

**FACULDADE PATOS DE MINAS
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**ALEFF SANDERSOM SILVA
DOUGLAS DANIEL SOUZA RESENDE
TIAGO MARQUES ARAUJO**

**GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA POR MEIO DE
ENERGIA FOTOVOLTAICA**

**PATOS DE MINAS
2018**

**ALEFF SANDERSOM SILVA
DOUGLAS DANIEL SOUZA RESENDE
TIAGO MARQUES ARAUJO**

GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA POR MEIO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade Patos de Minas
como requisito para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Igor Nunes Caixeta

**PATOS DE MINAS
2018**

RESUMO

A energia gerada pelo sol é uma alternativa para geração de energia elétrica mais atual, porém é pouco utilizada apesar de sua abundância. Por ser uma tecnologia relativamente nova, pode representar uma insegurança e dúvidas a respeito das vantagens e desvantagens de sua utilização. Vários autores afirmam que sua viabilidade deve ser confirmada, seguindo protocolos padronizados para se garantir a eficiência e a eficácia do processo. Objetiva-se identificar como acontece a geração de energia elétrica por meio de energia fotovoltaica. Ainda é baixa a adesão dessa tecnologia no Brasil, mas estudos nessa área vêm avançando e tornando-a mais acessível às empresas e sociedade, já que as tarifas das concessionárias de energia vêm aumentando a cada ano. Grande parte dos sistemas fotovoltaicos são produzidos por silício cristalino, matéria prima abundante. Mas alguns fatores interferem diretamente no desempenho real do sistema fotovoltaico, já que queda na tensão, sombreamento, baixas temperaturas, baixa eficiência dos inversos, descasamento por módulos de potência diferentes, entre outros aspectos, podem resultar em diminuição da eficiência. Conclui-se que para que essa proposta se torne economicamente viável e efetiva é necessário a elaboração de um projeto pautado nas especificidades recomendadas por órgãos específicos, assim como a análise do local e das variáveis que podem influenciar o sucesso da conversão.

Palavras-Chave: Energia Solar. Energia Fotovoltaica. Viabilidade econômica. Sustentabilidade Energética.

ABSTRACT

The energy generated by the sun is an alternative for more current electric generation, yet it is little used despite its abundance. Since it is a relatively new technology, it may represent uncertainty and raise doubts about the advantages and disadvantages of its use. Several authors say that their viability should be confirmed, following standardized protocols to guarantee the efficiency and effectiveness of the process. It aims to identify how electricity generation occurs through photovoltaic energy. The adhesion of this technology in Brazil is still low, but studies in this area have been advancing and making it more accessible to companies and society, since the tariffs of energy concessionaires have been increasing each year. Most photovoltaic systems are produced by crystalline silicon, an abundant raw material. But some factors directly interfere in the actual performance of the photovoltaic system, since the voltage drop, shading, low temperatures, low efficiency of the inverters, mismatch by different power modules, among other aspects, can result in a decrease in efficiency. It is concluded that for this proposal to become economically viable and effective, it is necessary the elaboration of a project based on the specificities recommended by specific organs, as well as the analysis of the location and variables that may influence the success of the conversion.

Keywords: Solar Energy. Photovoltaic Energy. Economic viability. Energy Sustainability.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
1.1	Problemática	11
1.2	Objetivos	11
1.2.1	<i>Geral</i>	11
1.2.2	<i>Específico</i>	11
1.3	Justificativa.....	11
2	METODOLOGIA	13
3	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	13
4	CONVERSAO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EM ENERGIA ELÉTRICA	17
4.1	Características elétricas	18
5	VIABILIDADE PARA A PRODUÇÃO FOTOVOLTAICA	20
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	25
	REFERÊNCIAS	25

1 INTRODUÇÃO

A energia gerada pelo sol é uma alternativa para geração de energia mais relevante atualmente. Mais conhecida como energia solar, é responsável por quase todas as fontes de energia terrestres (LAVEZZO, 2016). Através dela há a evaporação e a indução de circulação atmosférica de ar, originando várias outras fontes de energia, como a energia hidroelétrica, eólica, solar fotovoltaica, energia térmica, entre outras (CIAMPONI, 2015).

As fontes de energia renováveis, agregadas a energia solar, são classificadas como solar passiva, ativa e fotovoltaica. As duas primeiras se relacionam com a arquitetura bioclimática, com o aquecimento e a refrigeração solar. A fotovoltaica corresponde à produção de energia elétrica por meio da conversão de luz para eletricidade através de um material semicondutor (CRESESB/CEPEL, 2018).

