

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JOÃO VICTOR DOS SANTOS

**ESTUDO DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA HÍBRIDA**

CURITIBA

2022

JOÃO VICTOR DOS SANTOS

## **ESTUDO DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA HÍBRIDA**

Projeto apresentado ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis e Eficiência Energética.

Orientador: Prof. Dr. Christian Scapulatempo Strobel.

CURITIBA

2022

## RESUMO

Foi analisado fontes alternativas de geração de eletricidade, a mais usual em pequenas escalas é a geração a partir da radiação solar, a fotovoltaica. A energia fotovoltaica se baseia na conversão da radiação captada pelo modulo que transforma a radiação em corrente elétrica continua a mesma passa pelo inversor que a conduz para o quadro de distribuição em corrente alternada. Não há subprodutos como poluição atmosférica. Foi elaborado um estudo de caso para criação de um sistema híbrido, utiliza os modelos on-grid e off-grid de forma conjunta e automatizada para desenvolvimento de um sistema fotovoltaico que possa utilizar da rede elétrica e ter também um banco de baterias como sistema de backup de forma que atenda às necessidades da unidade consumidora e seja financeiramente viável.

Palavras-chave: Fotovoltaica. Híbrido. Backup. Solar. Automatizada.

## **ABSTRACT**

It was deepened to alternative sources of electricity generation, more usual in scales is the generation from solar radiation, the photovoltaic. Photovoltaic energy is based on the conversion of the radiation captured by the module transforms a passage into continuous electric current through the inverter that leads to the same distribution board in alternating current. There are no by-products as registered. A case study was prepared for the creation of a hybrid system, using the on-grid and grid models together and developed to develop a photovoltaic system that can use the electrical grid and also have a battery bank as a backup system so that meets the financial needs of the most viable consumer unit.

Keywords: Photovoltaic. Hybrid. Backup. Solar. Automated.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Matriz energética Brasileira .....	7
FIGURA 2 – Variação de capacidade .....	7
FIGURA 3 – Módulo fotovoltaico .....	9
FIGURA 4 – Crescimento mundial energia solar 2010-2020.....	11
FIGURA 5 – Inversor híbrido. ....	13
FIGURA 6 – Emissão de poupada de CO <sup>2</sup> .....	15
EQUAÇÃO 1 – Potência instalada kWp.....	12
EQUAÇÃO 2 – Quantidade de módulos: .....	12

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – DEMANDA MENSAL E DIÁRIA.....	14
TABELA 2 – DEMANDA ATENDIDA PELAS BATERIAS .....	14
TABELA 3 – QUANTIDADE DE BATERIAS NECESSÁRIAS .....	14

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Ah	Ampère hora
BEN	Balanco Energético Nacional
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
HSP	Horas de Sol Pleno
kWh	Quilowatt pico
kWp	Quilowatt pico
M <sup>2</sup>	Metro quadrado
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
REN	Renewables Now
tCO <sub>2</sub>	Tonelada de dióxido de carbono
η	Performance Ratio

## CONTEÚDO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>5</b>
1.1.CONTEXTUALIZAÇÃO .....	6
1.2.FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	6
1.3.JUSTIFICATIVA .....	6
1.4.HIPÓTESE.....	6
1.5.OBJETIVO.....	6
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>7</b>
<b>3. METODOLOGIA E PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>9</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>17</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>18</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica é algo realmente muito dependente nos dias de hoje, para utilização em lâmpadas, aparelhos eletrônicos, lavar roupas etc. O custo de energia elétrica tem aumentado significativamente. Frente a isto foi analisado fontes alternativas de geração de eletricidade, a mais usual em pequenas escalas é a geração a partir da radiação solar, a fotovoltaica. A energia fotovoltaica se baseia na conversão da radiação em corrente elétrica. Não há subprodutos como poluição atmosférica. É uma geração limpa e inesgotável. No Brasil a principal fonte de geração de eletricidade é através de água, quando este não supri, acionamos termoelétricas, que têm um elevado custo de operação. Foi elaborado um estudo de caso para criação de um sistema híbrido, basicamente um sistema que utiliza os modelos on-grid e off-grid de forma conjunta e automatizada para desenvolvimento de um sistema fotovoltaico que possa utilizar da rede elétrica e ter também um banco de baterias como sistema de backup.

