

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO AMBIENTAL E
NEGÓCIOS NO SETOR ENERGÉTICO**

RONALDO BOJART CINTRÃO

**BARREIRAS AO USO E INSTALAÇÃO DE SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS DESCENTRALIZADOS
NA CAPITAL DE SÃO PAULO**

**SÃO PAULO
2014**

RONALDO BOJART CINTRÃO

BARREIRAS AO USO E INSTALAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS
DESCENTRALIZADOS NA CAPITAL DE SÃO PAULO

Monografia para conclusão do Curso
de Especialização em Gestão
Ambiental e Negócios no Setor
Energético do Instituto de
Eletrotécnica e Energia da
Universidade de São Paulo.

Orientador: Prof. Dr. Oswaldo Lucon

SÃO PAULO
2014

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

FICHA CATALOGRÁFICA

Cintrão, Ronaldo Bojart

Barreiras ao uso e instalação de sistemas fotovoltaicos descentralizados na capital de São Paulo. /Ronaldo Bojart Cintrão; orientador Oswaldo Lucon. – São Paulo, 2014.

69 p. il.; 30cm.

Monografia (Curso de Especialização em Gestão Ambiental e Negócios no Setor Energético) Instituto de Eletrotécnica e Energia – Universidade de São Paulo.

1. Energia Solar Fotovoltaica 2. Políticas de Incentivo 3. Dificuldades de implantação I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter me dado forças e iluminado meus caminhos, permitindo que eu conquistasse mais esta vitória.

Ao Prof. Dr. Oswaldo Lucon, pela orientação e valiosa contribuição no desenvolvimento deste trabalho.

Gostaria de agradecer também a todos os mestres que compuseram o corpo de ensino deste curso.

Ao meu pai amado Renato (*in memoriam*) simplesmente por ter me ensinado a persistir nos meus anseios.

A Camilo José e a Pompílio Neto, pelos valiosos comentários que me ajudaram durante a elaboração desta pesquisa.

Agradeço especialmente à minha esposa Zélia Maria, para quem dedico esta vitória, pelo amor, paciência, compreensão e ajuda durante o período do curso, sem os quais não seria possível alcançar mais esse objetivo.

RESUMO

CINTRÃO, Ronaldo Bojart. **Barreiras ao uso e instalação de sistemas fotovoltaicos descentralizados na capital de São Paulo**. 2014. 69 p. Monografia (Curso de Especialização em Gestão Ambiental e Negócios no Setor Energético) – Instituto de Eletrotécnica e Energia. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

Este trabalho apresenta uma discussão e análise a respeito das barreiras à implantação da energia solar fotovoltaica no município de São Paulo através de uma revisão bibliográfica de artigos acadêmico-científicos, documentos oficiais e levantamentos geográficos e estatísticos. São propostos quatro âmbitos para abordagem destas barreiras: econômico, político e regulatório, geofísico e ambiental. A identificação e análise de tais empecilhos não são proibitivos para a instalação da energia fotovoltaica no município de São Paulo, desde que sejam adotadas políticas públicas locais de incentivo, regulação adequada e iniciativas do setor privado.

Palavras-chaves: Energia Solar Fotovoltaica; Políticas de Incentivo; São Paulo.

ABSTRACT

CINTRÃO, Ronaldo Bojart. **Barriers to the use and installation of decentralized photovoltaic systems in the city of São Paulo**. 2014. 69 p. Monograph (Graduate Certificate in Environmental Management and Business in the Energy Sector). Institute of Electrotechnics and Energy. University of São Paulo, São Paulo, 2014.

This work presents a discussion and analysis about the barriers to deployment of solar photovoltaics in São Paulo through a literature review of academic-scientific articles, official documents and spatial and statistical data. Four areas are proposed for addressing these barriers: economic, political and regulatory, geophysical and environmental. The identification and analysis of those obstacles are not prohibitive for the installation of photovoltaics in São Paulo, since local public incentive policies, adequate regulation and private sector initiatives are adopted.

Keywords: Photovoltaic Solar Energy; Incentive Policies; city of São Paulo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Aplicações da energia solar	15
Figura 2.	Esquema de funcionamento de uma célula fotovoltaica	17
Figura 3.	Célula, módulo e painel fotovoltaico	18
Figura 4.	Esquema de funcionamento de um sistema fotovoltaico isolado (<i>off-grid</i>)	20
Figura 5.	Esquema de funcionamento de um sistema fotovoltaico interligado à rede (<i>on-grid</i>)	20
Figura 6.	Telhado de estabelecimento com filme fino aplicado às telhas	21
Figura 7.	Instituto de Tecnologia em Berlim. Fachada com aplicação de filme fino	21
Figura 8.	Matriz elétrica mundial por fonte em 2010	22
Figura 9.	Geração fotovoltaica global por região em 2012	23
Figura 10.	Capacidade instalada de energia fotovoltaica por região (<i>New Policies Scenario</i>)	23
Figura 11.	Brasil – insolação diária, média anual (horas)	26
Figura 12.	Brasil – radiação solar global horizontal, média anual (kWh/m ²)	27
Figura 13.	Potencial anual médio de energia solar em cada uma das cinco regiões brasileiras	31
Figura 14.	Incidência Solar Global no Estado de São Paulo, média anual por município, em kWh/m ² .dia	32
Figura 15.	Potência instalada por tecnologia até 2020 no Estado de São Paulo	33
Figura 16.	Elos da cadeia fotovoltaica e empresas no mundo	35
Figura 17.	Preço x Possibilidade de instalação de fontes alternativas	38
Figura 18.	Custo total de implantação de sistemas fotovoltaicos isolados	39
Figura 19.	Custos históricos de módulos de c-Si, valores corrigidos a valores de mar/2012	40
Figura 20.	Custos de baterias convencionais e OPzS para sistemas fotovoltaicos, valores corrigidos a mar/2012	41
Figura 21.	Percepção e decisão do consumidor	43
Figura 22.	Índice de geração de emprego por MW instalado para diversas fontes e tecnologias	46
Figura 23.	Evolução da geração elétrica na Alemanha	49
Figura 24.	Brasil – Indicador de viabilidade para clientes na baixa tensão	55
Figura 25.	Incidência solar global – média anual. Região metropolitana de São Paulo	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Localidades com elevado nível de radiação solar	15
Tabela 2.	Tipos de células fotovoltaicas	18
Tabela 3.	Capacidade de Geração Energética em Operação no Brasil, por tipo, em 17/02/2014	27
Tabela 4.	Capacidade de Geração Energética em Operação no Estado de São Paulo, por tipo, em 17/02/2014	29
Tabela 5.	Capacidade de Geração Energética Total e Fotovoltaica Instalada, por Estado produtor, em 17/02/2014	29
Tabela 6.	Cadeia produtiva da energia solar fotovoltaica	35
Tabela 7.	Custos para a instalação de plantas de escala economicamente viável, por elo da cadeia, em 2008	36
Tabela 8.	Preços de produtos da cadeia fotovoltaica nos EUA (exceto quando indicado), dez/2011	36
Tabela 9.	Faixas de custo médio do MW/h gerado, 2011	38
Tabela 10.	Custo por tipo de energia, 2008	42
Tabela 11.	Custo por equipamento elétrico utilizado	42
Tabela 12.	Mundo e países selecionados: capacidade instalada de geração fotovoltaica, 2006 e 2010 (em MW)	44
Tabela 13.	Comparação entre custos da energia fotovoltaica e preço da energia da rede elétrica (US\$ cents/kWh)	45
Tabela 14.	Distribuição regional dos sistemas fotovoltaicos instalados pelo PRODEEM até o ano de 2002	53
Tabela 15.	Radiação solar global média nas regiões administrativas – Estado de São Paulo (kWh/m ² .dia)	55
Tabela 16.	Impactos socioambientais decorrentes da construção e operação de parques fotovoltaicos	59

LISTA DE ABREVIATURAS

ABINEE	Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica
ABDI	Associação Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
IEA	<i>International Energy Agency</i> (Agência Internacional de Energia)
MME	Ministério de Minas e Energia
PNE 2030	Plano Nacional de Energia 2030
PPE 2020	Plano Paulista de Energia 2020

SUMÁRIO

1.	Introdução	11
2.	Metodologia	13
3.	Revisão Bibliográfica	14
3.1.	Energia Solar Fotovoltaica	14
3.1.1.	Panorama Mundial	22
3.1.2.	Panorama Brasileiro	25
3.1.3.	Panorama Paulista	29
3.2.	Barreiras ao uso e instalação de sistemas fotovoltaicos descentralizados na Capital de São Paulo	33
3.2.1.	Barreiras Econômicas	34
3.2.1.1.	Custo de Produção	34
3.2.1.2.	Custo de Instalação	39
3.2.1.3.	Custo ao Consumidor	42
3.2.2.	Barreiras Políticas e Regulatórias	44
3.2.2.1.	Políticas de Incentivo e Regulação	44
3.2.2.2.	Plano Nacional de Energia 2030	48
3.2.2.3.	Plano Paulista de Energia 2020	50
3.2.3.	Barreiras Geofísicas	52
3.2.4.	Barreiras Ambientais	58
4.	Discussão	60
5.	Conclusão	65
6.	Referências	67

1. INTRODUÇÃO

A geração de energia elétrica tem se tornado um tema cada vez mais crucial para o mundo contemporâneo, especialmente para os grandes centros urbanos. Os modelos tradicionais, renováveis ou não, têm apresentado entraves econômicos e ambientais que suscitam o desafio de desenvolver e aplicar uma fonte (ou várias fontes alternativas) energética segura, não dispendiosa e que acarrete menor dano ambiental em suas fases de construção, operação e desativação.

O Brasil se destaca no cenário mundial por ter sua matriz de energia elétrica composta majoritariamente por fontes renováveis, com destaque para as usinas e centrais hidrelétricas, que satisfazem mais de 80% da demanda elétrica nacional (NETO, 2010, p. 36). No Estado de São Paulo, estima-se que 55% de sua geração elétrica provenham de fontes renováveis (SÃO PAULO, 2012, p. 19). A utilização em escala majoritária de fontes renováveis coloca o país e o Estado de São Paulo em posição de destaque nacional e internacional mas, apesar disso, ainda restam importantes questões como os altos custos provenientes da rede de transmissão e distribuição e os custos ambientais oriundos da inundação de grandes áreas, afetando ecossistemas e comunidades.

Para grandes centros urbanos, como a região metropolitana de São Paulo que abriga em torno de 20 milhões de habitantes, além de grandes empresas e indústrias, a segurança no abastecimento energético é um fator determinante para a estruturação e funcionamento das suas densas e complexas relações econômicas e sociais. Dentro do cenário nacional e estadual de grande extensão e complexidade das redes de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, a possibilidade de desenvolver e aproveitar uma rede própria de fornecimento de energia elétrica poderia garantir maior segurança e autonomia à cidade de São Paulo.

A geração da energia solar fotovoltaica surge, assim, não apenas como um avanço tecnológico e laboratorial, mas como a real possibilidade de suprir parte da demanda de energia elétrica da capital, especialmente nos horários de picos de demanda (durante o dia, quando se dá a geração de energia solar) e garantir uma maior autonomia e segurança no seu abastecimento de energia elétrica. Somam-se a isso os ganhos com a redução de custo com transmissão e distribuição (já que a energia poderia ser consumida no mesmo lugar de sua produção, através da instalação de painéis fotovoltaicos em residências, edifícios e indústrias), assim como a redução do passivo ambiental.

No entanto, apesar das vantagens da adoção da energia solar fotovoltaica no município e região metropolitana de São Paulo, o seu uso e instalação encontram algumas barreiras. Este presente trabalho se propõe a identificar tais obstáculos para possibilitar uma ação mais efetiva dos entes públicos e privados na liberação dos entraves à energia solar fotovoltaica na cidade.

Preliminarmente, foram identificadas quatro principais barreiras que se opõem ao desenvolvimento da energia solar fotovoltaica na cidade de São Paulo: barreiras econômicas, formada pelos custos de produção, instalação e ao consumidor; barreiras políticas e de regulação, através das quais se constata a importância de políticas públicas para o setor (nacional e internacionalmente) e a falta ou timidez destas no Plano Nacional de Energia 2030 (BRASIL, 2007b) e no Plano Paulista de Energia 2020 (SÃO PAULO, 2012); barreiras geofísicas particulares à região metropolitana de São Paulo e, por fim, as barreiras ambientais que, apesar de ser considerada uma fonte energética limpa, também existem para a geração de energia solar fotovoltaica.

Assim, uma breve apresentação dos princípios de funcionamento da energia solar fotovoltaica e o seu panorama mundial, no Brasil e em São Paulo são apresentados na *seção 3.1* deste trabalho. As barreiras elencadas acima são analisadas minuciosamente na *seção 3.2* e indicam o panorama inicial de ação a ser superado para implantação da energia solar fotovoltaica no município de São Paulo (com especial atenção para os sistemas fotovoltaicos interligados à rede elétrica – *on grid*). Por fim, ao se trazer para o cotejo as experiências já realizadas com energia solar fotovoltaica a nível nacional (sistemas fotovoltaicos isolados, fundamentalmente) e a nível internacional (sistemas interligados à rede), esta monografia chama a atenção – nas *seções 4. Discussão* e *5. Conclusão* – para o papel das políticas de incentivos e de regulação e para o papel da iniciativa privada e das instituições acadêmicas ou empresariais de pesquisa, necessários para se estimular a demanda e a oferta deste setor energético tão promissor para o município e região metropolitana de São Paulo, em particular, e para o país e o mundo em geral.

2. METODOLOGIA

Este trabalho consta de uma revisão da literatura especializada sobre a implantação da energia fotovoltaica no Brasil, no Estado de São Paulo e no município de São Paulo. Esta revisão bibliográfica inclui artigos acadêmico-científicos, atas de conferências especializadas, documentos oficiais e levantamentos estatísticos sobre as condições climáticas e geográficas brasileiras, privilegiando os trabalhos elaborados neste século XXI.

Destacam-se, nesse levantamento, dada à sua relevância para os estudos da área, as publicações Plano Nacional de Energia 2030 (BRASIL, 2007b); Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA *et al.*, 2006); Plano Paulista de Energia 2020 (SÃO PAULO, 2012); Energia Solar Paulista – Levantamento do Potencial – Renováveis (SÃO PAULO, 2012); Avaliação das Perspectivas de Desenvolvimento Tecnológico para a Indústria de Bens de Capital para Energia Renovável (PDTS-IBKER) – Relatório de Pesquisa (KUPFER *et al.*, 2012); além dos trabalhos de Marco Antônio Galdino, Análise de Custos Históricos de Sistemas Fotovoltaicos no Brasil (GALDINO, 2012) e de Roberto Zilles, Avanços e desafios para a energia solar fotovoltaica no Brasil (ZILLES, 2013).¹

Ao final, apoiando-se nesta literatura, além de outros trabalhos utilizados como fonte de dados e informações, pretende-se identificar os desafios à implantação da energia solar fotovoltaica no Brasil e no mundo em geral e, especificamente, as barreiras encontradas à sua implantação no município de São Paulo.

¹ Diversas outras fontes também são consideradas neste trabalho. As referências bibliográficas completas das fontes utilizadas estão apresentadas em seção específica ao fim desta monografia.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Energia Solar Fotovoltaica

O desenvolvimento econômico de diversas regiões do planeta, bem como a inclusão de setores sociais cada vez mais amplos em categorias de alto consumo nos países em desenvolvimento, pressionam a demanda mundial por energia. O aumento da utilização dos recursos energéticos não-renováveis deixa o planeta em alerta para duas consequências principais: primeiro, o seu próprio esgotamento e, segundo, o aumento dos prejuízos ambientais causados por sua exploração. O desafio colocado para os avanços científicos e sociais atuais e das próximas gerações é equacionar a relação entre segurança energética e preservação ambiental. Neste sentido, os recursos energéticos renováveis comparecem como promissores, apesar de restrições iniciais quanto ao seu custo e eficiência.

Uma das alternativas renováveis para a geração energética é a energia solar. Esta é fonte indireta de diversas formas de aproveitamento energético, como a energia hidráulica, eólica e das marés. A energia solar pode ser aproveitada de maneira ativa ou passiva. A primeira compreende a energia solar heliotérmica, a fotovoltaica e a solar térmica. A segunda compreende o aproveitamento da energia solar em projetos arquitetônicos, ou arquitetura solar.²

² Devido aos rendimentos ainda insuficientes obtidos pelos sistemas fotovoltaicos e aos custos elevados de materiais (semicondutores específicos, muitos deles com materiais raros e nocivos), a implantação de sistemas de geração fotovoltaica em larga escala – parques solares fotovoltaicos – tem caráter ainda experimental (SÃO PAULO, 2012).

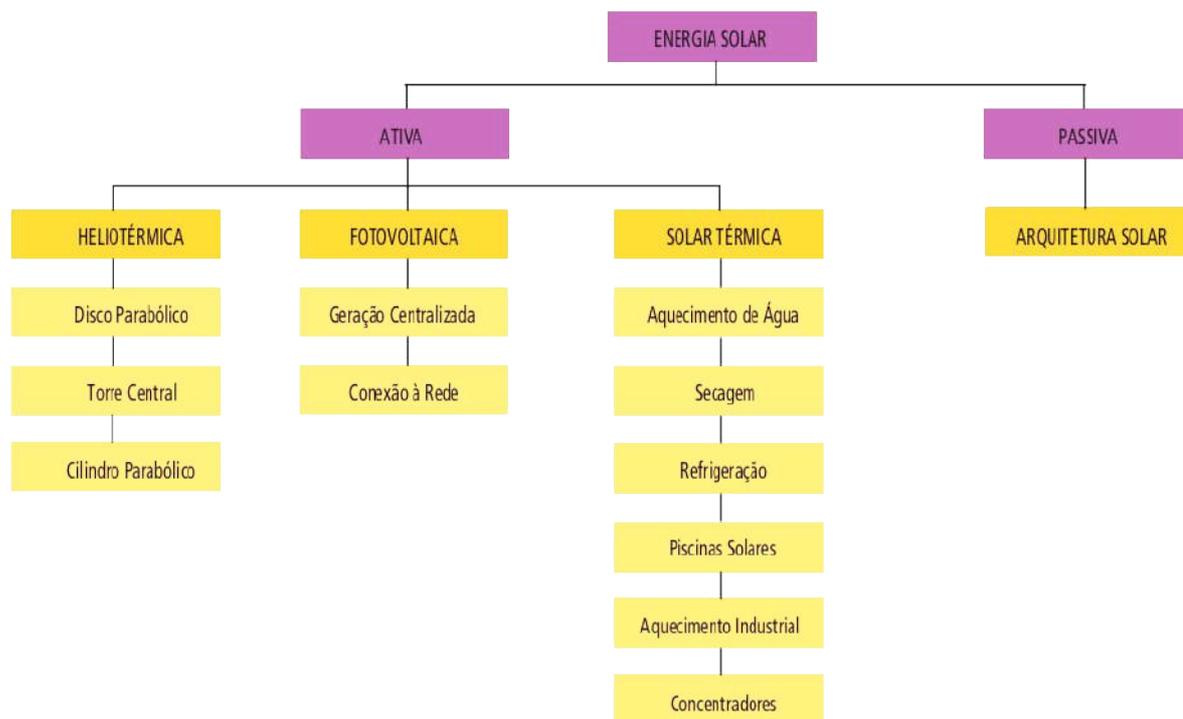


Figura 1 – Aplicações da energia solar.

