



**Conceitos básicos de sistemas solares fotovoltaicos**  
*Basic concepts of solar photovoltaic systems*

Recebido em 03.07.2017. Aprovado em 01.12.2017



**Edwin Gabriel Carvalho de Oliveira**

Universidade Federal de Pernambuco | \*edywinoliveira@recife.ifpe.edu.br

**Alvaro Antonio Ochoa Villa; José Ângelo Peixoto da Costa**

Instituto Federal de Pernambuco

105

**RESUMO**

*Este trabalho tem como objetivo apresentar uma visão técnica básica dos conceitos direcionados a sistemas solares fotovoltaicos. O sistema tem a finalidade de converter luz diretamente em energia elétrica através do efeito fotovoltaico, as células fotovoltaicas são fabricadas com materiais semicondutores onde o silício é um dos elementos mais utilizados por estar presente em abundância na natureza. O processo de fabricação dos módulos fotovoltaicos é de extrema importância para conhecimento das características elétricas, mecânicas e a eficiência das diferentes tecnologias. O efeito da temperatura no arranjo fotovoltaico é relevante no dimensionamento de todo o sistema. Os inversores de aplicação fotovoltaica exerce um papel fundamental, eles serão responsáveis por preparar a energia gerada pelo arranjo fotovoltaico para sua utilização conectada ou não na rede elétrica. Os quadros elétricos são responsáveis por proteger os módulos fotovoltaicos e a energia advinda dos inversores, assim como o cabeamento usado na transmissão de energia elétrica. Esses equipamentos e instalações seguem referências normativas nacionais e internacionais que são exigidas pelas concessionárias para instalação segura e eficiente do sistema. Todos esses conceitos são de extrema importância no dimensionamento do sistema solar fotovoltaico.*

*PALAVRAS-CHAVE: Energia: fontes alternativas, energia solar fotovoltaica, geração distribuída, inversor solar.*

**ABSTRACT**

*This work aims to present a basic technical vision of the concepts directed to the solar photovoltaic systems. The system has the purpose of converting light directly into electrical energy through the photovoltaic effect, the photovoltaic cells are manufactured with semiconductor materials where silicon is one of the most used elements, for being present in abundance in the nature. The manufacturing process of the photovoltaic modules is extremely important for the knowledge of the electrical, mechanical and the efficiency of the different technologies. The effect of the temperature on the photovoltaic array is relevant in the design of the whole system. The photovoltaic inverters play a fundamental role, they will be responsible for preparing the energy generated by the photovoltaic arrangement for its use connected or not in the electric system. The electrical boards are responsible for protecting the photovoltaic modules and the energy coming from the inverters, as well as the cabling used in the transmission of electric energy. These equipment and installations follow national and international normative references that are required by the concessionaires for safe and efficient installation of the system. All of these concepts are extremely important in the scalling of the photovoltaic solar system. edywinoliveira@recife.ifpe.edu.br*

*KEY WORDS: Energy: alternative sources, photovoltaic solar energy, distributed generation, solar inverter.*

**INTRODUÇÃO**

Toda e qualquer atividade em nossa sociedade cada vez mais em desenvolvimento utiliza-se de um ou mais tipo de energia, surgindo assim a necessidade de utilizá-la de uma maneira inteligente e eficaz.

Entre as diferentes formas de energia existentes a mais utilizada é a energia elétrica, por ser muito utilizada pela sociedade e colocada à disposição dos consumidores onde e quando necessária.

Pode-se afirmar que a energia elétrica é de vital importância para o bem-estar do ser humano e para o desenvolvimento econômico no mundo contemporâneo em que vivemos. A maneira que se utilize este bem se possibilita uma melhor qualidade de vida resultando em crescimento econômico, empregos e competitividade. O surgimento nesta década de um quadro de dificuldades para o atendimento do mercado

de energia elétrica fez com que as empresas repensassem em como usar bem a energia, de forma inteligente, para gerir adequadamente as demandas e melhorar a produtividade em qualquer contexto, com benefícios ambientais e econômicos.

Hoje em dia mais de 98% de nossa energia procede de combustíveis fósseis: carvão, petróleo e gás natural. Por mais importantes que sejam as reservas de combustíveis fósseis são limitadas e, como a interrupção do consumo é praticamente impossível, o ritmo atual de exploração de tais combustíveis é insustentável.

A utilização terrestre da energia solar fotovoltaica foi estimulada a partir da crise do petróleo do início da década de 1970, ocasião em que o mundo ocidental percebeu que os recursos naturais eram finitos. Paralelamente ao surgimento dos movimentos ecológicos, a pesquisa e o desenvolvimento de formas alternativas de energia tiveram um grande incentivo.

Sendo necessário a pesquisa e um estudo de construções que utilizem formas alternativas de geração de energia, dentre elas a energia solar.

