

ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Dimensionamento de Sistemas de Geração Fotovoltaica

Realização:



UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA - UFRR

**PRÓ-REITORIA DE ASSUNTOS ESTUDANTIS E
EXTENSÃO- PRAE**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA -
DEE**

Programa de Extensão:

**Elaboração e Divulgação de Cartilhas,
Minicurso e Visitas Técnicas sobre Sistemas
Fotovoltaicos.**

**AÇÃO DO CONVÊNIO ESTABELECIDO
ENTRE A UFRR E O FÓRUM DE
ENERGIAS RENOVÁVEIS / IEL**

EQUIPE

Prof^a. Me. Jamille Tuanne Dantas Alves (UFRR)

**Prof^a. Me. Luíza Santos e Souza Pinheiro
(UFRR)**

Prof^a. Dra. Susset Guerra Jimenez (UFRR)

Prof. Dr. Alexander Fernandez Correa (UFRR)

Jardel Farias Maciel (UFRR)

**Rosilene Oliveira Maia (FÓRUM DE
ENERGIAS RENOVÁVEIS / IEL-RR)**

Charly da Silva Nascimento (UFRR)

Gabriel Matias Machado (UFRR)

João Homero de Souza Cruz Camillo (UFRR)

Boa Vista - RR, 2023



FÓRUM DE
ENERGIAS RENOVÁVEIS

*Em memória de Alexandre Henklain (1960-2022)
Incentivador das Energias Renováveis e
Sustentáveis em Roraima e na Amazônia.*

Estes são produtos resultantes da parceria Fórum de Energias Renováveis e Universidade Federal de Roraima (UFRR) que propiciou a construção do Laboratório de Energia Solar Fotovoltaica *Alexandre Henklain* - entusiasta das energias renováveis, como forma de promoção da sustentabilidade inclusiva e justa.

O laboratório foi estruturado fundamentalmente para dar suporte à formação prática dos estudantes do Curso de Engenharia Elétrica da UFRR, porém numa perspectiva extensiva à sociedade local, incluindo produtores rurais e comunidades indígenas que vêm, de forma crescente em nosso estado, sendo assistidas com kits solares para geração de energia elétrica.

Os produtos consistem em 3 Cartilhas sobre Energia Solar Fotovoltaica:

- **Manutenção e Operação** – com o objetivo de explicar de forma explícita a importância da manutenção e operação dos sistemas fotovoltaicos.
- **Dimensionamento de Sistemas de Geração Fotovoltaica** – com o objetivo de instruir estudantes e a comunidade em geral sobre sistemas de energia solar fotovoltaica.
- **Comunidade Rural e indígena** – com o objetivo de divulgar à comunidade rural e indígena do estado de Roraima a importância da energia solar fotovoltaica para geração de energia elétrica.

São conjuntos de informações práticas e simples que vão auxiliar o leitor para uma melhor compreensão do tema.

1. Sobre esta cartilha!

A busca por um modelo energético baseado no desenvolvimento sustentável em curto, médio e longo prazo, que permita a satisfação das necessidades energéticas e minimize os impactos ambientais, sem comprometer as condições de vida no planeta, tem se tornado uma área de pesquisa em destaque.

Essa cartilha tem como objetivo instruir estudantes e a comunidade geral sobre sistemas de energia solar fotovoltaica.

Trataremos mais especificamente sobre o dimensionamento de sistemas de geração solar fotovoltaica e o que é necessário considerar ao fazer a análise de viabilidade.

Ao longo desta cartilha, será abordado sobre o funcionamento básico dos módulos solares, os principais equipamentos necessários em sistemas de geração solar fotovoltaica, quais fatores devem ser levados em consideração na hora de escolher a potência dos equipamentos, quantidades, qual o melhor local, entre outros.



Fonte: CANVA, 2023.

2. Visão Geral

A primeira distinção que faremos é quanto ao modo de funcionamento e objetivo dos painéis solares fotovoltaicos.

Quando falamos de painéis solares é possível pensar nos painéis utilizados para aquecimento de água, os quais economizam energia devido a não utilização de chuveiro elétrico, mas não são geradores de energia.

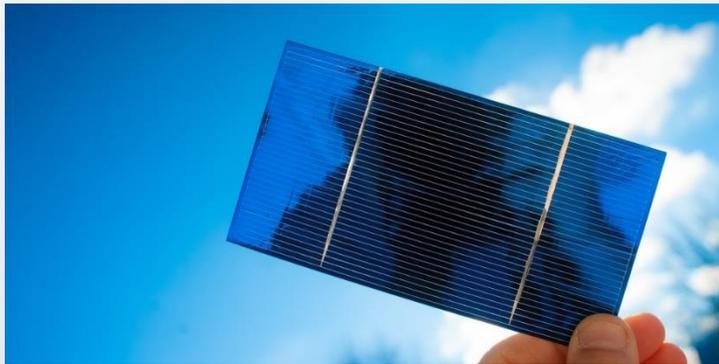
Quando falamos sobre os módulos fotovoltaicos, estamos falando de um equipamento que utiliza a luz do sol para gerar energia elétrica.

Um pensamento geralmente apresentado é que quanto mais quente a região, melhor será a geração de energia. Mas não é exatamente assim. O termo fotovoltaico enfatiza a relação entre tensão e fótons, ou seja, tensão e luz, e não luz e calor. Adiante, veremos como altas temperaturas influenciam no comportamento do material (PORTAL SOLAR, 2023).

2. Visão Geral

2.1 Funcionamento dos Módulos

2.1.1 Semicondutores

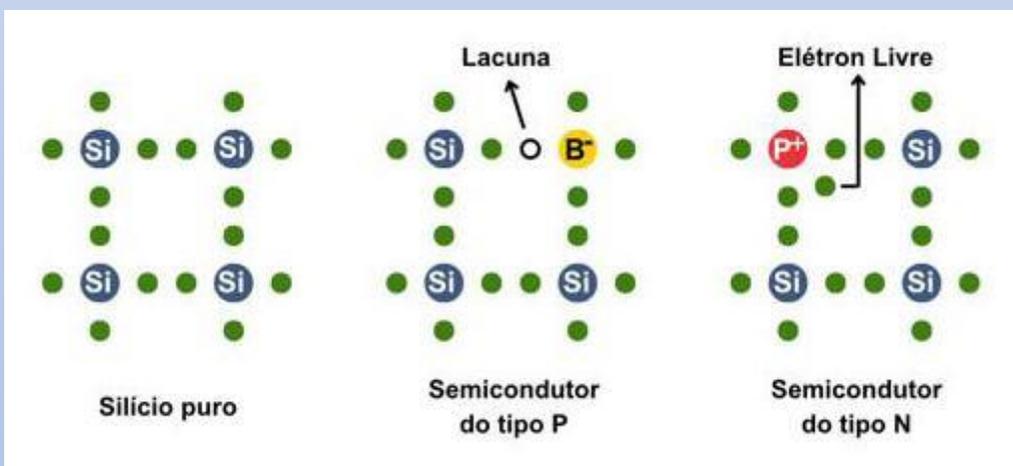


Fonte: PORTAL SOLAR, 2023.

Os painéis solares, também chamados de placas ou módulos solares, são dispositivos formados por várias células cujo material principal é um semicondutor.

Semicondutores são materiais que, em seu estado puro, não conduzem eletricidade ou conduzem muito pouco, mas que ao passarem por um processo chamado dopagem, aumentam sua condutividade elétrica; entretanto, não chegam a conduzir tanto quanto condutores.

O processo de dopagem ocorre da seguinte maneira:



Fonte: elaborado pelo autor (2023)

A estrutura de Silício puro é praticamente um isolante. O Silício realiza ligações covalentes com 4 elétrons na camada de valência. Ao introduzirmos átomos de Boro na estrutura do material, lacunas são deixadas devido ao fato do Boro ter apenas 3 elétrons em sua camada de valência. A ausência do quarto elétron torna a estrutura mais positiva.

