

REFERENCIAL TEÓRICO

IRRADIAÇÃO SOLAR

A conversão direta da energia solar em energia elétrica ocorre pelos efeitos da radiação (calor e luz) sobre determinados materiais, particularmente os semicondutores. Entre esses, destacam-se os efeitos termoelétrico e fotovoltaico. O primeiro caracteriza-se pelo surgimento de uma diferença de potencial, provocada pela junção de dois metais, em condições específicas. No segundo, os fótons contidos na luz solar são convertidos em energia elétrica, por meio do uso de células solares. (ANEEL, 2005).

Neste trabalho, será tratado especificamente sobre o efeito da conversão de energia fotovoltaica. Para tanto, é necessário inicialmente compreender os conceitos de radiação e irradiação. A primeira é a energia liberada pelo Sol, sendo uma parte em forma de luz, a qual conseguimos perceber visualmente e outra parte em forma de infravermelhos (IV) e ultravioletas (UV). Já a segunda, é a quantidade de radiação solar em determinado intervalo de tempo, e tem como unidade de medida o watt hora por metro quadrado (Wh/m^2).

O entendimento do conceito de irradiação, bem como seu cálculo, é essencial para chegar aos entendimentos dos efeitos fotoelétricos, e, posteriormente do efeito fotovoltaico. O primeiro diz respeito à emissão de elétrons por um material quando exposto a uma radiação eletromagnética, em que se arranca elétrons da placa incidida, geralmente metálica (Lima, 2012). Já o efeito fotovoltaico, é a criação de uma tensão e corrente elétricas num material após sua exposição à luz. Este último explicita como as placas solares podem ser associadas a um sistema de geração de energia elétrica.

SISTEMA FOTOVOLTAICO ON-GRID E OFF-GRID

A busca pela diversificação da matriz energética brasileira tem se tornado cada vez mais necessária, sendo motivada por dois principais fatores. Primeiramente pelo atual panorama energético, em que, com a diminuição das chuvas e consequente redução da energia gerada por hidrelétricas, associado à necessidade da utilização de termelétricas, aumentou-se, significativamente, o preço da energia. E ainda, pela

necessidade de explorar recursos renováveis que trazem flexibilidade e sustentabilidade quando da sua utilização. Diante deste cenário, a energia solar fotovoltaica apresenta-se como uma tecnologia em constante avanço, no Brasil e no mundo. (ALMEIDA et.al.,2016).

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

O primeiro tipo de sistema fotovoltaico é o *ON GRID* (figura XX), que trabalha concomitantemente à rede elétrica da distribuidora de energia. De forma sucinta, o painel fotovoltaico gera energia elétrica em corrente contínua e, após convertê-la para corrente alternada, é injetada na rede de energia elétrica. Tal conversão se dá pela utilização do inversor de frequência, que realiza a interface entre o painel e a rede elétrica. (PEREIRA & OLIVEIRA, 2011).

