



Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
SISTEMA HÍBRIDO DE ENERGIA
EÓLICO-SOLAR OFF GRID

ITAPEVA-SP

2022

CENTRO PAULA SOUZA

COMPETÊNCIA EM EDUCAÇÃO PÚBLICA PROFISSIONAL

Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO

JONILSON MARTINS ALMEIDA

LUIZ HENRIQUE CADENA DE ALMEIDA

MÁRCIO GRATTON

PAULO SÉRGIO CARDOSO DA SILVA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

SISTEMA HÍBRIDO DE ENERGIA

EÓLICO-SOLAR OFF GRID

Trabalho de conclusão de curso submetido à ETEC Dr. Demétrio Azevedo Junior, como parte dos requisitos necessários para a obtenção de Grau Técnico em Eletrotécnica orientado pelo professor Edgar de Jesus Endo realizado pelos alunos Jonilson Martins Almeida, Luiz Henrique Cadena de Almeida, Márcio Gratton e Paulo Sérgio Cardoso da Silva

ITAPEVA-SP

2022

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todos que contribuíram ao longo desta jornada, especialmente: A Deus.
A nossas famílias que nos apoiaram nos estudos.
Aos integrantes do grupo, que contribuíram para o desenvolvimento desse trabalho.
Ao orientador profº Edgar de Jesus Endo que teve papel fundamental neste trabalho e aos professores os quais disponibilizaram seus tempos e atenção para nos ajudar nesse projeto.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Jonilson Martins Almeida, Luiz Henrique Cadena de Almeida, Márcio Gratton, Paulo Sérgio Cardoso da Silva.

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO FUNCIONAMENTO DE UM SISTEMA HÍBRIDO DE ENERGIA EÓLICO-SOLAR OFF GRID.

Trabalho apresentado como requisito parcial para obtenção do grau de técnico em
eletrotécnica da ETEC Dr. Demétrio Azevedo Junior.

Itapeva -SP, 7 de dezembro de 2022.

COMISSÃO EXAMINADORA

Orientador: Prof. Me. Edgar de Jesus Endo Eng. Eletricista - Eletrônico, Area 1.
Faculdades Integradas de Salvador BA.

Prof. Me. Fabricio Pimentel Gonçalves, Eng. Eletricista – Facens, Faculdade
de Engenharia de Sorocaba.

Prof. Esp. Claudio Camargo Melo, Eng. Eletricista – Facens, Faculdade de
Engenharia de Sorocaba.

RESUMO

A energia elétrica é algo fundamental para o ser humano, através dela que o homem supra suas necessidades básicas, como sua alimentação, locomoção e manutenção de sua vida.

Existem pessoas que moram em áreas isoladas, de difíceis acesso, onde a rede da concessionária não consegue chegar, com isso será apresentado um meio dessas pessoas poderem não só usar, como gerar sua própria eletricidade.

As fontes renováveis se destacam como melhor forma de gerar energia, já que não causam problemas ambientais. Entre as várias fontes renováveis em nosso mundo, se destacam os sistemas fotovoltaicos e os sistemas eólicos, eles se caracterizam por serem sistemas econômicos, porém são considerados intermitentes. Pensando nisso, para diminuir a intermitência se apresenta como solução o sistema híbrido de energia off grid, que se caracterizam por combinar duas ou mais fontes de geração de energia e atuar de forma independente

Esse trabalho mostra o funcionamento de um sistema híbrido eólico solar, seus custos e como ele pode ajudar pessoas que moram em áreas de difícil acesso a gerar sua própria energia elétrica.

Palavras chaves: sistema híbrido, eólico-solar, off-grid

ABSTRACT

Electrical energy is something fundamental for human beings, through which man meets his basic needs, such as food, locomotion and maintenance of his life.

There are people who live in isolated areas, with difficult access, where the utility network cannot reach, with this, a way will be presented for these people to be able not only to use, but also to generate their own electricity.

Renewable sources stand out as the best way to generate energy, as they do not cause environmental problems. Among the various renewable sources in our world, photovoltaic systems and wind systems stand out, they are characterized by being economic systems, but they are considered intermittent. With that in mind, to reduce the intermittency, the hybrid off-grid energy system is presented as a solution, which is characterized by combining two or more sources of energy generation and acting independently.

This work shows how a solar wind hybrid system works, its costs and how it can help people who live in areas of difficult access to generate their own electricity.

Keywords: hybrid system, wind-solar, off-grid

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	OBJETIVO.....	12
1.2	JUSTIFICATIVA	13
1.3	PROBLEMA	14
1.4	METODOLOGIA.....	15
2.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1	SISTEMA FOTOVOLTAICO	16
2.2	SISTEMA EÓLICO	18
2.3	SISTEMA HÍBRIDO OFF GRID.....	20
2.4	BANCO DE BATERIAS	21
2.5	CONTROLADOR DE CARGA.....	22
2.6	INVERSOR DE TENSÃO	23
3.	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA HÍBRIDO	27
3.1	CARGA UTILIZADA NA RESIDÊNCIA.....	29
3.2	COMPONENTES.....	30
3.3	CÁLCULOS DE DIMENSIONAMENTO.....	30
3.4	DEFINIÇÃO DO CONTROLADOR DE CARGA	32
3.5	DEFINIÇÃO DO INVERSOR DE TENSÃO	32
3.6	ORÇAMENTO ESTIMADO	33
3.7	DESENHO ELÉTRICO	34
4.	MODELO PROPOSTO.....	35
4.1	MATERIAIS	35
4.2	CONSTRUÇÃO.....	36
4.3	FUNCIONAMENTO	36
4.4	RESULTADOS	36
5.	CONCLUSÃO.....	38

6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
----	----------------------------------	----

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Conjunto de placas solares	17
Figura 2: Composição de uma célula fotovoltaica	18
Figura 3: Turbina Eólica.....	19
Figura 4: Principais componentes que compõem um aerogerador.....	20
Figura 5: representação de um sistema híbrido off grid	21
Figura 6: Diagrama de blocos do inversor de tensão.....	23
Figura 7: Onda senoidal, modificada e quadrada	24
Figura 8: Fator de capacidade de Fontes geradoras.....	28
Figura 9: Diagrama elétrico do Sistema dimensionado	34
Figura 10: Tensão na saída do inversor do protótipo	37
Figura 11: Protótipo concluído e em funcionamento.	37

INDÍCE DE TABELAS

Tabela 1: Consumo da carga.....	30
Tabela 2: Componentes utilizados no dimensionamento	30
Tabela 3: Características do Inversor	33
Tabela 4: Preço médio da cada componente dimensionado	33
Tabela 5: Valor médio do investimento inicial	34

1. INTRODUÇÃO

Os maiores custos e os maiores desafios para levar energia elétrica estão nas áreas rurais ou remotas, onde comunidades de baixa população, se encontram em locais de difícil acesso e longe da rede de transmissão. O processo de eletrificação nessas áreas pode ser complexo pois muitas vezes ficam em áreas de proteção ambiental.