O uso de painéis fotovoltaicos para geração de energia solar é o que mais cresce no mundo, sendo este o mais promissor para que um dia a energia solar venha a se tornar de maior predominância nos diferentes países do mundo. De acordo com Carvalho (2014), ao contrário do que se pode pensar, a energia solar não necessita de sol forte para que consiga obter êxito, prova disso é a Alemanha, que em 2013 estabeleceu recorde mundial em produção de energia solar com um total de 5,1 Terawatts-hora (TWh), um número que nenhum país havia alcançado ainda, tanto que o recorde anterior era dos Estados Unidos, que era de 0,764 TWh em maio de 2013.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

O Brasil possui um grande potencial de energia solar, que poderia ser utilizado para trazer desenvolvimento às diversas regiões, porém seu custo ainda é alto em comparação com as outras formas de energia elétrica. (MARTINS; PEREIRA; ECHER, 2004). Recebe altos níveis de radiação solar durante todo o ano. Colle e Pereira (2000, p. 97) explicam que a distribuição média diária da radiação global do Brasil são as seguintes: “Norte 5.462 Wh/m<sup>2</sup>; Nordeste 5.688 Wh/m<sup>2</sup>; Centroeste 5.630 Wh/m<sup>2</sup>; Sudeste 5.478 Wh/m<sup>2</sup>; Sul 5.015 Wh/m<sup>2</sup>.”

Observa-se que o índice de radiação solar no país é maior na região nordeste, porém as outras regiões também representam potencial de aproveitamento energético, com o cenário propício ao uso da tecnologia os conceitos das partes integrantes do sistema são de essenciais para o desenvolvimento do projeto.

### **2.1 Painéis fotovoltaicos**

Através das reações nucleares que se produz no interior do Sol, este irradia energia sob a forma de luz e calor para o espaço. Porém, nem toda essa energia chega ao planeta Terra, o que se deve aos vários

fatores como: os efeitos de absorção e reflexão na atmosfera, a variação da umidade, presença de nuvens, pó, a latitude do local e até a estação do ano. Estima-se que, apesar disso, em média, a superfície terrestre receberá anualmente  $1,5 \times 10^{18}$  kW/h de energia solar, o que corresponde a cerca de 10.000 vezes o consumo mundial de energia. Dessa forma justifica-se a aplicabilidade e funcionalidade de elementos fotovoltaicos como fonte de energia. (TEIXEIRA, 2012).

Conceituam-se painéis fotovoltaicos como sendo a utilização de dispositivos para converter a energia proveniente da luz solar em energia elétrica. Os painéis ou sistema fotovoltaico, geralmente, são constituídos por células fotovoltaicas, caracterizando-se o elemento mais importante do sistema e, que ainda é composto por inversores, baterias e controladores/reguladores de carga.

A partir dos processos que se desenvolvem ao nível atômico dos materiais pelos quais são constituídas, as células convertem radiação solar em eletricidade. A corrente elétrica é produzida pelas camadas de material semicondutor, as quais compõem as células fotovoltaicas.

Discorrendo sobre o surgimento dos painéis fotovoltaicos na geração de energia, tem-se que no ano de 1839, o físico francês Alexandre-Edmond Becquerel, fazia experiências com a luz solar, quando aconteceu um efeito num eletrólito, que consistia no aparecimento de uma “diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção de luz”. Destaca-se que o efeito ocorreu em decorrência de placas metálicas, de platina ou prata, terem sido mergulhadas em um eletrólito, apresentando uma diferença de potencial quando exposta à luz. (VALLÈRA; BRITO, 2006).

Assim, a célula fotovoltaica é o local onde ocorre a conversão da radiação solar em corrente elétrica através do efeito fotoelétrico ilustrado pela Figura 1, que ocorre quando um elétron salta para uma órbita mais externa por conta da incidência de luz sobre a célula. O efeito fotovoltaico consiste no surgimento de uma tensão elétrica, a partir da inserção de luz na junção entre dois materiais semicondutores, os silícios tipo P e N, ambos de propriedades elétricas diferentes. (CHAVAGLIA, 2010).

Figura 1. Efeito fotoelétrico em módulos fotovoltaicos



Fonte: CHAVAGLIA, 2010.

Segundo Ghensev (2006), entre os diversos materiais utilizados para a fabricação das células, destacam-se as 24 células que empregam a tecnologia de silício cristalino (c-Si), que podem ser de dois tipos: silício monocristalino (mc-Si) e o silício policristalino (pc-Si). Dentre os outros tipos de tecnologia fotovoltaica pode-se citar os chamados filmes finos, como o silício amorfo (a-Si) e o arseneto de gálio (GaAs) e os compostos policristalinos, como o telureto de cádmio (CdTe) e o disseleneto de cobre e índio (CuInSe<sub>2</sub>).

Muñiz e García (2006) afirmam que o silício é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre, e é extraído na forma de dióxido de silício (SiO<sub>2</sub>). Em seguida, o SiO<sub>2</sub> é submetido a dois processos: a redução e a purificação. A redução consiste em adicionar carbono em altas temperaturas. De acordo com os autores, o produto resultante deste processo é um silício com uma pureza de 98%, mas ainda não pode ser utilizado nas células FV, pois o silício necessita com uma pureza de 99,99%. Para chegar à pureza necessária, o silício é submetido ao processo de purificação onde ele é tratado quimicamente para a obtenção do nível de pureza necessário.