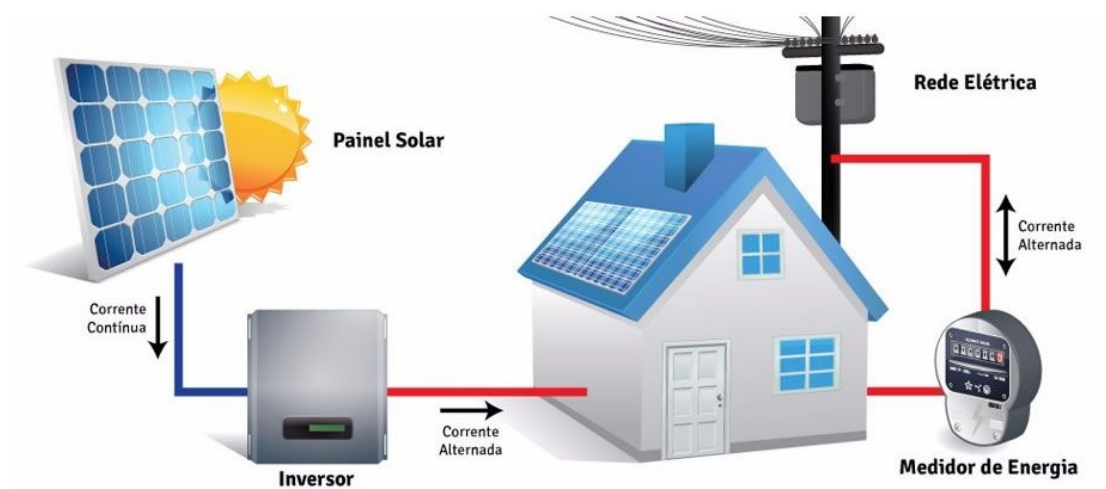


Figura XX: Sistema Fotovoltaico ON GRID

Fonte: <http://www.ecomais.ind.br/energia-solar>

O segundo tipo de sistema fotovoltaico é o *OFF GRID* (Figura XX), que não depende da rede elétrica convencional para funcionar, sendo possível sua utilização em

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

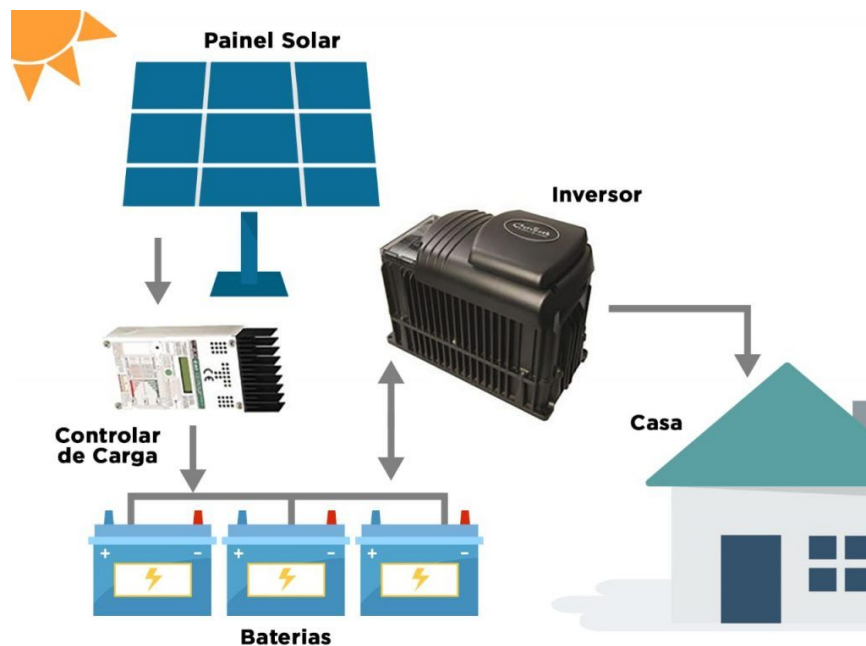


Figura XX: Sistema Fotovoltaico OFF GRID

Fonte: <https://shareenergy.com.br/como-funcionam-os-sistemas-fotovoltaicos-off-grid/>

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

O tipo de sistema fotovoltaico utilizado para dimensionar o sistema de fornecimento de energia neste trabalho foi o *OFF GRID* com armazenamento. Realizou-se o dimensionamento da bateria, tendo como seu material o chumbo-ácido. Juntamente com o dimensionamento dos módulos (ou placas) fotovoltaicos necessários

para o funcionamento do sistema elétrico geral. Além disso, para o bom funcionamento da bateria, acopla-se um controlador de carga. De acordo com Pereira & Oliveira (2011), os controladores de carga têm como principal função proteger os acumuladores, isto é, as baterias de sobrecargas do sistema. Além disso, se bem regulados, asseguram que o sistema opere em sua máxima eficiência.

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

DIMENSIONAMENTO FOTOVOLTAICO

Para realizar o dimensionamento fotovoltaico se definiu um local de referência para obtenção de dados de irradiação solar, e conseqüentemente a realização dos demais cálculos. O local de referência foi a Faculdade UnB Gama que se localiza na Região Administrativa do Gama, que fica a uma distância aproximada de 30km de Brasília-DF.

O dimensionamento deste projeto está dividido em consumo de carga, cálculo para definir os módulos fotovoltaicos e sua quantidade, cálculo para definir a quantidade de bateria e a definição do controlador de carga.