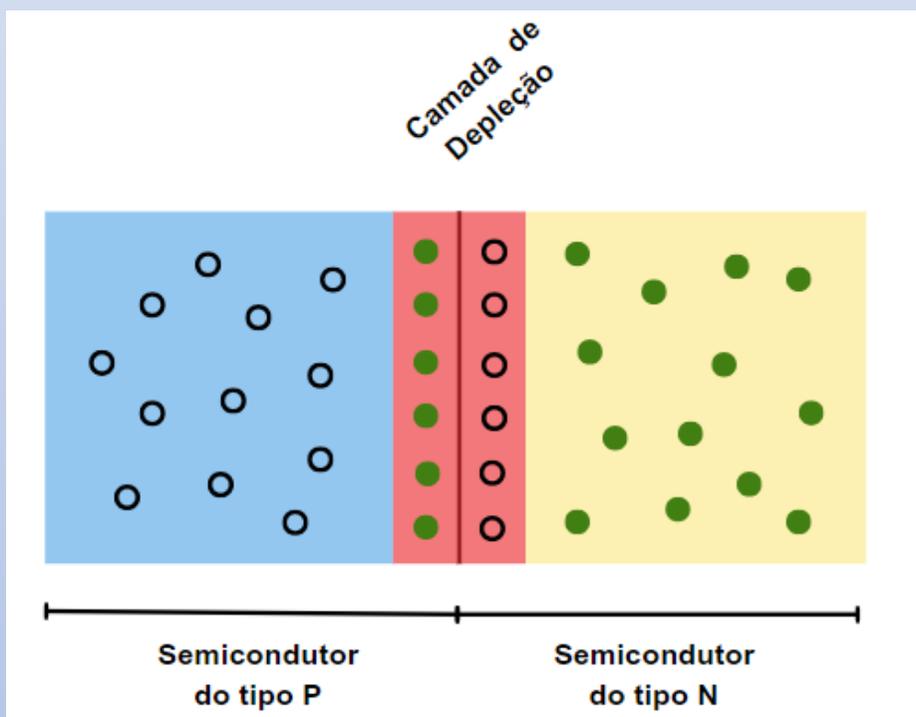
2. Visão Geral

Conforme os elétrons recebem energia, eles podem mudar de posição, ocupando o espaço vago, deixando para trás a lacuna de sua ausência. Desse modo, é como se o espaço vazio se movimentasse pela estrutura. Essa é a característica de condução do semicondutor do tipo P.

O semicondutor do tipo N apresenta elétrons sobrando em sua estrutura, devido à presença do Fósforo que é um átomo pentavalente. Ao receber energia, esses elétrons livres se movem pela estrutura (BOYLESTAD, 2013).

2.1.2 Diodos

A estrutura a seguir é uma junção dos dois tipos de semicondutores apresentados anteriormente. A região em vermelho, chamada de camada ou região de depleção, é formada devido à transição de alguns elétrons do semicondutor do tipo N para o semicondutor do tipo P. Essa transição ocorre de forma natural e próximo à junção, formando uma barreira de potencial que impede que mais elétrons e lacunas migrem para o lado oposto.

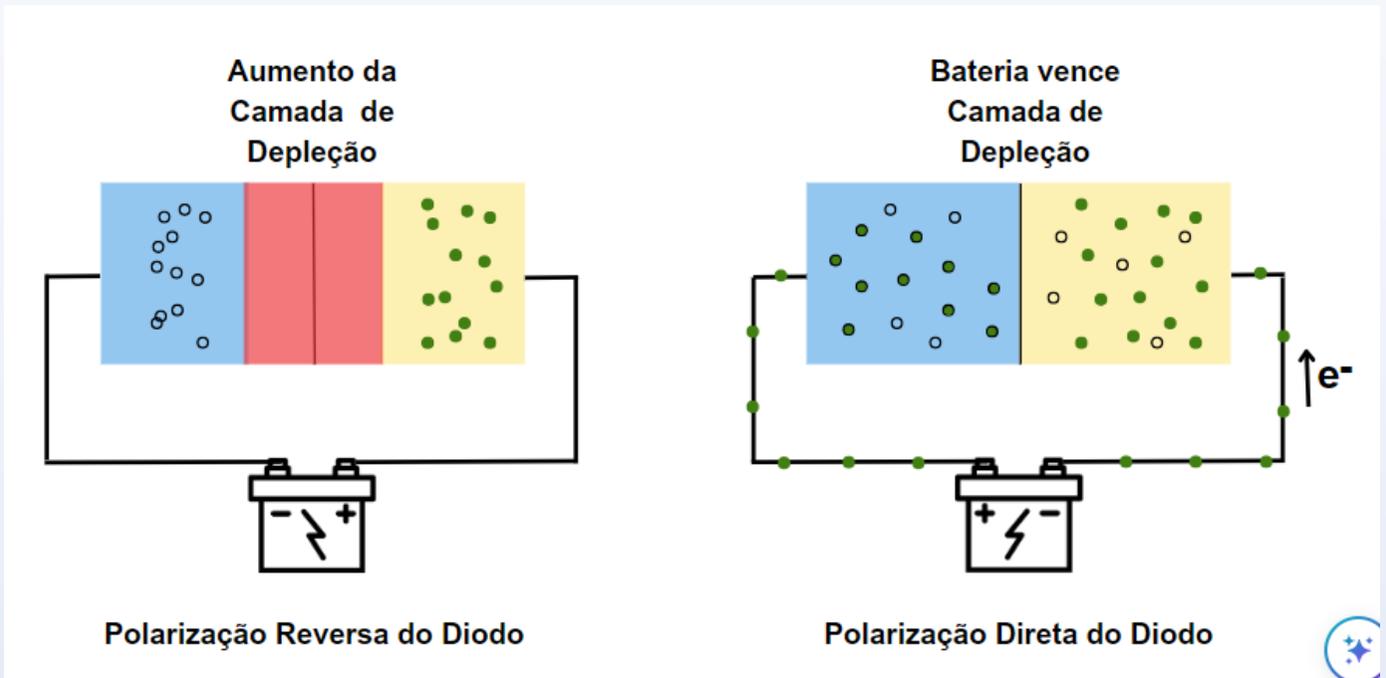


Fonte: elaborado pelo autor (2023)

Quando a bateria é conectada reversamente, os elétrons são atraídos para o polo positivo da bateria, enquanto as lacunas são atraídas para o polo negativo. Isso provoca um aumento da camada de depleção e não há passagem de corrente através do diodo.

No segundo caso, o polo negativo da bateria vence a região de depleção "empurrando" os elétrons do tipo N. Assim, a corrente pode ser estabelecida através do diodo (BOYLESTAD, 2013).

2. Visão Geral

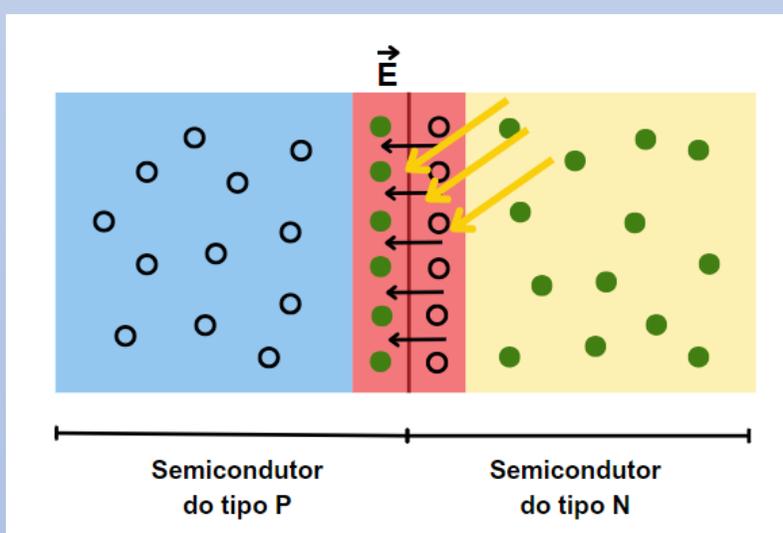


Fonte: elaborado pelo autor e adaptado do CANVA (2023)

2.1.3 Células Fotovoltaicas

As células fotovoltaicas são vários diodos de Silício, mas que diferente do exemplo com as baterias, a energia necessária para a condução de corrente é fornecida pela luz do sol.