Os painéis fotovoltaicos possuem características específicas dentro dos parâmetros elétricos, térmicos ou mecânicos e suas medidas obedecem às condições de referência – STC -Standard-Test-Conditions (condições de teste standard), pelos fabricantes e disponibilizadas na forma de fichas técnicas específicas. Vale ressaltar que na realidade, as condições de referência dificilmente acontecem. Portanto, conforme menciona Carneiro (2010, p. 5) ainda que “um módulo fotovoltaico opere num cenário que eventualmente se caracterize por uma temperatura do ar igual a 25°C, a temperatura do módulo será superior”. Por este motivo, muitas vezes é especificada a temperatura nominal de funcionamento (do Inglês, nominal operating cell temperature, NOCT) do módulo fotovoltaico. Carneiro (2010, p. 5) destaca ainda que:

A temperatura nominal de funcionamento é definida como sendo a temperatura atingida pelas células de um módulo quando sujeitas às seguintes condições: - Intensidade da radiação solar incidente na superfície = 800 W/m<sup>2</sup>; - Temperatura do ar = 20°C; - Velocidade do vento = 1m/s.

No que diz respeito às características físicas e mecânicas afirma-se que um painel fotovoltaico pode apresentar-se nas formas retangular ou quadrada. Geralmente possuem uma área compreendida entre 0,1 e 0,5 m<sup>2</sup> e sem contar com o encaixe que o rodeia, tem uma espessura de 3 cm. Seu peso varia entre 6 e 7 kg o que os torna relativamente leve em relação ao seu tamanho. Estes painéis estão sempre submetidos a adequações aos espaços mecânicos e por isso têm a capacidade de se deformar.

Os painéis fotovoltaicos são formados por vários materiais conforme descritos a seguir:

- Uma cobertura de vidro temperado ou de materiais orgânicos;
- Várias camadas de silicone, com objetivo de protegê-lo de sua degradação, face a sua delicadeza. Estas camadas de silicone possuem características apropriadas para sua função, pois já são transparentes, não perdem as suas propriedades, repelem a água e permitem que o material respire mantendo um teor de umidade muito baixo e ainda têm um preço acessível;

- Várias camadas protetoras (normalmente de vidro), sendo melhores que as opacas ou de cor clara, pois refletem a luz que atravessam as células, regressando à parte frontal, para depois voltar a ser refletida e assim ser aproveitada novamente;
- Um encaixe de aço inox que segure no conjunto, com os furos adequados, assim como com todos os parafusos e fixações necessárias para a sua estabilidade perfeita.

Importante ressaltar que em alguns painéis fotovoltaicos a tomada de terra já vem incorporada. Porém em instalações em série e que a potência obtida poderá vir a ser elevado, a tomada precisa ser instalada de forma adequada.

Em relação às características elétricas, nas instalações de painéis fotovoltaicos, a radiação solar standard é de 1.000 watts/m<sup>2</sup> (ou intensidade de um Sol à temperatura de 25°C), simulando-se no laboratório com focos apropriados, pelo que as condições reais de trabalho podem variar muito se comparando com as do laboratório. (PRESENÇO, 2007). Portanto, deve-se atentar para as alterações que poderão surgir, corrigindo-se os cálculos prévios no painel específico. Cada painel possui a curva característica do nosso painel, e por esse motivo ocorrem sobre este, efeitos de agentes externos e que devem ser determinados.

No que diz respeito à Física das células fotovoltaicas, destaca-se o uso de materiais semicondutores que, são à base da indústria eletrônica, recebendo esta nomenclatura por não serem totalmente isolantes, mas também não serem bons condutores, tendo suas características elétricas alteradas se for adicionados a ele átomos diferentes.

Conforme explica Nascimento (2004) é essa adição de átomos que possibilita o funcionamento das placas fotovoltaicas, sendo cada célula composta por silício tipo N e tipo P. O tipo N se configura como o silício com adição de átomos de fósforo, obtendo-se, a partir disso, um material com elétrons livres ou materiais com carga negativa. Enquanto o silício do tipo P tem-se a adição de átomos de Boro, obtendo-se falta de elétrons ou materiais com cargas positivas livres. Destaca-se que o campo elétrico somente é formado com a junção das duas placas, que ao receber luz, faz com que os fótons choquem-se com outros elétrons da estrutura fornecendo-lhes energia e transformando-os em condutores. Outro fator importante de se mencionar é que uma célula fotovoltaica não armazena energia elétrica apenas mantendo um fluxo de elétrons estabelecidos num circuito elétrico enquanto houver incidência de luz sobre ela, variando na mesma proporção da luz incidente.

Para que seja possível o aproveitamento da energia para a rede ou para aplicações domésticas, é necessário utilizar o inversor para converter a corrente DC (corrente contínua) em AC (Corrente Alternada). As células fotovoltaicas têm um poder de produção limitado, e para que estas possam obter potências superiores, estas passam a ser conectadas em série ou em paralelo formando módulos fotovoltaicos conforme Figura 2. Na associação série observa-se pela Equação 1 e 2 o somatório das tensões de cada módulo e a invariância da corrente, enquanto na associação paralela o somatório das correntes e a invariância das tensões demonstradas pelas Equações 3 e 4.

