

ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Eliane ALMEIDA¹; Anna Clara ROSA²; Fernanda Cristina Lima Sales DIAS³; Kathlen Thais Mariotto BRAZ⁴; Luana Teixeira Costa LANA⁵; Olívia Castro do Espírito SANTO⁶; Thays Cristina Bajur SACRAMENTO⁷.

ABSTRACT

The searching for diversification of energetic resources in Brazil has become extremely necessary, due to two main factors. The first one is the current hydric situation in which the country is passing through. Since the significant reduction on rainfall, the power generation by hydroelectric plants has not been sufficient to supply the demand. Therefore, the necessity of using thermoelectric plants instead, has made the price of energy increase. Secondly, the exploration of renewable energy resources that bring flexibility and sustainability. In this scenario, photovoltaic solar energy presents itself as a constantly advancing technology in Brazil and worldwide. Through literature review, this study aims to present the principle of using this energy, considering the equipment and materials applied to the system as well as the efficiency that they can reach. Moreover, there is a larger view of the usage of sunlight to produce electricity through photovoltaic panels and the applications of this technology into specific situations, such as installation in streets lampposts.

Key words: Electricity. Photovoltaics. Sun Light.

RESUMO

A busca pela diversificação da matriz energética brasileira tem se tornado cada vez mais necessária, sendo motivada por dois principais fatores. Primeiramente pelo atual panorama energético, em que, com a diminuição das chuvas e conseqüente redução da energia gerada por hidrelétricas, associado à necessidade da utilização de termelétricas, aumentou-se, significativamente, o preço da energia. E ainda, pela necessidade de explorar recursos renováveis que trazem flexibilidade e sustentabilidade quando da sua utilização. Diante deste cenário, a energia solar fotovoltaica apresenta-se como uma tecnologia em constante avanço, no Brasil e no mundo. Por meio de revisão bibliográfica, o presente trabalho busca apresentar o princípio de utilização desta energia, considerando os equipamentos e materiais aplicados ao sistema, assim como a eficiência a eles envolvida. Ao final, tem-se uma visão ampliada da utilização da luz solar para a produção de energia elétrica através de painéis fotovoltaicos, podendo aplica-la em situações específicas, como sua instalação em postes de iluminação pública.

Palavras-chave: Energia elétrica. Fotovoltaica. Luz solar.

¹ Geógrafa e Socióloga, Doutoranda em Educação pela UTAD/Portugal, Mestre em Organização Humana do Espaço / IGC/UFMG, FEA - UNIVERSIDADE FUMEC; eliane@fumec.br;

² Estudante de Graduação 8º período Engenharia Bioenergética da FEA-Fumec, annaclara@plumarep.com.br;

³ Estudante de Graduação 8º período Engenharia Bioenergética da FEA-Fumec, fernandacls@yahoo.com.br;

⁴ Estudante de Graduação 8º período Engenharia Bioenergética da FEA-Fumec, kathlenmariottobraz@gmail.com;

⁵ Estudante de Graduação 8º período Engenharia Bioenergética da FEA-Fumec, luanalana3.14@gmail.com;

⁶ Estudante de Graduação 8º período Engenharia Bioenergética da FEA-Fumec, oliviacastr@gmail.com;

⁷ Estudante de Graduação 8º período Engenharia Bioenergética da FEA-Fumec, thaysbajur@gmail.com.

1. INTRODUÇÃO

Durante muitos anos, a humanidade utilizou os recursos naturais do planeta, para suprir suas necessidades energéticas, sem grandes preocupações em relação aos efeitos que causariam ao meio ambiente.

De acordo com Gore (2010, p.32), “a civilização humana e o ecossistema terrestre estão entrando em choque, e a crise climática é a manifestação mais proeminente, destrutiva e ameaçadora desse embate”. A atual situação climática brasileira ilustra o apresentado pelo autor, já que o comportamento do tempo não está de acordo com os parâmetros já estudados das estações climáticas do ano.

