ao consumidor, onde no setor residencial houve um aumento médio de 42,5 %, passando de R\$ 419 /MWh para R\$ 597 /MWh. No setor industrial houve, no período, um aumento de 51,7%, passando de R\$ 334/MWh para R\$ 507/MWh, além do aumento de 43,8% no setor comercial, passando de R\$ 369/MWh para R\$ 531/MWh. É evidente que os problemas de baixa precipitação e a consequente crise energética corroboraram para o aumento exacerbado das tarifas de energia, impulsionando a inflação, a crise econômica e a diminuição da produção industrial. (MME (a),

2015). Vale lembrar que neste período de 2014 e 2015 o salário mínimo nacional passou de R\$ 724,00 reais para R\$ 788,00, representando um aumento de 8,8% e em 2016 aumentou 11,7% para R\$ 880,00, sinalizando uma grande diferença em relação aos índices tarifários.

Em meados de 2016, os problemas hídricos amenizaram, os reservatórios aos poucos passaram a retomar sua capacidade e as bandeiras tarifárias passaram de vermelha para amarela e verde, sinalizando uma visão mais segura quanto ao suprimento energético. Com isso, o PLD, Preço da Liquidação das Diferenças, o preço *SPOT* de energia, onde se liquidam as diferenças entre contratos e consumo, teve uma queda brusca. Em consequência, os preços vistos pelo mercado livre, ficaram extremamente baixos em relação aos preços do mercado regulado, que, além de terem subido exorbitantemente, ainda estavam pagando as dívidas que foram tomadas de bancos públicos e privados para custear os déficits do setor em 2013 e 2014. Desta forma, os consumidores que eram aptos a migrar para o mercado livre como consumidores livres ou especiais perceberam grande vantagem econômica e decidiram migrar rapidamente, ocasionando elevada demanda de energia incentivada e, portanto, fazendo com que o preço aumente devido a razões mercadológicas e não energéticas.

4.4 As pesquisas sobre energia solar no Brasil

Pode-se considerar que os estudos mais relevantes da energia solar no Brasil, tratados apenas no ambiente acadêmico por um longo tempo, se iniciaram por volta de 1952, ano em que o Dr. Jaime Santa Rosa apresentou sua tese sobre as possibilidades de utilização da energia solar no nordeste brasileiro durante o X Congresso Brasileiro de Química. Naquele ano também durante o Dr. Theodoro Oniga fez as primeiras tentativas de implantação de um Centro de Pesquisas sobre energia solar no CEMA, Centro de Mecânica Aplicada, criado pelo CNPq, Conselho Nacional de Pesquisa, e localizado no INT, Instituto Nacional de Tecnologia (Fraidenraich, 2005).

Em 1954 houve a Conferência Mundial de Energia, na qual o CEMA apresentou um trabalho sobre energia solar, por Pierre Casal e outro sobre energia eólica, por Oniga. Foram disponibilizados recursos ao CEMA tanto para a contratação de alguns técnicos quanto para organizar o Primeiro Simpósio sobre Energia Solar, realizado em 1958. Em 1960 o CEMA

apresentou no Primeiro Encontro do Nordeste os primeiros coletores solares, construídos por Oniga. Em 1960 o CNPq deixou de financiar o CEMA, que desfez sua equipe, restando apenas os trabalhos individuais de Oniga. O CEMA foi desativado formalmente em 1967 (INT, 2005).

Já no ano de 1955 o Engenheiro Antônio Guilherme da Silveira liderou uma iniciativa infrutífera de instaurar o primeiro Laboratório de Energia Solar na Escola Politécnica de Campina Grande, no estado da Paraíba. Seus esforços não foram em vão, pois o assunto voltou à tona após o trabalho do Professor Júlio Goldfarb, “Perspectivas Para Utilização da Energia Solar no Nordeste Brasileiro”, apresentado no Primeiro Encontro Nacional de Astronomia realizado em Paraíba. Finalmente em fevereiro de 1973 foi criado o primeiro Laboratório de Energia Solar do Brasil na Universidade Federal do Paraíba, UFPB. (Martins, 2003)

Também no ano de 1973, foi realizado o Segundo Simpósio Brasileiro de Energia Solar, no Campus da UFPB, onde reuniram-se 178 professores e pesquisadores de diversas universidades brasileiras e estrangeiras (Fraidenraich, 2005).

Até a década de 1970 a tecnologia fotovoltaica era utilizada basicamente para aplicações aeroespaciais, em satélites artificiais, sendo sua única aplicação comercial até então. Com a crise do petróleo, esta tecnologia passou a ser considerada como uma possível solução para geração de energia elétrica também terrena. (Tolmasquim, 2003)

Naquela mesma década diversos laboratórios passaram a pesquisar sobre a energia solar no Brasil. A exemplo, o Laboratório de Microeletrônica do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade de São Paulo, USP, iniciou sua pesquisa sobre células solares em 1974. Na ocasião, o laboratório pesquisou técnicas de fabricação com o objetivo de reduzir os custos das células solares de Silício monocristalino. As pesquisas tiveram como base o conhecimento em microeletrônica para o desenvolvimento de lingotes de silício monocristalino através do método Czochralski utilizados para a fabricação de células fotovoltaicas. Já em 1976 foi criado o Laboratório de Energia Solar na Universidade Federal do Rio Grande do Sul com pesquisas nas áreas de conversão térmica e radiação solar (Vanni, 2008).

No ano de 1978 foi criado o Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energia na Universidade Federal de Pernambuco com pesquisas tanto em conversão térmica como

fotovoltaica. Em 1980 a Universidade Estadual de Campinas, Unicamp, iniciou sua pesquisa de células solares de silício cristalino, policristalino e amorfo também visando diminuição de custos, através do Laboratório de Conversão Fotovoltaica da Universidade de Campinas. O Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo iniciou suas pesquisas em energias renováveis em 1989, e seu Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos vem estudando sistemas fotovoltaicos tanto autônomos quanto integrados à rede elétrica (Vanni, 2008). Além destas pesquisas, também diversas universidades iniciaram suas pesquisas em algum campo da energia solar como a Universidade Federal do Rio de Janeiro e o Instituto Militar de Engenharia, por exemplo (Fraidenraich, 2005).

Já de caráter industrial e comercial, a empresa Fone-Mat, de telecomunicações, começou a produzir módulos fotovoltaicos no Brasil em 1979. Esta empresa utilizava células fotovoltaicas importadas da Solarex, fabricadas nos Estados Unidos, para produzir seus módulos. Também desenvolveu controladores de carga, solarímetros e outros dispositivos da área fotovoltaica. Os produtos visavam atender às necessidades das empresas de telecomunicações, principais consumidores destes produtos na época. Foi o primeiro período de comercialização de artigos fotovoltaicos no Brasil (Fraidenraich, 2005).

Em 1980 surgiu a empresa Heliodinâmica, que pretendia participar do desenvolvimento industrial da energia solar no Brasil. A empresa iniciou suas atividades na fabricação de coletores solares para aquecimento de água. Em 1982 a Heliodinâmica passou a utilizar o método Czochralski para produção de lingotes, lâminas de silício, células e módulos fotovoltaicos. Em 1985 a fábrica contava com cerca de 100 funcionários e tinha capacidade de produção de 1 MWp ano, escala que poderia ser equiparada com diversas empresas estrangeiras (Fraidenraich, 2005). Esta empresa operou até 1992 em um mercado protegido para produtos importados, porém o problema de falta de avanço tecnológico e dificuldades de escalabilidade da produção resultaram em perda de competitividade para o mercado globalizado (Moehlecke e Zanesco, 2012).

Apesar dos esforços dos grupos de pesquisa, principalmente da USP, Unicamp e PUCRS, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, a tecnologia nacional ficou obsoleta e não houve desenvolvimento de uma produção piloto em escala pré-industrial. Nota-se a importância do desenvolvimento da produção piloto em nível pré-industrial, que serviu de

embasamento para diversas indústrias, ao ver nos exemplos de países como Alemanha, Bélgica e Singapura. Apenas em 2004 houve a iniciativa de estabelecer uma linha de produção pré-industrial, através da transferência de tecnologias de fabricação do Núcleo de Tecnologia em Energia Solar, NT-Solar, da PUCRS. Com o objetivo de analisar a viabilidade técnica e econômica em escala industrial, este projeto teve a duração de 5 anos e fabricou mais de 12 mil células fotovoltaicas e 200 módulos. Houve o desenvolvimento de processos industriais tanto de alta eficiência, quanto outro de baixo custo, além de registros de duas patentes. (Moehleck e Zanesco, 2012).

Em conversa com o Professor Doutor Adriano Moehleck, neste projeto específico, financiado pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE), Centrais Elétricas do Sul do Brasil (Eletrosul) e a Petróleo Brasileiro (Petrobrás), o mesmo relatou que o laboratório fabricou módulos fotovoltaicos em escala piloto e, em sequência, foi desenvolvido um plano de negócios para uma indústria de células e módulos fotovoltaicos. Este plano de negócios foi realizado com financiamento da CEEE e Eletrosul e seu contrato é sigiloso, assim como muitos dados deste plano de negócios só poderão ser divulgados com autorização. Segundo o Prof. Dr. Moehleck, o maior problema identificado foi a falta de um mercado nacional sustentável para as indústrias de células e módulos fotovoltaicos. Outro problema também percebido foi a concorrência internacional: em 2011 por exemplo, em apenas um semestre, os chineses reduziram drasticamente o preço de venda destes equipamentos.

4.5 A energia solar fotovoltaica - Leilões de energia e preços

Leilão de Energia de Reserva é a modalidade de leilão que tem como objetivo a contratação de empreendimentos de Energia de Reserva. No SIN a existência de energia de reserva serve como um “seguro” de garantia física para o sistema. Isso significa que a demanda de energia do SIN é atendida pela geração disponível, que é basicamente hidráulica e térmica, e para garantir a segurança do suprimento, usa-se a energia de reserva. Apesar do nome deste leilão, os empreendimentos contratados nesta modalidade devem gerar energia na base do sistema, ou seja, antes mesmo do despacho do restante da matriz energética hidrotérmica. Os

primeiros leilões de energia de reserva aconteceram entre 2008 e 2013, onde foram negociadas as fontes biomassa, eólica e PCHs.

O mercado de energia solar nacional, apesar de inicialmente atrasado em relação aos países que são os grandes propulsores dessa fonte, está começando a se desenvolver. Como pôde ser observado no 6º LER, no ano 2014, pela primeira vez, ocorreu a negociação de energia de fonte solar fotovoltaica. Depois, no 7º e 8º LER, ambos realizados em 2015, também foram contratadas opções de energia provenientes de empreendimentos de geração fotovoltaica. Tais leilões têm obrigatoriedade de fornecimento por 20 anos.

Nesses leilões foram negociados 94 empreendimentos, somando um total de 678,9 MW médios de energia. Isto representou um aumento em aproximadamente 2.700 MW de potência do SIN. Os inícios das obrigações de suprimento dos 6º, 7º e 8º LERs são, respectivamente, outubro, agosto e novembro de 2017.

