



ENERGIAS RENOVÁVEIS

RIQUEZA SUSTENTÁVEL

AO ALCANCE DA SOCIEDADE



CÂMARA DOS DEPUTADOS

DIRETORIA LEGISLATIVA

Diretor: Afrísio Vieira Lima Filho

CONSULTORIA LEGISLATIVA

Diretor: Luiz Henrique Cascelli de Azevedo

CENTRO DE DOCUMENTAÇÃO E INFORMAÇÃO

Diretor: Adolfo C. A. R. Furtado

COORDENAÇÃO EDIÇÕES CÂMARA

Diretora: Maria Clara Bicudo Cesar

Apoio do Departamento de Taquigrafia, Revisão e Redação

Diretora: Cássia Regina Ossipe Martins Botelho

Criação do projeto gráfico

Ely Borges

Diagramação e adaptação do projeto gráfico

Mariana Rausch Chuquer e Patrícia Weiss

Capa

Ana Marusia Pinheiro Lima Meneguim e
Alan Santos Alvetti

Revisão

Secretaria do CAEAT

Câmara dos Deputados

Centro de Documentação e Informação – Cedi
Coordenação Edições Câmara – Coedi
Anexo II – Praça dos Três Poderes
Brasília (DF) – CEP 70160-900
Telefone: (61) 3216-5809; fax: (61) 3216-5810
editora@camara.gov.br

SÉRIE

**Cadernos de altos estudos
n. 10**

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
Coordenação de Biblioteca. Seção de Catalogação.

Energias renováveis : riqueza sustentável ao alcance da sociedade / relator: Pedro Uczai ; equipe técnica: Wagner Marques Tavares (coord.), Alberto Pinheiro de Queiroz Filho [recurso eletrônico]. – Brasília : Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2012.
273 p. – (Série cadernos de altos estudos ; n. 10)

Acima do título : Câmara dos Deputados, Conselho de Altos Estudos e Avaliação Tecnológica.
ISBN 978-85-736-5974-0

1. Fonte renovável de energia, Brasil. 2. Desenvolvimento sustentável, Brasil. 3. Política energética, Brasil. I. Uczai, Pedro. II. Tavares, Wagner Marques. III. Queiroz Filho, Alberto Pinheiro de. IV. Série.

CDU 620.91(81)

ISBN 978-85-736-5973-3 (brochura)
ISBN 978-85-736-5974-0 (e-book)

Conselho de Altos Estudos e Avaliação Tecnológica

Presidente

Deputado Inocêncio Oliveira

Titulares

Ariosto Holanda
Arnaldo Jardim
Bonifácio de Andrada
Félix Mendonça Júnior
Jaime Martins
Jorge Tadeu Mudalen
Mauro Benevides
Newton Lima
Pedro Uczai
Teresa Surita
Waldir Maranhão

Suplentes

César Colnago
Fernando Marroni
Jesus Rodrigues
José Humberto
José Linhares
Luciana Santos
Miro Teixeira
Pastor Marco Feliciano
Paulo Foletto
Pedro Chaves

Secretário Executivo

Luiz Henrique Cascelli de Azevedo

Coordenação de Articulação Institucional

Paulo Motta

Coordenação da Secretaria

Márcio Coutinho Vargas

Conselho de Altos Estudos e Avaliação Tecnológica – CAEAT

Gabinete 566A – Anexo III
Câmara dos Deputados
Praça dos Três Poderes
CEP 70160-900
Brasília DF
Tel.: (61) 3215-8626
E-mail: caeat@camara.gov.br
www.camara.gov.br/caeat



4. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL: SITUAÇÃO ATUAL E PERSPECTIVAS PARA ESTABELECIMENTO DE INDÚSTRIAS APOIADAS EM PROGRAMAS DE P&D E FINANCIAMENTO

Adriano Moehlecke

Professor da PUC do Rio Grande do Sul, é doutor em energia solar fotovoltaica e coordenador do Núcleo de Tecnologia em Energia Solar

Izete ZanESCO

Professora da PUC do Rio Grande do Sul, é doutora em energia solar fotovoltaica e coordenadora do Núcleo de Tecnologia em Energia Solar.

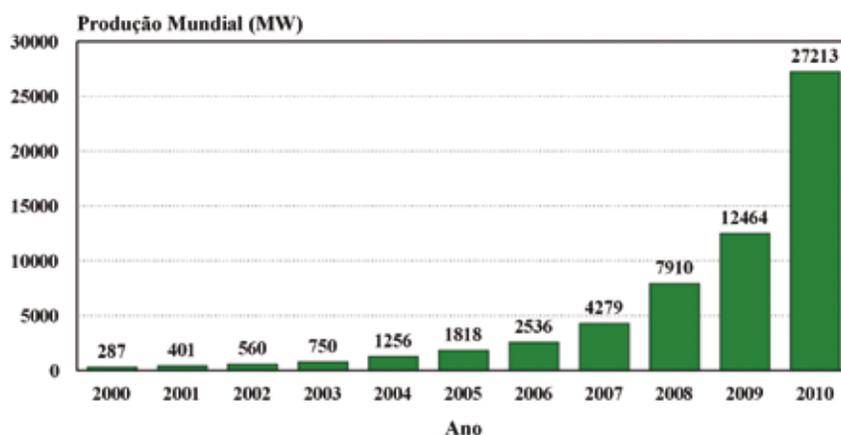
1. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA E O MERCADO MUNDIAL

O uso de fontes de energias renováveis é um dos desafios da humanidade para este século e quando se trata de fonte alternativa e renovável, a energia solar fotovoltaica é a tecnologia que mais tem crescido. A energia solar pode ser usada para aquecer a água ou o ambiente em nossas casas ou pode ser usada para produzir energia elétrica. Para esta última aplicação, usam-se as chamadas células solares ou fotovoltaicas, que convertem a energia solar em energia elétrica de forma direta, sem produzir emissões de poluentes. As células solares, quando associadas eletricamente e colocadas em uma estrutura resistente às intempéries, constituem o módulo fotovoltaico. Este é o equipamento que a população pode adquirir para produzir sua própria energia elétrica. Um sonho para os cidadãos que prezam pela independência: produzir sua energia sem contaminar o meio ambiente.