CONSUMO DE CARGA

Para implantação do sistema fotovoltaico *off-grid* primeiramente foi feito um levantamento de carga dos equipamentos, como na tabela 1 (Abre, Barbosa, Leme, 2018). Após o levantamento do consumo de carga, se calculou a potência total em Wh diário, considerando o tempo de funcionamento de cada sensor, a potência consumida diariamente é de 42,7Wh, como pode ser observado na tabela 2.

Tabela 1: Dados dos Equipamentos a serem utilizados

<u>Equipamentos</u>	<u>Tensão (V)</u>	<u>Corrente(A)</u>	<u>Potência (W)</u>
Adafruit BME280	5	0.000714	0.00357
Individual Sensor Board	5	0.001	0.005
LDR	3.3	0.0303	0.1
Motor	6	0.43	2.58
ESP32	5	0.24	1.2
OPC-N3	5	0.18	0.9
Fan de Ventilação	12	0.18	2.16
TOTAL	41,3	1.06	

Fonte: Própria Autoria

Tabela 2: Consumo Diário em Wh de cada Sensor

Equipamentos	Quantidade	Potência (W)	Tempo(h)	Total Wh
Adafruit BME280	1	0.00357	24	0.08568
Individual Sensor Board	5	0.005	24	0.6
LDR	4	0.1	12	4.8
Motor	3	2.58	0.1	0.75
ESP32	1	1.2	24	28.8
OPC-N3	1	0.225	24	5.42
Fan de Ventilação	1	2.16	1	2.16
TOTAL				42,7

Fonte: Própria Autoria

CÁLCULO DOS MÓDULOS

Para o dimensionamento solar se utilizou o método da insolação, para saber o potencial energético solar, ou seja, saber a quantidade de radiação solar incidente sobre o painel solar para que a energia gerada possa ser calculada. Para obtenção dos dados de

irradiação, primeiramente se escolheu um provável lugar de instalação do sistema de monitoramento do ar, escolhemos o Campus da UnB Gama, que se localiza na Região Administrativa do Gama, localizado no Distrito Federal.

Com auxílio do Programa Google Earth foi possível obter as coordenadas de latitude e longitude, sendo 15,98961° ao Sul e 48,0443975° ao Oeste, sendo possível a obtenção dos dados de irradiação solar anual disponibilizadas, fornecendo o ângulo da latitude e o maior e menor valor diário anual de irradiação solar, como pode ser observado na tabela 3, os dados foram obtidos com o auxílio da plataforma online do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito (CRESEB, 2020)

Tabela 3: Irradiação Solar no Plano Inclinado - Região Administrativa do Gama-DF

Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]													
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
Plano Horizontal	0° N	5,39	5,64	5,09	5,00	4,80	4,75	4,94	5,81	5,63	5,47	5,09	5,38	5,25	1,06
Ângulo igual a latitude	16° N	4,99	5,41	5,13	5,40	5,52	5,68	5,83	6,53	5,85	5,33	4,76	4,93	5,45	1,76
Maior média anual	18° N	4,92	5,36	5,12	5,42	5,59	5,78	5,92	6,59	5,85	5,30	4,71	4,85	5,45	1,88
Maior mínimo mensal	5° N	5,29	5,60	5,13	5,16	5,06	5,08	5,25	6,08	5,74	5,46	5,01	5,26	5,34	1,06

Fonte: CRESEB (2020)

A partir dos dados de piores índices de irradiação se calculou uma média da irradiação solar diária para saber as horas de sol pleno (HSP) da Faculdade do Gama, para poder dimensionar o modelo e quantidade de painel solar para o projeto:

$$HSP = (4.71 + 4.75 + 4.76)/3 = 4.74Kwh/m2dia \quad (1)$$

Neste dimensionamento o cenário considerado foi a partir da média dos piores índices de irradiação solar, sendo a inclinação de pior irradiação o de 18°. As características do módulo também devem ser levadas em consideração para melhor geração de energia, o módulo escolhido foi da Decibel (Indústria e Comércio LTDA) por melhor se adequar ao projeto, as informações do painel podem ser observadas na tabela 4.