O sistema híbrido gera sua energia através de fontes renováveis para produzir energia elétrica. Tem como principal meio de produção a solar e a eólica. Ao projetar esses sistemas em locais isolados de difíceis acessos, conseguimos que o consumidor tenha a oportunidade de gerar sua própria energia através do vento e do sol.

A utilização de sistemas fotovoltaicos está em constante crescimento no mundo, pois apesar de seu alto custo de investimento possui diversas vantagens como ser de fácil acesso, ser renovável e pode ser usado em áreas isoladas.

Porém existe outro método de produzir energia elétrica, através dos ventos, utilizando um aerogerador, que é formado por hélices que giram em movimentos circulares ao sentir a presença de ventos. Acaba sendo mais útil durante a noite, quando não há luz solar para o sistema fotovoltaico.

O sistema off grid é um sistema autônomo, ele não age junto à rede elétrica, uma vantagem é que se houver falta de energia na rede, ele funcionará normalmente. O sistema se autossustenta graças a um banco de baterias que armazena a carga gerada para poder ser usada a qualquer momento.

1.1 OBJETIVO

O desenvolvimento do trabalho tem como objetivo mostrar a possibilidade de pessoas que moram em áreas isoladas sem acesso a rede da concessionária tenham acesso à energia elétrica. Fazer isso usando um sistema híbrido de energia off grid eólico-solar, duas fontes renováveis e que na teoria são de fácil acesso.

1.2 JUSTIFICATIVA

Mostrar que é possível o consumidor que mora em lugares isolados gerar sua própria energia, usando um sistema independente que usa duas fontes renováveis de energia e que são de fácil acesso.

1.3 PROBLEMA

Um grande problema é a falta de um local com esse sistema instalado para podermos estudar melhor seu funcionamento na prática, as reuniões do grupo devido à distância e falta de tempo.

1.4 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do trabalho serão feitas pesquisas sobre o tema através de livros, internet e professores entendidos do assunto. A metodologia será dividida em quatro partes:

Etapa 1: Pesquisas sobre cada fonte estudada e os principais componentes do sistema.

Etapa 2: Dimensionar um sistema híbrido off grid usando cálculos.

Etapa 3: Compra de materiais e desenvolvimento de um quadro simulando um sistema híbrido off grid que irá mostrar seu funcionamento.

Etapa 3: testes no quadro.

Etapa 4: avaliação nos resultados no projeto.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Os principais componentes de um Sistema Híbrido Eólico Solar Off Grid são os painéis fotovoltaicos, aerogerador, banco de baterias, controlador de carga e inversor de tensão. Através desses componentes que a energia é gerada e transformada para ser usada em uma residência.

2.1 SISTEMA FOTOVOLTAICO

O sistema fotovoltaico é um dos que mais cresce no mundo, é um sistema que gera energia através de uma fonte inesgotável, que é o sol. Esse sistema é conhecido por sua fácil instalação e praticidade, esse sistema necessita pouca manutenção durante o funcionamento.

O Brasil acaba de ultrapassar a marca de 14 gigawatts (GW) de potência operacional da fonte solar fotovoltaica, somando as usinas de grande porte e os sistemas de geração própria de energia elétrica em telhados, fachadas e pequenos terrenos. Com isto, a fonte solar supera a potência instalada da usina hidrelétrica de Itaipu, segundo mapeamento da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. (EXAME,2022)

De acordo com a entidade, a fonte solar já trouxe ao Brasil mais de R\$ 74,6 bilhões em novos investimentos, R\$ 20,9 bilhões em arrecadação aos cofres públicos e gerou mais de 420 mil empregos acumulados desde 2012. Foi evitada ainda a emissão de 18,0 milhões de toneladas de CO₂ na geração de eletricidade. (EXAME, 2022)

Esse sistema funciona através de painéis solares que captam a luz solar e transformam em eletricidade de corrente contínua (CC).

PAINEL SOLAR

Na Figura 1 podemos ver a imagem de uma placa solar (ou painel fotovoltaico) é através dela que a luz do sol é captada e transformada em energia elétrica



Figura 1: Conjunto de placas solares

Fonte: <https://www.portalsolar.com.br/fo>

O grande truque é a posição das placas solares de modo que diretamente recebam maior radiação solar sem a interferência de sombras, assim aproveitando ao máximo a luz recebida do sol.

Essas placas são compostas por células fotovoltaicas que captam a radiação solar e convertem em energia elétrica. O funcionamento das células fotovoltaicas é extremamente dependente da entrada das partículas de luz (os fótons) em seu interior.

O EFEITO FOTOVOLTAICO

É através do Efeito Fotovoltaico que a energia é gerada pelas células, é basicamente é o surgimento de uma diferença de potencial (tensão) em seu interior, isso é causado pela ação dos fótons que acabam interagindo com os elétrons dos átomos do material do qual é feito a célula.

O efeito fotovoltaico pode ser representado na Figura 2, que simboliza a composição de uma célula fotovoltaica:

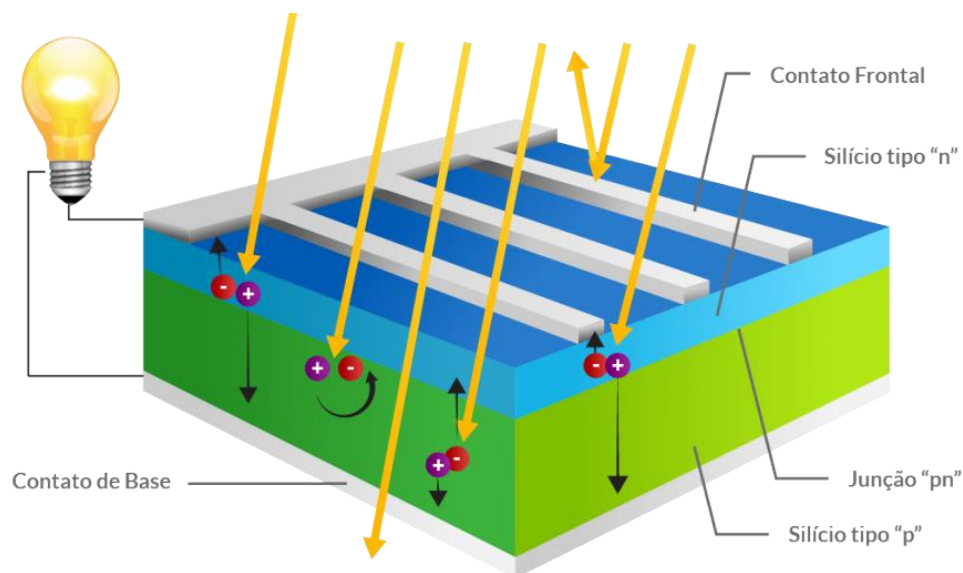


Figura 2: Composição de uma célula fotovoltaica

Fonte: [Efeito Fotoelétrico X Efeito Fotovoltaico: Entenda a Diferença \(bluesol.com.br\)](http://bluesol.com.br)

As células fotovoltaicas de silício são compostas por duas partes iguais de material semicondutor, junto com outros materiais, de forma a alterar a sua estrutura eletrônica.