Embora abundante na Terra, a energia solar ainda é pouco usada. No entanto, nos países desenvolvidos este cenário vem mudando. Na última década, fortes incentivos foram dados para a instalação de sistemas fotovoltaicos e o mercado vem passando por um forte crescimento. A Figura 1 apresenta a evolução da produção mundial de módulos fotovoltaicos onde se observa que, somente de 2009 para 2010, houve um crescimento de 118%. Em 2010, a produção mundial foi de 27,2 GW¹, o que significa em termos de potência instalada o equivalente a aproximadamente duas centrais hidroelétricas de Itaipu, a maior central de produção de energia elétrica instalada no Brasil.

Figura 1. Evolução da produção mundial de módulos fotovoltaicos



Fonte: Photon International, março de 2011. Reelaborada pelos autores.

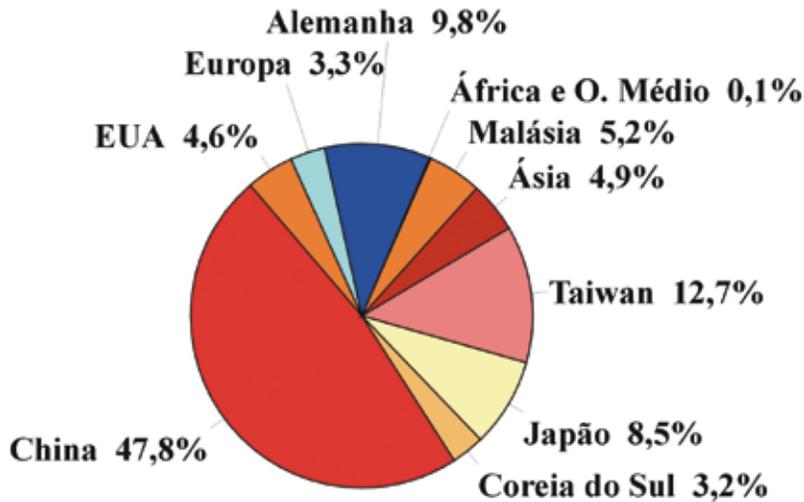
O maior mercado de módulos fotovoltaicos foi na Alemanha, seguido da Itália, sendo que na Europa foi instalada aproximadamente 77% da produção mundial². Do total de 39 GW instalados no mundo até 2010, 70% estão na Europa. Mas qual é o maior produtor destes equipamentos? Não é a Comunidade Europeia, nem o Japão e tampouco os Estados Unidos. Como pode ser visto na Figura 2, a China é o maior produtor mundial. Neste contexto, a Ásia domina o mercado, com 82,3% da produção mundial. Poderia o Brasil participar desta escalada de crescimento e se posicionar no cenário mundial? Ou de

¹ HERING, G. Year of the tiger. Photon International, março de 2011, p.186-214.

² JRC European Commission. PV Status Report 2011. Research, Solar Cell Production and Market Implementation of Photovoltaics. ago 2011. 123p. Disponível em: <http://re.jrc.ec.europa.eu/refsys/>

outra forma: não seria um erro estratégico para o país não participar deste mercado ainda em fase de crescimento?

Figura 2. Distribuição regional das indústrias de módulos fotovoltaicos em 2010



Fonte: Photon International, março de 2011. Reelaborada pelos autores.

2. AS TECNOLOGIAS

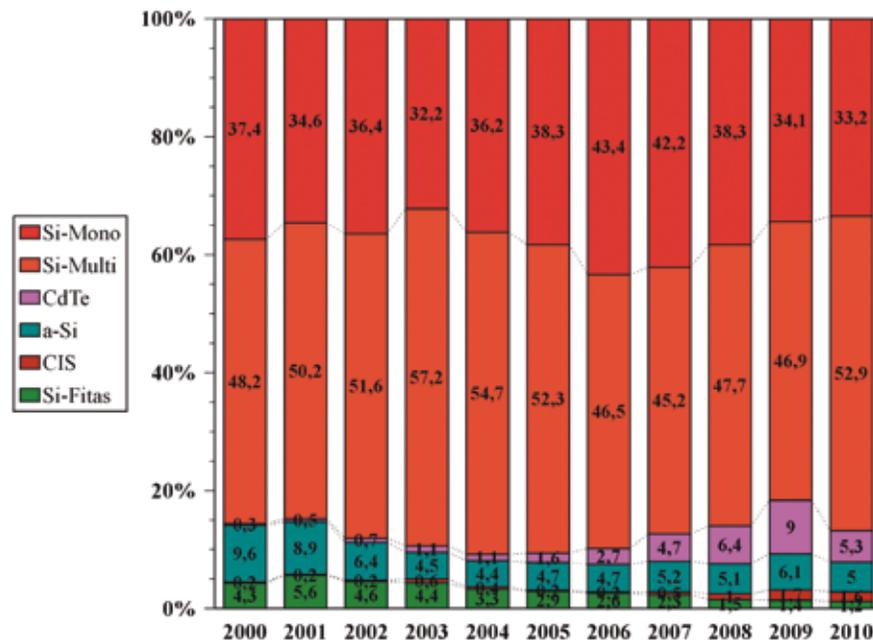
Quando o mercado está em processo de crescimento e ainda não está completamente estabelecido, normalmente surge a pergunta de qual a melhor tecnologia para fabricação do bem de consumo. Por exemplo, como no caso de televisores de tela fina, ainda se pergunta qual a melhor tecnologia, plasma ou cristal líquido (LCD). Do mesmo modo, os módulos fotovoltaicos também possuem diferentes tecnologias de fabricação.