Encontra-se no mercado atualmente três tipos de tecnologias capazes de produzir energia elétrica através da energia fotovoltaica. A primeira é composto do silício monocristalino (m-Si) e silício policristalino (p-Si), que representam a maior parte do mercado, sendo mais confiáveis por sua alta eficiência. A segunda são os de filmes finos divididos em silício amorfo (a-Si), disseleneto de cobre e índio (CIS) ou disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS), e telureto de cádmio (CdTe). Por fim, tem-se as células fotovoltaicas multijunção e para concentração, que embora sejam respaldadas por pesquisas como de alta eficiência, continuam possuindo altos custos em relação as outras tecnologias (ALMEIDA et al., 2016).

A escolha do tipo de tecnologia utilizada para essa conversão solar em energia elétrica vem se despontando no mercado como opções para aproveitar a energia gratuita do sol tendo o consumidor garantia de uma conversão em energia elétrica parcial ou total, contribuindo indiretamente com o setor elétrico, além de diminuir seus custos com as concessionárias de energia elétrica a um curto prazo.

1.1 Problemática

A conversão da energia fotovoltaica em energia solar acontece de forma efetiva? A viabilidade para a produção dessa energia é comum a todos os locais?

1.2 Objetivos

1.2.1 Geral

Identificar, por meio da literatura disponível nos bancos de dados virtuais, como acontece a geração de energia elétrica por meio de energia fotovoltaica.

1.2.2 Objetivos específicos

- Descrever o conceito e o histórico da energia solar fotovoltaica;
- Relatar como acontece a conversão da energia fotovoltaica para elétrica
- Discutir as viabilidades para produção de energia fotovoltaica.

1.3 Justificativa

A utilização de energia solar ainda é pouco utilizada apesar de sua abundância. Por ser uma tecnologia relativamente nova, pode representar uma insegurança e dúvidas a respeito das vantagens e desvantagens de sua

utilização. Porém, esta realidade está sendo modificada, pois cada vez mais a utilização de fontes limpas de energia vem sendo necessárias devido ao aumento populacional e aos altos índices de poluição, além da escassez das fontes de energia não renováveis.

Ainda, é interessante produzir essa energia por meio de um fenômeno natural disponível em grande quantidade, e de forma gratuita, principalmente no Brasil, país com favorável localização geográfica que possui sol incidente praticamente o ano todo.

Vários autores afirmam que sua viabilidade deve ser confirmada, seguindo protocolos padronizados para se garantir a eficiência e a eficácia do processo.

2 METODOLOGIA

Revisão de literatura por meio de consultas em bases de dados eletrônicos de faculdades/universidades, assim como pesquisa em dissertações e artigos científicos.

3 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

O desenvolvimento da humanidade sempre teve relação com a forma como o homem utiliza a energia para obter os recursos necessários para seu sustento. Como principal exemplo disso, sua capacidade de dominar o fogo e os animais foi essencial para o processo de transição entre seu caráter nômade para o estabelecimento de sociedades em locais fixos. Durante longos anos, a energia foi essencialmente utilizada para cozinhar alimentos, aquecer e na criação de ferramentas e materiais. Nesta época, as civilizações tinham suas riquezas definidas pela capacidade de controle da energia disponível (FAPESP, 2007).

A revolução Industrial trouxe diversas mudanças à sociedade, à forma como as pessoas utilizavam a energia e a modernização das máquinas e equipamentos. O homem passou a contar com a energia elétrica para manutenção do seu conforto, utilizando aquecimentos dos banhos e das casas no inverno, e a utilização de resfriados no verão. O avanço tecnológico foi responsável por permitir que o homem conseguisse desenvolver novos meios para obtenção e exploração de fontes de energia (FAPESP, 2007).

O sol é a principal fonte de energia do nosso planeta, a superfície da Terra recebe atualmente uma quantidade de energia solar, nas formas de luz e calor, suficientes para suprir milhares de vezes às necessidades mundiais durante o mesmo período, mesmo tendo apenas uma pequena parcela dessa energia sendo aproveitada. A utilização de fontes de energia renováveis como

a luz solar, é importante para promover as metas de sustentabilidades atualmente propostas (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

A tecnologia que permite a captação da energia proveniente da luz solar e sua transformação em energia elétrica é possível através da utilização de semicondutores que convertem fótons de luz em eletricidade (TEIXEIRA, 2018).

