

Energia solar no Brasil: se não for agora, quando será?

ELOY F. CASAGRANDE JUNIOR

INTRODUÇÃO

■ O Brasil tem sua geração de energia elétrica concentrada em hidrelétricas, realizando investimentos muito aquém do potencial de outras formas de energias renováveis, como a eólica e a solar. Este artigo analisa como a política energética brasileira poderia ser revista, investindo mais na energia solar como forma de tirar a pressão sobre sua matriz, além das vantagens ambientais que esta apresenta. Demonstra como os países industrializados estão aumentando o uso da energia do sol, reduzindo suas emissões de gases do Efeito Estufa, ao evitar as usinas térmicas, principalmente em países com a Alemanha, um exemplo para o setor. Também são apresentados projetos solares modelos desenvolvidos em universidades, como o do Escritório Verde da UTFPR, os “estádios solares” construídos para a Copa da FIFA de futebol em 2014 e algumas iniciativas do governo para que haja um indústria de módulos fotovoltaicos no país. A conclusão aponta que deve haver um esforço ainda maior do setor governamental para a redução de custos na implantação de sistemas solares, colocando esta ao alcance de todos.

MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA E A ENERGIA SOLAR

■ De acordo com o Relatório do Balanço Energético de 2013, a matriz energética brasileira está concentrada na hidroeletricidade, representando aproximadamente 80% da geração, seguida pelo gás natural, com cerca de 8%. O restante é dividido entre a biomassa, derivados de petróleo, carvão e derivados, nuclear e eólica. Sendo que esta última representa menos de 1%. Ressaltando que houve

uma queda na participação da energia renovável na matriz brasileira, passando de 84,5% em 2012 para 79,3% em 2013, apesar da adição de 1.724 MW na potência instalada do parque hidrelétrico. Já é o segundo ano que isto acontece devido às condições hidrológicas desfavoráveis. Em 2013, a queda foi de 5,4% e em 2012, 1,9% (EPE, 2013).

No verão brasileiro de 2014, mais uma vez não houve chuvas suficientes para manter os níveis de água dos reservatórios das usinas hidroelétricas, impossibilitando a geração de eletricidade para as demandas do país. Fato que levou ao uso intenso das usinas termelétricas, geradoras de Gases de Efeito Estufa (GEE), para atender os setores residencial, comercial e industrial. Sendo o carvão o principal combustível destas usinas, quando queimado libera gases como o dióxido de carbono em grandes quantidades para a atmosfera, contribuindo para o aquecimento global.

Para Marques (2014) este fato evidenciou a urgência de maior diversificação das fontes renováveis de energia na matriz elétrica do país, pois, paradoxalmente, o calor gerado pelo Sol, ao mesmo tempo em que contribuiu para reduzir o nível de água dos reservatórios, poderia ter gerado energia para abastecer residências, por meio de sistemas solares fotovoltaicos ou para aquecer a água com painéis solares térmicos.

Outro fato que se deve considerar é o aumento dos questionamentos da sociedade sobre a construção de novas hidrelétricas de grande porte. Não somente pelos seus grandes impactos ambientais, como também pelos problemas socioeconômicos causados por perda de áreas agrícolas produtivas e pela realocação de famílias e tribos indígenas, que vivem em áreas a serem inundadas pelos reservatórios. Este quadro se agrava quando se aponta para a Amazônia como sendo a última grande reserva hídrica a ser explorada para gerar energia, gerando conflito com a preservação ambiental e o direito de povos indígenas que habitam a região, sem contar os altos custos das redes de transmissão para os grandes centros de consumo. O debate sobre a construção da megausina hidrelétrica de Belo Monte de 11.233 MW que está sendo construída no Rio Xingu, no estado do Pará, e seus impactos socioambientais, demonstra que a sociedade não está passiva diante da questão. O polêmico projeto motivou a criação de diversas portarias ministeriais com o objetivo de “destravar a concessão de licenças ambientais no país para acelerar grandes empreendimentos, como rodovias, portos, exploração de petróleo e gás, hidrelétricas e até linhas de transmissão de energia”. Para muitos, um retrocesso nas conquistas ambientais que coloca em risco a floresta amazônica que já tem cerca de 20% de sua cobertura destruída.

Desde 2006 se conhece o grande potencial de energia solar do território nacional, quando se concluiu o “Atlas Brasileiro de Energia Solar”, produto do Projeto SWERA (*Solar and Wind Energy Resource Assessment*), financiado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e co-financiado pelo Fundo Global para o Meio Ambiente. Um trabalho de 10 anos combinando dados de irradiação, dados climatológicos e informações extraídas de imagens de satélite geostacionário e validado por dados coletados em estações de superfície (INPE, 2006). No entanto, mesmo com as condições favoráveis do Brasil para geração de energia solar, conforme se observa no mapa de irradiação solar no Brasil (Figura 01), seu uso não foi considerado no Plano Nacional de Energia 2030.

FIGURA 01. Irradiação solar no Brasil (KWh/m²)



Para o pesquisador Ricardo Ruther, coordenador do Grupo de Pesquisa Estratégica em Energia Solar, da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), e que participou na elaboração do Atlas, se fosse instalada nas proximidades de Brasília um gerador solar fotovoltaico de área equivalente a menos de 0,05% do território nacional, a geração anual equivalente será superior aos cerca de 420 TWh de energia elétrica consumidos em 2010 pelo país. Já se um gerador solar fosse instalado sobre toda a área inundada pelo lago de Itaipu, ele geraria o dobro da energia elétrica produzida pela usina anualmente. A Alemanha, o país que mais investiu em energia solar no mundo, possui capacidade de geração igual a três Usinas de Itaipu somente com seus módulos fotovoltaicos instalados em residências (ROCKMAN, 2011).