Assim, uma das metades se torna positiva (com falta de elétrons) e a outra parte se torna negativa (com sobra de elétrons).

As partículas de luz do sol, os fótons, ao entrar em contato com a célula fotovoltaica, fazem com que os elétrons dos átomos de silício se energizem e desprendam-se, sendo transportados do lado negativo para o lado positivo, dessa forma criando-se uma corrente elétrica contínua. Essa corrente elétrica pode ser aproveitada alimentando algum equipamento elétrico ou carregando um campo de baterias.

2.2 SISTEMA EÓLICO

Energia eólica é a energia cinética proveniente da força dos ventos, que é captada pelas turbinas dos aerogeradores e convertida em eletricidade.

No Brasil, onde as condições são bem favoráveis para esse tipo de geração, a capacidade instalada de projetos eólicos segue em crescimento desde 2005. Segundo os dados da Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica), o país

encerrou 2020 com 17,74 GW de potência operacional por aerogeradores, volume que já torna a energia eólica a segunda maior fonte na matriz elétrica brasileira. (Portal Solar)

Como podemos ver na Figura 3, os aerogeradores captam o vento através de hélices ou pás:

AEROGERADOR OU TURBINA EÓLICA



Figura 3: Turbina Eólica

Fonte: [Como funciona um Aerogerador \(portal-energia.com\)](http://portal-energia.com)

Os ventos são os responsáveis por movimentar as hélices (ou pás) das turbinas eólicas e gerar a força mecânica que, depois, será transformada em energia elétrica por meio de um gerador. Dessa forma, a quantidade de energia gerada será proporcional a intensidade e constância dos ventos, do tamanho da turbina eólica e da área coberta pela rotação das suas hélices.

FUNCIONAMENTO DA TURBINA EÓLICA

A geração elétrica funciona convertendo a energia cinética que há nos ventos em energia mecânica usando uma turbina eólica. Através da rotação da turbina gerada pela energia mecânica é acionado um gerador de energia elétrica por um eixo, assim sendo convertida em eletricidade através de indução eletromagnética.

Na Figura 4 pode ser visto o caminho que a energia do vento percorre até ser transformada em energia elétrica:

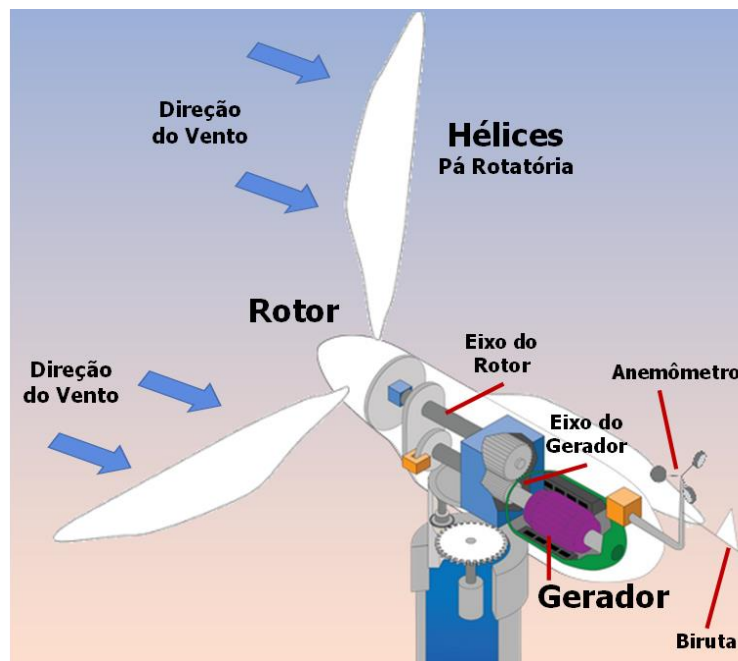


Figura 4: Principais componentes que compõem um aerogerador

Fonte: [Como funciona a Geração Eólica? – CBIE](#)

As hélices geralmente são construídas de plástico ou fibra de vidro. O desenho das hélices é baseado nas asas de avião ou hélices de um helicóptero, captando a força dos ventos e girando o rotor. Por sua vez, o rotor principal, através de um eixo e um sistema de freio, leva a energia cinética rotatória até uma caixa de engrenagem que tem a função de transformar as rotações que as hélices transmitem ao eixo de baixa velocidade (dezenas de rotações por minuto), de modo que chegue ao eixo de alta velocidade as rotações que o gerador precisa para funcionar (mais de mil rotações por minuto). O anemômetro mede a intensidade e a velocidade do vento, enquanto a biruta (ou cata-vento) mede a direção do vento e é responsável por transmitir ao sistema de controle, permitindo que o aerogerador se mantenha bem orientado em relação ao vento. (CBIE.COM)

2.3 SISTEMA HÍBRIDO OFF GRID

Um sistema híbrido é caracterizado pela junção de duas ou mais fontes de energia, nesse caso, energia solar e eólica. É uma alternativa para lugares onde a energia elétrica é pouca ou inexistente. Sua grande desvantagem são os equipamentos com custo elevado no sistema off grid, porém tem como vantagem poder ser instalado em qualquer local e com dois sistemas atuando juntos.