A busca por este tipo de tecnologia foi impulsionada pelas empresas de telecomunicações que buscavam alternativas energéticas para o controle de seus sistemas instalados em localidades distantes de uma central, representando altos custos de operação. A corrida espacial também foi um fator importante para o aumento da busca por esta tecnologia, por ser considerada o melhor método de fornecimento energético durante longos períodos para equipamentos enviados ao espaço (PINHO; GALDINO, 2014).

No ano de 1973, a crise do petróleo aumentou a busca pela energia solar fotovoltaica como alternativa para alimentação dos equipamentos terrestres. Esta tecnologia ainda apresentava custos muito elevados para o padrão da sociedade da época, e para que sua utilização se tornasse viável era necessário baratear os custos relacionados à produção dos painéis. As empresas de petróleo aderiram a esse tipo de produção energética como alternativa para minimizar os custos de produção (FIG 01) (PINHO; GALDINO, 2014).

Os autores ainda relatam que em 1998, a produção das células fotovoltaicas aumentaram, atingindo 150 MWp, e passaram a ter o silício como matéria prima. A China, neste processo, foi responsável por elevar a procura por este tipo de energia, já que passaram a produzir os painéis em 2009 (PINHO; GALDINO, 2014).

O Brasil é um país que apresenta características favoráveis à utilização de meios renováveis de produção de energia, especialmente a eólica e a solar, por apresentar clima e irradiação solar favoráveis em larga escala (LAVEZZO, 2016).

Ainda é baixa a adesão dessa tecnologia no Brasil, mas estudos e pesquisas nessa área vêm avançando e tornando-a mais acessível às empresas e sociedade. Autores afirmam que atualmente há pesquisas no Brasil que buscam desenvolver tecnologias de purificação do silício, assim

como das células, e módulos fotovoltaicos e elementos relevantes para a implantação e estabelecimento dessa tecnologia no Brasil e no mundo (PINHO; GALDINO, 2014). No Brasil, o primeiro sistema fotovoltaico de 11 kwp foi instalado pela Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF), em 1995, no Recife, Pernambuco.

Programas políticos como o “Minha Casa, Minha Vida” têm adotado a utilização de painéis fotovoltaicos como método de obtenção de energia para cerca de dois milhões de residências. Neste cenário as técnicas desenvolvidas pela área de Engenharia Elétrica atuam no sentido de justificar valores mais justos para a cobrança dos consumidores que utilizam tal tecnologia (EPE, 2011).

Contudo, o Brasil caminha para adotar a energia solar fotovoltaica até mesmo porque as tarifas das concessionárias de energia vêm aumentando a cada ano.

Figura 1 – Desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica ao longo dos anos

1800	Descoberta do Selênio (Se) (Berzelius)
1820	Preparação do Silício (Si) (Berzelius)
1840	Efeito Fotovoltaico (Becquerel)
1860	Efeito Fotocondutivo no Se (Smith)
1880	Retificador de Ponto de Contato (Braun)
1880	Efeito Fotocondutivo no Se (Adams & Day)
1880	Célula Fotovoltaica de Se (Fritts/Uljanin)
1900	Fotosensitividade em Cu-Cu ₂ O (Hallwachs)
1910	
1910	Efeito Fotovoltaico com Barreira de Potencial (Goldman & Brodsky)
1920	Monocristal a partir do Si Fundido (Czochralski)
1920	Retificador de Cu-Cu ₂ O (Grondahl)
1930	Célula Fotovoltaica de Cu-Cu ₂ O (Grondahl & Geiger)
1930	Teorias de Bandas em Sólidos (Strutt/Brillouin/Krönig & P)
1930	Teorias de Células com Barreiras V e H (Schottky et al)
1940	Teoria da Difusão Eletrônica (Dember)
1940	Aplicações Fotométricas (Lange)
1940	1% de Eficiência em Células de Sulfeto de Tálio (Nix & Treptow)
1950	Crescimento de Células Fotovoltaicas com Junção (Ohl)
1950	Teoria da Junções <i>p-n</i> (Shockley)
1954	Célula Solar de Si (Pearson, Fuller & Chapin)
1955	Junções <i>p-n</i> Difundidas (Fuller)
1960	Célula Solar de CdS (Reynolds et al)
1960	Teorias de Células Solares (Piann & Roosbroeck/Prince)
1962	O "Bandgap" e a Eficiência das Células (Loferski, R. & W)
1962	Teoria da Resposta Espectral, Mecanismo de Perdas (Wolf)
1962	Efeitos de Resistência em Série (Wolf & Rauschenbach)
1962	Células de Si <i>n/p</i> Resistentes a Radiação (Kesperis & M.)
1962	Contatos Evaporados de Ti-Ag (BTL)
1973	Células Violeta com 15,2% de Eficiência
1976	Células de Silício Amorfo (a-Si)
1992	Células Metal-Insulator-Semicondutor (MIS) de 24% de Eficiência
1998	Células de Silício Monocristalino com Eficiência de 24,7%
1999	Potência Instalada Acumulada Atinge o Primeiro GWp
2002	Potência Instalada Acumulada Dobra em Relação a 1999
2005	Eficiência Superior a 20% para Células em Silício Policristalino
2006	Células Multijunção com Rendimentos Superiores a 34%
2006	Células de Tripla Junção Superam os 40 % de Eficiência
2008	Módulos de c-Si Dominam 87% do Mercado (John Wiley & Sons, 2011)
2008	Expansão de Módulos de Filme Fino (a-Si, CdTe e módulos CIS)
2009	Mais de 23 GWp Instalados (EPIA)
2011	Mais de 70 GWp de Potência Instalada Acumulada (EPIA, 2012)
2012	Potência Instalada Acumulada Supera 100 GWp (EPIA, 2013)

