

SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICO LIGADO DIRETAMENTE A REDE ELÉTRICA (ON-GRID, GRID-TIE)

Ulisses Galvão Romão

Especialista em Engenharia Elétrica, Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia de São Paulo (IFSP), Cubatão, São Paulo, Brasil.

Resumo: Células fotovoltaicas convertem diretamente energia luminosa em energia elétrica de forma estática, silenciosa, não poluente e renovável. Podendo utilizar para este efeito uma fonte gratuita e mais abundante de luz existente, que está presente em praticamente todos os locais habitados de nosso planeta, o sol. Neste artigo descreveremos uma das mais promissoras aplicações desta tecnologia, a integração de painéis de células fotovoltaicas ou painéis solares, sistemas “on-grid” ou “grid-tie”, de forma descentralizada, mas interligada as instalações de geração e transmissão de energia elétrica, que no Brasil é conhecido como Sistema Interligado Nacional (SIN), dispensando assim os bancos de baterias necessários em sistemas do tipo autônomo ou “off-grid”, e seus elevados custos e manutenção. Para esta aplicação deve-se utilizar módulos fotovoltaicos específicos homologados, circuitos elétricos, dispositivos de medição e proteção envolvidos em tais instalações.

Palavras-chave: Energia Limpa e Renovável. Geração fotovoltaica. Sistema on-grid.

Abstract: Photovoltaic cells directly convert light energy into static, silent, non-polluting and renewable static electricity. For this purpose a free and abundant source of existing light can be used, which is present in practically every inhabited place of our planet, the sun. In this article, we will describe one of the most promising applications of this technology, the integration of photovoltaic cells panels or solar panels, on-grid or grid-tie systems, in a decentralized way, but interconnected the electricity generation and transmission facilities. Thus dispensing with the necessary battery banks in autonomous or off-grid systems, and their high costs and maintenance. The application it is necessary to use homologated specific photovoltaic

modules, electrical circuits, measurement and protection devices involved in such installations.

Keywords: Clean and Renewable Energy. Photovoltaic Generation. On-grid System.

INTRODUÇÃO

Quando os fótons contidos na energia luminosa incidem sobre o material semicondutor com determinadas características elétricas, a energia de uma fração destes fótons pode excitar elétrons no semicondutor, que por sua vez poderão dar origem a uma corrente elétrica, este efeito é utilizado no funcionamento das células fotovoltaicas ou também chamadas de células solares, que, portanto, convertem diretamente a energia luminosa em energia elétrica. Dentre todas as maneiras de absorver esta energia e transforma-la em eletricidade, o efeito fotovoltaico é o mais estudado atualmente, desta maneira sua evolução tecnológica é muito promissora.

A incidência diária de energia solar sobre a superfície da terra é superior ao total de demanda anual terrestre. Como podemos verificar no cálculo a seguir:

O Sol pode ser considerado como um reator a fusão nuclear operando a cerca de 100.000.000°C, a uma distância média da terra de cerca de 150.000.000km.

Constante solar: No topo da atmosfera a radiação solar é reduzida a 1.353W/m²; esta constante é chamada constante solar ($G_{\text{extraterrestre}}$ ou G_{AM0}). Ao atravessar a atmosfera, a radiação solar sofre atenuação por absorção do O₃ (UV), H₂O (IR) e CO₂ (IR) e espalhamento pelo ar, vapor d'água e poeira. Assim, a intensidade de radiação que chega à superfície da terra ao meio-dia é da ordem de 1.000W/m², também denominada 1 SOL.

O fluxo solar e a demanda energética da terra: O fluxo solar, energia radiante ou potência instantânea total que incide sobre a terra é da ordem de 1,75x10¹⁷ W (raio da terra = 6,4x10⁶ m; área da seção reta da terra = 1,3x10¹⁴ m²; $G_{AM0} = 1.353 \text{ W/m}^2$). Por outro lado, a demanda energética mundial é da ordem de 3,4x10⁶ Wh/ano. Assim, podemos calcular o tempo necessário para que incida sobre a terra uma quantidade de energia solar equivalente à demanda energética mundial anual: $t = (3,4 \times 10^{16} \times 60) / 1,75 \times 10^{17} =$ aproximadamente 12 minutos (RUTER, 2004, p.8).

As primeiras células solares fotovoltaicas de elevado custo foram utilizadas na geração de energia elétrica foram em sistemas de alimentação para os satélites de comunicação, mas as tecnologias de produção evoluíram e se tornou economicamente viável para aplicações de micro e mini geração local. Inicialmente a geração de energia elétrica era destinada a locais sem a rede pública, conhecidos como sistemas remotos, autônomos ou “off-grid”, que necessitam de banco de baterias para acumular a energia gerada e suprir a demanda em períodos noturnos ou quando a geração solar é insuficiente.

Atualmente os sistemas solares fotovoltaicos vêm sendo utilizados de forma interligada à rede elétrica pública, “on-grid” ou “grid-tie”, desta forma dispensando o sistema de acumulador com banco de baterias, que tem elevado custo na aquisição e manutenção, pois o banco de baterias torna-se a própria rede elétrica.

