

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal  
de Campina Grande

DURVAL MATHIAS CORREIA TENÓRIO RIBEIRO

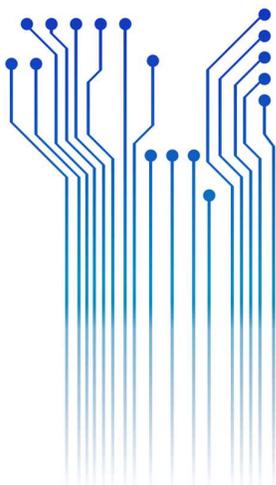


Centro de Engenharia  
Elétrica e Informática

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO  
ENERGIA SOLAR – ANÁLISE GERAL E ESTUDO DE CASO



Departamento de  
Engenharia Elétrica



Campina Grande  
2019

DURVAL MATHIAS CORREIA TENÓRIO RIBEIRO

ENERGIA SOLAR – ANÁLISE GERAL E ESTUDO DE CASO

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal de Campina Grande  
como parte dos requisitos necessários para a  
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no  
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Geração de energia fotovoltaica

Orientador:

Professor Francisco das Chagas Fernandes Guerra

Campina Grande  
2019

DURVAL MATHIAS CORREIA TENÓRIO RIBEIRO

ENERGIA SOLAR – ANÁLISE GERAL E ESTUDO DE CASO

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal de Campina Grande  
como parte dos requisitos necessários para a  
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no  
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Geração de energia fotovoltaica

Aprovado em        /        /

**Professor Avaliador**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Avaliador

**Professor Francisco das Chagas Fernandes Guerra**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho a Deus, aos meus pais, Carlos e Fátima, ao meu irmão, Davi, e à minha namorada Mikaella, também aos meus amigos que sempre me apoiaram de várias formas nesta longa e difícil caminhada.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela minha vida, pela minha família que sempre esteve presente nos momentos bons e ruins, e que permitiu que esse momento se realizasse depois de tanto esforço.

Agradeço à minha mãe, Fátima, juntamente com meu pai, Carlos, por terem se empenhado com todas as forças para me proporcionar uma boa educação, sabedoria, sempre com conselhos e advertências sobre o que acontece afora desde a infância, agradeço imensamente também ao meu irmão Davi, que apesar da distância, sempre se preocupou comigo e me deu conselhos que aprendi para a vida, sempre me motivando e me levantando ao sucesso, e no final das contas minha família que nunca me deixou faltar nada, sempre dando todo o suporte necessário, que foram essenciais para superação de todas as adversidades ao longo desta caminhada.

Agradeço também a minha namorada Mikaella, que com todo carinho e apoio, sempre estava pronta para me ouvir, me colocar para frente, sempre dando conselhos positivos e me animando para concluir esta difícil caminhada e me ajudar de alguma forma, e também por ter me acolhido na sua casa com sua família quando precisei ir para Campina Grande nesta etapa final.

Agradeço aos meus amigos, que de forma fundamental me ajudaram neste curso, seja com estudos, várias madrugadas, mas também com bons momentos de descontração, festas, sem eles seria muito mais difícil essa caminhada para concluir o curso.

Agradeço ao meu professor e orientador Francisco das Chagas por ter aceitado meu convite e me orientado da melhor forma possível.

Enfim, agradeço a todos meus familiares e as pessoas que de alguma forma, passaram pela minha vida e contribuíram para a construção de quem sou atualmente, e para a realização deste trabalho.

*“O sucesso é ir de fracasso em fracasso sem perder o entusiasmo.”*

Winston Churchill.

## RESUMO

Nos dias atuais percebe-se a crescente demanda por formas alternativas de converter energia elétrica no Brasil, são vários os estilos de conversão em pauta, com a finalidade de aliviar o setor hidrelétrico, que é o mais utilizado, e assim, distribuir para outras formas de conversão de energia, de preferência as fontes renováveis, e unindo este fato ao da enorme vantagem na modalidade fotovoltaica, onde qualquer pessoa com as condições financeiras necessárias pode ter sua própria fonte de conversão de energia, no estilo *on grid* ou *off grid*, e isso acaba gerando uma curiosidade muito grande, aliado ao preço e tempo de retorno financeiro deste investimento, torna-se uma demanda que cada vez mais está em evidência. Contudo, classifica-se esta nova tendência no Brasil desde os microgeradores até usinas de geração. O presente trabalho de conclusão de curso foi desenvolvido sob perspectiva de realizar uma análise do panorama da energia solar e demonstrar um projeto como estudo de caso, de uma pousada projetada para ser microgeradora, localizada em Porto de Galinhas – PE e analisar sua viabilidade econômica, que no final, mostra-se devidamente viável com cálculos e ajuda de plataformas, dentre outros quesitos que serão explanados, em parceria com a empresa Solar Nobre, sediada em Campina Grande - PB.

**Palavras-chave:** Energia solar, sistema fotovoltaico, painel solar, inversor, viabilidade econômica, *on grid*, *off grid*.

# ABSTRACT

Nowadays, it's easily noticeable the growing demand for alternative ways to convert energy in Brazil, there are many ways of conversion in talks, willing to relieve the hydroelectric sector, the most used, and distribute to others ways of energy conversion, preferring the renewable ones, and joining this fact to the huge advantage showed on the photovoltaic way, that anyone who's able to afford it can have their own source of energy conversion, using the modality on grid and off grid, then, it creates a high curiosity, allied to the price and payback time, then it becomes a demand that has been growing in evidence. However, it's necessary to describe this new tendency at Brazil sorting from microgenerators until power plants. That project was developed under perspective to make an analysis on outlook of the solar energy and demonstrate a project of a case study of a hostel designed to be a microgenerator, which is located at Porto de Galinhas - PE, analyzing as well its economic viability, that at the end shows itself economic viable with calculus and with the help of a platform, among other conclusions that will be explained along the chapters, in partnership with Solar Nobre, located at Campina Grande - PB.

**Keywords:** Solar energy, photovoltaic system, solar panel, inverter, economic viability, on grid, off grid.

# LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Ilustração do efeito fotoelétrico .....	16
Figura 2: Aproveitamento da energia do Sol.....	17
Figura 3: Esquema dos componentes de radiação .....	18
Figura 4: Foto de um Piranômetro.....	18
Figura 5: Exemplo de irradiância sem nuvens.....	19
Figura 6: Irradiação em diferentes momentos .....	19
Figura 7: Curva de insolação em Campina Grande .....	20
Figura 8: Mapa de insolação nacional .....	21
Figura 9: Esquema da placa solar.....	22
Figura 10: Representação de uma célula fotovoltaica .....	23
Figura 11: Diferenças entre os tipos de células de silício.....	26
Figura 12: Representação do módulo fotovoltaico .....	26
Figura 13: Composição de um módulo fotovoltaico comercial.....	27
Figura 14: Curvas características a diferentes irradiâncias.....	28
Figura 15: Influência da temperatura no módulo fotovoltaico .....	29
Figura 16: Esquema de dois módulos em série. ....	30
Figura 17: Esquema dos painéis em série.....	31
Figura 18: Esquema série paralelo dos módulos .....	32
Figura 19: Ponto quente numa célula .....	33
Figura 20: Foto durante limpeza necessária nos módulos .....	33
Figura 21: Esquema de baterias em série .....	35
Figura 22: Esquema de arranjo de baterias em paralelo .....	35
Figura 23: Esquema de ligação mista entre baterias.....	35
Figura 24: Esquemas de diodos utilizados nos módulos .....	36
Figura 25: Controlador de carga.....	37
Figura 26: Esquema do controlador de carga no sistema .....	38
Figura 27: Inversor <i>off grid</i> convencional .....	40
Figura 28: Esquema do sistema solar com o inversor <i>off grid</i> .....	41
Figura 29: Esquema de um sistema isolado sem armazenamento de energia.....	42
Figura 30: Esquema <i>off grid</i> com armazenamento de energia.....	43
Figura 31: Esquema de um sistema fotovoltaico <i>on grid</i> .....	44
Figura 32: Esquema do sistema de proteção em sistemas isolados .....	45
Figura 33: Esquema do sistema de proteção aplicado na modalidade <i>on grid</i> .....	46
Figura 34: Análise comportamental da tensão em um surto elétrico.....	47
Figura 35: Tabela de inclinações dos módulos baseados na latitudes .....	50
Figura 36: Dados de irradiação na região .....	51
Figura 37: Esquema de ligação dos módulos fotovoltaicos.....	52
Figura 38: DPS .....	55
Figura 39: Disjuntor .....	55
Figura 40: Chave seccionadora CC .....	56
Figura 41: Fusíveis .....	56
Figura 42: Diagrama unifilar de proteção do sistema fotovoltaico.....	57
Figura 43: Estimativas de geração durante o ano .....	58
Figura 44: Lista de materiais sugeridos pela plataforma Sices.....	58
Figura 45: Tabela de retorno financeiro .....	59
Figura 46: Gráfico do <i>payback</i> simples.....	60

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Ampere
Ah	Ampere-hora
C	Celsius
DPS	Disjuntor de Proteção Contra Surtos
DTM	Disjuntor Termomagnético
G	Irradiância
H	Radiância
H	Horas
K	Quilo
m <sup>2</sup>	Metro quadrado
mm <sup>2</sup>	Milímetro quadrado
MPPT	Maximum Power Point Tracking
PWM	Pulse Width Modulation
V	Volt
T	Temperatura.
t	Tempo.
V	Volt.
A	Ampere
VPL	Valor presente líquido

# SUMÁRIO

Agradecimentos.....	v
Resumo.....	vii
Abstract.....	viii
Lista de Ilustrações.....	ix
Lista de Abreviaturas e Siglas.....	x
Sumário.....	xi
1 Introdução.....	14
2 Fundamentação teórica.....	15
2.1 Efeito fotoelétrico e radiação solar.....	15
2.2 Irradiância.....	18
2.2.1 Insolação.....	20
2.3 Células e módulos fotovoltaicos.....	21
2.3.1 Modelo elétrico de uma célula fotovoltaica.....	23
2.3.2 Tipos de células fotovoltaicas.....	24
2.3.3 Módulos fotovoltaicos.....	26
2.3.4 Curva característica IxV de um módulo fotovoltaico.....	28
2.3.5 Associações dos módulos fotovoltaicos.....	30
2.3.6 Efeitos do sombreamento.....	32
2.4 Baterias.....	34
2.5 Controlador de carga.....	37
2.6 Inversores.....	39
2.7 Sistemas fotovoltaicos isolados ( <i>off grid</i> ).....	41
2.8 Sistemas fotovoltaicos conectados à rede ( <i>on grid</i> ).....	43
3 Dispositivos de proteção em sistemas fotovoltaicos.....	45
4 O projeto.....	47
5 Conclusão.....	61
Referências.....	63
ANEXO A – Datasheets:.....	64

# 1 INTRODUÇÃO

Nos dias atuais percebe-se a crescente demanda por formas alternativas de conversão de energia, vários estilos sempre em pauta, tendo em vista a crise hídrica que vive o país, a fim de desafogar o que a ampla maioria utiliza, o do setor hidrelétrico, e distribuir de uma melhor forma as fontes energéticas no Brasil, destacando também outras fontes, como termelétricas, eólicas, a utilização do próprio bagaço da cana de açúcar em algumas indústrias (o que também é muito atrativo), a modalidade fotovoltaica ganha destaque por qualquer pessoa com a devida capacidade financeira poder ter sua própria fonte de conversão de energia, no estilo *on grid* ou *off grid*, acaba despertando uma curiosidade muito grande, aliado ao preço e tempo de retorno financeiro deste investimento, torna-se uma demanda que cada vez mais está em evidência.

Então, torna-se necessário um estudo aplicado para entender melhor esta novidade no mercado energético e poder prestar serviços à sociedade como ótima forma de negócio, sendo atrativo para o engenheiro e para o cliente, demonstrando ser um mercado muito promissor, até no quesito da sustentabilidade apresenta ser uma boa opção de uso para o consumidor. Para tal, neste trabalho, foi pensado um estudo analítico sobre como funciona a conversão de energia fotovoltaica, a sua tarifação, e, por fim, uma demonstração de um estudo de caso da instalação do sistema solar de uma pousada localizada em Porto de Galinhas, PE.

Logo, o presente trabalho englobará a seguinte distribuição. O capítulo 1 será de caráter introdutório, referenciando a problemática, o capítulo 2 mostrará toda a fundamentação teórica em questão, para entender o intuito do projeto, o capítulo 3 mostrará uma apresentação dos sistemas de proteção utilizados, o capítulo 4 aborda a demonstração do projeto, mostrando também sua viabilidade econômica, e para finalizar, dentro do capítulo 5 será mostrada a conclusão do presente trabalho. Logo após, encerrando com as referências bibliográficas e os anexos.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste tópico, para que sejam melhores entendidos os conceitos dos dimensionamentos dos módulos fotovoltaicas, serão revisados os conceitos básicos para uma compreensão das origens dos estudos em questão. Iniciando-se por efeito fotoelétrico, radiação solar e seus tipos, irradiância, os tipos de células, módulos, junto com suas associações, baterias, controladores de carga e inversores.

### 2.1 EFEITO FOTOELÉTRICO E RADIAÇÃO SOLAR

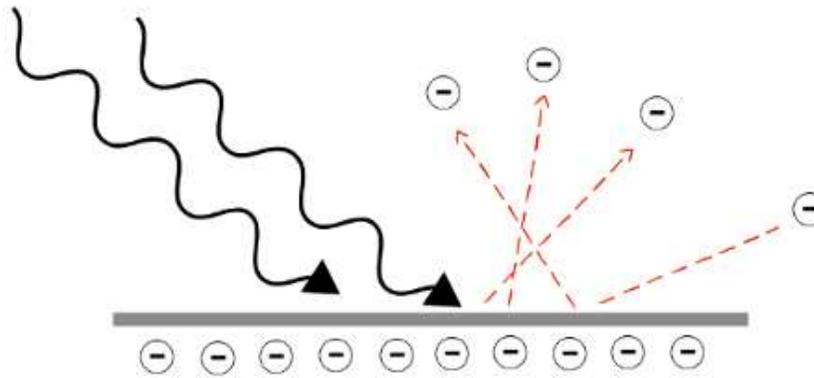
O efeito fotoelétrico pode ser classificado como um fenômeno de origem quântica, que consiste na emissão de elétrons por algum material iluminado por radiações eletromagnéticas a frequências específicas, tais elétrons que o compõem são os chamados fotoelétrons. Tal efeito foi descoberto em 1886 pelo físico alemão Heinrich Hertz (1857-1894), percebendo que a incidência da luz ultravioleta em chapas metálicas resultava na saída de faíscas do local, porém a explicação científica para tal só veio à tona em 1905, com Albert Einstein, para sanar a dúvida que existiu na época, que se relacionou com a energia cinética dos elétrons ejetados.

Após diversos estudos, Einstein percebeu que o agente responsável pela ejeção de cada elétron era um único fóton (partícula que compõe a luz, definida como pequeno “pacote” que transportam a energia contida nas radiações eletromagnéticas, e transferia aos elétrons uma parte de sua energia), desde que sua frequência fosse grande o suficiente para tal. Einstein aproveitou as ideias do físico alemão Max Planck (1858-1947).

Planck afirmava que a luz irradiada por um corpo negro era quantizada, isto é, apresentava um valor mínimo de energia, como em pequenos pacotes. Einstein ampliou a ideia para todas as ondas eletromagnéticas e conseguiu resolver o problema do efeito fotoelétrico. Einstein e Planck receberam mais tarde o prêmio Nobel de Física por suas descobertas relacionadas à quantização da luz. O efeito fotoelétrico se dá pela conversão direta da luz em eletricidade em escala atômica. As células fotovoltaicas fazem a conversão da irradiação solar em elétrica a partir de processos que se desenvolvem nessa

escala atômica, nos materiais das quais são constituídas, a exemplo do silício, que tem a propriedade de absorver fótons de luz e liberar elétrons.