O sistema off grid atua de forma isolada, funciona através de um banco de baterias que armazena a energia gerada pelos painéis solares e aerogeradores. Na Figura 5 podemos ver a representação de um sistema híbrido off grid e o caminho percorrido pela energia gerada:

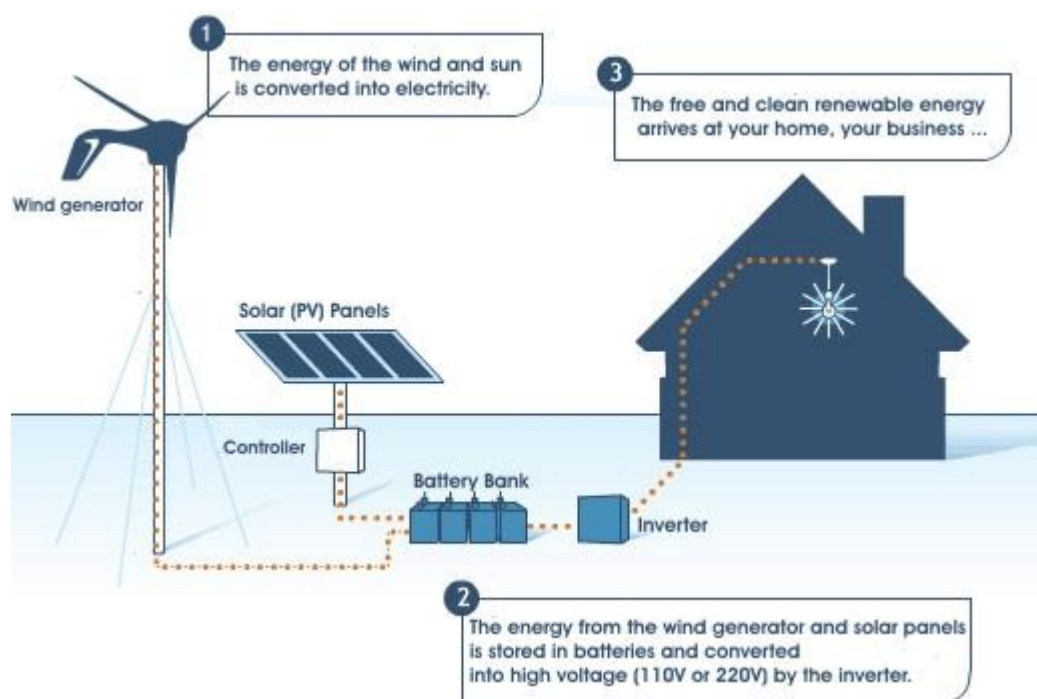


Figura 5: representação de um sistema híbrido off grid

Fonte: [Energia Híbrida | EcoPlanet Energy](#)

2.4 BANCO DE BATERIAS

As baterias são muito importantes para o sistema, armazenam a energia gerada, e suprem a carga em horários de picos.

As baterias estacionárias são mais indicadas para o sistema, pois são projetadas para receber descargas profundas, são mais econômicas e sua vida útil é de aproximadamente 4 a 5 anos (NEOSOLAR, 2010). Após gerar energia através de um sistema fotovoltaico, as baterias armazenarão esta energia a fim de ser utilizada principalmente durante a noite.

A ligação das baterias podem ser em serie, paralelo ou misto, dependendo a tensão que o campo de baterias irá trabalhar.

2.5 CONTROLADOR DE CARGA

O controlador de carga é um dos mais importantes componentes de um sistema off-grid. Ele é o equipamento responsável por preservar a vida útil das baterias estacionárias, protegendo-as dos efeitos da sobrecarga ou descarga brusca.

Esse componente também é responsável por tornar o armazenamento da energia gerada mais eficiente, diminuindo perdas.

Um controlador de carga tem como função, gerar uma corrente de entrada maior que a descarga automática do sistema, assim preservando o funcionamento da bateria.

Além disso, o equipamento tem como propósito compensar os diferentes fluxos de energia que acontecem quando a bateria está sendo carregada e utilizada ao mesmo tempo – esse processo é chamado de suspensão.

O controlador também tem a função de determinar quando a bateria está fraca, além de ser capaz de medir a pressão e a temperatura do sistema, evitando danos e possíveis acidentes por superaquecimento.

O equipamento faz a ligação entre as fontes geradoras e a bateria, otimizando o processo de armazenamento e gerenciando informações sobre o funcionamento em sistemas independentes (off grid).

No mercado existem dois tipos de tecnologia mais comuns de encontrar para os controladores, que são a PWM e a MPPT.

CONTROLADOR PWM

PWM é a sigla para *pulse width modulation* que tem como significado “modulação por largura de pulso”. Ele consegue manter a bateria em sua carga máxima através de pulsos de tensão de alta frequência.

Com isso, este controlador consegue analisar o status de armazenamento da bateria, e ajustar os pulsos enviados.

Este tipo é o mais comum no mercado pois possui um preço relativamente menor que um controlador MPPT. (Minha Casa Solar)

CONTROLADOR MPPT

MPPT é a sigla para *maximum power point tracking* que tem o significado de “ponto rastreador de potência máxima”. Este tipo de controlador sempre busca o ponto de máxima potência do módulo ou placa solar.

Isso faz com que ele aproveite a máxima potência do painel. E tem a capacidade de monitorar a geração de energia e reduzir o número de perdas no sistema.

Este tipo de controlador acaba sendo mais caro que o anterior, porém tem uma eficiência maior que o controlador PWM. (MinhaCasaSolar)

2.6 INVERSOR DE TENSÃO

As baterias fornecem baixas tensões em corrente contínua, o que acaba não servindo para o funcionamento de alguns aparelhos. Os Inversores têm a função de converter essa tensão de corrente contínua (geralmente 12V ou 24V) em corrente alternada (geralmente 127V ou 220V).

Os componentes responsáveis por esse processo são, oscilador, transformador e regulador como podemos ver na Figura 6:

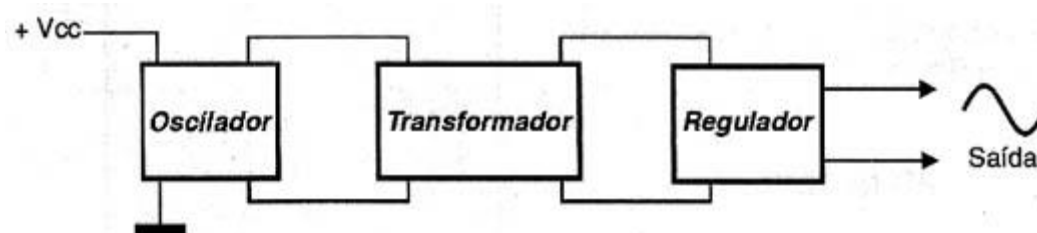


Figura 6: Diagrama de blocos do inversor de tensão

Fonte: <http://blog.minhacasasolar.com.br/inversor-solar-tudo-o-que-voce-precisa-saber-esta-aqui/>

Um inversor desse tipo é formado por um circuito oscilador de potência que tem a função de converter a tensão de corrente contínua em tensão contínua pulsante para que assim ela consiga ser usada em um inversor. Esse processo é necessário pois os transformadores só trabalham com correntes que variam

Esses transformadores só podem operar com correntes que variam, e uma corrente contínua pura não passaria por esse componente.