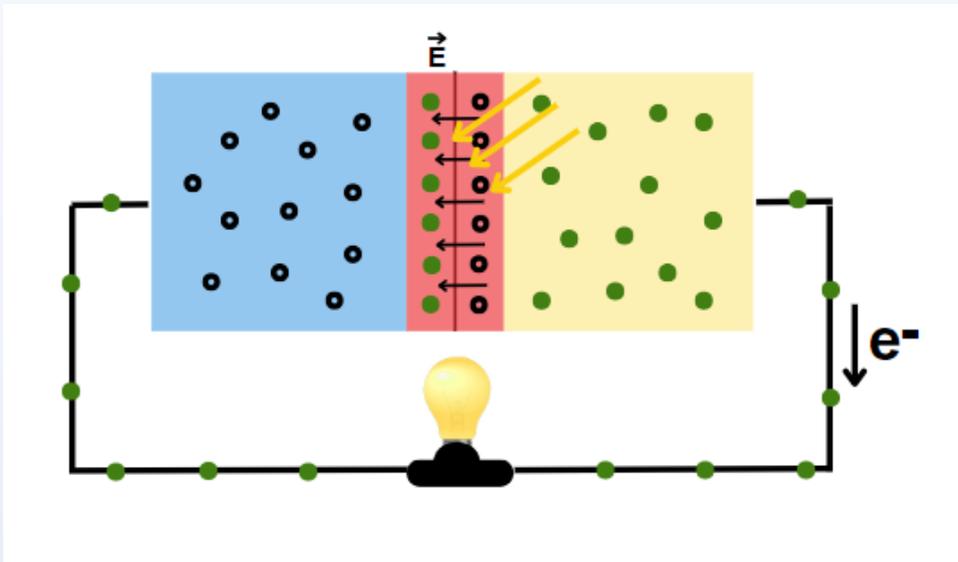
Como a camada de depleção tem elétrons de um lado e lacunas do outro, um campo elétrico é criado. Quando a luz do sol incide nessa região, elétrons e lacunas ganham mobilidade e devido ao campo, as cargas negativas seguem o sentido oposto ao campo, se juntando aos outros elétrons do semiconductor do tipo N, enquanto as lacunas seguem para o semiconductor do tipo P. Assim, o lado negativo se torna mais negativo, e o positivo mais positivo (BOYLESTAD, 2013).



Fonte: elaborado pelo autor (2023)

Como a luz incide sobre todo o dispositivo, fornecendo energia, os elétrons estão livres para conduzir uma corrente. Se fecharmos o circuito incluindo alguma carga, a corrente flui e equipamentos podem ser alimentados.

2. Visão Geral



Fonte: elaborado pelo autor e adaptado do CANVA (2023)

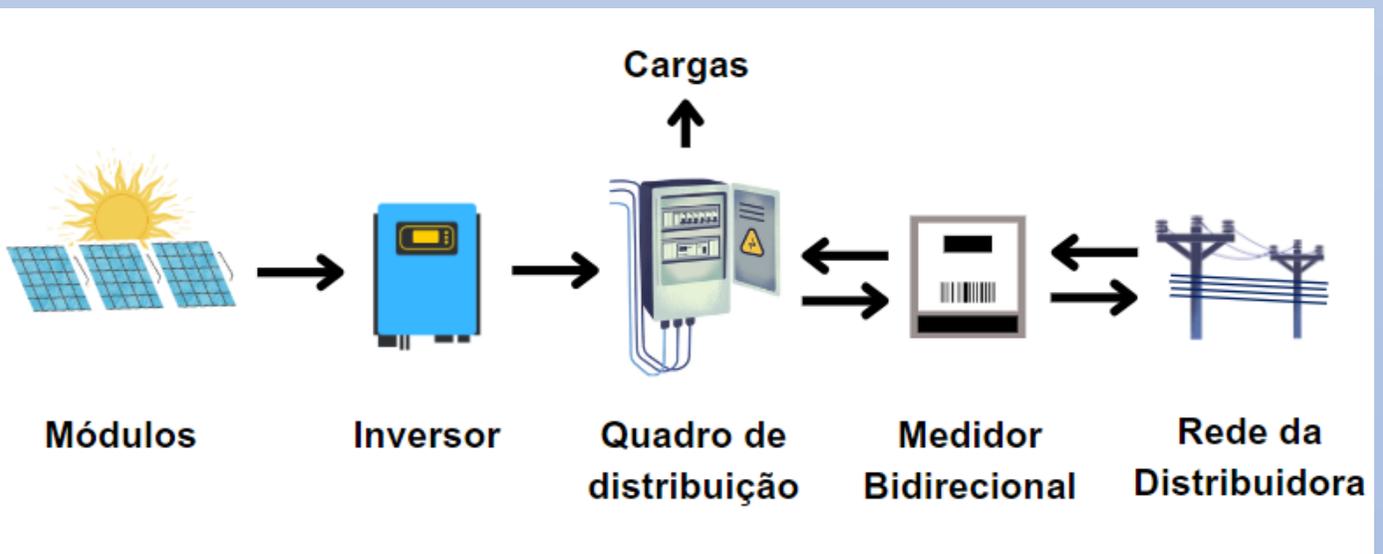
2.2 Tipos de Sistemas

Embora os painéis solares funcionem com a luz do sol, para que o consumidor comum possa ter a segurança de um sistema eficiente, com energia de qualidade e a qualquer momento do dia, é necessário associar os módulos a um conjunto de outros equipamentos e sistemas.

2.2.1 On-Grid

Sistemas On-Grid são aqueles em que além dos módulos como fornecedores de energia, ainda é mantida a conexão com a rede da concessionária.

Esse sistema garante o fornecimento de energia elétrica mesmo em tempo nublado ou durante a noite. Nele, o consumidor conta com um sistema de créditos com a distribuidora de energia (PORTAL SOLAR, 2023).

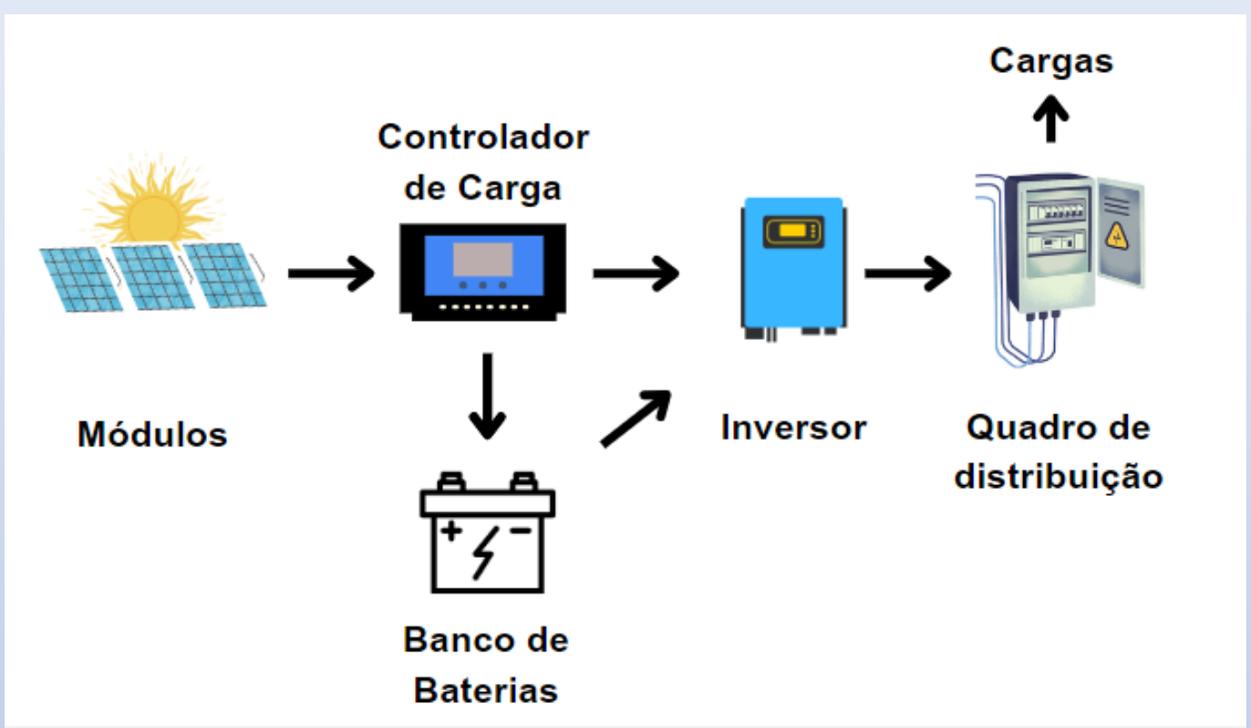


Fonte: elaborado pelo autor e adaptado do CANVA (2023)

2. Visão Geral

Funciona assim: a energia gerada pelos módulos ao longo do dia pode ou não ser totalmente consumida pelo cliente. No caso em que o cliente proprietário do sistema não consome tudo, a energia é injetada na rede de distribuição e é consumida pelos vizinhos. Caso o proprietário consuma mais do que sua geração, ele passa a consumir também a energia da rede. Ao final do mês, se a injeção de energia foi maior do que o consumo da rede, o saldo será descontado no mês em que o consumo for maior que a injeção, diminuindo o valor da conta de energia elétrica. O medidor bidirecional é o responsável por realizar os registros de consumo e injeção (BRASIL, 2023).