Para termos outra comparação de como desperdiçamos nosso potencial solar, a região mais ensolarada da Alemanha recebe um índice de radiação solar 40% menor que o índice da região menos ensolarada do Brasil! A região menos ensolarada do nosso país apresenta índices solares em torno de 1642 kWh/m², que estão acima dos valores apresentados na área de maior incidência solar da Alemanha, a qual recebe cerca de 1300 kWh/m² (Casagrande Jr.; Urbanetz Jr., 2014).

FORMAS DE APROVEITAMENTO DO ASTRO-REI

Iluminação natural

■ O aproveitamento dos raios solares pode ser de forma passiva através de técnicas modernas de arquitetura e construção, onde o calor e a luminosidade do sol são direcionados para melhorar a qualidade do ambiente edificado. Conhecida com Iluminação Zenital (da expressão árabe “zênite” – caminho acima da cabeça) é a luz natural que penetra no ambiente através de aberturas situadas na cobertura de uma edificação. É uma das formas de iluminar naturalmente e obter uma boa distribuição da luz no ambiente, contribuindo para a saúde da visão, o conforto visual e o bem-estar das pessoas.

Pesquisas apontam para um maior desempenho em trabalhos realizados em sala de aula/ escritório em que havia o contato direto das pessoas com a luz natural. Esse resultado se deve em parte ao fato de que a luz natural apresenta definições de cores muito mais reais que a luz artificial, e a visualização do meio externo, proporciona o conhecimento aproximado das horas do dia e das mudanças climáticas e atmosférica.

Coletores solares

■ Através de coletores solares (placas) se pode aquecer a água também de forma passiva. Com a absorção da radiação solar pelas placas, seu calor é transferido para a água que circula no interior de suas tubulações, sendo armazenada em um reservatório térmico para posterior consumo. Alguns sistemas também usam óleo ou outro tipo de fluido. Em sistemas convencionais, a água circula entre os coletores e o reservatório térmico através de um sistema natural chamado termosifão. Nesse sistema, a água dos coletores fica mais quente e, portanto, menos densa que a água no reservatório. Assim a água fria “empurra” a água quente gerando a circulação. Esses sistemas são chamados de circulação natural ou termosifão.

O Brasil recebe energia solar da ordem de 1.013 MWh anuais, o que corresponde a cerca de 50 mil vezes o consumo anual de eletricidade. Em 2012 o setor produziu mais de 1 milhão de m² de coletores solares, sendo cerca de 50% de coletores para piscinas e 50% para banho, demonstrando equilíbrio no perfil do mercado brasileiro (DASOL, 2014).

Assim mesmo, o chuveiro elétrico é o equipamento mais empregado aquecer a água no Brasil, estima-se que este aquecimento seja responsável por 25% do total de energia elétrica consumida nas residências brasileiras. Nas regiões Sul e Sudeste o chuveiro chega a responder por até 40% do consumo residencial no horário de pico. Apesar do baixo custo do equipamento (com R\$30,00 se pode comprar um) este pode consumir uma potência de até 6kWh. No total, este consumo representa cerca de 20 bilhões de kWh. Tal demanda de energia elétrica ocorre principalmente no fim da tarde ocasionando um pico que poderia ser reduzido em grande parte com o uso de coletores solares, trazendo ainda vantagens econômicas e ambientais (INPE, 2006).

De acordo com o relatório de 2013 da IEA (*International Energy Agency*), com 8,4 milhões de m² de área de coletores solares térmicos instalados, o Brasil encontra-se na quinta posição no ranking mundial na utilização de energia solar térmica. Os setores que mais se utilizam dessa tecnologia são o residencial e o de serviços, como hotéis, restaurantes, pet-shop's, clubes, lavanderias e hospitais, locais que necessitam de muita água quente. Outro setor que começa a experimentar os aquecedores é o industrial, mas ainda de forma pontual.

A cidade de Belo Horizonte (MG) é uma das capitais que mais utiliza aquecedores solares em residências, onde há cerca de 800 prédios com instalação de aquecimento solar central. A iniciativa é atribuída à concessionária mineira,

Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig), em parceria com empresas de aquecedores solares e universidades do Estado de Minas Gerais (MMA, 2014).

Usina de concentração solar

■ Outra grande utilização que está a ser dada à energia solar é a concentração solar. Esta tecnologia utiliza espelhos e sistemas de monitoramento (heliostats) para concentrar uma grande quantidade de luz solar em um único ponto que contém água. Quando a água evapora com o calor produzido por todos os raios do sol direcionados a uma torre, este move turbinas e gera eletricidade.

A maior usina por concentração solar do mundo foi inaugurada em 2014 na Califórnia, EUA. Localizada no sudoeste de Las Vegas, no deserto de Mojave, a instalação solar térmica de grande porte pode produzir 392 megawatts de energia solar para alimentar 140 mil casas na Califórnia com energia limpa – o equivalente a retirar 400 mil toneladas métricas de dióxido de carbono do ar por ano. A planta ocupa cinco quilômetros quadrados e é composta por três torres de quarenta andares, cada uma cercada por 350 mil espelhos (CICLOVIVO, 2014). A média anual de radiação solar do deserto de Mojave é equivalente a do Nordeste brasileiro.