### 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A matriz energética brasileira ainda é dominada pela geração por usinas hidroelétricas e em segundo patamar está térmica conforme ilustra a figura 1 e figura 2. Em épocas de estiagem a geração de energia elétrica por geração de usinas hidrelétricas é insuficiente, sendo necessário utilizar o uso da geração das usinas termoelétricas. Estas possuem um elevado impacto ambiental e custo de operação, desde a obtenção de combustíveis a subprodutos da combustão. Estes são alguns problemas que existe em nossa geração elétrica.

Figura 1: Matriz Energética Brasileira

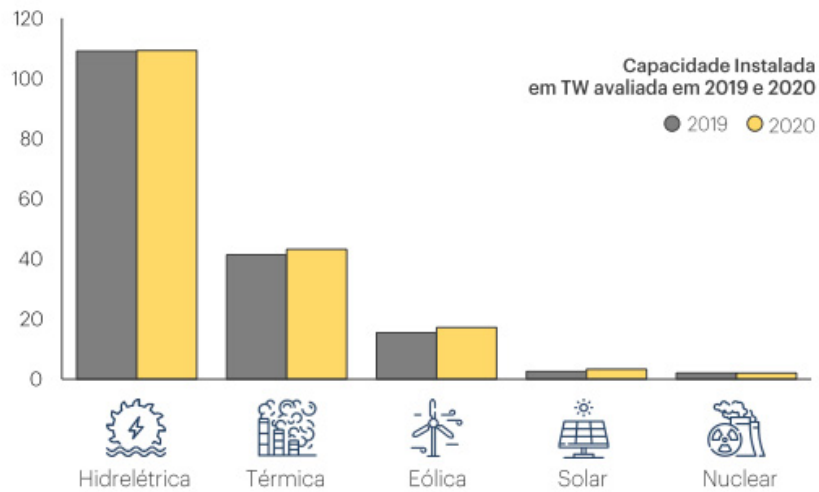


Figura 2: Variação de capacidade

Variação da capacidade Instalada das fontes no parque gerador (GW)

Fonte	2019	2020	Δ20/19
Hidrelétrica	109.058	109.271	0,2%
Térmica <sup>2</sup>	41.219	43.057	4,5%
Eólica	15.378	17.131	11,4%
Solar	2.473	3.287	32,9%
Nuclear	1.990	1.990	0,0%
<b>Capacidade disponível</b>	<b>170.118</b>	<b>174.737</b>	<b>2,7%</b>

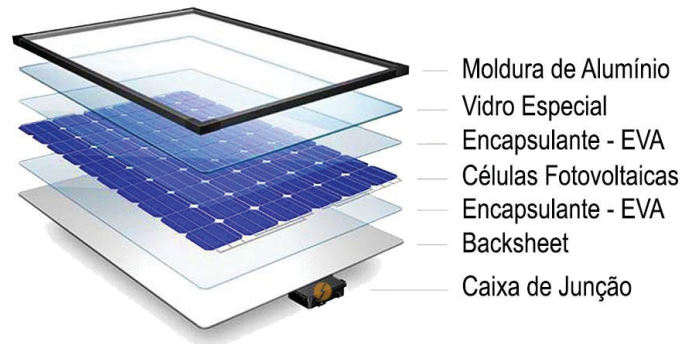
Fonte: BEN relatório síntese 2021.