Concomitante ao cenário de busca por melhorias, as pesquisas e investimentos em tecnologias que utilizam recursos naturais renováveis, para a diversificação da matriz energética, têm aumentado. Com isso, a energia solar fotovoltaica tornou-se mais conhecida e ampliou seu mercado econômico e acadêmico.

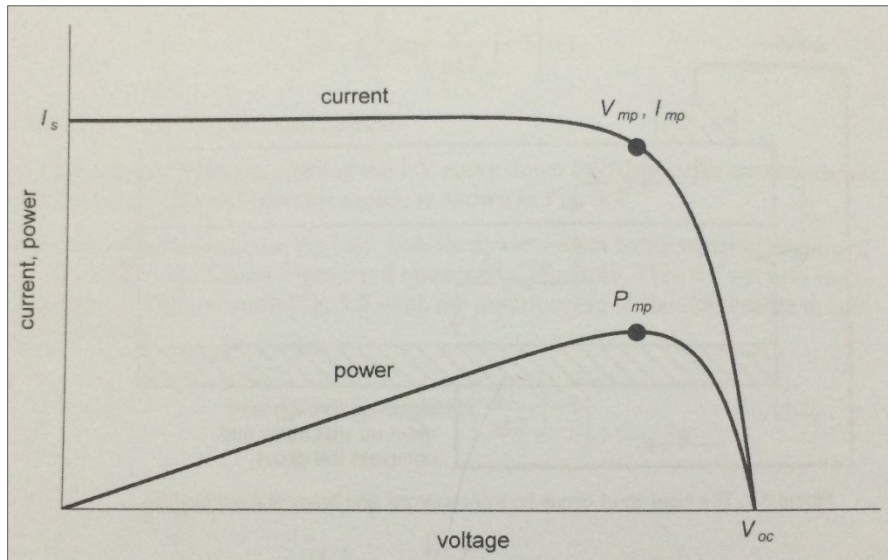
Considerando o apresentado e o grande potencial solar energético do Brasil, o presente artigo vem abordar as questões técnicas relacionadas à utilização desta energia, e apresentar um panorama geral da evolução desta tecnologia. Por consequência, propor o estudo sobre a utilização pontual da mesma em sistemas de iluminação pública.

2. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A energia solar fotovoltaica é definida como a energia gerada através da conversão direta da radiação solar em eletricidade. Isto se dá, por meio de um dispositivo conhecido como célula fotovoltaica que atua utilizando o princípio do efeito fotoelétrico ou fotovoltaico (IMHOFF,2007).

A foto 1 abaixo apresenta uma representação típica de uma curva de corrente-tensão

Foto 1: Curva típica do comportamento da célula



Fonte: Wenham et al. (2009)

Segundo Severino e Oliveira (2010), o efeito fotovoltaico é gerado através da absorção da luz solar, que ocasiona uma diferença de potencial na estrutura do material semicondutor. Complementando esta informação, Nascimento (2014, p.14) afirma que “Uma célula fotovoltaica não armazena energia elétrica. Apenas mantém um fluxo de elétrons num circuito elétrico enquanto houver incidência de luz sobre ela. Este fenômeno é denominado “Efeito Fotovoltaico””.

3. TECNOLOGIAS FOTOVOLTAICAS

Em busca de novas tecnologias para o uso de energias renováveis, os sistemas fotovoltaicos encontram-se em crescente utilização. Com isso, tem-se explorado novos materiais e realizado pesquisas para o avanço da tecnologia fotovoltaica. (CEMIG, 2012).

O silício (Si) é o principal material na fabricação das células fotovoltaicas (FV), e se constitui como o segundo elemento químico mais abundante na terra. O mesmo tem sido explorado sob diversas formas: cristalino, policristalino e amorfo (CEMIG, 2012).

Existem três tecnologias aplicadas para a produção de células FV, classificadas em três gerações de acordo com seu material e suas características.