De uma forma geral podemos dividir as tecnologias em três: as que usam lâminas de silício, as de filmes finos e as que ainda estão nos laboratórios de cientistas.

As células solares baseadas em lâminas de silício cristalino dominam o mercado mundial. A Figura 3 mostra que esta tecnologia ocupou sempre mais que 81% da produção mundial desde 2000. O silício cristalino correspondeu em 2010 a 86% do mercado mundial. Si-Mono e Si-Multi correspondem às tecnologias de silício cristalino; CdTe, telureto de cádmio; a-Si, silício amorfo; CIS, disseleneto de cobre e índio; Si-Fitas, fitas de silício.



Figura 3. Distribuição das tecnologias usadas na produção industrial de módulos fotovoltaicos



Fonte: Photon International, março de 2011. Reelaborada pelos autores.

Para produzir o módulo fotovoltaico com células de silício, vários processos industriais são realizados. Primeiro, a partir de quartzo, carvão vegetal e muita energia elétrica obtém-se o silício. Este é purificado e passa por um processo de cristalização, quando então são cortadas lâminas muito finas, da ordem de 0,2 mm de espessura. Estas passam por uma série de processos químicos e físicos para produzir a célula solar. Como uma célula solar produz tensão elétrica baixa, da ordem de 0,6 V, várias delas são ligadas em série para obter tensões mais elevadas. Estas células são encapsuladas sob uma placa de vidro e emolduradas com alumínio, proporcionando resistência mecânica e às intempéries. A Figura 4 apresenta células solares de silício cristalino e módulos fotovoltaicos montados com estas células.

Figura 4. Células solares de silício cristalino e módulos fotovoltaicos



Fonte: Divulgação NT-Solar/PUCRS

As vantagens desta tecnologia são: a matéria-prima (silício) é praticamente inesgotável e usa tecnologias similares à indústria de circuitos de microeletrônica. Alguns críticos afirmavam que esta tecnologia não conseguiria reduzir os custos de produção a ponto de viabilizar o uso da conversão da energia solar em elétrica, mas empresas chinesas e algumas europeias têm demonstrado que isto é possível. Cabe destacar que o Brasil é um dos maiores produtores mundiais de silício não purificado. Deveria o país permanecer alheio à escalada mundial do mercado de energia solar fotovoltaica, considerando-se que mais de 80% deste mercado está baseado em silício?

As tecnologias de filmes finos são das mais diversas, destacando-se as de silício amorfo, as de telureto de cádmio, as de disseleneto de cobre-gálio-índio, entre outras. Ao contrário das células de silício cristalino, o uso de matéria-prima é menor. Com exceção do silício amorfo, as outras possuem problemas de disponibilidade e de descarte dos materiais. Podem ser fabricados módulos com placas de vidro ou sobre filmes plásticos ou metálicos, sendo que estes dois últimos, podem ser flexíveis. No entanto, a eficiência destes dispositivos é menor que a alcançada em células solares de silício cristalino.

Há outras promessas, como células de materiais orgânicos com nanoestruturas, mas ainda estão sendo estudadas por cientistas.

No Brasil o que se estuda? Nos anos de 1970, o desenvolvimento de células solares de silício foi tema de pesquisa na Universidade de São Paulo (USP) e na Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP),



inclusive com estudos em tecnologia de purificação de silício. O Instituto Militar de Engenharia (IME) se destacou pela produção de células solares de sulfeto de cádmio/sulfeto de cobre e atualmente estuda dispositivos com telureto de cádmio/sulfeto de cádmio. Nos anos 80 e metade dos 90 somente as universidades paulistas citadas continuaram trabalhando em células de silício, porém com menor ênfase, pois praticamente não havia subvenção dos órgãos de financiamento para esta área de pesquisa. No final dos anos 90, outros grupos iniciaram atividades de P&D com silício e materiais orgânicos. A Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS) iniciou suas atividades fabricando células solares de alta eficiência em parceria com a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e depois desenvolveu uma planta piloto de produção de células solares de silício e módulos fotovoltaicos e estabeleceu o melhor laboratório para desenvolvimento destes dispositivos na América do Sul.

No final dos anos 70, a Fone-Mat montava módulos fotovoltaicos no Brasil com células solares importadas dos Estados Unidos. Em 1980 surgiu a empresa Heliodinâmica, que produziu lâminas de silício a partir do silício purificado, as células e os módulos fotovoltaicos. Até 1992, operou em um mercado protegido para produtos importados. Por que as empresas que produziam dispositivos semicondutores deixaram de ser competitivas e fecharam suas portas no Brasil depois do encerramento da reserva de mercado? Entre várias razões, duas podem ser citadas: tecnologia e escala de produção. Sem constantes avanços tecnológicos e redução de custos, é impossível competir no mercado globalizado. Atualmente, várias empresas estão avaliando a produção, principalmente de módulos fotovoltaicos, com células solares importadas.

3. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NO BRASIL

Para os módulos fotovoltaicos fornecerem energia elétrica, não basta colocá-los no telhado ou na fachada de uma edificação. Se forem usados em sistemas isolados da rede elétrica, serão necessários outros componentes, tais como baterias, controlador de carga das baterias e inversor (equipamento que converte corrente/tensão elétrica con-

tínua em alternada). Neste tipo de sistema, durante o dia se produz energia elétrica e durante a noite se usa a energia armazenada nas baterias. Esta solução é viável economicamente para locais isolados, distantes da rede elétrica, como muitas das casas e povoados no norte do Brasil. Segundo estimativas do Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos do Instituto de Eletrotécnica e Energia (LSF-IEE) da USP, há da ordem de 30 MW instalados no país atendendo a população rural, implantados no âmbito do Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios (PRODEEM) e atualmente no Programa Luz para Todos. A Figura 5 apresenta uma aplicação típica de sistemas isolados em Mamirauá, Amazonas, realizada pelo LSF-IEE-USP.