Figura 1: Ilustração do efeito fotoelétrico



Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-efeito-fotoeletrico.htm>

O Sol é a principal fonte de energia do nosso planeta. Toda essa energia chega à Terra em forma de ondas eletromagnéticas de diferentes frequências e comprimentos de onda, quanto maior a frequência de onda, maior é a energia transmitida. Já abordando a radiação solar, observamos que seu conceito está ligado à energia radiante emitida pelo sol, principalmente à que está transmitida sob forma de radiação eletromagnética. Aproximadamente metade desta energia está sob forma de luz visível, com o restante em dividido em infravermelho e ultravioleta. A radiação solar fornece anualmente para a atmosfera terrestre  $1,5 \times 10^{18}$  kWh de energia. Analisando-se a relação entre frequência e energia, tem-se através da equação de Planck, equação (1):

$$E = h \cdot f \quad (1)$$

Sendo:

$E$  – Energia da onda (unidades em Joules [J] ou elétrons-volt [eV]);

$f$  – Frequência da onda (unidade em hertz [Hz]);

$h$  – Constante de proporcionalidade (aproximadamente  $6,636 \cdot 10^{-34}$ , com a unidade em Joule. Segundo [J.s]).

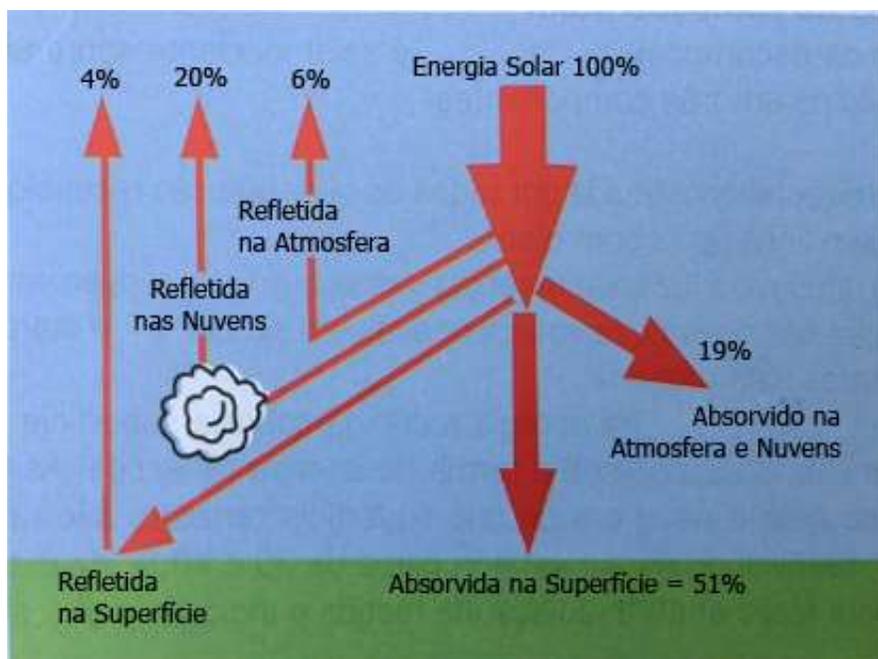
Ao chegar na Terra, a radiação solar sofre algumas alterações por influência direta da massa de ar durante o contato, as partículas de poeira e vapor de água afetam pelos efeitos do espalhamento e absorção. A trajetória da radiação é função do ângulo de inclinação do sol em relação à uma linha imaginária (zênite) perpendicular ao solo.

Há três componentes de radiação solar aproveitadas para a conversão, tais quais:

- Direta: chega diretamente do Sol ao solo sem influências externas, gera maior influência do ponto de vista de geração fotovoltaica;
- Difusa: é a componente que sofre difração, que passa pelo contato de nuvens e poeira e acabam espalhando a radiação;
- Albedo: as superfícies que são incididas acabam reenviando ao espaço cerca de 35% da radiação recebida, se resulta pelo contato com quaisquer outras superfícies e toma o caminho desviado até chegar no solo.

No final das contas, com a incidência da radiação solar, no solo só chega cerca de 51% de toda essa energia solar, como mostrado na figura 2:

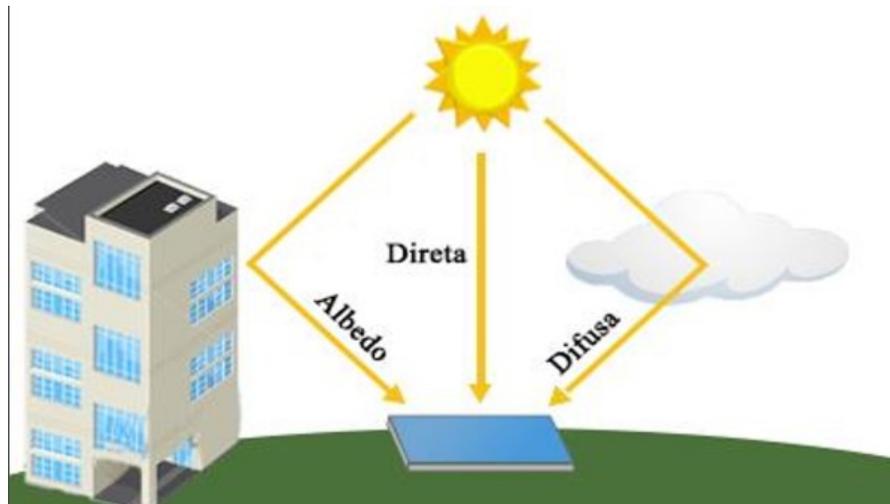
Figura 2: Aproveitamento da energia do Sol



Fonte: <http://www.fcsolar.eco.br/aprenda-aqui/>

São ilustrados na figura 3 os componentes da radiação. E para a medição, o instrumento que mede a grandeza da radiação é o piranômetro, mostrado na figura 4.

Figura 3: Esquema dos componentes de radiação



Fonte: Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos, Solar Nobre.

Figura 4: Foto de um Piranômetro



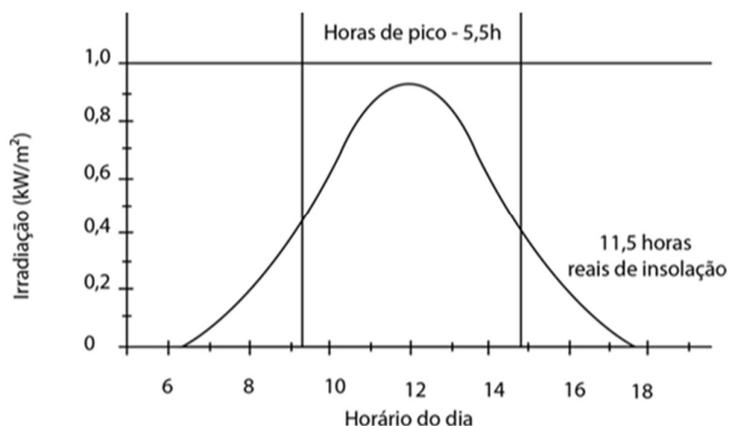
Fonte: [http://recursosolar.geodesign.com.br/Pages/Pyranometer\\_RS.html](http://recursosolar.geodesign.com.br/Pages/Pyranometer_RS.html)

## 2.2 IRRADIÂNCIA

O termo irradiância se refere a classificar uma unidade de potência solar irradiada por uma unidade de área, em outras palavras, a quantidade de potência solar em questão, por cada  $1 \text{ m}^2$ , é expressa em  $\text{Watt/m}^2$  [ $\text{W/m}^2$ ], também é medida pelo piranômetro.

A figura 5 demonstra um exemplo de um cenário ideal, o gráfico que mostra o comportamento da irradiância em um local genérico durante todas as horas do dia.

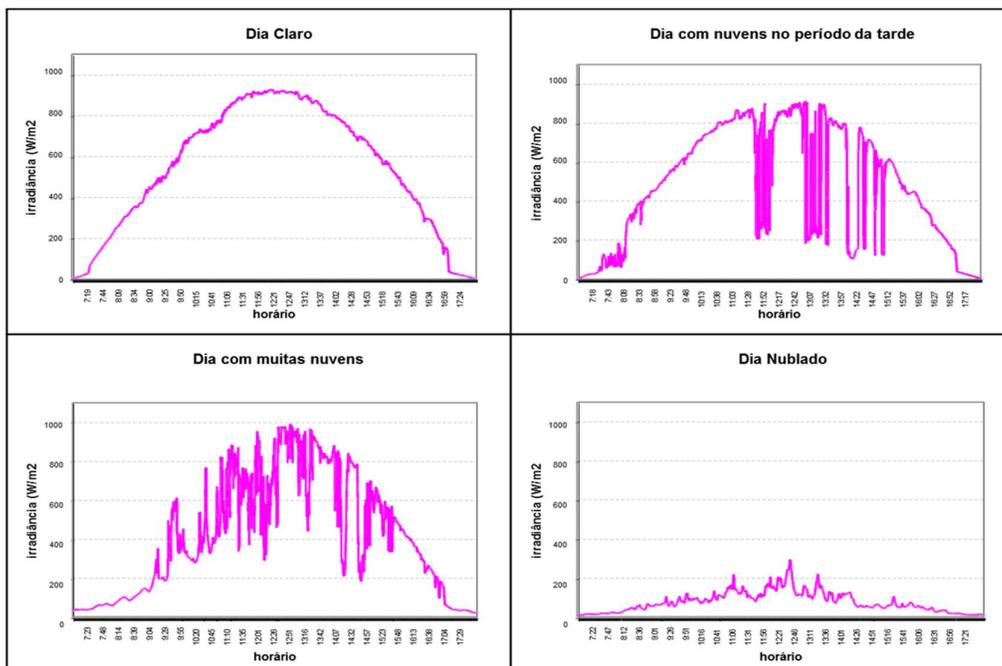
Figura 5: Exemplo de irradiância sem nuvens



Fonte: <http://hccengenharia.com.br/a-irradiancia-solar-no-rio-grande-do-sul-e-suficiente-para-gerar-energia-solar/>

Anteriormente foi mostrado um exemplo da forma ideal, sem interferência das nuvens. Agora, mostram-se as formas reais da irradiância durante um dia em situações diferentes, como influência das nuvens, dia claro e dia nublado, nos gráficos da figura 6.

Figura 6: Irradiação em diferentes momentos



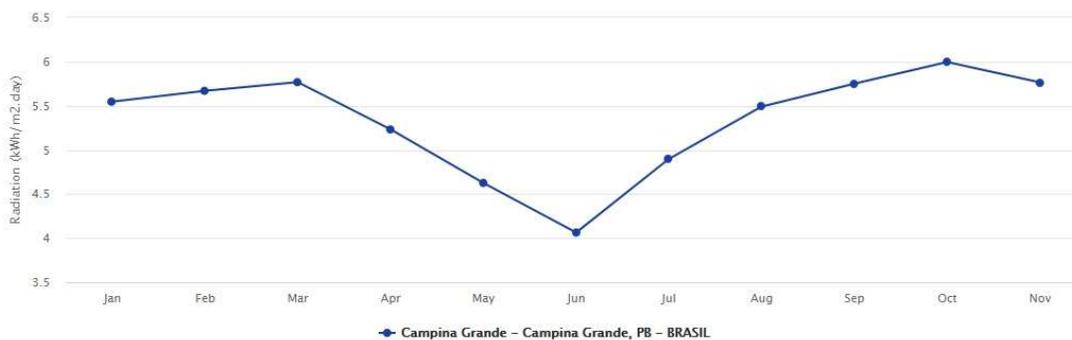
Fonte: <http://www.solarbrasil.com.br/blog-da-energia-solar/129-conceitos-de-energia-solar-fotovoltaica-como-a-radiacao-solar-varia-ao-longo-do-dia>

### 2.2.1 INSOLAÇÃO

Após realizado o cálculo da área da curva de irradiância será obtida a grandeza insolação, que é a energia total irradiada naquele local específico, com sua unidade de grandeza em watt hora por metro quadrado [ $\text{Wh}/\text{m}^2$ ]. É de suma importância na hora de projetar um sistema fotovoltaico, sendo sempre interessante analisar as curvas de insolação do local específico antes de fazer o dimensionamento.

Tais dados podem ser obtidos através de mapas solarimétricos (baixa resolução dos dados) ou por bancos de dados meteorológicos. Há *softwares* que já realizam o trabalho necessário e passam as informações de forma simples. Na figura 7, está o exemplo de uma curva de insolação em Campina Grande – PB, com o auxílio do *software* SUNDATA:

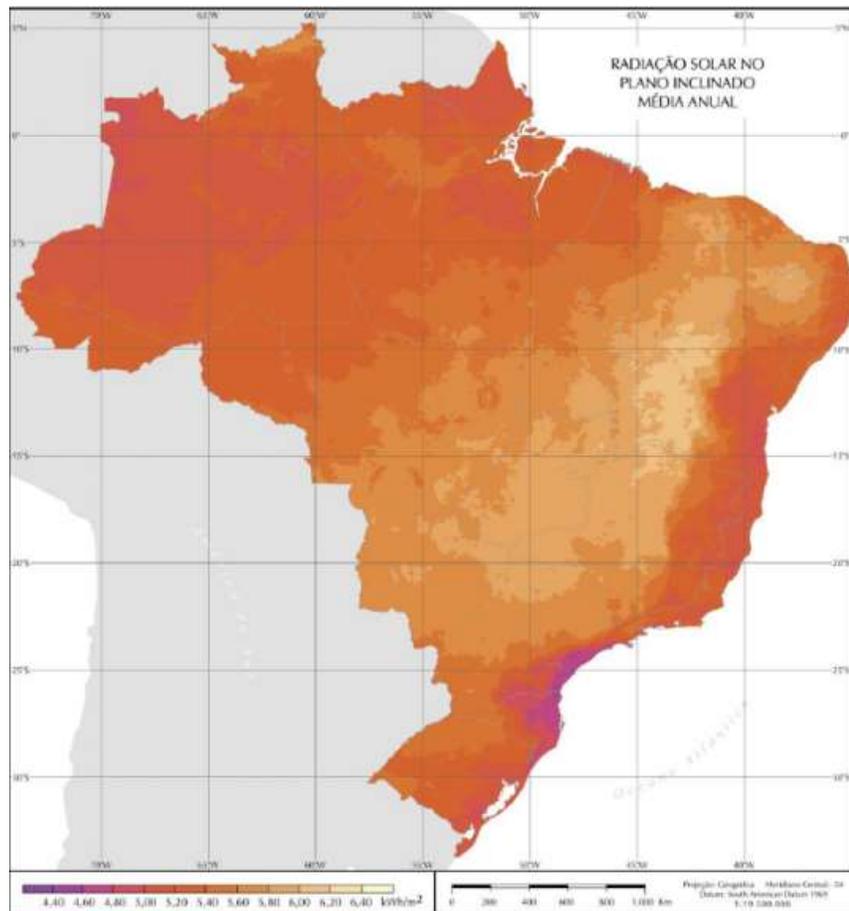
Figura 7: Curva de insolação em Campina Grande



Fonte: Auxiliado pelo software SUNDATA

Na figura 8 apresenta-se um mapa para demonstrar o panorama nacional da insolação, demonstrando os dados por regiões, onde apresentam quantidades mais satisfatórias e comparando-as com as demais:

Figura 8: Mapa de insolação nacional



Fonte: (PEREIRA, 2006)

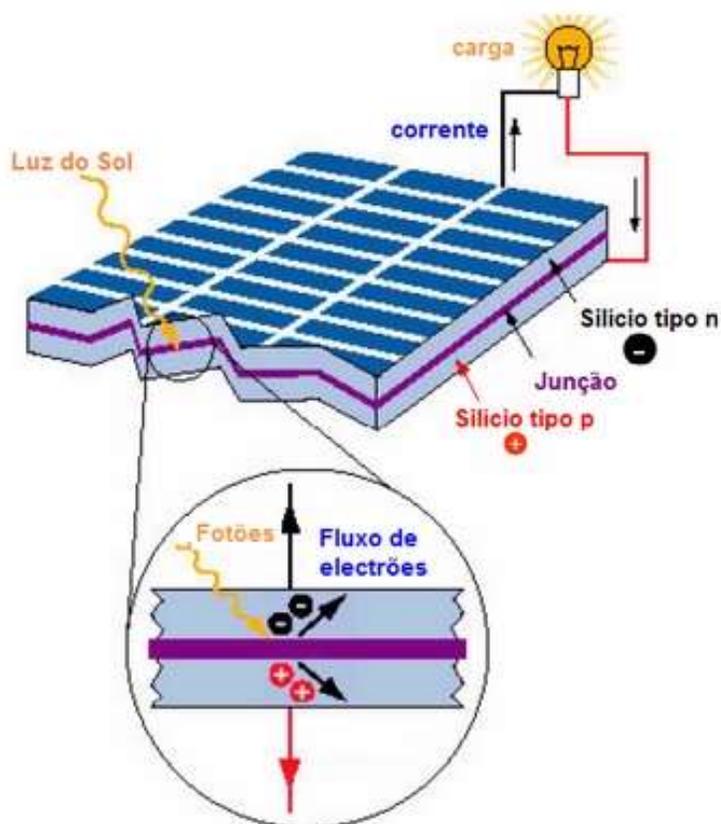
### 2.3 CÉLULAS E MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

A expressão fotovoltaica pode ser explicada separadamente como: “foto” significa luz e “voltaica” surge da própria unidade relativa à tensão. A célula fotovoltaica é o principal elemento na conversão da eletricidade a partir da energia solar, quando ocorre a exposição da mesma à luz, é estabelecida uma tensão nos seus terminais, dando início à passagem de corrente.