Duas configurações diferentes podem ser realizadas nas instalações solares fotovoltaicas interligadas à rede elétrica pública:

De forma integrada a edificação junto ao ponto de consumo, instaladas em telhado ou fachada, utilizando os painéis fotovoltaicos como material de revestimento arquitetônico dando à edificação uma aparência estética de alta tecnologia e ecológica e com vantagens de não requer áreas extras e ser utilizada no meio urbano (figura 1).

Figura 1- Painéis fotovoltaicos como material de revestimento arquitetônico.



Fonte: <http://gridtiesolar.com.br/energia-solar/energia-eletrica-solar-residencial/> (2019)

Ou grandes geradoras centralizadas convencionais, distante do ponto de consumo, necessitará de infraestrutura adicionais em grandes áreas, complexos sistemas de transmissão e distribuição e apresentando os altos custos (figura 2).

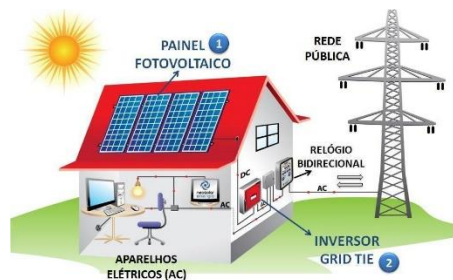
Figura 2. Sistema geradora fotovoltaica centralizada convencional



Fonte: <http://gridtiesolar.com.br/energia-solar/energia-eletrica-solar-residencial/> (2019).

Este artigo concentra nos aspectos técnicos somente no primeiro tipo de configuração, ou seja, descreveremos a integração de painéis de células fotovoltaicas ou painéis solares em sistemas “on-grid” ou “grid-tie” de forma local, mas interligada as instalações de geração e transmissão de energia elétrica, formando o processo denominado de microgeração ou minigeração distribuída de energia na modalidade de compensação de energia elétrica (figura 3), que dispensa os bancos de baterias necessários em sistemas do tipo autônomo ou “off-grid” e seus elevados custos e manutenção (figura 4). Que também minimizam as perdas da transmissão e distribuição, comuns ao sistema tradicional de geração centralizada, provocados por diversos fatores relacionados a distância em que se encontra as geradoras de energia.

Figura 3. Sistema on-grid ou grid-tie



Fonte: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes> (2019)

Figura 4. Sistema off-grid

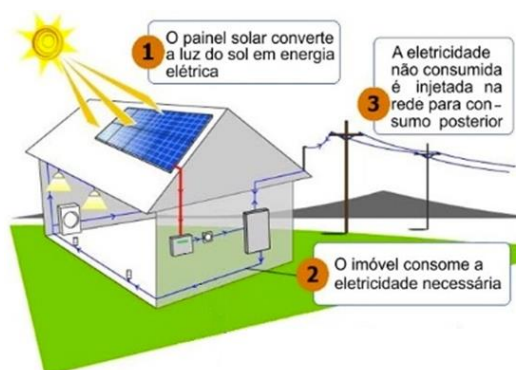


Fonte: <http://wplacasotovoltaicas.blogspot.com/2015/10/saiba-mais.html> (2015)

Outra enorme vantagem na geração distribuída e não centralizadas é não necessitar de desapropriação e ocupação de área extra para a construção de grandes usinas de geração de energia elétrica, pois estão integradas a própria edificação onde há demanda.

Estes sistemas são instalados de tal maneira que o gerador solar, portanto formado por painéis de células solares, circuitos eletrônicos inversor DC/AC e instalação elétrica adequada. Se este sistema gera mais energia que a consumida, o excesso é injetado na rede elétrica e é registrado como crédito no medidor de energia que é bidirecional. Mas quando o sistema solar gera menos energia do que a demandada pela instalação consumidora, o déficit é suprido pela rede elétrica e o medidor como convencionalmente ocorre registra este consumo. O resultado final a ser pago será o valor consumido subtraído do valor injetado na rede, se este resultado for negativo, o crédito será computado para o próximo pagamento (figura 5).

Figura 5. Sistema de créditos do sistema on-grid ou grid-tie



Modificado de: "<http://gridtiesolar.com.br/energia-solar/energia-eletrica-solar-residencial>" (2019)

REGULAMENTAÇÃO

No Brasil as entidades que coordenam a geração, transmissão e distribuição de energia elétrica são: Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) que é uma entidade brasileira de direito privado sem fins lucrativos e é responsável pela coordenação e controle da operação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional (SIN), sob a fiscalização e regulação da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel). Portanto a ANNEL foi responsável em 2012 a editar através da "Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012" (<http://www.aneel.gov.br/cedoc/bren2012482.pdf>), que estabelece as

condições gerais para o acesso de microgeração¹ e minigeração² distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação³ de energia elétrica, que também engloba a geração fotovoltaica on-grid.