O componente seguinte é o transformador que tem o papel de aumentar os pulsos de tensão baixa do oscilador, transformando assim em uma alta tensão alternada.

O regulador assegura que a tensão de saída estará estável para que não ocorra imprevistos.

Na maioria dos circuitos, a tensão alternada nunca é perfeitamente senoidal, mas sim possui picos que podem ser perigosos aos aparelhos que forem sensíveis.

Existem 3 tipos de inversores que são mais comuns no mercado, que são: Os de Onda senoidal pura, Onda modificada e Onda quadrada, como podemos ver na Figura 7:

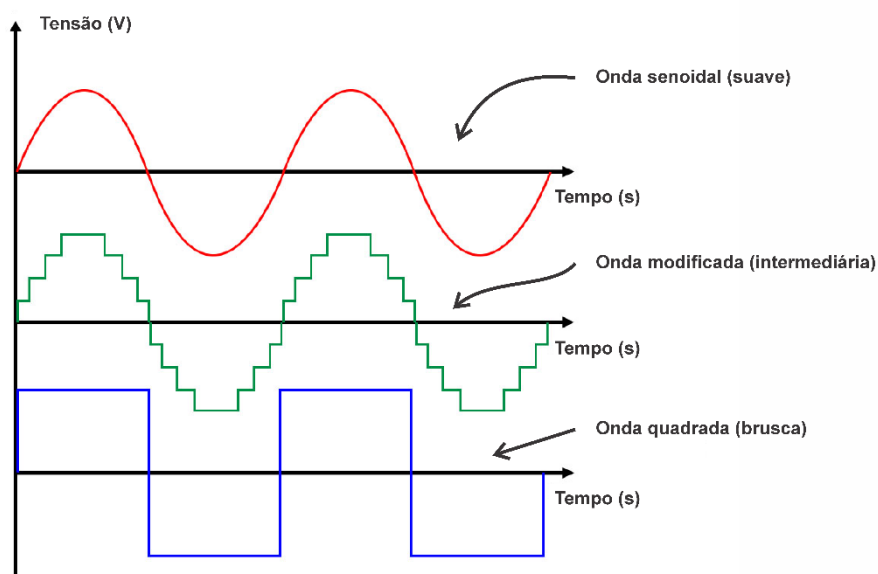


Figura 7: Onda senoidal, modificada e quadrada

Fonte: [DO INÍCIO AO FIM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO OFF-GRID \(energes.com.br\)](http://energes.com.br)

ONDA SENOIDAL PURA

É a forma de onda da energia elétrica que é fornecida pelas concessionárias e que recebemos em nossas casas. Sua maior vantagem é que é compatível com todos os eletrodomésticos, ferramentas, eletrônicos e motores. Geralmente esses tipos de equipamentos são fabricados para serem alimentados por esse tipo de onda senoidal.

O inversor de senoidal pura garante o funcionamento dos equipamentos com máxima eficiência e sem danificá-los

A principal vantagem de um inversor de tensão com onda senoidal pura é sua total compatibilidade com os eletrodomésticos, eletrônicos, ferramentas e motores.

Equipamentos com motores, como geladeira, micro-ondas e ar-condicionado, só conseguem funcionar com potência total através de energia de onda senoidal pura. (TECHNOMASTER.COM.BR)

ONDA MODIFICADA

Um inversor de tensão de onda senoidal modificada funcionará bem com boa parte dos equipamentos, apesar que os equipamentos alimentados terão potência e eficiência menores.

Equipamentos como motores, geladeiras e ventiladores não irão funcionar com eficiência máxima e ainda gastarão mais energia do inversor devido à eficiência menor. Isso ocorre porque certa parte da onda senoidal modificada é composta de frequências mais altas e não de 60 Hz. Rádios, televisões podem apresentar ruídos indesejados. Aparelhos com tecnologia inverter, podem simplesmente não funcionar. Lâmpadas fluorescentes não serão tão brilhantes e podem gerar ruídos.

Como este tipo de onda possui mais ruído, os relógios e os temporizadores podem apresentar falhas. Ainda assim, a maioria dos equipamentos operam sem diferença clara e, devido ao custo baixo, faz deste o inversor mais comum. (TECHNOMASTER.COM.BR)

ONDA QUADRADA

Os inversores de onda quadrada são utilizados para alimentar equipamentos mais simples, como lâmpadas incandescentes. Atualmente, são bastante incomuns, mesmo sendo os mais baratos.

STRINGBOX

Uma das características básicas de uma instalação elétrica é a proteção contra choque elétrico, contra sobrecargas entre outros. No caso dos sistemas fotovoltaico-eólico deve-se seguir essa característica e é feito usando uma

stringbox, que nada mais é que uma caixa onde os dispositivos de proteção são conectados na saída das fontes geradoras.

3. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA HÍBRIDO

O dimensionamento de um Sistema Híbrido é essencial para atingir custos mínimos de investimento necessários. Aqui será apresentado um método de dimensionamento que busca analisar a quantidade de componentes necessárias para suprir a necessária de uma hipotética residência.

Dimensionar duas fontes de energia é uma tarefa bem complexa e tentaremos fazer usando equações matemáticas básicas.

O Sistema Híbrido tem como princípio atender a carga da forma mais eficiente possível. Nesse método baseamos em dimensionar adequadamente os componentes para garantir o melhor funcionamento dos equipamentos. Serão definidos a potência do Aerogerador, a potência e o número de módulos fotovoltaicos e o número e a capacidade do banco de baterias. Usaremos como base do cálculo um aerogerador de 600W, pois nessa metodologia é preciso um valor de referência para iniciarmos os cálculos. A parte fotovoltaica será definida através do equilíbrio entre a geração do sistema e a demanda diária da carga.

Os cálculos da geração da parte eólica e fotovoltaica serão feitos levando em consideração o fator de capacidade (FC) das fontes. Esse FC pode ser definido como:

$$FC = \frac{\bar{P}}{P_{nominal}}$$

Onde $\bar{P}$ é a potência média real de saída durante um período e $P_{nominal}$ é a potência nominal das fontes.

Cada fonte de energia possui seu FC característico, eles variam de acordo com alguns fatores, como localização, clima na região, eficiência dos equipamentos.