Em 1918 o físico alemão Max Karl Ernst Ludwig Plank um dos fundadores da teoria quântica recebeu o prêmio Nobel de Física, a qual descreveu a luz como um objeto quântico, denominado fóton. Fóton é uma partícula quântica elementar do grupo *gauge bóson*, estável, com interação eletromagnética de massa e carga elétrica zero

Com base nos estudos de Plank e a descoberta do fóton, começaram estudos sobre a radiação e a captação por meio do efeito fotovoltaico. O processo se inicia na célula fotovoltaica que com uma conjunção de itens se torna em um modulo fotovoltaico conforme a figura 3.



Figura 3: Módulo fotovoltaico



Fonte: Portal solar, 2022.

Um sistema solar on grid é composto por itens qual cada componente tem seu papel na geração e distribuição da energia gerada pelo efeito fotovoltaico. O modulo capta a radiação e a transforma em energia elétrica que passa por um sistema de proteção e depois para o inversor que é o responsável por conduzir essa energia até o quadro de distribuição para suprir o local da instalação sendo ainda um sistema totalmente dependente da rede concessionaria. Já o sistema off grid tem o diferencial de ter um controlador de carga para o banco de baterias e um inversor que opera de forma distinta já o método de captação é o mesmo, porém tem um sistema de armazenamento próprio sendo assim autônomo.

Partindo disso, a geração de energia fotovoltaica é uma opção pontual à geração de eletricidade. A energia solar gerada pelos raios solares em um ano pode cobrir mais do que as necessidades da população, mas grande parte dessa energia não é utilizada.

## 1.2 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

A maioria dos sistemas fotovoltaicos são conectados à rede, chamados de *on-grid*. Este tipo de sistema depende exclusivamente que a concessionária esteja em operação e fornecendo energia à unidade consumidora. A certos momentos em que a interrupção de energia por conta de manutenções na linha, desastres meteorológicos ou falha na rede.

O sistema é conectado à rede e se a rede for interrompida o inversor fotovoltaico não atuará, resultando em falta de energia, a energia está sendo gerada, porém não está sendo convertida em tensão, frequência e corrente necessárias para o

consumo. O sistema estará desligado pôs o inversor que opera no método on grid, não funciona sem a carga da rede concessionaria, sendo assim um sistema totalmente dependente da rede.

Outra questão é o sistema *off-grid*, o qual não é conectado à rede, e utiliza baterias para armazenamento de energia e não a linha transmissora como o *on-grid*. Esse sistema tem um custo alto já que o método de armazenamento da energia produzida pelo efeito fotovoltaico é na maioria das vezes armazenada em baterias que não tem uma vida útil longa assim deixando o custo da instalação oneroso.

### **1.3 JUSTIFICATIVA**

Empresas, companhias e indústrias que não podem ter tempo com energia faltante acabam não tendo um gerador por ter um alto custo, assim optando por um solução viável e eficiente que no caso é o sistema solar híbrido funcionando como um nobreak solar.

### **1.4 HIPÓTESE**

A instalação de um sistema híbrido fotovoltaico conectado à rede trabalhando em paralelo com o banco de baterias e com um painel de comutação, o qual faz a troca da energia da rede para as baterias na falta da rede e no retorno da rede ele interrompe a utilização das baterias para retornar para a rede, isso tudo automatizado pela comutação.