Tais células são feitas a partir de materiais semicondutores que em sua maioria são compostos de silício, porém, para converter o nível de eletricidade adequado, só o silício não é suficiente, fazendo-se necessária a adição de outros materiais, como fósforo e boro. Tal composto final tem sua capacidade de geração limitada em níveis de sinais contínuos. Compõem as células os materiais condutores e isolantes, a parte com o fósforo

fica exposta ao Sol e é a parte do semicondutor negativo, já na parte inferior há o boro, sendo o semicondutor positivo. Entre o fósforo e boro se localiza o silício na parte central. Conectando para finalizar na parte frontal e traseira para conduzir a energia elétrica convertida.

Figura 9: Esquema da placa solar



Fonte: <http://energiainteligenteufff.com/como-funciona/energia-solar-fotovoltaica/>

Conforme ilustrado na Figura 9, apresenta-se a estrutura básica de uma célula fotovoltaica comum, onde são mostradas as seguintes estruturas:

- Contatos superiores: contatos metálicos, que constituem os terminais negativos, localizados na parte superior;
- Película antirreflexo: esta é capaz de reduzir os valores refletidos (que não seriam aproveitados) de radiação a cerca de 5%. Há células de alto

rendimento que conseguem reduzir a até 2%; na ausência desse revestimento, cerca de 30% da radiação seria refletida pela célula;

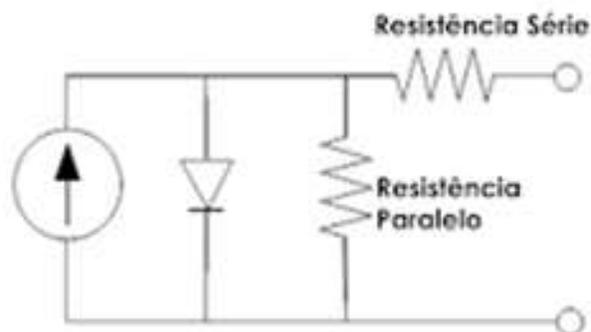
- Camada tipo n: composta de silício dopado com fósforo, constituindo a região negativa da célula;
- Camada tipo p: composta de silício dopado com boro, constituindo a região positiva da célula;
- Contato traseiro: é o contato metálico inferior (terminal positivo).

Separadamente, ambas as capas (P-N) são eletricamente neutras. Porém quando ocorre a união destas camadas, é gerado um campo elétrico em virtude de os elétrons de silício tipo N ocuparem os vazios da estrutura do tipo P. Incidindo-se a luz na célula, os fótons chocam-se com os elétrons do componente de silício, fornecendo-lhes energia. Devido ao campo gerado os elétrons passam a fluir pelas camadas, gerando a corrente elétrica, variando a sua intensidade da corrente de acordo com a intensidade da incidência da luz.

### 2.3.1 MODELO ELÉTRICO DE UMA CÉLULA FOTOVOLTAICA

Esquemáticamente, modela-se a célula fotovoltaica num diagrama elétrico, representando-a com um circuito equivalente básico que possui uma fonte de corrente, um diodo e algumas resistências, conforme apresentado na figura 10.

Figura 10: Representação de uma célula fotovoltaica



Tendo-se em conta que a representação das equações da corrente que passa pelo diodo, da tensão térmica e da corrente que passa pela resistência série, podem ser mostradas da seguinte forma, respectivamente equações (2), (3) e (4):

$$I_D = I_0 \left( e^{\frac{V}{m \cdot V_T}} - 1 \right) \quad (2)$$

$$V_T = \frac{k \cdot t}{q} \quad (3)$$

$$I = I_S - I_0 \left( e^{\frac{V}{m \cdot V_T}} - 1 \right) - \frac{V + R_S \cdot I}{R_P} \quad (4)$$

Onde:

$I_0$  se denomina a corrente de saturação do diodo;

$m$  é o fator de idealidade (valores entre 1 e 2);

$V_T$  equivale a tensão térmica;

$k$  é a constante de Boltzmann, com o valor de  $1,38 \cdot 10^{-23}$ ;

$t$  se denomina a temperatura da célula medida em kelvin (°K);

$q$  equivale à carga do elétron, com valor de  $1,6 \cdot 10^{-19}$  coulomb.

### 2.3.2 TIPOS DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

Há três tipos mais comuns de células fotovoltaicas, as de silício monocristalino, silício policristalino e as de filme fino de silício, explanadas em detalhes e mostrando suas aplicações e principais diferenças, e logo após, sendo ilustradas em um comparativo na mesma ilustração, na figura 11:

**Silício monocristalino:**

O silício monocristalino se destaca por apresentar maior eficiência em virtude do grau de pureza do material. Apresenta uma eficiência de cerca de 18% comercialmente e alcança ainda por volta de 25% experimentalmente em laboratórios, porém é a opção mais cara dentre as três ao mesmo passo de apresentar o melhor resultado. Costuma apresentar uma aparência e coloração uniforme, notando-se na comparativa que será mostrada.

**Silício policristalino:**

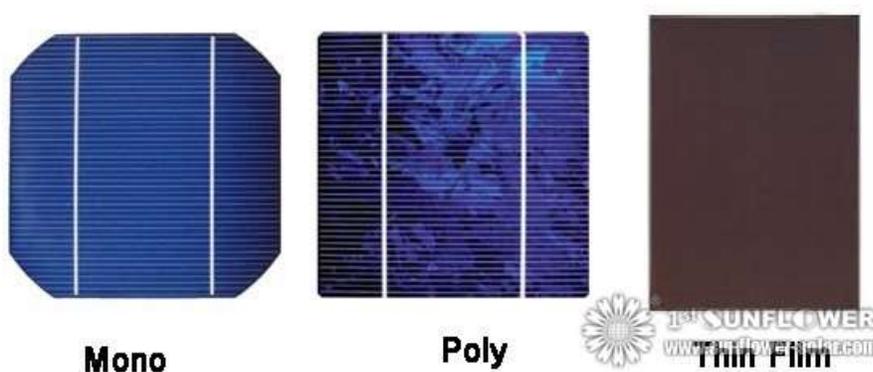
O silício policristalino apresenta uma desuniformidade na sua coloração em virtude do seu tratamento ser mais rápido, menos exigente e mais barato, fazendo com que a eficiência desse tipo de célula seja mais baixa em relação à anterior (por volta de 15% nas opções comerciais).

**Filme fino de silício:**

O filme fino de silício se mostra como a opção mais barata e é um componente que se fabrica por meio de depósito de finas camadas de material à base de silício sobre uma superfície que pode ser rígida ou flexível. Dentre esta modalidade, a tecnologia mais utilizada é a de silício amorfo (Rendimento entre 5% e 8%), conclui-se que é a pior das três opções, aliada ao fato de no primeiro ano de uso sua eficiência reduzir ainda mais (Estabilizando-se depois). O filme fino de silício é utilizado em calculadoras e pequenos aparelhos eletrônicos que necessitem de baixa energia.

Compreendendo melhor a classificação dos tipos de silício, demonstra-se na figura 11, como já citado anteriormente, a ilustração de cada um dos tipos de silício enfatizando suas diferenças visuais, com o intuito de complementar o que foi discutido no presente tópico:

Figura 11: Diferenças entre os tipos de células de silício



Fonte: [http://www.sunflower-solar.com/index\\_pt.php?act=content&scheduler\\_id=2029](http://www.sunflower-solar.com/index_pt.php?act=content&scheduler_id=2029)

### 2.3.3 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Cada célula fotovoltaica converte uma tensão muito baixa (cerca de 0,5 V), então, para as reais aplicações desta conversão na prática, são demandadas tensões bem maiores, fazendo-se necessário o uso de várias células rearranjadas em série, estas, recebendo o nome de módulos fotovoltaicos (faz uso de outras expressões como placas fotovoltaicas ou painéis fotovoltaicos), que são as estruturas rígidas que suportam estes arranjos citados.

Figura 12: Representação do módulo fotovoltaico

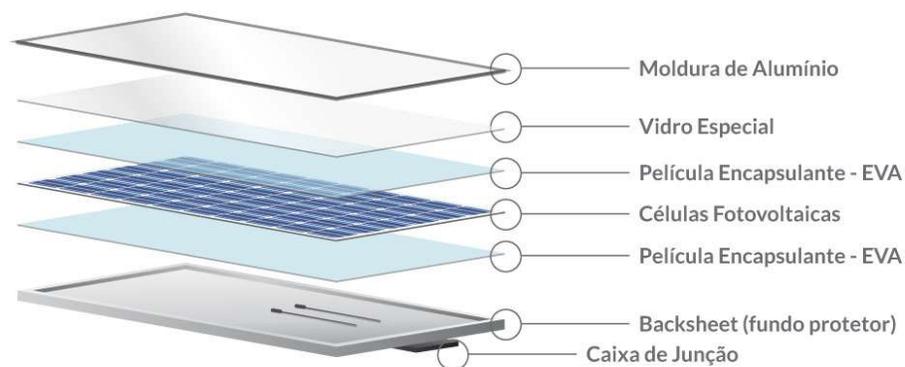


Fonte: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/7135/1/monopoli10000620.pdf>

As aplicações mais comuns são módulos com 36 células (baixa potência), e, para maiores potências, é notável a presença de cerca de 60 ou 72 células. Normalmente para tensões superiores às citadas, as células chegam a totalizar juntas entre 30V e 100V no módulo. Vale salientar que tais aplicações são utilizadas para os tipos de silício monocristalino e policristalino, que são as aplicações mais práticas para o intuito deste trabalho.

Para construir o módulo tem-se na parte externa a moldura de alumínio para proteção, seguida de várias camadas de componentes para a boa conservação do material, finalizando embaixo com material rígido como fundo protetor, seguido da *junction box* (caixa de junção), onde estão as conexões entre os cabos da saída.

Figura 13: Composição de um módulo fotovoltaico comercial



Fonte: <https://blog.bluesol.com.br/painel-solar-caseiro/>

Com isso, percebe-se que o material se apresenta de grande valia e utilidade, aliado à alta resistência, pois os materiais envolvidos conseguem entregar ao produto toda a segurança e proteção necessária para seu bom uso.

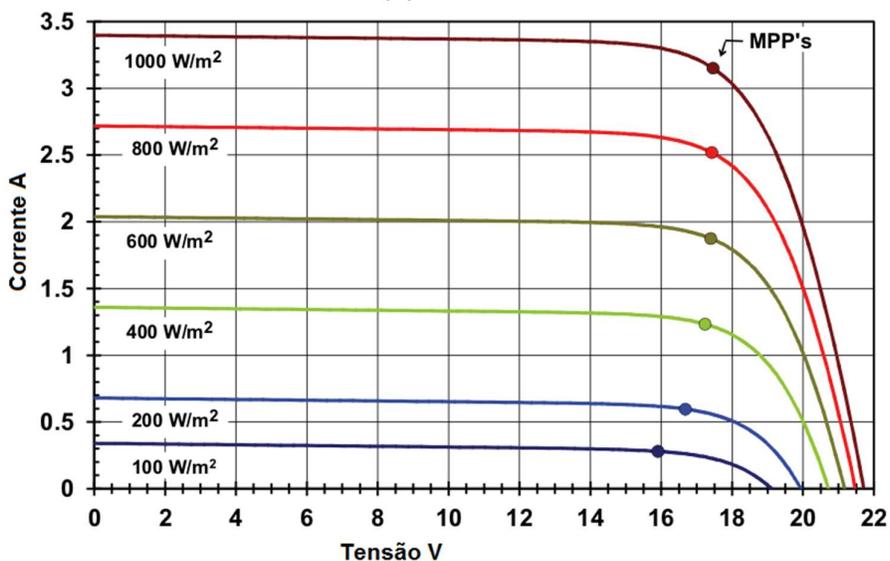
A seguir, serão abordadas as características da tensão e corrente e influência da temperatura no rendimento do produto.

### 2.3.4 CURVA CARACTERÍSTICA IxV DE UM MÓDULO FOTOVOLTAICO

No momento que há a exposição do módulo à incidência solar, é convertida a energia elétrica em corrente contínua, variando com a intensidade da radiação solar e da temperatura ambiente. A sua capacidade dá-se pela potência de pico em Wp. A condição padrão para se determinar esta potência se dá com a exposição a radiação solar de 1000 W/m<sup>2</sup> (por volta de meio dia) e temperatura da célula de 25°C. Existem vários outros parâmetros elétricos para um módulo, que são detalhadamente explicados no *datasheet* que o fabricante disponibiliza.

A potência nominal ou de pico é a potência que o módulo pode oferecer levando em conta as condições de testes realizados em laboratório. Após a fabricação, são realizados testes de desempenho elétrico, a fim de traçar a curva característica do módulo, que será explicitada a seguir. A curva característica IxV apresenta análises com o nível de irradiância fixo sobre o plano do módulo, então verifica-se o comportamento da corrente e tensão, como mostrado na figura 14:

Figura 14: Curvas características a diferentes irradiâncias



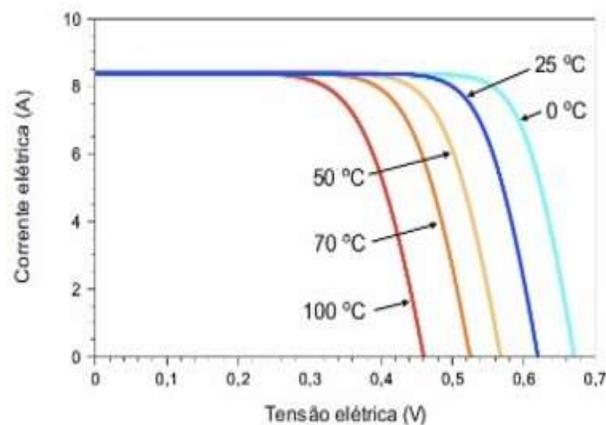
Fonte: [https://www.researchgate.net/figure/Figura-40-Curvas-caracteristicas-em-diferentes-niveis-de-irradiancia\\_fig33\\_305651683](https://www.researchgate.net/figure/Figura-40-Curvas-caracteristicas-em-diferentes-niveis-de-irradiancia_fig33_305651683)

Analisando as grandezas e pontos notáveis desta curva, tem-se:

- Tensão de Máxima Potência ( $V_{MP}$ ): tensão máxima que o módulo tem a capacidade de gerar, em seu ponto de máxima potência, sob as condições de teste padrão;
- Tensão em Circuito Aberto ( $V_{OC}$ ): equivale à tensão máxima que o módulo fornece em seus terminais, com a carga em vazio. Tensão de teste;
- Corrente de Máxima Potência ( $I_{MP}$ ): é a corrente máxima que um módulo fotovoltaico é capaz de fornecer a uma determinada carga, sob condições padrão de teste (STC – *Standard Test Condition*);
- Corrente de Curto Circuito ( $I_{SC}$ ): corrente máxima que o módulo fornece ao provocar um curto circuito nos seus terminais (sob STC);
- Potência Máxima ( $P_{MAX}$ ): máxima potência que o módulo fotovoltaico pode fornecer para um determinado nível de radiação solar. É o produto de  $V_{MP} \times I_{MP}$ ;
- Eficiência: razão entre a potência elétrica máxima gerada e a irradiância solar;
- Fator de Forma (FF): razão entre a máxima potência e o produto  $V_{OC} \times I_{SC}$ . Quanto maior, melhor. Comercialmente, os fatores de forma têm como valores, normalmente entre 0,7 e 0,85.