Especificamente no 6º LER de 2014 o preço chegou a um dos menores patamares mundiais em energia fotovoltaica, o preço médio praticado foi de R\$ 215/MWh, ou US\$ 87,80/MWh, com a cotação do dólar da época, segundo menor preço do mundo, naquela ocasião (Dezem, 2015). Aquele preço representou um deságio 17,9% do preço inicial máximo do leilão que era R\$ 262/MWh, para fonte solar fotovoltaica (EPE (a), 2014). Com a desvalorização do real, este preço se tornou impraticável. Por este motivo, as empresas contratadas neste leilão, com exceção da Enel, pediram a prorrogação do prazo de entrada em operação comercial para a ANEEL, o que lhes foi negada (Teixeira, 2016). A negação é considerada normal, já que esta agência costuma negar este tipo de pedido, com o argumento de que o risco de mercado e risco cambial fazem parte dos riscos aos quais são assumidos pelos empreendedores nas contratações através do leilão (Neves, 2016).

O 7º LER teve um preço médio de R\$ 301,79/MWh, ou US\$ 85,98/MWh, com a cotação do dólar da época, o que representou um deságio de 13,5% em relação ao preço inicial do leilão de R\$ 349,00/MWh. Já o 8º LER, para o produto de fonte solar, teve um preço inicial de R\$ 381,00/MWh e o preço médio do leilão foi de R\$ 297,75/MWh, ou US\$ 78,82/MWh, com a cotação do dólar da época, o que significa que houve um deságio de 21,8%. Se observarmos os três leilões em conjunto, o preço médio ponderado foi de R\$ 274,53/MWh. Pode-se também observar o fato de que todos os projetos são de potência máxima de 30 MW,

que é motivado pelos incentivos de desconto da TUSD e TUST (80%) descritos nas resoluções setoriais (EPE (a), 2016), (EPE (b), 2015).

Os 7º LER e o 8º LER também tiveram preços equivalentes, muito próximos em dólar, do 6º LER, considerando as cotações nas épocas dos leilões. Entretanto, os preços baixos levam a dúvidas sobre o modelo de leilão implementado. Por um lado, as empresas contratadas para a construção e operação das usinas fotovoltaicas pedem mais subsídios e ajudas governamentais para cumprirem com suas obrigações, argumentando sobre as mudanças do cenário econômico em relação à época dos leilões e correndo o risco da desobrigação de suas responsabilidades. Por outro lado, empresas mais precavidas, que incluíram estes riscos nos seus modelos econômicos não conseguiram chegar a um preço tão competitivo nos leilões e perderam os contratos. Ou seja, para o sistema elétrico, se algumas medidas de subvenção não forem tomadas, há um grande risco da não construção destas usinas, criando diversos problemas ao sistema, prejudicando inclusive o consumidor final, assim como as empresas contratadas que terão de arcar com as questões judiciais envolvidas. Já se houver algum benefício a mais em prol desta situação, o regulador será injusto quanto aos parâmetros pré-definidos para os leilões, declarando que o que o modelo de leilões está inválido e falido, causando riscos maiores para todos os futuros leilões de energia.

Uma figura de mérito comum em projetos de energia solar fotovoltaica é o fator de capacidade. Basicamente é calculado dividindo-se a energia gerada (ou prevista) pela energia total possível de geração com aquela potência. Ou seja, energia gerada sobre a energia possível de ser gerada caso o sistema funcionasse a potência plena durante todo o período averiguado. No dividendo pode-se utilizar a energia gerada na saída do gerador fotovoltaico em c.c. ou na saída do inversor em c.a. dependendo da referência que se quer utilizar. Claro que, como a energia na saída do inversor em C.A. é menor devido a própria eficiência e capacidade de potência do inversor, o fator de capacidade calculado com base na energia gerada a partir da saída do inversor, ou seja, do sistema completo, fica relativamente menor.

O 6º Leilão de Energia de reserva possui um fator de capacidade médio de 19,3%, sendo que 32% das instalações terão seguidores solares (EPE (a), 2014). Já o 7º LER contou com um fator de capacidade médio de 22,3%, variando entre 18,8% a 24,3%, sendo que 90% dos projetos possuem seguidores (EPE (b), 2015). No 8º LER o fator de capacidade médio

considerado foi de 22,0%, sendo que 73% dos empreendimentos terão seguidores (EPE (a), 2016). Na média de todos os leilões analisados, o fator de capacidade está em torno de 21%. Os valores de fator de capacidade mencionados acima foram calculados com referência a potência em corrente contínua (MWp) na saída do módulo. Se forem tomados como referência os valores de potência em corrente alternada na saída do inversor, o fator de capacidade na média seria de 25,7%.

A maioria dos empreendimentos situa-se no nordeste brasileiro, sendo a Bahia o Estado com maior contratação, como exibido na Tabela 1. Minas Gerais e São Paulo estão em segundo e terceiro lugares respectivamente, em quantidade de potência contratada.

Tabela 1: Resultados dos LERs (6º, 7º e 8º).

Elaboração própria. Dados (CCEE, 2016).

Estado	Potência MW	Contratação MWm	Fator de Capacidade C.A.	Preço Médio R\$/MWh
BA	893,8	239,0	26,7%	265,49
MG	510,0	135,6	26,6%	286,71
SP	275,0	54,4	19,8%	220,15
PI	270,0	77,2	28,6%	302,97
CE	180,0	49,2	27,3%	271,60
RN	170,0	48,3	28,4%	282,90
PB	144,0	33,9	23,5%	283,52
PE	105,0	22,1	21,0%	292,38
TO	95,0	17,4	18,3%	298,08
GO	10,0	1,8	18,0%	220,00

4.6 Regulação

No âmbito regulatório, houve um avanço considerável com a Resolução Normativa (REN) 482/2012 que estabelece as condições de acesso à rede de distribuição elétrica a microgeração e minigeração distribuída. Ainda nesta resolução estabelece-se um sistema de compensação onde a geração dos micro e minigeradores será compensada com seu consumo. Definiu-se em 2012 que microgeração distribuída teria como limite sistemas de 100kW para injeção na rede e minigeração seria de 100kW a 1GW. Essas definições complementaram a REN 481/2012 que estabeleceu descontos na Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) e na Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão (TUST) para fontes de energia solar de até 30MW. Esses descontos são de 80% nos 10 primeiros anos e de operação comercial e de 50%

nos demais anos para empreendimentos que entrarem em operação comercial até o fim de 2017. A partir de 2018 as usinas com essas características que entrarem em operação comercial terão desconto de 50% na TUSD e TUST. Também foi estabelecido desconto de 50% nestas tarifas para empreendimentos com até 300.000 kW de potência que entrarem em operação a partir de 2016. Os descontos são importantes pois, além de um incentivo econômico, torna esses empreendimentos aptos a vender energia no mercado livre incentivado, ou seja, venda direta para consumidores especiais que possuem demanda maior que 500 kW e optam por comprar energia no mercado livre, com a restrição de serem obrigados comprar energia incentivada.

Portanto, com a REN 481 entende-se o motivo dos leilões de energia de reserva com fonte solar terem sido planejados para entrar em operação até o fim de 2017, e também o motivo os empreendimentos serem parques de 30MW. Em 2015 a resolução foi colocada em consulta pública e passou por modificações. Por fim, a microgeração distribuída ficou limitada à 75kW e a minigeração distribuída é entre 75kW e 5MW de potência instalada, exceto para energia hídrica que é entre 75kW e 3MW. O sistema de compensação também foi alterado, passando do prazo máximo de 36 meses para 60 meses para a compensação.

4.7 Demanda de energia e perspectivas

No Brasil a eletricidade no uso final de energia corresponde a apenas 17% desse montante. É evidente que, a longo prazo, a expectativa é de crescimento econômico, aumento da capacidade de consumo dos cidadãos e melhoramento do conforto e qualidade de vida. A vista destas constatações, se conjectura um maior uso de aparelhos elétricos e também, com o advento dos carros elétricos e híbridos, a porcentagem de eletricidade aumente gradativamente na matriz energética. Segundo dados do relatório Projeção de Demanda de Energia Elétrica, da EPE, é estimado para 2025 mais de 93 GW médios de carga de energia do SIN, perto de 45% a mais do esperado para o ano de 2016 (EPE (b), 2016).

O gráfico da Figura 20 mostra a quantidade de energia por uso final que foi consumida em 2014. Constata-se que o percentual de utilização de energia elétrica ainda é baixo e há espaço para um processo de substituição de energia fóssil por energia elétrica. Espera-se,

entretanto, que o incremento adicional de capacidade elétrica venha principalmente de fontes renováveis e menos agressivas ao ambiente (EPE (a), 2015).

CONSUMO FINAL DE ENERGIA POR FONTE 2014

Figura 20: Consumo Final de Energia por Fonte.

Elaboração própria. Dados do BEN 2015 ano base 2014 (EPE (a), 2015).

No Brasil o horário de ponta, tipicamente entre as 17h e 21h está, aos poucos, se alterando para horários entre 10h e 12h30min e entre 13h30min e 16h, principalmente no verão. Isso se deve em parte pelo aumento do uso de sistemas de ar condicionado naqueles horários, além da contribuição da geração distribuída, por parte dos consumidores, que visam otimização dos custos de energia nos horários de tarifa elevada das distribuidoras. Ou seja, nos horários de ponta, em que a energia é mais cara, os consumidores acionam geradores próprios para suprir sua demanda. Caso não houvesse essa geração distribuída, provavelmente o horário de ponta teria se mantido em torno das 19h (EPE (c), 2015). A utilização de aparelhos de ar condicionado ocorre em geral em dias mais quentes, com maior intensidade solar, justamente quando a geração de energia fotovoltaica é mais eficiente (Coutinho e Oliveira, 2014). Os sistemas de geração fotovoltaica, contribuem naqueles outros horários de alta demanda energética, que coincide com a curva típica de geração fotovoltaica, ajudando o sistema nos horários de alto fator de carga. A título de complementação, a geração distribuída diminui a perda técnica da rede, que é em torno de 15%.

A EPE, no ano de 2014, divulgou um estudo denominado Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil, baseado no trabalho de Konzen que utilizou o modelo de difusão de inovações de Bass para levantar o mercado potencial de sistemas fotovoltaicos (Konzen, 2014). Naquela ocasião a EPE estimou que a capacidade de geração fotovoltaica distribuída em telhados é de 32 GW médios, mais de 2,1 vezes o consumo do segmento residencial no ano de 2015. A estimativa é de que, em 2023, poderá haver de 835 GWp a 1,3MWp de capacidade instalada fotovoltaica distribuída. Esta variação é dependente da isenção do Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços, ICMS, sobre a energia compensada. Nesse contexto se prevê que a oferta interna de energia conterá mais energia de fontes renováveis em 2024. Sua expansão será maior para fontes renováveis de energia (17,8% do total em 2024) em comparação com a energia gerada por fontes não renováveis (15,6% do total em 2024), como mostra a Figura 21 (EPE (b), 2014).

Figura 21: Evolução Esperada da Oferta Interna de Energia.

Elaboração própria. Dados (MME (b), 2015).

5. AÇÕES RECENTES NO BRASIL

Há diversos programas que já foram implementados no Brasil afim de incentivar o crescimento da indústria nacional e a disseminação no uso da energia solar fotovoltaica. Como exposto anteriormente, a matriz de geração de energia elétrica brasileira é, na sua maior parte, renovável. Como o Brasil possui grande percentual de energia renovável, comparado com outros países, notadamente a de origem hidráulica, os incentivos ao desenvolvimento de outras fontes de energia renovável não foram aplicados de maneiras tão intensa como ocorre em países europeus, na China, no Japão e nos EUA, que possuem parque gerador atrelado a maior emissão de gases de efeito estufa (Silva, 2015).