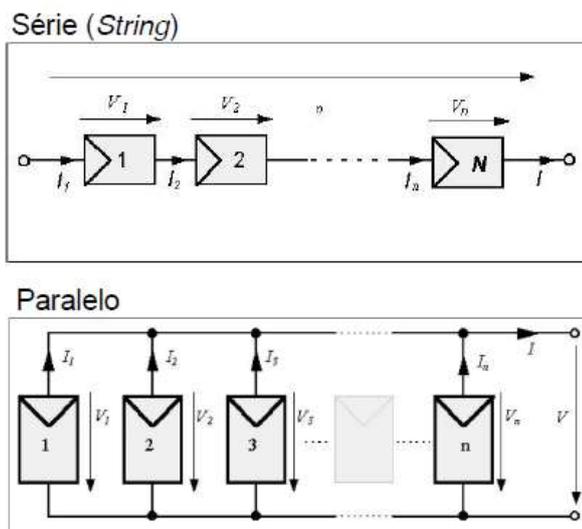
$$\sum_{i=0}^n V_i = V_{pv} \quad (1)$$

$$I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n = I_{pv} \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n I_i = I_{pv} \quad (3)$$

$$V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_n = V_{pv} \quad (4)$$

Figura 2. Associação série e paralelo de módulos fotovoltaicos



Fonte: Treinamento em Energia Solar Fotovoltaica – WEG Equipamentos Elétricos, 2016

O rendimento produtivo é fortemente condicionado por vários fatores como o estado da superfície de absorção (normalmente vidro), pela temperatura da célula, pelas condições de luminosidade, etc. Para que se possa manter um rendimento constante as células são encapsuladas normalmente entre um módulo de vidro e um fundo para evitar a sua degradação por fatores atmosféricos como o vento, a chuva, poeiras, umidade ou vapor. No que se diz respeito a garantias de funcionamento, atualmente os sistemas fotovoltaicos oferecem garantias mínimas de 80% do seu rendimento inicial até 25 anos, sendo que a partir desse prazo é possível sua reciclagem (MORAIS, 2009).

As características elétricas dos módulos variam com a temperatura, com isso cada fabricante é responsável por informar na ficha técnica do produto os coeficientes de temperatura.

Figura 3. Coeficientes de temperatura

Temperature Characteristics		
Temperature Coefficient	Pmax	-0.43%/°C
	Voc	-0.34%/°C
	Isc	0.065%/°C
	Vmp	-0.42%/°C

Fonte: Treinamento em Energia Solar Fotovoltaica – WEG Equipamentos Elétricos, 2016

Dados os coeficientes de temperatura deve-se analisar corretamente o número de módulos por série, de forma a não colocarmos em excesso e queimar a entrada por sobretensão ou colocarmos em falta provocando um comportamento ineficiente no inversor. As Equações 5 e 6 reúne informações fornecidas pelo fabricante de um módulo solar fotovoltaico ilustrada nas figuras 2 e 3.

Figura 4. Coeficientes de temperatura

ELECTRICAL DATA   STC*	
Electrical Data C56P	260P
Nominal Max. Power (Pmax)	260 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	30,4 V
Opt. Operating Current (Imp)	8,56 A
Open Circuit Voltage (Voc)	37,5 V
Short Circuit Current (Isc)	9,12 A
Module Efficiency	16,16%
Operating Temperature	-40°C – +85°C
Max. System Voltage	1000 V (IEC) or 1000 V (UL)
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)
Max. Series Fuse Rating	15 A
Application Classification	Class A
Power Tolerance	0 – + 5 W

\* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m<sup>2</sup>, spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

Fonte: Treinamento em Energia Solar Fotovoltaica – WEG Equipamentos Elétricos, 2016

$$V_{min} = \text{Numero de módulos} \times V_{mp} \times (1 - \beta_{vmp} \times (25 - T_{max})) \quad (5)$$

$$V_{m\acute{a}x} = \text{Numero de módulos} \times V_{oc} \times (1 - \beta_{voc} \times (25 - T_{min})) \quad (6)$$

## 2.2 Inversores de aplicação fotovoltaica

Dentre as tecnologias conhecidas pode-se classificar tipos diferentes de inversores de aplicação fotovoltaica. Todos eles têm a função de preparar a energia do módulo fotovoltaica e aplica-la na configuração estabelecida em projeto.

Os inversores On Grid ou Grid –Tie, são inversores conectados e sincronizados a rede elétrica de distribuição local. Esse tipo de aplicação tem sido comum nos centros urbanos e também em áreas descampadas, esse modelo trás vantagens de redução da conta de energia pois todo excedente gerado é contabilizado pela distribuidora e devolvido em crédito para o consumidor além do alívio dos sistema de distribuição.

Inversores isolados com acumulação prepara a energia advinda do arranjo fotovoltaico para a utilização sem que esteja conectado a rede, toda energia gerada é consumida e armazenada em banco de baterias, podendo atender áreas remotas onde não se tem rede de distribuição. Uma desvantagem desse sistema é o desperdício de energia enquanto não houver consumo.

Os isolados sem acumulação utiliza a energia gerada de forma instantânea sem que esteja conectado ou sincronizado com a rede, a energia é gerada e consumida no mesmo instante, aplicada geralmente em bombas para fluidos.

### **2.3 Quadros elétricos fotovoltaicos**

Os quadros elétricos de sistemas fotovoltaicos são responsáveis por conectar e proteger as séries de módulos fotovoltaicos, preparando-as para o inversor podendo ou não medir grandezas referentes a geração por séries.

