

POLÍTICAS DE INOVAÇÃO NO CENÁRIO ENERGÉTICO FOTVOLTAICO MUNDIAL: ANÁLISE DOS MODELOS DE SUCESSO

INNOVATION POLICIES IN PHOTOVOLTAIC ENERGY DEVELOPMENT: ANALYSIS OF SUCCESS MODELS IN THE WORLD

Antonio Hevertton Martins Silva¹

Cássio Rangel Paulista²

André Gomes de Lima³

Aline Sardinha Cordeiro Morais⁴

Resumo: A geração fotovoltaica (FV) tem crescido cada vez mais em uma escala mundial e tudo indica que continuará crescendo com o tempo. Este trabalho tem como objetivo analisar as políticas de inovação em relação aos modelos adotados a fim de disseminar a energia FV nos cinco maiores países produtores desta energia e no Brasil, visando possibilidades e perspectivas para o mercado brasileiro. Esta pesquisa foi realizada na base *Scopus* a partir do portal *capes* com intuito de reunir trabalhos referentes aos sistemas FV, políticas inovadoras e incentivos utilizados para que esta tecnologia fosse difundida nos países escolhidos, sendo possível analisar o cenário brasileiro neste contexto. Nos países onde esta tecnologia foi disseminada com sucesso foi percebido um grande apoio de políticas e incentivos governamentais. O Brasil, embora possua recentes incentivos fiscais, foi identificado que para o crescimento desta ciência, carece de maiores investimentos públicos.

Palavras-chave: Geração fotovoltaica; políticas de inovação; incentivos governamentais; incentivos fiscais; investimento públicos.

Abstract: Photovoltaic (PV) generation has been growing on a global scale and it appears that it will continue grow over time. This work aims to analyze innovation policies in relation to the models adopted in order to disseminate PV energy in the five largest countries producing this energy and in Brazil, aiming at possibilities and perspectives for the Brazilian market. This research was carried out at the *Scopus* base from the *capes* portal in order to gather works related to the PV systems, innovative policies and incentives used for this technology to be disseminated in the chosen countries, being possible to analyze the Brazilian scenario in this context. In countries where this technology has been successfully disseminated, it has been widely supported by government policies and incentives. Brazil, although it has recent fiscal incentives, has been identified that for the growth of this science, it needs more public investments.

¹ Mestrando em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão, Instituto Federal Fluminense, Email: heverttonmartins@gmail.com

² Mestrando em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão, Instituto Federal Fluminense, Email: cassrangel@gmail.com

³ Mestrando em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão, Instituto Federal Fluminense, Email: Gomesdelimaandre@gmail.com

⁴ Doutora em Engenharia e Ciência dos Materiais, Instituto Federal Fluminense, Email: amorais@iff.edu.br

Key-words: Photovoltaic generation; innovation policies; government incentives; fiscal incentives; public investments.

1. INTRODUÇÃO

A geração de energia representa uma das principais fontes de emissões de gases do efeito estufa. Os valores anuais mostram que as emissões relacionadas à geração de energia são de, aproximadamente, 4,5 toneladas por pessoa. Todavia, a 21ª Conferência das Partes (COP21) impulsionou o crescimento da geração de energia por fontes renováveis em 2015 devido às políticas relacionadas à segurança energética, poluição e benefícios climáticos (IEA, 2016).

Mediante tal expansão, vale notificar que o desenvolvimento e aplicação de políticas públicas adequadas pode fomentar o avanço da indústria tecnológica direcionada à redução do consumo de energia, melhoria de sua utilização global, eficiência energética e redução de emissões. Nesse cenário, destaca-se a geração de energia elétrica fotovoltaica (FV), a qual tem se mostrado como uma das mais promissoras, principalmente porque é a única tecnologia para geração de eletricidade que pode ser altamente difundida no ambiente urbano (DÁVI *et al.*, 2016). Trata-se de uma das diversas tecnologias que vem ao encontro com a visão moderna de desenvolvimento sustentável. Assim, os edifícios – responsáveis por consumir 40% da energia mundial – poderão produzir a energia necessária para suprir sua própria demanda (KOLOKOTSA, 2016). Esse estilo de geração não poluente figurou em 2013 como uma das fontes de eletricidade mais instaladas, por três anos consecutivos (EPIA, 2014). Boons *et al.* (2013) afirmaram que os modelos de negócio voltados para esse universo detêm fatores importantes para a disseminação de novas técnicas sustentáveis, bem como para alavancar a utilização das existentes.

Nesse contexto, medidas vêm sendo tomadas com a finalidade de difundir tal tecnologia e tornar sua utilização mais viável economicamente. Segundo EPIA (2014), o mercado FV está em constante expansão a nível mundial, onde os preços das tecnologias FV vêm diminuindo e o preço da eletricidade aumentando, possibilitando que as economias geradas pela utilização desses sistemas e/ou os valores adquiridos pela venda de eletricidade se igualem ou até mesmo superem o custo de instalação e financiamento. Nos Estados Unidos, as patentes em relação à energia FV subiram 13% e os módulos

solares obtiveram um decréscimo de 80% no seu preço desde 2004 (KORTENHORST, 2014).

Diante do cenário mundial, torna-se mister verificar os modelos de sucesso na tecnologia FV, de forma que se possa elencar as iniciativas tomadas para alavancar o desenvolvimento da geração de energia fotovoltaica, e compará-las com aquilo que já foi posto em prática no território brasileiro. Tendo em vista que modelos de negócio inovadores e eficientes são necessários para manter a competitividade no mercado energético, o objetivo do presente trabalho é investigar as políticas públicas adotadas pelos países que se destacam na utilização de energia FV - frente a esse cenário de mudanças abruptas no que tange ao fornecimento de energia elétrica - verificando as barreiras encontradas na adaptação do fornecimento de energia elétrica, bem como as medidas tomadas para transpô-las. Pretende-se assim, fazer com que essa pesquisa sirva de importante ferramenta de análise para empreendedores atuantes no setor de energias renováveis, e que por ventura desejem conhecer e investigar o mercado fotovoltaico mundial, bem como seus respectivos modelos inovadores de sucesso, e assim sendo, proporcionar vantagem competitiva no ramo em que estiverem inseridos.