Cabe frisar o fato de que o Proinfa não englobou a energia solar fotovoltaica. Naquela ocasião os preços desta fonte eram exorbitantes e não seria justificável sua entrada no Programa. O rápido desenvolvimento da energia eólica no país justifica-se inclusive ao fato de sua inserção no Proinfa. Muito provavelmente se a energia solar fotovoltaica tivesse participado do Proinfa o Brasil já teria um mercado mais desenvolvido, com a devida escala necessária para justificar a produção industrial e com preços reduzidos comparados aos atuais.

5.1 Políticas e programas de incentivo

O BNDES, Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, após o leilão de outubro de 2014, no qual foram contratadas as fontes solares, divulgou um documento onde estipula a Metodologia para Credenciamento e Apuração de Conteúdo Local de Equipamentos Fotovoltaicos no Credenciamento de Fabricantes Informatizado – CFI do BNDES. Para conseguir o financiamento de partes do novo projeto junto ao BNDES os candidatos-empresendedores devem fazer um cadastramento prévio como condição para uma análise das partes fabricadas nacionalmente para concessão de créditos. Nesse documento o BNDES determina as etapas físicas e conteúdo local que deverão ser cumpridos pelo fabricante. Dessa maneira definiu-se o Fator de Nacionalização, “Fator N”, que é obtido através da somatória dos percentuais de ajuste também prescritos no documento. Esse “Fator N” é multiplicado pela participação máxima da Linha de Financiamento, obtendo-se assim a porcentagem dos gastos que poderá ser financiada pelo banco.

No Regulamento para o Credenciamento de Máquinas, Equipamentos, Sistemas Industriais e Componentes no Credenciamento de Fornecedores Informatizado (CFI) do BNDES, o banco define no Artigo 3º o Plano de Nacionalização Progressiva, cronograma para a nacionalização progressiva da produção de máquinas, equipamentos e componentes. Estes artigos devem passar a ser produzidos no país e atender os requisitos mínimos exigidos pelo BNDES para que o banco faça o financiamento de projetos ou equipamentos.

No caso da energia solar fotovoltaica a Metodologia para Credenciamento e Apuração de Conteúdo Local de Equipamentos Fotovoltaicos no Credenciamento de Fabricantes Informatizado – CFI do BNDES foi divulgada pelo banco para que os empreendedores tenham um documento para respaldar e nortear as estratégias de atuação no setor, com certa garantia de financiamento.

A metodologia prevê três tipos de componentes e/ou processos a serem cumpridos pelos fabricantes para incorporar a somatória do Fator N. São estes: itens básicos, obrigatoriamente nacionais e serão exigidos para o credenciamento e manutenção do cadastro CFI do BNDES; itens opcionais, não obrigatoriamente nacionais, porém seus percentuais somam no “Fator N” e ao longo do tempo esses itens deverão ser incorporados a cadeia produtiva para que se consiga uma manutenção da mesma porcentagem do “Fator N”; itens prêmios, assim como os opcionais, não são obrigatoriamente nacionais, porém não se tem a obrigação de incorporação ao longo do tempo para a manutenção do “Fator N”. Assim, o “Fator N” apenas aumenta após a incorporação de um novo componente na cadeia produtiva nacional. Além disso, esses itens adicionam o “Fator N” até mesmo antes da sua incorporação no módulo.

Desta forma foram especificados três produtos que podem ser alvo de financiamento pelo BNDES: Módulos com tecnologia a base de silício cristalino; Módulos com tecnologia filme fino; Sistemas fotovoltaicos com qualquer tecnologia. Cada tecnologia possui seus critérios específicos para se obter o fator de nacionalização.

Caso os inversores a serem utilizados no sistema não estejam credenciados no CFI do BNDES, o projeto não fará jus ao acréscimo do percentual de ajuste de 20% (vinte por cento) no Fator N do sistema fotovoltaico.

A partir desses valores, o documento do BNDES também estipula um cronograma para manutenção do financiamento, onde alguns itens opcionais no primeiro momento vão se tornando obrigatórios. Se o fabricante não cumprir com o cronograma, o seu “Fator N” será diminuído. A metodologia completa encontra-se no Anexo A.

A movimentação do setor trouxe à tona questões importantes para a determinação da viabilidade econômica da geração solar distribuída: *net metering*, mecanismos de compensação pela energia injetada, problemas tributários, *Feed In Tariff*, entre outros. As atividades regulatórias, como *net metering*, descontos nas tarifas de transmissão e distribuição, fixação do preço de venda da energia para a distribuidora, representam importantes incentivos, aproveitados pelo BNDES em sua política de financiamento de projetos de energias alternativas, dentre elas a solar.

Há alguns trabalhos e análises que sugerem a fabricação de silício grau solar no Brasil, preconizando atitudes governamentais mais firmes e manifestando que há conhecimento, tecnologia e matéria prima suficiente para tal (Assunção, 2010).

Os trabalhos “Energia solar fotovoltaica no Brasil: subsídios para tomada de decisão”, “Energias Renováveis: Riqueza sustentável ao alcance de todos” e no “BNDES Setorial 40”, vêm apontando a necessidade cada vez mais urgente do Brasil entrar nesse mercado de fabricação do silício grau solar e criar mecanismos para a difusão acentuada da utilização das células fotovoltaicas, juntamente com pesquisa e desenvolvimento tecnológicos que possam agregar valor de mercado ao produto nacional. (Assunção, 2010), (Coutinho e Oliveira, 2014), (Uczai, Tavares e Queiroz Filho, 2012)

De fato, quanto mais tardio for o desenvolvimento de uma indústria nacional, mais difícil será para conquistar mercados internos e externos e ganhar espaço junto à concorrência. O não desenvolvimento desse ramo industrial acarreta na dependência de mais produtos manufaturados estrangeiros, normalmente com altos valores agregados e que oscilam de preço e qualidade em decorrência de câmbio, situação econômica, matéria prima, entre outros.

Assim como aconteceu na indústria eólica e ainda acontece, analisando-se que a geração distribuída dessa fonte ainda é pouco explorada no Brasil, a indústria solar fotovoltaica carece de incentivos para tornar-se atrativa economicamente. Se o país realmente quer ser capaz

de ter uma indústria competitiva e fontes alternativas consolidadas em sua matriz energética é razoável que sejam elaboradas, nessa fase embrionária, políticas públicas de concessão de créditos e desoneração tributária da cadeia produtiva para ultrapassar a barreira tecnológica altamente custosa e arriscada. Tomando como exemplo experiências internacionais, o mercado por si só não é eficaz para indicar os rumos da expansão para uma matriz alternativa e diversificada, fontes mais limpas são usualmente mais caras. (Dantas e Leite, 2009)

A ausência de incentivo ligado ao ICMS, Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação, é um exemplo que ilustra a necessidade de atuar nos mecanismos existentes e não utilizados. Por exemplo, o Convênio ICMS 6, que foi estabelecido em 2013 e vigorou até 2015, de maneira que os micro e minigeradores distribuídos que participam do sistema de compensação de energia deve pagar o valor do ICMS para o Estado relativo a energia bruta consumida, antes de qualquer compensação. Essa forma de cobrança acarreta em desincentivo para que os micro e minigeradores injetem energia na rede, afetando a competitividade e perspectivas de maior penetração da micro e minigeração distribuídas (EPE (b), 2014).

Em abril de 2015 o Confaz, Conselho Nacional de Política Fazendária, publicou o Ajuste SINIEF 2, no qual já é prevista a isenção do ICMS para os micro e minigeradores distribuídos, dependendo do incentivo de cada unidade federativa. Ou seja, a isenção do ICMS dependerá das políticas de cada Estado. Até maio de 2016 os estados de São Paulo, Roraima, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Goiás, Rio Grande do Norte, Ceará, Bahia, Maranhão, Rio Grande do Sul, Amazonas, Pernambuco, Acre, Alagoas, Tocantins, Mato Grosso além do Distrito Federal já aderiram ao sistema de isenção do ICMS. Dessa forma, quando houver compensação de energia, haverá isenção de ICMS correspondente à energia gerada pelo sistema de geração distribuída. Portanto, a cobrança do ICMS será apenas pelo valor líquido do mês. (CONFAZ, 2015).

5.2 Outras iniciativas

Além dos benefícios de descontos na TUST, TUSD, o sistema de compensação de energia e o convênio CONFAZ de isenção de impostos, já comentados acima, alguns outros importantes programas e incentivos pró energia solar fotovoltaica são comentados abaixo.

Como já comentado, o Programa Luz para Todos, Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica, que tem como objetivo levar acesso a eletricidade para áreas remotas, principalmente rurais. O programa que teve início em 2003 foi prorrogado até 2018 e cerca de 15,7 milhões de pessoas foram beneficiadas até abril de 2016. Os recursos, que ultrapassaram 20 bilhões de reais, provém da Conta de Desenvolvimento Energético (CDE) e da Reserva Global de Reversão (RGR), além de suporte de governos estaduais e de empresas concessionárias. Dentre os maiores benefícios de se eletrificar essas áreas é a possibilidade das famílias adquirirem luz elétrica, eletrodomésticos básicos como geladeira e televisão, e a construção de postos de saúde locais. Dentro do Programa Luz para Todos, muitas comunidades já foram atendidas por Microsistemas Isolados de Geração e Distribuição de Energia Elétrica (MIGDI) e Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes (SIGFI) através de geração fotovoltaica, principalmente em ilhas e sistemas isolados em que os custos da construção de linhas para transmissão são muito elevados (MME (a), 2016).

O Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura (REIDI) é um benefício direcionado a projetos de infraestrutura para o desenvolvimento econômico e social da região do projeto. Através do REIDI é possível obter suspensão do pagamento do Programa de Integração Social ou Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público, PIS/PASEP, e COFINS, Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social, para determinados bens e serviços utilizados em ativos imobilizados de projetos de infraestrutura de transporte, portos, energia, saneamento básico e irrigação (SRT ANEEL, 2015). No caso da energia, os projetos devem ser aprovados pelo MME, Ministério de Minas e Energia, através de processo instruído pela ANEEL e isentam daqueles impostos, por cinco anos, a venda e importação de certos produtos e serviços utilizados, inclusive para geração solar. Em julho de 2016 pelo menos 55 projetos relacionados a geração fotovoltaica já tinham sido aprovados pelo Ministério (MME (b), 2016).

O Convênio nº 101, de 1997, do CONFAZ, isenta a cobrança de ICMS de diversos produtos utilizados em projetos de energia solar, inclusive fotovoltaica e também geração de energia eólica. Outros equipamentos, não exclusivos das instalações de geração de energia fotovoltaica, como os medidores e inversores não entraram na lista de isenção (Silva, 2015).

O PADIS, Programa de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Indústria de Semicondutores e Displays, regulamentado pelo Decreto Nº 6233 de outubro de 2007, foi criado inicialmente para incentivar indústrias de equipamentos para TV digital e de componentes eletrônicos semicondutores. O programa, que foi renovado através da PCL 21/2015, prevê a isenção de Imposto de Renda e redução a zero das alíquotas de PIS/PASEP e COFINS, e IPI para determinados produtos, inclusive importados. Em 2014 houve a inclusão de equipamentos fotossensíveis, inclusive as células fotovoltaicas, mesmo montadas em módulos ou painéis, além do silício grau solar como produtos passíveis de benefícios. Cabe observar que os benefícios do PADIS são condicionados à investimentos em programas de P&D pelo beneficiário, utilizando parte da sua receita, diminuída de impostos, para este fim. Vale ressaltar certo risco atrelado a este projeto, já que ao incentivar a importação através da isenção de impostos para disseminar o uso do recurso solar, também pode afastar possíveis investidores internos pois diminui a atratividade de uma indústria nacional. E ainda mais, se não bem estabelecido, este tipo de incentivo, que isenta impostos de produtos importados, sendo que produtos nacionais possuem altas cargas tributárias, torna a concorrência deste mercado desleal.