Apesar de ser uma energia renovável, a usina esteve cercada de controvérsia desde seu início por seus altos custos operacionais e por supostamente matar altos números de animais selvagens por superaquecimento. Ambientalistas afirmam que um grande número de aves foram queimadas e mortas ao redor das torres de plantas solares, que podem gerar temperaturas mais altas que 500 graus Celsius.

Energia solar fotovoltaica

■ O efeito fotovoltaico é o surgimento de uma tensão elétrica em um material semicondutor, quando é exposto à luz visível, tendo sido observado pela primeira vez em 1839, pelo físico francês Alexandre-Edmond Becquerel. É com base nele que se produzem os módulos solares, formados por células fotovoltaicas, que são dispositivos semicondutores com essa propriedade de captar a luz do Sol e transformá-la em energia, gerando uma corrente elétrica capaz de circular em um circuito externo. Atualmente, o silício é o semicondutor mais utilizado comercialmente. Seus átomos se caracterizam por possuírem quatro elétrons de ligação, que se conectam aos vizinhos formando uma rede cristalina.

Tipos de sistemas fotovoltaicos (PV):

- Conectados à rede – Este é o tipo mais popular de instalações PV, normalmente sobre o telhado de casas e escritórios, e no qual é necessário a presença de um inversor, para transformar a energia em corrente contínua para corrente alternada. A energia gerada pelos painéis é entregue a rede elétrica convencional.
- Isolados – Instalado em áreas de difícil acesso a rede elétrica, normalmente zonas rurais, neste caso a energia fotovoltaica é a única fonte de eletricidade e é necessário algum armazenamento, como baterias. Tais sistemas podem ser de geração apenas para uma residência ou pode ser instalado em mini-redes para atender uma pequena comunidade.
- Híbridos – a geração fotovoltaica funciona em conjunto com outros, como geradores eólicos ou diesel. Considerados mais complexos, tais sistemas exigem um controle capaz de integrar as diferentes formas de geração de energia. Estes sistemas podem estar conectados a rede, isolados ou ter o apoio da rede.
- Usinas solares – Estes sistemas, também conectados à rede, produzem uma grande quantidade de eletricidade em um único ponto. O tamanho da usina varia de centenas de quilowatts a megawatts. Algumas destas instalações estão sobre grandes edifícios industriais ou no solo próximo a indústrias que exigem um consumo intenso de energia.
- Aplicado em bens de consumo – as células fotovoltaicas podem ainda ser aplicada em diversos equipamentos elétricos, como relógios, calculadoras, brinquedos, carregadores de bateria ou telhados solares para carregar carros elétricos. Outras aplicações incluem sistemas de irrigação, sinalização em rodovias, postes públicos ou telefones públicos (América do Sol, 2014).

Os Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica (SFVCRs) têm apresentado grande crescimento entre as fontes de geração de energias renováveis no cenário mundial, principalmente em países como Alemanha (32,4GWp), Itália (16,3GWp), China (8,3GWp), Estados Unidos (7,8GWp), Japão (6,9GWp) e Espanha (5,2GWp) (EPIA, 2013).

No Brasil, sua aplicação ainda é incipiente comparada e estes países, porém, apresenta grande potencial de crescimento nos próximos anos. Muitos empreendimentos estão sendo realizados neste setor no Brasil, partindo de cerca de apenas 200kWp de capacidade instalada em 2010, para mais de 8MWp em meados de 2014 (Urbanetz Jr.; Casagrande Jr.; Tiepolo, 2014).

Esta tendência de crescimento é fruto principalmente da resolução 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), em vigor desde abril de 2012, para tratar das relações entre as concessionárias de energia e pessoas físicas ou jurídicas que realizem investimento em energia solar fotovoltaica. A resolução estabeleceu no Brasil uma política similar ao sistema conhecido internacionalmente como *net metering*, aqui chamado de sistema de compensação, onde ao final do mês o excedente de energia do SFVCR injetado na rede elétrica da concessionária é transformado em créditos de energia que podem ser consumidos em outro momento, sem haver a remuneração pela energia, apenas o acúmulo de créditos, que devem ser utilizados em um prazo de até 36 meses (ANEEL, 2012).

Antes mesmo da medida de ANEEL, se pode destacar dois projetos SFVCRs implantados em universidades brasileiras que já vêm sendo avaliados por muito tempo, comprovando a viabilidade técnica destes sistemas:

I. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA (UFSC)

■ Inaugurado em setembro de 1997, o projeto é uma iniciativa do Grupo de Pesquisa Estratégica em Energia Solar da UFSC (Grupo Fotovoltaica), coordenado pelo professor Ricardo Rütger, cadastrado no Diretório de Grupos de Pesquisa do CNPq, e trata-se do primeiro gerador solar fotovoltaico do Brasil a ser integrado à arquitetura de prédio urbano e interligado à rede elétrica pública. O gerador, que tem potência nominal de 2 kWp, converte diretamente energia solar em eletricidade através dos módulos instalados na cobertura do Bloco A, do Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC.

Ao longo de mais de 17 anos de existência, o Grupo Fotovoltaica também é responsável pela instalação e operação de outros geradores solares instalados nos seguintes locais: Centro de Cultura e Eventos (10 kWp), Hospital Universitário (2 kWp), Colégio de Aplicação (2 kWp) e Centro de Convivência (1 kWp) (UFSC, 2013)

A Casa Eficiente ELETROSUL_UFSC

A Casa Eficiente está localizada em Florianópolis, SC, e foi inaugurada em 29 de março de 2006, sendo o resultado da parceria estabelecida entre a ELETROSUL, ELETROBRAS/PROCEL Edifica e a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), através do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE). Sua concepção contemplou, além dos objetivos de sustentabilidade

(eficiência energética e uso racional da água), a necessidade de flexibilidade de operação, de manutenção e de seu funcionamento como um laboratório de pesquisa. Contemplou ainda, a necessidade de proporcionar, de maneira didática, a visitação para divulgação dos conceitos adotados, ou seja, além de ser um laboratório é também uma vitrine tecnológica.