Leva-se também em conta a temperatura das células, como mostrado na figura 15:

Figura 15: Influência da temperatura no módulo fotovoltaico



Fonte: Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (GTES, 2014)

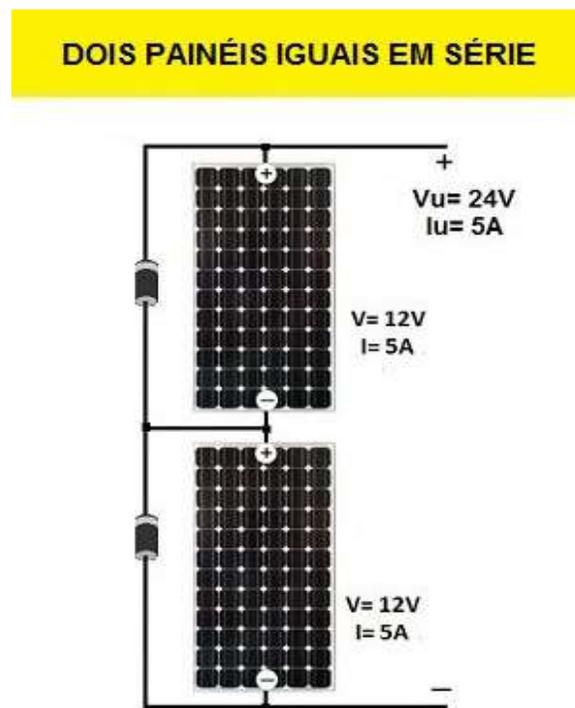
### 2.3.5 ASSOCIAÇÕES DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Nos casos reais, o projetista deve realizar todo o dimensionamento para a instalação dos painéis, planejar associações dos mesmos para atingir as tensões e correntes desejadas, há três modalidades de associações: Série e/ou paralelo.

#### Associação série:

A associação série se dá quando a instalação necessita valores maiores de tensão que um módulo consiga alcançar. Nesta ligação, as tensões dos módulos se somam e a corrente que passa por eles é a mesma. Os módulos nesta conexão devem ser do mesmo tipo e modelo, para evitar que um módulo de diferentes características limite a operação dos demais (efeito de perdas por módulos descasados). Terminais positivos ligados nos negativos de cada módulo, e cada arranjo é chamado de *string*. Tem-se na figura 16:

Figura 16: Esquema de dois módulos em série.

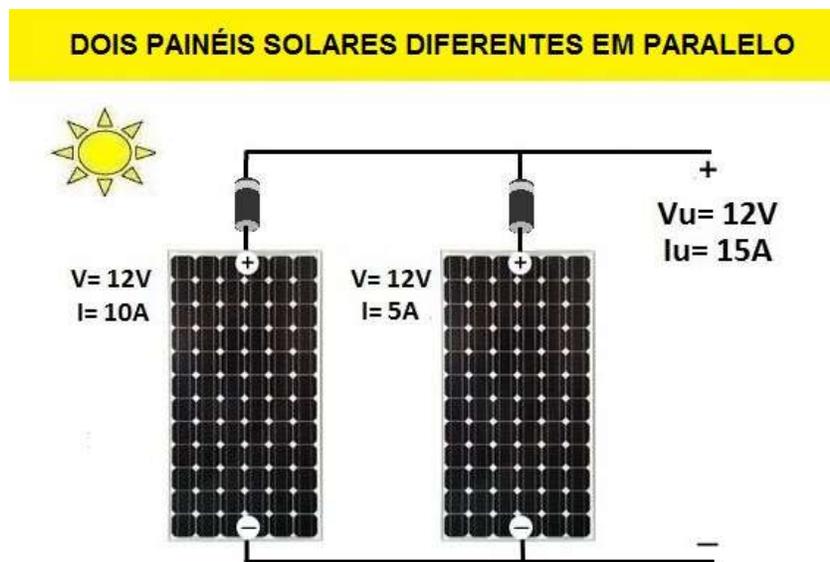


Fonte: <https://www.mpptsolar.com/pt/paineis-solares-em-serie.html>

### Associação em paralelo:

A intenção da associação em paralelo é que as correntes se somem, quando faz-se necessário que seja gerada uma potência maior, pois o valor final da potência é dado pela soma das potências de cada lado do arranjo. Terminais positivos ligados entre si e o mesmo para os negativos. É importante que as tensões de cada módulo sejam iguais para evitar que o módulo de menor tensão vá receber do que tem valor superior, e assim funcionar como consumidor ao invés de gerador. Tem-se na figura 17 o esquema:

Figura 17: Esquema dos painéis em série

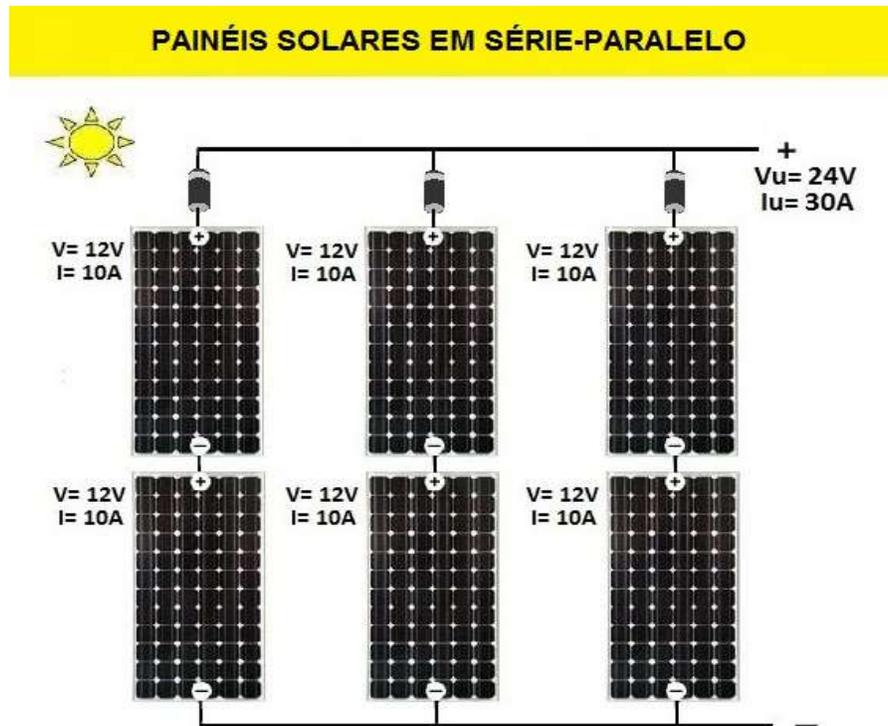


Fonte: <https://www.mpptsolar.com/pt/paineis-solares-em-paralelo.html>

### Associação mista (Série – paralelo):

É comum em projetos de médio-longo porte, que sejam atingidos valores de tensões (com a contribuição das *strings*) e correntes mais altas (com os arranjos em paralelo), fazendo-se necessário nos projetos de maiores dimensões, como já citado. Mostra-se na figura 18 o esquema misto:

Figura 18: Esquema série paralelo dos módulos



Fonte: <https://www.mpptsolar.com/pt/paineis-solares-em-paralelo.html>

### 2.3.6

#### EFEITOS DO SOMBREAMENTO

Quando um módulo passa ser sombreado, seu rendimento é comprometido, então sabe-se que deve ser escolhido um local estratégico para que isso não ocorra, porém algumas situações são inevitáveis, como uma folha cair, uma sombra de uma antena ou qualquer, então, quaisquer situações não pensadas podem acabar causando o sombreado, este efeito pode causar danos para a célula sombreada e, por consequência, ao módulo fotovoltaico, fazendo com que o mesmo passe a funcionar como carga (consumindo e dissipando a energia gerada), e se o efeito for agravado sem a devida manutenção, poderão surgir pontos permanentemente danificados (pontos quentes), podendo até inutilizar a célula, então, como soluções padrão e paliativas apresentam-se as soluções de limpeza periódica nos módulos e o uso do diodo de desvio, respectivamente.

Figura 19: Ponto quente numa célula



Fonte: <http://fotovoltacos001.blogspot.com/2012/09/hot-spot-ou-ponto-quente.html>

Figura 20: Foto durante limpeza necessária nos módulos



Fonte: <https://www.portal-energia.com/como-proceder-para-limpar-os-paineis-solares-fotovoltacos-e-aumentar-a-eficiencia/>

## 2.4 BATERIAS

O experimento de simplesmente ligar o módulo fotovoltaico a uma lâmpada durante o dia e perceber que a intensidade da luz varia, nos mostra que se faz importante uma estabilidade na energia que está sendo convertida, para o bom uso, pois sabe-se que uma simples nuvem que está passando pode afetar o fornecimento de energia. Logo, indo ao encontro desta estabilidade eliminando as intermitências da geração, usa-se bateria ou um banco de baterias em paralelo ao módulo e a carga, garantindo o fornecimento em todos os momentos.

Há vários tipos de baterias, porém as mais utilizadas para os sistemas em questão são as de chumbo ácido pelo custo benefício, juntamente com as estacionárias, que diferentemente das automotivas garantem uma maior profundidade de descarga, embora sejam mais caras. A vida útil da bateria é influenciada por alguns fatores, tais como quantidade de ciclos de carga e descarga e a temperatura de trabalho.

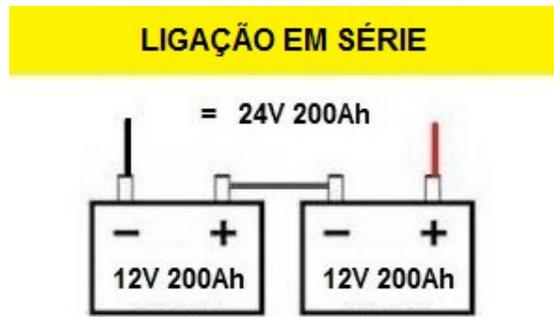
### **Características elétricas das baterias:**

- Tensão nominal: tensão média da bateria (normalmente 12 V e 24 V);
- Capacidade: dada em ampères-hora (Ah), indica a quantidade de corrente que pode ser fornecida pela bateria por uma hora;
- Tensão de flutuação: nível de tensão que deve ser utilizado na bateria para manter o estado de carga no máximo sem haver sobrecargas (normalmente 10% excedendo a tensão nominal);
- Tensão da carga: tensão para aplicar recargas na bateria (normalmente 14,4 V e 15,5 V).

### **Banco de baterias em série, paralelo e misto:**

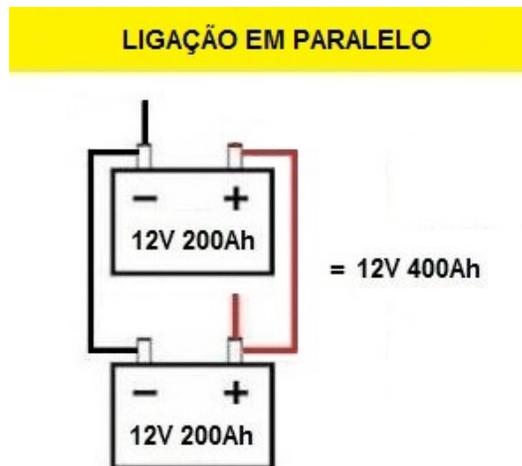
Analogamente aos módulos fotovoltaicos, há as associações das baterias para atingir os objetivos numéricos de tensão e fornecimento de corrente, funcionando da mesma forma que foi explicada aos módulos, arranjo série soma-se a tensão e mantém a corrente, em paralelo mantém-se a tensão e soma as correntes, e no misto somam-se correntes e tensões, tem-se nas figuras 21, 22, 23, respectivamente, série paralelo e misto:

Figura 21: Esquema de baterias em série



Fonte: <https://www.mpptsolar.com/pt/baterias-serie-paralelo.html>

Figura 22: Esquema de arranjo de baterias em paralelo



Fonte: <https://www.mpptsolar.com/pt/baterias-serie-paralelo.html>

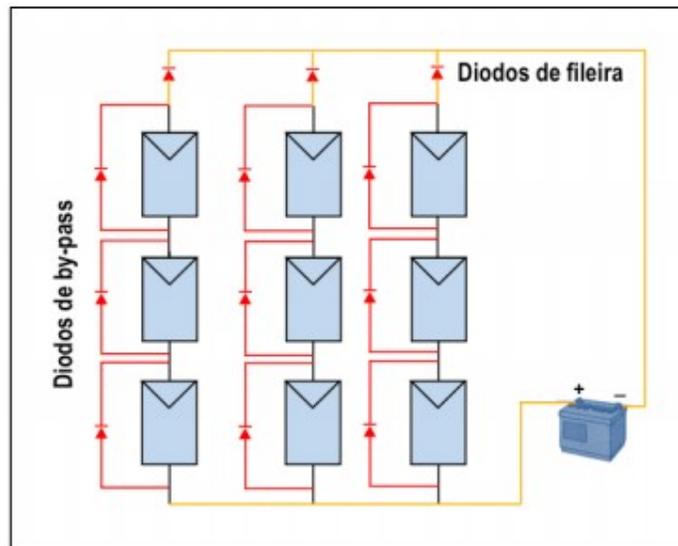
Figura 23: Esquema de ligação mista entre baterias



Fonte: <https://www.mpptsolar.com/pt/baterias-serie-paralelo.html>

Também é de fundamental importância que se conectando os módulos à bateria, sejam utilizados diodos de bloqueio, para que a bateria não injete corrente também para os módulos, sendo apenas no sentido módulo-bateria-carga, como esquematizado na figura 24, juntamente com o diodo de desvio ou *bypass*:

Figura 24: Esquemas de diodos utilizados nos módulos



Fonte: <https://core.ac.uk/download/pdf/55618427.pdf>

Porém, com este esquema, há dois problemas a serem resolvidos:

- Os módulos fotovoltaicos podem fornecer energia para a bateria após a mesma já ter atingido o nível máximo de carga, gerando assim, sobreaquecimentos na mesma e por consequência, diminuído seu tempo de vida útil;
- Se a carga necessitar de um nível acima do normal de energia, sem a recarga do banco de baterias, estas mesmas podem chegar a níveis muito baixos de carga, diminuindo também a sua vida útil. Exemplo no período noturno.

Logo, visando realizar todo esse controle sobre as baterias para assim aumentar sua vida útil e evitar problemas de manutenção, faz-se necessário o uso do controlador de carga, que será explicado no próximo tópico.

## 2.5 CONTROLADOR DE CARGA

O controlador de carga é um equipamento essencial e indispensável nos sistemas *off grid* com armazenamento de energia por baterias, são realizadas medições da tensão no banco de baterias e então são tomadas as decisões. Se o nível de carga da bateria atinge o máximo, o controlador dá a instrução para desligar o carregamento a fim de evitar a sobrecarga na bateria, no entanto se estiver havendo a conversão da energia, continuará a transmissão direta da energia gerada pelos módulos diretamente para a carga, e se houver necessidade de mais energia para alimentar a carga em determinado momento, o controlador reativa a bateria para somar sua energia com a dos módulos, ocorrendo assim, o ciclo repetitivo.