Nas áreas de atuação da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), da Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM) e da Superintendência do Desenvolvimento do Centro-Oeste (SUDECO), projetos em setores prioritários tem redução de imposto de renda. Nestas áreas da Sudene e da Sudam o setor energético é considerado um setor prioritário. Já na área da SUDECO, projetos de áreas como energia elétrica e energia renovável que utilizem ou contribuam com novas tecnologias são considerados projetos prioritários.

Em relação à Pesquisa e Desenvolvimento houve, em 2011, a chamada pública da ANEEL “Arranjos técnicos e comerciais para inserção de projetos de geração solar fotovoltaica na matriz energética brasileira”, onde foram selecionados 17 projetos a serem instalados até 2015 em diversas regiões do Brasil. O objetivo da chamada pública foi de contribuir com a

diversificação da matriz energética nacional, demonstrar a viabilidade técnica e econômica desta fonte, gerar alianças estratégicas, tudo destinado a alimentar o desenvolvimento de negócios sustentáveis (ANEEL, 2011).

O Laboratório de Energia Fotovoltaica Richard Louis Anderson foi inaugurado em agosto de 2014, em Campinas tem como objetivo trabalhar na área de geração de energia fotovoltaica integrada a edificações através de módulos customizados. Com investimentos de 2,5 milhões de reais em uma área da energia fotovoltaica ainda não muito explorada no Brasil, espera contribuir com o rápido desenvolvimento deste nicho de mercado (Agência Gestão CT&I, 2014).

O Fundo Solar é uma iniciativa do Instituto Ideal em parceria com a organização alemã sem fins lucrativos Grüner Strom Label, que gerencia um selo de eletricidade verde da Alemanha. Este fundo, entre 2013 e 2016, forneceu valores entre 1 mil e 5 mil reais a fundo perdido para viabilização de projetos residenciais de geração distribuída. Até 2016 foram apoiados pelo Fundo Solar 43 projetos de microgeração distribuída de energia fotovoltaica, com o total de 130 kWp de potência instalada e 138 mil reais aplicados nos projetos. O objetivo do projeto é impulsionar a propagação da fonte fotovoltaica no Brasil e ajudar a identificar e elaborar soluções para os desafios deste mercado (América do Sol, 2016).

Em 2012 o Instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas para a América Latina (Ideal) e a CCEE lançaram o Selo Solar, concedido às empresas ou instituições que consumam um valor mínimo de energia proveniente de sistemas fotovoltaicos conectados à rede ou através da contratação no mercado livre de energia.

Há programas que visam o financiamento de projetos de formas diferenciadas. Através do BNDES é possível financiar projetos a taxas abaixo do mercado, como já mencionado acima. O Apoio a Projetos de Eficiência Energética (PROESCO) que visa beneficiar as Empresas de Serviços de Conservação de Energia (ESCOs) ou usuários finais de energia é um exemplo de financiamento diferenciado do BNDES, onde o banco financia até 80% do valor de estudos, projetos, obras, instalações, equipamentos, maquinários, dentre outros. Entre diversos focos, a distribuição de energia e gerenciamento energético são itens que enquadram alguns projetos de energia solar fotovoltaica. O valor mínimo financiável é de 5

milhões de reais e o prazo normal é de 72 meses com juros mínimos de 1% ao ano (Abesco, 2015), (BNDES (a), 2016).

A Finep, participa do Plano Inova Empresa, conjunto de programas de diversas áreas visando a construção de políticas de inovação tecnológicas, através de fomento de P&D nas empresas, parcerias entre empresas e instituições tecnológicas e incentivo de projetos com maior risco tecnológico. Lançado através da Lei Nº 12.114 de dezembro de 2013, o programa contava com R\$ 32,9 bilhões de dotação (FINEP, 2014). Dentro as modalidades do programa, o Plano de Ação Conjunta Inova Energia foi uma iniciativa destinada a fomentar inovação no setor energético e integrou recursos do BNDES, a ANEEL e a FINEP para:

- Apoiar o desenvolvimento e a difusão de dispositivos eletrônicos, microeletrônicos, sistemas, soluções integradas e padrões para implementação de redes elétricas inteligentes (*smart grids*) no Brasil;
- Apoiar as empresas brasileiras no desenvolvimento e domínio tecnológico das cadeias produtivas das seguintes energias renováveis alternativas: solar fotovoltaica, termossolar e eólica para geração de energia elétrica;
- Apoiar iniciativas que promovam o desenvolvimento de integradores e adensamento da cadeia de componentes na produção de veículos elétricos e híbridos a etanol, e melhoria de eficiência energética de veículos automotores no País; e
- Aumentar a coordenação das ações de fomento e aprimorar a integração dos instrumentos de apoio financeiro disponíveis.

Nesta modalidade do Inova Energia houve uma demanda de 12,3 bilhões de reais por parte das empresas e instituições científico tecnológicas. O programa selecionou 58 empresas com demanda de cerca de 3,44 bilhões de reais (Portal Brasil, 2014).

O Programa Fundo Clima, destinado a aplicar recursos reembolsáveis vinculados ao Ministério do Meio Ambiente tem como finalidade garantir recursos a projetos ou estudos de financiamento de empreendimentos que mitiguem as mudanças climáticas. O BNDES se comprometeu a utilizar recursos deste fundo para financiamento de projetos de energia solar fotovoltaica do 6º LER, que seria cerca de 560 milhões de reais (BNDES, 2014)

O ProGD, Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica, lançado em dezembro de 2015 visa promover a ampliação da geração distribuída de energia elétrica nos próprios consumidores, através da geração de energia renovável e cogeração. Segundo o MME, o programa pode movimentar perto de R\$ 100 bilhões até 2030, chegando a um total de 2,7 milhões de unidades consumidoras com geração de energia própria, que pode resultar em 23,5 MW de potência instalada de energia limpa e renovável, evitando emissão de 29 milhões de toneladas de CO₂ na atmosfera. Foi criado um grupo de trabalho que irá propor melhorias (MME (c), 2015).

A Portaria Nº 538 de dezembro de 2015, além de oficializar a criação do ProGD, estipulou valores fixos para fontes solar fotovoltaica e cogeração de gás natural. Os Valores Anuais de Referência Específicos, VRES, para fonte solar fotovoltaica é de R\$ 454,00/MWh com atualização monetária realizada de acordo com o índice IPCA. Farão jus aos VRES os empreendimentos de geração distribuída que sejam unidades consumidoras ligadas à rede de distribuição, com capacidade instalada menor ou igual à potência disponibilizada para a unidade consumidora e limitada a 30MW. De acordo com o Decreto Nº 5.163 de julho de 2004, as concessionárias de distribuição podem contratar até 10% da sua carga de empreendimentos de geração distribuída, contratação que deve ser efetuada através de chamadas públicas.

Juntamente com os diversos incentivos que foram dados, houve redução de imposto de importação de 14% para 2% incidentes sobre bens de capital destinados à produção de equipamentos de geração fotovoltaica até o final de 2016 (MME (c), 2015).

A Lei nº 13.203, de dezembro de 2015 autorizou o BNDES a direcionar recursos com taxas diferenciadas para instalação de sistemas de geração de energia elétrica através de fontes renováveis e também para eficiência energética em instalações de escolas e hospitais públicos.

Na época da conclusão deste texto, julho de 2016, já existiam algumas empresas atuando na montagem de módulos fotovoltaicos no Brasil. Tais como a Globo Brasil em Valinhos (SP), Tecnometal DYA em Campinas (SP), Minas Sol em Araguari (MG), Sunew, Belo Horizonte (MG), Pure Energy em Marechal Deodoro (AL). A maior delas, a Globo Brasil, com uma capacidade de produção de 180MW por ano.

Em 2014 a empresa Pure Energy obteve 4 financiamentos do BNDES totalizando 26 milhões de reais, com taxa de juros entre 3 e 5% ao ano, prazo mínimo de carência de 18 meses e prazos de pagamento de 96 meses e de 126 meses. O valor foi disponibilizado pelo banco para a implantação da fábrica de painéis fotovoltaicos de Marechal Deodoro/AL e para desenvolvimento e adaptação de componentes dos painéis fotovoltaicos. Este valor representa 75% do investimento total da empresa. Cada parte do projeto recebeu uma certa quantidade de recursos de vários fundos. Dos gastos operacionais, 90% foram financiados pelo Fundo Clima, Subprograma Energias Renováveis, dos gastos com inovação, 90% foram financiados pelo Fundo Clima, Subprograma Projetos Inovadores. O BNDES também financiou 90% dos gastos com equipamentos importados sem similar nacional, e alguns gastos com equipamentos nacionais (BNDES, 2015).

Também em 2014 o BNDES concedeu ao IPT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 11,6 milhões de reais a fundo perdido para financiamento de um projeto para obtenção de silício grau solar e grau metalúrgico através do aperfeiçoamento da purificação de silício grau metalúrgico com o objetivo de produzir células e painéis fotovoltaicos (BNDES (b), 2016).

A política energética para energias renováveis no Brasil está em fase de maturação. Seguindo as tendências de diversos países desenvolvidos, o Brasil está incipiente na geração solar fotovoltaica, geração distribuída nas próprias unidades consumidoras e no setor industrial de módulos fotovoltaicos. Apesar das diversas ações já realizadas, ou em andamento, é necessário que mais ações positivas sejam implementadas para que se obtenha um resultado mais acelerado e satisfatório.

Os LERs realizados, que contrataram energia proveniente de fonte solar fotovoltaica, foram decisivos para alavancar os negócios deste tipo de geração de energia. O resultado dos leilões tem incentivado o mercado, outros investidores e entusiastas da sustentabilidade e tem servido para viabilização de outros projetos, apesar dos problemas já citados. Em julho de 2016 haviam mais de 3500 projetos de micro e minigeração de energia fotovoltaica, sendo que mais de 60% desses projetos foram instalados em 2016. Este rápido crescimento e a previsão de mais projetos a serem viabilizados, com benefícios do BNDES com certo grau de nacionalização, atrai mais montadoras, barateando o produto. Por consequência,

também incentivam fabricantes nacionais a adaptarem seus produtos para atenderem a demanda das montadoras, ou mesmo criarem novas linhas de produção.

Em 2016 o Brasil já possui empresas montadoras de módulos, cursos especializados para instaladores, e diversificação em modelos de negócios para geração distribuída. Porém, como já comentado, dentre os empreendedores que foram selecionados nos LERs, alguns pediram à ANEEL a prorrogação dos prazos de entrada em operação comercial e o mercado de energia está com receoso que estes empreendimentos não cumpram com suas obrigações comerciais. Este tipo de situação gera desconforto e instabilidade no mercado. Por um lado, se o MME perdoar as dívidas ou afrouxar as regras para aqueles empreendedores, não seria justo para empreendedores de outros projetos que venceriam o leilão caso os preços fossem mais elevados. Também não seria justo com os empreendedores que estão construindo as usinas, apesar, mesmo em condições adversas. Ou seja, acarretaria em insegurança regulatória e abriria precedentes para outros erros do mesmo tipo. Por outro lado, caso nada aconteça, corre-se o risco de frustração dos empreendimentos e o sistema como um todo sairia prejudicado, além dos próprios empreendedores que teriam que arcar com as consequências do descumprimento de suas obrigações comerciais.