A primeira geração é composta por silício cristalino (c-Si), que se subdivide em silício monocristalino (m-Si) e silício policristalino (p-Si), representando 85% do mercado, por ser uma tecnologia de melhor eficiência, consolidação e confiança (CEPEL & CRESESB, 2014).

A segunda geração, também chamada de filmes finos, é dividida em três cadeias: silício amorfo (a-Si), disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e telureto de cádmio (CdTe).

A terceira geração, é definida pelo IEEE - Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos como:

Células que permitem uma utilização mais eficiente da luz solar que as células baseadas em um único band-gap eletrônico. De forma geral, a terceira geração deve ser altamente eficiente, possuir baixo custo/watt e utilizar materiais abundantes e de baixa toxicidade. (IEEE, 2014)

Por fim, ainda em fase de pesquisa e desenvolvimento, têm-se as células orgânicas ou poliméricas (CEPEL & CRESESB, 2014).

3.1. Módulo fotovoltaico silício monocristalino (m-Si)

A maioria dos módulos fotovoltaicos de silício monocristalino, também denominados de células, são obtidos a partir de fatias de um único grande cristal, mergulhados em silício fundido (MIRANDA, 2015). Neste processo, o cristal recebe pequenas quantidades de boro formando um semicondutor dopado do tipo “p”⁸. A esse semicondutor, após seu corte, é introduzido impurezas do tipo “n”⁹, expostas a vapor de fósforo em fornos com altas temperaturas, garantindo confiabilidade e eficiência aos produtos (CEPEL & CRESESB, 2004; CEMIG, 2012).

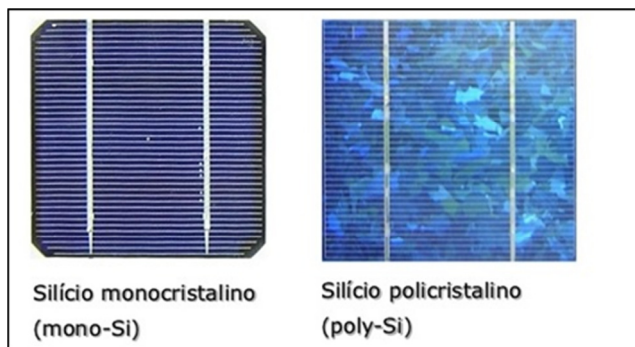
3.2. Módulo fotovoltaico silício policristalino (p-Si)

Segundo Ruther (2004), a eficiência do módulo fotovoltaico p-Si é menor que a do silício monocristalino, mesmo sendo fabricados pelo mesmo material. Isto, pois, ao invés de ser formado por um único cristal, é fundido e solidificado, resultando em um bloco com grandes quantidades de grãos ou cristais, concentrando maior número de defeitos. Em função destes, o seu custo é mais baixo quando comparados às células monocristalinas. Ambas são retratadas na figura 1 a seguir.

⁸ “Insere-se na estrutura cristalina, átomos com a deficiência de um elétron em relação aos átomos da rede (WENDLING, 2011).”

⁹ “Insere-se na estrutura cristalina, átomos contendo excesso de um elétron de valência em relação aos átomos da rede (WENDLING, 2011).”

Figura 1 – Diferenças das células de silício monocristalino e policristalino



Fonte: Cepel (2013)

3.3. Filmes finos

Diversos estudos elaborados nesta área têm direcionado a fabricação dos filmes finos a utilizarem diferentes materiais semicondutores e técnicas de deposição. Por exemplo, em camadas finas de materiais silício e outros, sob uma base que pode ser rígida ou flexível. Entre os materiais mais estudados estão o silício amorfo (a- Si) (VILLALVA & GAZOLI, 2012).

Em comparação às demais tecnologias fotovoltaicas, os filmes finos apresentam a grande vantagem de consumir menos matéria prima e menos energia em sua fabricação, tornando muito baixo o seu custo. Além disso, a reduzida complexidade na fabricação torna mais simples os processos automatizados, favorecendo sua produção em grande escala (VILLALVA & GAZOLI, 2012).