Essa normalização possibilita ao consumidor gerar a própria energia ativa, injetando na rede elétrica o excedente para utilizá-lo posteriormente sob a forma de créditos disponíveis por até 60 meses⁴. A concessionária de energia elétrica é obrigada, mediante algumas regras, a instalar um medidor especial que além de registrar o consumo de energia, passa também a registrar a energia excedente gerada convertida nos créditos.

Nesse modelo, não existe qualquer restrição do consumo da energia elétrica e a microgeração ou minigeração integrada, ou seja, o sistema combina os dois e garante o fornecimento de energia sobre demanda, seja pelo sistema solar ou pela rede elétrica. Convém ressaltar que na falta de energia elétrica da rede pública o fornecimento será interrompido por questão de segurança. O objetivo desta resolução é que o consumidor com a microgeração ou minigeração distribuída de energia elétrica, diminua seu pagamento a tarifa básica de fornecimento.

Se tratando de um sistema de energia elétrica interligado a rede pública, é de extrema importância o conhecimento completo desta resolução pelo futuro proprietário, pois existem outras disposições quanto a autorização, instalação, deveres, responsabilidades sobre a instalação e conservação deste sistema que como não é o objetivo deste trabalho, não foram comentados, e é de vital importância ser entendida, e que um profissional qualificado deve ser contatado para obter as licenças junto a concessionária de energia e também executar a instalação adequada e indicar as necessidades de manutenções periódicas a serem executadas.

Observações:

1. Microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras; (Redação

dada pela REN ANEEL 786, de 17.10.2017, Capítulo I, Das Disposições Preliminares, art.2º, item I).

2. Minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5MW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras; (Redação dada pela REN ANEEL 786, de 17.10.2017, Capítulo I, Das Disposições Preliminares, art.2º, item II).

3. Sistema de compensação de energia elétrica: sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa; (Redação dada pela REN ANEEL 687, de 24.11.2015, Capítulo I, Das Disposições Preliminares, art.2º, item III)

4. Para fins de compensação, a energia ativa injetada no sistema de distribuição pela unidade consumidora será cedida a título de empréstimo gratuito para a distribuidora, passando a unidade consumidora a ter um crédito em quantidade de energia ativa a ser consumida por um prazo de 60 (sessenta) meses. (Redação dada pela REN ANEEL 687, de 24.11.2015, Capítulo III, Do Sistema de Compensação de Energia Elétrica, item IV, §1º).

ESPECIFICAÇÃO DE EQUIPAMENTOS E CÁLCULOS NECESSÁRIOS

Para determinarmos qual será a especificação dos equipamentos a serem utilizados, inicialmente devemos calcular o número de painéis solares, suas dimensões e sua potência necessária, para em seguida especificarmos os outros equipamentos do sistema, o que será executado a seguir.

PAINEL FOTOVOLTÁICO

Como descrito anteriormente este painel é o componente responsável por converter diretamente energia luminosa em energia elétrica. Existem muitos tipos de materiais em sua fabricação, desde os mais simples com baixas taxas de rendimento

e custo baixo até equipamentos mais modernos com materiais mais sofisticados de altas taxas de rendimento e altos custos de aquisição. Mas o aspecto mais importante para escolha deste componente não é sua eficiência, mas sim a quantidade necessária de energia gerada em relação ao espaço necessário para sua instalação e se há disponibilidade deste espaço. Como normalmente a eficiência é diretamente proporcional ao seu custo e inversamente proporcional a suas dimensões, devemos começar a escolha pelo cálculo de energia necessária e analisar a quantidade de insolação média anual em horas na região a ser instalada.

Quantidade de Insolação Média Anual em Horas na Região Escolhida

Obtido no CRESESB- Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de S. Brito, ligados a CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica e pertencente a Eletrobras - Centrais Elétricas Brasileiras S.A e Atlas Solarimétrico do Brasil através dos links a seguir respectivamente:

<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>;

http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Atlas_Solarimetrico_do_Brasil_2000.pdf (figura 6).

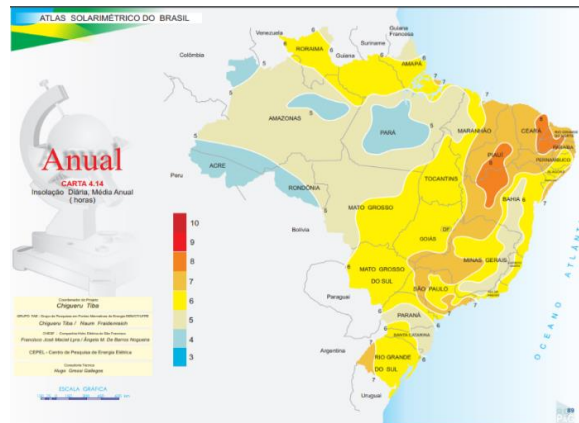
Figura 6. Capa do Atlas Solarimétrico do Brasil



Fonte: Atlas Solarimétrico do Brasil (2000)

No Atlas Solarimétrico do Brasil, podemos encontrar a quantidade de insolação diária média mensal em horas em todos os locais do Brasil e na página 89 podemos obter aproximadamente a média diária anual em horas, que servirá de referência para o cálculo da geração fotovoltaica sobre os painéis (figura 7).