Fonte: Brasil (2007b, p. 74).

A arquitetura solar compreende o aproveitamento da iluminação natural e do calor para aquecimento de ambientes, decorrente da penetração ou absorção da radiação solar nas edificações.

A energia solar heliotérmica consiste na conversão da energia solar em calor para geração de energia elétrica. O processo envolve quatro etapas: a coleta de irradiação solar, a conversão em calor, o transporte e armazenamento do calor e a conversão em eletricidade. Os coletores refletem a energia solar em um receptor que a absorve em forma de calor que será convertido em eletricidade. Há três tecnologias distintas para esse aproveitamento: o cilindro parabólico, a torre central e o disco parabólico. A geração de energia solar heliotérmica necessita de regiões de alta incidência de irradiação solar, poucas nuvens e baixo índice pluviométrico. A tabela 1 abaixo mostra regiões no mundo e no Brasil onde são encontradas áreas propícias ao seu aproveitamento:

Tabela 1 – Localidades com elevado nível de radiação solar.

Localidade	Latitude	Hh anual (MJ/m ²)
Dongola – Sudão	19° 10' N	23,8
Albuquerque – EUA	35° N	21,7

continua...

continuação

Tabela 1 – Localidades com elevado nível de radiação solar.

Localidade	Latitude	Hh anual (MJ/m ²)
Dagget – EUA	34° 52' N	20,9
Floriano – PI	6° 46' S	19,7
Petrolina – PE	9° 23' S	19,7
Bom Jesus da Lapa – BA	13° 15' S	19,7

Fonte: Brasil (2007b, p. 77). Adaptado.

Em relação ao custo de instalação, operação e manutenção, apesar de ter havido uma redução nos últimos anos, estes ainda continuam elevados em relação à energia heliotérmica. É necessário que haja uma maior redução de custos e um ganho de eficiência tecnológica para que esta tecnologia se torne competitiva.

A energia solar térmica é aproveitada através da geração de calor. Os painéis solares coletam a energia solar e a convertem em calor para aquecimento de fluidos, principalmente de água, tanto para uso residencial como comercial. Destaca-se o seu uso também no processo de secagem e aquecimento industrial e como substituta dos chuveiros elétricos, quando instalados em residências ou edifícios.

A energia solar fotovoltaica converte a energia solar diretamente em energia elétrica, graças à ação da luz solar sobre certos materiais semicondutores. Em uma célula fotovoltaica, um material semicondutor tetravalente – em geral o silício, é disposto entre camadas de átomos trivalentes (boro, *tipo p*) e pentavalentes (fósforo, *tipo n*), formando uma *junção pn* que forma um campo elétrico na incidência da luz, gerando uma corrente elétrica. De acordo com o Ministério de Minas e Energia (BRASIL, 2007b, p. 134),

o efeito fotovoltaico dá-se em materiais da natureza denominados semicondutores, que se caracterizam pela presença de bandas de energia onde é permitida a presença de elétrons (banda de valência) e de outra totalmente “vazia” (banda de condução). O semicondutor mais usado é o silício, abundante na crosta terrestre. (...) Ao se adicionar átomos com cinco elétrons de ligação, como o fósforo, por exemplo, haverá um elétron em excesso, que não poderá ser emparelhado e ficará “sobrando”, fracamente ligado a seu átomo de origem. Isto permite que, com pouca energia térmica, este elétron seja liberado, indo para a banda de condução. Diz-se assim, que o fósforo é um “dopante” doador de elétrons e denomina-se dopante n ou impureza n. Se, por outro lado, são introduzidos átomos com apenas três elétrons de ligação, como é o caso do boro, “faltarão” um elétron para satisfazer as ligações com os átomos de silício da rede. Esta falta é denominada “buraco” ou “lacuna”. Da mesma forma, é demandada pouca energia térmica para que um elétron de um sítio vizinho possa ocupar esta

posição, fazendo com que o “buraco” se desloque. Diz-se, assim, que o boro é um “aceitador de elétrons” ou um dopante p. Se, partindo de um silício puro, forem introduzidos átomos de boro em uma metade e de fósforo na outra, será formado o que se chama junção pn. O que ocorre nesta junção é que elétrons livres do lado n passam ao lado p onde se encontram os “buracos” a serem ocupados; isto faz com que haja um acúmulo de elétrons no lado p, tornando-o negativamente carregado, e uma redução de elétrons do lado n, o que o torna eletricamente positivo. Essas cargas aprisionadas dão origem a um campo elétrico permanente que dificulta a passagem de mais elétrons do lado n para o lado p; este processo alcança um equilíbrio quando o campo elétrico forma uma barreira capaz de barrar a movimentação dos elétrons livres remanescentes no lado n. Se uma junção pn for exposta a fótons com energia maior que o gap, ocorrerá a geração de pares elétron-lacuna; se isto acontecer na região onde o campo elétrico é diferente de zero, as cargas serão aceleradas, gerando, assim, uma corrente através da junção; este deslocamento de cargas dá origem a uma diferença de potencial, a qual é chamada de efeito fotovoltaico. Se as duas extremidades do “pedaço” de silício forem conectadas por um fio, haverá circulação de elétrons. Esta é a base do funcionamento das células fotovoltaicas.

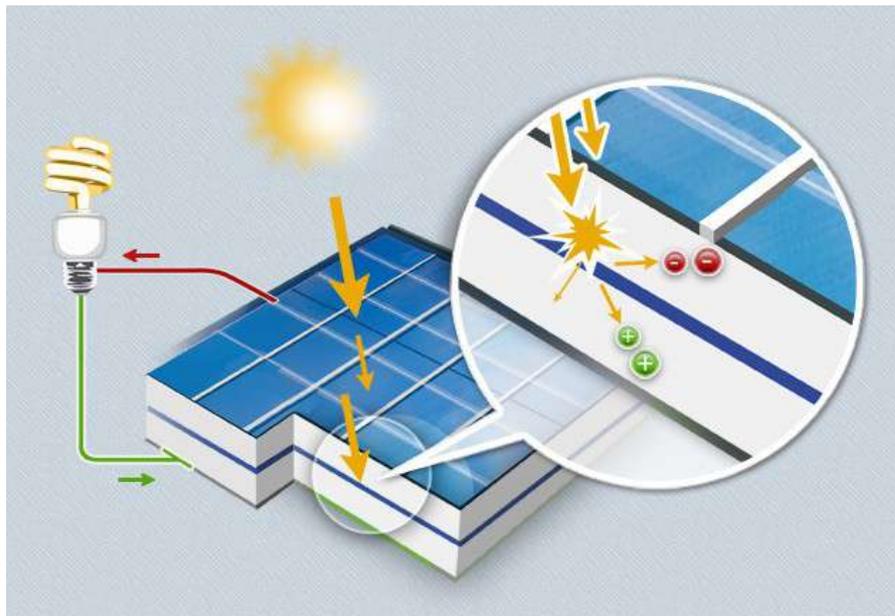


Figura 2 – Esquema de funcionamento de uma célula fotovoltaica.

Fonte: Ciências e Tecnologia (2013).

O efeito fotovoltaico foi descrito pela primeira vez em 1839 pelo físico francês Edmond Becquerel (1820-1891). O aproveitamento do efeito fotovoltaico como fonte de energia elétrica passou por diversas fases. Inicialmente, estava ligado ao fornecimento de energia para estações de telecomunicações situadas em locais remotos. Em seguida, foi impulsionado pela corrida espacial, com a necessidade de se abastecer estações espaciais e satélites. A partir de 1973, com a crise do petróleo, não apenas a energia solar fotovoltaica,

mas diversas outras fontes de energia não tradicionais passaram a ser desenvolvidas com vistas à participação na matriz energética de diversos países e à redução da emissão de gases poluentes (BRASIL, 2007b).

As células fotovoltaicas, em seu formato comercial, são dispostas em séries, que formam módulos e estes são dispostos em série e paralelamente, formando os painéis fotovoltaicos.

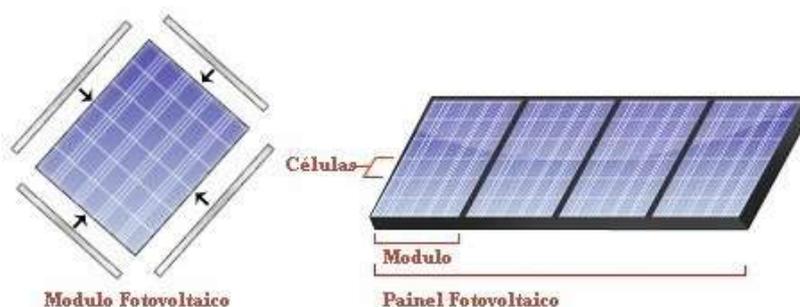


Figura 3 – Célula, módulo e painel fotovoltaico.

Fonte: Electrónica.

Os tipos de painéis mais comuns no mercado, atualmente, são os chamados painéis de primeira e segunda geração, conforme tabela 2 a seguir:

Tabela 2 – Tipos de células fotovoltaicas.

Primeira Geração	Células solares monocristalinas (single crystal)	produzidas a partir de um <i>wafer</i> de um cristal de silício de alta qualidade. Normalmente, são as mais eficientes, comparando-se as duas tecnologias, permitindo a fabricação de módulos fotovoltaicos em escala comercial, com eficiências de 12% a 15% de conversão de energia solar em eletricidade.
	Células solares policristalinas	cortadas de um bloco de silício multi-cristalino de menor qualidade e são menos eficientes, mas de produção mais barata, quando comparadas com as monocristalinas, permitindo a fabricação de módulos fotovoltaicos em escala comercial, com eficiências de 10% a 12% de conversão de energia solar em eletricidade.
Segunda Geração	Células solares de filme fino (thin-film)	produzidas por um processo bem diferente: são feitas de um material semicondutor depositado na forma de um filme fino em um substrato, como vidro, alumínio ou aço, que pode possuir diferentes formas e características, como, por exemplo, janelas. Geralmente, têm menos da metade da eficiência das melhores células cristalinas, mas sua produção é muito mais barata. Elas são amplamente utilizadas para fornecer energia a aparelhos eletrônicos portáteis.

Fonte: Brasil (2007b, p. 138).

Segundo o relatório de pesquisa “Avaliação das Perspectivas de Desenvolvimento Tecnológico para a Indústria de Bens de Capital para Energia Renovável (PDTs-IBKER)”

(KUPFER *et al.*, 2012), as células fotovoltaicas de silício cristalino da primeira geração, mesmo ainda detendo mais de 80% do mercado, devem sofrer uma substituição crescente pelas células de segunda geração, os filmes finos. A segunda geração de células fotovoltaicas começou a ser desenvolvida nos anos 1970, baseada na tecnologia de deposição de filmes finos inicialmente utilizando silício amorfo hidrogenado, seguido de telureto de cádmio e compostos de cobre e índio. O grande potencial dessa nova tecnologia é seu reduzido custo em relação às células da primeira geração. As previsões são que ela domine o segmento de uso residencial nos próximos anos. A terceira geração, ainda em fase de pesquisa em laboratórios, deve representar uma ruptura total com as primeiras gerações não só pelo abandono do silício, como também por incluir novos materiais semicondutores, como as chamadas células “coloridas”, que sintetizam a energia solar a partir da coloração em um processo análogo à fotossíntese.

A instalação de um sistema fotovoltaico pode apresentar três configurações distintas: isolados ou autônomos, híbridos ou interligados à rede. Os sistemas isolados são mais apropriados à instalação em comunidades isoladas, ou em regiões onde a extensão da rede elétrica seria muito onerosa ou inviável, como em poços e plataformas de petróleo ou em estações espaciais. Os sistemas híbridos formam uma pequena rede de abastecimento juntamente com a energia fotovoltaica, com o aproveitamento conjunto de fontes como o diesel, gás ou energia eólica sem estarem ligados à rede elétrica. Por último, os sistemas fotovoltaicos interligados à rede, são aqueles no qual a geração fotovoltaica está conectada à rede elétrica, fornecendo ou recebendo energia.

Os sistemas isolados necessitam de alguma forma de armazenamento de energia, devido à intermitência da geração de energia fotovoltaica, em geral feito através de baterias. Também necessitam de controladores de carga para evitar danos na bateria com as oscilações de carga, e de um inversor de corrente para possibilitar a utilização de eletrodomésticos em corrente alternada.



Figura 4 – Esquema de funcionamento de um sistema fotovoltaico isolado (*off-grid*).
 Fonte: Elergone Energias.

Os sistemas interligados à rede não utilizam baterias. O consumidor utiliza primariamente a energia gerada pelos painéis fotovoltaicos. A diferença entre o consumo e a geração local é suprida ou fornecida à rede elétrica, dispensando o uso de baterias. O sistema é conectado ao inversor e depois à rede.

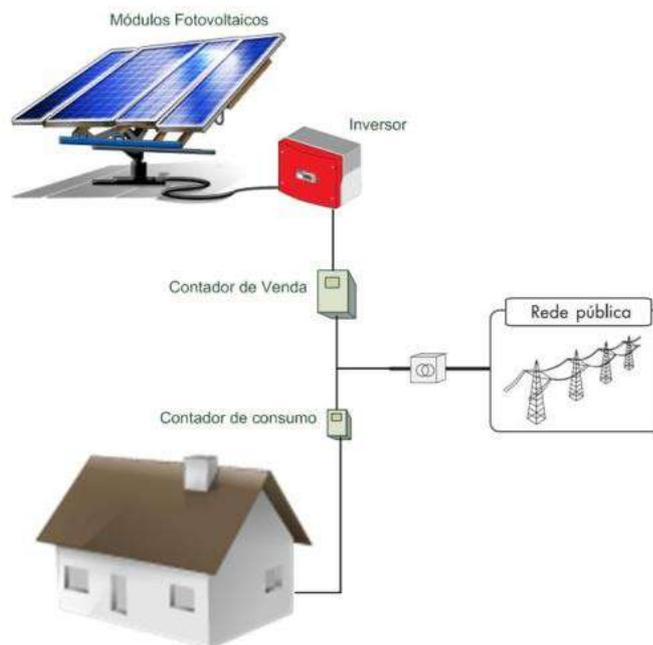


Figura 5 – Esquema de funcionamento de um sistema fotovoltaico interligado à rede (*on-grid*).
 Fonte: ENG2 Solutions (2012).

Os sistemas fotovoltaicos interligados à rede³ são normalmente instalados em edifícios, podendo os painéis fotovoltaicos estarem dispostos nas telhas, nas fachadas ou nos vidros, na forma de painéis ou filme fino, como pode ser visto nos exemplos a seguir:



Figura 6 – Telhado de estabelecimento com filme fino aplicado às telhas.

Fonte: Green Building Elements.



Figura 7 – Instituto Ferdinand Braun em Berlim. Fachada com aplicação de filme fino.

Fonte: CNET (2011).

3 No Brasil, a ANEEL, através da Resolução Normativa 482/2012, estabeleceu as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica.

3.1.1. Panorama Mundial

A geração de energia elétrica em todo mundo, por fonte, é dividida conforme a figura 8, a seguir:

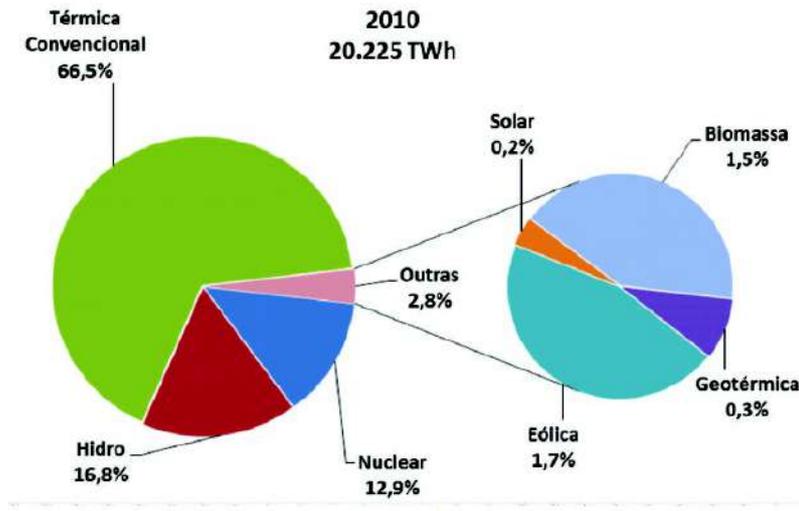


Figura 8 – Matriz elétrica mundial por fonte em 2010.

Fonte: Brasil (2013, p. 23).

Apesar de ainda representar apenas 0,2% na geração de toda energia elétrica consumida no mundo, segundo o relatório *World Energy Outlook 2013 – Renewables* (Panorama Energético Mundial 2013 – Renováveis) publicado pela *International Energy Agency – IEA* (IEA, 2013), a geração de energia solar fotovoltaica tem expandido rapidamente. Na última década, expandiu 50% por ano, atingindo 100 TWh em 2012. Apenas em 2012, a capacidade instalada de energia solar fotovoltaica aumentou em 43%, ou 29,4 GW em valores absolutos, representando 15% de todo o aumento da capacidade energética instalada no globo. Os países que mais contribuíram neste incremento foram a Alemanha (com 7,6 GW), a Itália (3,6 GW), a China (3,5 GW), os Estados Unidos (3,3 GW), o Japão (2,0 GW) e a Índia (1,1 GW). Vale ressaltar que este aumento só foi possível devido a programas de incentivo e subsídios governamentais.

Veja a seguir a distribuição da geração de energia solar fotovoltaica por regiões mundiais em 2012:

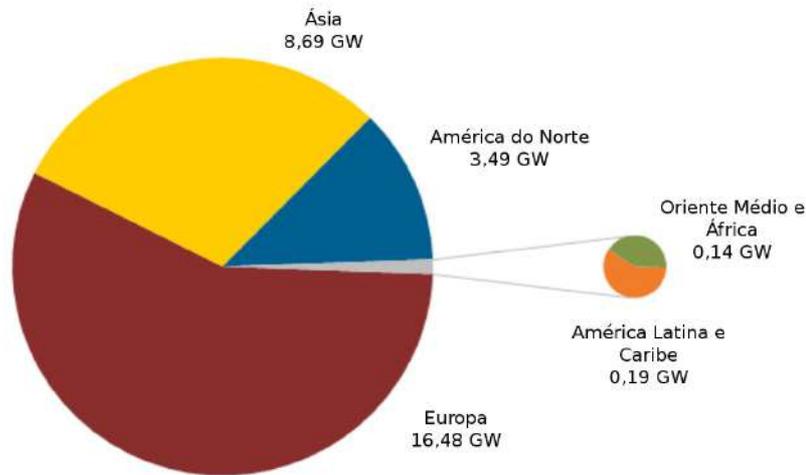


Figura 9 – Geração fotovoltaica global por região em 2012.

Fonte: Zilles (2013, p. 3).