Para a realização dos nossos cálculos usaremos o FC eólico e o FC solar apresentados na Figura 8 abaixo, onde vemos dados de Fator de capacidade de alguns tipos de usinas no Brasil:

FATOR DE CAPACIDADE POR FONTE GERADORA

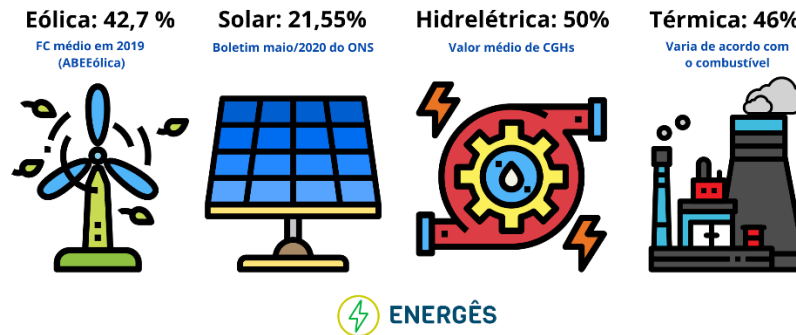


Figura 8: Fator de capacidade de Fontes geradoras

Fonte: [Entenda tudo sobre o Fator de Capacidade \(FC\) - ENERGÊS \(energes.com.br\)](http://entenda.tudo.sobre.o.fator.de.capacidade.fc-energes.com.br)

O objetivo desse dimensionamento é diminuir ao máximo a diferença entre a energia gerada a partir de fontes renováveis e a demanda (ou consumo) durante determinado período.

Esse cálculo de diferença pode ser feito através da equação:

$$\Delta P = \Delta \bar{P}(\text{geração}) - \Delta \bar{P}(\text{demanda})$$

$$\Delta P = FC(AG) \cdot P(AG)_{\text{nominal}} + FC(FV) - P(FV)_{\text{nominal}} - \bar{P}(\text{demanda})$$

Onde $P(AG)_{\text{nominal}}$ é a potência nominal do Aerogerador, $FC(AG)$ é o FC usado para o recurso eólico, $P(FV)_{\text{nominal}}$ é a potência total do conjunto de módulos fotovoltaicos, $FC(FV)$ é o FC usado para o recurso solar. Para equilibrar a geração e a demanda, a potência nominal dos módulos FV é dada pela Equação:

$$P(FV)_{\text{nominal}} = \frac{\bar{P}(\text{demanda}) - FC(AG) \cdot P(AG)_{\text{nominal}}}{FC(FV)}$$

Em que a demanda da carga média $\bar{P}(\text{demanda})$ é em relação a residência onde será projetado o SH.

Como na prática o consumo real sempre é um pouco maior do que deveria, pois os componentes nunca trabalharão 100% de sua capacidade, é necessária montar uma equação para corrigir o consumo ou demanda, que é dada por:

$$Cd = \frac{Ecarga}{\left(\frac{\eta_{bat} + \eta_{inv}}{2}\right)}$$

Onde C_d é a demanda da carga corrigida, E_{carga} é a energia diária consumida pela carga, η_{bat} é a eficiência global do banco de baterias (86%) e η_{inv} é a eficiência do Inversor (85%).

A capacidade do banco de baterias é dimensionada pela Equação:

$$C_{bb} = \frac{C_d \cdot N_{aut}}{DOD\% \cdot V_{bat}}$$

Onde C_d (wh/dia) é a energia elétrica diária corrigida e consumida pela carga (Wh/dia), N_{aut} é o número de dias de autonomia (dia), DOD é a profundidade de descarga, V_{bat} é o nível de tensão da bateria em (V) e C_{bb} é a capacidade do banco de baterias em (Ah), será levada em conta a capacidade da bateria em 20 horas.

A quantidade necessária de baterias para compor o banco é calculada pela Equação:

$$N_b = \frac{C_{bb}}{C_b}$$

em que N_b é o número de baterias, C_{bb} é a capacidade do banco de baterias em (Ah), e C_b é a capacidade da bateria em (Ah). Para determinar o dimensionamento do banco foram adotadas as mesmas especificações da bateria ($V_{bat} = 24 \text{ V}$ e $C_b = 220 \text{ Ah}$).

3.1 CARGA UTILIZADA NA RESIDÊNCIA

Para fazer o dimensionamento é necessário saber a carga que será utilizada pela residência. Através desse dado saberemos quais componentes serão utilizados para suportar essa carga.

Para entender qual a quantidade de energia necessária, a Tabela 1 mostra todos os aparelhos e equipamentos na casa, incluindo seu consumo em Watt e a quantidade de horas, em média, que eles funcionarão. Multiplique os valores e o resultado será o consumo diário de todos os aparelhos.

EQUIPAMENTOS	QUANTIDADE	POTÊNCIA W	HORAS / DIA	CONSUMO WH
GELADEIRA	1	150	12	1800
TV	1	150	4	600
MÁQUINA DE LAVAR	1	500	2	1000
VENTILADOR	1	60	5	300
MICRO-ONDAS	1	800	1	800
LAMPADAS	6	100	5	3000
TOTAL GERAL	12	2260	-	7500

Tabela 1: Consumo da carga

Através da tabela podemos ver que o consumo total é 7500 Wh com uma carga de 2260 Watts de potência.

3.2 COMPONENTES

Antes de dar início aos cálculos definimos na Tabela 2 quais componentes e suas potências(W) serão usados no SH.

COMPONENTE	Potência nominal(W)	Fator de Capacidade (%)	TENSÃO(V)	Ampere Hora
Painel Fotovoltaico	465W	21,55%	42V	
Aerogerador	600W	42,70%	24V	
Bateria	-	-	24V	220Ah

Tabela 2: Componentes utilizados no dimensionamento

3.3 CÁLCULOS DE DIMENSIONAMENTO

CORREÇÃO DO CONSUMO

Primeiramente é necessário saber o verdadeiro consumo da carga, que é dado pela equação:

$$Cd = \frac{7500}{\left(\frac{0,85+0,86}{2}\right)} = 8771,9 \text{ Wh}$$

QUANTIDADE DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Precisamos definir a Potência nominal (W) do conjunto de painéis:

$$P(pv)_{nominal} = \frac{2260 - 0,427 \cdot 600}{0,215} = 9320W$$

Agora para definirmos a quantidade necessárias de painéis (N_{pv}) é dividir a potência nominal do conjunto de módulos (9320W) pela potência nominal de cada módulo(465W):

$$N(pv) = \frac{9320}{465} \cong 20$$

Fazendo o arredondamento ficou definido que serão necessários 20 painéis solares para compor o nosso conjunto de painéis fotovoltaicos.

$$P(pv)_{total} = 20 \cdot 465$$

$$P(pv)_{total} = 9300w$$

CÁLCULO DA POTÊNCIA GERADA (Wh)

A potência total gerada será a somatória da energia gerada pelo aerogerador com a energia gerada pelo conjunto fotovoltaico:

$$P_{geração} = 0,427 \cdot 600 + 0,215 \cdot 9300$$

$$P_{geração} = 2255Wh$$

CÁLCULO DO CAMPO DE BATERIAS

$$C_{bb} = \frac{8771,9 \cdot 1}{0,40 \times 24} = 913,7 \text{ Ah}$$

*Foi considerado 40% de profundidade de descarga pois segundo a maioria dos fabricantes essa é considerada a melhor média para maior vida útil da bateria.