Apesar dessa vantagem, “ convertem fótons em elétrons de forma menos eficiente do que as células de cristais únicos de silício” (GORE, 2010, p.70).

3.4. Células orgânicas

Segundo a Cepel & Cresesb (2014), as células orgânicas ou poliméricas representam a mais recente das tecnologias fotovoltaicas, estando, ainda, em fase de pesquisa e desenvolvimento, teste e produção em pequena escala.

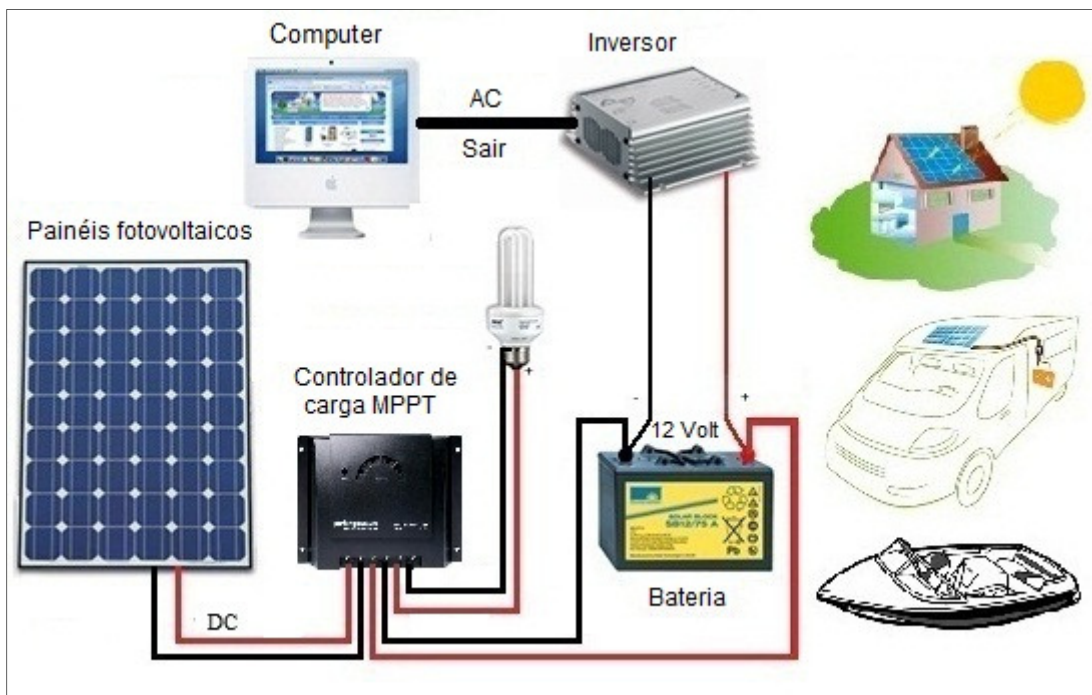
Esta tecnologia baseia-se na utilização de um semicondutor orgânico, o qual é responsável pela absorção de luz, geração, separação e transporte de cargas. Alguns destes dispositivos são produzidos pela mistura de um polímero condutor e um derivado de fulereno (ALVES, 2011).

De acordo com Alves (2011), as células orgânicas podem ser consideradas uma alternativa promissora para a conversão de energia solar a baixo custo.

4. PAINEL SOLAR FOTOVOLTAICO

Os painéis solares, ou módulos, são os principais componentes do sistema fotovoltaico de geração de energia. Estes são formados por um conjunto de células fotovoltaicas associadas, eletricamente, em série e/ou paralelo, dependendo das tensões e/ou correntes determinadas em projeto. O conjunto destes módulos é chamado de gerador fotovoltaico e constituem a primeira parte do sistema, ou seja, são os responsáveis no processo de captação da irradiação solar e a sua transformação em energia elétrica (PEREIRA & OLIVEIRA, 2011). O esquema 1 abaixo representa um diagrama elétrico de um sistema fotovoltaico.