Figura 5. Aplicação de sistema fotovoltaico isolado da rede elétrica, que proporciona energia para a população rural



Fonte: Foto cedida pelo LSF-IEE-USP

Outro tipo de sistema fotovoltaico é o interligado à rede elétrica. Neste caso, além dos módulos fotovoltaicos, utiliza-se de um inversor para a conexão à rede. Os inversores atualmente comercializados, além de converterem a corrente/tensão elétrica contínua em alternada, eletronicamente controlam a tensão elétrica e a frequência da corrente/tensão alternada e detectam possíveis interrupções de energia elétrica na rede. Para quê? De forma simples, para evitar que



o sistema fotovoltaico possa eletrocutar operários da companhia elétrica que estejam trabalhando na rede.

Os sistemas interligados à rede elétrica são os mais instalados atualmente no mundo, dominando mais de 95 % do mercado (ver Nota 2). Países como Alemanha, Itália, Espanha, Portugal, Japão, entre outros, estabeleceram leis específicas para incentivar o uso destes sistemas. Nestes países, com o uso de sistemas fotovoltaicos, dois problemas estão sendo resolvidos: gera-se energia para superar parte da crescente demanda por meio de fonte renovável e, ao mesmo tempo, gera-se um elevado número de empregos. Por exemplo, no caso da Alemanha, a cadeia produtiva da energia solar fotovoltaica gera quatro vezes mais empregos que a cadeia do carvão mineral.³

No Brasil, há atualmente da ordem de 1,7 MW em sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica.⁴ A Figura 6 apresenta um sistema interligado à rede elétrica no Museu de Ciências e Tecnologia da PUCRS, financiado pelo Ministério de Minas e Energia (MME). O sistema está constituído de 20 módulos fotovoltaicos que foram desenvolvidos e fabricados na Universidade.

A potência instalada é 680 W e a área dos módulos é de 5,5 m², tendo produzido em 2011 uma média de 40 kWh por mês. Se fosse instalado com a inclinação ótima para Porto Alegre, poderia aumentar em 40% a produção de energia elétrica. No entanto, razões estéticas e didáticas apontaram para a instalação na vertical para melhor visualização dos módulos pelos visitantes. O Museu recebe diariamente centenas de estudantes, sendo que já atingiu da ordem de 1000 visitantes por dia. Deste modo, o sistema FV instalado na entrada também tem a função de despertar o interesse por novas formas de produção de energia.

³ FRAIDENRAICH, N. Análise Prospectiva da Introdução de Tecnologias Alternativas de Energia no Brasil. Tecnologia Solar Fotovoltaica, UFPE, 2002.

⁴ ZILLES, R. Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos, Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo. Comunicação pessoal, nov.2011.

Figura 6. Sistema fotovoltaico interligado à rede elétrica e instalado na fachada do Museu de Ciências e Tecnologia da PUCRS. Tecnologia de fabricação nacional e com função educativa.



Fonte: Divulgação NT-Solar/PUCRS

O maior sistema fotovoltaico instalado no país até o momento é a central solar fotovoltaica em Tauá, CE, com potência de 1 MW. A MPX Tauá conta com 4.680 módulos fotovoltaicos de silício cristalino para converter a energia solar em elétrica, numa área de aproximadamente 12 mil metros quadrados.⁵ A próxima central prevista para ser instalada no Brasil é na sede da Eletrosul em Florianópolis, também de 1 MW, sendo que neste caso os módulos serão integrados à estrutura do prédio da empresa e no estacionamento.

⁵ Disponível em: <http://www.mpx.com.br/pt/nossos-negocios/geracao-de-energia/usinas-em-operacao/Paginas/mpx-taua.aspx>. Acesso em 15 nov. 2011.



Em relação a nossos vizinhos sul-americanos, na Argentina, na província de San Juan, uma central de 1,2 MW foi inaugurada em 2011. Há previsão de instalação de mais 20 MW para os próximos anos em diferentes projetos na mesma região.⁶ O governo local apoia os empreendimentos e pretende instalar um parque industrial capaz de produzir todos os equipamentos e materiais, inclusive a matéria-prima, silício, da cadeia de valor da energia solar fotovoltaica.

4. PLANTA PILOTO DE PRODUÇÃO DE CÉLULAS SOLARES E MÓDULOS FOTOVOLTAICOS COM TECNOLOGIA NACIONAL

Embora as universidades brasileiras, especialmente a PUCRS⁷, a Unicamp⁸ e a USP⁹ tenham avançado na última década no que se refere ao desenvolvimento de células solares de alta eficiência em silício cristalino, nunca houve uma produção em nível pré-industrial e tampouco com o nível de automação existente nas atuais fábricas de células e módulos fotovoltaicos. Por exemplo, na Europa, as unidades piloto de produção em centros de pesquisa são consideradas peças chave para proporcionar avanços rápidos para a indústria de módulos fotovoltaicos. Pode-se citar o IMEC – Interuniversity MicroElectronics Center¹⁰, na Bélgica, que desde os anos 80 produz células solares em escala piloto, cujas tecnologias desenvolvidas deram lugar ao *spin-off* de várias empresas no setor, tais como as Photovoltch e Soltech. Em 2006, o Instituto Fraunhofer, Freiburg, Alema-

⁶ Disponível em: <http://www.cleanenergycongress.com.ar/es/docs/pdf/15-%20Victor%20Dona.pdf>. Acesso em 15 nov. 2011.