No momento em que a situação do nível de carga da bateria cair demais, o que prejudica sua vida útil, o controlador atuará também desligando o fornecimento da energia, só ativando novamente a bateria quando sua carga não comprometer a sua vida útil. Apresenta-se na figura 25 a imagem de um controlador de carga:

Figura 25: Controlador de carga

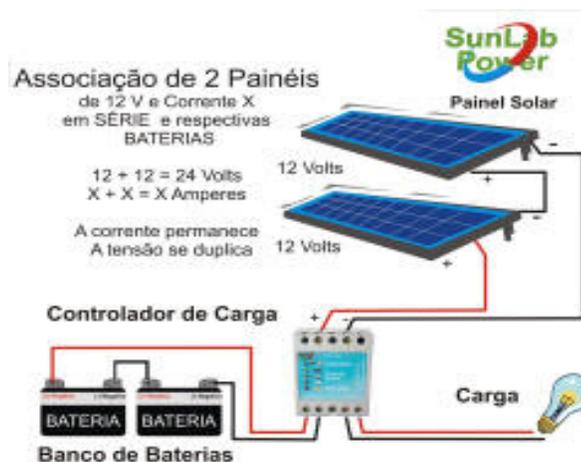


Fonte: <https://www.energiatotal.com.br/controlador-de-carga-solar-bluesolar-mppt-150v-60a-122448-mc4-2>

Mas também os controladores podem apresentar outras funções como:

- Monitoramento do sistema: a maioria dos controladores possuem essa função, mostra o estado do sistema por meio de LED's e os mais modernos podem transmitir dados ao computador;
- Proteção da corrente reversa: atua como o diodo de bloqueio, como já citado anteriormente sua função, evita que a bateria mande corrente para os módulos;
- Proteção contra sobrecorrente: alguns controladores de carga podem atuar contando com um circuito de proteção contra sobrecorrente, evitando assim, que seja danificado o próprio aparelho, alguns vindo com fusíveis para facilitar a reposição;
- Seguidor do ponto de máxima potência: sabe-se que a faixa de tensão de operação dos módulos fica restrita às tensões das baterias, por estarem em paralelo, então este seguidor consegue forçar a tensão e a corrente na faixa desejada a fim de se estabilizar no ponto de máxima potência (MPPT), estudos indicam um aumento médio de 30% na geração;
- Controle e acionamento automático de cargas: podem acionar ou desativar as cargas que estão dimensionadas sem a intervenção do usuário;
- Compensação de temperatura: o controlador vai efetuar a medição da temperatura e a então realiza o controle da tensão a ser aplicada para minimizar os danos da temperatura.

Figura 26: Esquema do controlador de carga no sistema



Normalmente são classificados de acordo com sua tensão de trabalho (normalmente entre 12 V e 48 V), juntamente com a máxima corrente que o aparelho é capaz de suportar (normalmente entre 5 A e 60 A).

## 2.6 INVERSORES

Como a maioria das instalações funciona com tensões de 127 V e 220 V e de corrente alternada, faz-se necessário a adequação das tensões e correntes que obtivemos anteriormente (CC) para a demanda da carga (CA), que, por sua vez, é a função do inversor (conversão de energia de corrente contínua em corrente alternada, CC-CA). Podem ser classificados como:

- Inversores isolados: fazem a conversão da tensão sem estar conectado à rede elétrica. Geralmente recebem em sua entrada 12 V ou 24 V com frequência entre 50 Hz e 60 Hz. Podem apresentar diversos tipos de onda, tais quais:
  - Onda quadrada: têm baixo custo e fornecem uma saída CA com harmônicos elevados e baixa regulação de tensão. Por questões de aproveitamento, só são adequados para cargas puramente resistivas.
  - Onda retangular: também conhecido como senoide modificada, são um refinamento dos inversores de onda quadrada, possuem menor distorção harmônica que o anterior, servem para mais tipos de cargas, tais como: motores (embora não opere de forma tão eficiente), lâmpadas, equipamentos eletrônicos. Tais inversores apresentam o melhor custo benefício.
  - Onda PWM: possuem níveis de distorção harmônica muito baixos, principalmente em configurações trifásicas. É muito utilizado em acionamento de motores. Estes inversores são adequados para quase todos os tipos de cargas, exceto as mais sensíveis.
  - Onda senoidal: fornecem a energia mais limpa possível, sem harmônicos, têm a capacidade de alimentar quaisquer equipamentos eletroeletrônico de CA, respeitando a potência do inversor. Tais inversores são os mais caros da categoria.

- Inversores ligados à rede elétrica: também conhecidos como inversores *grid tie*, realizam a conversão da tensão contínua em alternada estando ligados à rede elétrica, realizando a leitura dos parâmetros de tensão e frequência da mesma para buscar a sincronia com a rede, caso contrário, o inversor desliga e deixa de mandar energia para a rede. É exigido que apresentem a função anti-ilhamento, fazendo com que o inversor desligue automaticamente quando haja falta de energia, para que não ofereça riscos aos técnicos que farão a manutenção nestes momentos. Podem apresentar características elétricas bem diferentes dos isolados, normalmente mais elevadas.

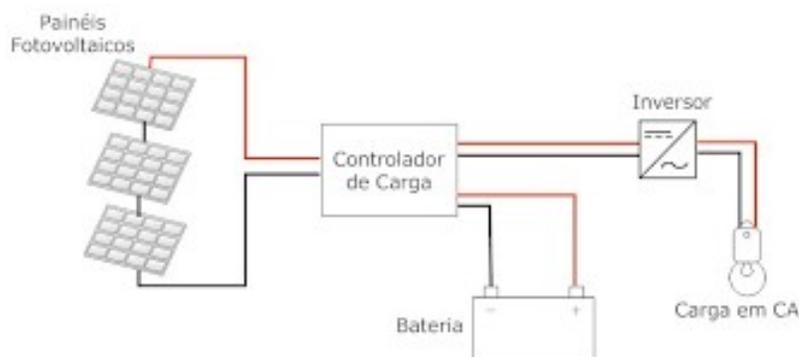
Figura 27: Inversor *off grid* convencional



Fonte: [https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1072287959-inversor-solar-off-grid-2400w-com-controlador-mppt-65a-220v-\\_JM?quantity=1](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1072287959-inversor-solar-off-grid-2400w-com-controlador-mppt-65a-220v-_JM?quantity=1)

Os inversores podem ter potências de operação entre dezenas de watt para potências menores e até dezenas de milhares de quilowatts nos casos de centrais de geração fotovoltaica. Na figura 28 é mostrado o esquema da posição do inversor.

Figura 28: Esquema do sistema solar com o inversor *off grid*



Fonte: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10000620.pdf>

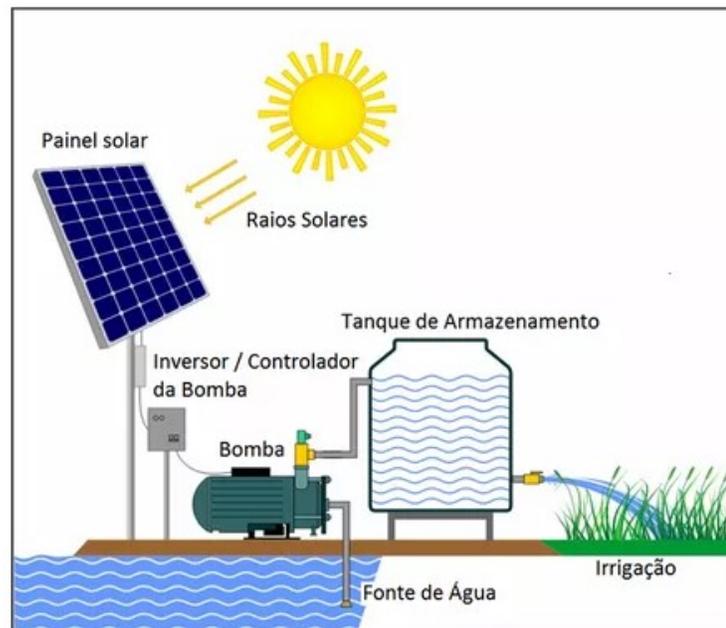
## 2.7 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ISOLADOS (*OFF GRID*)

Os sistemas isolados não possuem ligação à rede elétrica (sistemas autônomos), convertem sua própria energia sem precisar de fontes adicionais. São majoritariamente utilizados em localidades remotas, sem rede de distribuição de energia elétrica. Podem ser classificados quanto ao armazenamento de energia, se possuem ou não.

### **Sistemas isolados sem armazenamento de energia elétrica:**

Nos sistemas isolados sem armazenamento de energia, há a conversão direta, onde é consumida no mesmo instante pela carga. Usa-se abundantemente em sistemas de bombeamento de água, onde a água é bombeada somente no período de luz do Sol, sendo armazenada para uso posterior. É um sistema muito barato e viável para a finalidade que possui. O módulo pode ser conectado diretamente a uma bomba CC ou então CA com auxílio de um inversor. Seu maior inconveniente é a forte dependência da radiação solar, que sabemos que há intermitências nas suas intensidades, podendo conseqüentemente, não fornecer a energia adequada para que o bombeamento seja o ideal, mostra-se o esquema na figura 29.

Figura 29: Esquema de um sistema isolado sem armazenamento de energia

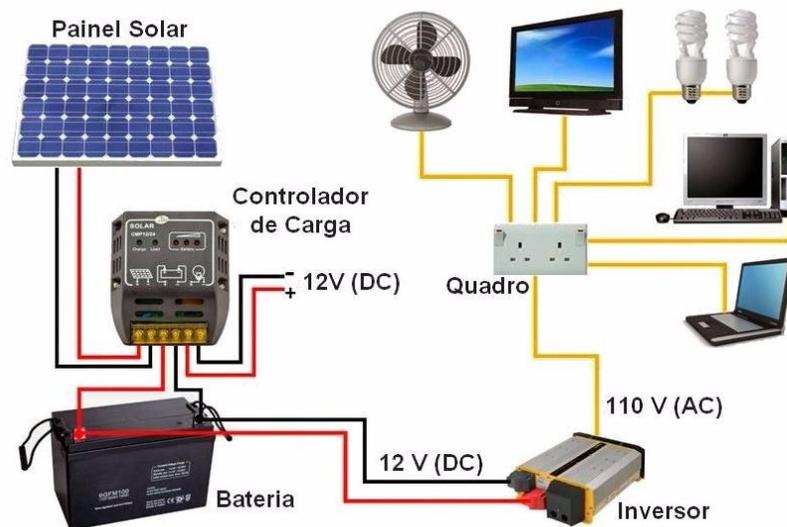


Fonte: <http://amtsolar.com.br/como-funciona-uma-bomba-solar/>

### **Sistemas isolados com armazenamento de energia elétrica:**

Os sistemas isolados com armazenamento de energia elétrica se destacam por serem utilizados em localidades remotas onde não há o abastecimento de energia pela rede elétrica da concessionária, contando com um banco de baterias em paralelo aos módulos e a carga, para o armazenamento da energia a ser utilizada em qualquer momento do dia.

Por consequência, evita-se desta forma citada, os efeitos de quaisquer intermitências da radiação solar na geração, introduzindo a capacidade do efeito cumulativo de energia durante o dia para usos no mesmo horário ou durante a noite, garantindo assim, a estabilidade na tensão aplicada à carga. A diferença com o esquema mostrado anteriormente é a adição das baterias e controlador de carga, como mostrado na figura 30.

Figura 30: Esquema *off grid* com armazenamento de energia

Fonte: <https://sunergia.com.br/blog/energia-solar-off-grid-sistema-isolado-desconectado-a-rede/>

## 2.8 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE (*ON GRID*)

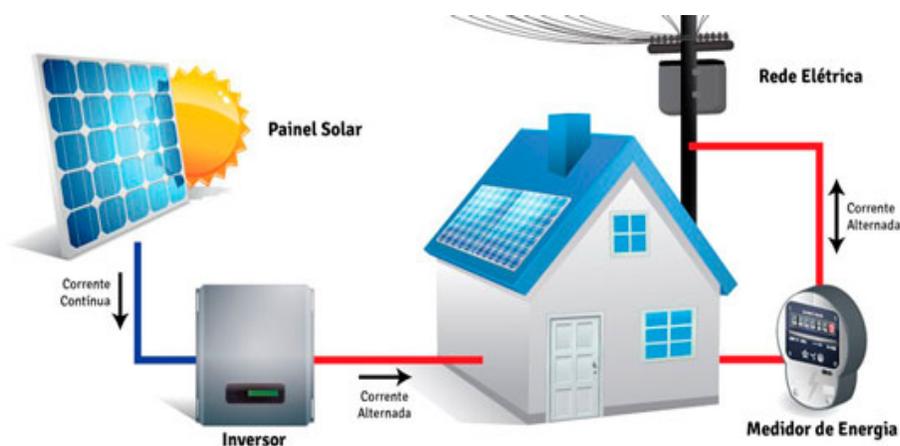
No ano de 2012 foi dado o primeiro passo no Brasil, no que diz respeito ao fortalecimento das energias renováveis no país com a resolução 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), regularizando os sistemas de conversão de energia através de fontes renováveis, tendo destaques especiais as modalidades eólicas e fotovoltaicas conectadas à rede de distribuição. Podemos classificar os sistemas de conversão de energia de acordo com sua potência instalada:

- Microgeração: sistema com potência de pico instalada com até 100 kW (o que será o estudo de caso em questão), usa-se na maioria das residências comuns;
- Minigeração: sistema com potência de pico instalada entre 100 kW e 1 MW, usa-se em sua maioria em indústrias com consumo elevado;
- Usina de geração de eletricidade: voltada para o comércio de energia elétrica, gerações acima de 1 MW.

Os sistemas de microgeração e minigeração não podem comercializar a energia (em alguns países da Europa como Alemanha e Portugal é possível), apenas serve como abatimento na conta, podendo realizar o comércio de energia apenas a usina de geração.

Nesta modalidade não se torna mais necessário o uso de baterias e controladores de carga, pois o sistema estará utilizando a energia da concessionária quando necessário. No momento que o sistema fotovoltaico gera mais energia do que está sendo consumido, o excesso é injetado na rede elétrica, e a partir daí, faz-se necessário um novo estilo de medição, para substituir os antigos medidores eletromecânicos unidirecionais, passando a utilizar os novos medidores eletrônicos bidirecionais, a fim de contabilizar a diferença do que entra e o que sai na rede elétrica, que será registrado e mostrado na conta do final do mês, mas mesmo se o consumidor consumir apenas o que foi gerado pelo seu sistema, ele deverá pagar o valor da taxa de disponibilidade, que é um consumo mínimo (em kWh), que varia de acordo com a localidade, e a partir daí, multiplica-se pelo valor da tarifa base, que é o preço cobrado pelo consumo mínimo (1 kWh).

Figura 31: Esquema de um sistema fotovoltaico on grid



Fonte: <https://www.limersol.com.br/sistema-fotovoltaico-on-grid>

Durante o período noturno, toda a energia utilizada pelas cargas é proveniente da rede elétrica. Se o que foi gerado superou numericamente o valor de energia que veio da rede, será cobrada a taxa citada anteriormente, mas o valor da energia em kWh irá ser introduzido como créditos nas próximas contas com prazo de utilização de até 3 anos.

### 3 DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO EM SISTEMAS

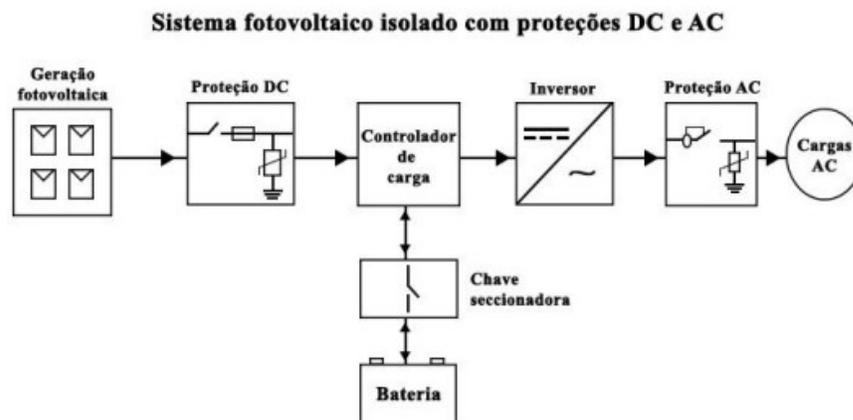
#### FOTOVOLTAICOS

Sabe-se que o sistema fotovoltaico convencional compreende três partes:

- Geração: envolve os módulos fotovoltaicos (parte CC do sistema);
- Condicionamento de potência: contém o sistema de armazenamento de energia, inversores e controladores de carga (parte da transição CC-CA do sistema);
- Cargas: equipamentos que vão ser alimentados pela geração (parte CA do sistema).

O sistema de proteção é implantado tanto na parte CC quanto na CA, como mostrado na figura 32 e 33, respectivamente, o sistema de proteção aplicada aos sistemas isolados e ligados à rede.