Esquema 1 – Diagrama elétrico fotovoltaico sistema *on grid*



Fonte: Mppt Solar (2016)

Atualmente são vários os exemplares de módulos solares produzidos, podendo ser rígidos ou flexíveis, de acordo com o tipo de célula empregada (PINHO & GALDINO, 2014).

Em relação à fabricação dos painéis, torna-se importante ressaltar que, de acordo com Pinho & Galdino (2014), a produção dos módulos solares tem sofrido grande interferência governamental a partir de incentivos fiscais e ambientais. Com isso, o aumento da produção destes componentes tem reduzido os custos para a efetivação do sistema.

5. SISTEMA FOTOVOLTAICO

5.1. Sistemas autônomos ou isolado (*OFF GRID*)

São sistemas que não dependem da rede elétrica convencional para funcionar, sendo possível sua utilização em localidades carentes de rede de distribuição elétrica. Existem dois tipos de autônomos: com armazenamento e sem armazenamento. O primeiro pode ser utilizado em carregamento de baterias de veículos elétricos, em iluminação pública e, até mesmo, em pequenos aparelhos portáteis (VILLALVA & GAZOLI, 2012). Enquanto o segundo, além de ser frequentemente utilizado em bombeamento de água, apresenta maior viabilidade econômica, já que não utiliza instrumentos para o armazenamento de energia (PEREIRA & OLIVEIRA, 2011).

A composição e funcionamento do sistema autônomo para a iluminação pública, por exemplo, poderia ser feita, segundo Schuch et al. (2010, p.18), por: “Um painel fotovoltaico (PV), responsável por carregar as baterias durante o período diurno através de um conversor CC-CC. (...). Durante a noite, as baterias fornecem energia para (...)” os equipamentos que fornecem intensidade luminosa.

5.2. Sistemas ligados à rede (*ON GRID*)

São aqueles que trabalham concomitantemente à rede elétrica da distribuidora de energia. De forma sucinta, o painel fotovoltaico gera energia elétrica em corrente contínua e, após convertê-la para corrente alternada, é injetada na rede de energia elétrica. Tal conversão se dá pela utilização do inversor de frequência, que realiza a interface entre o painel e a rede elétrica. (PEREIRA & OLIVEIRA, 2013).

5.3. Sistemas híbridos

A associação de sistemas fotovoltaicos com demais fontes de energia fundamenta-se no sistema híbrido. O seu maior benefício é proporcionar eletricidade (armazenada nas baterias), na privação de sol, ou seja, em dias de baixa, ou nenhuma, geração. No entanto, é apontado como um sistema complexo, já que necessita integrar diversas formas de produção de energia elétrica, como motores à diesel ou gás, ou por geradores eólicos (PEREIRA & OLIVEIRA, 2011).

6. EQUIPAMENTOS AUXILIARES

Para o funcionamento de um sistema fotovoltaico é necessário a instalação de equipamentos auxiliares em conjunto com os módulos. Esses componentes atuarão, principalmente, no processo de armazenamento e distribuição da energia elétrica gerada, sendo diferenciados de acordo com o tipo de sistema implantado, se *on grid* ou *off grid*.

6.1. Controladores de carga

Também chamado de regulador de carga, este componente é, geralmente, utilizado em sistemas *off grid*, ou seja, que empregam o uso de baterias para o armazenamento de energia. De acordo com Pereira & Oliveira (2011), os controladores de carga têm como principal função proteger os acumuladores, isto é, as baterias de sobrecargas do sistema. Além disso, se bem regulados, asseguram que o sistema opere em sua máxima eficiência.

Messenger & Ventre (2010) complementam a finalidade deste equipamento ao afirmar que, ajustados corretamente, irão garantir o bom desempenho do sistema de baterias sob várias condições (carga, descarga e variações de temperatura).

O princípio de funcionamento, da proteção da bateria através dos controladores de carga, consiste em impedir que ela sofra sobrecarga de tensão e prevenir que ela seja completamente descarregada. Ambas as situações acarretam desgaste e, conseqüentemente, diminuição da vida útil da bateria, por isso devem ser controladas (PINHO & GALDINO, 2014).