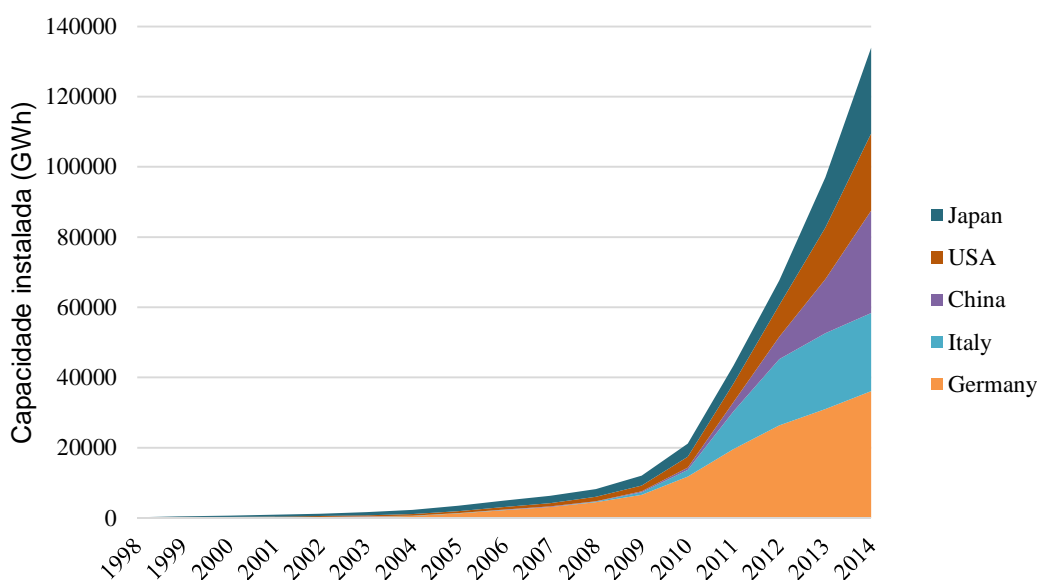
Inicialmente, foi realizado um panorama da geração FV no mundo, relacionando os maiores produtores desse tipo de energia em escala global, e ressaltando os principais mecanismos de incentivo para o desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica mundial. Em seguida, uma análise bibliométrica foi desenvolvida com o objetivo de se perceber a atuação da comunidade científica em relação aos assuntos inerentes a esse trabalho, para cada país selecionado. Após uma análise detalhada de cada país selecionado nesse artigo, fez-se um resumo das perspectivas e possibilidades para o mercado energético brasileiro. Por fim, algumas considerações finais foram tecidas.

2. PANORAMA GLOBAL DA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

Para dar prosseguimento à análise, foi necessário definir os países a serem estudados em relação às suas iniciativas para promover o crescimento da tecnologia FV em sua própria nação. O critério de decisão foi baseado na

capacidade de energia elétrica FV instalada, sendo que esses valores foram coletados da base de dados da *Internacional Energy Agency* (IEA). Na Figura 1 foi ilustrada a capacidade de geração FV instalada nos cinco maiores produtores desse tipo de energia no mundo (MACHADO *et al.*, 2017). É notório o crescimento desse tipo de fonte de geração a partir do ano 2000, e de forma vertiginosa a partir de 2010. Esses dados reforçam a importância que essa fonte de energia conquistou nesses países e ainda há bastante espaço para crescimento não só neles, mas em todo mundo.

Figura 1 - Evolução da capacidade instalada em sistemas de energia FV, de 1998 a 2014, nos cinco países com maior geração de energia FV no mundo.



O Brasil possui uma característica de irradiação bastante atrativa para a geração FV. A irradiação média anual varia entre 1.200 e 2.400 kWh/m²/ano, valores que são significativamente superiores à maioria dos países europeus, cujas estatísticas indicam intervalos entre 900 e 1.250 kWh/m²/ano na Alemanha, por exemplo (EPE, 2012). Além disso, outra característica relevante, do ponto de vista estratégico, são as grandes reservas de quartzo de qualidade, que podem gerar importantes vantagens competitivas para a produção de silício com alto grau de pureza, células e módulos solares, que são produtos de alto valor agregado. Tais fatores potencializam a atração de investidores e o desenvolvimento de um mercado interno, permitindo que se

vislumbre um papel importante na matriz elétrica para este tipo de tecnologia (EPE, 2012).

Apesar das condições geográficas favoráveis em relação à irradiação solar, o Brasil ainda detinha um baixo valor de energia FV gerada em 2011, computando 1,09 MWh de capacidade instalada. Já em 2014, o país garantiu a geração de mais de 1.048 MWh de potencial fotovoltaico, após investir na inclusão dessa fonte de energia em leilões de novas usinas (MACHADO *et al.*, 2017), como a que se encontra em fase de construção no estado do Piauí, figurando como a maior usina de energia solar da América Latina (ENEL GREEN POWER, 2017). Além disso, o governo estabeleceu o objetivo de expandir sua capacidade instalada para 3,5 GWh em 2023. O Ministério de Minas e Energia (MME), por sua vez, divulgou que, no final de 2015, o Brasil detinha 51,1 MW de potência instalada (MME, 2016).

Na literatura, os principais mecanismos de incentivo ao aproveitamento energético de fontes renováveis são o sistema de cotas (*renewable certificates* e leilões de compra), no qual as distribuidoras de energia são obrigadas a atender parte de seu mercado com fontes renováveis, e o sistema de preços (*feed-in tariff*), pelo qual a geração renovável é adquirida a preços subsidiados. No sistema de preços, como o praticado em países europeus, toda a energia produzida é medida e remunerada a preços diferenciados. Em outras regiões, como proposto recentemente na Califórnia - EUA, apenas a parcela da energia exportada para a concessionária é medida e remunerada (*net metering net billing*) (EPE, 2012).

No entanto, existem diversos programas e mecanismos que vão muito além dos dois citados anteriormente. Um estudo realizado pela IEA (2011) levantou diversas formas distintas de incentivo utilizadas pelo mundo. No Quadro 1 estão descritas algumas delas.

Quadro 1 - Principais mecanismos de incentivo a geração fotovoltaica no mundo.

FORMA DE INCENTIVO	DESCRIÇÃO
Subsídio ao investimento inicial	Subsídio direto para enfrentar a barreira do custo inicial, seja sobre equipamentos específicos, seja sobre o investimento total no sistema fotovoltaico.
Tarifa-prêmio	Uma recompensa financeira para a produção de energia fotovoltaica. É paga, geralmente pela concessionária, uma taxa por kWh um pouco maior do que as tarifas pagas pelo consumidor. Nesse caso, a diferença é subsidiada pelo governo.
Dedução do imposto de renda	Permite que algumas ou todas as despesas associadas à instalação de energia fotovoltaica sejam deduzidas do imposto de renda.
<i>Net Billing</i>	A eletricidade retirada da rede elétrica e a eletricidade alimentada na rede são monitoradas separadamente e a eletricidade alimentada na rede é avaliada a um determinado preço.
Portfólio de energia renovável	Exigência obrigatória de que a concessionária obtenha parte de sua energia a partir de fontes renováveis.
Fundos de investimentos para FV	Participação de fundos de investimentos privados.
Edificações sustentáveis	Inclui requisitos mínimos de sustentabilidade em empreendimentos de novos edifícios (residenciais e comerciais), onde a geração FV é uma das opções favorecidas.