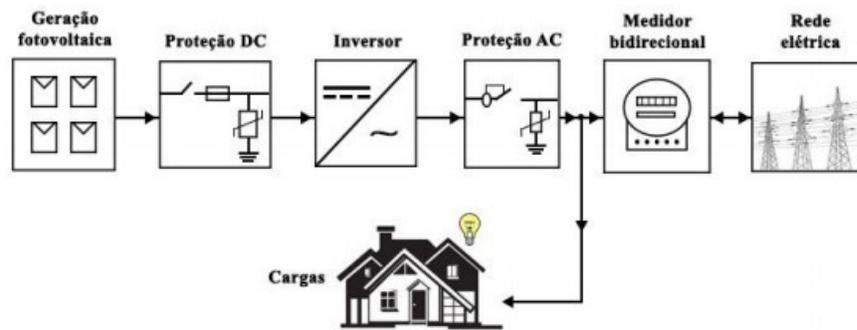
Figura 32: Esquema do sistema de proteção em sistemas isolados



Fonte: Solar Nobre, Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos, 2018

A seguir, a aplicação no sistema *on grid*:

Figura 33: Esquema do sistema de proteção aplicado na modalidade *on grid*



Fonte: Solar Nobre, Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos, 2018

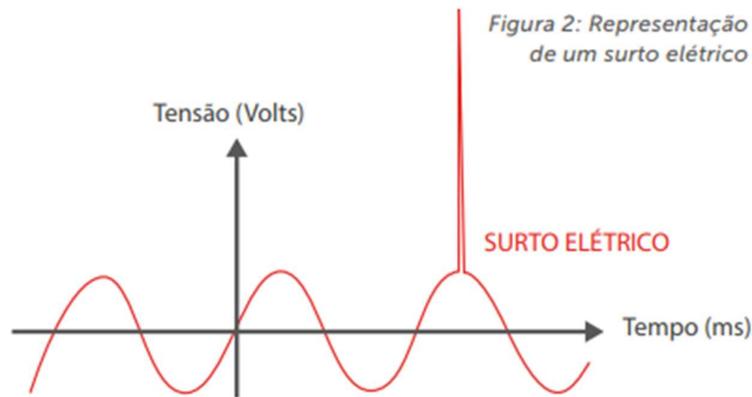
### Dispositivos de proteção CC:

- Chave de seccionamento CC: desconecta os módulos do sistema;
- Fusíveis: dispositivos de proteção de sobrecorrente que rompem seu filamento quando são percorridos por uma corrente maior que a suportada, apresentam areia para extinguir o arco fotovoltaico gerado pela interrupção;
- DPS (dispositivo de proteção contra surtos): tem a função de limitar sobretensões a níveis adequados aos equipamentos e desviar altas correntes advindas das descargas atmosféricas. Tem seu uso de suma importância e justificado pelo fato de os módulos estarem expostos ao tempo e sujeitos a descargas diretas ou indiretas. Deve ser a combinação de dois tipos de tecnologia: o varistor (protege descargas indiretas) e centelhador (protege descargas diretas, desviando a corrente para a terra).

### Dispositivos de proteção CA:

- Disjuntor termomagnético: interrompe a corrente quando acontecem situações anormais de trabalho, como sobrecorrente ou curto circuito;
- DPS: com as funções já citadas anteriormente, também se faz necessário seu uso para o lado CA, com o DPS específico para CA. O DPS está presente para evitar os surtos elétricos, como o mostrado no gráfico da figura 34:

Figura 34: Análise comportamental da tensão em um surto elétrico



Fonte: [http://www.clamper.com.br/wpcontent/uploads/2017/06/MKT\\_012015\\_Guia\\_Sistemas-Fotovoltaicos\\_DIGITAL.pdf](http://www.clamper.com.br/wpcontent/uploads/2017/06/MKT_012015_Guia_Sistemas-Fotovoltaicos_DIGITAL.pdf)

- Disjuntor residual (DR): desliga o circuito caso haja fuga de corrente de pelo menos 30mA. Podem ser classificados como:
  - IDR (interruptor diferencial residual): atua somente avaliando a fuga da corrente dita acima;
  - DDR (disjuntor diferencial residual): fora a função citada anteriormente, também atua como disjuntor.

## 4 O PROJETO

Se tratando de um residencial na modalidade pousada, localizado no estado de Pernambuco, o projeto implementa um sistema fotovoltaico na modalidade *on grid*. Tal localidade já possui potência instalada de aproximadamente 70 kW no local com ramal aéreo e conexão trifásica, a fim de se realizar a adequação e instalar um sistema microgerador de energia de aproximadamente 28,5 kWp.

Para a realização do projeto, foram cumpridas as seguintes normas técnicas:

- MÓDULO 3 (PRODIST) - Modulo 3 do Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST) – Acesso ao Sistema de Distribuição - Seção 3.7;
- MÓDULO 8 (PRODIST) - Modulo 8 da Resolução N° 395 de 2009 da Agência Nacional de Energia Elétrica;
- ABNT NBR 5410 - Instalações elétricas de baixa tensão;
- ABNT NBR IEC 62116 - Procedimento de ensaio de ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica;
- ABNT NBR 16149 – Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição;
- ANEEL RESOLUÇÃO N° 482 - Resolução N° 482 de 17 de abril de 2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica.
- ANEEL RESOLUÇÃO N° 687 - Resolução N° 687 de 24 de novembro de 2015 da Agência Nacional de Energia Elétrica.
- ANEEL RESOLUÇÃO N° 414 - Resolução N° 414 de 09 de setembro de 2010 da Agência Nacional de Energia Elétrica.
- ABNT NBR 16612 – Cabos de potência para sistemas fotovoltaicos. 2017.
- ABNT NBR 16150 - Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição – Procedimento de ensaio de conformidade.
- NOR.DISTRIBU-ENGE-0002- Critérios para a conexão de acessantes de geração distribuída ao sistema de distribuição da Energisa- Conexão em baixa Tensão.

### **Apresentação da proposta**

A presente proposta contempla 3 meses do ano de alta estação com a capacidade dos quartos lotados e o restante do ano com ocupação de quinta a domingo entre 50% e 60% de sua capacidade. Levando-se em consideração também a área disponível coberta por laje informada em projeto por cerca de 140 m<sup>2</sup>. O sistema de conversão de energia elétrica através da fonte solar fotovoltaica de alta performance, conectado à rede elétrica da Distribuidora local (*on grid tie*), composto por módulos solares fotovoltaicos,

inversores de corrente contínua para corrente alternada, caixa de proteção de CC e CA, estruturas de suporte em alumínio, cabos próprios para sistemas solares e conectores originais MC4.

### **Garantia e vida útil**

Módulos solares fotovoltaicos policristalinos de 400 Watts pico, certificados pelo Inmetro com nível “A” em eficiência energética, com Garantia de 25 anos com geração mínima de 86% de energia elétrica (garantia linear, conforme ficha técnica), 12 anos contra defeito de fabricação e vida útil aproximada de 30 anos. Inversor fotovoltaico com garantia de 5 anos contra defeitos de fabricação. Estruturas de suporte, cabos e conectores feitos para durar toda a vida útil do sistema (30 anos). Caixa de proteção com garantia de fábrica de 1 ano.

### **Reforma e adequação:**

Para a instalação do sistema, o local precisará passar por algumas reformas para que seja atingido o padrão de qualidade e de funcionamento previsto pela empresa. A reforma acontecerá desde o quadro de distribuição, onde serão instalados dispositivos de proteção CA, até a estrutura de fixação, seja ela em telhado ou laje. O projeto conta ainda com a adequação do local para a instalação dos inversores de frequência e a passagem do cabeamento do quadro de distribuição até o quadro de proteção CA/CC (*string box*). Em caso de ser utilizada estrutura de solo, é necessário um investimento sobre a segurança da estrutura com a formação de bases em concreto para garantir a melhor fixação das treliças em alumínio ou aço galvanizado. Tal investimento não está incluso no orçamento.

### **O projeto:**

O sistema possui tensão de 220/380 V. O primeiro critério a ser atendido para definição do projeto é a inclinação dos módulos, para se obter o maior aproveitamento possível da radiação solar, e é um dado tabelado baseado na latitude do local, que é mostrada na figura 35:

- Latitude: 8,5° S (dados aproximados).

Figura 35: Tabela de inclinações dos módulos baseados na latitudes

Latitude do local	Ângulo de inclinação do módulo solar ( $\beta$ )
0° a 10°	10°
11° a 20°	Latitude
21° a 30°	Latitude + 5°
31° a 40°	Latitude + 10°
Maior que 40°	Latitude + 15°

Fonte: Apostila Solar Nobre

Então, os módulos serão instalados primeiramente num local estratégico e com menor possibilidade de sombreamento (se não for possível, deve ser feito um sobredimensionamento do sistema, de forma a compensar a perda da absorção máxima da radiação causada pela mudança do local ideal), a um ângulo de 10° direcionado para o norte geográfico. Valores menores que 10° não são recomendados devido ao acúmulo de sujeira sobre o módulo, o que diminui seu aproveitamento, já as inclinações que superem este valor, favorecem na autolimpeza dos produtos em dias chuvosos e com o próprio vento. Porém para o caso específico, os telhados possuem inclinação de 14°, então, na prática será utilizado e aceito este valor para a implementação de toda a estrutura com os módulos.

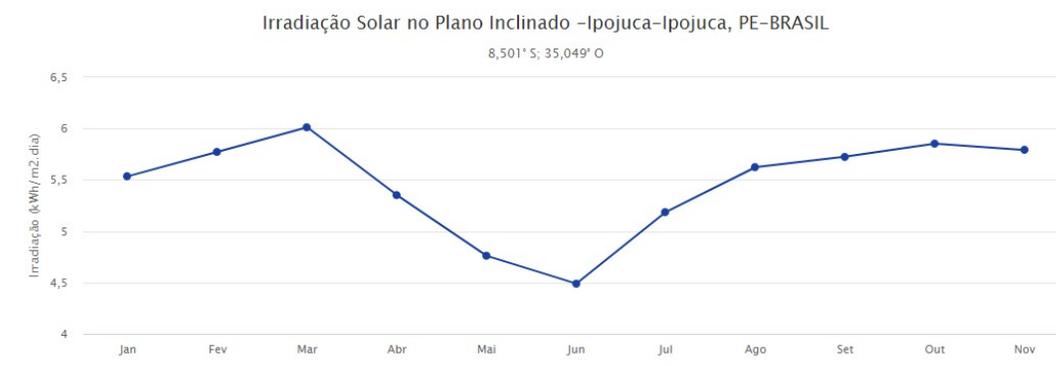
Foi feita a análise do consumo de energia do contratante e foi constatado que seria no seu rendimento máximo, com a ocupação completa, utiliza-se em torno de 7000 kWh, então, o projeto adequou tal consumo a como é gasto na maioria do tempo, com média de menos de 60% da capacidade (será levado em conta 55%), obtendo-se o valor de 3850 kWh de consumo. A partir daí inicia-se o dimensionamento para o projeto:

- Consumo diário:

$$C_d = \frac{3850 \text{ kWh}}{30 \text{ dias}} = 128,33 \text{ kWh/dia}$$

- Dados de irradiação solar (Cresesb):

Figura 36: Dados de irradiação na região



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

Logo, para fins de termos uma margem no dimensionamento, utilizaremos o valor mínimo encontrado no gráfico em estudo, 4,5 kWh/m<sup>2</sup> dia.

- N° de horas de Sol diárias:

$$\frac{4,5 \text{ kWh/m}^2}{1 \text{ kW/m}^2} = 4,5 \text{ h}$$

Obs: não significa que só haverá na região 4,5 horas de Sol no dia, mas sim, apenas nos horários de pico de Sol (entre 11 h e 13 h em dias ensolarados) a irradiância alcança níveis próximos à 1 kWh/m<sup>2</sup> e as placas geram na potência próxima à nominal.

- Demanda prevista:

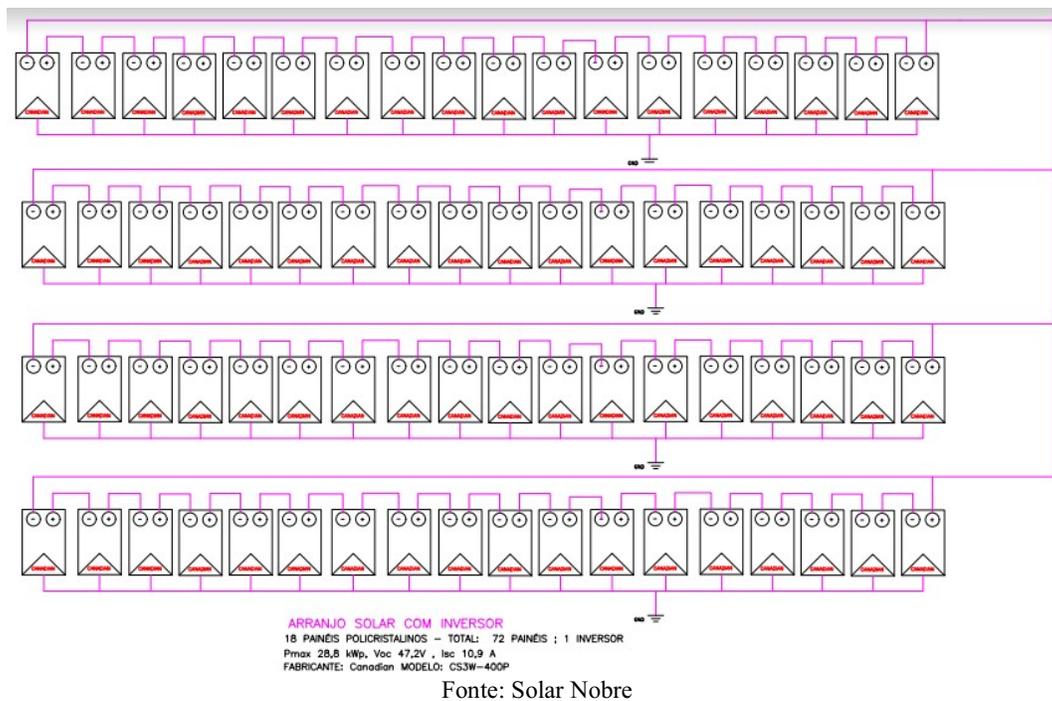
$$D = \frac{128,33 \text{ kWh/m}^2}{4,5 \text{ h}} = 28,5 \text{ kWp}$$

A partir de então iniciam-se as análises de compatibilidade e escolha dos produtos a serem utilizados:

- O modelo dos módulos escolhidos será Hiku 400 W, cujo *datasheet* com os dados está nos anexos finais. Serão utilizados  $28,5 \text{ kW}/400 \text{ W} = 72$  módulos;

- Inversor utilizado: Fronius Eco 25.0-3-S, 25 kWp, baseado com o fator de dimensionamento de inversor, sendo um valor pouco abaixo dos 28,5 kWp dimensionados, com tensão de operação de entrada 580 V – 1000 V, máxima corrente CC 44,2 A. Também está em anexo seu *datasheet* com todos os dados complementares necessários;
- Faz-se agora os arranjos dos módulos para se adequarem à geração necessária e estar nos intervalos corretos de tensão e corrente do inversor:

Figura 37: Esquema de ligação dos módulos fotovoltaicos



Percebe-se que são formadas 4 *strings* em paralelo. Então, agora serão analisadas as compatibilidades de tensão e corrente vindas das placas com o inversor:

- Tensão de saída dos módulos:  
 Tem-se 4 *strings* em paralelo, totalizando como valor máximo de tensão (utilizando Voc)  $47,2 \text{ V} \times 18 \text{ strings} = 850 \text{ V}$ . Está entre 580 V e 1000 V.

- Corrente de saída dos módulos:

Cada *string* leva uma corrente de 10,9 A (valor máximo  $I_{sc}$ ), multiplicando pelas 4 *strings*, tem-se 43,6 A. Valor inferior aos 44,2 A máximo definido.

- Analisando a influência da temperatura, vamos utilizar os coeficientes do *datasheet*, admitir temperaturas mínimas e máximas dos módulos em 15°C e 80°C e utilizar as seguintes equações, analisando o possível ganho de tensão de cada módulo por influência da temperatura:

- Para  $T_{min}$ :

$$V_{Ganho} = \left( \frac{-0,29}{100} \right) 47,2(15 - 25) = 1,368 \text{ V}$$

$$V_{OC-módulos} = (47,2 + 1,37)18 = 875 \text{ V}$$

Satisfazendo assim, o intervalo de operação do inversor;

- Para  $T_{max}$ :

- $V_{Ganho} = \left( \frac{-0,29}{100} \right) 38,7(80 - 25) = -6,1 \text{ V}$

- $V_{OC-módulos} = (38,7 - 6,1)18 = 586 \text{ V}$

Satisfazendo também, o intervalo de operação do inversor.