Fonte: CRESESB, 2014.

4 CONVERSÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EM ENERGIA ELÉTRICA

Vários estudos vêm sendo feitos ao longo dos anos após a descoberta da possibilidade de produção de energia elétrica por meio da energia solar fotovoltaica. Diversas tecnologias vêm sendo empregada a partir do uso do silício cristalino (monocristalino e policristalino), que hoje corresponde cerca de quase 80% da produção dos sistemas fotovoltaicos (ALMEIDA et al., 2016).

Os componentes de uma célula fotovoltaica, que dão origem aos painéis e sistemas, são os materiais semicondutores e os contatos metálicos (ou eletrodos). O material semicondutor tem características que se estabelecem entre um condutor e um isolante. São feito a partir do silício e são mais visados e utilizados na composição dos diversos tipos de células fotovoltaicas ou fotoelétricas (NASCIMENTO, 2004).

Esse silício consiste em um elemento químico que possui quatro elétrons em sua camada de valência, que quando se combinam formam cristais, que em temperatura ambiente, se comportam como isolantes, aumentando a condutividade deste material e, assim, obtendo energia. Também, é necessária a junção de outros átomos ao silício, sobretudo, os átomos de fósforo e boro (COLLARES-PEREIRA, 1998).

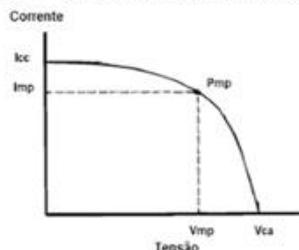
Pela junção do silício com esses os átomos é que a energia solar é absorvida pelas células que compõem os painéis fotovoltaicos, resultando na transformação da energia solar em condução elétrica por meio da absorção alocada no semiconduto, permanecendo dentro da célula enquanto houver radiação solar. Isso acontece em razão dos eletrodos positivos e negativos presentes na composição desta camada que não deixam a corrente de elétrons escapar, fechando o circuito (LUQUE, 2003).

Vale salientar que a estrutura básica de produção energética destas células e dos painéis por elas compostos, remetem e se parecem muito com qualquer circuito elétrico comum em seu *layout* de organização. A diferença está nos processos fotoelétricos em que ocorre o efeito fotovoltaico, convertendo a energia solar em elétrica (NASCIMENTO, 2004). O autor ainda

afirma que o efeito fotovoltaico consiste no não armazenamento de energia elétrica, produzida através da luz solar, pela célula fotovoltaica, inferindo que a célula ou o painel apenas mantém um determinado fluxo de elétrons em um circuito enquanto houver luz incidindo sobre ela. Dessa forma, faz-se relevante entender as características elétricas para a obtenção dessa energia.