O sistema fotovoltaico da Casa Eficiente é do tipo conectado à rede elétrica e integrado à edificação. Este sistema possui potência nominal de 2,25 kWp e está operando desde 28 de julho de 2006. Sendo os principais componentes do sistema fotovoltaico (Casa Eficiente, 2010):

- 30 módulos de silício policristalino (p-Si), 75 Wp cada, totalizando 2,25 kWp;
- 2 chaves seccionadoras com fusíveis de 50 A;
- 2 inversores de 1200 W;
- 2 medidores de energia monofásicos e
- 2 disjuntores monopolares de 10 A

O sistema é dividido em dois subsistemas, cada um com 15 módulos (1,125 kWp) conectados a um inversor. As saídas dos inversores são ligadas na rede elétrica da casa. Deste modo, a energia elétrica gerada é utilizada para atender ao consumo da casa e o excedente é levado para a rede elétrica pública.

O desempenho desse sistema fotovoltaico – com produtividade média de 1.112 kWh/kWp, obtida durante os anos de 2007 e 2008 – é comparável à produtividade do sistema de 2 kWp instalado no Laboratório de Energia Solar (LABSOLAR) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), cuja produtividade, em 10 anos de operação, variou entre 1.140 e 1.240 kWh/kWp (Rüther et al., 2008)

2. O ESCRITÓRIO VERDE DA UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ (UTFPR)

■ No dia 15 de dezembro de 2011, foi inaugurado o Escritório Verde (EV) da UTFPR, uma proposta única no Brasil de uma edificação sustentável modelo de 150 m² que adotou diversas estratégias de sustentabilidade em parceria com mais de sessenta empresas, visando verificar o desempenho destas estratégias. Idealizado e coordenado pelo Prof. Eloy F. Casagrande Jr., o projeto se tornou um “laboratório vivo” para pesquisas que envolvem monografias do curso de especialização em Construções Sustentáveis, dissertações de mestrado e teses de

doutorado de diferentes programas que discutem a sustentabilidade (Escritório Verde, 2013). A máxima eficiência energética é alcançada devido ao sistema construtivo de paredes duplas *wood-frame*, vidros duplos e uso de telhados verdes, além de tirar partido da iluminação natural, uso de lâmpadas LEDs e geração fotovoltaica, como linha mestra para prover energia à edificação, em conjunto com o sistema elétrico da concessionária.

FIGURA 04. Vistas do Escritório Verde da UTFPR



Em 2012, o Escritório Verde foi premiado pela Organização das Nações Unidas (ONU), dentro do Programa de Educação para o Desenvolvimento Sustentável, conduzido pela Universidade das Nações Unidas (UNU), que estimulou a criação de *Regional Centres of Expertise (RCE) on Education for Sustainable Development* – Centros Regionais Especializados em Educação para o Desenvolvimento Sustentável. O primeiro RCE implantado na América Latina, com o nome de CRIE – Centro Regional de Integração e Expertise funciona no Escritório Verde. No mesmo ano, o projeto também foi premiado pelo SANTANDER Universidades, dentro da categoria de sustentabilidade.

Numa parceria com a COPEL (Companhia Paranaense de Energia) e as empresas KYOCERA e Solar Energy, a responsável pela instalação do SFVCR do EV da UTFPR, o sistema entrou em operação em 14 de dezembro de 2011 e tem uma potência instalada de 2,1kWp (10 módulos de silício policristalino, modelo KD210GX-LP ligados em série) e um inversor monofásico em 220V de 2kW de potência nominal (PVPOWERED modelo PVP2000) (Figuras 05, 06 e 07)). A área ocupada na cobertura da edificação pelos módulos fotovoltaicos é de apenas 15m². Outro conjunto de 850 Watts (10 módulos de 85W) é conectado em baterias para demonstrar o funcionamento do sistema isolado de forma didática.

FIGURA 05. Instalação do Sistema Fotovoltaico do Escritório Verde da UTFPR



FIGURA 06. Módulos fotovoltaicos instalados e inversor



FIGURA 07. Vista frontal do telhado com o sistema fotovoltaico instalado



Quando se discute energia solar no Brasil, a tendência é sempre apontar-se para os estados do Nordeste como sendo os únicos a ter vantagens no aproveitamento deste tipo de energia. No entanto, o SFVCR do Escritório Verde tem desmistificado esta premissa, demonstrando a viabilidade também na região Sul para a energia fotovoltaica. O potencial de geração de energia solar é avaliado considerando a irradiação solar anual e a luz difusa, além da posição inclinada dos painéis fotovoltaicos colocados no telhado da edificação que também interferem no desempenho do sistema (Casagrande Jr, 2014).

Para compreender melhor, a irradiância solar global é a quantidade de energia por unidade de área e unidade de tempo que incide sobre a superfície da

Terra. A unidade de irradiância é a unidade de potência por metro quadrado da superfície da Terra (Watt/metro quadrado). Para Curitiba, segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar, temos de 4,5 a 5 kWh/m²/dia, o que representa uma irradiação superior às encontradas nas cidades do litoral Sul do Brasil, como Florianópolis, por exemplo.