- Dimensionamento dos condutores:

Para dimensionar os condutores, realizam-se os cálculos através do método de queda de tensão, admitindo o valor em percentual da queda de tensão em 1%, tem-se:

$$S_{mm^2} = \frac{2 * L * I_{cabo}}{\sigma * QV * V_{string}} \quad (5)$$

Onde,

- $L$  = distância entre o conector e o quadro em metros;
- $I_{cabo}$  = corrente no cabo;
- $\sigma$  = condutividade (no caso será do cobre, com valor de  $56 \text{ m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2)$ );
- $QV$  = queda de tensão permitida;

- $V_{string}$  = tensão em máxima potência da *string*.

Com isso, obtemos os valores de bitola dos condutores aplicando a fórmula, admitindo a distância de 50 metros dos módulos para o quadro, tensão da *string* em 696,6 V, corrente máxima com a folga de 25% em 54,5 A (divide-se por 4, pois teremos 4 cabos para este fim, totalizando 13,63 A cada), e queda de tensão permitida em 1%.

Então, temos:

$$S_{mm^2} = 3,5 \text{ mm}^2$$

Valor esse apenas para demonstração. Porém, por recomendação da norma NBR 16612, para este caso, seguido também pela plataforma Sices no dimensionamento, serão utilizados para a instalação os cabos especiais para energia solar, MC4, contra radiação e de duplo isolamento que suporte tensão de até 1800 V, sendo  $S_{mm^2} = 6 \text{ mm}^2$  como o valor da bitola do cabo da *string*, para o lado CA, temos o cabo em 10 mm<sup>2</sup>.

- Quanto ao DPS, serão utilizados da classe 2: 50 kA, em 1000 V CC e 275 V CA.
- Fusíveis serão utilizados no valor máximo indicado no *datasheet* dos módulos, 20 A cada terminal de *string*.
- As chaves seccionadoras CC, para cada duas *strings*. Com 25 A e 1000 V.
- Disjuntor CA será dimensionado tripolar para realizar o seccionamento com valores aproximados quanto à corrente máxima da saída do inversor. 40 A.
- No quesito de aterramento, serão utilizadas 3 hastes de 2 metros cada, com conectores GTDU, distanciadas em 3 metros uma da outra, com cabos XLPE com 6 mm<sup>2</sup> de bitola.

### **Sistemas de proteção do projeto:**

Conforme citados e explicados no capítulo anterior, foram utilizados os dispositivos para efetuar a proteção dos lados CA e CC, a seguir, normalmente utilizados na *string box*, sendo mostrados com fotos, com logo em seguida, seu diagrama de proteção encaixado no projeto elétrico do local.

Figura 38: DPS



Fonte: [https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1087183679-dps-clamper-protetor-quadro-energia-anti-raio-vcl-275v-45ka-\\_JM?matt\\_tool=88344885&matt\\_word&gclid=EAIaIQobChMIuu761IGr4gIVhwWRCh3EKgUcEAQYAyABEGKzNvD\\_BwE&quantity=1](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1087183679-dps-clamper-protetor-quadro-energia-anti-raio-vcl-275v-45ka-_JM?matt_tool=88344885&matt_word&gclid=EAIaIQobChMIuu761IGr4gIVhwWRCh3EKgUcEAQYAyABEGKzNvD_BwE&quantity=1)

Figura 39: Disjuntor



Fonte: <https://www.magazineluiza.com.br/disjuntor-tripolar-40a-din-lukma-/p/5486791/cj/eltr/>

Figura 40: Chave seccionadora CC



Fonte: [https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1205981706-chave-seccionadora-rotativa-4-polo-cc-solar-1000vdccc-32a-\\_JM?quantity=1](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1205981706-chave-seccionadora-rotativa-4-polo-cc-solar-1000vdccc-32a-_JM?quantity=1)

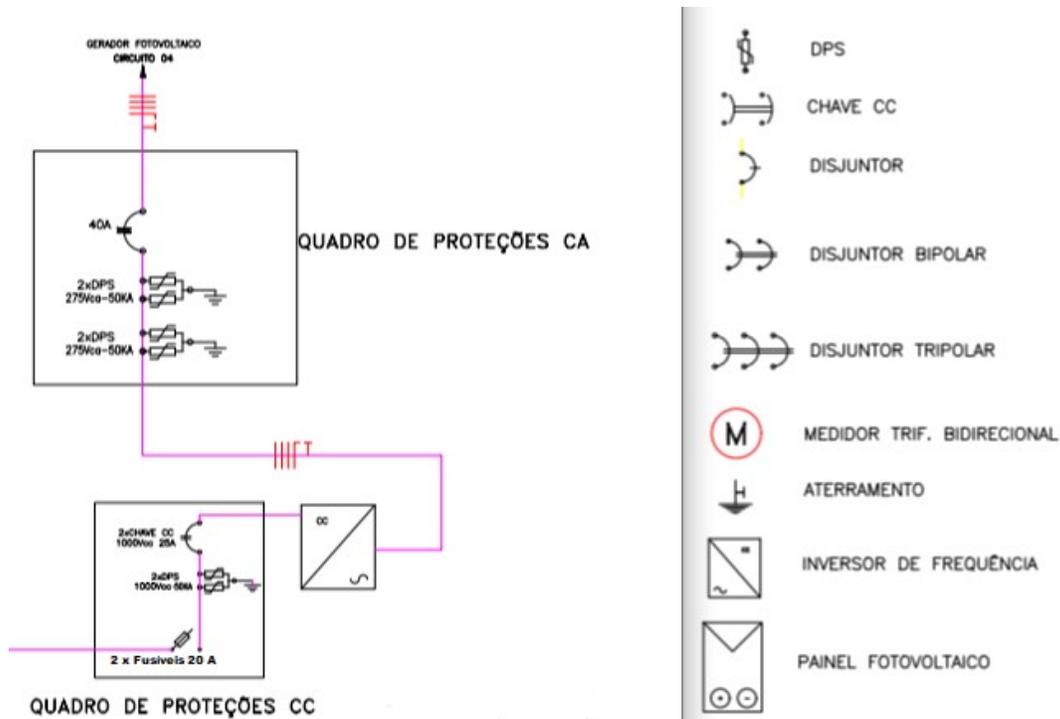
Figura 41: Fusíveis



Fonte: [https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-935924161-porta-fusivel-solar-10x38-pv-1000v-dccc-15-20-25a-par-\\_JM?quantity=1](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-935924161-porta-fusivel-solar-10x38-pv-1000v-dccc-15-20-25a-par-_JM?quantity=1)

E a seguir o diagrama do sistema de proteção:

Figura 42: Diagrama unifilar de proteção do sistema fotovoltaico

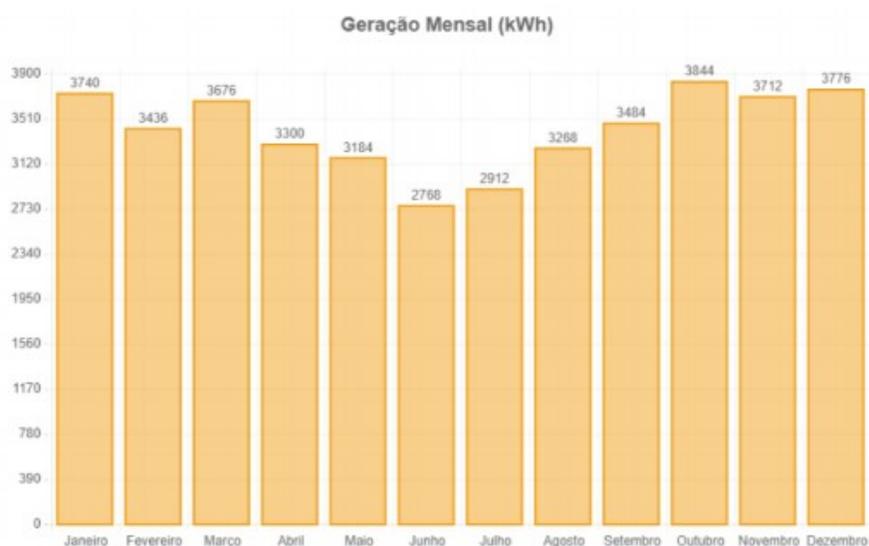


Fonte: Solar Nobre

### Proposta comercial:

Com a ajuda da plataforma Sices Solar, foram obtidas informações importantes do projeto, tais quais, estimativas de geração por cada mês e a lista contendo informações relativas aos materiais utilizados, nas figuras 43 e 44, respectivamente:

Figura 43: Estimativas de geração durante o ano



Fonte: Sices solar

Figura 44: Lista de materiais sugeridos pela plataforma Sices

Título	Descrição	Qtd
<b>MÓDULOS</b>		
	MODULO FV 400W HIKU MONO PERC HALF CELL 1500V CABO 30 CM	72
<b>INVERSORES</b>		
	INVERSOR FRONIUS ECO 25.0-3-S TRIFASICO 25KW - 1 MPPT C/ STICK WIFI SG	1
<b>STRING BOX</b>		
	STRING BOX SICES_ONESTO - 2 CORDAS E 2 SAIDAS	4
<b>ESTRUTURAS</b>		
	SICES SOLAR PERFIL ALUMINIO ROMAN ROOFTOP 6,3MT	22
	SICES SOLAR PERFIL ALUMINIO ROMAN ROOFTOP 4,2MT	2
	SICES SOLAR PERFIL ALUMINIO ROMAN ROOFTOP 1,57 MT	6
	SICES SOLAR JUNÇÃO PARA PERFIL EM ALUMINIO - NACIONAL	22
	SICES SOLAR TERMINAL FINAL 39..41MM for CAN - NACIONAL	16
	SICES SOLAR TERMINAL INTERMEDIARIO 39..44MM for CAN/AVP - NACIONAL	144
	SICES SOLAR PARAFUSO CABECA MARTELO M10 28/15	100
	SICES SOLAR PORCA M10 INOX A2	100
	SICES SOLAR PARAFUSO ESTRUTURAL AISI 316M10X250- NACIONAL	100
<b>VARIEDADES</b>		
	CONECTORES FEMEA/ MACHO WEID_CABUR_TE_MC4_ou compativel	16
	CABO SOLAR 6MM ATE 1800V CC PT ABNT NBR 16612	240 m
	CABO SOLAR 6MM ATE 1800V CC VM ABNT NBR 16612	240 m

Fonte: Sices solar com alterações do próprio autor

### Análise da viabilidade financeira:

- Valor total da proposta: R\$ 139.056,74;
- Tempo de vida mínima: 30 anos, com perda de eficiência em 14%;
- Preço atual kWh + impostos: R\$ 0,83. Com inflação em 10% a.a.

Analisando o fluxo de caixa com a plataforma, obtém-se os valores a seguir:

- Valor presente líquido: R\$ 949.364,79;
- Taxa interna de retorno (TIR): 36,3 %.

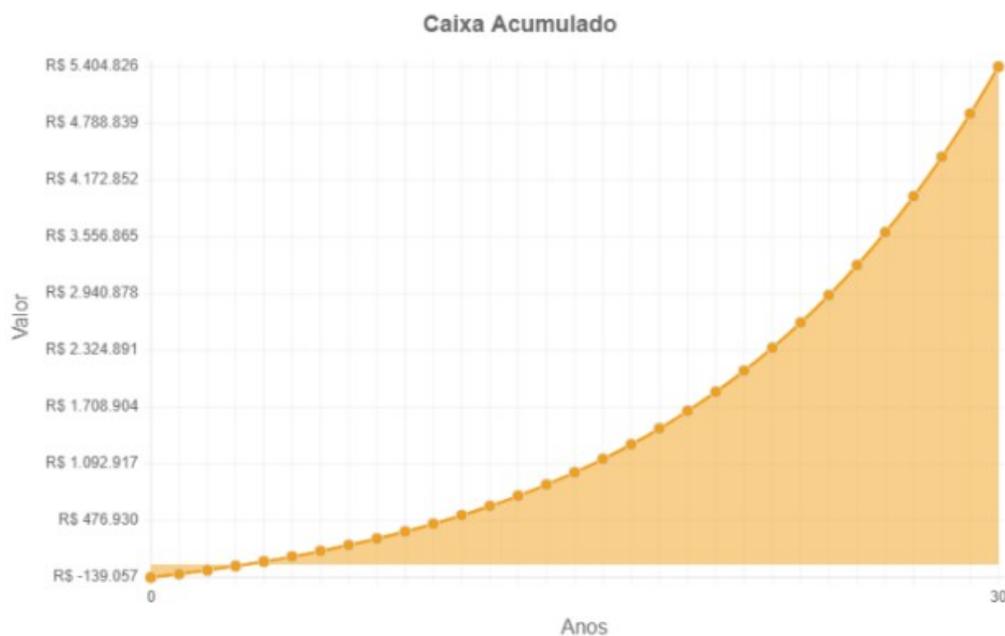
Figura 45: Tabela de retorno financeiro

<b>Ano</b>	<b>Valor</b>
<b>0</b>	RS -139.056,74
<b>1</b>	RS -101.707,55
<b>2</b>	RS -60.816,07
<b>3</b>	RS -16.047,33
<b>4</b>	RS 32.965,21
<b>5</b>	RS 86.622,62
<b>6</b>	RS 145.363,75
<b>7</b>	RS 209.668,77
<b>8</b>	RS 280.063,04
<b>9</b>	RS 357.121,37
<b>10</b>	RS 441.472,63
<b>11</b>	RS 533.804,81
<b>12</b>	RS 634.870,59
<b>13</b>	RS 745.493,36
<b>14</b>	RS 866.573,88
<b>15</b>	RS 999.097,45
<b>16</b>	RS 1.144.141,89
<b>17</b>	RS 1.302.886,13
<b>18</b>	RS 1.476.619,69
<b>19</b>	RS 1.666.752,99
<b>20</b>	RS 1.874.828,65
<b>21</b>	RS 2.102.533,79
<b>22</b>	RS 2.351.713,57
<b>23</b>	RS 2.624.385,85
<b>24</b>	RS 2.922.757,34
<b>25</b>	RS 3.249.241,16
<b>26</b>	RS 3.606.476,06
<b>27</b>	RS 3.997.347,41
<b>28</b>	RS 4.425.010,17
<b>29</b>	RS 4.892.913,89
<b>30</b>	RS 5.404.830,15

Fonte: Sices solar

É obtido o resultado do *payback* simples em 3 anos e 3 meses, e para finalizar, a plataforma Sices Solar mostra o gráfico da figura 46, que descreve o comportamento do retorno financeiro com o passar dos anos para este caso:

Figura 46: Gráfico do *payback* simples



Fonte: Sices solar

- Para fins de enriquecimento do trabalho, realiza-se também o cálculo do *payback* utilizando o método do tempo de retorno capitalizado, avaliando outros parâmetros também, como a taxa de juros líquida, tornando assim, o cálculo mais completo, inicialmente admitindo o preço do kWh a R\$ 0,83 e a geração média em 3850 kWh, o valor médio mensal da fatura será:

$$\Delta E = 3850 \text{ kWh} \times \frac{0,83 \text{ R\$}}{\text{kWh}} = \text{R\$ } 3195,50$$

Agora, calcula-se a taxa de juros líquida:

$$i_L = \frac{1 + \frac{i}{100}}{1 + \frac{i_e}{100}} - 1 \quad (6)$$

Considerando a taxa de juros  $i = 10\%$  e um aumento do custo da tarifa de energia  $i_e = 3\%$  a.a. Então, obtemos a taxa de juros líquida  $i_L = 6,796\%$  a. a.

Logo, será calculado agora o tempo de retorno capitalizado com a expressão a seguir:

$$T_{RC} = \frac{\log\left(\frac{3195,5 * 12}{3195,5 * 12 - 139056,74 * 0,06796}\right)}{\log(1 + 0,06796)} = 4,3 \text{ anos}$$

## 5 CONCLUSÃO

Como conclusão do presente trabalho, foi possível observar e analisar os conceitos acerca das fontes alternativas renováveis de energia, como neste caso específico, foram abordados os fatores mais importantes e relevantes da modalidade fotovoltaica (ainda que hajam algumas falhas nos quesitos de energia renovável e limpa, se mostra uma fonte de grande valia) sendo possível compreender todos os conceitos necessários, fazendo uma breve revisão. No decorrer deste documento, foi contextualizado com um exemplo de um estudo de caso real e mostrado como acontecem os dimensionamentos na prática, associando o fato de necessitarmos usos de fontes de energia renováveis para o equilíbrio da geração, ao adequar com um caso prático que teoricamente era mais complexo, por ser maior (uma pousada), mas na prática foi relativamente simples.