2.2.2 Off-Grid



Fonte: elaborado pelo autor e adaptado do CANVA (2023)

Sistemas Off-Grid são caracterizados por atuarem de forma desconectada à rede de distribuição da concessionária de energia.

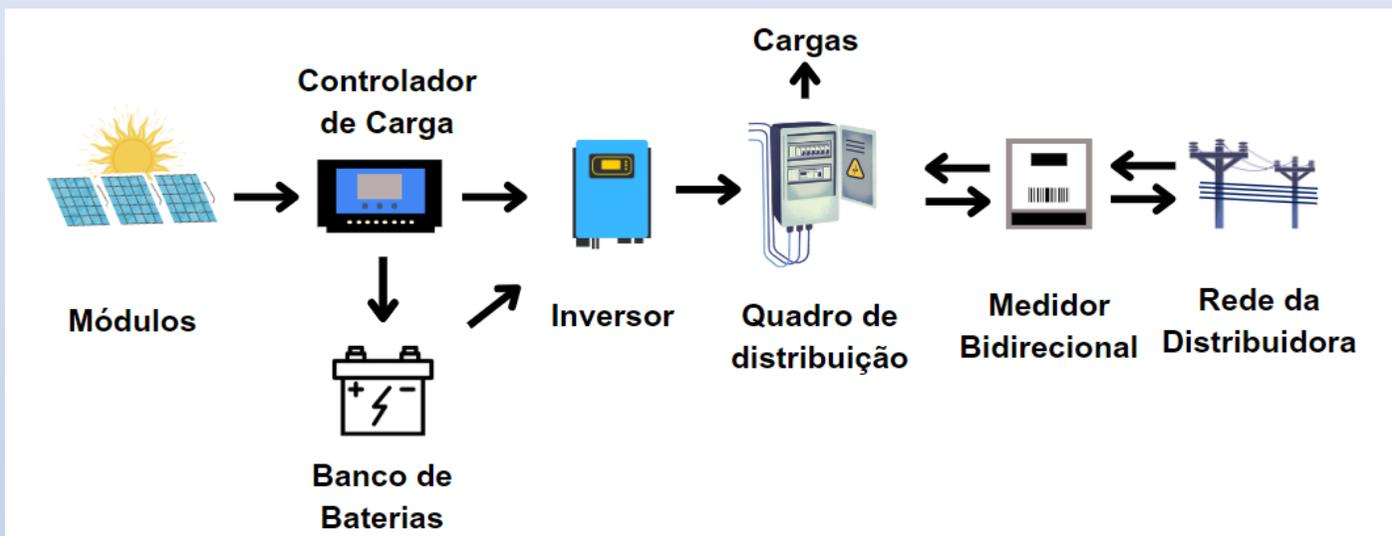
Assim, possuem a vantagem da autonomia, e podem ser utilizados em locais remotos em que não há acesso à rede convencional. Tendo em vista que em tempo nublado ou à noite os módulos geram pouco ou nada de energia, é necessário contar com um banco de baterias. Esses equipamentos possuem o propósito de compensar a ausência da rede da concessionária. Além disso, utiliza-se também o controlador de carga a fim de evitar danos aos equipamentos e prolongar a vida útil. É válido ressaltar que a necessidade dos equipamentos extras resulta um projeto mais caro que o On-Grid (PORTAL SOLAR, 2023).

2. Visão Geral

2.2.3 Híbrido

Assim como o nome sugere, os sistemas híbridos unem as características dos dois sistemas anteriores. O sistema mantém a conexão com a rede elétrica consumindo e injetando, enquanto alimenta baterias para utilizar em caso de necessidade.

No Brasil, tal tecnologia não é comum. É possível obter um sistema off-grid em uma unidade consumidora conectada à rede. Entretanto, a utilização do banco de baterias é acionada de forma independente ao sistema principal, e o inversor não injeta energia na rede elétrica (PORTAL SOLAR, 2023).



Fonte: elaborado pelo autor e adaptado do CANVA (2023)

3. Equipamentos

3.1 Módulo

Os painéis solares, também chamados de placas ou módulos solares, são equipamentos cujo principal dispositivo são as células de Silício discutidas no tópico 2. Várias daquelas células são conectadas em série para que a tensão possa ser somada e uma placa possa alcançar em torno de 50V em circuito aberto. As células reunidas não possuem uma estrutura resistente e podem ser quebradas facilmente. Assim, outros materiais são utilizados para dar corpo e durabilidade às células.

Na imagem abaixo, é possível ver as camadas de cada material.

As camadas de EVA (Etileno acetato de vinila) protegem o conjunto de células contra humidade e entrada de ar, evitando a oxidação do material de silício. Já o vidro, a moldura de alumínio e o *backsheet* dão rigidez à estrutura dos módulos (PORTAL SOLAR, 2023).

Todo o conjunto visa maior eficiência do equipamento. O *backsheet* age como isolante térmico, enquanto o vidro especial permite maior passagem de luz solar e resiste a impactos como o de chuvas de granizo (ZANI, 2020).



Fonte: PORTAL SOLAR, 2023.

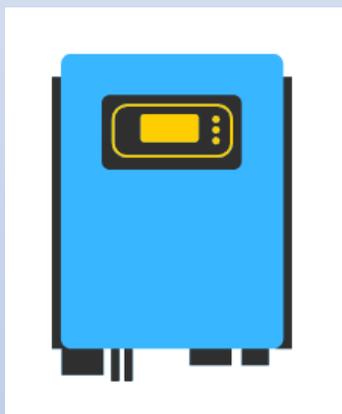
3. Equipamentos

3.2 Inversor

O inversor tem papel fundamental no conjunto dos equipamentos. Ele é o responsável por converter a corrente contínua (CC) fornecida pelos módulos em corrente alternada (CA). Sabe-se que a tensão alternada é mais eficiente para longas distâncias, sendo assim, essa é a tensão que atende à rede elétrica de uma cidade. Conseqüentemente, as instalações e os equipamentos estão todos preparados para esse tipo de funcionamento.

Mesmo em sistemas off-grid, existe a necessidade da utilização do inversor para atender equipamentos que em escala comercial só são preparados para serem atendidos em CA.

Os inversores suportam um limite máximo de corrente e tensão de entrada. Tal limite deve ser observado a partir do datasheet e manual do fabricante (MIRANDA, 2023).



Fonte: CANVAS, 2023

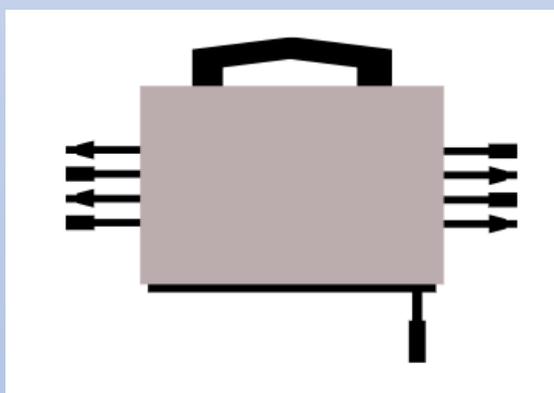
3. Equipamentos

3.3 Microinversor

Existe um parâmetro de perda a ser considerado no dimensionamento de sistema FV chamado *mismatch* (SOUZA, 2019). Acontece que os módulos conectados em série devem ser todos percorridos por uma mesma corrente. E os conjuntos em paralelo devem estar todos sob mesma tensão. Isso faz com que os módulos não possam entregar a máxima potência dada pela soma das potências individuais, mas estarão limitados pelo módulo que estiver com menor potência. Mas por que alguém usaria módulos de potências diferentes?