4.1 Características Elétricas

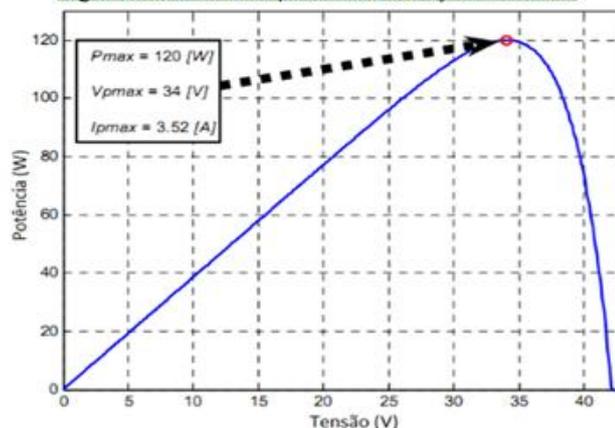
As características elétricas para a curva I-V são definidas em condições padrão, a uma temperatura de 25° *Celsius*, com espectro solar de AM 1,5 e uma irradiação de 1000 W/m^2 (FIG 2). A geração de energia elétrica é dada por módulos fotovoltaicos, encapsulados e interligados eletricamente (FIG 3). Contudo, a equação da potência da célula fotovoltaica não permite determinar analiticamente o ponto de potência máxima (P_{mp}), o qual somente poderá ser calculado de forma aproximada ou numericamente (CARNEIRO, 2010) (FIG 4).

Figura 2 – Curva de corrente x tensão (Curva I-V)

Fonte: <http://alagador.tripod.com/4.htm>

Figura 3 – Símbolo de módulo fotovoltaico

Fonte: <http://www.solarbrasil.com.br/blog-da-energia-solar/132-componentes-do-sistema-de-energia-solar-fotovoltaico-modulo-solar-fotovoltaico>

Figura 4 – Gráfico de potência em função da tensão

Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Curva-caracteristica-PV-Potencia-x-Tensao-no-painel-fotovoltaico_fig1_325285882

A associação desses módulos é definida por um conjunto de células, podendo ser configurado em série ou paralelo, para obtenção de correntes e tensões diferentes a fim de chegar num resultado desejado.

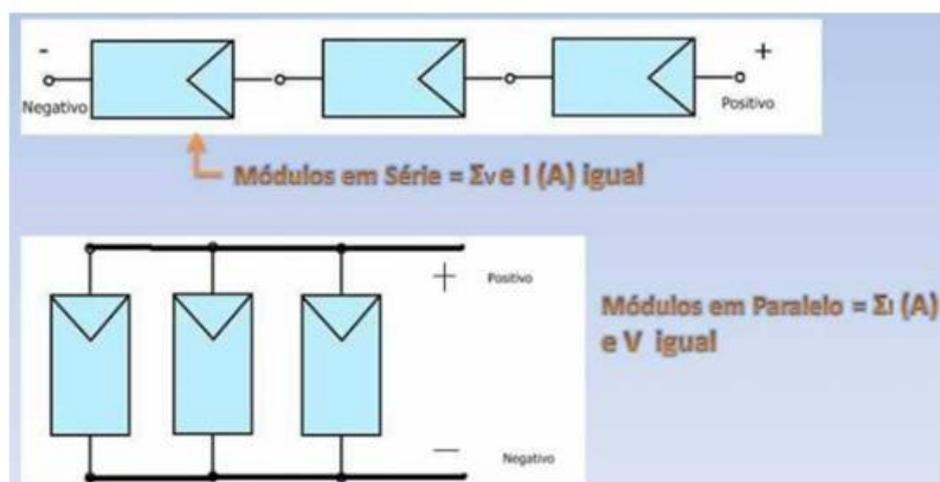
Um sistema fotovoltaico é composto por três blocos. O primeiro é o gerador que contém os arranjos fotovoltaicos, constituídos por módulos fotovoltaicos em diferentes associações, o cabeamento elétrico que os interliga e a estrutura de suporte. O segundo pode conter conversores seguidos de ponto de potência máxima e inversores, controladores de carga, para quando houver armazenamento, e outros dispositivos de proteção, supervisão e controle. Finalmente, o bloco de armazenamento é composto por algumas formas de armazenamento e por baterias (acumuladores elétricos) (PINHO; GALDINO, 2014).

Apenas um módulo não é suficiente para atender as exigências de potência dos projetos, sendo necessário associar módulos para aumentar essa capacidade. Essa associação de módulos, que objetiva aumentar a potência/capacidade energética, pode ocorrer em série, paralela ou de forma mista (série com paralela) (TEIXEIRA, 2017).

Para a associação dos módulos é necessário um adequado posicionamento dos mesmos, com suas faces voltadas para a mesma direção, com a mesma inclinação, garantindo que todos os módulos recebam a mesma quantidade de irradiação solar. Do contrário, aquele módulo que receber menos irradiação do sol, comprometerá a eficiência do sistema, limitando todos os demais módulos.

A melhor configuração de posicionamento dos módulos é voltá-los para o Norte, caso estejam localizados no hemisfério Sul, ou vice-versa, maximizando a eficiência. Quanto à inclinação, indica-se igual à latitude local, de forma a evitar inclinações inferiores a 10 graus que podem prejudicar a higienização natural feita pelas águas da chuva (TEIXEIRA, 2017).