O programa RADIASOL é disponibilizado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS, 2012), e permite, a partir da inserção dos valores de irradiação no plano horizontal, identificar os valores de irradiação para qualquer plano (diferentes inclinações e desvio azimutal em relação ao norte). Na Tabela 01 é possível observar as horas de irradiação solar de Curitiba.

TABELA 1. Irradiação diária média no plano do painel FV obtida pelo programa RADIASOL para Curitiba. (kWh/m².dia).

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2012	5,64	5,53	5,26	4,42	3,63	3,51	3,72	4,66	4,52	5,13	5,95	5,86
2013	5,12	4,73	3,96	4,47	3,41	2,58	3,53	4,24	3,98	5,23	4,74	5,45
2014	6,08	5,38	4,50	3,28								

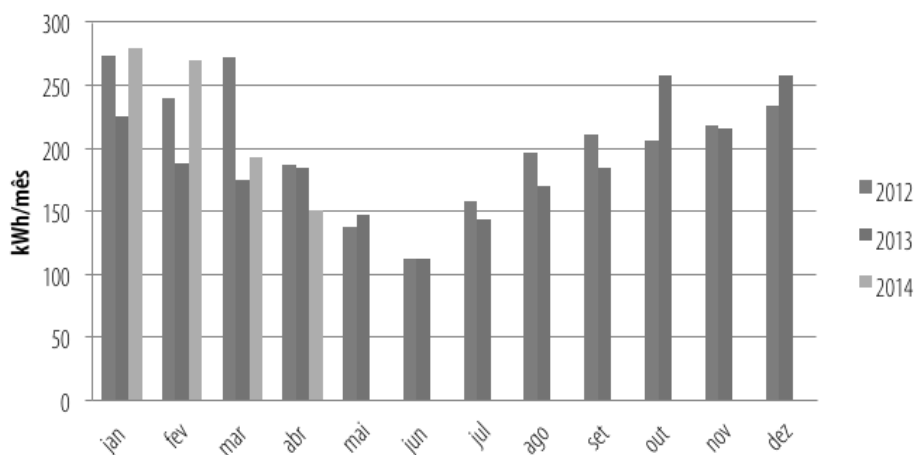
O projeto solar do Escritório Verde criou uma demanda de cursos de dimensionamento e implantação de sistemas fotovoltaicos, sendo realizados cinco cursos desde 2012, com uma média de 35 alunos cada turma, sendo o primeiro realizado em parceria com a empresa Blue Sol e os outros ministrados pelo Prof. Dr. Jair Urbanetz, da UTFPR, responsável técnico pelo projeto e que tem o doutorado na área solar (Figura 08).

FIGURA 08. Cursos de Energia Solar no Escritório Verde



Analisando-se o funcionamento do SFVCR do EV nos anos de 2012, 2013 e de janeiro a abril de 2014, observou-se uma geração total de 5,6 MWh neste período. A geração de energia elétrica é proporcional a irradiação incidente no painel FV, onde nos meses de verão (maior incidência solar) há maior geração de energia elétrica e nos meses de inverno, (menor incidência solar) há menor geração. O Gráfico 01 apresenta os valores de energia elétrica gerados em cada mês de operação do SFVCR do EV da UTFPR.

GRÁFICO 01. Geração de Energia Elétrica (kWh/mês) para os anos de 2012, 2013 e início de 2014 do Escritório Verde da UTFPR



O SFVCR do EV da UTFPR, gerou em média aproximadamente 200kWh/mês nestes dois anos e quatro meses de operação, energia superior a necessária para atender as cargas existentes na edificação, tornando a mesma uma edificação de energia zero (ZEB – *zero energy building*). Nos meses de verão (maior incidência solar) a geração chegou a 279kWh, o que permitiu exportar energia para as instalações adjacentes, e nestes momentos, o EV tornou-se uma edificação de energia positiva. Colabora para este desempenho o fato de se planejar a edificação dentro dos princípios da arquitetura bioclimática, para captar o máximo de iluminação natural, com janelas amplas e bem posicionadas, o uso de lâmpadas LEDs para iluminação de todos os ambientes e sistema construtivo *wood framing* utilizando mantas de PET reciclado para isolamento térmico-acústico (Urbanetz Jr.; Casagrande Jr.; Tiepolo, 2014).

ESTÁDIOS SOLARES

■ Um dos legados da Copa do Mundo FIFA de Futebol que ocorreu no Brasil em 2014, foi a instalação de módulos fotovoltaicos em arenas que estavam sendo construídas ou reformadas, tornando-as verdadeiras usinas solares. A seguir são apresentadas as características de três deles: O Estádio Governador Magalhães Pinto, mais conhecido como Mineirão, em Belo Horizonte, o Itaipava Arena Pernambuco, localizado em São Lourenço da Mata, na Região Metropolitana de Recife e o Estádio do Maracanã, na cidade do Rio de Janeiro.

1. Mineirão

O Mineirão se tornou o primeiro estádio brasileiro a adotar princípios da construção sustentável e a receber o Selo “Platinum” do *U. S. Green Building Council* (USGBC), categoria máxima na certificação *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED). A arena de Belo Horizonte, reformada para a Copa do Mundo, cumpriu oito itens considerados pré-requisitos e ainda apresentou inovações sustentáveis que não eram exigidas pelo USGBC para conquistar a graduação.

Como parte das iniciativas sustentáveis, foram instalados 5.910 painéis solares com potência de 240 Wp por painel (240 Watt-pico). Ocupando uma área útil da cobertura do estádio, de 11.500 m² -- a maior usina em cobertura do País e uma das maiores instaladas em arenas esportivas do mundo. A construção de todo o sistema ocupa 88 segmentos, dispostos de forma radial, sendo invisível aos olhos do torcedor, respeitando a arquitetura do estádio, que é tombada pelo patrimônio histórico.

A Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig), em parceria com a Minas Arena e o banco alemão KfW, responsáveis pelo projeto, informam que os módulos tem potência de até 1,6 megawatt e que 10% da energia gerada retorna para ser utilizada dentro do próprio estádio. O investimento foi de R\$ 15 milhões de reais, com 80% financiado pelo banco alemão e a energia gerada será de 1.825 MWh/ano, suficiente para abastecer cerca de 1.200 residências de médio porte. (Jornal da Energia, 2014).

2. Itaipava Arena Pernambuco

Sede de cinco jogos da Copa do Mundo FIFA Brasil 2014, a Usina Solar São Lourenço da está situada em um terreno de 15 mil m², anexo a Itaipava Arena Pernambuco, a

tem potência instalada de 1 megawatt pico (MW/p), capacidade suficiente para gerar 1.500 MW/h por ano, o que equivale ao consumo de seis mil habitantes. A unidade é responsável por até 30% da energia consumida pelo estádio (Metalica, 2014).

O trabalho foi feito pela Odebrecht Energia e pela Neoenergia (grupo controlador da Companhia Energética de Pernambuco), responsáveis pelo investimento de cerca de R\$ 13 milhões. O projeto executivo e a instalação da usina solar fotovoltaica foram construídos sob responsabilidade da Gehrlicher Ecoluz Solar do Brasil, uma associação entre a brasileira Ecoluz Participações e a alemã Gehrlicher AG. O sistema é formado por 3.652 painéis fotovoltaicos que captam a energia do sol e a convertem, com o auxílio de um inversor, em energia tradicionalmente usada em indústrias e residências. A energia produzida é entregue ao sistema elétrico do estádio e o que não for utilizado pela arena será injetado na rede de distribuição da Celpe.

3. Maracanã Solar

O lendário estádio do Maracanã também passa a contar agora com uma usina fotovoltaica, instalada com investimentos privados no valor de R\$ 12 milhões, a partir de parceria entre a Light Esco, braço de soluções energéticas do Grupo Light, o Grupo EDF – Electricité de France e o Programa Rio Capital da Energia – lançado pelo Governo do Estado do Rio em 2011. Este tem como objetivo incentivar iniciativas na área de energia sustentável que estejam relacionadas a economia verde, inovação tecnológica e eficiência energética. Segundo o programa, o projeto evita o despejo de 2.560 toneladas de gás carbônico na atmosfera por ano e auxilia na redução do consumo de energia do estádio (Maracanã Solar, 2014).

Para a construção do sistema, foi instalada estrutura metálica de 183 toneladas sobre o anel de compressão, que suporta a nova cobertura de lona tensionada do estádio. São 1.552 módulos fotovoltaicos, totalizando uma área de 2.380 m². A usina tem uma potência instalada de 400 kW pico, podendo atingir uma geração de 500 MWh por ano, o equivalente ao consumo anual de 240 residências. Dessa forma, o Maracanã Solar participará ativamente da iluminação dos grandes eventos que ocorrerão no estádio daqui pra frente.

CONCLUSÃO

■ As iniciativas na área de energia solar cresceram nos últimos cinco anos no Brasil, mas ainda estão longe de usar todo o potencial do país, especialmente

quando comparado com os outros países com muito menos irradiação. Estudos do Ministério de Minas e Energia (MME) de 2013 previam que o custo da energia do sol deve cair até 45% até 2018. O custo da época que estaria estimado em R\$280 a 300 por megawatt-hora (MWh) poderia cair para R\$165 MWh dentro de cinco anos. De acordo com o MME, esta redução contribuiria para que a energia solar participasse de forma competitiva nos leilões de eletricidade dentro de alguns anos (Magnabosco, 2013).

Mesmo com todas as dificuldades vimos investimentos de grande porte acontecerem, como a usina solar instalada pela Eletrosul, na cidade de Florianópolis (SC), que teve autorização da ANEEL para operar comercialmente a partir de setembro de 2014. A unidade conhecida como Megawatt Solar, tem potência instalada de 1 megawatt-pico (MWp) e pode produzir aproximadamente 1,2 gigawatts-hora (GWh) de energia por ano. Formada por 4,2 mil módulos fotovoltaicos, demandou um investimento total de R\$ 9,5 milhões, recurso proveniente de financiamento feito pelo banco de fomento alemão KfW. Em outubro de 2014, a Eletrosul anunciou seu primeiro leilão de energia solar fotovoltaica onde serão comercializados 800 MWh/ano, divididos em 16 lotes de 50 MWh/ano, com início de suprimento em janeiro de 2015 e duração de 10 anos. O preço mínimo foi estipulado em R\$ 280,00/MWh (Petronotícias, 2014).

Se por um lado o governo deixou de cumprir com algumas de suas metas solares, quando em 2010 anunciou o plano elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) para instalar coletores solares para chuveiros até o fim de 2014, em dois milhões de casas do Minha Casa Minha Vida, sendo que apenas 215.945 residências contam com o sistema até agora, ou seja, 10,8% da meta, segundo a Caixa Econômica (Batista e Freitas, 2014). Por outro lado o anúncio do BNDES (Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social) em fomentar a indústria de geração solar em grande escala no país, com juros subsidiados e regras flexibilizadas, fez com que um grande número de empresas entrasse no leilão de outubro da EPE (Empresa de Pesquisa Energética). Os juros baixos anunciados de 2,3% a 5,5% ao ano, bem menor que a inflação que está em 6,5%, em 12 meses, estimulou a entrada de 400 projetos de energia solar com capacidade de geração de 10 mil MW no leilão – quase uma usina de Belo Monte em operação a plena carga (Soares, 2014).