Tabela 4: Dados da Placa Solar a ser utilizada no dimensionamento

Painel Solar Fotovoltaico Decibel- 12V15W	
Potência	15W
Voltagem de Máxima Potência (Vmp)	17.5V
Corrente de Máxima Potência (Vmp)	0.86A
Tensão de Circuito Aberto (Voc)	21V
Corrente de Curto-Circuito (Isc)	0.93A
Área	0.385mx0.345 m
Eficiência	11.2%

Fonte: Decibel LTDA

Figura: Placa solar de 15W



Fonte: Decibel LTDA

Considerando a média da insolação escolhida e as características dos módulos é possível saber a média de geração diária do sistema, ou seja, quanto de energia será gerada a partir do módulo fotovoltaico (Abre, Barbosa, Leme, 2018):

$$Ep = Es * Am * \eta m \quad (2)$$

Onde,

= Energia produzida pelo módulo diariamente (Wh);

= Média da Insolação Diária (Wh/m²dia);

= Área de Superfície do Módulo (m²);

= Eficiência do Módulo (m²)

A partir da equação 2 e com os dados fornecidos no datasheet da placa solar é possível calcular a quantidade de energia gerada pelo sistema, desse modo temos

$$Ep = (0,385 \text{m} \times 0,345 \text{m}) * 0,112$$

$$Ep = 70,6 \text{Wh}$$

A partir da energia produzida pelo módulo diariamente e a energia consumida pelo sistema é possível calcular o número de módulos:

$$N = Ec / Ep = 0,61$$

De acordo com os cálculos será necessário aproximadamente 0,61 módulos para abastecer o sistema, sendo assim foi feita uma aproximação para 1 módulo de 15W.

CÁLCULO DAS BATERIAS

O cálculo da bateria permite determinar a quantidade de baterias e os tipos de bateria que será utilizado no sistema para o armazenamento da energia de modo que o consumo demandado seja atingido. As equações utilizadas para o dimensionamento são a da energia armazenada, capacidade de carga do banco e a quantidade de bateria.

Para o cálculo da energia armazenada se considerou um sistema que tenha autonomia de 3 dias e a descarga máxima da bateria de 99%.

$$E_a = \frac{n^{\circ}_{aut} * Energia_{consumida}}{D}$$

Onde,

E_a = Energia Armazenada;

n°_{aut} = Número de Dias de Autonomia;

$Energia_{consumida}$ = Energia Consumida;

D= Descarga máxima da bateria;

Substituindo os valores na equação temos:

$$E_a = \frac{3*42,7}{0,99} = 129,4\text{Wh}$$

A capacidade do banco de baterias será de

$$C_{banco} = \frac{E_a}{V_{sist}}$$

Onde,

C_{banco} = Capacidade do Banco de Baterias;

E_a = Energia Armazenada;

V_{sist} = Tensão do Sistema;

$$C_{banco} = \frac{129,4}{41,3} = 3,13\text{Ah}$$

Sendo assim, o banco de baterias será composto por uma bateria de 12V, apesar do cálculo recomendar uma bateria de 3,13 Ah, a bateria utilizada para o projeto será uma de 7Ah, por se tratar de um sistema *off-grid* de energia a escolha da bateria deve se observar sua aplicação para sistemas de energia solar e monitoramento remoto, ao realizar buscas de baterias que se adequasse ao projeto a de amperagem mais próximo do nosso dimensionamento encontramos somente a de 7Ah, as especificações da bateria se encontra na tabela XX.

Tabela 5: Dados da Bateria a ser utilizada no Sistema

Bateria 12V7Ah- BAT 0070122	
Tensão	12V
Capacidade	7Ah
Tensão de Flutuação	De 13.5V a 13.7 V
Tensão de Carga/ Equalização	De 14.5V a 14.7 V
Dimensão	(151x100x65) mm
Peso	2.45 kg10%

Fonte: WEG

Figura: Bateria 12V7Ah



Fonte: WEG

CONTROLADOR DE CARGA

O controlador de carga é responsável pela vida útil da bateria, sua função é monitorar o nível de tensão da bateria e partir desse nível conectá-la ao painel ou ao sistema. Para melhor definir o controlador é preciso saber a corrente do lado do consumo de carga e do painel (Souza,2013).