O cenário ratifica a ideia que o setor está ainda em período de maturação, com diversos problemas não resolvidos, inclusive com erros dos próprios investidores. O preço de contratação daqueles empreendimentos nos leilões foi próximo do limite da competitividade. Caso o preço de contratação fosse um pouco mais elevado, pouco influenciaria no custo da energia ao consumidor final e haveria maior chance de que a empresa contratada mantivesse seu equilíbrio econômico financeiro, mesmo que com lucro reduzido.

Dentre algumas possibilidades, os empreendedores sugerem a contratação de leilões para 25 ou até 30 anos, que coincidiria com a vida útil dos equipamentos mais custosos. Há fabricantes que garantem que, após 25 anos de uso, seus equipamentos terão um rendimento de no mínimo 80% do valor inicial, obedecidas as regras pré-estabelecidas pelo fabricante. Desta forma há possibilidade de diminuir o preço de contratação dos leilões, aumentar o tempo de financiamento e adequar a remuneração das empresas contratadas, dando mais segurança ao empreendedor e ao sistema.

O Banco do Nordeste, BNB, disponibilizou uma linha de crédito exclusiva para financiamento de micro e minigeração distribuídas. A linha de crédito permite que comércios, empresas e produtores rurais financiem com taxas atrativas os sistemas fotovoltaicos para geração distribuída em até 100% do projeto, com carência de até 12 meses, prazos de no máximo 12 anos, e bônus de adimplência para quem pagar parcelas em dia (Absolar, 2016).

Há também a possibilidade de permitir que o consumidor com geração distribuída própria venda a energia gerada após a compensação do consumo mensal. Desta forma, o consumidor poderá optar por vender o excedente de energia para outros agentes do mercado. Este modelo de negócio, além de promover a geração distribuída sem onerar outros consumidores e sem necessidade de tarifas especiais, o que seria contrário a modicidade tarifária, também fomenta criação de outros modelos de negócio na cadeia (Castro, 2016).

O que os empreendedores e agentes do setor e do ramo argumentam é que as linhas de benefícios ainda englobam poucos dos componentes utilizados nos módulos fotovoltaicos e reivindicam mais vantagens para que essa fonte fique competitiva e ganhe as escalas necessárias para se auto sustentar. Dessa maneira, este segmento da indústria brasileira seria um responsável por amenizar a emissão de gases do efeito estufa, e, em médio e longo prazo, pode até exercer um papel importante dentre os grandes produtores mundiais.

Para a conclusão deste trabalho, entre outras ações passíveis de serem implementadas, estaria a inclusão de sistemas de geração fotovoltaica nos programas de habitação como, por exemplo, Minha Casa, Minha Vida.

No Senado está em tramitação o Projeto de Lei nº 371 que altera a Lei de Fundo de Garantia por Tempo de Serviço, FGTS. O projeto defende a possibilidade de movimentar a conta vinculada ao FGTS para aquisição de equipamentos destinados à geração própria de energia elétrica. Então, caso o Projeto seja aprovado, o trabalhador que possuir mais de três anos de benefícios naquela conta, poderá usufruir do recurso, uma única vez, para aquisição e instalação de equipamentos destinados a geração de energia elétrica de fontes solar, hidráulica, eólica e biomassa, desde que a instalação seja feita em imóvel próprio (Senado Federal, 2015).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Brasil já apresenta os fundamentos de um mercado de energia bem estruturado no qual a geração de energia solar fotovoltaica se adequaria com facilidade. Mas, para atrair maior número de fabricantes de módulos fotovoltaicos, recomenda-se adequação da carga tributária e exoneração de impostos aos produtos sem equivalente nacional. Uma das reivindicações possíveis é a ampliação do PADIS, que atualmente engloba apenas cerca de 20% dos insumos e maquinários necessários para esta indústria. Com a carga tributária mais amena, o mercado nacional seria capaz de competir com o mercado asiático, que é extremamente agressivo e consegue, muitas vezes, ter preços mais baratos que os produtos nacionais (Neosolar Energia, 2016).

Uma das recomendações e interesses pleiteados pelos agentes do mercado está ampliação do prazo para receber o benefício de desconto de 80% na TUSD e TUST, inicialmente previsto para empreendimentos que entrem em operação até 2017. O prazo maior ajudaria a viabilizar mais projetos.

Este trabalho enfoca a visão da situação do setor da energia solar fotovoltaica no Brasil até o primeiro semestre de 2016. Apesar de haver diversos incentivos econômicos, fiscais e regulatórios, até mesmo para a purificação do silício ao grau solar e o elevado incremento da implantação de projetos fotovoltaicos, mesmo sem uma indústria verticalizada e consolidada, vistas as condições críticas de instabilidades política e econômica, além da atuação de grandes grupos empresariais, em particular da Ásia, leva-se a crer pela inviabilidade da instalação de uma indústria de produção de silício grau eletrônico ou mesmo de grau solar no país.

Da mesma forma, a produção local de células solares a partir de silício de pureza eletrônica se vê muito dificultada pela enormidade da oferta mundial e dos elevados investimentos para a montagem de linhas de produção com as etapas de difusão, metalização, camadas antirrefletoras, entre outras.

No curto prazo, resta a alternativa da produção local de módulos associando insumos importados e nacionais, como já ocorre no mercado. Tal prática está produzindo um crescimento da cultura, necessária para possibilitar uma disseminação da implantação da

energia solar fotovoltaica, além de manter viva a ideia de uma futura verticalização dos processos de produção de módulos fotovoltaicos no Brasil.

Certamente a energia solar é o insumo básico para as condições de vida na Terra. O planeta, como um todo, é condicionado a radiação solar para fotossíntese das plantas, manutenção das temperaturas oceânicas, evaporação de água, ventos e chuva. Portanto, elemento fundamental para a vida na Terra. Se o homem for capaz de, nas áreas urbanas e, portanto, já desmatadas, desenvolver alternativas de geração energética local, distribuída, que atenda parte relevante de seu consumo energético, certamente estará dando um grande passo para a sustentabilidade e, por fim, para a manutenção da vida na Terra.

REFERÊNCIAS

Absolar. Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. 31 de Maio de 2016. <http://www.absolar.org.br/noticia/noticias-externas/linha-de-credito-deve-expandir-negocios-em-energia-solar-fotovoltaica-e-gerar-milhares-de-empregos-n.html> (acesso em 7 de Junho de 2016).

Abesco. Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia. 2015. <http://www.abesco.com.br/pt/a-proesco/> (acesso em 20 de Junho de 2016).

Agência Gestão CT&I. Agência Gestão CT&I. 09 de Setembro de 2014. http://www.agenciacti.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=6193:tecnologia-fotovoltaica-integrada-em-edificacoes-comeca-a-ser-projetada-em-campinas&catid=3:newsflash (acesso em 11 de Junho de 2016).

Agora Energiewende Rosenstrasse. The Power Market Pentagon. Berlim, 2016.

Alves Filho, João. Matriz energética brasileira: da crise à grande esperança. Rio de Janeiro: Mauad Editora LTDA, 2003.

América do Sol. América do Sol. [2016?] <http://americadosol.org/fundosolar/> (acesso em 15 de 06 de 2016).

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Agosto de 2011. http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/PeD_2011-ChamadaPE13-2011.pdf (acesso em 05 de Outubro de 2015).

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Banco de Informações de Geração. 2016. <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm> (acesso em 26 de 06 de 2016).

Assunção, Fernando Cosme Rizzo. Energia Fotovoltaica no Brasil: subsídios para tomada de decisão. Centro de Gestão de Estudos Estratégicos - CGEE, Brasília, 2010.

Bain & Company. Potencial de diversificação da indústria química brasileira. Relatório 4 - Derivados do silício, Rio de Janeiro: Novembro, 2014.

Becquerel, Alexandre-Edmond. Mémoire sur les effets électriques produits sous l'influence des rayons solaires. Comptes rendus de l'Académie des Sciences 9 (1839): 561-567.

Bermann, Célio. A resistência às obras hidrelétricas na Amazônia e a fragilização do Ministério Público Federal. Novos Cadernos NAEA 16 (Dezembro 2013): 97-120.

Bloomberg. Solar Power Is Booming and Its Biggest Component Is Dirt Cheap. 12 de Novembro de 2015. <http://www.bloomberg.com/news/articles/2015-11-13/solar-power-is-booming-and-its-biggest-component-is-dirt-cheap> (acesso em 28 de Junho de 2016).

BNDES (a). Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. [2016?]. <http://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/bndes-finem-eficiencia-energetica> (acesso em 20 de Junho de 2016).

BNDES (b). Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. [2016]. <http://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/transparencia/centraldedownloads>. Dados sobre operações e financiamentos: Operações contratadas na forma direta e indireta não automática (acesso em 10 de Junho de 2016).

BNDES. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. 06 de Janeiro de 2015. http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Sala_de_Imprensa/Noticias/2015/Energia/20150106_SOLAR.html (acesso em 20 de Junho de 2016).

BNDES. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. [2014?]. <http://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/programa-fundo-clima/programa-fundo-clima> (acesso em 15 de 06 de 2016).

BP Global. BP Statistical Review of World Energy 2016 - data workbook. Londres, Junho de 2016.

Branco, Adriano Murgel (Organizador). Política Energética e Crise de Desenvolvimento: A antevisão de Catullo Branco. 1. SÃO PAULO: Paz e Terra, 2002.

Castro, Nivalde J. de (org). Visão 3030: Cenários, tendências e novos paradigmas do setor elétrico. Rio de Janeiro: Babilônia Cultural Editorial, 2015.

Castro, Roberto. Geração Distribuída de Energia Elétrica. Seminário Internacional - Impactos dos Recursos Energéticos Distribuídos sobre o Setor de Distribuição. São Paulo, 05 de Maio de 2016.

CCEE. <http://www.ccee.org.br>. 2016.
http://www.ccee.org.br/portal/faces/oquefazemos_menu_lateral/leiloes (acesso em 12 de 07 de 2016).

CONFAZ. Convênio ICMS Nº 16 DE 22/04/2015. Brasília, DF, 22 de Abril de 2015.

Coutinho, Lucioano, e Wagner Bittencourt de Oliveira. BNDES Setorial 40. Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social, Rio de Janeiro: Antônio Marcos Hoelz Ambrozio, 2014, 206.

Dantas, Guilherme, e André Leite. Os Custos Da Energia Eólica Brasileira. Grupo de Estudos do Setor Elétrico - Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro, 2009, 3.

Daryl Chapin, Calvin Fuller e Gerald Pearson. A New Silicon p-n Junction Photocell for Converting Solar Radiation into Electrical Power. Journal of Applied Physics 25 (1954): 676.

Dezem, Vanessa. Bloomberg. 14 de Maio de 2015.
<http://www.bloomberg.com/news/articles/2015-05-14/solar-market-suffers-hangover-after-brazil-currency-slumps-22-> (acesso em 5 de Abril de 2016).

EPE (a). Balanço Energético Nacional: Relatório Síntese, Ano Base 2014. Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro, 2015.

EPE (b). Expansão da Geração. 1º Leilão de Energia de Reserva. Participação dos Empreendimentos Solares Fotovoltaicos: Visão Geral. Nota Técnica NT_EPE-DEE-NT-127_2015-r0, Brasília, 2015.