Fonte: Adaptado de (IEA, 2011).

3. METODOLOGIA

Essa pesquisa foi classificada como qualitativa, descritiva e exploratória, porque visa, a partir do conhecimento científico já produzido, mas ainda não sistematizado e disponível nas bases científicas, entender as principais influências para o desenvolvimento e difusão da geração fotovoltaica no cenário brasileiro.

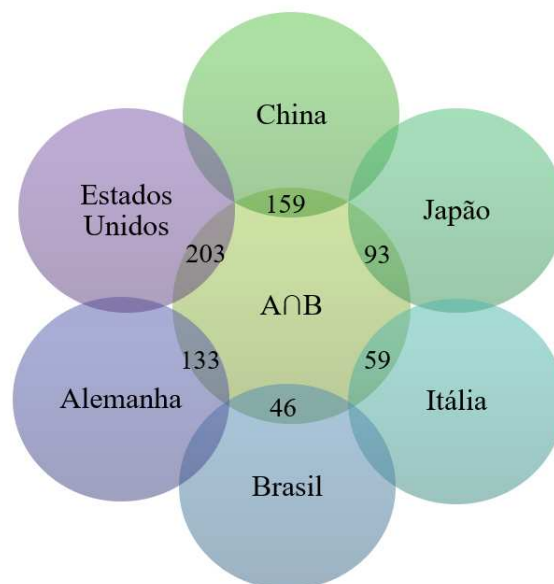
O levantamento bibliométrico foi realizado na base *Scopus*, acessado a partir do portal Capes, em 24/01/2017. Utilizou-se como parâmetros da pesquisa os termos mostrados no Quadro 2 (áreas de conhecimento e seus tesouros). O objetivo constou em verificar quantos trabalhos existentes no campo de energia FV e inovação também mantiveram o foco em um dos cinco países com maior geração fotovoltaica no mundo.

Quadro 2 - Áreas de conhecimento utilizadas como parâmetros de pesquisa na base Scopus.

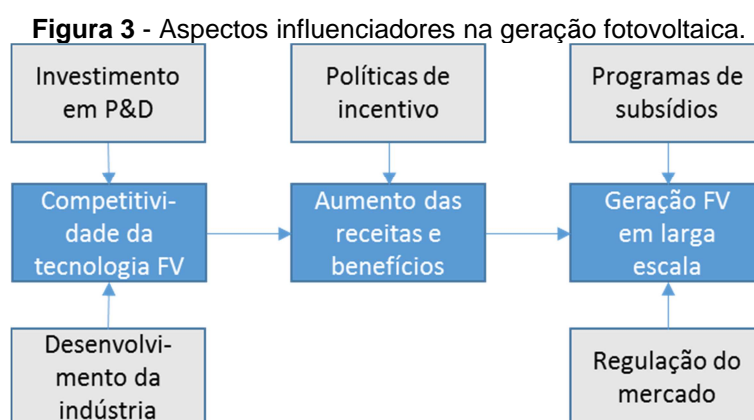
ÁREAS DE CONHECIMENTO	IDENTIFICAÇÃO
title-abs-key (“photovoltaic” or “solar energy” or “solar cells” or “solar power generation” or “solar pv”)	A
title-abs-key (“energy policy” or “power policy” or “public policy” or “support policies”)	B
title-abs-key (“photovoltaic” or “solar energy” or “solar cells” or “solar power generation” or “solar pv”) and title-abs-key (“energy policy” or “power policy” or “public policy” or “support policies”)	$A \cap B$
title-abs-key (“germany”)	-
title-abs-key (“italy”)	-
title-abs-key (“china”)	-
title-abs-key (“united states”)	-
title-abs-key (“japan”)	-
title-abs-key (“brazil”)	-

A Figura 2 mostra os resultados da pesquisa bibliográfica, onde se relacionou as áreas de conhecimento consideradas com os países em análise. Os valores obtidos mostraram que, dentre os cinco países do topo do *ranking* mundial, a maior quantidade de trabalhos publicados no meio científico mundial teve a temática concentrada nos Estados Unidos, com 203 artigos. O menor número foi na Itália com 59 publicações. Por fim, verificou-se que o Brasil foi protagonista da temática com 46 trabalhos, sendo os mais recentes publicados em 2016, e o mais citado, em 2004, com 24 citações. Vale ressaltar que esses números obtidos no levantamento levaram em conta todos os trabalhos, ou seja, artigos de periódicos, congressos, conferências, revisões, entre outros.

Figura 2 - Resultado da pesquisa feita na base Scopus. Os números representam a quantidade de artigos indexados.



Alguns dos artigos encontrados foram analisados com intuito de comparar as diversas práticas adotadas pelos países em estudo. Foram definidos aspectos qualitativos como parâmetro de comparação, de acordo com o que se foi observado na leitura dos principais artigos. Na Figura 3, os blocos cinzas indicam os aspectos influenciadores e os blocos azuis sinalizam o sentido de avanço da difusão FV. Dessa forma, verificou-se a ocorrência ou inexistência de ações voltadas para os pontos descritos, que serviram de diretriz para as análises realizadas na seção seguinte.



4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A difusão da energia fotovoltaica não está relacionada apenas às características de irradiação, questões ambientais e necessidade energética do país. O aumento da participação dessa fonte na matriz energética também se deve as questões ligadas, principalmente, aos incentivos fiscais e investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), com objetivo de melhorar ou equiparar a atratividade do retorno financeiro em relação a outras fontes energéticas. Sendo assim, nessa seção foram apresentados os fatores que alavancaram a geração FV nos países com maior capacidade instalada dessa fonte.

4.1. Alemanha

A energia FV começou a ganhar espaço no cenário energético alemão após o surgimento de incentivos para disseminação dessa tecnologia. Sendo o

primeiro após a aprovação da lei *feed in* que garante incentivos para a utilização de energia renovável. Com o intuito de continuar a promover o crescimento da geração de energia FV, em 1991 foi lançada a política de incentivo “iniciativa 1000 telhados solares” e posteriormente em 1999 a “iniciativa de 100.000 mil telhados solares”. Segundo Grau, Huo e Neuhoff (2011), ambos tiveram duração de 4 anos, e foram os primeiros a darem suporte especificamente ao crescimento da energia FV na Alemanha, onde o banco de desenvolvimento estatal alemão KFW fornecia empréstimos a baixos juros e taxas para serem utilizadas em instalações FV. Esses esforços proporcionaram um resultado importante no crescimento no setor energético onde, segundo Hoppmann, Huenteler e Girod (2014), o programa 100.000 telhados solares aumentou em mais de 15 vezes a oferta de energia FV no período de 1999 até 2003, juntamente com o aumento da remuneração para a energia FV.