Há interesse de empresas estrangeiras e nacionais em investir em novos projetos solares, no entanto algumas barreiras ainda impedem o avanço do setor. Uma delas é que alguns dos componentes mais importantes de uma usina solar são importados. Neste sentido, a ação do BNDES pode ser o início de uma

nova era da energia solar no Brasil. Nas novas regras de financiamento são oferecidas alternativas flexíveis de nacionalização, com uma relação mínima de componentes e processos produtivos exigidos para o credenciamento e manutenção no CFI (Credenciamento Informatizado de Fabricantes) do BNDES. Há também uma relação de itens eletivos, que incentivam e premiam o aumento do conteúdo nacional.

Essa nova metodologia permitirá ao Brasil o desenvolvimento de uma cadeia industrial para fabricação de componentes fotovoltaicos atualmente inexistente. Outros benefícios são o incentivo à fabricação de componentes e equipamentos de alto teor tecnológico no País e a atração de novos investimentos nacionais e estrangeiros em território brasileiro para o fornecimento de insumos e componentes em qualquer etapa do processo produtivo. Assim, deixa-se de considerar a apuração do índice de nacionalização, tradicionalmente calculado com base no peso e no valor do equipamento, como critério de credenciamento, e exige a nacionalização progressiva de componentes e processos específicos ao longo do período de implementação do plano (GGN Energia, 2014).

É um começo, mas um programa mais ousado seria estabelecer um planejamento em médio prazo para se fabricar no Brasil as células de silício que compõem um painel fotovoltaico, hoje compradas da China que, por sua vez, compra o “silício bruto” do Brasil, dono da maior reserva do mundo. O fato de o Brasil possuir uma das maiores reservas de silício do mundo, faz com que o país seja um local privilegiado para desenvolver uma indústria local de produção de células fotovoltaicas gerando empregos e retornos em impostos pagos. Para isso, seria preciso investir em pesquisas para desenvolver um conhecimento de purificação do silício até o chamado ‘grau solar’, que é superior ao do silício empregado na siderurgia.

Também não são todos os contribuintes que estão dispostos a desembolsar no mínimo R\$20 mil para instalação de um SFVCR, além da tributação do setor, que “pune” quem opta pela autogeração, com a cobrança do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) da energia enviada à rede, com exceção de Minas Gerais. Atualmente, segundo a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSolar) o país tem apenas 2,2 megawatts (MW) instalados com os microgeradores residenciais (Batista; Freitas, 2014)

De imediato, para acelerar o uso da energia solar em residências e construções energeticamente mais eficientes no país, o governo poderia estabelecer uma política de incentivo em nível nacional, criando subsídios e isenções fiscais, para aliviar a tributação do setor, como fez a Alemanha ao longo de mais de

40 anos. Hoje o país é líder mundial do setor com mais de 30% da capacidade solar fotovoltaica instalada no Planeta. São cerca de 8,5 milhões de pessoas que vivem em edifícios e casas com sistemas de energia solar, segundo o *Solar Industry Association* (BSW-Solar), ou seja, um em cada 10 alemães já usa energia solar para gerar eletricidade ou calor.

Esta política de incentivo pode ajudar a evitar para os próximos anos o que aconteceu no verão de 2014 quando as altas temperaturas e os baixos níveis dos reservatórios do Sudeste, região que concentra a maior parcela de geração de energia, exigiu o acionamento das usinas térmicas, uma energia mais cara que o governo teve de financiar. Ressalta-se que além do custo, que agora está sendo repassado ao consumidor (estima-se que este aumento pode chegar a 30% na conta do contribuinte em 2015), se deve contabilizar o aumento de emissões de carbono na atmosfera.

ELOY F. CASAGRANDE JUNIOR · PhD, Professor do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia (PPGTE), do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC), do Departamento Acadêmico de Construção Civil (DACOC) e coordenador do Escritório Verde da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