Estima-se que, de 2012 a 2035, a geração de energia solar fotovoltaica avance de 0,4% a 2,6% de participação na geração energética global (IEA, 2013). A maior parte deste incremento será devido à incorporação de painéis fotovoltaicos em edifícios e construções, apesar da crescente importância das usinas solares, à medida que o custo para sua instalação for decrescendo, como se espera. No final deste período, também se espera que os custos de geração fotovoltaica se equiparem aos preços médios de geração de energia em geral. Para isso, no entanto, não se poderá prescindir dos subsídios governamentais.

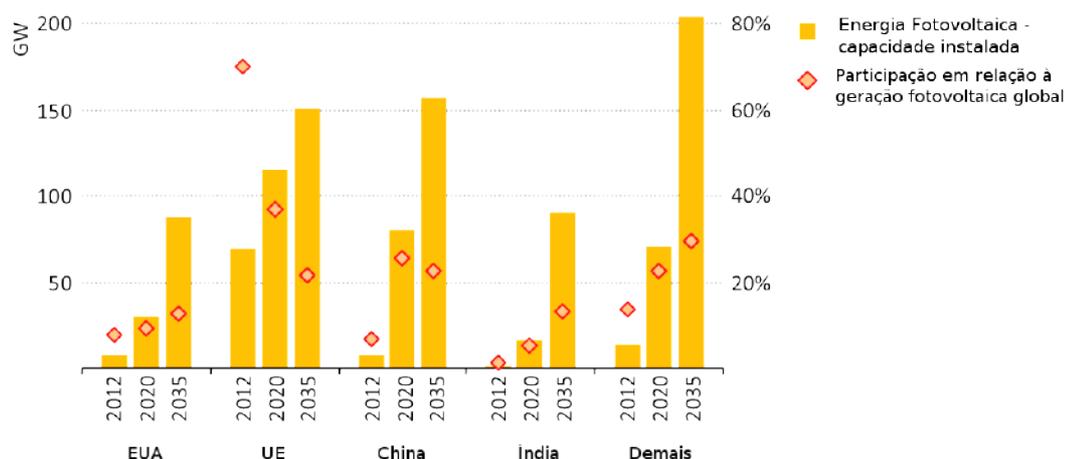


Figura 10 – Capacidade instalada de energia fotovoltaica por região (*New Policies Scenario*).⁴

Fonte: IEA (2013, p. 211).

4 *New Policies Scenario*: cenário prospectivo adotado pela IEA em seu trabalho *World Energy Outlook* (Panorama Mundial de Energia) que leva em conta os compromissos gerais das políticas e planos que foram anunciados pelos países, incluindo compromissos nacionais para reduzir as emissões de gases-estufa e planos para eliminar gradualmente os subsídios fósseis de energia.

O preço de sistemas de geração de energia solar fotovoltaica reduziu em 40% entre 2010 e 2012, graças à intensificação da implantação e da superprodução chinesa (IEA, 2013, p. 211). A significativa redução do custo, na última década, deveu-se também a avanços tecnológicos que aumentaram a eficiência da geração fotovoltaica, como o desenvolvimento de painéis ultrafinos. Por outro lado, outras tecnologias, como painéis multi-orientados e sistemas *sun-tracking* concorreram para o aumento do custo em outra ponta.

Em relação à geração da energia solar fotovoltaica, o custo de produção ainda deve ser avaliado de maneira diferenciada: aquele relativo à produção em larga escala, para comercialização e aquele produzido em escala doméstica, para autoconsumo. No primeiro caso, o caráter intermitente da geração fotovoltaica acarretaria gastos adicionais com a harmonização do abastecimento da rede de transmissão geral (utilização de tecnologias de redes e sistema de medição de alta tecnologia, com a possibilidade de controle do fluxo de energia). No segundo caso, devem-se considerar os gastos com inversores de rede e com a estocagem da sobreprodução em baterias (instalação e manutenção).

Os custos de transmissão e distribuição também são importantes para o cálculo final do preço da energia fotovoltaica. Segundo o levantamento *World Energy Outlook 2013 – Renewables* (IEA, 2013), seriam necessários, no cenário abordado, investimentos globais na ordem de US\$260 bilhões apenas para a transmissão e distribuição de energia de fonte eólica e fotovoltaica (US\$170 bilhões para transmissão e US\$90 bilhões para distribuição). Este montante, apesar de expressivo, representaria apenas 4% do valor destinado globalmente para transmissão e distribuição energéticas em geral.

Por fim, a formação do preço da energia solar fotovoltaica é dada por dois fatores principais: os custos de capital (instalação) e incremento de eficiência do sistema decorrente dos avanços tecnológicos. No cenário 2012-2035, apesar de uma queda no custo da geração fotovoltaica, esta continuaria mais elevada que o preço médio da energia elétrica em 2035 na China, nos Estados Unidos e na União Europeia (IEA, 2013). Em 2012, nestas regiões abordadas, o custo de produção variava entre US\$1.800-5.500/kW para sistemas domiciliares e edifícios e entre US\$1.500-3.000/kW para usinas de grande produção e acredita-se que até o fim de 2017 estes valores tenham queda de 40% (IEA, 2013).

3.1.2. Panorama Brasileiro

Segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA *et al.*, 2006), o Brasil, por ser um país localizado na sua maior parte na região intertropical, possui grande potencial para aproveitamento de energia solar durante todo ano. No entanto, hoje em dia essa energia ainda tem uma participação incipiente na matriz energética brasileira – apenas a energia solar térmica para aquecimento de água tem despertado interesse no mercado nacional, principalmente para o emprego em comunidades isoladas, na indústria e nos serviços de hotelaria.

A extensão territorial do Brasil e os níveis elevados de radiação solar, durante todo o ano e em praticamente todo o seu território tornam a energia fotovoltaica bastante viável no país (NETO, 2010, p. 39). “A radiação solar no Brasil varia de 8 a 22 MJ/m² durante o dia” (BRASIL, 2007b, p. 29). De acordo com o Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA *et al.*, 2006, p. 31),

Apesar das diferentes características climáticas do Brasil, pode-se observar que a média anual de irradiação global apresenta boa uniformidade, com médias anuais relativamente altas em todo país. O valor máximo de irradiação global – 6,5kWh/m² – ocorre no norte do estado da Bahia, próximo à fronteira com o estado do Piauí. Essa área apresenta um clima semi-árido com baixa precipitação ao longo do ano (aproximadamente 300mm/ano) e a média anual de cobertura de nuvens mais baixa do Brasil. A menor irradiação solar global – 4,25kWh/m² – ocorre no litoral norte de Santa Catarina, caracterizado pela ocorrência de precipitação bem distribuída ao longo do ano. Os valores de irradiação solar global incidente em qualquer região do território brasileiro (1500-2500 kWh/m²) são superiores aos da maioria dos países da União Europeia, como Alemanha (900-1250 kWh/m²), França (900-1650kWh/m²) e Espanha (1200-1850 kWh/m²), onde projetos para aproveitamento de recursos solares, alguns contando com fortes incentivos governamentais, são amplamente disseminados.

As médias anuais dos índices diários de insolação (*h*, ou *radiação solar incidente*: quantidade de radiação solar que chega à Terra em um determinado tempo) e da radiação solar global (*MJ/m².dia*, energia total incidente sobre a superfície terrestre, depende da latitude e da posição no tempo) no Brasil, são apresentadas a seguir.

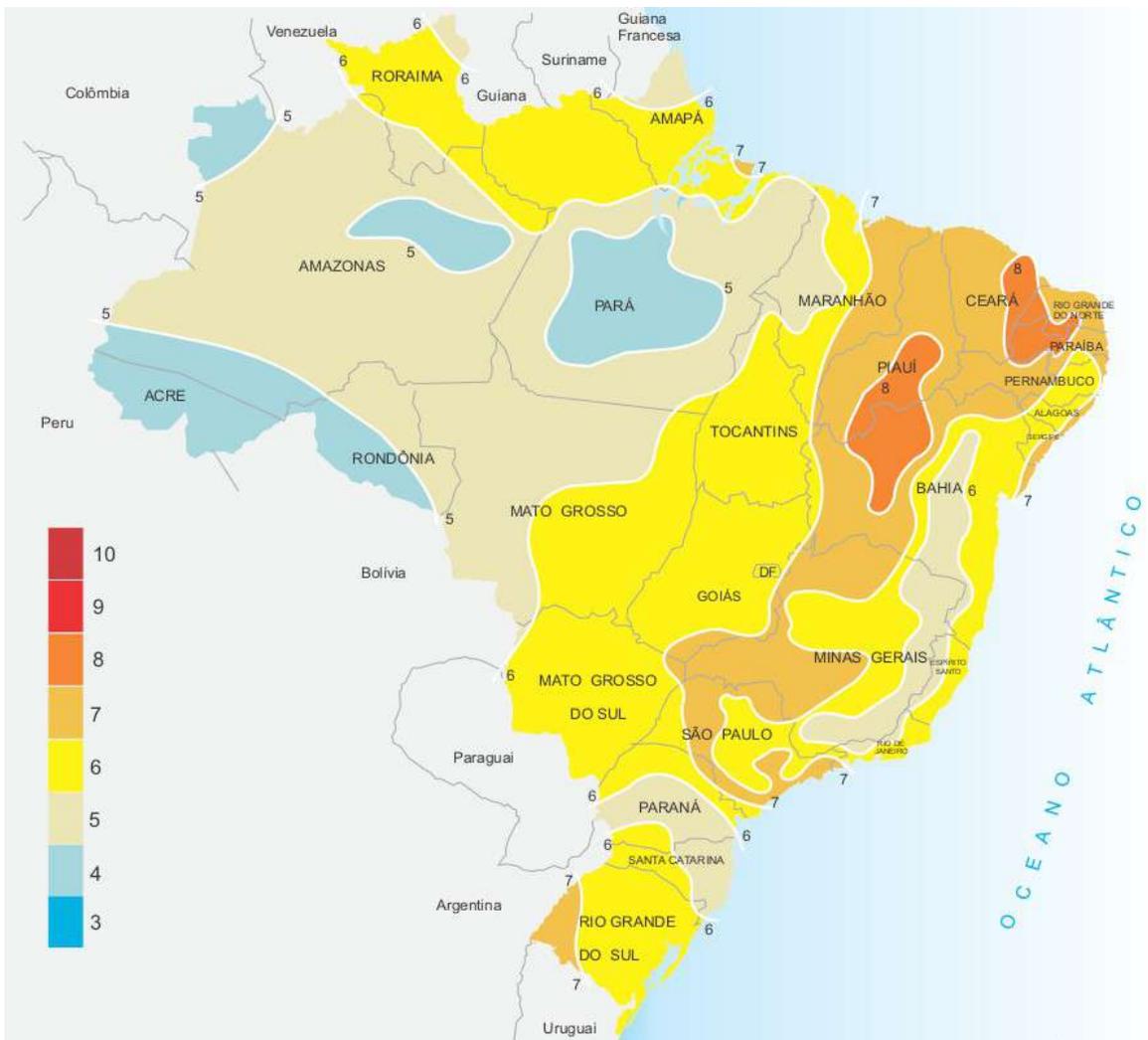


Figura 11. Brasil – insolação diária, média anual (horas).

Fonte: Tiba, *et al.* (2000, p. 89).

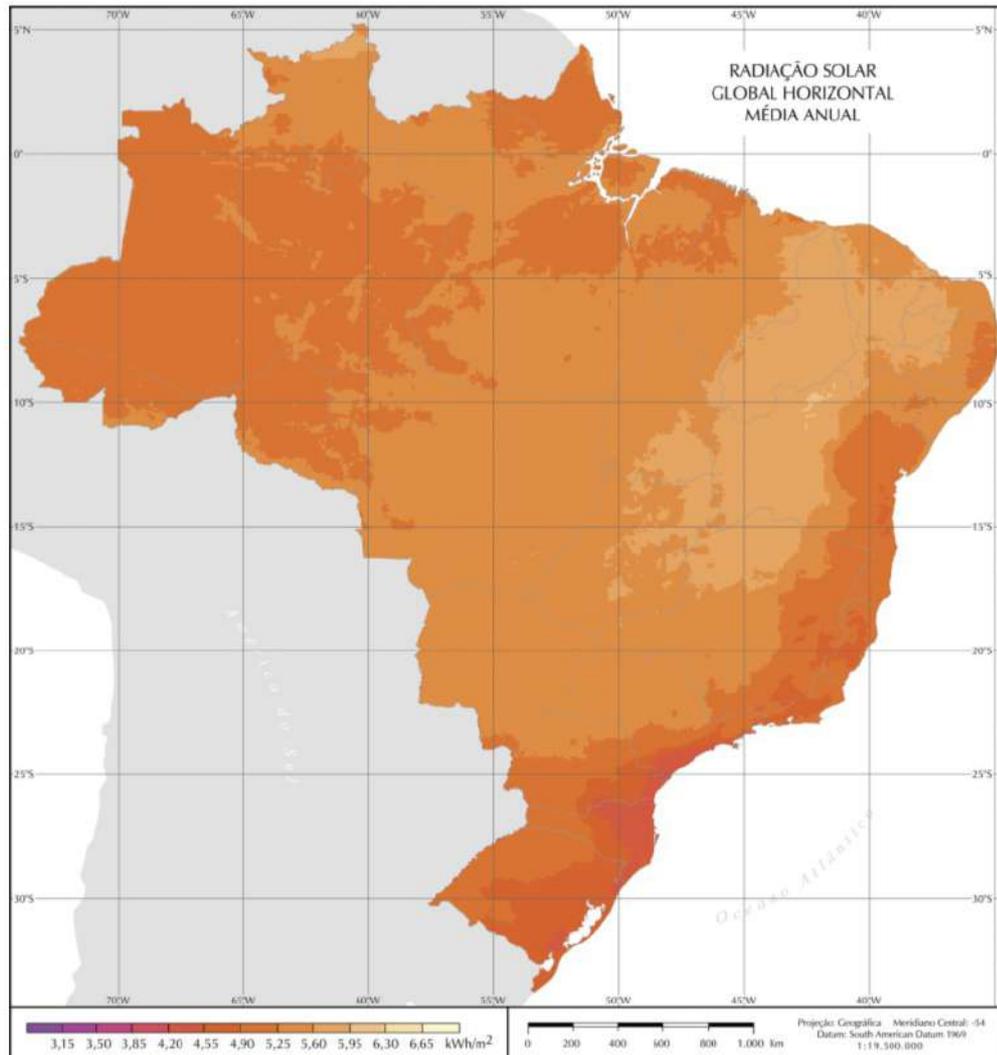


Figura 12 – Brasil – radiação solar global horizontal, média anual (kWh/m²).
 Fonte: Pereira, *et al.* (2006, p. 34).

De acordo com o Banco de Informações de Geração da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, o Brasil possui 56 empreendimentos geradores de energia solar fotovoltaica em operação, totalizando 5.919 kW de potência instalada, divididos por fonte de acordo com a tabela 3 abaixo:

Tabela 3 – Capacidade de Geração Energética em Operação no Brasil, por tipo, em 17/02/2014.

Qtde.	Tipo	Potência (kW)	%
56	Central Geradora Solar Fotovoltaica	5.919	0,0047
437	Central Geradora Hidrelétrica	269.295	0,2126
2	Usina Termonuclear	1.990.000	1,5712
109	Central Geradora Eólica	2.257.773	1,7826

continua...

continuação

Tabela 3 – Capacidade de Geração Energética em Operação no Brasil, por tipo, em 17/02/2014.

Qtde.	Tipo	Potência (kW)	%
462	Pequena Central Hidrelétrica	4.606.007	3,6367
1.790	Usina Termelétrica	36.377.543	28,7222
194	Usina Hidrelétrica	81.146.403	64,0699
3.050	Totais	126.652.940	100

Fonte: Brasil. Banco de Informações de Geração – ANEEL.

De acordo com os dados acima, em 2014, apenas 0,0047% da matriz elétrica brasileira era oriunda da geração solar fotovoltaica, correspondendo a quase 6 GW. No Brasil, o sistema fotovoltaico mais difundido até o presente são os sistemas isolados. Segundo dados de 2004 (BRASIL, 2007b), há 30.103 sistemas isolados implantados no país. Esse número é, fundamentalmente, fruto da parceria de programas governamentais com recursos internacionais – do Banco Mundial – como o PRODUZIR ou de programas governamentais para universalização da energia elétrica, como o Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios (PRODEEM – Luz para Todos), que implantou sistemas isolados em comunidades distantes em residências, postos de saúde e centros comunitários.

No entanto, o Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA *et al.*, 2006, p. 55), aponta que no restante do mundo o crescimento da energia fotovoltaica se dá em sistema interligados à rede:

A maior parte do impressionante crescimento do mercado fotovoltaico, no entanto, está relacionada a instalações conectadas à rede nos países desenvolvidos. Existe um imenso potencial para essa aplicação em áreas urbanas ensolaradas por todo o mundo. O Brasil está particularmente bem situado para esse tipo de aplicação, por causa da considerável disponibilidade de recurso energético solar, e o alto valor que pode ser dado a sistemas fotovoltaicos em áreas comerciais de centros urbanos. Os mapas de irradiação solar em um plano inclinado (...) demonstram tanto a possibilidade de utilização de sistema fotovoltaico por todo o país quanto à pequena variação sazonal ao longo do ano.

Segundo levantamento da Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica – ABINEE (ANDRADE, 2013), até o ano de 2012 havia 3,5 MWp gerados no país através de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. A Associação estimava para 2013 a geração

de mais 30 MWp. De acordo com o relatório *World Energy Outlook*, a IEA estimou em 2 GWp a capacidade instalada no Brasil em 2020 (GORINI, 2013).

3.1.3. Panorama Paulista

A geração elétrica do Estado de São Paulo corresponde a 19,91% de toda matriz elétrica brasileira e é dividida por fonte conforme tabela 4 abaixo:

Tabela 4 – Capacidade de Geração Energética em Operação no Estado de São Paulo, em 17/02/2014.

Qtde.	Tipo	Potência (kW)	%
1	Central Geradora Eólica	2	0,00001
9	Central Geradora Solar Fotovoltaica	1.109	0,00440
29	Central Geradora Hidrelétrica	18.665	0,07403
47	Pequena Central Hidrelétrica	298.337	1,18331
538	Usina Termelétrica	7.219.464	28,63498
54	Usina Hidrelétrica	17.674.469	70,10327
678	Totais	25.212.046	100

Fonte: Brasil. Banco de Informações de Geração – ANEEL.

A geração fotovoltaica compreende apenas 0,00440% da matriz elétrica paulista. Entre os treze estados brasileiros que contam com geração de energia solar fotovoltaica, São Paulo figura em segundo em capacidade instalada (atrás apenas da Bahia, com 2.510 kW) e o quinto na participação da geração fotovoltaica no conjunto de sua matriz elétrica (atrás do Ceará, Pernambuco, Bahia e Distrito Federal), conforme pode se ver a seguir:

Tabela 5 – Capacidade de Geração Energética Total e Fotovoltaica, por Estado produtor, em 17/02/2014.