EPE (a). Expansão da Geração. 2º Leilão de Energia de Reserva. Participação dos Empreendimentos Solares Fotovoltaicos: Visão Geral. Nota Técnica EPE-DEE-NT-023/2016-r0, Brasília, 2016.

EPE (b). Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil – Condicionantes e Impactos. NOTA TÉCNICA DEA 19/14, Rio de Janeiro, 2014.

EPE (a). Leilão de Energia de Reserva 2014. Participação dos Empreendimentos Solares Fotovoltaicos: Visão Geral. Nota Técnica NT_EPE-DEE-NT-150_2014, Brasília, 2014.

EPE (c). Nota Técnica DEA 01/15 Estimativa da Capacidade Instalada de Geração Distribuída no SIN: Aplicações no Horário de Ponta. Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro, 2015.

EPE (b). Projeção de Demanda de Energia Elétrica para os próximos 10 anos (2016-2025). Nota Técnica DEA 24/16, Rio de Janeiro, 2016.

EPIA. Global Market Outlook for Photovoltaics 2014-2018. European Photovoltaic Industry Association, Bruxelas, 2014.

FINEP. Financiadora de Estudos e Projetos. [2014?]. <http://www.finep.gov.br/apoio-e-financiamento-externa/programas-e-linhas/programas-inova/o-que-e-o-programa-inova> (acesso em 28 de Junho de 2016).

Fraidenraich, Naum. Antecedentes históricos da ciência solar no Brasil. A tecnologia fotovoltaica. Grupo de Pesquisas em fontes alternativas no de energia. Pernambuco, 2005.

Fürstenwerth, Daniel. Current and Future Cost of Photovoltaics. Berlim: Mara Marthe Kleiner, 2015.

Galvão, Martin Debs. Inclusão da Análise da Dimensão Política no Planejamento do Setor Elétrico. São Paulo, 2015.

Gomes, Antônio Claret S., Carlos David Albarca, Eliada S. T. Faria, e Heloisa Helena Fernandes. O Setor Elétrico. Em BNDES 50 Anos - Histórias Setoriais: O Setor Elétrico, por BNDES, 21. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), 2002.

Hahn, Edgar. The Japanese Solar PV Market and Industry -Business Opportunities for European Companies-. Japão, 2014.

IBGE. Projeção da População do Brasil por sexo e idade: 2000-2060. 31 de Outubro de 2013.

IEA. World Energy Outlook; International Energy Agency. Paris, 2015, 343.

INT, Instituto Nacional de Tecnologia. Instituto Nacional de Tecnologia, desde 1921 gerando tecnologia para o Brasil: 1921-2001. 2005.

IRENA. Renewable Energy tariff-based mechanisms. 2012.

IRENA. Rethinking Energy. 2015.

ISE, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems. Electricity production from solar and wind in Germany in 2014. 2014.

ISE, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems. Photovoltaics Report. Freiburg, 2016.

Konzen, Gabriel. Difusão de Sistemas Fotovoltaicos Residenciais Conectados à Rede no Brasil: Uma Simulação Via Modelo De Bass. 2014.

Malaguti, Gustavo Abreu. Regulação do setor elétrico brasileiro: da formação da indústria de energia elétrica aos dias atuais. Niterói, 2009.

Martins, Wesley Araújo. Fontes Não Convencionais de Energia, Uberlândia, 2003.

MME (a). Ministério de Minas e Energia. [2016] <http://www.mme.gov.br/web/guest/reidi-repenec> (acesso em 08 de Julho de 2016).

MME (a). Ministério de Minas e Energia, Boletim Mensal de Energia. Mês de Referência Dezembro de 2015.

MME (b). Plano Decenal de Expansão de Energia 2024. Brasília, 2015.

MME (c). Ministério de Minas e Energia. 12 de Dezembro de 2015. http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/programa-de-geracao-distribuida-preve-movimentar-r-100-bi-em-investimentos-ate-2030 (acesso em 05 de Maio de 2016).

MME (b). Ministério de Minas e Energia, Programa Luz para Todos. Abril de 2016. https://www.mme.gov.br/luzparatodos/Asp/o_programa.asp (acesso em 10 de Julho de 2016).

Moehlecke, Adriano e Izete Zanesco. Energia Solar Fotovoltaica no Brasil: Situação Atual e Perspectivas para Estabelecimento de Indústrias Apoiadas em Programas de P&D e Financiamento, Brasília, 2012.

Neosolar Energia. Neosolar. 06 de Junho de 2016. <http://www.neosolar.com.br/blog/neosolar-e-destaque-em-materia-sobre-incentivos-a-cadeia-produtiva-de-energia-solar-fotovoltaica/> (acesso em 20 de Julho de 2016).

Neves, Livia. A escalada da energia solar. Brasil Energia 426 (Maio 2016): 19-23.

NREL. National Renewable Energy Laboratory. 2016. http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency_chart.jpg (acesso em 16 de Julho de 2016).

OECD. Organisation For Economic Co-Operation And Development, Environmental Strategy for the First Decade of the 21st Century, 2001.

Okuno, Emico, Ibere Caldas e Cecil Chow, Física para Ciências Biológicas e Biomédicas, Harbra Ed., São Paulo, 1982.

Ossenbrink, Heinz, Arnulf Jäger Waldau, Nigel Taylor, Irene Pinedo Pascua, e Sandor Szabó. Perspectives on future large-scale manufacturing of PV in Europe. Institute for Energy and Transport, Itália, 2015.

Pinho, João Tavares, e Marco Antonio Galdino. Manual de Engenharia de Sistemas Fotovoltaicos. 2014. Rio de Janeiro: CEPEL - CRESESB, 2014.

Portal Brasil. Divulgada lista de empresas selecionadas no Inova Energia. 13 de Fevereiro de 2014. <http://www.brasil.gov.br/ciencia-e-tecnologia/2014/02/divulgada-lista-de-empresas-selecionadas-no-inova-energia> (acesso em 12 de 05 de 2016).

Roskill. Silicon and Ferrosilicon: Global Industry Markets and Outlook. 2014. <https://roskill.com/product/silicon-and-ferrosilicon-global-industry-markets-and-outlook-14th-edition-2014/> (acesso em 12 de Junho de 2016).

Santos, Mario Fernando de Melo. Centro da Memória da Eletricidade no Brasil. 2011. <http://memoriadaeletricidade.com.br/> (acesso em 03 de Março de 2016).

Senado Federal. Senado Federal, Atividade Legislativa. Junho de 2015. <http://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/121833> (acesso em 29 de Junho de 2016).

Silva, Rutelly Marques da. Energia Solar no Brasil: dos incentivos aos desafios. Texto para Discussão nº 166, Brasília, 2015.

SolarPower Europe. Global Market Outlook For Solar Power / 2016 - 2020. Bruxelas, 2016.

SRT ANEEL. ANEEL. 27 de Novembro de 2015. <http://www.aneel.gov.br/reidi> (acesso em 23 de Junho de 2016).

Stigler, George J. The theory of economic regulation. Chicago, 1971.

Teixeira, Pedro Aurélio. Agência Canal Energia. 21 de Junho de 2016. <http://www.canalenergia.com.br/zpublisher/materias.asp?id=112515&secao=Notici%E1rio> (acesso em 21 de Junho de 2016).

The World Bank. Population ages 65 and above (% of total). 2016.

Tolmasquim, Mauricio Tiomno. Fontes Renováveis de Energia no Brasil, 2003.

Uczai, Pedro, Wagner Marques Tavares, e Alberto Pinheiro de Queiroz Filho. Energias Renováveis: Riqueza Sustentável ao Alcance da Sociedade. n. 10. Edição: Edições Câmara. Brasília: Câmara dos Deputados, 2012.

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World Population Prospects: The 2015 Revision. Nova York, 2015.

Vanni, Silvia Regina. Estudo da Viabilidade Econômica de Fontes Alternativas de Energia de uma Comunidade Típica da Região do Nordeste Brasileiro, São Paulo, 2008.

WWF. World Wide Fund For Nature. Desafios e Oportunidades para a energia solar fotovoltaica no Brasil: recomendações para políticas públicas. Brasília, 2015.

ANEXO A

Metodologia para Credenciamento e Apuração de Conteúdo Local de Equipamentos Fotovoltaicos no Credenciamento de Fabricantes Informatizado – CFI do BNDES

ETAPAS FÍSICAS E CONTEÚDO LOCAL QUE DEVERÃO SER CUMPRIDOS PELO FABRICANTE

O apoio financeiro do BNDES à aquisição dos equipamentos será dado pelo produto entre a participação máxima da Linha de Financiamento e o “Fator N” (“Fator de Nacionalização”). O “Fator N” será obtido através do somatório dos percentuais de ajuste correspondentes aos componentes e processos produtivos nacionalizados, conforme valores indicados nas tabelas anexadas a este documento e descritos a seguir.

Definem-se como itens constantes nesta metodologia os apresentados a seguir:

- ✓ Itens básicos: relação mínima de componentes e/ou processos obrigatoriamente nacionais que serão exigidos para o credenciamento e manutenção no cadastro CFI do BNDES. Adicionam seus percentuais de ajuste ao “Fator N” no momento de adesão à Nova Metodologia e após o cumprimento dos marcos.
- ✓ Itens opcionais: relação de componentes que não serão obrigatoriamente nacionais para o credenciamento e manutenção no referido Cadastro. Adicionam seus percentuais de ajuste ao “Fator N” somente após a incorporação do componente nacionalizado ao módulo fotovoltaico.
- ✓ Itens prêmio: relação de componentes e/ou processos que não serão obrigatoriamente nacionais para o credenciamento e manutenção no aludido Cadastro, assim como os itens opcionais. No entanto, adicionam seus percentuais de ajuste ao “Fator N” de forma antecipada à incorporação do componente nacionalizado ao módulo fotovoltaico. São normalmente componentes e/ou processos com percentuais de ajuste mais representativos que os itens básicos e opcionais.

A. MÓDULOS COM TECNOLOGIA À BASE DE SILÍCIO CRISTALINO

A.1. MARCO INICIAL

Consiste no enquadramento do Fabricante, por meio da análise do BNDES, nos **critérios relacionados a seguir**:

A.1.1. BÁSICO: MONTAGEM DOS MÓDULOS NO BRASIL, EM UNIDADE PRÓPRIA OU DE TERCEIROS, COM MATERIAL DE EMOLDURAMENTO DE PROCEDÊNCIA NACIONAL.

Será considerado como montagem o processo de conexão das células, sobreposição de materiais, laminação, emolduramento, conexão de módulos e teste. O aludido processo deverá obrigatoriamente ser realizado em unidade industrial estabelecida no Brasil.

O percentual de ajuste pelo cumprimento desse requisito será de 60% (sessenta por cento).

A.1.2. OPCIONAL: UTILIZAÇÃO DE VIDRO FABRICADO NO BRASIL.

Será considerado nacional o vidro fabricado no Brasil com conteúdo local.

O percentual de ajuste adicional pelo cumprimento desse requisito será de 10% (dez por cento).

A.1.3. OPCIONAL: UTILIZAÇÃO DE *BACKSHEET* FABRICADO NO BRASIL.

Será considerado nacional o *Backsheet* fabricado no Brasil com conteúdo local.

O percentual de ajuste adicional pelo cumprimento desse requisito será de 5% (cinco por cento).