Nesse cenário, as leis de energias de fontes renováveis tiveram um papel fundamental para o crescimento da energia FV na Alemanha, pelo fato delas fornecerem meios para que esta energia obtivesse incentivos através do *feed-in-tariff* (FIT). Segundo Grau, Huo e Neuhoff (2011), ela teve início em 2000 e passou por alterações posteriormente. Ela é válida para as fontes de geração de energia renováveis e fornece as maiores tarifas para a geração de energia FV. Somados a isso, com a sua reestruturação em 2009, tornou o mercado de energia FV ainda mais atrativo, pelo fato de ofertar a possibilidade para produtores de energia renováveis a venderem para terceiros (HOPPMANN; HUENTELER; GIROD, 2014).

A implementação do FIT foi um fator crucial para o crescimento da energia FV, juntamente com os empréstimos e taxas com baixos juros oferecidos tornou este mercado ainda mais atrativo, atraindo novas pessoas. Segundo Strupeit e Palm (2016) ela é uma tarifa recebida pelos geradores de energia FV conectados a rede. As políticas de apoio estão diretamente ligadas à expansão da energia FV, o FIT proporcionou uma expansão neste mercado atraindo o investimento em larga escala do setor privado em produção e instalações em sistemas FV (QUITZOW, 2015). Este autor afirmou que o

sucesso alcançado por intermédio dessa política inspirou outros países a adotarem esquemas similares de apoio.

Somados a isso, medidas foram tomadas com a finalidade de transpassar as barreiras impostas pelos consumidores em aderir à tecnologia FV e adentrar neste mercado. Strupeit e Palm (2016) demonstraram algumas estratégias tomadas para atrair o consumidor, reduzir seus custos e incertezas e meios financeiros para garantir o acesso à energia FV. Sendo elas:

- Canais de compras;
- Apoio e consultoria aos clientes;
- Garantia estendida dos produtos;
- Produtos e instaladores certificados;
- Contrato de manutenção opcional;
- Suporte com programas de empréstimos.

4.2. China

Na China os recursos solares são abundantes, tendo uma irradiação média anual de 1.492,6 kWh/m² que é maior que a maioria dos países europeus em latitudes similares. Entretanto, essa radiação não é igualmente distribuída pelo país (ZOU *et al.*, 2017). Comparando com outros países, o desenvolvimento chinês foi relativamente tardio, visto que até 2010 a capacidade instalada FV era insignificante, conforme dados anteriormente apresentados na Figura 1.

O desenvolvimento da indústria FV na China está intimamente relacionado com as políticas de incentivo do governo. Várias leis e programas foram criados, tais como: o Programa *Brightness* (1996), o Programa de Eletrificação Distrital (2002), a Lei das Energias Renováveis (2006), o Programa de subsídio para instalações FV no telhado (2009), o Programa *Golden Sun* (2009), o Programa de Concessão FV (2009), o regime nacional de *feed-in tariff* (2011), o 12º Plano Quinquenal de Desenvolvimento de Energias Renováveis (2012) e a política de serviços de ligação gratuita (2012) (ZHANG; HE, 2013).

Em 2009, o governo chinês promoveu o programa de indústrias estratégicas emergentes, sendo a tecnologia FV mapeada como área crítica. Desde então, o governo chinês elaborou uma série de políticas de apoio para

reduzir a diferença entre indústrias fotovoltaicas chinesas e os países mais desenvolvidos nessa tecnologia. Essas políticas podem ser divididas em duas categorias: subsídios de acordo com a capacidade instalada ou investimento inicial (2009-2013) e subsídios para geração de eletricidade, após 2013 (ZOU *et al.*, 2017), mostrado no Quadro 3.

Quadro 3 - Processo de desenvolvimento de políticas de suporte à geração FV na China.

	DE 2009 A 2013	A PARTIR DE 2013
Prioridade de desenvolvimento	<ul style="list-style-type: none"> - Projeto <i>Golden Sun</i>; - BIPV; 	<ul style="list-style-type: none"> - Geração distribuída FV;
Fraquezas	<ul style="list-style-type: none"> - Excesso de capacidade; - Suspensão de projetos; 	<ul style="list-style-type: none"> - Investimento em P&D; - Carência em inovação tecnológica;
Forças	<ul style="list-style-type: none"> - Promover a construção de plantas FV; - Rápida expansão industrial; 	<ul style="list-style-type: none"> - Estimular a demanda do mercado; - Consumir excesso de capacidade;
Política de suporte	<ul style="list-style-type: none"> - Investimento inicial subsidiado; 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Feed-in tariff</i>; - <i>Net metering</i>; - Fundos governamentais locais.

Fonte: Adaptado de Zou *et al.* (2017).

Em 2013, a Comissão Nacional de Desenvolvimento e Reforma (NDRC) revisou a norma que regulamenta o sistema de preços chinês (*feed-in tariff*). O país foi dividido em três áreas com base na disposição do recurso solar e o *benchmark* de cada uma foi definido pelo governo. Atualmente, a China está implementando uma série de políticas fiscais para promover a indústria FV. Isso inclui uma dedução de 50% dos custos de P&D relacionados com novas técnicas, produtos e processos voltados para FV e uma taxa de restituição de 17% sobre o valor investido em células solares.

Embora a China tenha crescido rapidamente na tecnologia de geração FV, ainda há alguns problemas. Segundo alguns autores, como Sun *et al.* (2014) e Ming *et al.* (2015), os principais são:

- Desenvolvimento do mercado: excesso de capacidade produtiva de equipamentos FV, desbalanceamento entre oferta e demanda na cadeia produtiva FV e dificuldade de conexão dos sistemas FV à rede;
- Política industrial: ausência de um planejamento unificado. Distorções na política fiscal e de impostos, e incertezas no sistema de preços (*feed-in tariff*);
- Desconfiança das instituições financeiras com as indústrias FV.

4.3. Itália

Localizada no sul da Europa, a Itália se beneficia de um potencial fotovoltaico bastante favorável para essa tecnologia apresentando, em Milão por exemplo, irradiação média anual de 1.680 kWh/m² (PVGIS, 2017). Além disso, a Itália figura entre os países europeus com o custo de fornecimento de energia elétrica mais caro. A partir de 2009, com a tomada de ações e planos diretores para incentivar a geração FV, a Itália se tornou, segundo dados da IEA, o terceiro país com maior capacidade instalada FV no mundo.