### **1.5 OBJETIVO**

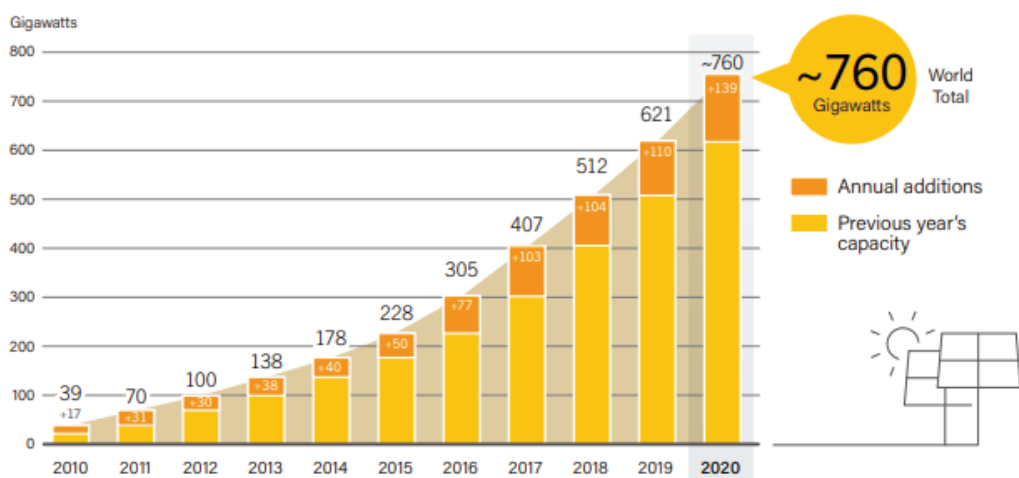
Ter uma energia renovável provinda de energia solar por um sistema fotovoltaico e otimizando os serviços manuais evitando a utilização dos geradores à utilização da rede, a qual utiliza hidroelétricas e termoelétricas para ter um sistema sustentável.

Automatizar uma comutação entre a energia provinda da rede concessionaria e a energia gerada pelo sistema fotovoltaico e ter um sistema de comutação de forma automatizada.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No início do século XXI foi iniciada a implantação de usinas fotovoltaicas e maior utilização em meios industriais e urbanos. Em 2007 a potência instalada no mundo era de 8 GW, já em 2010 esse número passou a ser de 39 GW. Já os dados de 2020 da RENEWABLES 2021 apontam o crescimento mundial de um salto gigantesco de 39 GW para 760 GW como ilustra a figura. (RENEWABLES, 2021).

Figura 4: Matriz energética mundial 2010-2020



Fonte: REN 2021

Isso aponta como a energia solar cresceu em escala mundial, tornando cada vez mais viável a instalação e outro fator que vem contribuindo para a aceleração de seu crescimento na parcela da matriz energética mundial é o barateamento dos equipamentos necessários para sua geração em decorrência do crescimento dos investimentos do setor público e privado, e também devido ao aumento dos preços da energia elétrica, tornando-a mais competitiva (SILVA, 2015).

O sistema híbrido funciona com a metodologia on grid e o off grid operando de forma conjunta com a rede concessionária e o banco de baterias. Nesse método foi utilizado um dimensionamento para 650 kWh/mês com uma irradiação global horizontal (kWh /m<sup>2</sup>. dia) de 4,67 a média anual, referente ao HSP de Curitiba no Paraná como consta os dados no Atlas Solar do Paraná. (Atlas Solar do Paraná, 2022)

Atualmente existem várias normas técnicas para sistemas fotovoltaicos e conforme a NBR 11704:2008 – Sistema fotovoltaicos – Classificação, as instalações

podem ser classificadas como isolados ou dependentes da rede no caso off grid ou on grid, quanto à configuração do sistema ele pode ser puro ou híbrido. (NBR, 2008).

### 3 METODOLOGIA E PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

No sistema elaborado foi utilizado o cálculo conforme ilustra a equação 1 para saber a real potência instalada:

Equação 1: Potência instalada (kWp)

$$Potência (kWp) = \frac{Consumo \left( \frac{kWh}{mês} \right)}{HSP \cdot \eta \cdot 30 \text{ (dias)}}$$

$$Potência instalada (kWp) = \frac{650 \left( \frac{kWh}{mês} \right)}{4,67 \cdot 0,85 \cdot 30 \text{ (dias)}} = 5,45 \text{ kWp}$$

Fonte: (Neo Solar, 2018)

Já calculado a potência em kWh/mês e em kWp foi dimensionado 10 módulos de 545 kW para atender o sistema híbrido qual possa sanar as necessidades básicas de um comercio e ter excedentes para os bancos de baterias já que o mesmo tem o sistema off grid como um nobreak solar para atender suas necessidades em caso de falta de alimentação da rede concessionária.