6.2. Baterias

As baterias, ou acumuladores, entre os diversos sistemas, são mais utilizadas naqueles isolados da rede elétrica, ou seja, *off grid*. Segundo Dazcal & Mello (2008), são dispositivos responsáveis por fazer o armazenamento da energia elétrica gerada pelos módulos, com o intuito de suprir a demanda da mesma na ausência da radiação solar. Com isso, podem ser consideradas de extrema importância, já que a radiação solar não ocorre nos períodos noturnos, e é reduzida em dias nublados.

Existem outros equipamentos capazes de realizar a função de armazenamento da energia, porém, a bateria ainda é utilizada em maior escala, devido à sua eficiência de funcionamento. A mesma é definida como:

(...) um conjunto de células ou vasos eletroquímicos, conectados em série e/ou paralelo, capazes de armazenar energia elétrica na forma de energia química por meio de um processo eletroquímico de oxidação e redução que ocorre em seu interior (PINHO & GALDINO, 2014, p.164).

São vários os tipos de baterias existentes, distinguindo-se devido às células empregadas, as quais influenciam diretamente na eficiência de armazenamento. Considerando o fato de que nem todos os modelos são economicamente viáveis, Messenger & Ventre (2010) apresentam as baterias de chumbo-ácido como o tipo, até hoje, mais utilizado para os sistemas fotovoltaicos.

Segundo Copetti & Macagnan (2007, p.8), “a bateria para aplicações FV deve apresentar como principais características: capacidade de ciclagem, alta eficiência energética, longa vida útil, pouca manutenção e baixo custo.”

6.3. Inversores

Os inversores são dispositivos eletrônicos que fornecem energia elétrica em corrente alternada a partir de uma fonte de energia elétrica em corrente contínua (PINHO & GALDINO, 2014).

De acordo com Pereira & Oliveira (2011), a energia elétrica na saída dos módulos fotovoltaicos é em corrente contínua (CC). Isto inviabiliza a sua aplicação direta na maioria dos equipamentos que trabalham, somente, em corrente alternada (CA). Para a solução deste problema, empregam-se os inversores, capazes de realizar a conversão desta tensão contínua para um valor de tensão em CA. Além disso, este equipamento é capaz de ajustar a frequência e nível de tensão gerada, para que o sistema possa ser conectado à rede pública, *on grid*, de acordo com as normas vigentes estabelecidas pela Aneel.

Para selecionar o inversor adequado a ser utilizado em um sistema fotovoltaico, segundo Messenger & Ventre (2010), os requisitos a serem analisados são: a forma de onda da carga e a eficiência do próprio inversor.

7. EFICIÊNCIA DAS CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

Em condições laboratoriais ou condições padrões de teste, CTP (radiação solar padrão de $1000\text{W}/\text{m}^2$, temperatura padrão de 25°Celsius e espectro solar $AM=1,5$), com o atual estado da arte da tecnologia, é possível produzir células individuais de cristal de silício, com eficiência superior a 24%. Ainda assim, devido a contínuas pesquisas no campo das células solares, o valor teórico alcançável da eficiência se direciona aos 30%. Porém, comercialmente, a eficiência é de apenas 13 a 19% podendo chegar em 24% nos próximos anos (MARTIN *et. al.*, 2015).

Eberhardt (2005) afirma que alguns fatores, como as definições das condições padrões, medição da curva corrente-tensão, fonte de iluminação, medida de área e sensor de referência, influenciam na determinação da eficiência. Adicionalmente, tem-se que:

O rendimento das células depende de diversos fatores e a operação em módulo possui eficiência global inferior à eficiência das células individuais devido ao fator de empacotamento, à eficiência ótica de cobertura do módulo e, à perda nas interconexões elétricas das células e ao descaso nas características das células (REIS¹⁰ *apud* SEVERINO & OLIVEIRA, 2010, p.299).