A comunidade científica tem desenvolvido pesquisas inovadoras no âmbito das energias renováveis. Como exemplo de importante estudo, pode-se citar o trabalho de Cassetari *et al.* (2017), que explorou o campo de Simulação a Eventos Discretos associado ao consumo de equipamentos e geração FV em uma planta industrial de curtimento de couros no sul da Itália. O principal objetivo foi de elaborar um recurso de previsão de demanda elétrica para o dia posterior, levando-se em consideração o plano de trabalho diário e as estimativas climáticas – estando essas intimamente ligadas com a geração elétrica de um sistema fotovoltaico com capacidade máximo de 700 kW.

Com uma política de incentivo e apoio muito atraente, o governo italiano teve um papel relevante na diminuição dos preços e, conseqüentemente, no desenvolvimento da energia fotovoltaica. O programa de apoio nacional Conto Energia, iniciado em 2005 e dividido em cinco sub-programas, tornou-se muito mais atraente em 2007 (PAIANO, 2015). Ele consiste numa combinação de medidas de *feed-in tariff* segmentado em função do tipo de instalação (sistema integrado ou não integrado) e da capacidade instalada. Nessa fase, o objetivo foi incentivar a instalação de pequenas sistemas com capacidade instalada de até 20 kW.

Contudo, desde 2011 a política governamental tomou uma direção menos agressiva, levando a uma redução destes incentivos e, conseqüentemente, a uma diminuição no crescimento desta fonte de energia renovável. Nessa mudança, o governo percebeu que os incentivos criados haviam gerado uma distorção no setor. Contudo, mesmo após as alterações, um grande número de plantas FV com capacidade instalada da ordem de MW já havia sido instalado em campos abertos. As novas regras reduziram fortemente os benefícios para

as plantas com mais de 200 kW, mas a simples redução do *feed-in tariff* não foi suficiente para diminuir a velocidade de instalação de novas plantas FV (ANTONELLI; DESIDERI, 2014b).

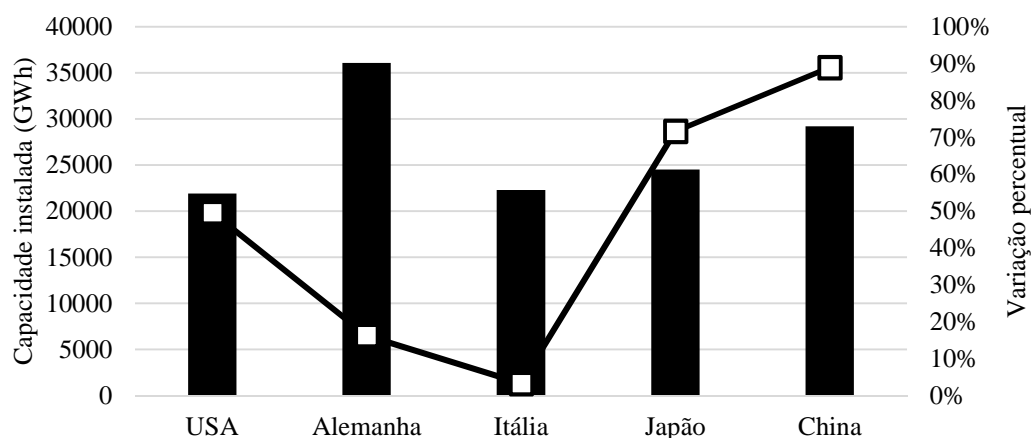
O mercado que foi criado na Itália pelos esquemas de *feed-in tariff* causou uma mudança significativa nos custos das plantas FV. De fato, esperava-se uma redução de custo devido ao grande volume do mercado, com um contínuo declínio no custo dos painéis fotovoltaicos. Nos anos de 2010 e 2011, temia-se que os fabricantes não pudessem fornecer painéis suficientes para acompanhar a demanda. No levantamento realizado nos estudos de Antonelli e Desideri (2014a) constatou-se que apesar do governo ter definido o valor da tarifa e baixando-a gradativamente, ao invés de adequar a tarifa ao custo da planta FV, o custo da instalação FV baixava quase que ao mesmo tempo do valor da tarifa, de forma a manter a atratividade do investimento.

Uma das dificuldades na expansão da geração FV é que as redes elétricas de algumas regiões do sul se tornaram inadequadas para atender, ao mesmo tempo, a geração de energia eólica e fotovoltaica, pois ambas têm a mesma curva característica de pico de energia gerada. Portanto, é necessário desenvolver um plano especial de melhorias e adequações da rede elétrica nessas regiões (ELGAMAL; DEMAJOROVIC; AUGUSTO, 2015).

4.4. Japão

Dentre os países analisados, o Japão apresentou a segunda maior taxa de aumento de capacidade instalada em energia FV, de 2013 para 2014, atingindo 72% de variação percentual. Ele perdeu apenas para a China, que obteve 89% de evolução. A Figura 4 mostra esse comportamento, de acordo com dados do IEA, divulgados em setembro de 2016.

Figura 4 - Capacidade instalada de energia FV em 2014 (barras) e variação percentual (linhas), entre 2013 e 2014.