⁷ MOEHLECKE, A. Células Solares Eficientes e de Baixo Custo de Produção. In: *Prêmio Jovem Cientista e Prêmio Jovem Cientista do Futuro*. Gerdau, CNPq, Fundação Roberto Marinho, 2002, p. 15-76.

⁸ MARQUES, F.C., URDANIVIA, J., CHAMBOULEYRON, I. A simple technology to improve crystalline-silicon solar cell efficiency. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, v. 52, 1998, p. 285-292.

⁹ CID, M. Fabricação de células solares. *I Simpósio Nacional de Energia Solar Fotovoltaica*, CD, Porto Alegre, 2004.

¹⁰ DUERINCKX, F., FRISSON, L., MICHIELS, P.P., CHOULAT, P., SZLUFCHIK, J. Towards highly efficient industrial cells and modules from multicrystalline wafers. *Proceedings of the 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference*, Munique, Alemanha, 2001, p. 1375-1378.



nha, implantou uma linha completa de produção de células solares de silício e módulos fotovoltaicos para avaliar equipamentos e processos sob os pontos de vista técnico, econômico e ambiental, com investimentos de 14 milhões de euros.^{11 12} Na Ásia, o Instituto de Pesquisa em Energia Solar de Singapura foi estabelecido em 2008 com a missão de realizar pesquisa e desenvolvimento orientados para a indústria, bem como para a ciência básica. Novas células solares estão sendo desenvolvidas e plantas piloto são capazes de produzir em escala pré-industrial os dispositivos desenvolvidos.¹³

No Brasil, a disseminação do uso de sistemas fotovoltaicos está limitada por problemas de custo e de ausência de uma produção nacional competitiva internacionalmente. Além disso, os produtos importados são comercializados com preços acima do mercado internacional. Neste contexto, para incentivar tecnologias nacionais de fabricação de células solares e módulos fotovoltaicos, em 2004, o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação e a PUCRS articularam com a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), Companhia Estadual de Geração e Transmissão de Energia Elétrica (CEEE-GT), Eletrosul Centrais Elétricas S.A. (ELETROSUL) e Petróleo Brasileiro S.A. (PETROBRAS) um projeto para transferir a tecnologia de fabricação de células solares desenvolvida pela equipe do Núcleo de Tecnologia em Energia Solar (NT-Solar) da PUCRS para uma linha pré-industrial, a fim de verificar a viabilidade técnica e econômica da produção em larga escala. O projeto foi inovador em três aspectos: *i*) tecnologia: o desenvolvimento científico e tecnológico de células solares de silício com insumos de baixo custo e obtenção de dispositivos eficientes por meio de mecanismos de *gettering* foi patenteado pela PUCRS; *ii*) ambiente: processos industriais

¹¹ Wafers go in, cells come out. Fraunhofer Institute builds cell production line for testing. *Photon International*, maio de 2005, p. 22.

¹² BIRO, D., PREU, R., GLUNZ, S.W., REIN, S., RENTSCH, J., EMANUEL, G., BRUCKER, I., FAASCH, T., FALLER, C., WILLECKE, G., LUTHER, J. PV-TEC: Photovoltaic Technology Evaluation Center – design and implementation of a production research unit. *Proceedings of the 21th European Photovoltaic Solar Energy Conference*, Dresden, Alemanha, 2006, p. 621-624.

¹³ Solar Energy Research Institute of Singapore (SERIS), Annual Report 2010. Disponível em: <http://www.seris.sg>. Acesso em 22/8/2011.



foram desenvolvidos dentro do ambiente acadêmico, especificamente no parque tecnológico da PUCRS (TECNO PUC) e *iii*) gerenciamento: universidade e empresas gerenciaram o projeto por meio de um comitê gestor. Nos cinco anos de execução do projeto, podem ser destacados os seguintes resultados:

- Implantação de infraestrutura laboratorial para um centro nacional em energia solar fotovoltaica, centro mais bem equipado da América Latina;
- Desenvolvimento de dois processos industriais para fabricação de células solares: um de alta eficiência, atingindo 15,4 %, e o outro de baixo custo, possibilitando a fabricação de dispositivos de 13 %;
- Desenvolvimento de um processo industrial para fabricação de módulos fotovoltaicos, atingindo eficiências de 12,7% em módulos de potência da ordem de 36 W;
- Formação de recursos humanos qualificados: oito mestres foram formados e houve o treinamento de mais de 25 estudantes de mestrado, doutorado e graduação, bem como de doutores;
- Solicitação de registro de duas patentes;
- Fabricação e caracterização de mais de 12.000 células solares e 200 módulos fotovoltaicos;
- Identificação e capacitação de fornecedores de insumos no mercado nacional;
- Formação de uma base de dados de produção para subsidiar a execução de um plano de negócios;
- Divulgação do projeto e da tecnologia na mídia.

Este tipo de projeto foi inédito no Brasil, colocando o país com capacidade tecnológica para fábricas de células solares e módulos fotovoltaicos, com o desenvolvimento das atividades em um período de apenas cinco anos. Como reconhecimento, em 2006, o projeto foi o vencedor do II Prêmio Melhores Universidades Guia do Estudante

e Banco Real, na categoria Inovação e Sustentabilidade e, no mesmo ano, o projeto foi finalista no Prêmio Santander Banespa de Ciência e Inovação.

A Figura 7 apresenta notícias veiculadas em revistas e jornais destacando os resultados obtidos no projeto Planta Piloto.^{14 15 16 17 18}

Figura 7. Notícias nacionais e internacionais sobre a Planta Piloto de Produção de Células e Módulos Fotovoltaicos



Fonte: Photon – *La Revista de Fotovoltaica*, *Zero Hora*, *A Tribuna*, *Diário do Nordeste* e *Modal*.