Os valores do rendimento dos módulos fotovoltaicos são fornecidos pelos seus fabricantes. Alguns rendimentos, de acordo com a tecnologia e/ou matérias das células, podem ser vistos no quadro 1.

Quadro 1 - Rendimento médio obtidos em células e módulos fotovoltaicos

MATERIAIS E/OU TECNOLOGIAS	CÉLULAS	MÓDULOS
Silício monocristalino - m-Si	14% a 25%	14% a 21%
Silício policristalino - p-Si	20%	13 a 16,5%
Orgânicas	12%	7-12%
Filmes finos	9 a 16%	7 a 13%
Silício amorfo - a-Si	9%	6 a 9%
Telureto de Cádmio - CdTe	14,4%	9 a 11%
Seleneto de Cobre, Índio e Gálio - CIGS	22%	10 a 12%
Híbrido - HJT		23%

Fonte: Martin *et. al.* (2015) - adaptado.

8. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NA ATUALIDADE

O Brasil, por sua grande diversidade de recursos e por sua respeitável extensão territorial, apresenta diversas oportunidades na diversificação de sua matriz energética. Tal fato é afirmado pela Resolução Normativa N° 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012, a qual regulamenta a geração de energia através de placas solares fotovoltaicas (ANEEL, 2012). A grande incidência de radiação solar atuante no território brasileiro, é o motivo pelo qual a tecnologia avança e os incentivos aumentam.

¹⁰ REIS, L. B. Geração de energia elétrica: tecnologia, inserção ambiental, planejamento, operação e análise de viabilidade. 3. Ed. Barueri: Manoe, 2003.

Segundo a empresa alemã German Solar Industry Association (2015), o cenário mundial de produção de energia através dos módulos solares fotovoltaicos, mostra que, anualmente, permite-se alcançar uma capacidade instalada de 100 GW, e ainda evitar a emissão de 70 milhões de toneladas de CO₂ na atmosfera. Estes, demonstram a ordem de grandeza que os projetos solares fotovoltaicos podem alcançar de acordo com a tecnologia disponível atualmente.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sol, como recurso energético possível de gerar energia elétrica, vem ganhando reconhecimento e representatividade na matriz energética brasileira. Uma das tecnologias que utilizam tal recurso conforme apresentado é a energia solar fotovoltaica.

Apesar de ainda apresentar necessidade de incentivos econômicos para se tornar popular, o sistema fotovoltaico já é utilizado em grande escala, como nas três maiores usinas citadas, e em projetos pontuais, como no sistema de iluminação pública.

Dada a flexibilidade e a praticidade de instalação de plantas solares fotovoltaicas autônomas, sugere-se o desenvolvimento de estudos sobre a viabilidade técnica e econômica da tecnologia ser aplicada em postes de iluminação pública. Tais pesquisas, se concretizadas, podem gerar projetos que irão melhorar esse serviço público, reduzir seus custos e, expandir sua disponibilidade.

REFERÊNCIAS

ALVES, J. **Estudos foto físicos e fotovoltaicos de sistemas polímero-fulereno e nanopartículas de CdSe**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Química da Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 2011. 48 f.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Relatório Aneel 2013**. 2014. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/Relatorio_Aneel_2013.pdf>. Acesso em: 05 de nov. 2015.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa N° 482**. 2012. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 06 de out. 2015.

BSW SOLAR - GERMAN SOLAR INDUSTRY ASSOCIATION. **A energia solar nos países em desenvolvimento e emergentes.** 2015. Disponível em: <<http://www.solarwirtschaft.de/en/start/english-news.html>>. Acesso em: 06 de out. 2015.

CEMIG - COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Alternativas Energéticas: uma visão Cemig.** Belo Horizonte: CEMIG, 2012.

CEPEL – CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA. **As energias solar e eólica no Brasil.** 2013. Disponível em: <<http://cresesb.cepel.br/download/casasolar/casasolar2013.pdf>>. Acesso em: 03 de out. 2015.