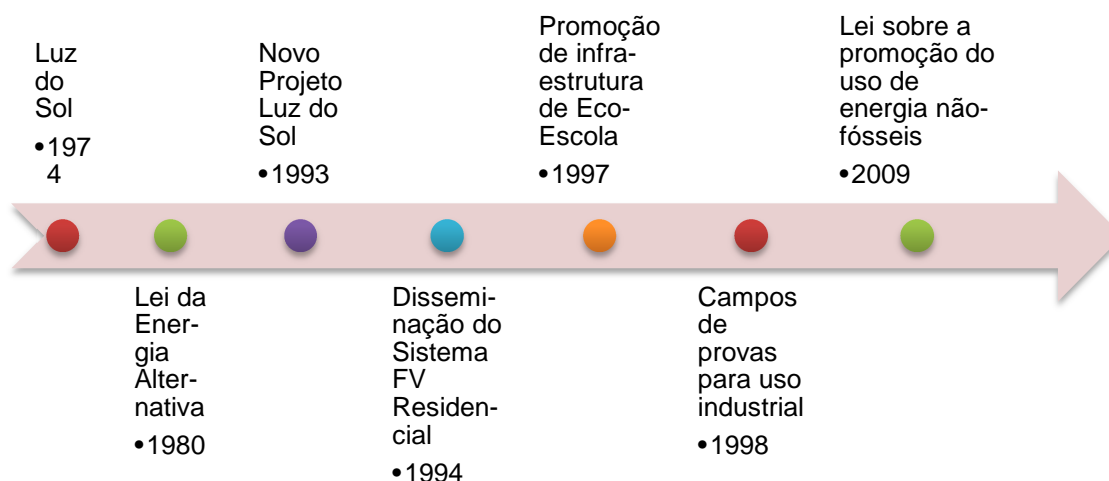


Zheng e Kammen (2014) afirmaram que o Japão, equiparado aos Estados Unidos, foi o principal inovador mundial em tecnologia fotovoltaica, apesar do reduzido tamanho de mercado. A prática comumente observada no território japonês foi a venda cruzada entre casas pré-fabricadas e sistemas fotovoltaicos, sendo que em 2011, 60% dessas residências foram vendidas com um sistema FV. A vantagem financeira para o consumidor observada foi a economia de 10% no valor pago por uma construção pré-fabricada com uma instalação fotovoltaica instalada, se comparado com um sistema *retrofit*, onde se adaptaria o sistema à estrutura já existente. Percebeu-se que o ajuste das placas ao telhado dessas edificações geralmente se mostra como uma solução mais atraente e econômica em comparação com sistemas *add-on*. Os clientes que adquiriram suas casas juntamente com as placas FV demonstraram maior satisfação na adesão (STRUPEIT; PALM, 2016). Concluiu-se que o fator de sucesso desse modelo de negócio, no Japão, foi a existência de indústrias de construção civil altamente avançadas no setor de casas pré-fabricadas, possuindo alto grau de automação e sistemas logísticos avançados, sendo um dos maiores destaques mundiais. Isso gerou grande padronização, viabilizando o negócio.

De acordo com Vasseur *et al.* (2013), as políticas japonesas se mostram fortes e consistentes com o auxílio das instituições. Além disso, é alta a intensidade dos investimentos governamentais em P&D. Uma linha do tempo das iniciativas foi mostrada na Figura 5, com base nas afirmações de Chowdhury *et al.* (2014), juntamente com alguns projetos do governo. A

projeção para 2030 é otimista, com metas de aumento de eficiência das placas FV e redução dos custos. O objeto quanto ao custo é que, até 2030, o mesmo seja equiparado aos valores da geração de energia térmica, e foi denominado como *grid parity*, ou seja, paridade de rede.

Figura 5 - Linha do tempo dos principais projetos de P&D no Japão.



4.5. Estados Unidos

Tendo por base os valores de capacidade de energia FV instalada, a nação americana mostrou um aumento em torno de 50%, encerrando assim o ano de 2014. A rápida expansão dessa tecnologia no país norte-americano se deu pela queda dos custos, incentivos de políticas públicas e financiamentos na área de inovação (DARGHOUTH *et al.*, 2016). A Califórnia é o estado líder nessa tecnologia e, juntamente com Arizona e Nova Jersey, representam dois terços da energia gerada no país (STRUPEIT; PALM, 2016).

Uma das diretrizes que justificam a crescente inovação em tecnologia FV nos Estados Unidos, são as políticas públicas, bem destacadas por Elgamal *et al* (2015). De acordo com os autores, essas iniciativas podem ser descritas conforme mostrado no Quadro 4.

Quadro 4 - Políticas públicas de incentivo com suas respectivas abrangências.

POLÍTICA PÚBLICA	ABRANGÊNCIA NACIONAL
Linhas de financiamento diferenciado para compra de equipamento	5 estados
Transferências diretas com base em créditos, desempenho ou desconto	Mais da metade dos estados
Redução de impostos sobre a edificação (meio fiscal/tributário)	Poucos estados
Desconto ou eliminação das taxas do sistema FV (meio fiscal)	Poucos estados
<i>Net metering</i>	Praticamente todos os estados
Redução do imposto de renda em 30% do custo de instalação	-

Outra frente que se observa está relacionada aos modelos de negócio adotados no país. Um deles, observado por Strupeit e Palm (2016), foi o denominado “propriedade de terceiros” ou “terceiro proprietário” (*third-party ownership* – TPO). Essa forma de abordagem tem como característica principal a centralização do projeto, instalação e manutenção de sistemas fotovoltaicos no próprio local de aquisição. A energia gerada é vendida para o próprio morador local, que ganha em redução de custos no que tange à aquisição, manutenção e operação. Outra vantagem é a proteção que se gera em relação aos custos variáveis das concessionárias tradicionais.

Nesse sentido, soluções também são fornecidas à proprietários de edifícios. Strupeit e Palm (2016) apontaram a utilização do contrato de compra de energia (*power purchase agreement* – PPA). Nesse esquema, o proprietário compra a energia FV gerada pelo preço equivalente a um período de, aproximadamente, 15-20 anos. Nesse ínterim, é realizado um balanço energético entre a oferta de energia e a demanda elétrica da edificação. Ao findar do contrato, o proprietário pode optar por adquirir um sistema de geração FV, rescindir o acordo ou renová-lo. Nos estados em que o PPA não é regularizado, pode-se alugar o equipamento de geração ao invés de comprar a energia.

4.6. Brasil

O Brasil possui grande área para difusão da energia renovável, em caráter especial, à energia FV, porém esse grande potencial ainda não é fortemente explorado. Essa área alcança valores de 8,5 milhões de km². No

entanto, no ano de 2013 a energia FV ainda não havia sido computada como uma fonte relevante de geração na matriz elétrica (EPIA, 2014). Em 2011 seria necessária 2.400 km² com uma irradiação média de 1.400 kW/m²/ano para suprir a demanda energética nacional (EPE, 2012).

Faz-se necessário o investimento em outras formas de geração de energia devido às oscilações no regime de chuvas, prejudicando o nível das hidrelétricas (WWF, 2015). A energia FV, neste cenário, atuaria como um complemento para suprir a demanda energética. Para que a energia FV seja ainda mais atraente novas leis de incentivos fiscais necessitam ser implementadas e/ou melhoradas.

Nesse sentido, recentemente foi iniciada a instalação da maior usina de energia solar da América Latina, no Piauí, denominada “Nova Olinda”. A iniciativa foi de uma empresa italiana (*Enel Green Power*), e a capacidade de geração da planta será de até 600 GWh por ano, atendendo as necessidades energéticas de até 300.000 famílias, além de gerar empregos na região (ENEL GREEN POWER, 2017).