A realidade é que os módulos, por condições reais, não apresentam todos a mesma potência, ainda que sejam do mesmo fabricante e modelo. Além disso, sujeira, sombreamento parcial, danos de transporte e manuseio podem aumentar o descasamento entre os módulos.

Inversores comuns comportam uma pequena quantidade de arranjos, também chamados *strings*. O que aumenta a dependência entre os módulos e maior perda por *mismatch*. Os microinversores formam grupos menores podendo aproveitar até mesmo a potência máxima de cada módulo. Assim, garante-se que o sistema estará funcionando o mais próximo do seu potencial de geração.



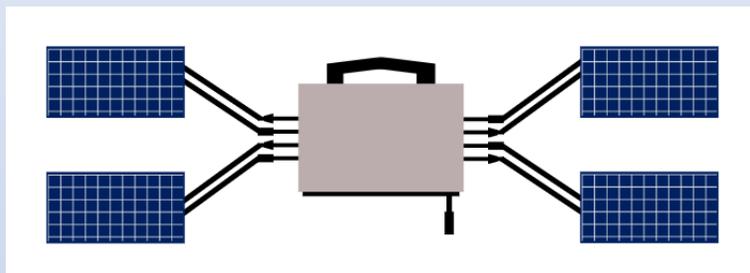
Fonte: elaborado pelo autor (2023)

3. Equipamentos

3.3 Microinversor

Os inversores e microinversores contam com a tecnologia dos MPPTs (*Maximum Power Point Tracking*). Em português, pode ser chamado de Rastreador do Ponto de Máxima Potência, ou seja, é um algoritmo que busca aproveitar a maior eficiência do sistema.

Os microinversores podem apresentar até mesmo 1 MPPT para cada módulo, enquanto os inversores normalmente contam com um conjunto de vários módulos para um mesmo MPPT. Para saber como realizar as conexões e limites de associações em série e paralelo dos microinversores, é necessário conferir o manual do fabricante (NEOSOLAR, 2023).



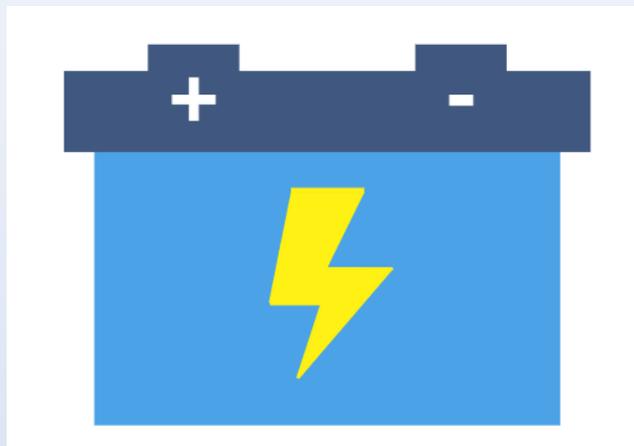
Fonte: elaborado pelo autor (2023)

3.4 Baterias

As baterias utilizadas em sistemas fotovoltaicos são chamadas baterias estacionárias e podem ser de chumbo ou de lítio. Para esta cartilha, daremos destaque ao dimensionamento de sistemas on-grid, mas é importante ter noção das possibilidades. As baterias, assim como os módulos, podem ser conectadas em série para somar as tensões, e cada ramo em série pode ser conectado em paralelo para somar as correntes.

3. Equipamentos

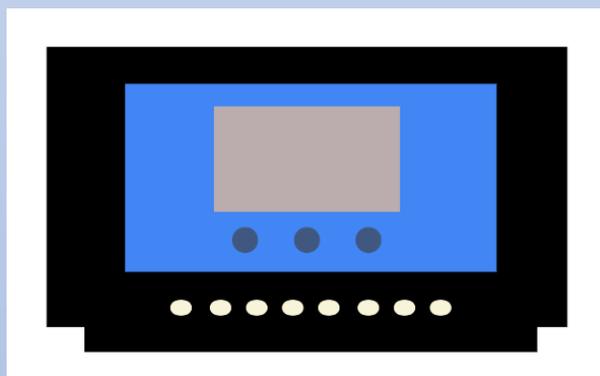
O conjunto completo é chamado de banco de baterias que, se bem dimensionado, deve suprir a demanda do consumidor nos períodos em que os módulos gerem pouca ou nenhuma energia elétrica. Normalmente, dimensiona-se pensando no cenário em que o consumidor precise ser completamente suprido apenas pelo banco de baterias, por um período de 1, 2 ou 3 dias (LEGADO, 2023).



Fonte: elaborado pelo autor (2023)

3.5 Controlador de Carga

Conforme descrito no tópico sobre sistema Off-Grid, o controlador de carga atua como proteção para o banco de baterias, evitando variações bruscas de corrente e prolongando a vida útil delas (PORTAL SOLAR, 2023)



Fonte: elaborado pelo autor (2023)

4. Dimensionamento

4.1 Introdução

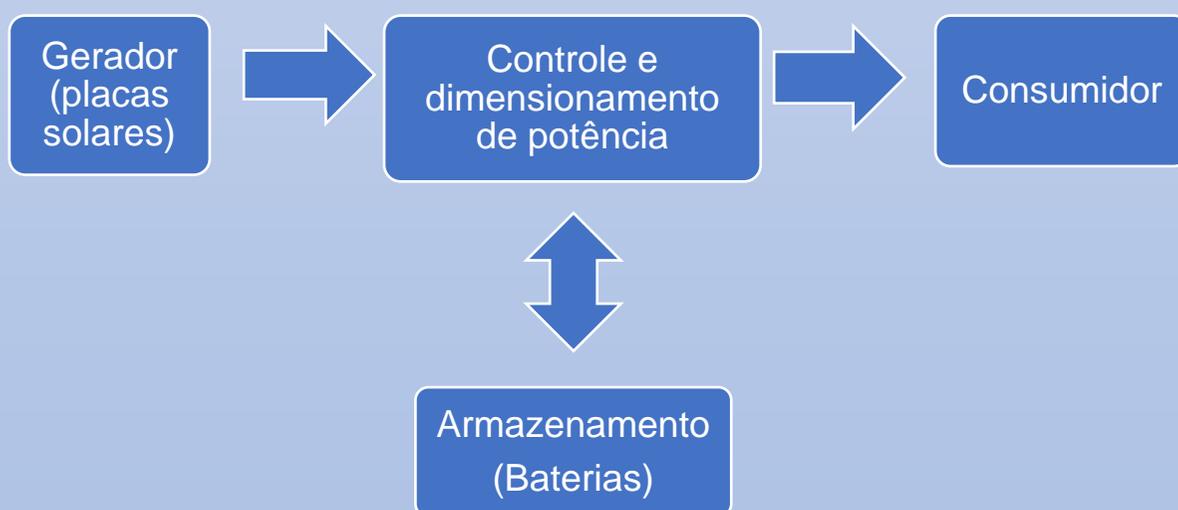
Dimensionamento de um sistema fotovoltaico (SFV) – ajuste entre radiação solar recebida pelos painéis fotovoltaicos e a geração de energia necessária para atender uma demanda de energia elétrica.

Tratamos aqui de um sistema fotovoltaico isolado da rede (SFI). São apresentadas técnicas de projeto de um sistema gerador fotovoltaico para suprir a energia necessária para atender a uma determinada demanda de consumo energético, de um consumidor desconectado da rede de energia elétrica.

A técnica apresentada é aplicável para projetos de baixa tensão e pequeno porte, com potência de até algumas dezenas de kWp.

Dimensionamento dos componentes básicos de um SFV, a partir da demanda de energia e dos dados meteorológicos do local (PINHO; GALDINO, 2014):

- Gerador fotovoltaico
- Equipamentos de controle e condicionamento de potência
- Armazenamento de energia



4. Dimensionamento

Etapas do dimensionamento de um SFV:

- Verificar o recurso solar disponível no local;
- Especificar o local e a configuração do SFV;
- Verificar a demanda e consumo de energia elétrica;
- Dimensionar o gerador fotovoltaico;
- Dimensionar os equipamentos de controle e condicionamento de potência;
- Dimensionar o armazenamento (baterias).