Figura 7 - Insolação diária, Média anual em horas



Fonte: Atlas Solarimétrico do Brasil, p.89 (2000)

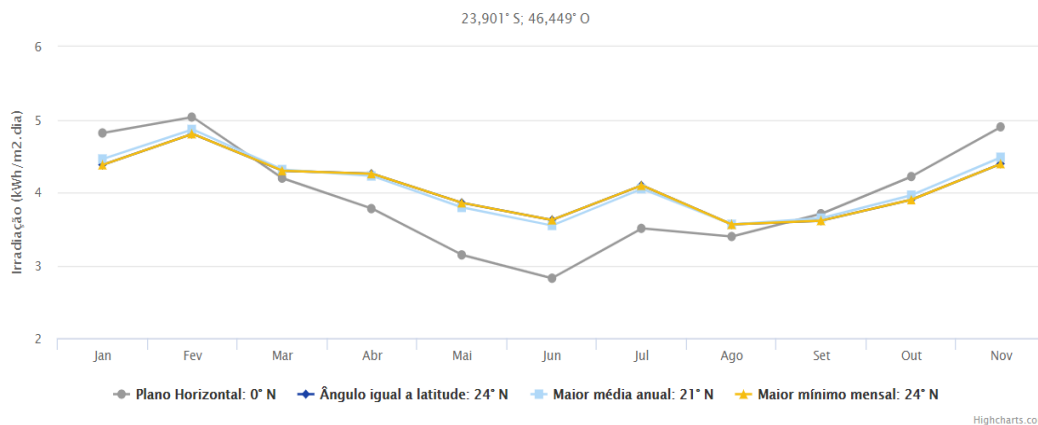
Para obter o valor com maior precisão, entrar no primeiro link do CRESESB e no final da página completar os dados de latitude e longitude do local desejado e acionar “Buscar”, nas tabelas e gráficos apresentadas procurar a localização mais próxima e obter a **Irradiação Solar Média Diária** por m^2 (I_{RSM}) na coluna **Média** do **Cálculo no Plano Horizontal**, sua unidade é $[kWh/m^2.dia]$ (figura 8).

Cálculo no Plano Inclinado

Estação: Cubatao
 Município: Cubatao , SP - BRASIL
 Latitude: 23,901° S
 Longitude: 46,449° O
 Distância do ponto de ref. (23,928444° S; 46,412324° O): 4,8 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal $[kWh/m^2.dia]$												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	4,82	5,03	4,20	3,78	3,14	2,82	2,86	3,51	3,40	3,71	4,22	4,90	3,87	2,21
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	24° N	4,38	4,81	4,30	4,26	3,86	3,62	3,58	4,10	3,56	3,61	3,90	4,39	4,03	1,24
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	21° N	4,46	4,86	4,31	4,23	3,79	3,55	3,51	4,05	3,56	3,65	3,96	4,48	4,04	1,35
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	24° N	4,38	4,81	4,30	4,26	3,86	3,62	3,58	4,10	3,56	3,61	3,90	4,39	4,03	1,24

Irradiação Solar no Plano Inclinado –Cubatao–Cubatao, SP-BRASIL



Fonte: http://www.cresesb.cepel.br/index.php#localidade_5314 (2019)

EFICIÊNCIA NA CONVERSÃO DOS PAINÉIS SOLARES (E_{CP})

Para calcular a eficiência de um painel solar é preciso saber sua energia máximo de conversão de luz em energia elétrica em kW e sua área exata de exposição a luz, assim dividindo a potência pela área, resultará em um fator de kW/m². Como a média de radiação de luz solar que chega a superfície da Terra é de 1000 W/m², então o resultado obtido refere-se à eficiência do painel solar considerado.

Atualmente, os principais tipos de células fotovoltaicas disponíveis são: Silício cristalino (c-Si), divididos em monocristalino (m-Si) e policristalino (p-Si); silício amorfo hidrogenado (a-Si); telureto de cádmio (CdTe); disseleneto de cobre (gálio) e índio (CIS e CIGS). Suas eficiências na transformação da energia luminosa recebida em relação a energia elétrica gerada são mostradas na tabela 1.

Tabela 1 – Eficiência de conversão dos painéis solares x sua tecnologia de fabricação

Tecnologia	Eficiência (Wp/m ²)
m-Si	0,12 a 0,15
p-Si	0,11 a 0,18
a-Si	0,6 a 0,8
CdTe	0,7 a 0,10
CIGS	0,9 a 0,11

Modificada de: Rebollar (2011 p.71)

A tecnologia dos painéis fotovoltaicos para geração de energia elétrica não tem relação direta com o calor, pois são mais eficientes em temperaturas amenas e, portanto, perdem sua eficiência com o aumento da temperatura (REBOLLAR, 2011).