Figura 5 – Módulos em série e paralelo



Fonte: <https://www.neosolar.com.br/forum/component/kunena/6-Instala%C3%A7%C3%A3o-de-Sistemas-Off-Grid/104-liga%C3%A7%C3%B5es-em-s%C3%A9rie-ou-paralelo>

5 VIABILIDADES PARA A PRODUÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA

Diante de todo o contexto analisado, é importante verificar as viabilidades para a produção de energia fotovoltaica no Brasil. Cada país possui normas específicas sobre a produção de energia elétrica, para manter a segurança e a qualidade dos indivíduos e dos produtos.

O órgão responsável por verificar e fiscalizar essa qualidade no Brasil é o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro), que determina os requisitos de avaliação da conformidade (RAC) de produtos comerciáveis (INMETRO, 2011). Todos os módulos devem ser credenciados e ensaiados para verificar a eficiência, a segurança e a qualidade, segundo normas nacionais e internacionais de padronização. Sendo aprovados à comercialização, os produtos ganham um selo do Inmetro contendo informações básicas sobre eficiência e eficácia (FIG 06).

Figura 6 – Etiqueta do Inmetro para módulo fotovoltaico



Fonte: <https://www.yescert.com.br/certificacao-de-placas-solares/>

Os sistemas conectados a rede trabalham diferentemente dos sistemas isolados, sem armazenamento de energia, operando em corrente alternada, tensão e frequência da rede local (BESSO, 2017).

Segundo o manual de Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST, 2016), a análise e a integração do sistema à rede são de responsabilidade da distribuidora de energia, devendo ter projeto definido conforme detalhes técnicos, apresentando suas limitações referentes aos níveis de tensão e potência instalada (TAB 01), com especificação de alguns requisitos mínimos exigidos (TAB 02).

Tabela 1 – Nível de tensão de acordo com a potência

Potência Instalada	Nível de Tensão de Conexão
< 10 kW	Baixa Tensão (monofásico, bifásico ou trifásico)
10 a 100 kW	Baixa Tensão (trifásico)
101 a 500 kW	Baixa Tensão (trifásico) / Média Tensão
501 kW a 1 MW	Média Tensão

Fonte: <https://ensinandoelettrica.blogspot.com/2015/02/como-calcular-potencia-corrente-e-tensao.html>

Tabela 2 – Equipamento e necessidade de potência

EQUIPAMENTO	Potência Instalada		
	Até 100 kW	101 kW a 500 kW	501 kW a 1 MW
Elemento de desconexão (1)	Sim	Sim	Sim
Elemento de interrupção (2)	Sim	Sim	Sim
Transformador de acoplamento	Não	Sim	Sim
Proteção de sub e sobretensão	Sim (3)	Sim (3)	Sim
Proteção de sub e sobrefrequência	Sim (3)	Sim (3)	Sim
Proteção contra desequilíbrio de corrente	Não	Não	Sim
Proteção contra desbalanço de tensão	Não	Não	Sim
Sobrecorrente direcional	Não	Não	Sim
Sobrecorrente com restrição de tensão	Não	Não	Sim
Relé de sincronismo	Sim	Sim	Sim
Anti-ilhamento	Sim	Sim	Sim
Estudo de curto-circuito	Não	Sim (4)	Sim (4)
Medição	Medidor Bidi-recional (6)	Medidor 4 Quadrantes	Medidor 4 Quadrantes
Ensaio	Sim (5)	Sim (5)	Sim (5)

Fonte: <http://www.aneel.gov.br/prodist>

Para o dimensionamento do sistema deve-se conhecer e entender a forma de compensação de cada concessionária de energia, estabelecidos pela normativa da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), por meio de sua resolução 482/2012, que regulamenta e descreve os meios para utilização dessa compensação, tais como créditos gerados, consumo e excedente de geração (PRODIST, 2016).

Quando o sistema gera mais energia do que se consome, há a compensação por meio de créditos que são contabilizados e que podem ser utilizados por um período posterior à produção. Contudo, para o órgão regulamentador não é interessante que se gere mais créditos que a unidade consumidora, pois, em algum momento, os créditos poderão ser expirados.