4.2 Verificar o recurso solar

Consiste em quantificar a radiação solar global incidente no local de instalação dos painéis fotovoltaicos. Para estimar a geração de energia elétrica, pode ser utilizado o número de Horas de Sol Pleno (HSP), para determinar o valor acumulado de energia solar no período de um dia.

O HSP será o número de horas em que a irradiância solar chega a 1kW/m² (ou 1000W/m²), calculada a partir da energia disponibilizada pelo sol, durante o período de um dia, no local especificado.

$$HSP \text{ (horas/dia)} = \frac{\text{irradiação(em kWh/m}^2\text{)}}{1 \text{ kW/m}^2} \quad (01)$$

A irradiação incidente varia durante o dia, e é convertida para um valor médio diário em kWh/m², e então esse valor é utilizado pra calcular as HSP.

Podem ser utilizados valores médios de irradiação medidos, e que são disponibilizados pelo governo federal. É importante que também sejam obtidas medições locais de irradiação, para considerar uma medição mais exata para utilizar no projeto do sistema fotovoltaico (PINHO; GALDINO, 2014).

4. Dimensionamento

4.3 Especificar localização dos painéis fotovoltaicos

O local escolhido para a instalação dos painéis fotovoltaicos é importante e influencia diretamente no seu desempenho. Fatores como sombreamento, superfície reflexiva, vento, devem ser observados.

Fatores que favorecem ao bom funcionamento dos painéis:

- Locais sem sombreamento (observar se algum elemento próximo possa causar sombreamento nas placas);
- Locais bem ventilados (para que os painéis não sobreaqueçam, e não diminua sua eficiência);
- Evitar locais próximos a superfícies reflexivas (o que poderia influenciar na irradiação global incidente sobre o painel);
- Inclinação e orientação azimutal favoráveis.

Quando instalado sobre telhados, os aspectos estéticos, a resistência mecânica e as correntes de vento são elementos que devem ser considerados no projeto (PINHO; GALDINO, 2014).

4.4 Especificar a configuração dos painéis fotovoltaicos

O sistema fotovoltaico a ser projeto é isolado da rede.

O fornecimento será em tensão C.A., e com armazenamento em baterias. Sendo assim, devem ser especificados também:

A associação dos módulos fotovoltaicos (em série ou em paralelo);

- As baterias
- Os controladores de carga
- Os inversores
- O seguimento do ponto de potência máxima (SPPM)
- Os dispositivos de proteção, supervisão, controle, aquisição e armazenamento de dados.

(PINHO; GALDINO, 2014).

4. Dimensionamento

4.5 Cálculo de demanda e consumo de energia elétrica

Para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico isolado da rede, deve ser prevista a geração de energia elétrica maior do que o limite máximo estimado para o consumo.

Por padrão, para calcular a demanda de energia da unidade consumidora, são somadas as energias consumidas por todos os equipamentos, relacionando os valores de potência de cada um deles, com o tempo de uso diário e a frequência de uso semanal, e calculada uma média semanal de consumo (em Wh/dia). Os dados de potência de cada equipamento devem ser consultados nas informações fornecidas pelos fabricantes.

Para cada equipamento, a média semanal de consumo pode ser calculada da seguinte forma:

$$\text{Potência do equipamento (Wh/dia)} = P(W) \times \text{tempo por dia (h)} \times \text{dias por semana} \div 7 \quad (02)$$

O inversor apresenta uma eficiência média, que deve ser considerada no cálculo de demanda. A potência total da instalação calculada deve ser dividida pela eficiência do inversor, para contabilizar essa perda:

$$\text{Potência total}' = \frac{\text{Potência total}}{\% \text{eficiência inversor}/100} \quad (03)$$

Ao calcular a potência consumida pelos equipamentos, devem ser observadas as especificidades de consumo, como por exemplo, compressores de refrigeradores, que utilizam termostatos e não funcionam continuamente, e equipamentos que variam seu consumo com a variação da temperatura.

Equipamentos elétricos de alto consumo, como chuveiros elétricos, ferro elétrico, forro de micro-ondas, secador de cabelo e torradeira, devem ser evitados, pois comprometem o fornecimento e tempo de uso do sistema (PINHO; GALDINO, 2014).

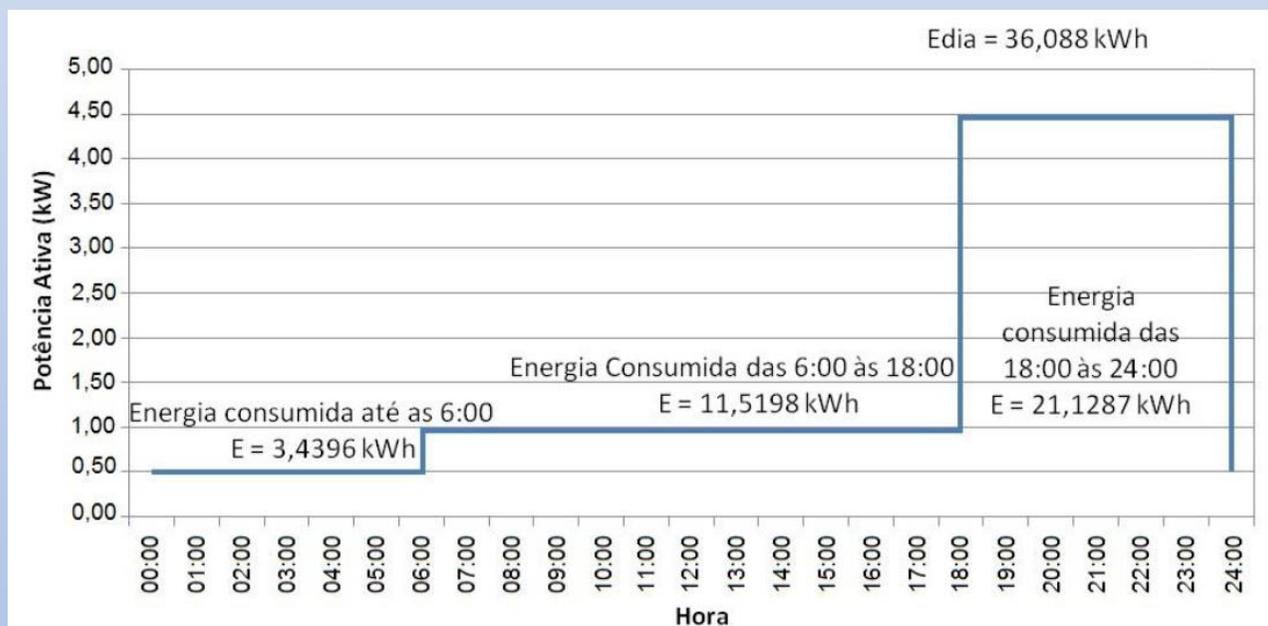
4. Dimensionamento

4.6 Estimativa de curva e carga

Para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico isolado da rede, também pode ser usada uma estimativa da curva de carga, da forma mais precisa possível.

Esta curva prevê a variação do consumo no decorrer do dia e da noite, e também uma sazonalidade anual. Essa prática reduz os custos do sistema e será menos provável a falta de energia.

A figura a seguir mostra uma curva de carga de uma comunidade, com as cargas (e suas potências) separadas pelo tempo de funcionamento, agrupadas em três intervalos durante o dia (PINHO; GALDINO, 2014).



Fonte: PINHO; GALDINO, 2014.

4. Dimensionamento

4.7 Dimensionamento de SFV pelo método do mês crítico

Esse método leva em consideração o consumo de energia e a irradiação solar no decorrer do ano. Do mês mais desfavorável da relação consumo/irradiação, são utilizados esses valores médios mensais de irradiação e de carga para o projeto, o que acabará gerando um excesso de energia gerada nos demais meses.

Nesse método, o que se propõe é que no mês mais desfavorável, o sistema deva funcionar adequadamente.

Quando se tratar de um consumo fixo (carga fixa) durante o ano todo, pode ser considerado simplesmente trabalhar com o pior mês de irradiação solar para efeito de projeto (PINHO; GALDINO, 2014).

Dimensionamento dos painéis fotovoltaicos

- Calcula-se a energia ativa necessária por dia (L), considerando o consumo em corrente alternada e em corrente contínua (se houver), e ao mesmo tempo o rendimento do condicionamento de potência e do armazenamento (PINHO; GALDINO, 2014):

$$L = \frac{L_{cc}}{\eta_{bat}} + \frac{L_{ca}}{\eta_{bat}\eta_{inv}} \quad (04)$$

Onde:

L_{cc} (Wh/dia) – energia consumida diariamente em corrente contínua em determinado mês;

L_{ca} (Wh/dia) – energia consumida diariamente em corrente alternada no mesmo mês;

η_{bat} (%) – eficiência global da bateria;

η_{inv} (%) – eficiência do inversor.