*Consideramos 1 dia apenas de autonomia pois achamos que como se trata de um SH com duas fontes, dificilmente o sistema ficará gerando muito pouca energia, pois na falta de uma geralmente tem a outra para ajudar.

QUANTIDADE DE BATERIAS NECESSÁRIAS:

$$Nb = \frac{913,7}{220} = 4,1 = 5 \text{ baterias}$$

* Como é exigido uma alta capacidade em Ah, decidimos utilizar a bateria com maior capacidade que encontramos, que é a Bateria Freedom 220Ah.

3.4 DEFINIÇÃO DO CONTROLADOR DE CARGA

Para definirmos o controlador é necessário analisar a corrente que vai passar pelas fontes geradoras.

O controlador ideal para esse Sistema Híbrido Eólico Fotovoltaico seria um Controlador tipo MPPT Híbrido que pode ser conectado aos painéis fotovoltaicos e ao aerogerador ao mesmo tempo. Outra opção seria distribuir um controlador para cada fonte, no caso instalar um controlador eólico saindo do Aerogerador e um Controlador solar saindo dos painéis.

Como é uma potência muito alta gerada pelo conjunto de painéis, a melhor opção seria dividir o sistema em múltiplos controladores.

O controlador ideal para o Aerogerador já vem incluso na compra do AG, que no caso do Aerogerador de 600W é um MPPT 12/24V com 50A de corrente máxima.

No caso dos painéis solares, como são muitos painéis, achamos mais inteligente distribuir 5 controladores solares para cada 4 painéis. Assim, a parte fotovoltaica do sistema ficará interligado utilizando 5 controladores MPPT 24V 80A para cada 1860W de painéis (4 painéis de 465W)

3.5 DEFINIÇÃO DO INVERSOR DE TENSÃO

Na hora de dimensionar um inversor é necessário saber a potência total dos aparelhos que serão ligados (2260W), pois a potência do Inversor sempre deverá ser maior. Também deve-se saber a tensão que será utilizada nesse aparelho, que no caso da nossa carga será 127VCA.

É necessário se atentar a tensão de entrada do inversor, que aqui será 24VCC.

Como ligaremos um motor (geladeira) no inversor, o mais adequado a ser utilizado é um inversor de onda senoidal pura.

A potência da nossa carga é 2260W, então um Inversor de 3000W já seria mais do que ideal para o funcionamento correto de cada aparelho. Na Tabela 3 é possível ver as características do Inversor selecionado:

Tipo de Inversor	Tensão de saída (VCA)	Tensão de entrada (VCC)	Potência (W)
Senoidal pura	127	24	3000

Tabela 3: Características do Inversor

3.6 ORÇAMENTO ESTIMADO

A maior desvantagem desse tipo de projeto sem dúvidas é o custo inicial, com os preços elevados dos equipamentos necessários, o investimento inicial deverá ser alto para a realização do projeto.

Na Tabela 4 abaixo fizemos uma estimativa média de orçamento de um projeto desse porte, colocando o preço médio dos principais componentes utilizados:

Componente	Valor médio por unidade (R\$)
Painel solar 465W	1150,00
Aerogerador 600W	3000,00
Bateria 220Ah	1500,00
Controlador solar MPPT 80A	550,00
Controlador Eólico MPPT 50A	200,00
Inversor 24 pra 127V 3000W	5000,00

Tabela 4: Preço médio da cada componente dimensionado

Considerando o sistema que foi dimensionado neste trabalho, temos na Tabela 5 o valor médio inicial para montá-lo:

QUANTIDADE DE COMPONENTES	VALOR MÉDIO
1 AEROGERADOR 600W	R\$ 3.000,00
20 PAINÉIS SOLARES 465W	R\$ 23.000,00
5 BATERIAS 220Ah	R\$ 7.500,00
5 CONTROLADORES DE CARGA MPPT 80A	R\$ 2.750,00

1 CONTROLADOR EÓLICO 50A	R\$ 200,00
INVERSOR 24V/127V 3000W	R\$ 5.000,00
VALOR TOTAL	R\$ 41.450,00

Tabela 5: Valor médio do investimento inicial

3.7 DESENHO ELÉTRICO

Na Figura 9 podemos ver como ficaria a ligação dos componentes no sistema dimensionado:

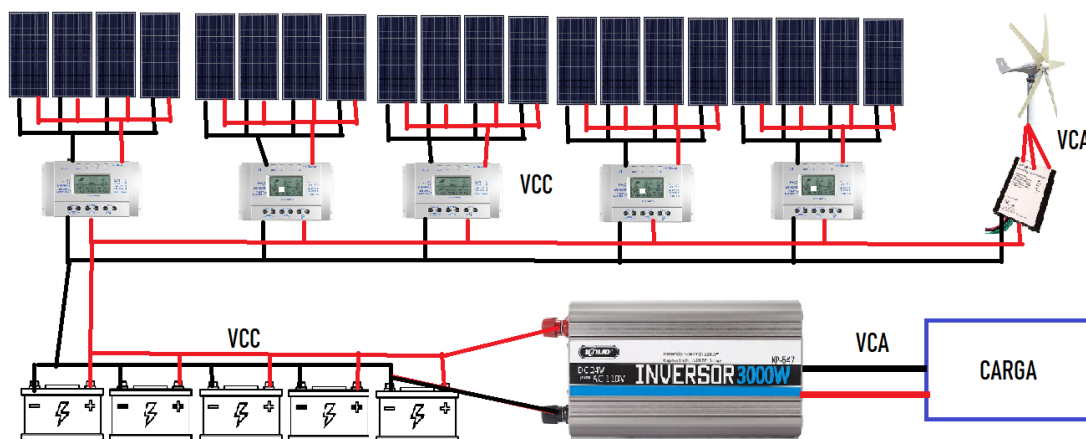


Figura 9: Diagrama elétrico do Sistema dimensionado

Fonte: Imagem própria

4. MODELO PROPOSTO

O modelo proposto será um quadro que irá simular o funcionamento de um sistema híbrido off grid, a fim de que possamos reproduzir o modo de geração de energia através da placa solar e aerogerador, mostrando o caminho percorrido até chegar aos equipamentos eletrônicos.