Dessa forma, dimensionar o gerador fotovoltaico é uma ação relevante para que se conheça o consumo diário médio (Wh/dia) de energia disponibilizada pela distribuidora. Mesmo havendo a geração de créditos, a Aneel estabelece o pagamento de uma tarifa mínima cobrada pela concessionária, segundo a resolução 414 (PRODISP, 2016). A energia que uma onda pode transmitir está associada a sua frequência, onde quanto maior a frequência, maior a energia transmitida, já que o comprimento da onda eletromagnética é inversamente proporcional à frequência (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Alguns fatores interferem diretamente no desempenho real do sistema fotovoltaico, já que queda na tensão, sombreamento, baixas temperaturas, baixa eficiência dos inversos, descasamento por módulos de potência diferentes, entre outros aspectos, podem resultar em diminuição da *performance* (CRESESB/CEPEL, 2018). O engenheiro elétrico, por sua vez, deve dimensionar o sistema para que se tenha uma boa eficiência, usando-se técnicas e regulamentos disponíveis para cada local, assim como verificar a orientação dos módulos, a disponibilidade de área, a estética e a disponibilidade do recurso solar (SOUSA, 2018).

Os dados da radiação solar podem ser descritos em valores instantâneos do fluxo de potência, quando se trata de irradiância solar, ou em energia por unidade de área, quando se trata de irradiação solar (PINHO; GALDINO, 2014).

Deste modo, é possível medir a densidade média anual do fluxo de energia resultante da radiação solar sobre a terra a partir da chamada “constante solar”, representada pelo valor de 1.367 W/m^2 (PINHO; GALDINO, 2014). Deve-se ter ideia de que a quantidade de energia que o gerador fornecerá dependerão da irradiância do local, da temperatura e posicionamento dos painéis, que sofrem influências da posição das nuvens, da temperatura e da capacidade térmica.

Tabela 3 – Recomendação de ângulo a partir da latitude

<u>Latitude geográfica do local</u>	<u>Ângulo de inclinação recomendado 0° a 10°</u>
11° a 20°	$\alpha = \text{latitude}$
21° a 30°	$\alpha = \text{latitude} + 5^\circ$
31° a 40°	$\alpha = \text{latitude} + 10^\circ$
41° ou mais	$\alpha = \text{latitude} + 15^\circ$

Fonte: VILLALVA; GAZOLI, 2012

Para estimar a produção de energia, que não é linear, recomenda-se ignorar a irradiância solar em intervalos curtos de tempo, considerando apenas o valor da energia produzida durante o dia (horas de sol pleno), permanecendo constante e igual a 1 kW/m².

Depois de calculada a demanda, um fator muito importante é conhecer as perdas do sistema que influenciam diretamente na geração da energia e devem ser estabelecidas na hora de dimensionar o sistema. Deve-se considerar aspectos da estrutura do telhado, a resistência mecânica, o sombreamento, a inclinação e a posição do telhado. Alguns softwares podem ajudar na modelagem do espaço físico em três dimensões (3D), inferindo-se as estruturas que confrontam com o local do projeto, fazendo assim um dimensionamento mais complexo, definindo a inclinação azimutal e posição das placas para que se diminua e/ou previna alguns efeitos indesejados.

Quanto à viabilidade econômica-financeira os estudos ainda encontram resultados divergentes. Enquanto alguns comprovam que é uma alternativa condizente para a redução de custos e de diversificação energética que se enquadra a diversos cenários urbanos e rurais (DASSI et al., 2015; TSURUDA et al., 2017), outros afirmam que não há viabilidade devido a quantidade de energia ora produzida, ora utilizada (SANTOS; SOUZA; DALFIOR, 2016).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O advento da descoberta de outras fontes de energia renováveis e de fontes inesgotáveis surgiu como uma alternativa viável econômica e ambientalmente para aqueles que utilizam a energia elétrica no seu cotidiano. Contudo, para que essa proposta se torne economicamente viável e efetiva é necessário a elaboração de um projeto pautado nas especificidades recomendadas por órgãos específicos, assim como a análise do local e das variáveis que podem influenciar o sucesso da conversão.

Este estudo, pautado em uma revisão de literatura, dá abertura para que outras pesquisas, até mesmo de cunho transversal, possam identificar, *in loco*, a realidade de diversos cenários urbanos e rurais.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Eliane; BRAZ, Kathlen Thais Mariotto; DIAS, Fernanda Cristina Lima Sales; LANA, Luana Teixeira Costa; ROSA, Anna Clara; SANTO, Olívia Castro do Espírito; SACRAMENTO, Thays Cristina Bajur. **Energia Solar Fotovoltaica: Revisão Bibliográfica**, 2016.

BESSO, R. **SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE** – estudo de caso no centro de tecnologia da ufrj. Monografia. Departamento Engenharia. Escola Politécnica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2017.