5. VIABILIDADE DE INDÚSTRIAS DE CÉLULAS SOLARES E MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

A equipe do NT-Solar/PUCRS, com base nos processos de fabricação de células e de módulos fotovoltaicos desenvolvidos e na inexistência de fábricas no país, concluiu que seria necessário preparar um plano de negócios para verificar a viabilidade econômica da produção industrial

¹⁴ ROSSEL, A.D. Renacer de las cenizas. Brasil quiere integrar la cadena de valor fotovoltaica desde el silicio hasta los módulos. *Photon – La Revista de Fotovoltaica*. Septiembre de 2010, Madri-Espanha, p. 104-111.

¹⁵ Na espera por investidores. *Modal-Revista de Infraestrutura e Logística*, n. 5, agosto/setembro de 2008, Porto Alegre-RS, p.14-15.

¹⁶ WERB, E. A indústria que vem do Sol. *Zero Hora*. Caderno Global Tech, 30/11/2009, Porto Alegre-RS.

¹⁷ Mais perto do Sol. *A Tribuna*. Caderno Ciência, 14/12/2009, Santos-SP, p. C4-C5

¹⁸ Nova fase para energia solar. *Diário do Nordeste*, 9/12/2009, Fortaleza-CE, p. 10.



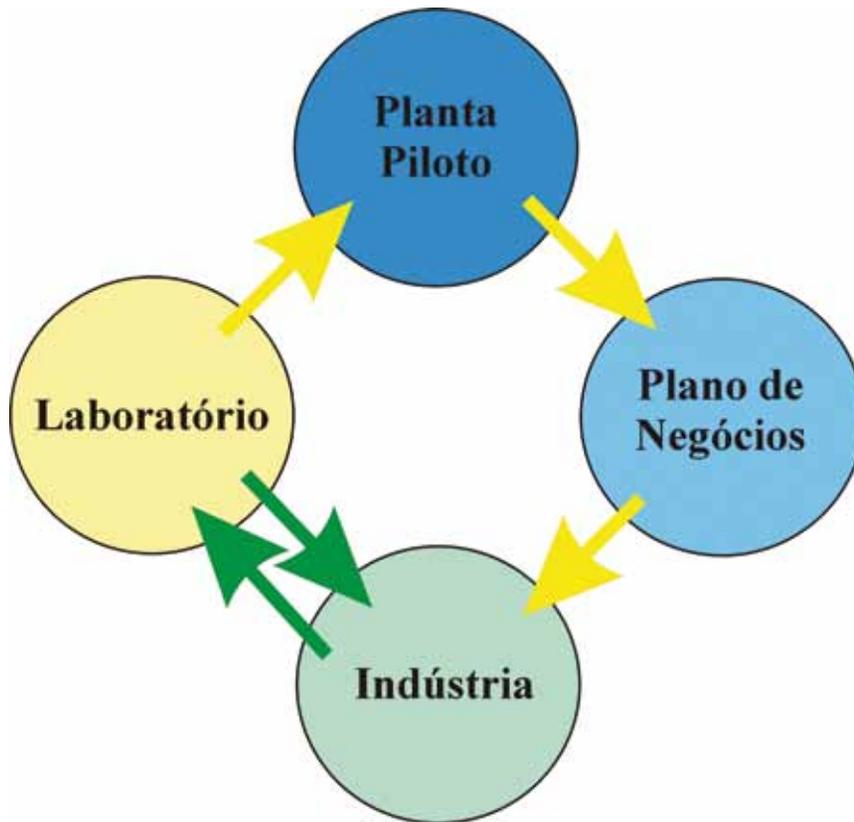
dos equipamentos desenvolvidos. Neste caso, a Universidade novamente avançou sobre um terreno que seria do setor empresarial.

Com apoio do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, por meio da Finep, da Eletrosul e do grupo CEEE, a PUCRS contratou uma empresa de consultoria que, em conjunto com os coordenadores do NT-Solar, elaboraram o plano de negócios. Com a simulação da implantação e operação de uma fábrica de células e módulos fotovoltaicos por dez anos no Brasil, verificou-se que é viável economicamente produzir estes equipamentos no país com a tecnologia desenvolvida. No entanto, duas dificuldades foram observadas.

A primeira seria a concorrência internacional com produtos importados, pois as indústrias na China estão atingindo escalas de produção muito grandes, maiores que 1000 MW ao ano e, somado aos avanços tecnológicos, o preço vem caindo anualmente. Segundo, a ausência de um mercado estabelecido no Brasil com demanda necessária para o estabelecimento de indústrias.

Uma característica importante deste tipo de indústria é que, para ser viável a produção, o empreendimento deverá basear-se em leis de incentivos existentes (Programa PADIS) e, desta maneira, serão investidos recursos de pesquisa e desenvolvimento no Brasil. Neste caso, o total de recursos investidos em P&D será maior que a soma dos impostos devidos, indicando uma forma diferente de analisar novos empreendimentos. Desta forma, haveria no país empresas que fechariam o ciclo de pesquisa & desenvolvimento & inovação & produção, como esquematizado na Figura 8.

Figura 8 – Indústrias de células solares e módulos fotovoltaicos instaladas no Brasil devem fechar o ciclo, reinvestindo em pesquisa, desenvolvimento e inovação



Fonte: Elaboração própria

6. SUGESTÕES PARA INCENTIVAR A CADEIA DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Antes de apresentar sugestões, é interessante revisar pelos menos os últimos anos de reuniões, simpósios e estudos realizados no Brasil, para propor ações para desenvolvimento da energia solar fotovoltaica no país.