Dentro dos quadros conhecidos com String-Box que são responsáveis por proteger todo sistema a montante do inversor, serão encontrados os dispositivos de proteção para curtos-circuitos e descargas atmosféricas, já os quadros conhecidos com QDCA serão responsáveis pela proteção do sistema a jusante do inversor, protegendo também contra curtos-circuitos, descargas atmosféricas e sobrecorrente, a critério do projeto pode-se ainda implementar um quadro que servirá de estação meteorológica, onde as informações como: medição de velocidade do vento, medição de temperatura ambiente, medição de temperatura do módulo serão enviadas para um datalogger que se comunicam geralmente via RS485/Wi-Fi/Ethernet com os sensores.

### **2.4 Referências normativas e segurança nas instalações**

Todos os equipamentos e instalações que envolvem sistema solar fotovoltaico é regido por normas nacionais e internacionais.

Módulos fotovoltaicos: de acordo com a portaria nº004- INMETRO deve apresentar a tabela de eficiência energética, os inversores

Para os inversores, de acordo com a portaria nº 271/2015 as concessionárias exigem os seguintes certificados internacionais: IEC 62116 (Anti-Ilhamento); IEC 61727 (Interface com a rede de distribuição); IEC 61000-3-2 (Distorção Harmônica); e dependendo da potência IEC 61000-3-3 (Cintilação)  $I_n < 16 \text{ A}$ ; IEC 61000-3-11 (Cintilação)  $16 \text{ A} < I_n < 75 \text{ A}$ ; IEC 61000-3-5 (Cintilação)  $I_n > 75 \text{ A}$ .

Para instalações residenciais: NBR 5410 Instalações elétricas de baixa tensão; NBR 5419 Proteção de estruturas contra descargas Atmosféricas ; Normas técnicas das concessionárias CELESC / CELPE / COSERN etc.

Normas de conexão com a rede: Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST - Módulo 3; ANEEL 482 (ultimo adendo em 24/11/2015) Estabelece as condições gerais para o acesso de micro geração e mini geração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica.

Novas regras/definições à vigorar em 1º de março de 2016: Micro geração era até 100kW e passou a ser até 75kW; Mini geração era de 100kW até 1MW e passou a ser de 75kW até 5MW; O prazo de validade dos créditos passou de 36 para 60 meses; Condomínio Solar: Empreendimento com múltiplas UC onde a Energia gerada é dividida em % entre condôminos; Auto-Consumo Remoto: Permite aplicar, não somente pelo excedente, mas utilizar a energia gerada em outro estabelecimento de mesma titularidade e concessão; Geração Compartilhada: Consorcio/Cooperativa Solar, no qual vários interessados executam um empreendimento e dividem entre si os créditos em kWh; A distribuidora é responsável técnica e

financeiramente pelo sistema de medição para micro geração distribuída, de acordo com as especificações técnicas do PRODIST; A distribuidora deve disponibilizar, a partir de 1º de janeiro de 2017, sistema eletrônico que permita ao consumidor o envio da solicitação de acesso, de todos os documentos elencados nos..., e o acompanhamento de cada etapa do processo.

## **2.5 Cenários do Brasil**

Atualmente a energia solar fotovoltaica no Brasil é empregada, principalmente, em pequenos sistemas isolados e autônomos instalados em locais não atendidos pela rede elétrica, em regiões de difícil acesso ou onde a instalação de linhas de distribuição de energia elétrica não é economicamente viável.

Num primeiro momento, os sistemas autônomos de energia solar fotovoltaica são uma importante alternativa para a geração de eletricidade em locais em que a rede elétrica convencional não chega. Existem muitos projetos nacionais, de geração fotovoltaica de energia elétrica, sobretudo, para o suprimento de eletricidade em comunidades rurais e ou isoladas do Norte e Nordeste do Brasil. Esses projetos têm como atuação em iluminação pública, bombeamento de água, irrigação, piscicultura; e também para uso doméstico.

A maioria dos sistemas autônomos, instalados no Brasil, precisa de dispositivos para armazenar a energia elétrica, produzida durante o dia, para consumo à noite, entre os quais se enquadram as baterias e controladores de carga. Como a vida útil desses equipamentos é relativamente pequena, precisa-se então da manutenção desses sistemas, destacando o desafio do Programa de Desenvolvimento Energéticos dos Estados e Municípios (PRODEM), que tem como função manter funcionando adequadamente os sistemas após alguns anos de uso, envolvendo a troca de componentes que atingiram o fim da vida útil ou que tenham parado de funcionar. (ABINEE, 2012). A experiência fotovoltaica nacional no atendimento a comunidades isoladas e com o constante apoio do (PRODEEM), entre os quais está a instalação de sistemas de acionamento de bombas d'água em sistemas de irrigação, foi fundamental para uma compreensão mais clara de questões importantes como as dificuldades de implantação dos sistemas, entre elas a logística, a licitação de sistemas, a formação de mão de obra qualificada e a manutenção dos sistemas fotovoltaicos.