CARNEIRO, J. **Semicondutores: Modelo Matemático Da Célula Fotovoltaica**. 2010. Disponível em: [http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/16960/1/Semicondutores_Modelo matem?tico da c?lula fotovoltaica.pdf](http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/16960/1/Semicondutores_Modelo%20matem%20tico%20da%20c%20lula%20fotovoltaica.pdf). Acesso em 09 set 2018.

CIAMPONI, C. E. S. **Geração de energia elétrica domiciliar solar e eólica: análise das condições socioeconômicas para implantação em residências de baixo consumo**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade na Gestão Ambiental. Universidade Federal de São Carlos – UfsCar, 2015.

COLLARES-PEREIRA, Manuel. **Energias Renováveis, a Opção Inadiável**. SPES, Sociedade Portuguesa de Energia Solar, 1998.

CRESESB/CEPEL. **Energia Solar Fotovoltaica**. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=321>. Acesso em: 08 Out.. 2018.

DASSI, J.A.; ZANIN, A.; BAGATINI, F. M.; TIBOLA, A.; BARICHELLO, R.; MOURA, G. D. **Análise da viabilidade econômico-financeira da energia solar fotovoltaica em uma Instituição de Ensino Superior do Sul do Brasil**. XXII Congresso Brasileiro de Custos – Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 11 a 13 de novembro de 2015. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3445027/mod_resource/content/1/solar%20complemento.pdf Acesso em 12 out 2018.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA [EPE]. **Anuário estatístico de energia elétrica 2011**. Rio de Janeiro: EPE, 2011.

FAPESP. **Um futuro com energia sustentável: iluminando o caminho**. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo: FAPESP, InterAcademy Council, 2007. Disponível em: <www.fapesp.br/publicacoes/energia.pdf>. Acesso em: 08 Out. 2018.

GOLDENBERG, J.; LUCON, O. Energias Renováveis: um futuro sustentável. **Revista USP**, n. 72, p. 6-15, 2007. Disponível em: <www.revistas.usp.br/revusp/article/download/13564/15382/>. Acesso em: 08 Out. 2018.

INMETRO. Divisão de Programas de Avaliação da Conformidade. 2011. **Requisitos de avaliação da conformidade para energia fotovoltaica**. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001652.pdf> Acesso em: 15 out 2018.

LAVEZZO, C.A. L. Fontes de energia. **Revista Eletrônica Gestão em Foco**, p. 102-126, 2016.

LUQUE, Antonio. **Status, Trends, Challenges and the Bright Future of Solar Electricity from Photovoltaics**. Handbook of photovoltaic science and engineering. 1ª Ed. Great Britain, Wiley. 2003.

NASCIMENTO, Cássio Araújo do. **Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica**. Monografia. Pós-Graduação. Lavras, Minas Gerais: Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, 2004.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL, 2014. 36p.

PRODISP. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional . **Módulo 8: Qualidade da Energia Elétrica**. 2016. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/modulo-8> Acesso em: 15 out 2018.

SANTOS, F. A.; SOUZA, C. A.; DALFIOR, V. A. O. **Energia Solar: um estudo sobre a viabilidade econômica de instalação do sistema fotovoltaico em uma**

residência em Ipatinga-MG. 2016. Disponível em:
<https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos16/862456.pdf> Acesso em 12 out 2018.

SOUSA, G. W. R. **Estudo de instalação de sistema fotovoltaico em edificações de pequeno porte.** Monografia. Departamento Engenharia. Escola Politécnica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018.

TEIXEIRA, R. E. P. **Projeto, execução e análise de um sistema de microgeração distribuída fotovoltaica em uma unidade residencial do município de Paulo Afonso-BA.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia da Bahia. 2017. Disponível em: <<http://portal.ifba.edu.br/paulo-afonso/cursos/graduacao-1/engenharia-eletrica-1/TCC-EE/2017/TCC%20-%20RuiTeixeira.pdf/view>>. Acesso em: 08 Out. 2018.

TEIXEIRA, Marcos Fernandes. Energia fotovoltaica e suas novas_tecnologias e conceitos. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento.** Ano 03, Ed. 10, Vol. 07, pp. 87-100 Outubro de 2018. ISSN:2448-0959

TSURUDA, L. K.; MENDES, T. A.; VITOR, L. R.; SILVEIRA, M. B. **A importância da energia solar para o desenvolvimento sustentável e social.** In: 6th International Workshop - Advances in Cleaner Production– Organizational Report. 2017.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações.** São Paulo: Érica, 2012. 224p.