REFERÊNCIAS

- AMÉRICA DO SOL. Sistemas fotovoltaicos. Acesso em 09/10/2014. Disponível em http://www.americadosol.org/energia_fotovoltaica/sistemas-fotovoltaicos/
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa n° 482/2012. Acesso em 07/10/2014. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/cedoc/bren2012482.pdf>
- BATISTA, H. G, FREITAS, A. Governo cumpre apenas 10,8% da meta de 2 milhões de casas populares com aquecimento solar. *Jornal O Globo*, 12/05/2014. Acesso em 08/10/2014. Disponível em: <http://oglobo.globo.com/economia/governo-cumpre-apenas-108-da-meta-de-2-milhoes-de-casas-populares-com-aquecimento-solar-12457589#ixzz3Fxtcbwv>
- CASAGRANDE J., URBANETZ, JR. Uma usina solar no centro de Curitiba. Acesso em 08/10/2014. Artigo Caderno Opinião – *Jornal Gazeta do Povo: Curitiba*, 13 de agosto de 2014. Disponível em <http://www.gazetadopovo.com.br/opiniao/conteudo.phtml?id=1490842&tit=Uma-usina-solar-no-Centro-de-Curitiba>
- CASA EFICIENTE – Consumo e Geração de Energia. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE), UFSC, Florianópolis, 2010. Acesso em 05/10/2014. Disponível em http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/livros/CasaEficiente_vol_II_WEB.pdf
- CICLOVIVO. Maior usina solar térmica do mundo é inaugurada na Califórnia. Acesso em 09/10/2014. Disponível em <http://ciclovivo.com.br/noticia/maior-usina-solar-termica-do-mundo-e-inaugurada-na-california>
- CONEXÃO LIGHT. Maracanã Solar – Energia limpa no palco do final da Copa 2014. Acesso em 06/10/2014. Disponível em: <http://conexaolight.com.br/01/maracana-solar-energia-limpa-no-palco-da-final-da-copa-de-2014/>
- DASOL – Departamento Nacional de Aquecimento Solar da ABRAVA. Energia Solar térmica e suas tecnologias. Acesso em 06/10/2014. Disponível em <http://www.dasolabrava.org.br/2014/02/energia-solar-termica-e-suas-tecnologias/>
- ELETROSUL. Casa eficiente. Galeria de imagens. Acesso em 05/10/2014. Disponível em <http://www.eletrosul.gov.br/casaeficiente/br/home/conteudo.php?cd=63&galeria=51#>
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2013 / Ano base 2012: Rio de Janeiro, 2013.
- EPPIA – European Photovoltaic Industry Association. Global Market Outlook for Photovoltaics 2013-2017. Acesso em 08/10/2014. Disponível em http://www.epia.org/fileadmin/user_upload/Publications/GMO_2013_-_Final_PDF.pdf
- ESCRITÓRIO VERDE. Disponível em <http://www.escriptorioverdeonline.com.br>, 2013.
- GGN Energia. BNDES define condições de apoio a vencedores de leilão de energia solar. 13 de outubro de 2014. Acesso em 13/10/2014. Disponível em <http://jornalggm.com.br/blog/roberto-sao-paulo-sp-2014/bndes-define-condicoes-de-apoio-a-vencedores-de-leilao-de-energia-solar>
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Atlas Brasileiro de Energia Solar: São José dos Campos, 2006. Acesso em 04/10/2014. Disponível em http://www.ccst.inpe.br/wp-content/themes/ccst-2.0/pdf/atlas_solar-reduced.pdf

JORNAL DA ENERGIA. Mineirão é o primeiro estádio com energia solar da Copa do Mundo. 07 de maio de 2014, São Paulo. Acesso em 05/10/2014. Disponível em http://jornal-daenergia.com.br/ler_noticia.php?id_noticia=16810&id_secao=8

MAGNABOSCO, A. Custo de energia solar deve cair até 45% até 2018, prevê governo. Jornal O Estado de São Paulo, 02 de julho de 2013. Acesso em 04/10/2014. Disponível em <http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,custo-da-energia-solar-deve-cair-45-ate-2018-preve-governo,158153e>

MARACANÁ SOLAR. Portal Rio Capital da Energia. Governo do Rio de Janeiro. Acesso em 07/10/2014. Disponível em <http://www.riocapitaldaenergia.rj.gov.br/site/conteudo/Projeto.aspx?C=%2BiV9Mutj%2Brg%3D>

MARQUES, F. M. R. Perspectivas para energia solar no Brasil. Revista BSP: São Paulo, Julho 2014. Acesso em 08/10/2014. Disponível em <http://www.revistabsp.com.br/edicao-julho-2014/2014/07/25/perspectivas-para-a-energia-solar-no-brasil/>

MMA – Ministério do Meio Ambiente. Energia Solar. Acesso em 08/10/2014. Disponível em <http://www.mma.gov.br/clima/energia/energias-renovaveis/energia-solar>

METALICA. Energia solar no estádios da copa – Parte 2. Acesso em 05/10/2014. Disponível em <http://www.metalica.com.br/energia-solar-nos-estadios-da-copa-parte-2>

PETRONOTÍCIAS. Eletrosul realizará leilão de energia da Usina Megawatt Solar no fim de outubro. Petronotícias, 07 de outubro de 2014. Acesso em 09/10/2014. Disponível em <http://www.petronoticias.com.br/archives/58230>

ROCKMAN, R. Geração Solar ensaia os primeiros passos em estádios. Jornal Valor Econômico, 30 de outubro de 2011. Acesso em 05/10/2014. Disponível em <http://www.valor.com.br/brasil/1077098/geracao-solar-ensaia-os-primeiros-passos-em-estadios>

RÜTHER, R.; VIANA, T. S.; SALAMONI, I.T. Reliability and Long-term Performance of the First Grid-connected, Building-integrated, Amorphous Silicon PV Installation in Brazil. In: Proceedings of the 33rd IEEE Photovoltaic Specialists Conference. San Diego, CA, USA, 2008

SOARES, P. BNDES financiará escala na energia solar. Caderno Mercado da Folha de São Paulo, 12 de outubro de 2014. Acesso em 12/10/2014. Disponível em <http://www1.folha.uol.com.br/fsp/mercado/184244-bndes-financiara-escala-na-energia-solar.shtml>

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina. UFSC comemora 16 anos de geração solar de energia elétrica. Notícias da UFSC: Florianópolis, 16 de setembro de 2013. Acesso em 05/10/2014. Disponível em <http://noticias.ufsc.br/2013/09/ufsc-comemora-16-anos-de-geracao-solar-de-energia-eletrica/>

URBANETZ JR., J, CASAGRANDE JR., E. F., TIEPOLO, G. M. Acompanhamento do Desempenho do Sistema Fotovoltaico Conectado À Rede Elétrica do Escritório Verde da UTFPR. IX CBPE – Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, 25 a 27 de agosto de 2014, Florianópolis, SC