Conforme ilustra a equação 2 foi calculado a quantidade de módulos:

Equação 2: Quantidade de módulos

$$n^{\circ} \text{ de módulos} = \frac{Potência instalada (kWp)}{Potência do módulo (kWp)}$$

$$n^{\circ} \text{ de módulos} = \frac{5,45 (kWp)}{0,545 (kWp)} \cong 10 \text{ módulos}$$

Fonte: (Neo Solar, 2018)

*Potência (kWp)* = Potência pico do painel fotovoltaico (kWp)

*Consumo* = Energia consumida diariamente pelas cargas (kWh/mês)

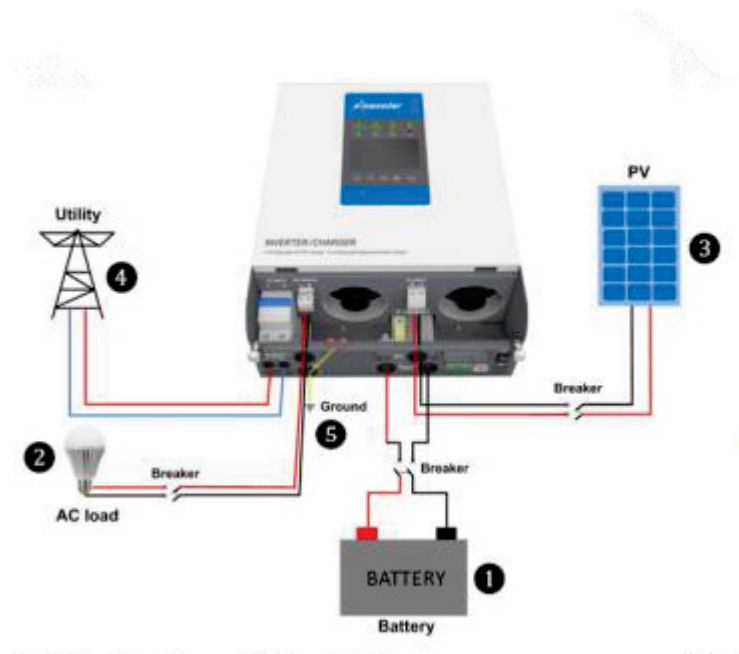
*HSP* = Horas de Sol Pleno por área (kWh/m<sup>2</sup>. dia)

*η* = Performance Ratio (Taxa de Desempenho)

Depois de dimensionado os módulos foi necessário escolher a melhor opção de inversor híbrido, o mesmo tem as funcionalidades de inversor e controlador de carga

MPPT para o banco de baterias. A grande vantagem é que ele tem a inteligência de fazer a comutação de forma automatizada não sendo necessária outro sistema elétrico para isso conforme ilustra a figura 5.

Figura 5: Inversor híbrido



Fonte: (Neo Solar, 2018)

Após o processo de escolha dos módulos e inversor híbrido que são compatíveis com os cálculos de dimensionamento. É calculado uma quantidade de bateria que possa ser eficaz para atender 8 horas de autonomia como um sistema de Nobreak Solar extremamente eficiente. As baterias necessárias para o sistema são calculadas com base nas cargas que serão atendidas, nem sempre o nobreak vai ser dimensionado para atender a planta toda e sim os equipamentos com prioridade

A demanda mensal e a diária que serão necessárias as baterias atender, está ilustrada na tabela 1 e a demanda atendida pelas baterias está ilustrada na tabela 2. Foi utilizado do dimensionamento das demandas necessárias e a demanda que as baterias atendem para chegar à necessidade de 4 baterias de 240 Ah que está ilustrada na tabela 3.