Tabelas de referência

Os painéis menos eficientes apresentam percentuais inferiores a 0,13 (13%). Os mais eficientes têm percentuais acima dos 0,16 (16%). O meio-termo está entre os 0,14 (14%) e 0,149 (14,9%) assim os painéis com eficiência de 0,15 (15%) são considerados acima da média de eficiência.

Coeficiente de temperatura

Os coeficientes de temperatura, que é o quanto o painel solar reduz sua energia de geração pela elevação de temperatura, os valores ideais variam de 0,35% até 0,47% de redução de geração por cada grau Celsius acima dos 25 °C. Evite os coeficientes maiores de 0,5%/°C (durante o teste a temperatura considerada é de 25 °C, que é diferente das condições climáticas brasileiras reais, por este motivo é interessante buscar painéis fotovoltaicos com coeficientes de temperatura mais baixos).

Eficiência da célula fotovoltaica em relação ao do painel solar

É importante saber que a eficiência da célula fotovoltaica é maior que a do painel solar. Uma vez que a célula é inserida no painel e durante o processo de fabricação, é normal a perda de sua eficiência por conta de diversos fatores. Portanto o fator mais importante é a eficiência do painel solar e não a eficiência da célula.

Teste de instalação e manutenção dos sistemas de geração fotovoltaicas

A manutenção preventiva e a realização de testes nas instalações têm alto impacto no resultado da produção de energia e durabilidade para manter sua máxima eficiência.

O selo do INMETRO só garante um dos dezoito requisitos exigidos internacionalmente pela IEC 61215, sem estes outros requisitos o painel solar não garante seu tempo de vida e em casos graves pode provocar como incêndios. Os outros requisitos importantes da IEC 61215 que podem ser considerados:

Inspeção visual

Em uma área bem iluminada verificar qualquer defeito que possa ser visto “a olho nu” no módulo.

Resistência ao isolamento

Determinar se o módulo tem isolamento suficiente em eletricidade entre a parte interna e externa.

Medição dos coeficientes de temperatura

Simular os rendimentos de energia em temperaturas mais altas como existente em algumas regiões do país.

Desempenho do painel solar com baixa irradiação

Verifica o comportamento do painel solar em condições de pouca irradiação de luz.

Teste de resistência de Hot-Spot

Determinar a capacidade de suportar aquecimento localizado, que pode ser causado por rachaduras, sujeira, sombreamento parcial ou falhas de interconexão.

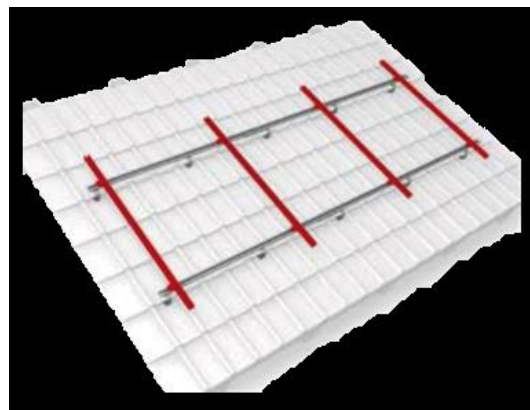
Teste de exposição ao ar livre

Avaliar a capacidade de suportar as intemperes exposto ao ar livre, verifica condições climáticas diferentes dos testes realizados em laboratório, realizar também testes de resistência contra granizo, umidade e congelamento.

ESTRUTURA METÁLICA PARA FIXAÇÃO DO PAINEL SOLAR

Destinado a fixar adequadamente os painéis solares a estrutura metálica é a melhor solução, como este material estará exposto ao tempo é preferível utilizar materiais com boa resistência a corrosão e intemperes, normalmente dependendo do peso dos painéis a escolha mais adequada são perfis de alumínio ou aço inoxidável, parafusos e porcas de aço inoxidável e emendas e junções de nylon ou ABS (figura 9).

Figura 9 – Estrutura de fixação dos painéis solares

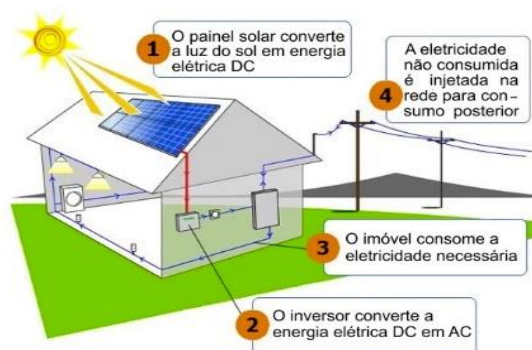


Fonte: Manual da Engenharia Solar, Fotaic, pg.10

INVERSORES DE CORRENTE CONTÍNUA PARA CORRENTE ALTERNADA

A função do inversor é transformar a energia elétrica contínua dos painéis solares em energia elétrica alternada adequada para o funcionamento da maioria dos equipamentos fabricados (figura 10). O inversor trabalha com tensões de entrada de 12Vcc, 24Vcc, 48Vcc ou 120 Vcc e converte para 120Vac ou 240Vac na frequência de 50 ou 60 Hz. A especificação técnica de cada tipo de inversor dependerá da capacidade de geração das placas fotovoltaicas e do consumo de potência em sua saída.