UF	Capacidade Instalada Total (kW)*	Geração Fotovoltaica		%	
		% <i>Energia instalada do Estado em relação ao país</i>	Sistemas instalados		Potência instalada
RS	9.159.562,26	7,23	1	2	0,000022
SC	7.459.792,80	5,89	1	2	0,000027
PR	18.233.777,10	14,40	4	13	0,000071
ES	1.872.817,00	1,48	1	2	0,000107
RJ	8.825.876,70	6,97	6	30	0,000340
MS	8.782.682,36	6,93	9	30	0,000342
MG	20.100.688,53	15,87	10	104	0,000517
RN	930.258,60	0,73	2	8	0,000860

continua...

continuação

Tabela 5 – Capacidade de Geração Energética Total e Fotovoltaica, por Estado produtor, em 17/02/2014.

UF	Capacidade Instalada Total (kW)*	Geração Fotovoltaica			
		% <i>Energia instalada do Estado em relação ao país</i>	Sistemas instalados	Potência instalada	% <i>Energia Fotovoltaica instalada em relação ao total do Estado</i>
RO	2.298.168,48	1,81	1	20	0,000870
MA	3.027.828,83	2,39	2	52	0,001717
SP	25.212.046,40	19,91	9	1.109	0,004399
BA	9.885.412,70	7,81	3	2.510	0,025391
PE	3.394.958,18	2,68	2	970	0,028572
CE	2.641.777,92	2,09	4	1.016	0,038459
DF	45.918,00	0,04	1	50	0,108890

Fonte: Brasil. Banco de Informações de Geração – ANEEL.

Tanto o Brasil, como especificamente o Estado de São Paulo, possuem virtualmente boas condições para o aproveitamento da energia solar, graças às condições climáticas específicas, à grande extensão territorial (tanto latitudinalmente como longitudinalmente) e à tradição do país no uso de fontes renováveis. De acordo com o Plano Paulista de Energia 2020 – PPE 2020 (SÃO PAULO, 2012), o Estado de São Paulo, apesar de estar situado na região sudeste do país, apresenta um grau de insolação diária média semelhante à encontrada em algumas regiões mais próximas da linha do Equador, o que o qualifica como potencial gerador de energia solar fotovoltaica.⁵ Ver abaixo média de radiação solar das regiões brasileiras. Notar que a região sudeste é que possui o segundo maior índice, juntamente com a região Centro-Oeste (5,7 kWh/m² de radiação média no plano inclinado):

5 Se compararmos os níveis de insolação e radiação solar diários de grandes países produtores como Alemanha e Japão, o estado paulista encontra-se em vantagem inquestionável (PEREIRA *et al.*, 2006, p. 31).

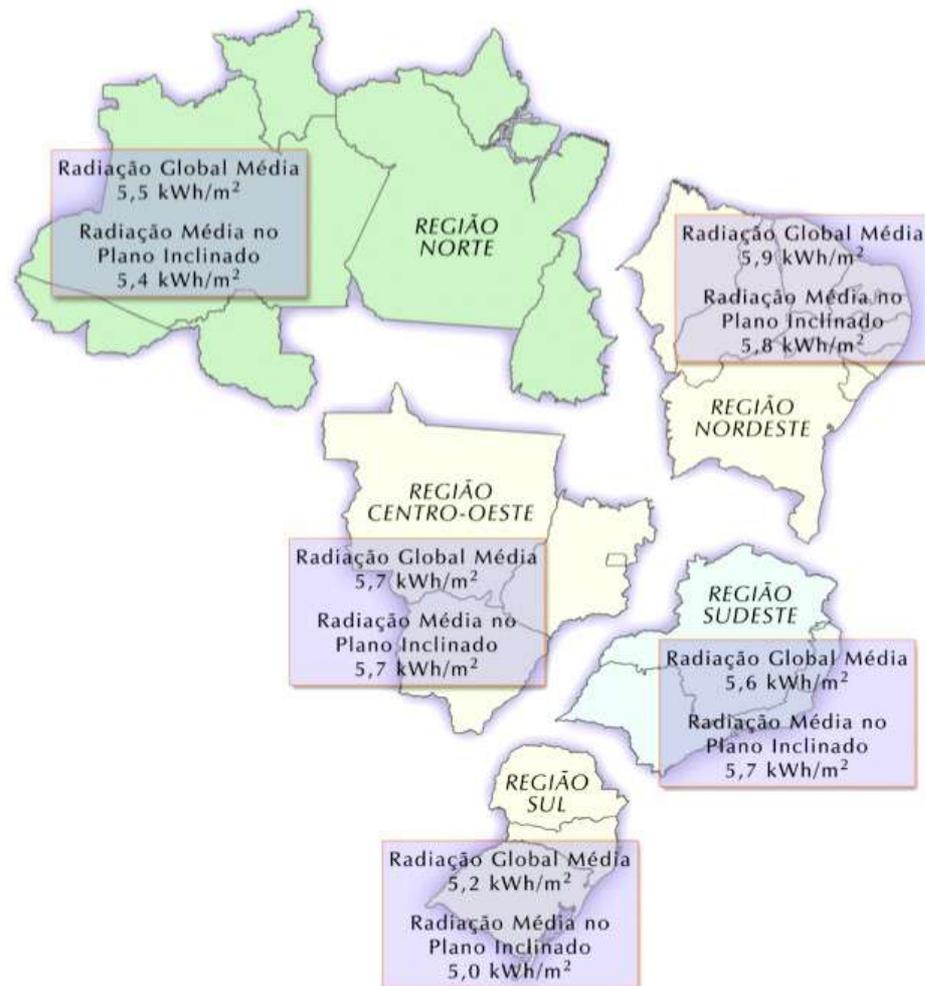


Figura 13 – Potencial anual médio de energia solar em cada uma das cinco regiões brasileiras.

Fonte: Pereira *et al.*, 2006, p. 48.

De acordo com o levantamento do governo de São Paulo “Energia Solar Paulista – Levantamento do Potencial” (SÃO PAULO, 2013), o Estado de São Paulo possui regiões com insolação diária média (h) e radiação solar global diária média (MJ/m².dia) equivalentes às encontradas na região Nordeste, que é a região de maior potencial para exploração da energia solar. O Estado de São Paulo possui uma quantidade de radiação solar com uma capacidade efetiva de geração de energia igual a 512 Twh/ano (o atual consumo de energia do Estado é de 135 TWh/ano). Portanto, percebe-se que o Estado possui um grande potencial para desenvolvimento e implantação de tecnologias de geração de energia solar, em especial a energia solar fotovoltaica. As aplicações que vêm ocorrendo no Estado concentram-se em instalação residenciais para aquecimento de água, em pequenas localidades isoladas (meio rural) e em prédios públicos, notadamente em universidade e centros tecnológicos.

Tendo em vista a média anual de incidência de radiação solar diária no território

Paulista e o nível de eficiência das células fotovoltaicas – que variam entre 7 a 16% em relação à radiação solar captada, a região de maior viabilidade técnico-econômica do Estado (SÃO PAULO, 2013, p. 44) compreende apenas 0,3% do seu território (732 km²) e tem o potencial de energia de 12TWh/ano (esta é a faixa utilizada como referência para os programas do governo do Estado, entre 5,61-5,70 kWh/m² dia):



Figura 14 – Incidência Solar Global no Estado de São Paulo, média anual por município, em kWh/m².dia.
Fonte: São Paulo (2013, p. 23).

O documento “Energia Solar Paulista – Levantamento do Potencial” (SÃO PAULO, 2013) chama atenção para que a geração de energia solar fotovoltaica poderia promover o desenvolvimento regional do Estado de São Paulo, com a consolidação de uma rede de produção e difusão tecnológica; diminuir a dependência energética de fontes tradicionais e promover o perfil de cidades sustentáveis, além de gerar empregos (estima-se que, para cada 1 milhão de m² de painéis fotovoltaicos produzidos e instalados no país, são gerados 30 mil empregos diretos).

De acordo com o Plano Paulista de Energia 2020 (SÃO PAULO, 2012), a meta estabelecida para geração de energia solar até 2020 deve atingir o patamar de 1.000 MW. Entre as tecnologias de aproveitamento da energia solar, a geração fotovoltaica deverá gerar o

total de 50 MW em 2020, de acordo com o mesmo plano, como se pode conferir abaixo:⁶

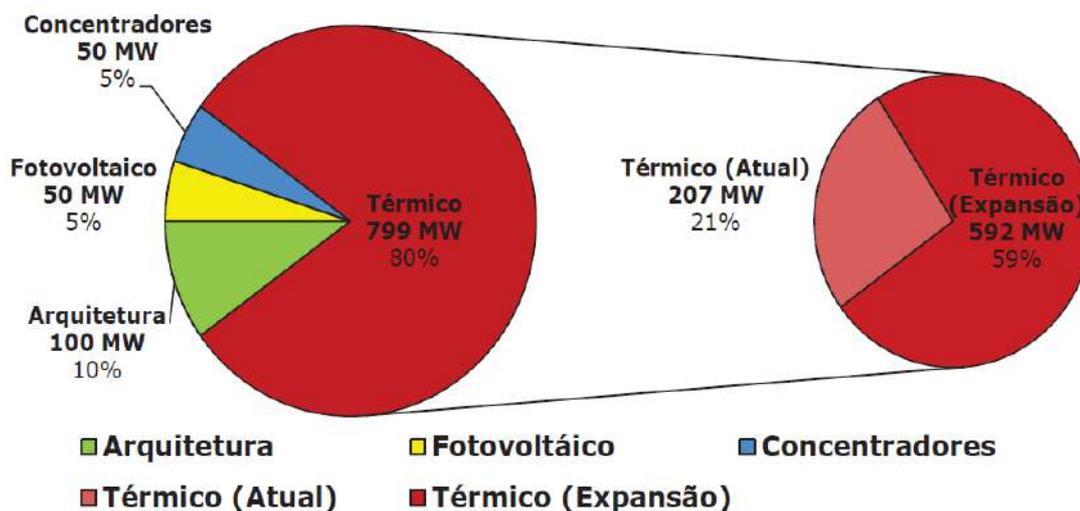


Figura 15 – Potência instalada por tecnologia até 2020 no Estado de São Paulo.

Fonte: São Paulo (2013, p. 14).

De acordo com Milton Lautenschlager (LAUTENSCHLAGER apud SÃO PAULO, 2013, p. 8),

o aumento da eficiência energética e a constante redução dos custos dessas tecnologias apontam para uma tendência de crescimento de sua inserção na matriz energética paulista de forma consistente e duradoura. Mas, como toda proposta inovadora e ousada, esta também necessita de políticas públicas que estimulem seu uso, proporcionando confiabilidade, segurança, interesse e a consolidação dos respectivos públicos-alvo.

3.2. Barreiras ao uso e instalação de sistemas fotovoltaicos descentralizados na Capital de São Paulo

Apesar do imenso potencial para geração de energia solar fotovoltaica constatado no Brasil e no Estado de São Paulo, este trabalho identificou algumas possíveis barreiras ao seu desenvolvimento no município de São Paulo, como o custo, a falta de políticas públicas mais bem definidas a níveis nacional e estadual e a posição geográfica desvantajosa do Estado e do município em relação às regiões de imenso potencial solar no Brasil.⁷ Como os empecilhos se

⁶ A figura 15 a seguir traz uma representação gráfica da expectativa de aproveitamento da energia solar no Estado de São Paulo em 2020. O gráfico é dividido por tipo de energia solar utilizada, sem se levar em consideração a eficiência de cada tecnologia.

⁷ As fontes utilizadas para a elaboração deste presente trabalho focam em instalações fotovoltaicas

apresentam de forma variada, dividimos as barreiras em quatro categorias: econômicas (incluindo os custos de produção e de instalação e o custo ao consumidor), políticas e regulatórias (o atual estado das políticas de incentivo e regulação, planos nacional e estadual de energia) geofísicas e ambientais. Essas barreiras não são definitivas e a sua identificação propõe a tarefa de superá-las. Também não são exclusivas ao município de São Paulo, à exceção das barreiras geofísicas descritas mais adiante. Assim, podem servir ao estudo e compreensão das dificuldades encontradas à implantação da energia fotovoltaica também em outros lugares e regiões brasileiras de características semelhantes.

3.2.1. Barreiras Econômicas

3.2.1.1. Custo de Produção⁸

De acordo com o relatório de pesquisa “Avaliação das Perspectivas de Desenvolvimento Tecnológico para a Indústria de Bens de Capital para Energia Renovável (PDTS-IBKER)” (KUPFER *et al.*, 2012), no Brasil, ainda não há um mercado estabelecido para os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. Não há empresas especializadas nos serviços de instalação desses sistemas o suficiente, assim como as empresas de distribuição de energia elétrica também carecem de especialização para instalação de sistemas fotovoltaicos interligados à rede (geração distribuída).

O estudo indica que a cadeia produtiva de energia elétrica a partir de células fotovoltaicas é composta de seis grandes segmentos: empresas de consultoria em sistemas solares, empresas do setor de purificação de silício, empresas produtoras de materiais semicondutores fotovoltaicos (células e módulos), empresas (produtoras e representantes) de painéis fotovoltaicos; empresas de equipamentos auxiliares e material elétrico e eletrônico (baterias, acumuladores, sensores, inversores, controladores de carga) e empresas especializadas em serviços de instalação e manutenção.

O núcleo da cadeia está na produção industrial das células e dos módulos fotovoltaicos, painéis fotovoltaicos e equipamentos elétricos e eletrônicos auxiliares para a

descentralizadas (sistemas isolados ou interligados à rede). Para informações sobre sistemas centralizados, conferir Paula Mayumi Sekiguchi, “Análise das barreiras para inserção da geração fotovoltaica centralizada na Matriz Elétrica Brasileira” (Monografia), IEE-USP, 2014.

8 Para sistemas interligados à rede, baseado na “Avaliação das Perspectivas de Desenvolvimento Tecnológico para a Indústria de Bens de Capital para Energia Renovável (PDTS-IBKER) – Relatório de Pesquisa”, realizado para a Associação Brasileira de Desenvolvimento Industrial – ABDI (KUPFER *et al.*, 2012).

transformação, armazenamento e controle da energia gerada. Uma instalação fotovoltaica completa é composta de painéis solares fotovoltaicos, sistema de regulação da potência dos painéis (controlador de carga), sistema de armazenamento de eletricidade (baterias), inversor ou conversor de corrente (contínua em alternada), sistema de backup (opcional), sistema de regulação do sistema de backup e sistema de ligação com a rede:

Tabela 6 – Cadeia produtiva da energia solar fotovoltaica.

Segmentos	Insumos e produtos industriais
Materiais e Insumos	Silício grau solar, células solares e filme fino
Sistemas eletromecânicos	Gerador, transformador, motores, baterias
Sistemas eletroeletrônicos	Controlador de carga, inversor, conversor, seguidor de potência
Sistemas auxiliares e de controle	Aparelhos e equipamentos para controle de energia elétrica (painéis de controle)

Fonte: Kupfer *et al.* (2012, p. 21).

A cadeia se inicia com a produção de lingotes metálicos de silício (grau metalúrgico), a partir da mineração e do tratamento inicial de quartzo. Em seguida, através de dois processos principais, a saber, a rota química e a rota metalúrgica, ocorre a purificação dos lingotes de silício. Neste estágio, conhecido como obtenção de silício grau solar, são produzidas lâminas (*wafer*) de silício purificado, que é a principal matéria-prima para a produção de células fotovoltaicas. Tais células, quando oriundas da produção de silício, podem ser de silício monocristalino (de maior pureza, maior eficiência, maior preço) ou policristalino (menor pureza, menor eficiência, menor preço). É nestas células semicondutoras que, através de um processo físico-químico, ocorre a transformação da radiação solar em energia elétrica.

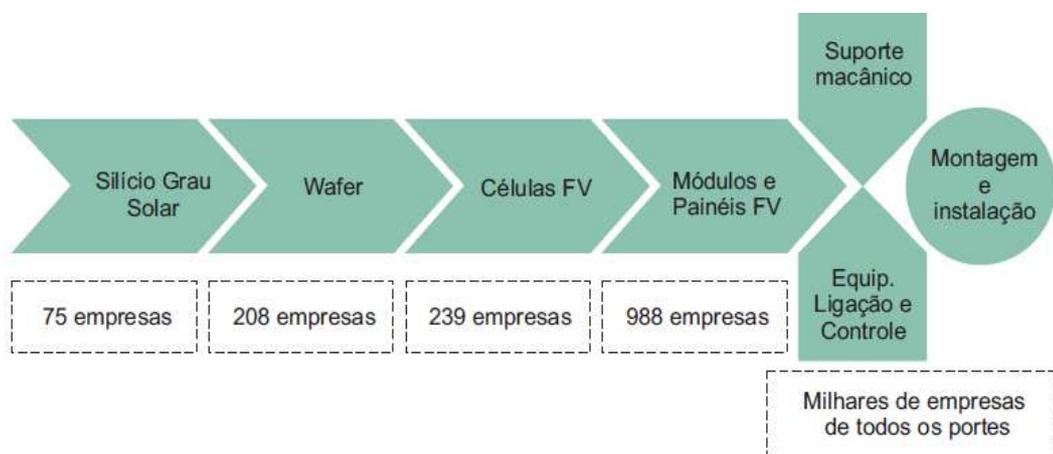


Figura 16 – Elos da cadeia fotovoltaica e empresas no mundo.

Fonte: Kupfer *et al.* (2012, p. 80).

O diagrama acima apresenta os elos da cadeia produtiva do sistema fotovoltaico e a quantidade de empresas no mundo em operação em cada segmento. Pode-se observar uma concentração de empresas à montante da cadeia (principalmente em países como China, EUA e Japão) e uma desconcentração à jusante. Os elos fundamentais da cadeia produtiva do setor não estão disponíveis na indústria brasileira, onde não se encontra uma indústria consolidada de silício grau solar, *wafer*, lingotes e células fotovoltaicas. Atualmente, todos esses produtos são importados pelas montadoras de módulos e painéis brasileiras.

Os custos de capital para instalação de indústria de alta tecnologia de transformação do silício, responsável pelo elo inicial da cadeia fotovoltaica é muito mais elevado que o custo de capital para instalação de uma indústria de montagem do módulo. Ao se analisar os custos de capital para instalação de plantas produtivas de escala economicamente viável, por elo da cadeia fotovoltaica, compreende-se o motivo da concentração das plantas de intensidade tecnológica maior em poucas empresas (poucos países):

Tabela 7 – Custos de capital para a instalação de plantas de escala economicamente viável, por elo da cadeia, em 2008.

Linha de Montagem	Capacidade (MW)	Custo (US\$ milhões)
Silício Grau Solar	500	250
<i>Wafer</i>	50	40
Células	25	15
Módulos	10	2

Fonte: Kupfer *et al.* (2012, p. 80).

O preço do produto de cada elo da cadeia também decresce à jusante, como se pode constatar a seguir:

Tabela 8 – Preços de produtos da cadeia fotovoltaica nos EUA (exceto quando indicado), dez/2011.