Em 2004 e 2005, durante o I e o II Simpósio Nacional de Energia Solar Fotovoltaica, realizados na PUCRS, Porto Alegre, e no Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), Rio de Janeiro, respectivamente, com especialistas de universidades, de companhias de energia elétrica, de órgãos governamentais e de empresas do setor, chegou-se às seguintes conclusões sobre o que fazer para desenvolver a energia solar



fotovoltaica: *i*) integração dos diferentes grupos de pesquisa por meio de rede de pesquisa, abrangendo ciência, tecnologia, desenvolvimento e aplicações; *ii*) elaboração de uma proposta de política pública integrada nas áreas tecnológica e industrial, envolvendo os Ministérios de Minas e Energia, da Ciência e Tecnologia e do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC); *iii*) apoio a operações piloto de produção de células solares e módulos fotovoltaicos e silício grau solar; *iv*) incentivo para o desenvolvimento dos componentes dos sistemas fotovoltaicos com tecnologia nacional; *v*) criação de uma linha de crédito para o consumidor final adquirir sistemas fotovoltaicos; *vi*) programa de incentivos fiscais para consumidores que desejem instalar sistemas fotovoltaicos interligados à rede; *vii*) programas de incentivos para o estabelecimento de indústrias nacionais.^{19 20}

Em 2009, o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), com a colaboração da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), dos Ministérios da Ciência, Tecnologia e Inovação, de Minas e Energia, do Meio Ambiente e do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, de instituições científicas e tecnológicas e de empresas do ramo, preparou o documento “Energia solar fotovoltaica no Brasil: subsídios para tomada de decisão”.²¹ Foram apresentadas 16 recomendações, sendo que as principais para curto prazo foram: elaborar e financiar programa de P&D&I que possibilite ganhos de competitividade, modernizar laboratórios e estabelecer processos piloto, regulamentar a conexão de sistemas fotovoltaicos à rede elétrica, incentivar a geração fotovoltaica distribuída conectada à rede elétrica, inserir o tema energias renováveis na Política de Desenvolvimento Produtivo, elaborar uma política industrial para o estabelecimento de indústrias de células

¹⁹ ZANESCO, I. MOEHLECKE, A. Primeiro Simpósio Nacional de Energia Solar Fotovoltaica reúne pesquisadores para debater os rumos desta tecnologia no país. *CRESESB Informe*, n. 9, nov. 2004, p. 10-11. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/periodicos/informe9.pdf>.

²⁰ PATRÍCIO, M. II SNESF discute propostas para expandir o uso da energia solar fotovoltaica no Brasil. *CRESESB Informe*, n. 10, setembro de 2005, p. 12-13. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/periodicos/informe10.pdf>.

²¹ Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – CGEE. *Energia solar fotovoltaica no Brasil: subsídios para tomada de decisão*. Série Documentos Técnicos, 2-10, 2010, 42 p. Disponível em: http://www.cgее.org.br/publicacoes/documentos_tecnicos.php.



solares, de módulos fotovoltaicos, de silício grau solar e eletrônico, bem como de equipamentos para sistemas fotovoltaicos.

O Grupo de Trabalho em Sistemas Fotovoltaicos – GT-GDSF, estabelecido pelo MME, em 2010, finalizou um relatório,²² do qual se podem destacar algumas das considerações e recomendações: *i*) para o desenvolvimento sustentável da tecnologia solar fotovoltaica é necessário consolidar uma cadeia produtiva pautada por ações de estímulo ao mercado e implantação de indústrias; *ii*) há vantagens na aplicação de sistemas fotovoltaicos para sistemas de pequeno porte, com produção próxima à carga, o que evita custos de transporte e de distribuição; *iii*) não há ainda no Brasil uma estrutura industrial favorável para a sua inserção, devido ao seu alto custo e à falta de uma cadeia produtiva consolidada; *iv*) as perspectivas de diminuição de custos em médio prazo indicam a necessidade de ações de preparação de uma base técnica e regulatória para atender às possibilidades de inserção desta tecnologia; *v*) a preparação de uma política de incentivo pautada no desenvolvimento tecnológico poderá promover a cadeia produtiva; *vi*) MME e MDIC deveriam promover uma estratégia de fomento à instalação de indústrias no Brasil por meio de incentivos fiscais e tributários; *vii*) não se considerou adequada a determinação de um índice de nacionalização como estímulo à indústria nacional, tendo em vista experiências do passado e *viii*) destacou-se a necessidade da promoção de um projeto piloto de pesquisa e desenvolvimento com a instalação, operação e acompanhamento desses sistemas conectados à rede em um conjunto de residências.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) avançou no se que refere a geração distribuída, sendo que os trabalhos com a participação de público externo se iniciaram com a Consulta Pública ANEEL n.º 15/2010, para “apresentar os principais instrumentos regulatórios utilizados no Brasil e em outros países para incentivar a geração distribuída de pequeno porte, a partir de fontes renováveis de energia”. Comple-

²² Relatório do Grupo de Trabalho em Sistemas Fotovoltaicos – GT-GDSF / Ministério de Minas e Energia – MME, Portaria n.º 36, de 26 de novembro de 2008. Estudo e propostas de utilização de geração fotovoltaica conectada à rede, em particular em edificações urbanas, 2009, 222 p.



mentando esta ação, houve a Audiência Pública 042/2011 em 6 de outubro de 2011, buscando reduzir as barreiras para a instalação de micro e minigeração distribuída a partir de sistemas fotovoltaicos.^{23 24} Assim, em 2012 certamente teremos publicada uma norma para sistemas conectados à rede em baixa tensão. Em agosto de 2011, a Aneel apresentou a Chamada Pública 013/2011 com o projeto estratégico “Arranjos Técnicos e Comerciais para Inserção da Geração Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira”, visando à instalação de usinas fotovoltaicas de 0,5 MW a 3 MW.²⁵ Cabe comentar que um projeto estratégico “compreende pesquisas e desenvolvimentos que coordenem e integrem a geração de novo conhecimento tecnológico em subtema de grande relevância para o setor elétrico brasileiro, exigindo um esforço conjunto e coordenado de várias empresas de energia elétrica e entidades”. Assim, a agência demonstrou o interesse na nova forma de produção de energia elétrica, envolvendo as concessionárias, pois elas poderão usar seus recursos de P&D para instalar e analisar as centrais fotovoltaicas.