Figura 10. Função do Inversor DC/AC



<http://gridtiesolar.com.br/energia-solar/energia-eletrica-solar-residencial/> (2019)

Existem dois tipos de inversores próprios para instalação neste sistema:

Um único inversor de alta potência (Inversor String) para ligação de vários painéis solares que serão interligados em série (para aumentar a tensão de geração), em paralelo (para aumentar a corrente de geração) ou em série-paralelo para aumentar a geração em tensão e corrente (figura 11).

Figura 11 – Inversor CC/CA



Fonte: <https://static.hayapek.com.br/produtos/48453/2000/1> (2019)

Este tipo de inversor tem um custo mais acessível, mas como para sua instalação depende de formarmos circuitos com mais de um painel fotovoltaico

teremos uma menor performance do sistema, quando se tratar de defeitos em componentes do sistema ou problemas pontuais de redução da incidência luminosa, pois se um painel para de funcionar ou sua ligação é interrompida e os painéis estiverem em série, o sistema todo para de funcionar. Se ocorrer a redução da geração de um dos painéis, independente do circuito, todos os painéis sofrerão a mesma redução, isto pode ocorrer se um ou mais painel solar estiver com defeito ou for obstruído com excremento de pássaros, insetos, queda de folhas ou qualquer tipo de obstrução da luz incidente. Também no caso de ocorrer um problema com o inversor ou sua conexão, toda a geração será interrompida até sua substituição ou correção.

Micro inversor mais moderno e com custo total maior (figura 12).

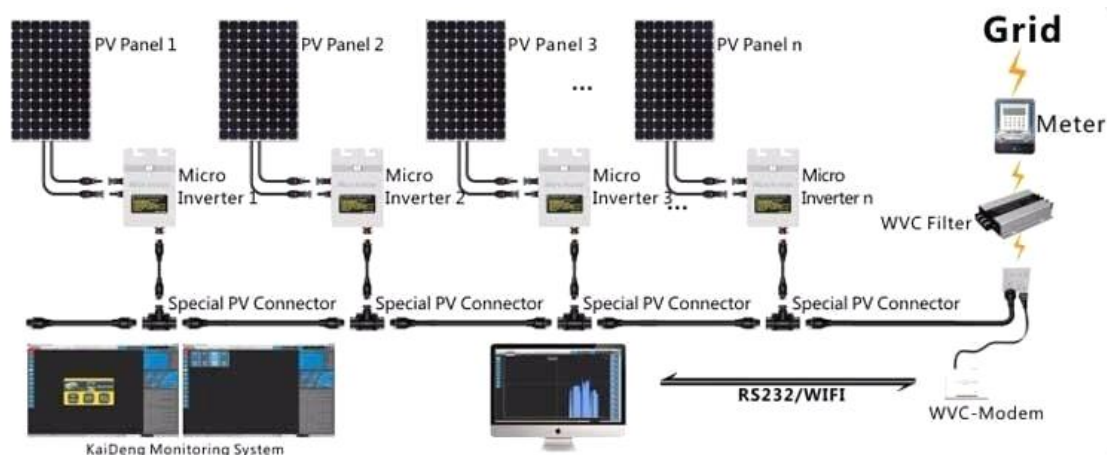
Figura 12 - Micro inversor



Fonte: <http://www.hoymiles.com.br/500W-Solar-PV-Microinverter.php> (2019)

Este tipo de inversor deve ser interligado entre eles e um para cada painel solar (figura 13).

Figura 13 – Interligação dos micro inversores



Fonte: <https://Ftawontatar.shackywacky.com%2Fred-energy-solar-connections&psig> (2019)

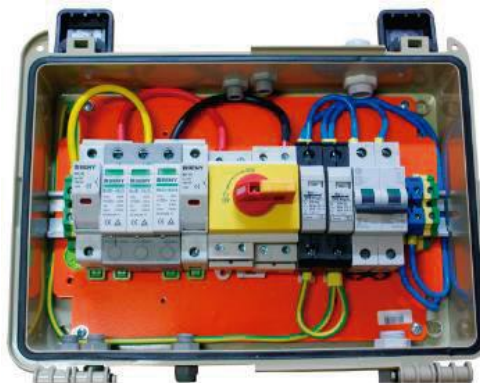
A função de gerenciamento da geração de cada painel com o sistema será executada por cada micro inversor, desta maneira um mal funcionamento ou redução da geração do painel solar ou do micro inversor, não afetará todo o sistema, pois o equipamento defeituoso será automaticamente gerenciado pelos outros micro inversores do sistema.

Observação: Convém ressaltar que em testes de performance com os dois inversores em sistemas novos e sem problemas, os dois sistemas apresentaram poucas diferenças em sua geração, KRENZIR (2018 p.8).