CEPEL – CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA; CRESESB – CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** Rio de Janeiro, RJ: Especial 2014.

COPETTI, J.; MACAGNAN, M. Baterias em sistemas solares fotovoltaicos. Abens – Associação Brasileira de Energia Solar. Fortaleza, 11, abr. 2007.10f.

DAZCAL, R.; MELLO, A. Estudo da Implementação de um Sistema de Energia Solar Fotovoltaica em um edifício da Universidade Presbiteriana Mackenzie. **Abenge – Associação Brasileira de Educação de Engenharia.** Fortaleza, 2008.13f.

EBERHARDT, D. **Desenvolvimento de um Sistema Completo para Caracterização de Células Solares.** Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2005. 104 f.

GORE, A. **Nossa escolha: um plano para solucionar a crise climática. Our choice: a plan to solve the climate crisis.** Barueri, SP: Manole, 2010.

GREN, A. et al. Solar cell efficiency tables (version 45). **Progress in Photovoltaic.** Amsterdã, vol 23, n 1, p. 1-9, jan. 2015.

IEEE - INSTITUTO DE ENGENHEIROS ELETRICISTAS E ELETRÔNICOS. **Energia solar fotovoltaica de terceira geração.** 2014. Disponível em :< <http://www.ieee.org.br/wp-content/uploads/2014/05/energia-solar-fotovoltaica-terceira-geracao.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2016.

IMHOFF, J. **Desenvolvimento de Conversores Estáticos para Sistemas Fotovoltaicos Autônomos.** Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2007. 146 f.

MACHADO, C.; MIRANDA, F. Energia Solar Fotovoltaica: Uma breve revisão. **Revista virtual de química.** Niterói, RJ, vol. 7, n. 1, p. 126-143, 14, out. 2014.

MESSENGER, R.; VENTRE, J. **Photovoltaic Systems Engineering.** Boca Raton: CRC Press, 2010.

MPPT SOLA. **Construa seu sistema solar fotovoltaico.** 2015. Disponível em: <<http://www.mpptsolar.com/pt/home.html>>. Acesso em: 15 mar 2016.

NASCIMENTO, C. **Princípio de Funcionamento da Célula Fotovoltaica**. Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2004. 23 f.

PEREIRA, F.; OLIVEIRA, M. **Curso técnico instalador de energia solar fotovoltaica**. Porto: Publindústria, 2011.

PINHO, J.; GALDINO, M. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014.

RUTHER, R. – **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial de geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligadas a rede elétrica pública no Brasil**. Florianópolis, SC: Labsolar, 2004.

SEVERINO, M.& OLIVEIRA, M. Fontes e Tecnologias de Geração Distribuída para Atendimento a Comunidades Isoladas. **Energia, Economia, Rotas Tecnológicas: textos selecionados**, Palmas, ano 1, p. 265-322, 2010.

SCHUCH, L. et al. Sistemas Autônomo de Iluminação Pública de Alta Eficiência Baseado em Energia Solar e Leds. **Eletrôn Potên**. Campinas, vol. 16, n. 1, p.17-27, fev. 2011.

SMART SOLAR. **As top 10 maiores usinas solares do mundo (6 delas estão em um único país)**. 2015. Disponível em: <<http://www.smartsolar.com.br/news/top-10-maiores-usinas-solares-do-mundo/>>. Acesso em: 07 de out. 2015.

SOLAR ENERGY INTERNATIONAL. **Photovoltaics Design and Installation Manual**. Canadá: New Society Publishers, 2004.

VILLALVA, M.; GAZOLI, J. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. São Paulo: Erica, 2012.

WENHAM, S. R. et al. **Applied photovoltaics**. 2 ed. Australia: Centre for Photovoltaic Engineering of UNSW, 2009.

WENDLING, M. **Semicondutores: conceitos básicos**. 2011. Disponível em: <<http://www2.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/ProfMarceloWendling/1---semicondutores.pdf>>. Acesso em: 14 de out. 2015.