Em áreas não remotas, a energia elétrica gerada a partir da energia solar fotovoltaica está conectada na rede elétrica convencional, pois o potencial de exploração dessa energia no Brasil é imenso. Com o surgimento de aplicações em sistemas de micro e mini geração de energia distribuída, e também em parques de geração, atuando como grandes usinas de eletricidade.

O número de sistemas fotovoltaicos, conectados à rede, vem aumentando muito no Brasil. Sua utilização deverá ter um salto extraordinário nos próximos anos, especialmente, com a recente aprovação pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que diz respeito à micro e mini geração com sistemas conectados em baixa tensão alimentados por fontes renováveis de energia.

O setor fotovoltaico brasileiro está começando a crescer gradativamente, por meio de parcerias de empresas interessadas no investimento de fontes alternativas de energia e a Agência Nacional de Energia

Elétrica (ANEEL), incentivadora do uso dessa tecnologia, possibilitando aporte financeiro para a instalação de sistemas fotovoltaicos ligados à rede e sistemas autônomos.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

A energia solar fotovoltaica apresenta mais regularidade no fornecimento de eletricidade do que a energia eólica e pode ser empregada em todo território brasileiro, pois o país é privilegiado com elevadas taxas de irradiação solar em todas as regiões.

A quantidade de energia produzida por um sistema fotovoltaico depende da insolação do local onde ele é instalado. No Brasil, as regiões nordeste e centro-oeste são as que recebem maiores incidência de radiação solar por dia, resultando em grande potencial de aproveitamento dessa energia. Outras regiões brasileiras também possuem boa incidência de radiação solar, sendo o sul do país a região que apresenta a menor insolação. De acordo com Salamoni (2008), o país apresenta uma série de outras vantagens significativas com relação aos países industrializados. Para efeito ilustrativo apresenta-se uma comparação do potencial de radiação solar brasileiro com o potencial alemão para a utilização da energia FV. A Alemanha possui o maior investimento na tecnologia fotovoltaica, sendo a primeira colocada no ranking dos países em potência fotovoltaica instalada.

Analisando a diferença entre a radiação solar no Brasil e da Alemanha veremos que a radiação do Brasil é bem mais significativa do que no território alemão, onde o maior valor em radiação apresenta-se no sul de seu país.

A melhor insolação da Alemanha é cerca de 3.500 Wh/m<sup>2</sup> disponível em uma pequena parte ao sul de seu território e não possui mais que 3.500 Wh/m<sup>2</sup> por dia em radiação. Já o Brasil apresenta valores de insolação na casa dos 6.000 Wh/m<sup>2</sup> diários.

Os sistemas fotovoltaicos podem gerar eletricidade em qualquer espaço onde for possível instalar um painel fotovoltaico. Destaca-se a geração de eletricidade em áreas urbanas e usinas fotovoltaicas poderão ser construídas em área aberta de qualquer dimensão, próximas ou distantes de centros de consumo. As condições climáticas e territoriais de nosso país são extremamente favoráveis para a energia solar fotovoltaica. (SALAMONI, 2008).

Os benefícios trazidos pela tecnologia fotovoltaica de geração de energia solar são indiscutíveis, principalmente pelas questões voltadas para o meio ambiente, todavia, muitos são os obstáculos enfrentados no Brasil para que o uso dessa fonte de energia seja viabilizado. Segundo a ABINEE (2012) na energia solar fotovoltaica podem ser observados benefícios como a confiabilidade, baixo impacto ambiental e a geração de empregos, conforme se descreve no Quadro 1:

Conceitos básicos de sistemas solares fotovoltaicos

Quadro 1- Benefícios com a energia solar fotovoltaica

Possibilidade de sinergia com a carga	Os SFCR's podem atuar em sinergia com o sistema de distribuição, minimizando a carga, como aquela gerada por equipamentos de ar condicionado em centros comerciais.
Baixos impactos ambientais	Não há qualquer emissão de poluentes na produção de energia com esses sistemas. A emissão de poluentes no processo de fabricação das células FV é bastante reduzida e controlada, pois as indústrias têm interesse em preservar a imagem de limpa e amigável ao meio ambiente.
Confiabilidade	Esta tecnologia existe há mais de 50 anos, seu desenvolvimento tem sido contínuo. Os fornecedores oferecem garantia sobre a capacidade de produção mínima dos módulos, em geral superior a 90% da potência inicial após 10 ou 12 anos e de 80% da potência inicial após 20 anos. Essa confiabilidade não representa uma confiabilidade absoluta, pois nem todos os dias são ensolarados e livres de nuvens, assim a instalação FV ainda dependeria da rede de distribuição da concessionária, mas o sistema FV poderia auxiliar no atendimento parcial ou total da demanda, desde que conte com baterias e controladores de carga que permitam o sistema fornecer energia mesmo com a queda da rede.
Geração de empregos	De acordo com a publicação da fundação <i>National Solar Jobs Census</i> (2011), a quantidade de empregos gerados pela indústria é bastante significativa nos EUA. Em 2011, a indústria gerou cerca de 100 mil empregos diretos, onde a maior concentração se deu em empresas de instalação dos sistemas FV. O total instalado nos EUA em 2011, de acordo com o <i>U.S. Solar Market Insight</i> , foi da ordem de 1.855 MW, o que significa uma oferta de 54 empregos por Mw instalado.