Neste cenário, em 2012 foi criado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) a resolução normativa nº 481/2012 fornecendo desconto de 80% para as tarifas de uso dos sistemas de transmissão e distribuição, este será válido por 10 anos para os empreendimentos que iniciarem sua operação até o dia 31 de dezembro de 2017. Somado a isso, a resolução nº 482/2012 visa estabelecer condições de microgeração e minigeração aos sistemas de distribuição de energia elétrica, habilitando o consumidor a produzir sua própria energia elétrica através de fontes renováveis ou cogeração qualificada, onde o excedente é enviado para a rede de distribuição de sua localidade. A ANEEL, visando proporcionar melhorias revisou esta última resolução através da resolução normativa nº 687/2015. As principais melhorias foram:

- Quando a energia introduzida na rede for maior que a energia consumida, o consumidor terá créditos para gastar por até 60 meses;
- Utilização de energia distribuída em unidade de múltiplos empreendimentos (condomínios);

- Geração compartilhada: interessados podem se unir em um consórcio ou uma cooperativa para instalar uma microgeração ou minigeração distribuída utilizando a energia gerada para reduzir as faturas do consórcio ou da cooperativa;
- Criação de formulários padrão para solicitação de acesso pelo consumidor; Redução do prazo total de 82 dias para 34 dias para conexão da distribuidora a usinas de até 75 kW.

O MME (2016) ressaltou algumas das principais das iniciativas adotadas no Brasil, para incentivar a disseminação da tecnologia FV. Elas demonstram que o país está investindo no desenvolvimento de mecanismos para viabilizar a instalação fotovoltaica no escopo nacional. As medidas em vigor foram descritas no Quadro 5.

Quadro 5 - Relação de alguns dos principais mecanismos de incentivo adotados no Brasil.

INCENTIVO	REFERÊNCIA	DESCRIÇÃO
PROGD	Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída (15 de dezembro de 2015).	Visa aprofundar as ações de estímulos à geração de energia renovável, em especial a fotovoltaica, pelos consumidores residenciais, comerciais, industriais e agropecuários.
Isenção de IPI	Decreto nº. 7.212, de 15 de junho de 2010.	A energia elétrica, derivados de petróleo, combustíveis e minerais ficam imunes à incidência do Imposto sobre Produtos Industrializados.
Isenção de ICMS	Convênio ICMS 101/97.	Isenção do imposto sobre operações com equipamentos que aproveitam a energia solar e eólica, válido até o final de 2021.
Desconto na TUST/TUSD	RN ANEEL 481/2012.	Desconto de 80% na tarifa de uso do sistema de transmissão e distribuição para empreendimentos com potência inferior a 30 MW.
Isenção de ICMS, PIS e COFINS na Geração Distribuída	- Convênios ICMS 16, 44 e 52, 130 e 157, de 2015. - Lei 13.169, de 6/10/2015.	Isenção sobre a energia gerada pelo consumidor, para instalações inferiores a 1 MW.
Inclusão no programa "Mais Alimentos"	-	Financiamentos a juros mais baixos para produção de energia solar e eólica.
Apoio BNDES	Lei 13.203, de 8/12/2015.	Financiamento com taxas diferenciadas para projetos de geração distribuída em hospitais e escolas públicas.
Plano Inova Energia	Criação em 2013, pelo BNDES, FINEP e ANEEL.	Fundo de R\$ 3 bilhões, com foco em PD&I para empresas privadas: redes inteligentes, linhas de transmissão de longa distância em alta tensão, energias alternativas, como a solar; eficiência de veículos elétricos.

Fonte: Adaptado de MME (2016).

4.7. Perspectivas e possibilidades para o mercado brasileiro

O Quadro 6 apresentou um resumo do levantamento realizado que identificou as políticas de incentivo utilizadas pelos principais países e o Brasil. As iniciativas listadas foram baseadas no estudo da IEA (2011).

Quadro 6 - Relação das principais iniciativas mundiais no desenvolvimento da tecnologia FV.

INICIATIVAS	USA	ALEMANHA	ITÁLIA	JAPÃO	CHINA	BRASIL
Tarifa-prêmio (FIT)	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	
Subsídio ao investimento inicial	Sim		Sim	Sim	Sim	
Incentivo a aquisição da energia produzida	Sim					
Dedução no imposto de renda	Sim					
Obrigação da aquisição da energia pela concessionária	Sim			Sim		
Fundos de investimentos para FV	Sim	Sim				
<i>Net metering / net billing</i>	Sim				Sim	Sim
Ações voluntárias de bancos comerciais	Sim	Sim	Sim	Sim		
Ações voluntárias de distribuidoras	Sim	Sim		Sim		
Padrões em edificações sustentáveis		Sim			Sim	

Fonte: Adaptado de IEA (2011).

A iniciativa de tarifa-prêmio foi o elo comum entre os cinco países estudados. Logo, infere-se que esse mecanismo se trata de um dos mais eficientes na disseminação da geração FV. Sob a ótica do lado do investidor, essa iniciativa é bastante interessante porque garante uma taxa mínima de retorno do investimento atraente, ainda mais em um momento de recessão econômica em escala global. Outro ponto interessante é que a energia nesses países, principalmente os europeus, estão entre as mais caras do mundo.

Do lado contrário, a iniciativa de dedução do imposto de renda é a menos utilizada nos países observados, sendo aplicada apenas nos EUA. Fazendo uma abrangência para o Brasil, a dedução no imposto de renda, a depender do percentual, pode ser atrativa economicamente, entretanto seu espectro de influência seria bastante restrito, visto que menos de 15% da população em 2014 estavam engradados na regra de declaração anual de imposto de renda.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse artigo apresentou o cenário mundial atual do desenvolvimento e difusão da geração FV. Além disso, foram identificados os diversos mecanismos de estímulo patrocinados pelos governos dos países com maior capacidade instalada (Alemanha, China, EUA, Itália e Japão) e do Brasil, cujo o objetivo principal dessas políticas é a consolidação da geração FV na matriz energética. Um aspecto comum nos países com protagonismo mundial na geração distribuída FV é a forte participação do governo atuado em diversas frentes: incentivos fiscais, investimentos em P&D, subsídios para a aquisição dos sistemas, incentivos a indústria de painéis e equipamentos, dentre outros.

No Brasil, as condições naturais são extremamente favoráveis quando se compara os níveis de radiação solar com outros lugares no mundo, apesar disso, a geração de energia a partir da fonte FV é pouco representativa na matriz energética nacional diante do seu potencial. Os recentes incentivos tarifários e de compensação de energia para a micro e mini geração permitem afirmar que a viabilidade econômica para alguns projetos já é positiva. Entretanto, identificou-se pontos, tais como a indústria de fabricação de painéis fotovoltaicos e equipamentos eletrônicos e melhores opções de financiamento do investimento inicial, que devem ser desenvolvidos e aperfeiçoados para que a geração FV possa dar um salto em escala nacional.