Etapa da cadeia	Unidade	US\$
Silício grau metalúrgico (China)	US\$/kg	2,60
Silício grau solar	US\$/kg	31,80
Wafer monocristalino	US\$/unidade (156 mm x 156 mm)	1,14
Célula monocristalina	US\$/unidade (156 mm x 156 mm)	2,36
Célula fotovoltaica	US\$/W	0,51
Módulo fotovoltaico (cristalino)	US\$/W	0,98
Módulo fotovoltaico (filme fino)	US\$/W	0,78

Fonte: Kupfer *et al.* (2012, p. 79).

Em relação à oferta e à demanda de equipamentos, a estrutura da oferta de equipamentos fotovoltaicos no Brasil é tão incipiente e diminuto quanto à demanda atual. De acordo com os dados do Banco de Informações de Geração da ANEEL, existem apenas seis usinas fotovoltaicas em operação, sendo que apenas uma delas tem propósitos comerciais, localizada em Tauá – CE. Há diversos planos de crescimento, mas a pequena demanda por módulos fotovoltaicos está concentrada em pequenos sistemas residenciais, comerciais e isolados. Há ainda a promessa de uma demanda premente para a utilização de módulos fotovoltaicos na expansão de aeroportos e em alguns dos estádios para a copa do mundo de 2014.

Mesmo com este potencial, é importante ressaltar que o mercado brasileiro não justifica a produção de nenhum elo da cadeia produtiva, ainda que sejamos o maior produtor mundial de silício grau metalúrgico. Até 2011, toda a demanda foi atendida por células e módulos fotovoltaicos importados, e mesmo assim, numa escala bastante limitada. De fato, entre 2000 e 2010, o Brasil importou um total de apenas US\$ 38 milhões, representando a oferta acumulada para toda a última década (KUPFER *et al.*, 2012).

De qualquer forma, estima-se que o atual mercado brasileiro de células e módulos fotovoltaicos seja entre 3 e 4 MW, quase todos para aplicações *off grid* (KUPFER *et al.*, 2012). Atualmente, como já foi observado, esta demanda é atendida por importações. O tamanho do mercado para equipamentos de captação, geração, ligação e controle ligados à energia fotovoltaica ainda será muito pequeno na próxima década. Por esta razão, que tal demanda incipiente ainda será atendida, majoritariamente, por importações.

Como é característico em todas as atividades onde o processo de desenvolvimento tecnológico ainda não está totalmente consolidado e há diferentes padrões concorrendo entre si, os mercados de equipamentos para energia solar fotovoltaica ainda estão conformando um ciclo virtuoso que associa incrementos de produtividade e redução de custos. Como consequência, o que se observa, inclusive em escala mundial, é que o custo do MWh da referida fonte ainda é bastante superior ao das demais fontes já consolidadas.

Tabela 9 – Faixas de custo médio do MW/h gerado, 2011.

Fonte	Faixa de custo (R\$)
Solar fotovoltaica	400 a 500
Eólica	100
Biomassa	130 a 150
PCHs	130 a 150
Médias e grandes hidrelétricas	80 a 100

Fonte: Kupfer *et al.* (2012, p. 169).

Se o cenário apresentado já impõe dificuldades para a consolidação dos mercados no nível internacional, quando o objeto de análise é o mercado brasileiro, tais dificuldades intensificam-se ainda mais. Isso porque, conforme já foi apresentada anteriormente, a matriz energética local é abundante em energias baratas e renováveis (ao contrário de diversos países onde a energia fotovoltaica é mais competitiva, notadamente os europeus).

Desta maneira, a primeira constatação a ser levada em consideração, no que diz respeito à influência das políticas públicas no desenvolvimento da indústria de bens de capital para energia renovável, é que o mercado para energia solar fotovoltaica no Brasil ainda está em fase de gestação. Tal mercado se assemelha hoje ao então estágio de desenvolvimento da energia eólica há cerca de 10 a 15 anos (KUPFER *et al.*, 2012, p. 173).

De acordo com o Plano Paulista de Energia 2020 – PPE 2020 (SÃO PAULO, 2012), a geração elétrica fotovoltaica será a mais custosa no horizonte do plano e, portanto, será instalada apenas em caráter experimental nos próximos dez anos, como se pode ver na figura 17, a seguir:

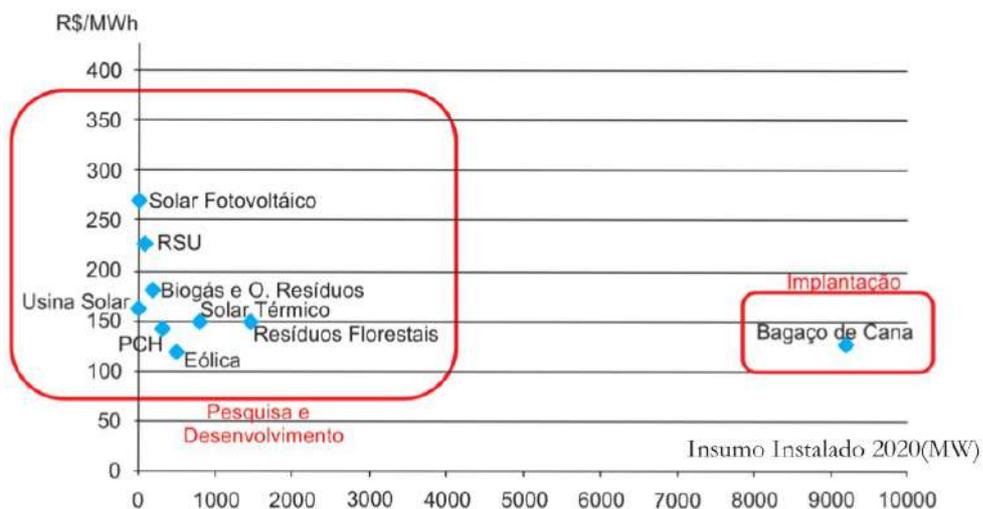


Figura 17 – Preço x Possibilidade de instalação de fontes alternativas.

Fonte: São Paulo (2012, p. 78).

3.2.1.2. Custo de Instalação⁹

Os custos dos sistemas fotovoltaicos isolados podem ser divididos em: custo dos módulos fotovoltaicos, custo do banco de baterias, custo dos equipamentos (inclui custo de módulos fotovoltaicos, baterias, controladores de carga e inversores), custo dos materiais de instalação, e custos dos serviços e da logística de instalação.

Entre os anos de 2000 e 2012, houve redução no custo total de implantação de sistemas fotovoltaicos isolados no Brasil, a uma taxa de queda de R\$1,1/Wp (GALDINO, 2012, p. 6). Em abril de 2012, o custo médio de implantação era de R\$38/Wp, conforme figura 18 a seguir:

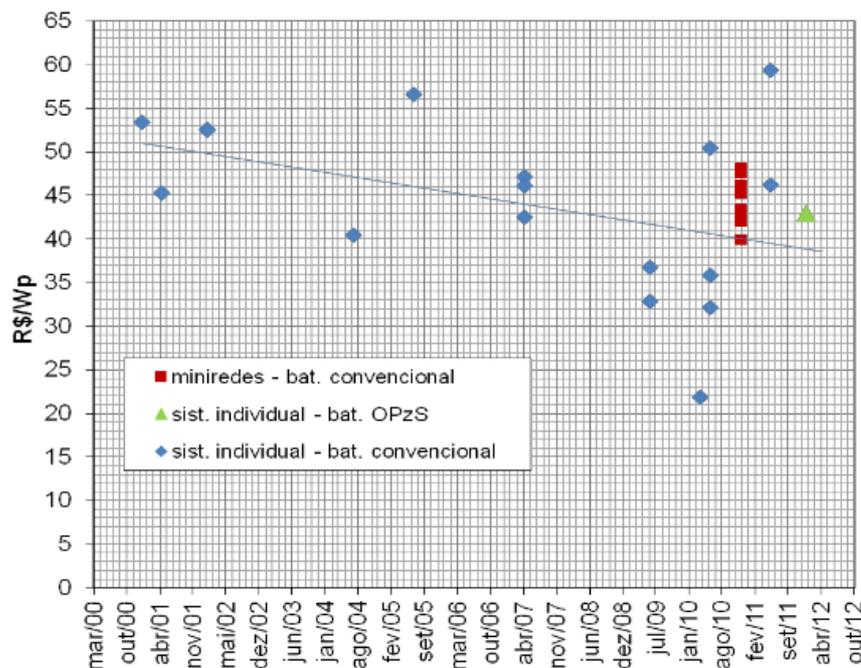


Figura 18 – Custo total de implantação de sistemas fotovoltaicos isolados.

Fonte: Galdino (2012, pag. 7).

Ao se abrir a composição dessa curva, no entanto, percebe-se que os formadores de custo tiveram comportamentos diferentes. Ao passo em que se observa uma tendência de redução de preço dos módulos fotovoltaicos no período, observa-se, por outro lado, uma tendência no aumento do custo das baterias e dos serviços necessários à implantação do sistema, como mão-de-obra e logística. Na figura 19, a seguir, pode-se observar a tendência

⁹ Para sistemas isolados, baseado no trabalho “Análise de Custos Históricos de Sistemas Fotovoltaicos no Brasil”, de Marco Antônio Galdino (GALDINO, 2012).

de queda no custo de módulos fotovoltaicos de silício cristalino (*c-Si*, o mais utilizado no mercado brasileiro), em reais por Watt-pico (R\$/Wp):

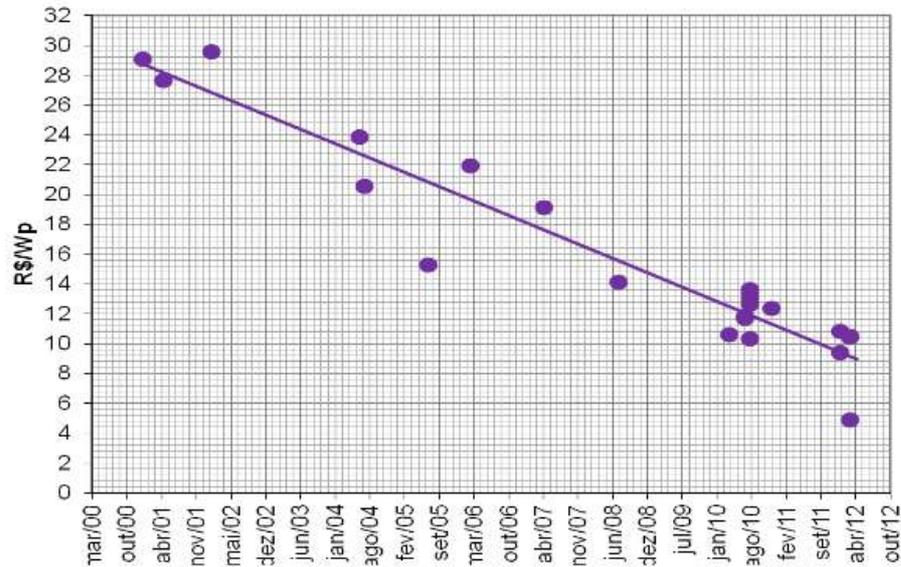


Figura 19 – Custos históricos de módulos de c-Si, valores corrigidos a valores de mar/2012.

Fonte: Galdino (2012, pag. 2).

Em abril de 2012, o valor médio do módulo fotovoltaico era de R\$9/Wp, com uma taxa anual de queda no período observado de R\$1,7/Wp.ano (GALDINO, 2012, p. 2). Já a tendência evolutiva do custo de baterias (baterias convencionais, Pb-H₂SO₄) pode ser conferida na figura 20, a seguir:

O mercado fotovoltaico brasileiro, portanto, no período entre 2000 e 2012, apresentou uma tendência de queda no custo de implantação total do sistema fotovoltaico isolado e no custo dos módulos fotovoltaicos em particular e uma tendência de alta no custo dos serviços de instalação (mão-de-obra e logística) e no custo de baterias.

3.2.1.3. Custo ao Consumidor

As células fotovoltaicas que eram inicialmente produzidas pelo programa espacial americano a partir da Segunda Guerra Mundial a um custo médio de US\$600/W, hoje em dia já são encontradas a US\$8/W (BRASIL, 2007b, p. 134). A incrível redução de custos, no entanto, ainda não é capaz de tornar a energia fotovoltaica em uma fonte competitiva comercialmente (de acordo com o Plano Nacional de Energia 2030). Comparativamente com a utilização da energia fornecida pela rede pública local, a energia derivada dos painéis solares ainda apresenta um custo superior de operação, como se pode conferir nas tabelas 10 e 11, a seguir:

Tabela 10 – Custo por tipo de energia, 2008.

Tipo de Energia	Custo por kWh (R\$)	Custo por kWh (€)
Energia Elétrica da Rede	0,34	0,12
Energia Fotovoltaica (painel de silício)	10,49	3,75
Energia Fotovoltaica (filme fino)	0,92	0,34

Preços internacionais. Fonte: Neto (2010, p. 43).

Tabela 11 – Custo por equipamento elétrico utilizado.

Equipamento	Potência (W)	Consumo mensal (kWh)	Custo na rede pública (€)	Custo com painel fotovoltaico (€)
20 lâmpadas fluorescentes	100	200	24,00	68,00
2 computadores	180	104	12,48	35,36
1 geladeira de 400 litros	90	42	5,04	14,28
1 aparelho de som	30	4	0,48	1,36
2 condicionadores de ar (12.000 BTUs)	1450	136	16,32	46,24
TV colorida de 29 polegadas	110	35	4,12	11,90
Total	1960	521	62,44	177,14

Refere-se ao município de Barcarena-PA, em 2010. Fonte: Neto (2010, p. 52).

Nas tabelas 10 e 11, fica evidente que o custo para o consumidor da energia fotovoltaica em relação à tarifa da rede ainda é muito mais elevado. Na comparação por equipamentos, o custo de consumo da energia fotovoltaica chega a ser 284% superior que a da rede. Segundo Ricardo Gorini, em “A Energia Solar Fotovoltaica no Contexto do Planejamento Energético Nacional” (GORINI, 2013), o custo da energia elétrica fotovoltaica para o consumidor só se tornaria competitivo em relação às tarifas da rede entre 2017 e 2018, conforme se pode ver na figura 21 a seguir:

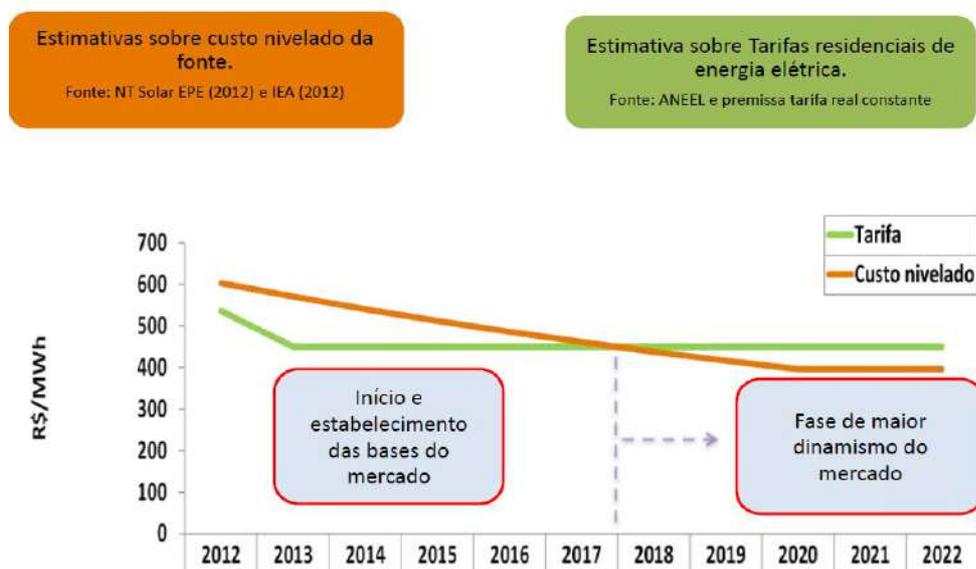


Figura 21 – Percepção e decisão do consumidor.

Fonte: Gorini (2013, p. 19).

A análise dos custos de produção, de instalação e do custo ao consumidor revela um cenário complexo. Enquanto os custos de produção da cadeia fotovoltaica a posicionam em desvantagem em relação a outras tecnologias renováveis, os custos de instalação estão em forte tendência de queda nos últimos doze anos. O cenário brasileiro aponta para a continuidade em curto e médio prazo das importações dos produtos da cadeia produtiva fotovoltaica e da realização da montagem final dos módulos e placas fotovoltaicos em território nacional. Por outro lado, a queda nos custos de instalação não se verifica em todos os equipamentos e serviços, como se observou na tendência de alta do custo de baterias e na mão-de-obra especializada (e escassa no país).

Dessa maneira, como aponta o estudo “Proposta para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira”, da ABINEE (ABINEE, 2012), a paridade dos

custos ao consumidor entre a geração elétrica fotovoltaica e a rede elétrica (*grid*) só se daria entre os anos de 2017 e 2018, acompanhando a tendência do mercado norte-americano de redução dos custos de instalação até o ano de 2020. Por fim, os preços prosseguirão impeditivos a curto prazo não apenas para os consumidores como para as próprias iniciativas governamentais do Estado de São Paulo (cruciais em um processo de instauração de novas tecnologias), que praticamente não preveem investimento em geração fotovoltaica até o ano de 2020.

3.2.2. Barreiras Políticas e Regulatórias

3.2.2.1. Políticas de Incentivo e Regulação¹⁰

O desenvolvimento da cadeia de equipamentos para energia fotovoltaica sofre forte influência das políticas públicas. Desde meados da primeira década do século XXI, a demanda por sistemas fotovoltaicos cresceu a uma taxa muito expressiva. Entre 2006 e 2010, a capacidade instalada mundial cresceu a taxas pouco superiores a 54% ao ano, saltando de 7 GW em 2006 para quase 40 GW instalados em 2010 (KUPFER *et al.*, 2012).

Tabela 12 – Mundo e países selecionados: capacidade instalada de geração fotovoltaica, 2006 e 2010 (em MW).

País	2006	2010
Alemanha	2.900	17.300
Espanha	200	3.800
Japão	1.700	3.600
Itália	50	3.500
EUA	600	2.500
Rep. Tcheca	-	2.000
França	30	1.000
China	80	900
Bélgica	-	800
Coreia do Sul	30	700
Demais	1.400	3.600
Total	6.990	39.700

Fonte: Kupfer *et al.* (2012, p. 81).

¹⁰ Baseado na “Avaliação das Perspectivas de Desenvolvimento Tecnológico para a Indústria de Bens de Capital para Energia Renovável (PDTS-IBKER) – Relatório de Pesquisa”, realizado pela ABDI (KUPFER *et al.*, 2012).

Novamente, destacam-se justamente os países que, ao longo dos anos 2000, introduziram diversas ações regulatórias e de incentivos fiscais e tributários para estimular o desenvolvimento da oferta de energia solar. Os casos mais claros são das políticas de preços diferenciados para as tarifas *feed in*, isto é, aquela em que o produtor de energia solar recebe um valor mais alto pela energia “vendida” para a rede do que aquele que ele paga para consumir eletricidade do *grid*. A diferença positiva contribuiria para um *payback* acelerado do sistema fotovoltaico instalado. Se se considerar os subsídios e incentivos públicos e privados à energia solar fotovoltaica, esta já é competitiva, do ponto de vista de consumidor, em países como a Alemanha, Espanha, Estados Unidos e Japão, como mostra a tabela 13 a seguir:

Tabela 13 – Comparação entre custos da energia fotovoltaica e preço da energia da rede elétrica (US\$ cents/kWh).