No segundo semestre de 2010, a Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE) deu os primeiros passos para a formação do Grupo Setorial de Sistemas Fotovoltaicos, que se formalizou no início de 2011. Atualmente com mais de cinquenta empresas, vem trabalhando em proposições do setor industrial para o estabelecimento de um programa que possa formar o mercado e a implantação de indústrias neste setor no Brasil.

O que poderia ser sugerido para o desenvolvimento da energia solar fotovoltaica no Brasil? Primeiro, vale comentar que não serve para o Brasil simplesmente criar leis de incentivos similares às da Alemanha ou Espanha, pois nossa matriz elétrica é predominantemente reno-

²³ ANEEL – Consulta Pública 015/2010. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/consulta_publica/consulta.cfm?ano=2010&idArea=14.

²⁴ ANEEL – Audiência Pública 042/2011. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/dspListaDetalhe.cfm?attAnoAud=2011&attIdeFasAud=562&id_area=13&attAnoFasAud=2011.

²⁵ ANEEL – Chamada nº 013/2011, Projeto Estratégico: “Arranjos Técnicos e Comerciais para Inserção da Geração Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira”, Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética, Brasília, agosto de 2011, 14 p. Disponível em: www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/PeD_2011-ChamadaPE13-2011.pdf.



vável e não há um parque industrial capaz de suprir a demanda de equipamentos. Assim, neste primeiro momento, a contribuição para “limpar” a matriz energética seria pequena e empregos seriam gerados fora do país, pois todos os equipamentos seriam importados, inviabilizando o nascimento de indústrias nacionais para este setor. No entanto, sem um mercado, não haverá investidores interessados em estabelecer indústrias de células e módulos fotovoltaicos. Ações governamentais poderiam resolver este impasse.

Considerando que já há isenções fiscais para a implantação de indústrias que invistam em pesquisa e desenvolvimento no Brasil e que as células e módulos fotovoltaicos são isentos do ICMS em muitos estados brasileiros, uma forma de incentivar a implantação de fábricas seria por meio de um programa de financiamento com linhas específicas e com a possibilidade de inclusão de capital de risco. Fontes de financiamento com carência e pagamento de longo prazo podem viabilizar a formação de novas empresas, que poderiam ter preços de venda não muito diferentes dos praticados pelas grandes indústrias internacionais, pois a expectativa de risco seria reduzida e, deste modo, poderiam ser considerados, por exemplo, nos cálculos econômicos, taxas de atratividade da ordem de 15%. Em relação ao capital de risco, poderiam ser criadas linhas de crédito específicas visando ao estabelecimento de novas empresas de base tecnológica, muitas delas que poderiam ser *spin-offs* de universidades. Mas, neste caso, cabe lembrar que empreendimentos na área de energia solar fotovoltaica são intensivos em capital e deveriam ser criados mecanismos específicos para o financiamento, pois as empresas nascentes não terão condições de apresentar garantias condizentes com os valores exigidos pelos bancos de fomento. Uma indústria de células solares e módulos fotovoltaicos de tamanho mínimo necessitaria da ordem de 100 milhões de reais! De uma forma geral, sem fontes de capital de risco, nenhuma nova empresa de base tecnológica em energias renováveis surgirá. Simples montadoras de módulos fotovoltaicos não podem usufruir das isenções antes comentadas e terão dificuldade para competir com empresas internacionais sem investir em P&D.



Considerando que teríamos no Brasil empresas que investiriam em pesquisa e desenvolvimento na área de energia solar fotovoltaica, com as isenções existentes e as linhas de financiamento e capital de risco, poderia se estabelecer um mercado competitivo para uma produção da ordem de 100 MW anuais. Para grandes empresas internacionais este é um valor pequeno, mas suficiente para as empresas nacionais iniciarem suas atividades e se prepararem, com pesquisa, desenvolvimento e inovação, para a corrida internacional de redução dos custos na eletricidade obtida da energia solar.

Se o Brasil considerar estratégica a participação no mercado de energia solar fotovoltaica em sua fase de crescimento acelerado, é necessária a curva de aprendizagem, e talvez tenha chegado a hora de se iniciar este processo. O problema é quem tomará a decisão!

Sem uma política clara de apoio às indústrias de células e módulos FV que invistam em P&D no Brasil, será muito difícil competir com grandes empresas internacionais. Por exemplo, se a Política de Desenvolvimento Produtivo prevê o acionamento de instrumentos de incentivo tais como linhas de crédito e financiamento e captação de capital de risco bem como o uso do poder de compra do Estado por empresas da administração direta e de empresas estatais, a inclusão da cadeia produtiva de energia solar fotovoltaica poderia facilitar este processo por meio das atuais fontes de financiamento tais como BNDES e Finep. Ações coordenadas para um programa de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica em baixa tensão, com índice de nacionalização progressivo anualmente, regulamentação desburocratizada e ágil e com incentivos econômicos e políticos para a implantação de indústrias de células solares e módulos fotovoltaicos com tecnologia nacional, são estratégicas.

Em resumo, há necessidade de se promover um mercado mínimo para a produção em escala maior que 30 MW anuais e o estabelecimento de formas de financiamento viáveis para empreendedores na área de fabricação de células e módulos fotovoltaicos.