4.1 MATERIAIS

Para atender as nossas necessidades e especificações do projeto, usamos os seguintes materiais:

- Placa solar RSM020P 50x40cm 20W
- Inversor de tensão 500w 12v 110v onda senoidal.
- Controlador de carga PWM Solar 30A 12V 24V.
- Bateria Wide Power 12V 5Ah
- Motor mini 12V
- Mini gerador 12V
- 2 Disjuntores 16 A LUKMA
- 1 Disjuntor 10 A ELITEK
- Tábua de madeira 88x55cm
- Fio 2,5 mm
- 1 Dispositivo de Proteção LUKMA 15kA
- 1 Lâmpada 3W
- 1 Lâmpada 9W

- 1 Disjuntor termomagnético ALUMBRA 25A
- 1 Tomada 20 A
- 2 Chaves interruptoras
- Regulador Retificador 12V

4.2 CONSTRUÇÃO

A construção do protótipo se inicia com a fixação dos principais componentes do sistema híbrido eólico solar off grid em uma tábua de madeira, que no caso são a placar solar, controlador de carga, inversor e os disjuntores.

Foi feito a conexão dos componentes usando fios 2,5 cm, o processo se iniciou fazendo a ligação entre o controlador solar e a bateria, e logo após isso conectamos a bateria ao inversor e por fim ligamos a placa solar no controlador.

Utilizando pedaços de sucatas, foi inserido um mini gerador 12v para simular a parte eólica.

4.3 FUNCIONAMENTO

O funcionamento se baseou na participação dos principais componentes previamente apresentado neste documento.

Após a ligação da placa no controlador já pudemos ver o controlador funcionando.

A parte eólica acaba sendo pouco eficiente nessa demonstração por ser um motor de baixa potência

Utilizando a própria bateria 12V do quadro para alimentar o motor 12V e o ligando com uma pequena correia no mini gerador 12V para simular uma força sobre ele.

4.4 RESULTADOS

Após testes feitos na placa solar, em horários de bastante sol, a placa gerou sua potência máxima (20W) e pôde carregar sem problemas a bateria.

Na parte que tem como objetivo simular um aerogerador o mini gerador 12V gerou cerca 10,08V.

Na saída do inversor obtivemos 110,6 VCA, como podemos ver na Figura 10:



Figura 10: Tensão na saída do inversor do protótipo

Fonte: imagem própria

Através do quadro montado pudemos carregar um celular sem problemas.

Abaixo na Figura 11 podemos ver o protótipo concluído com todos os equipamentos ligados:



Figura 11: Protótipo concluído e em funcionamento.

5. CONCLUSÃO

Obtivemos bons resultados em relação ao que fora proposto no início de nossa pesquisa, ao pesquisar mais profundamente sobre Sistema híbridos conseguimos perceber o quão vantajoso seria usar este tipo de sistema para gerar energia elétrica, e aproveitando fontes inesgotáveis.

Conseguimos, também, através de um quadro demonstrar o comportamento dos principais componentes durante um processo de geração de energia.

Com isso, conhecemos a importância do nosso trabalho para o melhor aproveitamento deste tipo de geração de energia, aproveitando cada vez mais das fontes renováveis disponíveis ao nosso redor.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-SOLAR OFF-GRID EM UMA REGIÃO RURAL NO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE, João Vitor Linhares Silva (UFRN), Mateus Ismael Rodrigues (UFRN), Gabriel Ivan Medina Tapia (UFRN), Disponível em <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/942>

BALBUENA, M. J. C. Dimensionamiento, modelado y control de los componentes de un sistema híbrido de generación eléctrica basado en energías renovables e hidrógeno. 2013. 195 f . Tese (Doutorado em Engenharia Industrial) — Centro de Tecnologia, Programade Pós-Graduação em Engenharia Industrial: Engenharia Industrial, Universidade de Cadiz,Algeciras, 2013.

BLUESOL. Célula Fotovoltaica – O Guia Técnico Absolutamente Completo Disponível em: < Célula Fotovoltaica (Células Solares) e o Efeito Fotovoltaico (bluesol.com.br) >. Acesso em: 24 ago. 2022.

BLUESOL, Painel Solar (Placa solar): a Verdade sobre o Preço e como funciona, <Painel Solar (Placa Solar): o que é, Preço e como funciona (bluesol.com.br)>

BRAGA, R. P. Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos e Aplicações. 2008, 67f.Monografia (Curso de Energia Elétrica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

EXAME, 2022, PELA PRIMEIRA VEZ, ENERGIA SOLAR NO BRASIL SUPERA HIDRELÉTRICA DE ITAIPÚ Disponível em: < Pela primeira vez, energia solar no Brasil supera hidrelétrica de Itaipu | Exame>

KHARE, V.; NEMA, S.; BAREDAR, P. Solar–wind hybrid renewable energy system:A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier, v. 58, p. 23–33, 2016.

MINHA CASA SOLAR, Controladores de carga: Diferenças entre as tecnologias MPPT e PWM, Disponível em <Controladores de carga: Diferenças entre as tecnologias MPPT e PWM – Minha Casa Solar>

NEOSOLAR – Sistemas de energia solar fotovoltaica e seus componentes, São Paulo. São Paulo. 2010. Disponível em: <Sistemas de energia solar fotovoltaica e seus componentes | Neosolar>

NOGUEIRA, C. E. C.; VIDOTTO, M. L.; NIEDZIALKOSKI, R. K.; SOUZA, S. N. M. de; CHAVES, L. I.; EDWIGES, T.; SANTOS, D. B. dos; WERNCKE, I. Sizing and simulation of a photovoltaic-wind energy system using batteries, applied for a small rural property located in the south of brazil. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier, v. 29, p. 151–157, 2014.

PORTAL SOLAR, Controlador de Carga <Controlador de carga | Portal Solar>

SHAKIL BONNET JOSSUB RIBEIRO, UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ CENTRO DE TECNOLOGIA, DIMENSIONAMENTO E SIMULAÇÃO DE UM SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-FOTOVOLTAICO PARA O ACIONAMENTO DE UMA PLANTA DE DESSALINIZAÇÃO POR OSMOSE REVERSA Fortaleza, 2020

SISTEMA HIBRIDO EÓLICO E SOLAR OFF GRID, por: Matheus Santos de Lima, Alexandre Martins Gouveia, Alexandre Vieira Oliveira, <<https://www.unifafibe.com.br/revistasonline/arquivos/revistaeletrica/sumario/69/28012019212926.pdf> >

TECHNOMASTER, <INVERSORES DE ONDA SENOIDAL PURA X INVERSORES DE ONDA MODIFICADA - Technomaster>