CAIXA DE JUNÇÃO (STRINGBOX)

É responsável por conter os componentes de proteção do sistema instalado, como seccionadora primária, fusíveis, disjuntores, proteções contra sobre tensões e descargas atmosféricas e os contadores de comutação. Estes componentes devem ser projetados com base na Norma de Instalações Elétricas de Baixa Tensão (ABNT NBR 5410) em sua última versão.

Figura 14 - Caixa de função



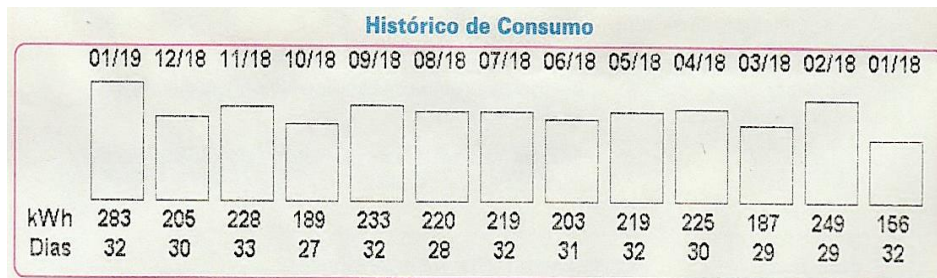
Fonte: Manual da Engenharia Solar, Fotaic, pg.14 (2019)

ENERGIA DEMANDADA DIARIAMENTE (E_{DD})

Obtido pela somatória anual de todos os consumos mensais apresentados na conta do consumidor em kWh e discriminada como Histórico de Consumo (figura 15), deste valor dividir por 360 para obter a média de consumo diária. Ou anotar a média mensal de consumo já previamente informada por algumas distribuidoras de energia

elétrica e dividir por 30. Ou ainda considerar o maior valor de consumo mensal do ano e dividir este valor por 30, para se prevenir de consumos maiores que a média calculada, sua unidade é [kWh.dia].

Figura 15 - Exemplo do histórico de consumo da conta de energia elétrica residencial



Fonte: Conta de consumo Enel (2019)

VALORE MÍNIMOS DA UNIDADE CONSUMIDORA RESIDENCIAL (V_{MCR})

Para que a rede elétrica permaneça interligada ao sistema de geração fotovoltaica on-grid, a Resolução 456/2000 da ANEEL em seu artigo 48, estabelece os valores mínimos de energia mensal cobrada para cada perfil de unidade consumidora residencial: Unidades monofásicas e bifásicas com dois condutores será 30 kWh, unidades bifásicas com três condutores será 50 kWh e as unidades trifásicas será 100 kWh. Portanto mesmo que a geração se iguale ao da demanda será cobrado o valor V_{MCR} do consumidor. Assim V_{MCR} dividido por 30 (dias no mês) se obterá o valor mínimo diário da unidade consumidora residencial (V_{MDCR}), que é uma variável que depende do perfil do sistema de rede pública interligado sua unidade é kWh.dia, mostrado na fórmula 1.

Formula1 – Cálculo do Valor Mínimo Diário da Unidade Consumidora

$$V_{MDCR} = \frac{V_{MCR}}{30}$$

Para o cálculo da energia diária do sistema solar gerado será subtraído V_{MDCR} da Energia Demandada Diariamente (E_{DD}).

PERDAS DE ENERGIA NO SISTEMA

As perdas de energia nos componentes do sistema, analisados dentre os vários fabricantes e sistemas elétricos similares, são provocados por cinco fatores:

- Perdas por temperatura principalmente sobre os painéis solares → (7% a 18%);
- Incompatibilidade elétrica que ocorrem entre os painéis solares quando estão ligados em série ou em paralelo → (1% a 2%);
- Acumulo de detritos sobre os painéis solares → (1% a 8%);
- Cabeamento de interligação das conexões de corrente contínua → (0,5% a 1%);
- Cabeamento de interligação das conexões de corrente alternada → (0,5% a 1%);
- Perdas nos inversores devido a seus componentes, transformação CC em CA e suas conexões → (2,5% a 5%).

Para calcular o **Rendimento de Cada Fator** anterior (η_{R1}), a perda considerada deve ser subtraída de seu rendimento máximo (100%), ou seja, seu fator de rendimento será apresentado na fórmula 2:

Fórmula 2 – Cálculo do Rendimento de cada Fator

$$\eta_{R1} = \frac{(100 - \text{Perdas Consideradas}) \%}{100}$$

Para calcular o **Rendimento Total do Sistema** (η_{RT}), deverá se multiplicar os vários rendimentos de cada fator, calculado pela fórmula 3:

Fórmula 3 – Cálculo do Rendimento Total do Sistema

$$\eta_{RT} = (\eta_{R1} \cdot \eta_{R2} \cdot \eta_{R3} \cdot \eta_{R4} \cdot \eta_{R5})$$

ENERGIA GERADA NECESSÁRIA NOS PAINÉIS SOLARES

Dispondo de todos os valores e fatores necessários para o cálculo da energia gerada necessária para os painéis solares, fórmula 4.