- Com o cálculo da energia média diária consumida em cada mês do ano (Equação 04), calcula-se a potência requerida para o painel fotovoltaico:

4. Dimensionamento

4.7 Dimensionamento de SFV pelo método do mês crítico

$$P_m = \max_i^{12} \left(\frac{L_i}{HSP_i \times Red_1 \times Red_2} \right) \quad (05)$$

Onde:

P_m (W) – potência do painel fotovoltaico;

L_i (Wh/dia) – energia consumida diariamente em corrente alternada no mês i ;

HPS_i (h/dia) - horas de sol pleno no local para o mês i

Red_1 (%) – valor padrão de 0,75 para módulos de Silício; fator de redução da potência dos módulos fotovoltaicos em relação ao seu valor nominal;

Red_2 (%) – valor padrão de 0,9; fator de redução da potência devido a perdas no sistema.

- O resultado da equação será a potência do painel, correspondente a uma relação entre o consumo de um determinado mês e a irradiação deste mês.

Dimensionamento considerando controlador de carga convencional

- Determina-se aqui o número de módulos fotovoltaicos em série, para um controlador de carga convencional. São levados em consideração a tensão do sistema (que é tensão nominal do banco de baterias – V_{sist}) e a tensão de máxima potência dos módulos V_{mpTmax} (operação em temperatura mais elevada) (PINHO; GALDINO, 2014).

$$N^o \text{ de módulos em série} = \frac{1,2V_{sist}}{V_{mpTmax}} \quad (06)$$

- O valor do coeficiente de 1,2 da equação 06 faz com que a tensão gerada seja 20% maior que a nominal, para carregar a bateria com esse nível de tensão e suprir as perdas ôhmicas do processo.

4. Dimensionamento

4.7 Dimensionamento de SFV pelo método do mês crítico

- Cada célula solar de Silício gera uma tensão na ordem de 0,5 a 0,8 V. As células são conectadas em série, obtendo-se o módulo fotovoltaico, que gera a tensão (soma das tensões de cada célula) necessária para o sistema.
- Por exemplo, um módulo fotovoltaico com tensão nominal de 12V é um resultado da conexão de 36 células em série.
- Os módulos são utilizados para carregar as baterias, e podem ser conectados em série para obtenção de tensões maiores, como as de 24V ou 36V. Recomenda-se que o módulo escolhido tenha o número de células adequado à tensão do sistema.
- Para calcular a corrente necessária do painel fotovoltaico, utilizamos os valores obtidos de potência do painel (P_m) e a tensão do sistema (V_{sist}):

$$I_m = \frac{P_m}{V_{sist}} \quad (07)$$

Onde:

I_m (A_{cc}) – corrente do painel fotovoltaico;

P_m (W) – potência do painel fotovoltaico;

V_{sist} (V_{cc}) – tensão nominal do sistema (número de baterias conectadas em série vezes a tensão nominal da bateria).

- Por fim, calcula-se o número de módulos a serem conectados em paralelo para se obter a corrente necessária do painel (I_m), considerando a corrente no ponto de máxima potência que o módulo fornece (I_{mp}):

$$N^{\circ} \text{ de módulos em paralelo} = \frac{I_m}{I_{mp}} \quad (08)$$

4. Dimensionamento

4.7 Dimensionamento de SFV pelo método do mês crítico

Dimensionamento do banco de baterias

- Dada a energia ativa necessária por dia (L) calculada na equação 04 para cada mês, verifica-se o valor máximo obtido e em seguida, calcula-se a capacidade do sistema de acumulação, conforme equações a seguir (PINHO; GALDINO, 2014):

$$L_m = \max_{i=1}^{12} (L_i) \quad (09)$$

$$CB_{C20}(Wh) = \frac{L_m \cdot N}{P_d} \quad (10)$$

$$CBI_{C20}(Ah) = \frac{CB_{C20}}{V_{sist}} \quad (11)$$

Onde:

CB_{C20} (Wh) e CBI_{C20} (Ah) – capacidade do banco de baterias para o regime de descarga em 20h;

N – número de dias de autonomia (tipicamente entre 2 e 4, dependendo da região de instalação); Pode ser calculado por: $N = -0,48 \times HSP_{min} + 4,59$;

P_d – máxima profundidade de descarga da bateria (depende da autonomia; pode ser de ciclo raso – entre 20 e 40% - ou de ciclo profundo – entre 50 e 80%).

- O número de baterias em paralelo é então determinado, considerando a capacidade do sistema de acumulação encontrado.

$$N^{\circ} \text{ de módulos em série} = \frac{CBI}{CBI_{bat}} \quad (12)$$

Onde:

CBI_{bat} (Ah) – capacidade da bateria selecionada.

- Outra possibilidade de associação de baterias é em série, conforme o tipo de bateria e a tensão nominal do sistema.

4. Dimensionamento

4.7 Dimensionamento de SFV pelo método do mês crítico

Dimensionamento do controlador de carga

- O dimensionamento deve ser realizado considerando, tanto os níveis máximos de corrente na entrada (vinda do painel fotovoltaico), quanto da saída (para as baterias), e do nível de tensão cc do sistema.
- Corrente máxima do controlador, considerando que o painel pode receber uma irradiância de até 1250W/m²:

$$I_m = 1,25 \cdot N^{\circ} \text{ de módulos em paralelo} \cdot I_{sc} \quad (13)$$

Onde:

I_{sc} (A_{cc}) – corrente de curto circuito do módulo

- Máxima tensão de operação do controlador (deve ser sempre maior do que a máxima):

$$N^{\circ} \text{ de módulos em série} \cdot V_{ocTmin} < V_{cmáx} \quad (14)$$

Onde:

V_{ocTmin} – tensão de circuito aberto do módulo

Dimensionamento do inversor

- Deve ser levada em consideração a curva de carga da unidade consumidora, pois a potência do inversor deve ser maior ou igual à potência máxima dessa curva.
- De outra forma, a potência pode ser equivalente ou superior à potência instalada.
- Deve ser escolhido um inversor de alta eficiência, pois normalmente vai operar bem abaixo da potência nominal.
- Deve ter a tensão de entrada equivalente à tensão CC nominal do sistema; assim como a tensão de saída deve ter o valor conforme necessidade local (normalmente de 127V ou 220Vrms, em 60Hz).
- Deve haver compatibilidade entre inversor e controlador de carga.

5. Análise de Viabilidade Técnica

Como visto na parte de dimensionamento, é necessário levar em conta alguns fatores na hora de adquirir um sistema fotovoltaico. Por motivo de segurança, custo ou eficiência, dependendo das condições, pode ser inviável a instalação dos equipamentos (MARCELINO, 2022).



Fonte: CANVA, 2023.

5.1 Segurança

Quando falamos dos sistemas fotovoltaicos, tratamos de equipamentos sensíveis que podem trabalhar com tensões somadas de até mil volts ou mais. Altas temperaturas, umidade e possíveis erros de conexão precisam ser evitados. Mas caso algo não saia como esperado, é necessário pensar no melhor cenário para essas situações.

Os inversores podem ser leves, pesando menos de 10kg, ou pesados, chegando até mais de 50kg. Por isso, o local em que serão instalados precisa suportar o peso dos equipamentos. Paredes de madeira não são recomendadas porque, além de serem frágeis, são inflamáveis. Locais apertados, fechados, ou expostos diretamente ao sol também devem ser evitados (SARTURI, 2023).