País	Custo típico da energia solar			Tarifa de Energia Elétrica
	Sem incentivos	Com incentivos		
		Governamentais	Governamentais e privados	
Alemanha	50	-17	-20	17
Espanha	30	25 a 30	-20	7
Nova Jérsei	50	45	11	12
Califórnia	35	10 a 15	10 a 15	15
Japão	50	45	20 a 40	21

Fonte: Brasil (2007, p. 141).

Em todos os países onde a energia solar ampliou sua participação na matriz energética houve um forte apoio político e jurídico.¹¹

No caso do Brasil, no entanto, deve-se considerar que o desenvolvimento de fontes alternativas, tais como a eólica, PCH, biomassa e solar fotovoltaica, é balizado pela concorrência com uma fonte altamente competitiva em termos de custos de geração, em especial se for considerada a amortização das usinas mais antigas e de elevada escala. Assim, ao contrário do que ocorre em outros países cuja matriz energética tem baixa representatividade de energias renováveis, limpas e de baixo custo, os incentivos ambientais e econômicos (de curto prazo) para a adoção dessas fontes alternativas são relativamente mais intensos do que aqueles presentes no Brasil. O que não quer dizer, entretanto, que tais

11 Exemplos de incentivos: Alemanha (*feed-in tariffs*, *Roofs Programme*), Índia (Missão Solar – leilões específicos com exigência de conteúdo nacional de 60% na primeira fase), China (subsídios à produção) e EUA (*net metering*, incentivos fiscais e financiamento) (ANDRADE, 2013).

incentivos não possam e não devam ser construídos no Brasil; mas, vale ressaltar que como ponto de partida, eles são menos intensos devido às características de nossa matriz. A introdução das fontes alternativas na matriz terá como pré-requisito, portanto, o aumento de sua competitividade perante outras fontes já estabelecidas.

Segundo o documento Léonidas Andrade (ANDRADE, 2013, p. 6), ainda é incipiente o desenvolvimento da energia solar fotovoltaica no Brasil. As

magnitudes são quase desprezíveis de demanda de sistemas fotovoltaicos [no Brasil, são necessárias] ações que permitam despertar atores nacionais e globais para o elevado potencial de assimilação de tecnologia e geração de valor adicionado na produção local dos diversos elos da cadeia fotovoltaica, com expansão da geração de empregos qualificados, saldos comerciais (via exportações ou substituição de importações) e arrecadação de impostos e tributos; a importância fundamental do fator escala produtiva neste segmento inserção do Brasil neste setor irá requerer medidas simultâneas e sincronizadas de incentivo à demanda e à oferta; atuar no sentido de uma convergência de interesses: setor público e privado.

Em relação à possibilidade de geração de empregos, a geração de energia fotovoltaica é uma das tecnologias mais promissoras, segundo figura 22 abaixo:

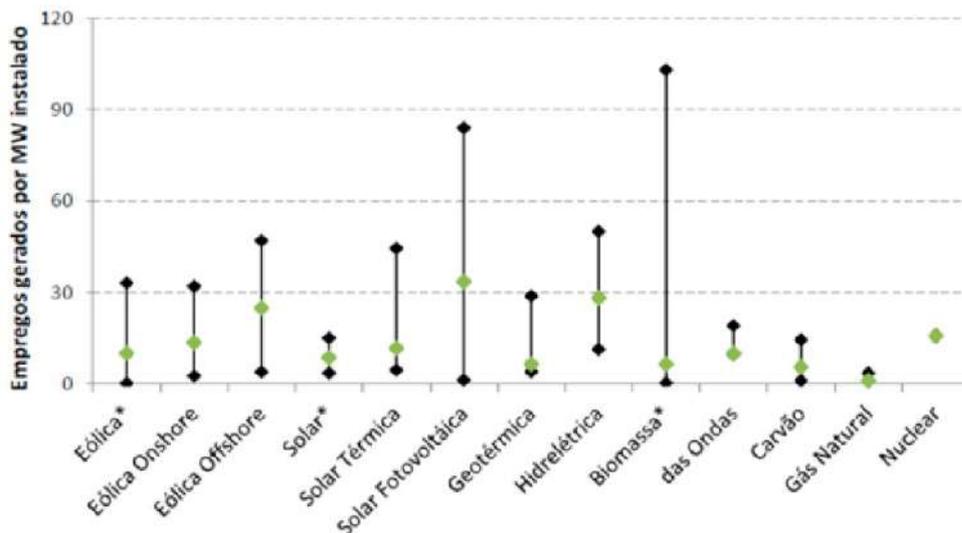


Figura 22 – Índice de geração de emprego por MW instalado para diversas fontes e tecnologias.
Fonte: ABINEE (2012, pag. 38).

Quando ligados à rede, os módulos fracionados (residenciais ou em estabelecimentos comerciais) devem participar de algum tipo de regulação tarifária. A mais comum, tipo *feed in*, indica que o produtor residencial/comercial “vende” à rede toda a energia gerada durante o

dia (em geral, por uma tarifa mais cara) e compra toda a energia consumida pagando sua tarifa residencial normal.

Neste caso, é preciso haver controles inteligentes (equipamentos de *smart grid*) que promovam uma medição líquida (*net metering*) da unidade consumidora/produzida ligada à rede. A “remuneração” do consumidor/produzido fracionado, originada na diferença positiva entre a energia “vendida” e a adquirida, o incentivaria a adquirir e amortizar os equipamentos solares. Note que, neste caso, deve haver não apenas um marco regulatório adequado, mas algum grau de incentivo fiscal e tributário que possa financiar o diferencial tarifário e/ou a amortização dos equipamentos, cujos preços são cadentes, mas ainda elevados. Em todos os países que ampliaram a participação da energia solar em suas matrizes, ocorreu justamente algum tipo de arranjo político, regulatório e fiscal/tributário que incentivou o consumo residencial/comercial de equipamentos fotovoltaicos.

De acordo com a ABDI (KUPFER *et al.*, 2012), os principais desafios residem na (i) regulamentação e estabelecimento de uma *smart grid*; (ii) estabelecimento de um período de isenção tributária¹² para os bens de capital do segmento; (iii) garantia de condições de financiamento adequadas à indústria nascente local, seja via BNDES ou Finep e (iv) estabelecimento de metas mínimas de utilização de energia solar fotovoltaica por parte do poder público¹³ e dos concessionários de serviços públicos.

Segundo Gorini (2012, p. 22),

é necessário estabelecer regulação adequada, informação, financiamento e política de incentivos e desenvolver certificação, projetos-piloto, políticas de inovação e investimento interno. O *net metering* é condição inicial para viabilização da geração distribuída fotovoltaica como modelo de negócios. Incentivos adicionais (financiamento, tributários) são necessários.

12 Uma vez que se trata de um segmento praticamente inexistente, tal política não traria redução de arrecadação. Além disso, a isenção tributária atuaria no sentido de reduzir os custos dos investimentos a serem realizados e assim, incentivar o mercado local. Esses custos, segundo a estimativa dos entrevistados, estariam em torno de R\$ 8 mil a R\$10 mil para a instalação de um sistema capaz de gerar de 100 a 130 kWh/mês. Tomando como referência o custo do MWh de cerca de R\$ 500 para o consumidor doméstico, o prazo para a amortização do investimento no Brasil oscilaria entre 10 e 16 anos (KUPFER *et al.*, 2012, p. 176).

13 O Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf), em consonância com o Plano Nacional de Energia 2030, traça metas para redução e maior eficiência no consumo de energia das instituições públicas. Até 2030, o PNEf pretende reduzir a demanda energética em prédios públicos em 106 TWh. Uma das medidas a serem adotadas será a implantação de sistema fotovoltaicos em prédios públicos, visando incentivar a instalação de sistemas fotovoltaicos nas edificações da Esplanada dos Ministérios, com ações de replicabilidade para todo o poder público, para a redução da demanda de energia contratada e a promoção do conceito de sustentabilidade ambiental (BRASIL, 2011).

Permanecendo a redução de custos de investimento, a paridade tarifária será atingida em parte significativa da rede. Assim, expectativa é que a fotovoltaica se desenvolva gradualmente no longo prazo. A experiência internacional mostra que essa inserção pode ser fortemente influenciada e acelerada por políticas de estado e modelos de negócios que reduzam risco.

O mercado para energia solar fotovoltaica no Brasil ainda está em fase de gestação. Tal mercado se assemelha hoje ao então estágio de desenvolvimento da energia eólica há cerca de 10 a 15 anos. A boa experiência internacional recomenda a adoção de fortes políticas de incentivo para a cadeia de geração fotovoltaica: financiamento e fomento à indústria de equipamentos e instalação, além de políticas de incentivo voltadas ao consumo. As medidas necessárias ainda são mais expressivas que as políticas adotadas atualmente pelas esferas de governo nacional e estadual no Brasil. Os Planos Nacional de Energia 2030 (BRASIL, 2007b) e Paulista de Energia 2020 (SÃO PAULO, 2012) deixam a energia fotovoltaica ao largo de seus horizontes, restando ao município de São Paulo – no curto e médio prazos – a alternativa de elaborar políticas locais ou buscar alianças com institutos e a iniciativa privada. Em um setor em que são necessários pesados incentivos, a inação pode ser considerada entrave ao desenvolvimento.

3.2.2.2. Plano Nacional de Energia 2030

Segundo o Plano Nacional de Energia 2030 – PNE 2030 (BRASIL, 2007a, 2007b), a implantação de sistemas isolados no Brasil é um exemplo de como a expansão da energia solar fotovoltaica deve – ao menos inicialmente – estar aliada a incentivos públicos e muitas vezes, a parcerias internacionais. As metas para estabelecimento da matriz energética brasileira em 2030 preveem a continuidade dos incentivos à implantação de sistemas isolados, o que é uma marca do desenvolvimento da energia fotovoltaica no Brasil, onde até o momento se percebe o foco em pequenos sistemas autônomos, em detrimento de sistemas interligados ou de produção de larga escala. Vale ressaltar que a necessidade de subsídio público para a disseminação da energia solar (em todas as suas formas de aproveitamento e mesmo naquelas que já possuem escala de produção comercial), como vimos, não é uma particularidade do Brasil.¹⁴ De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética – EPE

¹⁴ Os países que mais se destacam nesse tipo de instalação são o Japão, os EUA e a Alemanha. A Alemanha, através de subsídios governamentais (Roofs Programme) instalou 100.000 sistemas entre 1999 e 2004, totalizando 300 MW (BRASIL, 2007b, p. 79).

(BRASIL, 2007a, p. 178),

Os sistemas fotovoltaicos isolados tiveram ampla penetração no Brasil através de vários programas, totalizando, em 2004, mais de 30 mil sistemas instalados. Destacam-se o projeto PRODUIR, para eletrificação de domicílios, que instalou, com recursos do Banco Mundial, 11 mil sistemas de 50 W de potência média, e o Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios – PRODEEM, do MME, agora incorporado ao Programa Luz para Todos, com a instalação de quase 9 mil sistemas com potência média de 535 W em escolas, postos de saúde, igrejas, centros comunitários, bombeamento d' água e etc.).

No entanto, em relação à energia solar fotovoltaica interligada à rede, o Plano a considera ainda uma realidade distante e fora de seu horizonte. De acordo com o Plano, os custos de implantação da energia fotovoltaica integrada à rede ainda não são competitivos no mercado brasileiro. Acredita-se que, mantendo-se a curva atual entre o potencial produzido acumulado e o custo de MWh gerado, a energia fotovoltaica se tornaria globalmente competitiva quando atingisse a produção de 22GW, em 2020 (BRASIL, 2007b, p. 82).¹⁵ A própria entrada da energia solar fotovoltaica só comporia definitivamente a matriz energética alemã a partir de 2030, conforme a figura 23 abaixo, que traz o levantamento estimativo da matriz energética alemã entre os anos de 2000 e 2100.

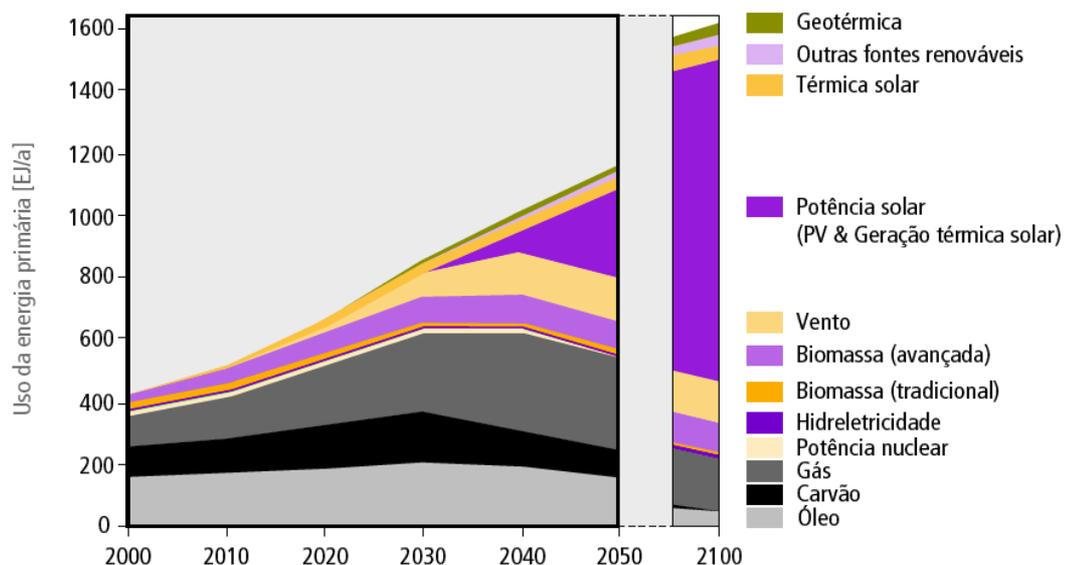


Figura 23 – Evolução da geração elétrica na Alemanha.

Fonte: Brasil (2007b, p. 83).

¹⁵ De acordo com a ABDI (KUPFER *et al.*, 2012, p. 81), a estimativa do PNE 2030 já foi superada, uma vez que em 2010 a energia fotovoltaica já contava com o potencial instalado de 39.700 GW.

Com base na curva de redução de preços internacionais da tecnologia fotovoltaica e das expectativas de incorporação apenas a longo prazo desta tecnologia na matriz energética de países referência em sua adoção, como a Alemanha, o Brasil, segundo o PNE 2030, investirá no sistema fotovoltaica interligado à rede apenas na próxima reedição do plano, ou seja, apenas a partir de 2030.

De acordo com o PNE 2030 (BRASIL, 2007b, p. 87),

A fotovoltaica pode ser aproveitada para geração elétrica, tanto em sistemas isolados, onde desfruta de um nicho de mercado que assim continuará no horizonte do plano, quanto em sistemas integrados à rede, onde uma nova concepção de geração distribuída se abre, porém com provável entrada, mais acentuada, no fim do horizonte do PNE 2030. Aqui, também, são necessários incentivos para criar as condições de aproveitamento desta abundante fonte no nosso país.

3.2.2.3. Plano Paulista de Energia 2020

De acordo com o Plano Paulista de Energia 2020 – PPE 2020, a meta estabelecida para geração de energia solar até 2020 deva atingir o patamar de 1.000 MW. Entre as tecnologias de aproveitamento da energia solar, a geração fotovoltaica deverá gerar o total de 50 MW em 2020, de acordo com o mesmo plano.¹⁶

O PPE 2020 considera que a geração de energia solar fotovoltaica poderia promover o desenvolvimento regional do Estado de São Paulo, com a consolidação de uma rede de produção e difusão tecnológica; diminuir a dependência energética de fontes tradicionais e promover o perfil de cidades sustentáveis, além de gerar empregos (estima-se que, para cada 1 milhão de m² de painéis fotovoltaicos produzidos e instalados no país, são gerados 30 mil empregos diretos).

As aplicações que vêm ocorrendo no Estado concentram-se em instalação residenciais para aquecimento de água, em pequenas localidades isoladas (meio rural) e em prédios públicos, notadamente em universidade e centros tecnológicos.

No entanto, de acordo com este levantamento, há questões que não permitem uma maior expansão do setor de energia solar no Estado de São Paulo, como entraves financeiros,

¹⁶ Lembrar que na análise sobre as possibilidades de instalação das fontes alternativas de energia elétrica, dentro das metas do PPE-2020, a energia solar fotovoltaica aparece como a fonte mais cara e com a menor possibilidade de implementação no período (ver figura 17).

tecnológicos, burocráticos, institucionais e de capacitação. De acordo com o governo do Estado (SÃO PAULO, 2013, p. 45), os desafios que serão enfrentados pelo setor serão, entre outros, relacionados

ao licenciamento ambiental voltado a linhas de financiamento específicas de projetos, à implantação de polos tecnológicos, à análise tributária visando a aquisição de ativos e implantação de empreendimentos, ao desenvolvimento e disponibilização de uma base de informações geo-técnico-econômica, à implantação de leilões regionais e por fontes e ao estabelecimento de regulamentação clara, objetiva e perene.

De acordo com o PPE 2020, devem ser articuladas ações a nível municipal, estadual e federal para vencer os desafios de implementação da geração de energia solar em São Paulo.¹⁷ Estas ações devem focar os aspectos de licenciamento ambiental, desenvolvimento tecnológico, financiamento para produção, carga tributária, fomento público e realização de leilões específicos para tecnologias solares e por regiões. As propostas elencadas pelo PPE 2020 (SÃO PAULO, 2012, p. 79) são:

estabelecer práticas de licenciamento simplificadas e padronizadas, em especial para questões relacionadas a financiamento de projetos a fim de agilizar a implantação de unidades produtoras e de fornecimento de matérias-primas; investir em pesquisas voltadas à confiabilidade, aumento da eficiência e da competitividade das fontes renováveis para promover o aumento da oferta de energia elétrica de fontes limpas; facilitar o acesso a linhas de financiamento aos setores de produção envolvidos para viabilizar o crescimento da oferta no mercado estadual; viabilizar incentivos fiscais para aquisição de ativos de implantação ou renovação de empreendimentos de produção e a absorção de créditos de ICMS ao longo de toda a cadeia produtiva para promover o aumento da atratividade em setores energéticos estratégicos, sem perda de arrecadação considerando toda a cadeia produtiva; estabelecer a obrigatoriedade da instalação de aquecedores solar térmicos, células fotovoltaicas e micro geradores eólicos em locais de uso comum de todos os conjuntos habitacionais financiados com recursos

17 De acordo com o PPE 2020 (SÃO PAULO, 2012), o Estado de São Paulo tem adotado medidas políticas e tributárias para incentivo da geração de energia solar. Politicamente, tem por base a Política Estadual de Mudanças Climáticas, instituída pela Lei Estadual 13.798, de 09 de novembro de 2009, que traz entre os seus objetivos o de realizar ações para aumentar a parcela das fontes renováveis de energia na matriz energética, dentro e fora do Estado. No aspecto tributário, o Estado de São Paulo desde 1997 aderiu ao Convênio ICMS 101/1997 (vigente, por prorrogações, até dezembro de 2015) que concede isenção do ICMS nas operações com equipamentos e componentes para o aproveitamento das energias solar e eólica. O Estado também está adequando aos preceitos da Resolução Normativa da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL 77/2004, que estabeleceu os procedimentos vinculados à redução das tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição, para empreendimentos hidroelétricos e aqueles com base em fonte solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, e da Resolução Normativa 482/2012, que estabeleceu as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica.

públicos, além de viabilizar leilões de compra regionais por fonte, com critérios que incorporem o custo total, proximidade ao consumo, etc.