Fonte: ABINEE (2012).

Nesse contexto, verifica-se que os benefícios da energia solar fotovoltaica são voltados para questões sociais e ambientais, devendo-se destacar, ainda, a sinergia com a carga, que reduz a carga gerada para os equipamentos.

As oportunidades para energia solar fotovoltaica são reais, principalmente pelo potencial de radiação solar do Brasil que é superior ao de muitos países que são potência de energia solar no mundo.

Quadro 2. Oportunidade para energia solar fotovoltaica no Brasil

O Brasil pode se tornar um potencial produtor de silício grau solar, pois possui uma das maiores reservas de quartzo do mundo;
Devido à localização geográfica do Brasil, seu potencial solar é capaz de viabilizar qualquer projeto;
A CB-SOLAR (Centro Brasileiro de Desenvolvimento de Energia Solar Fotovoltaica), sediado no Rio Grande do Sul, está desenvolvendo uma planta para fabricação de células e módulos FV's;
O LABSOLAR (Laboratório Solar Fotovoltaico), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), promove pesquisas e desenvolvimento de análises do desempenho de instalações FV para locais remotos e conectados à rede elétrica;
O INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial) tem certificação para apoiar a indústria de módulos, inversores e baterias FV's;
O INPI (Instituto Nacional de Propriedade Industrial) poderá auxiliar no desenvolvimento do roadmap (mapa que apresenta os possíveis caminhos de um negócio) de futuros empreendimentos no setor da tecnologia de células FV's;
A Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC) e a CEMIG têm um papel importante nas edificações e no design dos sistemas FV's;
Grupos industriais localizados no Brasil já estão atuando no setor. A DOW CORNING está comercializando silício policristalino purificado, grau solar. A RIMA já comercializa, desde 2010, silício grau solar. A CONERGY, empresa de um grupo alemão, comercializa sistemas fotovoltaicos em todo o país e está a procura de fornecedores e parceiros para colocar em prática, no ano de 2017, o projeto de investimento de 250 a 300 milhões de reais em duas usinas paraibanas. A planta solar da MPX, construída no município de Tatuá, no Ceará, entrou em operação no ano de 2011 e tem capacidade instalada inicial de 1 MW, o suficiente para suprir a necessidade de 1,5 mil famílias. O projeto da MPX já possui autorização da ANEEL para expandir sua capacidade até 5 MW.

Fonte: ABINEE (2012).

As oportunidades, conforme é demonstrado no Quadro 2, são inúmeras, fator que viabiliza a presença da energia fotovoltaica no Brasil, verificando-se o potencial para que o país se utilize dessa tecnologia para atender a demanda energética.

No que diz respeito às barreiras para a ampliação do uso da energia fotovoltaica no Brasil, de acordo com a ABINEE (2012) envolve aspectos éticos, econômicos e regulatórios. Observa-se que tais aspectos precisam ser revistos. Segundo Franco (2014), barreiras como a exigência de licença ambiental, acabam por inviabilizar o projeto do gerador de pequeno porte, por ter que arcar com a contratação de estudos que viabilizem o seu licenciamento.

Nesse contexto, verifica-se que as barreiras para expansão da energia fotovoltaica no Brasil estão relacionadas aos altos custos demandados para implantação dessa tecnologia, domínio tecnológico e mão de obra especializada, além disso, destacam-se questões tributárias que dificultam a uso dessa tecnologia. Ressalta-se que até pouco tempo a regulação da energia solar ainda era uma barreira para expansão do uso dessa tecnologia no Brasil, todavia, esse fator já foi corrigido, para se tenha melhor entendimento, o tópico a seguir traz a legislação vigente em torno do assunto, considerando o Brasil e outros países do mundo.

## **CONCLUSÕES**

O Brasil apresenta condições favoráveis de aproveitamento da produção de energia fotovoltaica, não apenas por sua localização, mas também pela grande disponibilidade de recursos naturais e territoriais, e pelas características do seu sistema elétrico, o que contribui na redução dos elevados custos de transmissão e distribuição por trazer a geração próxima ao consumidor final.

No decorrer deste projeto foram apresentados conceitos, informações e metodologias para auxiliar na elaboração e dimensionamento do projeto voltado para a produção da energia fotovoltaica, servindo como uma base de estudos para aqueles que desejam usufruir dessa nova e promissora tecnologia.

Hoje, a energia solar é considerada uma das mais promissoras fontes de energia alternativas, contudo, existem várias limitações técnicas e econômicas que reduzem a competitividade das usinas solares.

Limitações estas que se relacionam com o elevado preço de equipamentos, fator que torna essa fonte de energia mais cara em relação às convencionais, portanto, menos atrativa para investidores.

Apesar do potencial brasileiro em radiação solar, bastante superior ao da Alemanha, maior potência em energia solar, o país ainda está longe de atingir bons níveis de uso desse tipo de energia, mesmo com o crescimento nos últimos anos.

Neste estudo foi verificada a utilização dos painéis solares em indústrias, onde compreendeu-se que as principais dificuldades estão relacionadas aos altos custos demandados para aquisição e instalação dos equipamentos necessários.