A.1.4. OPCIONAL: UTILIZAÇÃO DE ENCAPSULANTE (EVA) FABRICADO NO BRASIL.

Será considerado nacional o encapsulante fabricado no Brasil com conteúdo local.

O percentual de ajuste adicional pelo cumprimento desse requisito será de 5% (cinco por cento).

A.1.5. OPCIONAL: UTILIZAÇÃO DE *JUNCTION BOX* FABRICADO NO BRASIL.

Será considerado nacional o *Junction box* fabricado no Brasil com conteúdo local.

O percentual de ajuste adicional pelo cumprimento desse requisito será de 5% (cinco por cento).

A.1.6. PRÊMIO: UTILIZAÇÃO DE CÉLULA FABRICADA NO BRASIL, EM UNIDADE PRÓPRIA OU DE TERCEIROS.

Deverá ser apresentado um plano de negócios detalhado da unidade industrial onde será realizada a fabricação de células solares fotovoltaicas no País, incluindo: (i) cronograma físico detalhado da construção e implantação da fábrica; (ii) leiaute detalhado da planta; número de funcionários com descrição de funções; (iii) alterações no contrato social e registro na Receita (Federal e Estadual), que contemple a aludida atividade industrial; (iv) contrato de aluguel ou compra da área da unidade industrial; (v) licença prévia ou tramitação de processo no respectivo órgão ambiental; e (vi) contratos e/ou propostas de fornecimento dos equipamentos principais, construção civil (se for o caso) e montagem eletromecânica.

O percentual de ajuste adicional pelo cumprimento desse requisito será de 30% (trinta por cento).

A.1.7. PRÊMIO: UTILIZAÇÃO DE CÉLULA FABRICADA A PARTIR DE WAFER FATIADO NO BRASIL, EM UNIDADE PRÓPRIA OU DE TERCEIROS.

Deverá ser apresentado um plano de negócios da unidade industrial onde será realizada a fabricação de *wafers* no País, incluindo: (i) cronograma físico detalhado da construção e implantação da fábrica; (ii) leiaute detalhado da planta; (iii) número de funcionários com descrição de funções; (iv) alterações no contrato social e registro na Receita (Federal e Estadual), que contemplem a aludida atividade industrial; (v) contrato de aluguel ou compra da área da unidade industrial; (vi) licença prévia ou tramitação de processo no respectivo órgão ambiental; e (vii) contratos e/ou propostas de fornecimento dos equipamentos principais, construção civil (se for o caso) e montagem eletromecânica.

O percentual de ajuste adicional pelo cumprimento desse requisito será de 5% (cinco por cento).

A.1.8. PRÊMIO: UTILIZAÇÃO DE CÉLULA FABRICADA COM WAFER FATIADO NO BRASIL A PARTIR DE LINGOTE DE SILÍCIO CRISTALIZADO NO BRASIL, EM UNIDADES PRÓPRIAS OU DE TERCEIROS.

Deverá ser apresentado um plano de negócios da unidade industrial onde será realizado o processo de cristalização de lingotes no País, incluindo: (i) cronograma físico detalhado da construção e implantação da fábrica; (ii) leiaute detalhado da planta; (iii) número de funcionários com descrição

de funções; (iv) alterações no contrato social e registro na Receita (Federal e Estadual), que contemplem a aludida atividade industrial; (v) contrato de aluguel ou compra da área da unidade industrial; (vi) licença prévia ou tramitação de processo no respectivo órgão ambiental; e (vii) contratos e/ou propostas de fornecimento dos equipamentos principais, construção civil (se for o caso) e montagem eletromecânica.

O percentual de ajuste adicional pelo cumprimento desse requisito será de 5% (cinco por cento).

A.1.9. PRÊMIO: UTILIZAÇÃO DE CÉLULA FABRICADA COM *WAFER* FATIADO NO BRASIL A PARTIR DE LINGOTE CRISTALIZADO NO BRASIL COM SILÍCIO CUJO PROCESSO DE PURIFICAÇÃO AO GRAU SOLAR E/OU ELETRÔNICO SEJA FEITO NO BRASIL, EM UNIDADES PRÓPRIAS OU DE TERCEIROS.

Deverá ser apresentado um plano de negócios da unidade industrial onde será realizado o processo de purificação de silício grau solar no País, incluindo: (i) cronograma físico detalhado da construção e implantação da fábrica; (ii) leiaute detalhado da planta; (iii) número de funcionários com descrição de funções; (iv) alterações no contrato social e registro na Receita (Federal e Estadual), que contemplem a aludida atividade industrial; (v) contrato de aluguel ou compra da área da unidade industrial; (vi) licença prévia ou tramitação de processo no respectivo órgão ambiental; e (vii) contratos e/ou propostas de fornecimento dos equipamentos principais, construção civil (se for o caso) e montagem eletromecânica.

O percentual de ajuste adicional pelo cumprimento desse requisito será de 30% (trinta por cento).

A.2. NÍVEL DE FABRICAÇÃO QUE DEVERÁ SER IMPLEMENTADO ATÉ 01/01/2018 E CONTEÚDO LOCAL EXIGIDO DOS MÓDULOS ENTREGUES A PARTIR DESSA DATA

A.2.1. BÁSICO: CUMPRIMENTO DA ETAPA A.1.1 E UTILIZAÇÃO DE *JUNCTION BOX* FABRICADA NO BRASIL, EM UNIDADE PRÓPRIA OU DE TERCEIROS.

O percentual de ajuste pelo cumprimento desse requisito será de 40% (quarenta por cento).

A.2.2. PERMANECE OPCIONAL A NACIONALIZAÇÃO DOS COMPONENTES ELENCADOS DE A.1.2 A A.1.4. E SEUS RESPECTIVOS PERCENTUAIS DE AJUSTE MANTIDOS.;

A.2.3. PASSA A SER OPCIONAL A UTILIZAÇÃO DE CÉLULA FABRICADA NO BRASIL, EM UNIDADE PRÓPRIA OU DE TERCEIROS.

O percentual de ajuste adicional pelo cumprimento desse requisito será de 30% (trinta por cento).

A.2.4. PERMANECEM PRÊMIO OS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO ELENCADOS DE A.1.7 A A.1.9. E SEUS RESPECTIVOS PERCENTUAIS DE AJUSTE MANTIDOS.;

A.3. NÍVEL DE FABRICAÇÃO QUE DEVERÁ SER IMPLEMENTADO ATÉ 01/01/2020 E CONTEÚDO LOCAL EXIGIDO DOS MÓDULOS ENTREGUES A PARTIR DESSA DATA

A.3.1. BÁSICO: CUMPRIMENTO DA ETAPA A.2.1 E UTILIZAÇÃO DE CÉLULA FABRICADA NO BRASIL, EM UNIDADE PRÓPRIA OU DE TERCEIROS.

O percentual de ajuste pelo cumprimento desse requisito será de 60% (sessenta por cento).

A.3.2. PERMANECE OPCIONAL A NACIONALIZAÇÃO DOS COMPONENTES ELENCADOS DE A.1.2 A A.1.4 E SEUS RESPECTIVOS PERCENTUAIS DE AJUSTE MANTIDOS.;

A.3.3. PERMANECEM PRÊMIO OS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DE ITENS PREMIUM ELENCADOS DE A.1.7 A A.1.9 E SEUS RESPECTIVOS PERCENTUAIS DE AJUSTE MANTIDOS.;

B. MÓDULOS COM TECNOLOGIA FILME FINO

B.1. MARCO INICIAL

Consiste no enquadramento do Fabricante, por meio da análise do BNDES, nos **critérios relacionados a seguir:**

B.1.1. BÁSICO: MONTAGEM DOS MÓDULOS NO BRASIL, EM UNIDADE PRÓPRIA OU DE TERCEIROS, COM MATERIAL DE EMOLDURAMENTO E COBERTURA TRASEIRA DE PROCEDÊNCIA NACIONAL.

Será considerado como montagem o processo de encapsulamento dos módulos, que engloba a aplicação das fitas e películas de contatos elétricos, sobreposição das camadas de materiais, laminação, emolduramento (quando houver), conexão e testes. O aludido processo deverá obrigatoriamente ser realizado em unidade industrial estabelecida no Brasil.

O percentual de ajuste pelo cumprimento desse requisito será de 60% (sessenta por cento).

Para as tecnologias em que não houver cobertura traseira, essa exigência deixa de ser obrigatória.

Para as tecnologias em que houver cobertura traseira diferente de vidro e metal, esse item será considerado OPCIONAL e o percentual de ajuste pelo seu cumprimento será de 5% (cinco por cento).

B.1.2. OPCIONAL: UTILIZAÇÃO DOS COMPOSTOS DO FILME FINO FABRICADOS NO BRASIL.

O percentual de ajuste adicional pelo cumprimento desse requisito será de 10% (dez por cento).

B.1.3. OPCIONAL: UTILIZAÇÃO DE *JUNCTION BOX* FABRICADO NO BRASIL.

O percentual de ajuste adicional pelo cumprimento desse requisito será de 5% (cinco por cento).

B.1.4. PRÊMIO: UTILIZAÇÃO DE SUBSTRATO (VIDRO, PLÁSTICO, OU METAL) FABRICADO NO BRASIL

Deverá ser apresentado um plano de negócios detalhado da unidade industrial onde será realizada a fabricação do substrato no País, incluindo: (i) cronograma físico detalhado da construção e implantação da fábrica; (ii) leiaute detalhado da planta; (iii) número de funcionários com descrição de funções; (iv) alterações no contrato social e registro na Receita (Federal e Estadual), que contemple a aludida atividade industrial; (v) contrato de aluguel ou compra da área da unidade

industrial; (vi) licença prévia ou tramitação de processo no respectivo órgão ambiental; e (vii) contratos e/ou propostas de fornecimento dos equipamentos principais, construção civil (se for o caso) e montagem eletromecânica.

O percentual de ajuste adicional pelo cumprimento desse requisito será de 20% (vinte por cento).

B.1.5. PRÊMIO: REALIZAÇÃO DO PROCESSO DE DEFINIÇÃO DAS CÉLULAS NO BRASIL, EM UNIDADE PRÓPRIA OU DE TERCEIROS.

Deverá ser apresentado um plano de negócios da unidade industrial onde será realizada o processo de definição das células no País, incluindo: (i) cronograma físico detalhado da construção e implantação da fábrica; (ii) leiaute detalhado da planta; (iii) número de funcionários com descrição de funções; (iv) alterações no contrato social e registro na Receita (Federal e Estadual), que contemple a aludida atividade industrial; (v) contrato de aluguel ou compra da área da unidade industrial; (vi) licença prévia ou tramitação de processo no respectivo órgão ambiental; e (vii) contratos e/ou propostas de fornecimento dos equipamentos principais, construção civil (se for o caso) e montagem eletromecânica.

O percentual de ajuste adicional pelo cumprimento desse requisito será de 10% (dez por cento).

B.1.6. PRÊMIO: REALIZAÇÃO DO PROCESSO DE DEPOSIÇÃO DA CAMADA DE FILME FINO NO BRASIL, EM UNIDADE PRÓPRIA OU DE TERCEIROS.

Deverá ser apresentado um plano de negócios da unidade industrial onde será realizado o processo de deposição da camada de filme fino no País, incluindo: (i) cronograma físico detalhado da construção e implantação da fábrica; (ii) leiaute detalhado da planta; (iii) número de funcionários com descrição de funções; (iv) alterações no contrato social e registro na Receita (Federal e Estadual), que contemple a aludida atividade industrial; (v) contrato de aluguel ou compra da área da unidade industrial; (vi) licença prévia ou tramitação de processo no respectivo órgão ambiental; (vii) contratos e/ou propostas de fornecimento dos equipamentos principais, construção civil (se for o caso) e montagem eletromecânica.