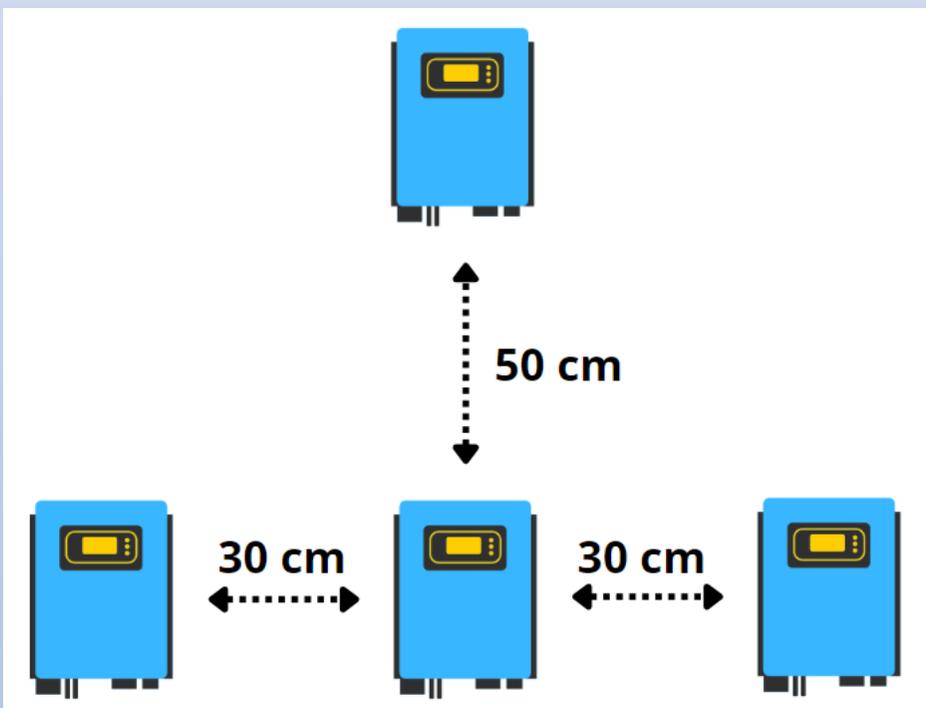
Fonte: CANVA, 2023.

5. Análise de Viabilidade Técnica

O manual do inversor, de modelo MIC 3300 TL-X, da Growatt, apresenta as distâncias mínimas para a instalação de mais de um inversor, como apresentado no desenho abaixo. O manual também recomenda não instalar em locais expostos a chuva ou neve.

Sabemos que equipamentos elétricos precisam de atenção, devido aos perigos quanto à corrente elétrica e ao aquecimento.

Quanto aos módulos, para a instalação em telhados, é importante verificar se a estrutura suporta o peso do conjunto de placas e se há espaço suficiente para a quantidade prevista para suprir a demanda (SARTURI, 2023).



Fonte: elaborado pelo autor e adaptado do CANVA (2023)

5. Análise de Viabilidade Técnica

5.2 Eficiência

Para o dimensionamento de uma usina fotovoltaica foram levados em consideração fatores como sombreamento, temperatura, carga instalada e demandada, dentre outros.

As temperaturas elevadas podem reduzir a eficiência dos módulos, a ponto da quantidade necessária para atender à demanda ser maior do que o espaço disponível no telhado do cliente, por exemplo. É claro que não é obrigatório dimensionar o sistema de modo que toda a demanda seja suprida, mas é importante levar em consideração se o investimento inicial valerá a pena.

A presença de prédios ou árvores em volta pode dificultar a incidência de luz solar, podendo até mesmo inviabilizar o projeto, devido à baixa produção de energia. Sujeira, poeira ou neve, se constantes, também podem vir a ser um impeditivo. A qualidade do produto, as formas de conexão, se serão usados inversores ou microinversores, também influenciam na busca de uma solução para melhorar a eficiência dos equipamentos (MOREIRA, 2018).



Fonte: elaborado pelo autor (2023)

5.3 Custos

Em todos os casos, não tem como não levar em conta a quantia disponível pelo proprietário da usina, para a tomada de decisões. Em sistemas On-Grid, devido ao sistema de créditos, o dimensionamento visa o menor tempo de retorno do investimento, embora ainda seja considerado um retorno a longo prazo (SOUZA, 2020).

REFERÊNCIAS

BOYLESTAD, Robert L; NASHELSKY, Louis. **Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos**. 11ª Ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil Ltda, 2013.

BRASIL. ANEEL. **Resolução Normativa ANEEL nº 1.059 de 7 de Fevereiro de 2023**. Aprimora as regras para a conexão e o faturamento de centrais de microgeração e minigeração distribuída em sistemas de distribuição de energia elétrica, bem como as regras do Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20231059.html>>. Acesso em: 06 de setembro de 2023.

CANVA. **Canva.com**. Disponível em: <<https://www.canva.com/>>. Acesso em: 06 de julho de 2023.

LEGADO. **legadoenergias.com**. Você sabe a diferença entre bateria automotiva e estacionária? Disponível em: <<https://legadoenergias.com/publicacao/voce-sabe-a-diferenca-entre-bateria-automotiva-e-estacionaria/#:~:text=Uma%20bateria%20automotiva%20%C3%A9%20constitu%C3%ADda,longos%20per%C3%ADodos%20de%20descarga%20profundas>>. Acesso em: 06 de setembro de 2023.

MARCELINO, Israel P. **ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO DE MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA**. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.

MIRANDA, Stella. **Canalsolar**, 2022. Inversor solar, o que é e para que serve? Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/inversor-solar-o-que-e-e-pra-que-serve/>> Acesso em: 08 de julho de 2023.

MOREIRA, Alex F. **Alocação e Dimensionamento de Painéis Fotovoltaicos Utilizando Otimização por Enxame de Partículas para Reduzir as Perdas Visando os Aspectos Econômicos**. Orientador: Clivaldo Silva de Araujo. 2018. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Elétrica, Centro de Energias Alternativas e Renováveis, Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2022.

REFERÊNCIAS

NEOSOLAR. **Neosolar.com.br**. Microinversor solar: o que é micro inversor. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/microinversor>. Acesso em: 06 de setembro de 2023.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro: CEPEL - CRESESB, março de 2014.

PORTAL SOLAR. **Portalsolar.com.br**. Células solares: o que são e como funcionam. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/celulas-solares>. Acesso em: 06 de julho de 2023.

_____. **Portalsolar.com.br**. Tipos de energia solar: quais são, como funcionam e qual a melhor. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-energia-solar.html>. Acesso em: 06 de julho de 2023.

_____. **Portalsolar.com.br**. Sistemas fotovoltaicos: tipos, vantagens e desvantagens e como escolher. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-sistemas-fotovoltaicos>. Acesso em: 06 de julho de 2023.

_____. **Portalsolar.com.br**. Sistemas fotovoltaicos: tipos, vantagens e desvantagens e como escolher. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-sistemas-fotovoltaicos>. Acesso em: 07 de julho de 2023.

_____. **Portalsolar.com.br**. Passo a Passo da Fabricação do Painel Solar. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/passa-a-passo-da-fabricacao-do-painel-solar.html>. Acesso em: 07 de julho de 2023.

_____. **Portalsolar.com.br**. Passo a Passo da Fabricação do Painel Solar. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/passa-a-passo-da-fabricacao-do-painel-solar.html>. Acesso em: 08 de julho de 2023.

_____. **Portalsolar.com.br**. Controlador de carga: o que é, qual a função, como funciona, tipos e quanto custa. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/controlador-de-carga>. Acesso em: 08 de julho de 2023.

REFERÊNCIAS

SARTURI, Ivan. **canalsolar.com.br**, 2023. Escolhendo a melhor localização para o inversor fotovoltaico. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/escolhendo-a-melhor-localizacao-para-o-inversor-fotovoltaico/>>. Acesso em: 03 de outubro de 2023.

SOUZA, Gabriela R.; PENHA, Roberto S. D. **Viabilidade Econômica de um Projeto de Investimento de Energia Fotovoltaica**. Monte Carmelo – MG, v. 8, n. 35, p. (113-128), maio, 2020.

SOUZA, João Paulo de. **Ecorienergiasolar**, 2019. Módulos Fotovoltaicos - Perdas por Mismatch em Sistemas Fotovoltaicos. Disponível em: <<https://www.ecorienergiasolar.com.br/artigo/modulos-fotovoltaicos---perdas-por-mismatch-em-sistemas-fotovoltaicos#:~:text=Os%20m%C3%B3dulos%20fotovoltaicos%20conectados%20em,m%C3%B3dulos%20da%20string%20%5B8%5D>>. Acesso em: 03 de outubro de 2023.

ZANI, Victor. **Painel solar SUPORTA chuva de GRANIZO?** Youtube, 17 de abril de 2020. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=RqjHXL508gE>>. Acesso em: 08 de julho de 2023.