Assim como o Plano Nacional de Energia 2030, o Plano Paulista de Energia 2020 diagnostica as necessidades e benefícios da implantação da cadeia de geração e consumo de energia fotovoltaica, mas ainda não propõem em seus cenários investimentos e incentivos para tal.

O desenvolvimento da energia fotovoltaica depende, ao menos inicialmente, de forte incentivos e subsídios públicos, assim como uma regulação que seja favorável à entrada desta tecnologia no mercado. Vimos que a geração de energia fotovoltaica pode contribuir não apenas com o fornecimento de energia elétrica, como para a geração de empregos e desenvolvimento tecnológico do país, tendo em vista que o beneficiamento do silício envolve não apenas a cadeia fotovoltaica, mas diversos ramos da indústria eletrônica.

Os planos governamentais a nível nacional e estadual ainda posicionam a energia fotovoltaica em um horizonte de longo prazo. No Plano Nacional de Energia 2030, esta fonte só será mais amplamente desenvolvida por políticas nacionais após o horizonte do plano. No Plano Paulista de Energia 2020, haverá apenas um tímido investimento em energia solar fotovoltaica (50 MW – 5% do total que será investido em energia solar no período) até o fim do período. O município de São Paulo não possui políticas próprias de fomento para a geração fotovoltaica.

O Brasil e o Estado de São Paulo já possuem exemplos bem sucedidos de investimento em energias renováveis (como as PCHs e as eólicas) e reconhecem o papel crucial das políticas públicas no desenvolvimento deste setor. A energia fotovoltaica, no Brasil, sofre da concorrência com diversas outras fontes renováveis, bem como da própria matriz elétrica brasileira, considerada uma das mais limpas do mundo em relação aos padrões de referência.

Por todas as variáveis elencadas, o desenvolvimento da energia solar fotovoltaica no município de São Paulo ainda dependerá, ao menos no curto e médio prazos, de incentivos locais e da iniciativa de institutos de pesquisa ou do setor privado (e doméstico).

3.2.3. Barreiras Geofísicas

Os projetos de geração fotovoltaica concentram-se ainda na região Norte e Nordeste e atuam, principalmente, em a) bombeamento de água para fins domésticos, para irrigação e

piscicultura; b) iluminação pública; c) eletrificação de espaços públicos (como escolas e postos de saúde) e atendimento doméstico.

De acordo com o Atlas de Energia Elétrica do Brasil (BRASIL, 2005), o governo brasileiro instituiu em 1999 o PRODEEM, Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios, executado pela Secretaria de Energia do Ministério de Minas e Energia (MME). A maioria dos projetos executados de geração de energia solar através de sistema fotovoltaico foi realizada no país no âmbito deste programa:

Tabela 14 – Distribuição regional dos sistemas fotovoltaicos instalados pelo PRODEEM até o ano de 2002.

Região	UF	Sistemas Fotovoltaicos Instalados até 2002	Valor aplicado (US\$1 mil)
Norte	AC	252	1.027,86
	AM	206	886,49
	AP	107	403,85
	PA	435	1.832,23
	RO	273	1.044,90
	RR	29	130,17
	TO	169	667,06
	Subtotal	1.471	5.992,57
Nordeste	AL	413	1.846,15
	BA	1.272	5.844,77
	CE	733	3.210,50
	MA	921	3.954,30
	PB	237	1.014,59
	PE	255	1.055,98
	PI	424	2.154,47
	RN	250	1.014,21
	SE	72	351,73
Subtotal	4.577	20.466,70	
Sudeste	ES	50	188,88
	MG	532	2.526,92
	RJ	68	251,60
	SP	105	388,50
	Subtotal	755	3.355,90
Sul	PR	5	18,50
	RS	97	358,90
	SC	77	284,90
	Subtotal	179	662,30

continua...

continuação

Tabela 14 – Distribuição regional dos sistemas fotovoltaicos instalados pelo PRODEEM até o ano de 2002.

	GO	153	630,10
Centro-Oeste	MS	348	1.287,60
	MT	109	416,23
	Subtotal	610	2.333,92
Brasil	Total	7.592	32.791,40

Fonte: Brasil (2005, p. 42). Adaptado.

O Estado de São Paulo, entre os estados brasileiros, figurou apenas na 19ª posição em relação aos sistemas fotovoltaicos instalados através do PRODEEM até o ano de 2002. Ainda de acordo com a ABINEE (ABINEE, 2012), o Estado de São Paulo não está entre os mais competitivos em relação à geração solar fotovoltaica. O índice de competitividade orienta os investimentos federais, que têm se concentrados em projetos em regiões do Norte e, fundamentalmente, no Nordeste do país.¹⁸

18 De acordo com a ABINEE (2012, p. 64-65), em seu estudo “Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira”, a viabilidade da energia solar é medida pela razão direta entre as tarifas de energia com impostos e o custo de produção da energia solar. Assim, o indicador de viabilidade = $\text{Tarifa de energia com impostos} / \text{Custo de produção solar}$. Uma relação superior a 1,0 indica, para as premissas utilizadas, que a energia solar fotovoltaica já é competitiva. Uma relação inferior a 1,0 indica, para as premissas utilizadas, que a energia solar fotovoltaica ainda não é competitiva. O resultado é um mapa do Brasil com as cores denotando a competitividade como pode-se ver na figura 24. A convenção destas é simples: quanto maior o indicador de viabilidade mais quente (vermelha) a cor. Quanto menor, mais fria a cor (azul). A seta indica o valor 1,0. Dessa maneira, os estados com menor competitividade, de acordo com esse cálculo, não indicam menor radiação solar, mas um menor indicador de viabilidade (tarifa da rede/custo de produção solar).

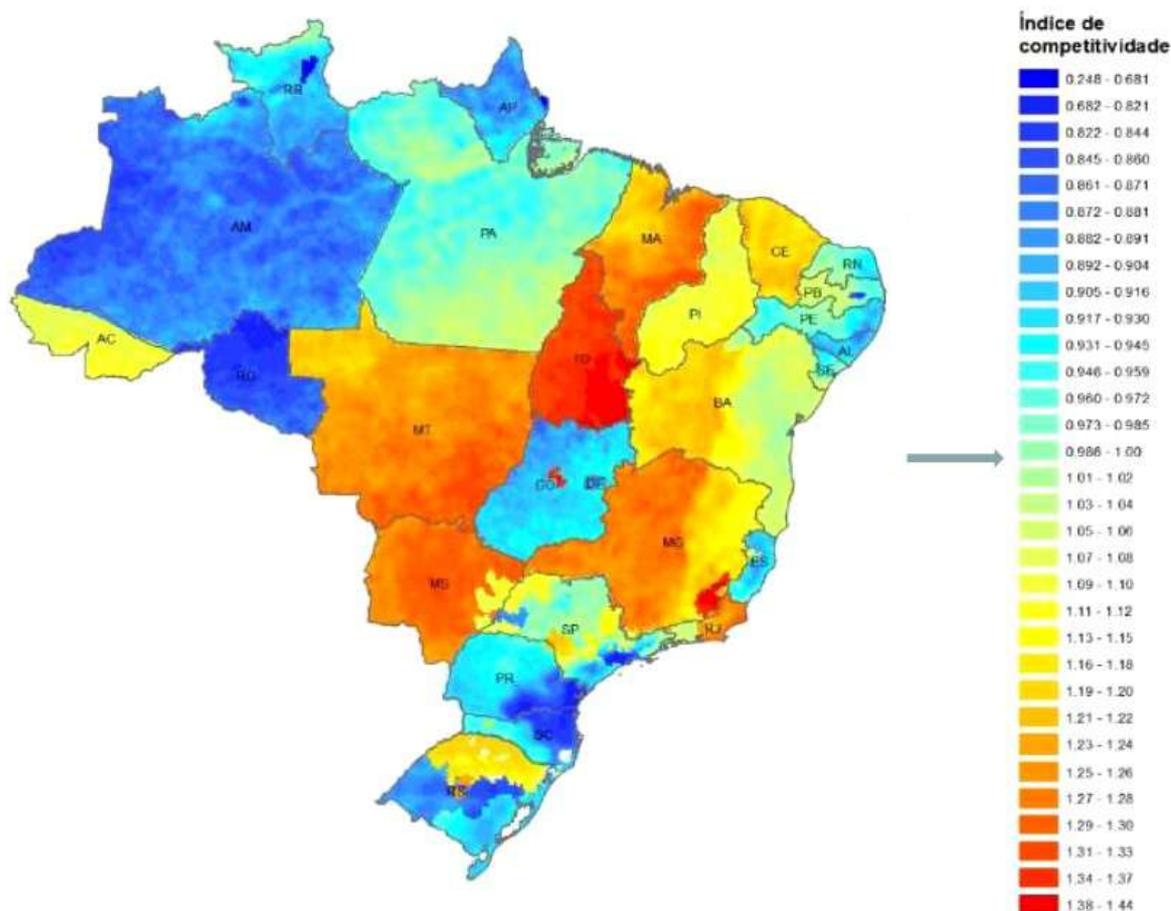


Figura 24 – Brasil – Indicador de viabilidade para clientes na baixa tensão.
 Fonte: ABINEE (2012, p. 65).

Também entre as regiões administrativas do Estado de São Paulo listadas pelo “Energia Solar Paulista – Levantamento de Potencial” (SÃO PAULO, 2013) a região metropolitana de São Paulo está em desvantagem. A região metropolitana de São Paulo é a que possui a menor incidência de radiação solar global diária por m^2 , numa faixa entre 3,784 a 5,352 kWh/ m^2 .dia (média anual de 4,58 kWh/ m^2 .dia), portanto, abaixo da referência viabilidade técnico-econômica estadual (5,61-5,70 kWh/ m^2 .dia). Seguem a seguir a lista das regiões administrativas do Estado de São Paulo de acordo com o índice de incidência global diário por m^2 :

Tabela 15 – Radiação solar global média nas regiões administrativas – Estado de São Paulo (kWh/ m^2 .dia).

Município – Região Administrativa	Anual	Primavera	Verão	Outono	Inverno
Araçatuba	5,520	6,672	5,970	4,697	4,741
Barretos	5,509	6,711	6,057	4,474	4,794
Bauru	5,466	6,540	5,919	4,581	4,824

continua...

continuação

Tabela 15 – Radiação solar global média nas regiões administrativas – Estado de São Paulo (kWh/m².dia).

Município – Região Administrativa	Anual	Primavera	Verão	Outono	Inverno
Campinas	5,388	6,347	6,147	4,402	4,658
França	5,484	6,385	6,133	4,618	4,801
Marília	5,384	6,590	5,786	4,573	4,588
Presidente Prudente	5,401	6,578	6,039	4,517	4,468
Registro	4,388	5,239	5,560	3,482	3,273
Ribeirão Preto	5,489	6,545	6,117	4,476	4,819
Santos	4,709	5,747	5,455	3,881	3,753
São Carlos	5,444	6,390	6,089	4,480	4,819
São José dos Campos	5,053	6,002	5,625	4,227	4,357
São José do Rio Preto	5,512	6,695	5,876	4,597	4,878
São Paulo	4,589	5,251	5,352	3,967	3,784
Sorocoba	5,126	6,105	5,933	4,237	4,231

Fonte: São Paulo (2013, p. 17).

De acordo com os dados anteriores, a região metropolitana de São Paulo é a que apresenta o segundo menor índice médio anual de radiação global diária por m², atrás apenas da região administrativa de Registro. Ao se analisar apenas a região metropolitana de São Paulo, observar-se que o município de São Paulo apresenta o pior índice de sua região administrativa, entre 4,41 e 4,50 kWh/m².dia de incidência solar global diária por m²:



Figura 25 – Incidência solar global – média anual. Região metropolitana de São Paulo.

Fonte: São Paulo (2013, p. 41).

Os dados acima demonstram que a atenção dada pelos governos nacional e estadual à geração de energia solar fotovoltaica privilegia regiões de maior incidência solar no país e no estado. Como o Brasil possui regiões extremamente propícias à geração fotovoltaica, como a região Nordeste, os investimentos dos programas de incentivo nacionais (como o PRODEEM), dirigiram-se preferencialmente para aquela região. Também seguindo esse raciocínio, o governo paulista, através de seu trabalho prospectivo “Energia Solar Paulista – Levantamento do Potencial” (SÃO PAULO, 2013), indica apenas uma pequena área no estado suscetível de merecer investimentos na geração fotovoltaica, 0,3% do seu território (732 km²), que está dentro da faixa utilizada como referência para os programas do governo do Estado, entre 5,61-5,70 kWh/m².dia. Dessa maneira, o Estado de São Paulo não é prioridade nos incentivos nacionais para o setor e a região metropolitana (e administrativa) de São Paulo não é prioridade para os investimentos estaduais.

Em relação à cidade de São Paulo, as condições geográficas e climáticas do município, por sua vez, são as piores de sua região administrativa e podem funcionar como barreira aos investimentos e políticas públicas nacionais e estaduais de fomento e incentivo à geração fotovoltaica. No entanto, não se pode esquecer que a incidência solar no município de São Paulo só é baixa se comparada às regiões mais equatoriais do país, onde os índices equivalem aos melhores registrados no mundo. Se se comparar os números do município de São Paulo com cidades e países europeus (Alemanha e Itália) e asiáticos (Japão), onde esta tecnologia é mais amplamente difundida, seus índices ainda são bastante superiores, como vistos anteriormente.

Os dois níveis de comparação do potencial solar do município de São Paulo (com o Brasil e com o exterior), sugerem que os investimentos iniciais na área deverão advir, preferencialmente, de programas de incentivos municipais ou da iniciativa privada (empresarial e industrial) ou ainda de pequenos consumidores domésticos de maior consciência ambiental. Também se deve destacar que as características de São Paulo (grande centro urbano) requerem um direcionamento particular no incentivo à geração fotovoltaica, devendo ser voltado preferencialmente para sistemas interligados à rede, diferente do que acontece na maioria das instalações no Nordeste do país.

3.2.4. Barreiras ambientais

A energia solar fotovoltaica também possui algumas restrições ambientais ao seu aproveitamento. O processo de fabricação dos painéis fotovoltaicos envolve a utilização e materiais tóxicos e inflamáveis, como o silano, fosfina e cádmio, o que oferece risco aos trabalhadores envolvidos e ao meio ambiente, com o descarte destes materiais. A própria disposição dos painéis solares e das baterias (de curta vida útil) após a sua utilização também suscita discussões socioambientais. Deve-se ressaltar que, apesar de ser uma energia considerada limpa, sem emissão de poluentes durante a sua geração, a fabricação dos painéis fotovoltaicos demanda a utilização de energia elétrica da rede. Ou seja, a produção das placas solares necessita de energia da matriz tradicional e, portanto, indiretamente e em escala reduzida, envolve a emissão dos mesmos gases que previne quando em operação, de acordo com o Plano Nacional de Energia 2030 (BRASIL, 2007b, p. 36):

A geração de energia elétrica por meio de conversão fotovoltaica é menos agressiva ao meio ambiente, porque elimina etapas importantes do processo de geração de eletricidade por usinas termelétricas como as relacionadas à produção, transporte e armazenamento do combustível (Tolmasquim, 2004) (...) Na tecnologia de conversão fotovoltaica existem impactos ambientais importantes em duas fases: na fase da produção dos módulos, que é uma tecnologia intensiva em energia, e no fim da vida útil, após 30 anos de geração, no momento do descomissionamento da planta, quando parte é reciclada e o restante disposto em algum aterro sanitário.

Os impactos ambientais causados pelo sistema fotovoltaico dependem do tipo de arranjo utilizado. No caso de sistemas isolados, em comunidades isoladas ou em edifícios, o impacto visual é de dimensão muito pequena. Em comunidades isoladas, o impacto visual é ainda menor, se se considerar a infraestrutura necessária para transmissão de energia da rede (torres, postes, cabos e transformadores).

Já na implantação de parques fotovoltaicos, há impactos significativos devidos à ocupação do solo. A tabela 16, a seguir, lista os principais impactos socioambientais nas etapas de construção e operação de um parque fotovoltaico.

Tabela 16 – Impactos socioambientais decorrentes da construção e operação de parques fotovoltaicos.

Aspectos	Impactos	TO	Medidas mitigadoras ou compensatórias
Ocupação do solo pelo parque fotovoltaico (preparação, terraplenagem, desmatamento, etc.)	Interferência com população local; Interferência com flora e fauna; Produção de ruído e poeira; Erosão do solo; Alteração do uso do solo; Emissão de gases de efeito estufa e causadores de deposição ácida pelas máquinas e caminhões utilizando derivados de petróleo	C	Compensação monetária ou permuta de áreas; Utilização de sistemas anti-poeiras; Recuperação de áreas degradadas; Regulagem das máquinas utilizadas evitando produção de ruídos e emissões desnecessárias
Transporte de equipamento pesado	Poluição sonora; Perturbação do trânsito local	C	Planejamento do sistema de tráfico de modo a se evitar os horários de pico
Movimentos migratórios causados pela construção do parque	Aumento da demanda por serviços públicos, habitação e infra-estrutura de transporte; Alteração da organização sócio-cultural e política da região; Aumento das atividades econômicas da região com possível posterior retração após o término do empreendimento.	C/O	Apoio na construção do Plano Diretor do Município; Adequação das infra-estruturas de habitação, educação e transporte; Gestão institucional
Distorção estética	Poluição visual	C/O	Projetos paisagísticos e arquitetônicos para redução do impacto visual

TO - Tempo de Ocorrência; C - Construção; O – Operação. Fonte: Brasil (2007, p. 191).

A desativação destes sistemas implica também na eliminação das baterias, usadas para armazenamento de energia nos sistemas autônomos. Estas, comparativamente com os dispositivos fotovoltaicos, apresentam um menor tempo de vida útil (2 a 3 anos), e, na ausência de uma deposição adequada ou de reciclagem, o armazenamento das baterias usadas, principalmente das baterias do tipo ácido de chumbo, pode constituir um perigo no que diz respeito à contaminação dos solos.

Outra barreira à implantação em larga escala da geração fotovoltaica é a baixa eficiência de geração energética por sistema implantado, o que demandaria a utilização de áreas extensas para captação de energia solar em quantidade suficiente. No entanto, comparando-se às imensas áreas inundadas pelos sistemas hidroelétricos, a instalação de um largo sistema de geração fotovoltaica pode ser visto como bastante competitivo.