A iniciativa de tarifa-prêmio foi a utilizada nos cinco países estudados, enquanto que o incentivo para aquisição da energia produzida e a dedução no imposto de renda parte do investimento inicial foram utilizadas apenas pelos EUA. Constata-se pelo Quadro 6 e pelas análises realizadas que o Brasil tem um longo caminho a ser percorrido para aumentar a atratividade para geração FV. O governo federal e órgãos reguladores possuem uma série de frentes a serem analisadas e adaptadas a realidade brasileira para serem implantadas. Ainda assim, o país possui uma gama de incentivos (Quadro 5) que, mesmo ainda não tão impactantes, denotaram um foco no desenvolvimento da economia energética sustentável. O conhecimento desses mecanismos por parte de empresas com foco em energia não-poluente foi considerado como fundamental.

Estudos na área de energias renováveis são necessários e importantes por diversos aspectos, principalmente porque influenciam diretamente na melhor utilização dos recursos energéticos e na redução da emissão de carbono. Sugere-se que sejam abordados especificamente as iniciativas apontadas neste trabalho como ponto de partida para análises de sua aplicabilidade e o respectivo impacto no mercado brasileiro, tanto na geração distribuída como centralizada.

REFERÊNCIAS

ANTONELLI, M.; DESIDERI, U. The doping effect of Italian feed-in tariffs on the PV market. **Energy Policy**, v. 67, p. 583–594, abr. 2014a.

ANTONELLI, M.; DESIDERI, U. Do feed-in tariffs drive PV cost or viceversa? **Applied Energy**, v. 135, p. 721–729, dez. 2014b.

BOONS, F. et al. Sustainable innovation, business models and economic performance: an overview. **Journal of Cleaner Production**, v. 45, p. 1–8, abr. 2013.

CASSETTARI, L. et al. Energy Resources Intelligent Management using on line real-time simulation: A decision support tool for sustainable manufacturing. **Applied Energy**, v. 190, p. 841–851, mar. 2017.

CHOWDHURY, S. et al. Importance of policy for energy system transformation: Diffusion of PV technology in Japan and Germany. **Energy Policy**, v. 68, p. 285–293, maio 2014.

DARGHOOUTH, N. R. et al. Net metering and market feedback loops: Exploring the impact of retail rate design on distributed PV deployment. **Applied Energy**, v. 162, p. 713–722, jan. 2016.

DÁVI, G. A. et al. Energy performance evaluation of a net plus-energy residential building with grid-connected photovoltaic system in Brazil. **Energy and Buildings**, v. 120, p. 19–29, 2016.

ELGAMAL, G. N. G.; DEMAJOROVIC, J.; AUGUSTO, E. E. F. Os desafios da implementação da energia fotovoltaica no Brasil: uma análise dos modelos nos principais mercados mundiais. nov. 2015.

ENEL GREEN POWER. **Nova Olinda Comes to Life: First Solar Panel is Installed!** Disponível em: <<https://www.enelgreenpower.com/content/enel-egp/en/megamenu/media/news/2017/02/nova-olinda-comes-to-life-first-solar-panel-is-installed.html>>. Acesso em: 6 fev. 2017.

EPE, N. T. Análise da inserção da geração solar na matriz elétrica brasileira. **Nota Técnica da EPE, Rio de Janeiro**, 2012.

EPIA. Global Market Outlook for Photovoltaics 2014-2018. **EPIA report**, p. 1–60, 2014.

GRAU, T.; HUO, M.; NEUHOFF, K. Survey of Photovoltaic Industry and Policy in Germany and China. **Energy Policy**, v. 51, p. 20-37, dez. 2012.

HOPPMANN, J.; HUENTELER, J.; GIROD, B. Compulsive policy-making—The evolution of the German feed-in tariff system for solar photovoltaic power. **Research Policy**, v. 43, n. 8, p. 1422–1441, out. 2014.

IEA. **Trends In Photovoltaic Applications: Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2010**, 2011.

IEA. **Tracking Clean Energy Progress 2016**, 2016.

KOLOKOTSA, D. The role of smart grids in the building sector. **Energy and Buildings**, v. 116, p. 703–708, 2016.

KORTENHORST, J. **The Energy Revolution is Here- Solutions Journal Summer 2014**, 18 ago. 2014. Disponível em: <<https://medium.com/solutions-journal-summer-2014/the-energy-revolution-is-here-841c6906a348#.sit9084d5>>. Acesso em: 8 fev. 2017

MACHADO, T. S. et al. **Modeling and simulation for the analysis of a distributed generation system for building clusters**. . In: 6TH LATIN AMERICAN ENERGY ECONOMICS MEETING - ELAEE. Copacabana, RJ: abr. 2017

MING, Z. et al. Is the “Sun” still hot in China? The study of the present situation, problems and trends of the photovoltaic industry in China. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 43, p. 1224–1237, mar. 2015.

MME. **Energia Solar no Brasil e Mundo**. Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia, 2016.

PAIANO, A. Photovoltaic waste assessment in Italy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 41, p. 99–112, jan. 2015.

PVGIS. **PV potential estimation utility**. Disponível em: <<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>>. Acesso em: 8 jan. 2017.

QUITZOW, R. Dynamics of a policy-driven market: The co-evolution of technological innovation systems for solar photovoltaics in China and Germany. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, v. 17, p. 126–148, dez. 2015.

STRUPEIT, L.; PALM, A. Overcoming barriers to renewable energy diffusion: business models for customer-sited solar photovoltaics in Japan, Germany and

the United States. **Journal of Cleaner Production**, v. 123, p. 124–136, jun. 2016.

SUN, H. et al. China's solar photovoltaic industry development: The status quo, problems and approaches. **Applied Energy**, v. 118, p. 221–230, abr. 2014.

VASSEUR, V.; KAMP, L. M.; NEGRO, S. O. A comparative analysis of Photovoltaic Technological Innovation Systems including international dimensions: the cases of Japan and The Netherlands. **Journal of Cleaner Production**, v. 48, p. 200–210, jun. 2013.

WWF. **Desafios e Oportunidades para a energia solar fotovoltaica no Brasil**: 1. Brasília: WWF-Brasil, jun. 2015.

ZHANG, S.; HE, Y. Analysis on the development and policy of solar PV power in China. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 21, p. 393–401, maio 2013.

ZHENG, C.; KAMMEN, D. M. An innovation-focused roadmap for a sustainable global photovoltaic industry. **Energy Policy**, v. 67, p. 159–169, abr. 2014.

ZOU, H. et al. Market dynamics, innovation, and transition in China's solar photovoltaic (PV) industry: A critical review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 69, p. 197–206, mar. 2017.

Enviado em: 29 ago. 2017

Aceito em: 01 dez. 2017

Editor responsável: Mateus das Neves Gomes