O percentual de ajuste adicional pelo cumprimento desse requisito será de 20% (vinte por cento).

B.2. NÍVEL DE FABRICAÇÃO QUE DEVERÁ SER IMPLEMENTADO ATÉ 01/01/2018 E CONTEÚDO LOCAL EXIGIDO DOS MÓDULOS ENTREGUES APARTIR DESSA DATA

B.2.1. BÁSICO: CUMPRIMENTO DA ETAPA B.1.1, EXECUÇÃO DO PROCESSO DE DEPOSIÇÃO DAS CAMADAS DE FILME FINO E DEFINIÇÃO DAS CÉLULAS EM UNIDADE PRÓPRIA OU DE TERCEIROS E UTILIZAÇÃO DE *JUNCTION BOX* FABRICADO NO BRASIL, EM UNIDADE PRÓPRIA OU DE TERCEIROS.

O percentual de ajuste pelo cumprimento desse requisito será de 70% (setenta por cento).

B.2.2. PERMANECE PRÊMIO A UTILIZAÇÃO DE SUBSTRATO (VIDRO – LOW IRON, PLÁSTICO, OU METAL) FABRICADO NO BRASIL E SEU RESPECTIVO PERCENTUAL DE AJUSTE MANTIDO.;

B.2.3. PERMANECE OPCIONAL A FABRICAÇÃO DOS COMPOSTOS DO FILME FINO NO BRASIL, EM UNIDADE PRÓPRIA OU DE TERCEIROS, COM INSUMOS DE PROCEDÊNCIA NACIONAL E SEU RESPECTIVO PERCENTUAL DE AJUSTE MANTIDO.;

C. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS (TODAS AS TECNOLOGIAS)

Os Sistemas Fotovoltaicos são formados pelos módulos, inversores, estruturas metálicas e componentes elétricos.

C.1. MARCO INICIAL

Consiste no enquadramento do Fabricante, ou Empresa de Engenharia, por meio da análise do BNDES, nos **critérios relacionados a seguir**:

C.1.1. BÁSICO: UTILIZAÇÃO DE MÓDULOS PREVIAMENTE CREDENCIADOS NO CFI DO BNDES

O módulo terá participação relativa de 60% (sessenta por cento) no sistema fotovoltaico. O percentual de ajuste do módulo no sistema será obtido pela multiplicação do seu Fator N pela participação relativa do módulo no sistema.

C.1.2. BÁSICO: COMPONENTES ELÉTRICOS E ESTRUTURA METÁLICA FABRICADOS NO BRASIL.

O percentual de ajuste pelo cumprimento desse requisito será de 20% (vinte por cento).

C.1.3. OPCIONAL: INVERSOR FABRICADO NO BRASIL, PREVIAMENTE CREDENCIADO NO CFI DO BNDES.

O percentual de ajuste adicional pelo cumprimento desse requisito será de 20% (vinte por cento). Caso o inversor não esteja credenciado no CFI do BNDES, o fabricante não fará *jus* ao acréscimo do percentual de ajuste de 20% (vinte por cento) ao Fator N no sistema fotovoltaico.

C.2. NÍVEL DE FABRICAÇÃO QUE DEVERÁ SER IMPLEMENTADO ATÉ 01/01/2018 E CONTEÚDO LOCAL EXIGIDO DOS SISTEMAS ENTREGUES A PARTIR DESSA DATA.

Consiste no enquadramento do Fabricante por meio da análise do BNDES, nos **critérios relacionados a seguir**:

C.2.1. BÁSICO: ATENDIMENTO DO ITEM C.1.1

C.2.2. BÁSICO: ATENDIMENTO DO ITEM C.1.2 E INVERSOR FABRICADO NO BRASIL, PREVIAMENTE CREDENCIADO NO CFI DO BNDES.

O percentual de ajuste pelo cumprimento desse requisito será de 40% (quarenta por cento).

D. PRÊMIO POR EFICIÊNCIA

Os módulos que obtiverem classificação energética “A”, segundo TABELA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA - SISTEMA DE ENERGIA FOTOVOLTAICA – MÓDULOS, divulgado pelo INMETRO, por meio do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), terão um percentual de ajuste de 6% (seis por cento) adicionado ao seu “Fator N” nos financiamentos apoiados pelo BNDES, sempre observado o limite estabelecido para a respectiva linha.

Metodologia para o Credenciamento de produtos à base de SILÍCIO CRISTALINO (Quadro Resumo)

a. Módulo Fotovoltaico

TECNOLOGIA: SILÍCIO CRISTALINO

TABELA 1: MÓDULO FOTOVOLTAICO

		PERÍODO	2014 - Dez/2017		Jan/2018 - Dez/2019		Jan/2020 -	
Componentes		Nível de Exigência	Classif. Item	% de ajuste	Classif. Item	% de ajuste	Classif. Item	% de ajuste
MÓDULO FOTOVOLTAICO	MATERIAIS	Vidro, Policarbonato ou Acrílico		10%		10%		10%
		Backsheet		5%		5%		5%
		Encapsulante (EVA)		5%		5%		5%
		Junction box		5%		40%		60%
		Frame (Moldura)						
	PROCESSOS	Módulo (conexão das células + sobreposição de materiais + laminação + emolduramento + conexão dos módulos + testes)		60%				
		Célula (Tratamento químico + dopagem + tratamento antirreflexo + Impressão dos contatos + testes)		30%		30%		
		Wafer (Fatiamento do lingote)		5%		5%		5%
		Lingote (Fundição + cristalização do silício)		5%		5%		5%
		Silício Grau Solar (Processo de Fabricação Siemens (grau eletrônico) ou Metalúrgico (grau solar))		30%		30%		30%
FATOR DE NACIONALIZAÇÃO mínimo do MÓDULO - "Fator N" (%) (APENAS itens básicos)			60%		40%		60%	

Itens BásicosItens OpcionaisItens Prêmio

	Itens Básicos	Itens Opcionais	Itens Prêmio
--	---------------	-----------------	--------------

Os módulos que obtiverem classificação energética “A”, segundo TABELA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA - SISTEMA DE ENERGIA FOTOVOLTAICA – MÓDULOS, divulgado pelo INMETRO, por meio do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), terão um percentual de ajuste de 6% (seis por cento) adicionado ao seu “Fator N” nos financiamentos apoiados pelo BNDES, sempre observado o limite estabelecido para a respectiva linha.

b. Sistema Fotovoltaico

TECNOLOGIA: SILÍCIO CRISTALINO										
TABELA 2: SISTEMA FOTOVOLTAICO (MÓDULO + COMPONENTES ELÉTRICOS + ESTRUTURAS + INVERSOR)										
			PERÍODO	2014 - Dez/2017		Jan/2018 - Dez/2019		Jan/2020 -		
Componentes			Nível de Exigência		Classif. Item	% de ajuste	Classif. Item	% de ajuste	Classif. Item	% de ajuste
GERADOR FOTOVOLTAICO	(A')	FATOR DE NACIONALIZAÇÃO mínimo do MÓDULO - "Fator N" (%) (APENAS itens básicos)				60%		40%		60%
		Participação relativa do MÓDULO no sistema (%)				60%		60%		60%
	(A)	MÓDULO	Itens básicos definidos na Tabela 1 de MÓDULO Tecnologia : Silício Cristalino			36%		24%		36%
	(B)	Componentes Elétricos (String box + cabeamento)	Processo de fabricação com conteúdo local			20%		40%		40%
		Estrutura metálica (sustentação)	Processo de fabricação com conteúdo local							
	(C)	Inversor	Processo de fabricação com conteúdo local			20%				
	FATOR DE NACIONALIZAÇÃO mínimo do SISTEMA - "Fator N" (%) (APENAS itens básicos)					56%		64%		76%
	FATOR DE NACIONALIZAÇÃO mínimo do SISTEMA- "Fator N" (%) (itens básicos + inversor nacional)					76%		64%		76%

Itens BásicosItens Opcionais

Itens Básicos Itens Opcionais

Metodologia para o Credenciamento de produtos à base de FILME FINO (Quadro Resumo)

a. Módulo Fotovoltaico

TECNOLOGIA: FILME FINO								
TABELA 1: MÓDULOS FOTOVOLTAICOS								
MÓDULO FOTOVOLTAICO			PERÍODO	2014 - DEZ/2017		JAN/2018 -		
	Componentes		Nível de Exigência	Classif. Item	% de ajuste	Classif. Item	% de ajuste	
	MATERIAIS	Substrato	Fabricados no Brasil com conteúdo local Vidro (low iron), Plástico ou metal		20%		20%	
		Compostos do filme fino	Fabricados no Brasil		10%		10%	
		Junction Box	Fabricados no Brasil com conteúdo local		5%		70%	
		Cobertura traseira	Fabricados no Brasil com conteúdo local Vidro (comum) ou metal		60%			
		Frame (Moldura)	Fabricados no Brasil com conteúdo local					
	PROCESSOS	Encapsulamento do módulo	Processos de laminação e montagem final		10%			
		Definição das células	Processo de marcação a laser ou outro método					
		Deposição de camadas	Processos de deposição do Filme Fino				20%	
	FATOR DE NACIONALIZAÇÃO mínimo do MÓDULO - "Fator N" (%) (APENAS itens básicos)				60%		70%	
	Itens Básicos		Itens Opcionais		Itens Prêmio			

Itens Básicos Itens Opcionais Itens Prêmio

Os módulos que obtiverem classificação energética “A”, segundo TABELA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA - SISTEMA DE ENERGIA FOTOVOLTAICA – MÓDULOS, divulgado pelo INMETRO, por meio do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), terão um percentual de ajuste de 6% (seis por cento) adicionado ao seu “Fator N” nos financiamentos apoiados pelo BNDES, sempre observado o limite estabelecido para a respectiva linha.

b. Sistema Fotovoltaico

TECNOLOGIA: FILME FINO					
TABELA 2: GERADOR FOTOVOLTAICO (MÓDULO + COMPONENTES ELÉTRICOS + ESTRUTURAS + INVERSOR)					
		PERÍODO		2014 - DEZ/2017	
Componentes		Nível de Exigência		Classif. Item	% de ajuste
GERADOR FOTOVOLTAICO	(A')	FATOR DE NACIONALIZAÇÃO mínimo do MÓDULO - "Fator N" (%) (APENAS itens básicos)			60%
		Participação relativa do MÓDULO no gerador (%)			60%
	(A)	MÓDULO	Itens básicos definidos na Tabela 1 de MÓDULO Tecnologia : Filme Fino		36%
	(B)	Componentes Elétricos (String box + cabeamento)	Processo de fabricação com conteúdo local		20%
		Estrutura metálica (sustentação)	Processo de fabricação com conteúdo local		40%
	(C)	Inversor	Processo de fabricação com conteúdo local		20%
	FATOR DE NACIONALIZAÇÃO mínimo do GERADOR - "Fator N" (%) (APENAS itens básicos)			56%	82%
	FATOR DE NACIONALIZAÇÃO mínimo do GERADOR- "Fator N" (%) (itens básicos + inversor nacional)			76%	82%

	Itens Básicos		Itens Opcionais
--	---------------	--	-----------------