4. DISCUSSÃO

O desafio colocado para os avanços científicos e sociais atuais e das próximas gerações é equacionar a relação entre segurança energética e preservação ambiental. Neste sentido, os recursos energéticos renováveis compõem-se como promissores, apesar de restrições iniciais quanto ao seu custo e eficiência. Uma das alternativas renováveis para a geração energética é a energia solar. Esta é fonte indireta de diversas formas de aproveitamento energético, como a energia hidráulica, eólica e das marés. A energia solar pode ser aproveitada de maneira ativa ou passiva. A primeira compreende a energia solar heliotérmica, a fotovoltaica e a solar térmica. A segunda compreende o aproveitamento da energia solar em projetos arquitetônicos, ou arquitetura solar.

O Brasil, por ser um país localizado na sua maior parte na região intertropical, possui grande potencial para aproveitamento de energia solar durante todo o ano. No entanto, hoje em dia essa energia ainda tem uma participação incipiente na matriz energética brasileira – apenas a energia solar térmica para aquecimento de água tem despertado interesse no mercado nacional, principalmente para o emprego em comunidades isoladas, na indústria e nos serviços de hotelaria.

A extensão territorial do Brasil e os níveis elevados de radiação solar, que varia de 8 a 22 MJ/m² durante o dia (BRASIL, 2007b, p. 29), durante todo o ano e em praticamente todo o seu território tornam a energia fotovoltaica bastante viável no país.

Tanto o Brasil, como especificamente o Estado de São Paulo, possuem virtualmente boas condições para o aproveitamento da energia solar, graças às condições climáticas específicas, à grande extensão territorial (tanto latitudinalmente como longitudinalmente) e à tradição do país no uso de fontes renováveis. O Estado de São Paulo, apesar de estar situado na região sudeste do país, apresenta um grau de insolação diária média semelhante à encontrada em algumas regiões mais próximas da linha do Equador, o que o qualifica como potencial gerador de energia solar fotovoltaica. As aplicações que vêm ocorrendo no Estado concentram-se em instalação residenciais para aquecimento de água, em pequenas localidades isoladas (meio rural) e em prédios públicos, notadamente em universidade e centros tecnológicos.

Tendo em vista a média anual de incidência de radiação solar diária no território paulista e o nível de eficiência das células fotovoltaicas, a região de maior viabilidade técnico-

econômica do Estado (SÃO PAULO, 2013, p. 44) compreende apenas 0,3% do seu território (732 km²) e tem o potencial de energia de 12TWh/ano (esta é a faixa utilizada como referência para os programas do governo do Estado, entre 5,61-5,70 kWh/m² dia). Além de prover energia elétrica, a geração de energia solar fotovoltaica poderia promover o desenvolvimento regional do Estado de São Paulo, com a consolidação de uma rede de produção e difusão tecnológica; diminuir a dependência energética de fontes tradicionais e promover o perfil de cidades sustentáveis, além de gerar empregos (estima-se que, para cada 1 milhão de m² de painéis fotovoltaicos produzidos e instalados no país, são gerados 30 mil empregos diretos).

No entanto, apesar do imenso potencial para geração de energia solar fotovoltaica constatado no Brasil e no Estado de São Paulo, este trabalho identificou algumas possíveis barreiras ao seu desenvolvimento no município de São Paulo, como *barreiras econômicas* (incluindo os custos de produção e de instalação e o custo ao consumidor), *barreiras políticas e regulatórias* (o atual estado das políticas de incentivo e regulação, planos nacional e estadual de energia) *barreiras geofísicas e barreiras ambientais*.

Em relação às barreiras econômicas, a análise do custo nacional e internacional de produção indicou que o custo do MWh gerado a partir da geração fotovoltaica ainda é bastante superior ao das demais fontes já consolidadas. O cenário apresentado já impõe dificuldades para a consolidação dos mercados no nível internacional e, quando o objeto de análise é o mercado brasileiro, tais dificuldades intensificam-se ainda mais. Isso porque a matriz energética local é abundante em energias baratas e renováveis (ao contrário de diversos países onde a energia fotovoltaica é mais competitiva, notadamente os europeus).

A primeira constatação a ser levada em consideração, no que diz respeito à influência das políticas públicas no desenvolvimento da indústria de bens de capital para energia renovável, é que o mercado para energia solar fotovoltaica no Brasil ainda está em fase de gestação. Tal mercado se assemelha hoje ao então estágio de desenvolvimento da energia eólica há cerca de 10 a 15 anos (KUPFER *et al.*, 2012, p. 173).

Ainda no âmbito das barreiras econômicas, em relação especificamente aos custos de instalação, foi constatada duas tendências. Vimos que o mercado fotovoltaico brasileiro, no período entre 2000 e 2012, apresentou uma tendência de queda no custo de implantação total do sistema fotovoltaico isolado e no custo dos módulos fotovoltaicos em particular e uma tendência de alta no custo dos serviços de instalação (mão-de-obra e logística) e no custo de

baterias.

Já em relação ao custo ao consumidor, as informações indicaram que a paridade dos custos ao consumidor entre a geração elétrica fotovoltaica e a rede elétrica (*grid*) só se daria entre os anos de 2017 e 2018 (GORINI, 2013, p. 19), acompanhando a tendência do mercado norte-americano de redução dos custos de instalação até o ano de 2020.

As barreiras políticas e regulatórias são definidas pela falta ou incipiência das políticas de incentivo e regulação voltadas para o desenvolvimento específico da geração fotovoltaica na região metropolitana de São Paulo. Os planos governamentais a nível nacional e estadual ainda posicionam a energia fotovoltaica em um horizonte de longo prazo. No Plano Nacional de Energia 2030 (BRASIL, 2007a, 2007b), esta fonte só será mais amplamente desenvolvida por políticas nacionais após o horizonte do plano. No Plano Paulista de Energia 2020 (SÃO PAULO, 2012), haverá apenas um tímido investimento em energia solar fotovoltaica (50 MW – 5% do total que será investido em energia solar no período) até o fim do período. O município de São Paulo não possui políticas próprias de fomento para a geração fotovoltaica.

O Brasil e o Estado de São Paulo já possuem exemplos bem sucedidos de investimento em energias renováveis (como as PCHs e as eólicas) e reconhecem o papel crucial das políticas públicas no desenvolvimento deste setor. No entanto, a energia fotovoltaica, no Brasil, sofre da concorrência com diversas outras fontes renováveis, bem como da própria matriz elétrica brasileira, considerada uma das mais limpas do mundo em relação aos padrões de referência. Assim, desprovido de um incentivo mais forte por parte da União e do Estado, o desenvolvimento da energia solar fotovoltaica no município de São Paulo ainda dependerá, ao menos no curto e médio prazos, de incentivos locais e da iniciativa de institutos de pesquisa ou do setor privado (e doméstico).

Em relação às barreiras geofísicas, observou-se que a atenção dada pelos governos nacional e estadual à geração de energia solar fotovoltaica privilegia regiões de maior incidência solar no país e no estado. Como o Brasil possui regiões extremamente propícias à geração fotovoltaica, como a região Nordeste, os investimentos dos programas de incentivo nacionais (como o PRODEEM), dirigiram-se preferencialmente para aquela região. Também seguindo esse raciocínio, o governo paulista indica apenas uma pequena área no estado suscetível de merecer investimentos na geração fotovoltaica. Dessa maneira, o Estado de São Paulo não é prioridade nos incentivos nacionais para o setor e a região metropolitana (e administrativa) de São Paulo não é prioridade para os investimentos estaduais, pois está fora

da faixa de referência do Estado.

As condições geográficas e climáticas do município de São Paulo são as piores de sua região administrativa e podem funcionar como barreira aos investimentos e políticas públicas nacionais e estaduais de fomento e incentivo à geração fotovoltaica. No entanto, não se pode esquecer que a incidência solar no município de São Paulo só é baixa se comparada às regiões mais equatoriais do país, onde os índices equivalem aos melhores registrados no mundo. Se se comparar os números do município de São Paulo com cidades e países europeus (Alemanha e Itália) e asiáticos (Japão), onde esta tecnologia é mais amplamente difundida, seus índices ainda são bastante superiores, como vistos anteriormente.

Os dois níveis de comparação do potencial solar do município de São Paulo (com o Brasil e com o exterior), sugerem que os investimentos iniciais na área deverão advir, preferencialmente, de programas de incentivos municipais ou da iniciativa privada (empresarial e industrial) ou ainda de pequenos consumidores domésticos de maior consciência ambiental. Também se deve destacar que as características de São Paulo (grande centro urbano) requerem um direcionamento particular no incentivo à geração fotovoltaica, devendo ser voltado preferencialmente para sistemas interligados à rede, diferente do que acontece na maioria das instalações no Nordeste do país.

Por fim, existem também barreiras ambientais à energia fotovoltaica no município de São Paulo. Isso porque a energia solar fotovoltaica, apesar de ser considerada uma fonte limpa, também possui algumas restrições ambientais ao seu aproveitamento. O processo de fabricação dos painéis fotovoltaicos envolve a utilização de materiais tóxicos e inflamáveis, além de demandar a utilização de grande quantidade de energia elétrica da rede; os painéis solares podem produzir impacto visual indesejado; os parques fotovoltaicos podem provocar desequilíbrios ambientais em relação à ocupação do solo e a disposição dos painéis solares e das baterias (de curta vida útil) após a sua utilização também suscita discussões socioambientais.

Por fim, a identificação das barreiras à energia fotovoltaica no município de São Paulo não indica um cenário proibitivo à sua utilização. Essas barreiras não são definitivas e a sua identificação propõe a tarefa de superá-las, principalmente através de políticas públicas de incentivo à produção e ao consumo e da regulamentação do setor, especialmente dos sistemas interligados à rede. Também não são exclusivas ao município de São Paulo, à exceção das barreiras geofísicas. Assim, podem servir ao estudo e compreensão das dificuldades

encontradas à implantação da energia fotovoltaica também em outros lugares e regiões brasileiras de características semelhantes.

5. CONCLUSÃO

Este estudo verificou que tanto o Brasil, como especificamente o Estado de São Paulo, possuem virtualmente boas condições para o aproveitamento da energia solar fotovoltaica, graças às condições climáticas específicas, à grande extensão territorial (tanto latitudinalmente como longitudinalmente) e à tradição do país no uso de fontes renováveis.

No entanto, apesar do imenso potencial para geração de energia solar fotovoltaica constatado no Brasil e no Estado de São Paulo, este trabalho identificou possíveis barreiras ao seu desenvolvimento no município de São Paulo, como *barreiras econômicas* (incluindo os custos de produção e de instalação e o custo ao consumidor), *barreiras políticas e regulatórias* (o atual estado das políticas de incentivo e regulação, planos nacional e estadual de energia) *barreiras geofísicas e barreiras ambientais*.

Por fim, a identificação das barreiras à energia fotovoltaica no município de São Paulo não indica um cenário proibitivo à sua utilização. Essas barreiras não são definitivas e a sua identificação propõe a tarefa de superá-las, principalmente através de políticas públicas de incentivo à produção e ao consumo e da regulamentação do setor, especialmente dos sistemas interligados à rede. Também não são exclusivas ao município de São Paulo, à exceção das barreiras geofísicas e podem servir ao estudo e compreensão das dificuldades encontradas à implantação da energia fotovoltaica também em outros lugares e regiões brasileiras de características semelhantes.

A identificação das barreiras surge atrelada à identificação das possíveis soluções para liberar tais entraves. Vimos que os incentivos econômicos à instalação de elos da cadeia produtiva da energia solar fotovoltaica poderiam ser eficazes para a instauração de um mercado de produtos e sub-produtos da cadeia no país. As políticas públicas também devem agir na capacitação de mão-de-obra especializada e na modernização das distribuidoras de energia, possibilitando-lhes a implementação em larga escala de sistemas *net metering*.

Algumas medidas políticas e tributárias já vem sendo tomadas no Estado e no país e devem servir de guia para a elaboração de políticas futuras mais contundentes. Como vimos, o Estado de São Paulo instituiu a Política Estadual de Mudanças Climáticas, através da Lei Estadual 13.798, de 09 de novembro de 2009, que trouxe entre os seus objetivos o de realizar ações para aumentar a parcela das fontes renováveis de energia na matriz energética, dentro e fora do Estado. No aspecto tributário, o Estado de São Paulo desde 1997 aderiu ao Convênio

ICMS 101/1997 (vigente, por prorrogações, até dezembro de 2015) que concede isenção do ICMS nas operações com equipamentos e componentes para o aproveitamento das energias solar e eólica. O Estado também está adequando aos preceitos da Resolução Normativa da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL 77/2004, que estabeleceu os procedimentos vinculados à redução das tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição, para empreendimentos hidroelétricos e aqueles com base em fonte solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, e da Resolução Normativa 482/2012, que estabeleceu as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica.

Por último, a realização de leilões específicos para o setor a preços competitivos poderia servir de incentivo para a entrada do setor privado e para uma maior exploração da energia solar fotovoltaica no Brasil.

6. REFERÊNCIAS

ANDRADE, Leônidas. **Proposta para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira**. Apresentação Multimídia. In: III WORKSHOP INOVAÇÃO PARA O ESTABELECIMENTO DO SETOR DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL. Campinas: UNICAMP, 2013. Disponível em: <<http://www.iei-la.org/inovafv/admin/resources/uploads/leonidasbandrade.pdf>>. Acesso em: 18 fev 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA. **Proposta para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira**. São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/profotov.pdf>>. Acesso em: 12 fev 2014.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 2 Ed. Brasília, 2005. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/Atlas/download.htm>>. Acesso em: 12 fev 2014.

_____. **Banco de Informações de Geração**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=15>>. Acesso em: 17 fev 2014.

BRASIL. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2013**. Rio de Janeiro: EPE, 2013. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/20130909_1.pdf>. Acesso em: 17 fev 2014.

_____. **Plano Nacional de Energia 2030**. Rio de Janeiro: EPE, 2007a. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/PNE/20080111_1.pdf>. Acesso em: 20 fev 2014.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. **Plano Nacional de Eficiência Energética – Premissas e Diretrizes Básicas**. Brasília, 2011. Disponível em: <<http://www.biblioteca.presidencia.gov.br/publicacoes-oficiais-1/catalogo/conselhos/conselho-nacional-de-politica-energetica/plano-nacional-de-eficiencia-energetica-premissas-e-diretrizes-basicas/download>>. Acesso em: 21 fev 2014.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Nacional de Energia 2030**. Vol. 9 (Outras Fontes), Brasília: MME: EPE, 2007b. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/PNE/20080512_9.pdf>. Acesso em: 20 fev 2014.

CIÊNCIAS E TECNOLOGIA. **Energia Solar**: O potencial da energia solar e fotovoltaica. Disponível em: <<http://cienciasetecnologia.com/energia-solar-fotovoltaica/>>. Acesso em: 04 mar 2014.

CNET. LAMONICA, MARTIN. **Intel bankrolls Sulfurcell, a solar thin-film outfit**. Disponível em: <http://news.cnet.com/8301-11128_3-20029433-54.html>. Acesso em: 04 mar 2014.

ELECTRÓNICA. **Painel Solar Fotovoltaico**. Disponível em: <<http://www.electronica-pt.com/energia-solar/painel-solar-fotovoltaico>>. Acesso em: 04 mar 2014.

ELERGONE ENERGIAS. **Sistemas Isolados**. Disponível em: <<http://elergone.com/Servicos/SolarFotovoltaico/SistemasIsolados>>. Acesso: 04 mar 2014.

ENG2 SOLUTIONS. **Sistema fotovoltaicos off-grid e on-grid**. Disponível em: <<http://eng2solutions.wordpress.com/page/2/>>. Acesso em: 04 mar 2014.

GALDINO, Marco Antônio. **Análise de Custos Históricos de Sistemas Fotovoltaicos no Brasil**. In: IV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR E V CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DA ISES. Anais. São Paulo, 2012. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/artigo/IV-CBENS/Artigo_custos_historicos_IVCBENS.pdf>. Acesso em: 17 fev 2014.

GORINI, Ricardo. **A Energia Solar Fotovoltaica no Contexto do Planejamento Energético Nacional**. Apresentação Multimídia. In: III WORKSHOP INOVAÇÃO PARA O ESTABELECIMENTO DO SETOR DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL. Campinas: UNICAMP, 2013. Disponível em: <<http://www.iei-la.org/inovafv/admin/resources/uploads/ricardogorini.pdf>>. Acesso em: 18 fev 2014.

GREEN BUILDING ELEMENTS. MAEHLUM, MATHIAS. **What are Building-Integrated Photovoltaics (BIPV)?** Disponível em: <<http://greenbuildingelements.com/2013/10/16/building-integrated-photovoltaics-bipv/>>. Acesso em: 04 mar 2014.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Energia. **Energia Solar Paulista – Levantamento do Potencial (Renováveis)**. São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://www.energia.sp.gov.br/portal.php/atlas-solar>>. Acesso em: 17 fev 2014.

_____. **Plano Paulista de Energia 2020**. São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://www.energia.sp.gov.br/a2sitebox/arquivos/documentos/491.pdf>>. Acesso em: 20 fev 2014.

SEKIGUCHI, Paula Mayumi. **Análise das Barreiras para Inserção da Geração Fotovoltaica Centralizada na Matriz Elétrica Brasileira**. 2014. 48f. Monografia em elaboração. Instituto de Eletrotécnica e Energia. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World Energy Outlook 2013 – Renewables**. Paris, 2013. Disponível em: <http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebiste/2013/WEO2013_Ch06_Renewables.pdf>. Acesso em: 17 fev 2014.

KUPFER, David *et al.* **Avaliação das Perspectivas de Desenvolvimento Tecnológico para a Indústria de Bens de Capital para Energia Renovável (PDTS-IBKER) – Relatório de Pesquisa**. Rio de Janeiro, Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, 2012. Disponível em: <http://www.abdi.com.br/Estudo/PDTS_relatorio_de%20pesquisa-rev01.pdf>. Acesso em: 17 fev 2014.

NETO, José Chavaglia. **A energia solar como uma vantagem competitiva em empresas industriais da Amazônia** – Ganhos de eficiência da empresa e preferências do consumidor. 2010. 98f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Empresas). Instituto Universitário de Lisboa, Lisboa, 2010.

PEREIRA, Enio Bueno *et al.* **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos: INPE, 2006. Disponível em: <http://sonda.ccst.inpe.br/publicacoes/livros/brazil_solar_atlas_R1.pdf>. Acesso em: 20 fev 2014.

TIBA, Chigueru *et al.* **Atlas Solarimétrico do Brasil – Banco de Dados Terrestres**. Editora Universitária da UFPE, Recife, 2000. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Atlas_Solarimetrico_do_Brasil_2000.pdf>. Acesso em: 20 fev 2014.

ZILLES, Roberto. **Avanços e desafios para a energia solar fotovoltaica no Brasil**. Apresentação Multimídia. In: III WORKSHOP INOVAÇÃO PARA O ESTABELECIMENTO DO SETOR DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL. Campinas: UNICAMP, 2013. Disponível em: <<http://www.iei-la.org/inovafv/admin/resources/uploads/robertozilles.pdf>>. Acesso em: 18 fev 2014.