A corrente de consumo do sistema é de 1,06 A como pode ser observado na tabela XX, enquanto a corrente do painel é de 5A, sendo assim o controlador de carga escolhido é o modelo D408 de 6A da DECIBEL LTDA, este controlador de carga vem juntamente com o painel fotovoltaico

Tabela 5: Dados do Controlador a ser utilizada no Sistema

Controlador de Carga D408-6	
Tensão Máxima do Pannel	20V
Corrente Máxima da Carga	6.5Ah
Máxima Corrente da Carga	6A
Tensão Mínima de Operação	7V
Consumo Interno de Corrente	13 a 20mA
Corrente de Fuga Reversa Noturna	0mA
Quedas de Tensão -Célula/Bateria	0.4V
Quedas de Tensão -Bateria/Carga	0.3V
Desconexão de Carga por Tensão Baixa (LVD)	11.5V
Reconexão por LVD	12.6V
Atraso por LVD	2 segundos
Regulagem de Tensão Constante de Bateria Selada	14.1V
Regulagem de Tensão Constante de Bateria Convencional	14.4V
Coeficiente de Compensação de Temperatura ref. 25°C	-28mV/°C
Dimensão	(44x62x156) mm

Fonte: Decibel LTDA

Figura: Controlador de Carga D408-6A



Fonte: Decibel LTDA

MONTAGEM DO SISTEMA

Após a escolha do painel solar, definição de controlador de carga e bateria que irão alimentar a carga do sistema, figura XX, sabe-se que o painel será de 15W, a bateria será de 7Ah com autonomia de duração de 3 dias, no caso de dias nublados. O controlador de carga serve para proteger o sistema de sobrecargas.

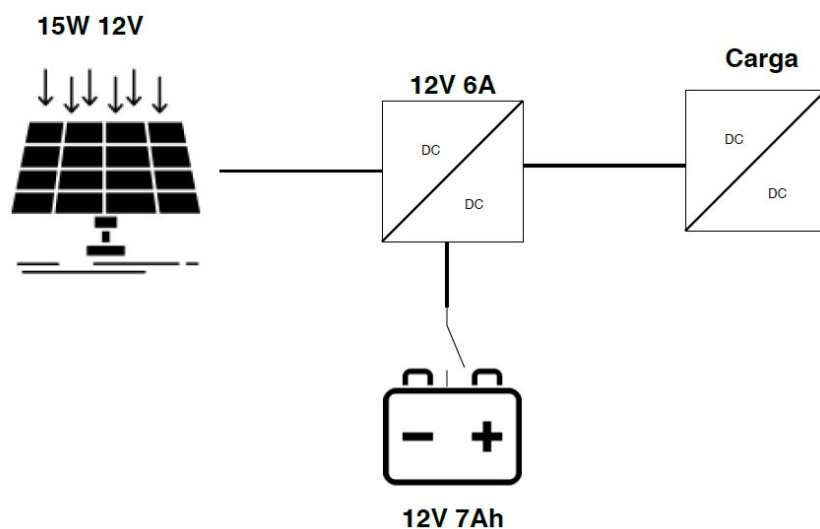


Figura XX: Sistema Off-Grid da Estação de Monitoramento do Ar

Fonte: Própria Autoria

https://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876406/2005_AtlasEnergiaEletricaBrasil2ed/06b7ec52-e2de-48e7-f8be-1a39c785fc8b Atlas de Energia Elétrica do Brasil 2 ed

Barros Lima, Gielton (2012). Física, 3ª série: ensino médio: revisional. Belo Horizonte: Editora Educacional, p. 247.

Abreu, G. F; Barbosa, A. T. R.; Leme, S. P. L. Implantação de um Sistema de Fotovoltaico off-grid na Região do Pantanal Sul-Mato-Grossense. IX Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. São Bernardo do Campo-SP, 2028

Souza, A. A. C. Projeto de um Sistema Fotovoltaico Autônomo para Alimentação de Cargas em Propriedades Rurais. Trabalho de Conclusão de Curso 2 de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia

<http://fumec.br/revistas/eol/article/viewFile/3574/1911> (2016)