Fórmula 4 – Cálculo da Energia Gerada nos Painéis Solares

$$P_{PGP} = \frac{E_{DD} - V_{MDCR}}{I_{RSM} \cdot \eta_{RTS}}$$

Sendo:

P_{PGP} = Potência de Pico Gerada Pelos Painéis [Wp];

E_{DD} = Energia Demandada Diariamente [kWh.dia];

V_{MDCR} = Valores Mínimos Diário Consumidora Residencial [kWh.dia];

I_{RSM} = Irradiação Solar Média Diária [kWh/m².dia];

η_{RTS} = Rendimento Total do Sistema.

CÁLCULO DA ÁREA TOTAL NECESSÁRIA DOS PAINÉIS SOLARES (A_{PFV})

Considerando que a irradiação solar sobre a superfície da terra é 1000 kWh/m².dia, podemos definir o cálculo da área total necessária dos painéis, fórmula 5.

Fórmula 5 – Cálculo da Área Total Necessária dos Painéis Solares

$$A_{PFV} = \frac{P_{PGP}}{E_{CP}}$$

Sendo:

A_{PFV} = Área dos Painéis Fotovoltaicos [m²];

P_{PGP} = Potência de Pico Gerada Pelos Painéis [Wp];

E_{CP} = Eficiência na Conversão dos Painéis [Wp/m²].

CÁLCULO DO NÚMERO DE PAINÉIS SOLARES NECESSÁRIO (N_{PFV})

A dimensões e áreas dos painéis normalmente empregados para montagem de sistemas fotovoltaicos são (A_{FV}):

Painéis de 260Wp, 265Wp e 275Wp → 1,6m x 1,0m = área de 1,6m²;

Painéis de 310Wp, 315Wp e 320Wp → 1,95m x 1,0m = área de 1,95m².

Com a área total necessária e a área do painel fotovoltaico que se escolheu para a instalação do sistema pode-se calcular o número de painéis para suprir esta área, fórmula 6.

Fórmula 6 – Cálculo Número de Painéis Solares Necessário

$$N_{PFV} = \frac{A_{PFV}}{A_{FV}}$$

Sendo:

N_{PFV} = Número de Painéis Fotovoltaicos;

A_{PFV} = Área dos Painéis Fotovoltaicos [m²];

A_{FV} = Área do Painel Fotovoltaico [m²].

De posse da energia de pico e da quantidade de painéis solares necessária para cada painel, deve-se procurar nas características quais os painéis existentes que as suprem, comparar o melhor custo benefício entre eles. Logicamente como em toda compra de componentes, deve-se levar em consideração aspectos como confiabilidade do fabricante e do componente, facilidade na sua instalação e manutenção, previsão de durabilidade para se calcular o valor da depreciação do equipamento em relação ao seu investimento inicial, analisar as opiniões de outros consumidores e todos os outros aspectos relevantes para a compra de qualquer bem durável. A escolha dos outros componentes deve também seguir estas recomendações e também as normas vigentes para seu cálculo.

CONCLUSÕES

Como visto neste trabalho, o sistema fotovoltaico distribuído empregado na geração de energia elétrica para suprir as demandas dos consumidores é extremamente eficiente e de cálculo fácil. As tecnologias de desenvolvimento de novas células e o barateamento dos componentes para sua montagem e manutenção estão se tornando mais viáveis com o decorrer dos tempos, com a disseminação do carro elétrico e com as exigências cada vez maiores para o desuso de tecnologias

que geram poluição ambiental, a demanda pela energia de fontes limpas e renováveis como o sistema de geração solar, sua procura está aumentando exponencialmente, assim através da lei da oferta e procura, os preços de mercado destes componentes devem reduzir mais rapidamente e ficar cada vez mais viável sua utilização.

Também se considerarmos a utilização maciça destes sistemas, a demanda de consumo de energia elétrica das redes públicas deverá permanecer constante ou mesmo ser reduzidas, evitando o enorme gasto de verbas e áreas públicas na construção de novas usinas centralizadas de geração e de sistemas de transmissão.

REFERÊNCIAS

DANTAS, B. Dimensionamento Sistemas Solares Fotovoltaico Passo a Passo, https://www.youtube.com/watch?v=i5NG_wHAodk&t=724s, Vídeo Fotaic Energia Solar. 2017.

FOTAIC, E.S, Manual da Energia Solar. <http://www.fotaic.com.br/manualsolar>, p. 8-22. 2017.

KRENZIR, A, et al. Estudo comparativo do uso de inversores string e micro inversores na geração de energia elétrica de uma instalação fotovoltaica com sombreamento. **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar, Gramado, R.G.S**, p.1-8. 2018.

RUNTER, R. Edifícios Solares Fotovoltaicos. **Editora UFSC/LABSOLAR**, ISBN 85-87583-04-2, Florianópolis, p.7-80. 2004.

REBOLLAR, P. B. M, et al, Energias Renováveis Energia Solar, **Livro Digital, Editora Unisul**, p.66 e 71. 2011.