Tabela 1: Demanda mensal e diária

<b>Demanda mensal e diária</b>	<b>Quantidade</b>
Demanda mensal em kWh/mês	650.00
Demanda diária em kWh/dia	21.67

Tabela 2: Demanda atendida pelas baterias

<b>Demanda atendida pelas baterias</b>	<b>Quantidade</b>
Quantidade de horas por dia	8
Quantidade de kW/hora	0.903
Quantidade de kWh/dia	7.22
Quantidade de kWh/mês	216.67

Tabela 3: Quantidade de baterias necessárias

<b>Quantidade de baterias necessárias</b>	<b>Quantidade</b>
Quantidade arredondada de baterias	4
Capacidade das baterias em Ah	240

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tendo em vista a influência do sistema de backup na operação, este trabalho buscou demonstrar experimentalmente que um sistema auxiliar de nobreak solar aplicado a um sistema on grid eficiente operando com um inversor híbrido tem resultados positivos resolvendo diversos problemas como por exemplo;

- Falta de energia elétrica
- Perca de matérias que necessitam da refrigeração necessária
- Os meios de vendas e pagamentos necessitam da energia elétrica

Esses são alguns dos problemas que o sistema vai sanar, os benefícios dos resultados da eficácia do sistema híbrido são diversos. É um sistema que tem a capacidade de usar a rede elétrica da concessionária normalmente e as baterias o deixar com a autonomia desejada para funcionar de o tempo de operação que a área instalada necessita.

Entre os benefícios estão à contribuição com o meio ambiente através do uso de energia renovável limpa em um ano estimado em um sistema de 650,00 kWh/mês ter compensado uma árvore por ano e ter poupado a emissão de 0,398 tco<sub>2</sub> como ilustra a figura 6.

Figura 6: Emissão poupada de CO<sub>2</sub>



Fonte:( Idesam, 2022)



Ter o armazenamento em baterias próprias garantem a ininterruptão do fornecimento da energia elétrica é uma fonte inesgotável, sistema silencioso e confiável, sistema automatizada e com comutação inteligente esses são alguns dos benefícios do projeto.

Em uma análise e conclusão do sistema ele foi considerado viável no aspecto técnico e econômico pois um sistema 100% off grid não tem a vantagem de ser econômico e ter um retorno ao curto prazo, as baterias tem um elevado custo e uma vida útil em torno de 5 a 10 anos. Existem baterias com uma durabilidade maior no mercado, porém as mesmas são ainda mais caras e acabam não sendo financeiramente viável. O que deixou o sistema interessante foi o baixo custo com a parte do banco de baterias e deixando a área instalada com uma rede elétrica ininterrupta, automatizada e autônoma.

## **5 CONCLUSÕES**

Com base nas necessidades apresentadas no trabalho em que se encontra a dificuldade da utilização da energia fotovoltaica conectada à rede, quando encontrado problemas frente à companhia de distribuição, o estudo, demonstra satisfatoriamente a utilização do sistema por meio de comutação entre o sistema on grid e off grid, na utilização autônoma da energia provinda de alternativa renovável, no caso, energia solar fotovoltaica. Utilizando o sistema proposto há a possibilidade de armazenamento de energia na rede da concessionária e em paralelo armazenamento em um banco de baterias. Tornando assim uma geração energética sustentável e autônoma satisfazendo às necessidades da unidade consumidora.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 10520**: apresentação de citações em documentos: procedimento. Rio de Janeiro, 2008.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, **Atlas da Eficiência Energética**. 2021, Ano base 2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, **BEN Relatório Síntese**, 2021, Ano base 2020.

José Roberto Simões Moreira; **Energias renováveis, geração distribuída e eficiência energética**. Edição 1. Aparecida-SP: Gen, 2017.

RELATÓRIO DE STATUS GLOBAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS, **RENEWABLES 2019 GLOBAL STATUS REPORT**, Edição 2021, Paris-França- Île-de-France, 2021.

NEO SOLAR, **Fundamentos da Energia Solar**, Edição 2018, Paraíso, São Paulo – SP, 2018.

<<https://atlassolarparana.com/map;jsessionid=AEFD580F7A5318376226F809B488FD21>>/  
Acesso em 06/07/2022.