Dessa forma, considerando que os altos custos são os maiores empecilhos para expansão do uso de energia solar, afirma-se serem necessários maiores incentivos do governo e auxílio no financiamento de materiais, além da redução de custos desses equipamentos. Para pesquisas futuras, sugerem-se a avaliação de

impactos da implantação de formas alternativas de energia em todos os tipos de empreendimentos, com estudos de custo-benefício e a análise da viabilidade no uso de energia solar.

A educação com base na formação de cidadãos conscientes sobre a importância de se preservar o meio ambiente é essencial, principalmente no que concerne ao uso das novas tecnologias, através da interdisciplinaridade e da contextualização do ensino voltado para esta área. A educação de um país é a chave para o seu desenvolvimento, e a educação com base na formação do cidadão consciente é essencial para a qualidade de vida da sociedade mundial.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem ao CNPq pelo financiamento do projeto de pesquisa (Universal-402323/2016-5), assim como à FACEPE/CAPES pelo financiamento através do projeto de pesquisa (APQ-0151-3.05/14).

### **REFERÊNCIAS**

ABINEE, Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica. **Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira**. Nota Técnica s/n, jun. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.NBR-5410: **Instalações elétricas de Baixa Tensão**. Rio de Janeiro, 2004.

CARNEIRO, Joaquim. **Electromagnetismo B Módulos Fotovoltaicos**: Características e Associações. 2º Ano do Mestrado Integrado em Engenharia Civil, 1º Semestre, 2010.

CARVALHO, Bosco. Alemanha quebra recorde mundial de geração de energia solar e deixa EUA no chinelo. **Revista Ecológica**, 2014. Disponível em: <http://www.revistaecologica.com/alemanha-quebra-recorde-mundial-de-geracao-de-energia-solar-e-deixa-eua-chinelo/> Acesso em: fev de 2017.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA A ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO (CRESESB). **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL, 1999.

CHAVAGLIA, José. **A energia solar como uma vantagem competitiva em empresas industriais da Amazônia: ganhos de eficiência da empresa e preferências do consumidor**. Dissertação de Mestrado. Lisboa: Instituto Universitário de Lisboa, 2010.

COLLE, Sérgio; PEREIRA, Enio Bueno. **Atlas de radiação solar do Brasil em fontes não convencionais de energia: as tecnologias solar, eólica e de biomassa**. Florianópolis: 2000.

FRANCO, A. P. **Sistemas fotovoltaicos: Contextualização e perspectivas para sua massificação no Brasil**. Monografia. (Pós-Graduação Lato Sensu em Formas Alternativas de Energia). Universidade Federal de Lavras. Minas Gerais, 2014.

GHENSEV, A. **Materiais e processos de fabricação de Células Fotovoltaicas**. Monografia de pós-graduação Lato Sensu, Universidade Federal de Lavras. Lavras, MG, Brasil, 2006.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

MARTINS, Fernando Ramos; PEREIRA, Enio Bueno; ECHER, Maria Pereira de Souza. Levantamento dos recursos de energia solar no Brasil com o emprego de satélite geoestacionário – o Projeto Swera. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 26, n. 2, p. 145 - 159, (2004).

MARKVART, T. **Solar Electricity. England:** John Wiley & Sons, LTD, 2000.

MUÑIZ, Javier María Méndez; GARCÍA, Rafael Cuervo. **Energia Solar Fotovoltaica**. 2. ed. Madrid: Gráficas Marar S.A., 2006.

MORAIS, J. L. **Sistemas Fotovoltaicos: da Teoria à Prática**. Porto: PUBLINDUSTRIA, 2009.

NASCIMENTO, Cássio Araújo do. **Princípio do funcionamento da célula fotovoltaica**. (Monografia) Pós Graduação Latu-Sensu. 2004. Disponível em: <http://www.mundofisico.joinville.udesc.br/index.php?idSecao=110&idSubSecao=0&idTexto=49&pga=busca&termo=semicondutores&pgn=1> Acesso em: fev de 2017.

118

PRESENÇO, J. F. **Desenvolvimento de um sistema de controle para avaliação de fontes de energias renováveis no bombeamento de água**. Tese. (Pós-Graduação Stricto Sensu). Energia na Agricultura. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho- UNESP, Botucatu, 2007.

RÜTHER, Ricardo; SALAMONI, Isabel. O potencial dos setores urbanos brasileiros para a geração de energia solar fotovoltaica de forma integrada às edificações. **Fórum Patrimônio: Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável**, v. 4, n. 1, 2013.

TEIXEIRA, Alexandre Almeida; CARVALHO, Matheus Costa; LEITE, Leonardo Henrique de Melo. Análise de viabilidade para a implantação do sistema de energia solar residencial. **e-Xacta**, v. 4, n. 3, 2012. Treinamento em Energia Solar Fotovoltaica – WEG **Equipamentos Elétricos**, 2016.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA (UFSC). **Laboratório de Energia Solar. Labsolar**. Disponível em: <<http://www.labsolar.ufsc.br>>. Acesso em: 13 mar. 2015.

VALLÊRA, António M.; BRITO, Miguel Centeno. 2006. 6p. Meio século de história fotovoltaica. **Gazeta de Física**, Departamento de Física e Centro de Física da Matéria Condensada (CFMC), Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Campo Grande, Lisboa, 2006.