Com ajuda da plataforma Sices solar, foi possível fazer estas previsões e alguns dimensionamentos, juntamente com orçamento, lista de materiais, e principalmente o retorno financeiro, demonstrando que é uma ferramenta com poder alto de efetividade,

ajudando na praticidade destes casos de análise acerca da instalação de energia solar. A principal conclusão que se apresenta, é o objetivo que foi proposto ser cumprido com sucesso, de forma acima das expectativas, onde sumariamente foi feito pelo cliente um investimento alto, e temos a parte final deste trabalho comprovando que as projeções indicam o retorno financeiro muito alto em um período relativamente aceitável entre 3 e 4 anos e meio, e obtendo um lucro muito alto até enquanto durar a vida útil dos equipamentos (normalmente 30 anos).

Sendo assim, também foram mostrados os pontos importantes desta modalidade de conversão de energia, e o projeto foi concluído e aprovado pela concessionária e o retorno financeiro se prevê alto. Como já dito, dependendo da boa conservação dos equipamentos utilizados (o que influencia diretamente na sua vida útil), mas mesmo assim, torna-se utilizável do ponto de vista econômico, e bom para as duas partes, o que é um dos pontos cruciais em quaisquer projetos em questão. Finalizando desta forma, o presente Trabalho de Conclusão de Curso em parceria com a empresa Solar Nobre.

## REFERÊNCIAS

- [1] VILLALVA, Marcelo Gradella. Energia Solar - Conceitos e Aplicações. 2. ed. São Paulo: Érica, 2015.
- [2] Energia Solar no Brasil e Mundo. Disponível em: < <http://www.mme.gov.br> >. Acesso em Fevereiro de 2018.
- [3] Normas complementares – NOR.DISTRIBU-ENGE-0002, Resolução 482/2012, Resolução 414/2010, PRODIST.
- [4] SOLAR NOBRE, INSTALAÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS, CAMPINA GRANDE, 2018.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. : NBR-5410. Instalações elétricas, proteção e segurança. 2004.
- [6] <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>
- [7] <https://sicesolar.com.br>
- [8] Efeito Fotoelétrico. Disponível em: < <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-efeito-fotoeletrico.htm> >.
- [9] Polycrystalline vs Monocrystalline Solar Modules. Disponível em: < <http://www.solarfeeds.com/polycrystalline-vs-monocrystalline-solar-modules/> >
- [10] <https://bluesol.com.br>

## ANEXO A – DATASHEETS:

- Módulo fotovoltaico;
- Inversor;
- *String box*.



Preliminary Technical  
Information Sheet



## HiKu

**SUPER HIGH POWER POLY MODULE**  
**POWER RANGE: 390 W ~ 405 W**  
**(EQUIVALENT TO 72 CELL FORMAT)**  
**CS3W-390 | 395 | 400 | 405P**

With Canadian Solar's proprietary poly wafer and cell technologies, we have developed HiKu modules, super high power poly modules up to 405 W, one of the highest poly module power output in solar market.

This product can further save system cost by reducing labor, mounting foundation, DC cables, and provide lower LCOE.

### MORE POWER



24 % more power than  
conventional modules



Up to 4.5 % lower LCOE  
Up to 2.7 % lower system cost



Low NMOT:  $42 \pm 3$  °C  
Low temperature coefficient (Pmax):  
-0.37 % / °C



Better shading tolerance

### MORE RELIABLE



Lower hot spot temperature



Minimizes micro-cracks



Heavy snow load up to 5400 Pa,  
wind load up to 2400 Pa



linear power output warranty



product warranty on materials  
and workmanship

### MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES\*

ISO 9001:2008 / Quality management system  
ISO 14001:2004 / Standards for environmental management system  
OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

### PRODUCT CERTIFICATES\*

IEC 61215 / IEC 61730: 2005 & 2016; VDE / CE (Expected in May, 2018)  
UL 1703; CSA (Expected in June, 2018)

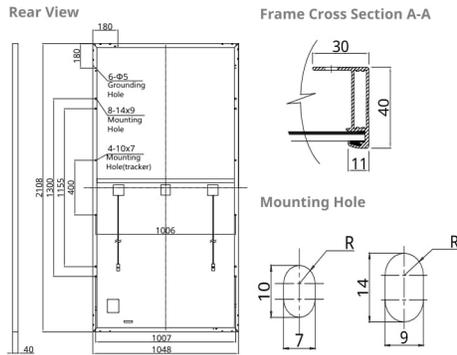
\* Please contact your local Canadian Solar sales representative for the specific product certificates applicable in your market.

**CANADIAN SOLAR INC.** is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. As a leading PV project developer and manufacturer of solar modules with over 25 GW deployed around the world since 2001, Canadian Solar Inc. is one of the most bankable solar companies worldwide.

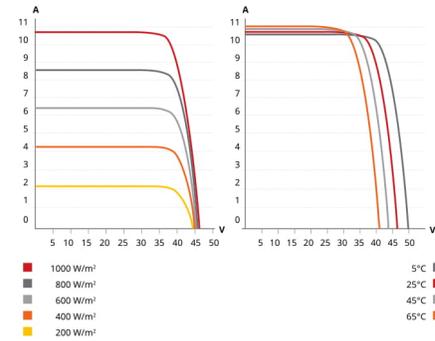
### CANADIAN SOLAR INC.

545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, [www.canadiansolar.com](http://www.canadiansolar.com), [support@canadiansolar.com](mailto:support@canadiansolar.com)

**ENGINEERING DRAWING (mm)**



**CS3W-400P / I-V CURVES**



**ELECTRICAL DATA | STC\***

CS3W	390P	395P	400P	405P
Nominal Max. Power (Pmax)	390 W	395 W	400 W	405 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	38.3 V	38.5 V	38.7 V	38.9 V
Opt. Operating Current (Imp)	10.19 A	10.26 A	10.34 A	10.42 A
Open Circuit Voltage (Voc)	46.8 V	47.0 V	47.2 V	47.4 V
Short Circuit Current (Isc)	10.74 A	10.82 A	10.90 A	10.98 A
Module Efficiency	17.65%	17.88%	18.11%	18.33%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C			
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)			
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)			
Max. Series Fuse Rating	20 A			
Application Classification	Class A			
Power Tolerance	0 ~ + 5 W			

\* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m<sup>2</sup>, spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

**ELECTRICAL DATA | NMOT\***

CS3W	390P	395P	400P	405P
Nominal Max. Power (Pmax)	290 W	293 W	297 W	301 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	34.9 V	35.1 V	35.3 V	35.5 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.31 A	8.35 A	8.42 A	8.48 A
Open Circuit Voltage (Voc)	43.8 V	44.0 V	44.2 V	44.4 V
Short Circuit Current (Isc)	8.67 A	8.72 A	8.78 A	8.85 A

\* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m<sup>2</sup>, spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

**MECHANICAL DATA**

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline
Cell Arrangement	144 [2 X (12 X 6)]
Dimensions	2108 X 1048 X 40 mm (83.0 X 41.3 X 1.57 in)
Weight	24.9 kg (54.9 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy, crossbar enhanced
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4 mm <sup>2</sup> (IEC), 12 AWG (UL)
Cable Length (Including Connector)	1400 mm (55.1 in), 1700 mm (66.9 in) is optional for single tracking system with leap-frog connection
Connector	T4 series
Per Pallet	27 pieces
Per Container (40' HQ)	594 pieces

**TEMPERATURE CHARACTERISTICS**

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.37 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.29 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	42 ± 3°C

**PARTNER SECTION**



\* The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. Canadian Solar Inc. reserves the right to make necessary adjustment to the information described herein at any time without further notice.

**CANADIAN SOLAR INC.**  
545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, [www.canadiansolar.com](http://www.canadiansolar.com), [support@canadiansolar.com](mailto:support@canadiansolar.com)

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging



## FRONIUS ECO

/ The compact project inverter for maximum yields.

/ SnapInverter  
Technology/ Integrated data  
communication/ Smart Grid  
Ready/ Dynamic Peak  
Manager

/ Zero feed-in



/ The three-phase Fronius Eco in power categories 25.0 and 27.0 kW perfectly meets all the requirements of large-scale installations. Thanks to its light weight and SnapInverter mounting system, this transformerless device can be installed quickly and easily either indoors or outdoors. This inverter range is setting new standards with its IP 66 protection class. Furthermore, thanks to its integrated double fuse holders and optional overvoltage protection, string collection boxes are no longer necessary.

### TECHNICAL DATA FRONIUS ECO

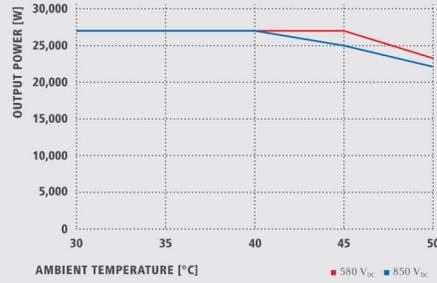
INPUT DATA	FRONIUS ECO 25.0-3-S	FRONIUS ECO 27.0-3-S
Number of MPP trackers		1
Max. input current ( $I_{dc,max}$ )	44.2 A	47.7 A
Max. array short circuit current		71.6 A
DC input voltage range ( $U_{dc,min} - U_{dc,max}$ )		580 - 1,000 V
Feed-in start voltage ( $U_{dc,start}$ )		650 V
Usable MPP voltage range		580 - 850 V
Number of DC connections		6
Max. PV generator output ( $P_{dc,max}$ )		37.8 kW <sub>peak</sub>
OUTPUT DATA	FRONIUS ECO 25.0-3-S	FRONIUS ECO 27.0-3-S
AC nominal output ( $P_{ac,r}$ )	25,000 W	27,000 W
Max. output power	25,000 VA	27,000 VA
AC output current ( $I_{ac,nom}$ )	37.9 A / 36.2 A	40.9 A / 39.1 A
Grid connection (voltage range)		3-NPE 380 V / 220 V or 3-NPE 400 V / 230 V (+20 % / -30 %)
Frequency (frequency range)		50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)
Total harmonic distortion		< 2.0 %
Power factor ( $\cos \phi_{ac,r}$ )		0 - 1 ind. / cap.
GENERAL DATA	FRONIUS ECO 25.0-3-S	FRONIUS ECO 27.0-3-S
Dimensions (height x width x depth)		725 x 510 x 225 mm
Weight		35.7 kg
Degree of protection		IP 66
Protection class		1
Overvoltage category (DC / AC) <sup>2)</sup>		2 / 3
Night-time consumption		< 1 W
Inverter concept		Transformerless
Cooling		Regulated air cooling
Installation		Indoor and outdoor installation
Ambient temperature range		-25 - +60 °C
Permitted humidity		0 to 100 %
Max. altitude		2,000 m
DC connection technology		6x DC+ and 6x DC- screw terminals 2.5 - 16 mm <sup>2</sup>
AC connection technology		5-pole AC screw terminals 2.5 - 16 mm <sup>2</sup>
Certificates and compliance with standards		ÖVE / ONORM E 8001-4-712, DIN V VDE 0126-1-1/A1, VDE AR N 4105, IEC 62109-1/-2, IEC 62116, IEC 61727, AS 3100, AS 4777-2, AS 4777-3, CER 06-190, G59/3, UNE 206007-1, SI 4777, CEI 0-16, CEI 0-21

<sup>2)</sup> According to IEC 62109-1. DIN rail for optional type 1 + 2 or type 2 surge protection device available.  
Further information regarding the availability of the inverters in your country can be found at [www.fronius.com](http://www.fronius.com).

**FRONIUS ECO 27.0-3-S EFFICIENCY CURVE**



**FRONIUS ECO 27.0-3-S TEMPERATURE DERATING**



**TECHNICAL DATA FRONIUS ECO**

	FRONIUS ECO 25.0-3-S	FRONIUS ECO 27.0-3-S
<b>EFFICIENCY</b>		
Max. efficiency	98.2 %	98.3 %
European efficiency (ηEU)	98.0 %	98.0 %
MPP adaptation efficiency	> 99.9 %	
<b>PROTECTION DEVICES</b>		
DC insulation measurement		Yes
Overload behavior	Operating point shift, power limitation	
DC disconnect		Yes
Integrated string fuse holders <sup>1)</sup>		Yes
Reverse polarity protection		Yes
<b>INTERFACES</b>		
WLAN / Ethernet LAN	Fronius Solarweb, Modbus TCP SunSpec, Fronius Solar API (JSON)	
6 inputs and 4 digital inputs/outputs	Interface to ripple control receiver	
USB (A socket) <sup>2)</sup>	Datalogging, inverter update via USB flash drive	
2x RS422 (RJ45 socket) <sup>2)</sup>	Fronius Solar Net	
Signalling output <sup>3)</sup>	Energy management (floating relay output)	
Datalogger and Webserver	Included	
External Input <sup>3)</sup>	S0 meter connection / Evaluation of overvoltage protection	
RS485	Modbus RTU SunSpec or meter connection	

<sup>1)</sup> Optionally fitted with 6 fuses 15 A / 1,000 V on the plus side. <sup>2)</sup> Also available in the light version. Further information and technical data can be found at [www.fronius.com](http://www.fronius.com).

Text and images correspond to the current state of technology at the time of printing. Subject to modifications. All information is without guarantee in spite of careful editing. Liability excluded. Copyright © 2011 Fronius™. All rights reserved.

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging

**WE HAVE THREE DIVISIONS AND ONE PASSION: SHIFTING THE LIMITS OF POSSIBILITY.**

/ Whether welding technology, photovoltaics or battery charging technology – our goal is clearly defined: to be the innovation leader. With around 3,700 employees worldwide, we shift the limits of what's possible – our record of over 800 granted patents is testimony to this. While others progress step by step, we innovate in leaps and bounds. Just as we've always done. The responsible use of our resources forms the basis of our corporate policy.

Further information about all Fronius products and our global sales partners and representatives can be found at [www.fronius.com](http://www.fronius.com)

v06 Apr 2016 EN

**Fronius India Private Limited**  
 GAT no 312, Nanekarwadi  
 Chakan, Taluka - Khed District  
 Pune 410501  
 India  
[pv-sales-india@fronius.com](mailto:pv-sales-india@fronius.com)  
[www.fronius.in](http://www.fronius.in)

**Fronius Australia Pty Ltd.**  
 90-92 Lambeck Drive  
 Tullamarine VIC 3043  
 Australia  
[pv-sales-australia@fronius.com](mailto:pv-sales-australia@fronius.com)  
[www.fronius.com.au](http://www.fronius.com.au)

**Fronius UK Limited**  
 Maidstone Road, Kingston  
 Milton Keynes, MK10 0BD  
 United Kingdom  
[pv-sales-uk@fronius.com](mailto:pv-sales-uk@fronius.com)  
[www.fronius.co.uk](http://www.fronius.co.uk)

**Fronius International GmbH**  
 Froniusplatz 1  
 4600 Wels  
 Austria  
[pv-sales@fronius.com](mailto:pv-sales@fronius.com)  
[www.fronius.com](http://www.fronius.com)

M06/0183/EN v12 Feb 2017 as17



### Dados técnicos

Código do material	1SL0642A00
Número de Strings	4
Número de saídas	2
<b>Entrada (DC)</b>	<b>4</b>
Tensão nominal	Ue 1000VDC
Corrente nominal por string	In 10A
Tipo de Fusível	Fusível cilíndrico gPV 10.3x38mm conexão na base fusível
Tipo de conexão de cabos	cabos de 2,5 mm <sup>2</sup> até 16mm <sup>2</sup>
Bitola do cabo	IP 68
Isolamento / proteção do prensa cabo	<b>2</b>
<b>Saída (DC)</b>	<b>2</b>
Corrente nominal	In 20A
Seccionamento	OTDC25F3
Dispositivo protetor de surto	Corrente nominal DC-21B = 25A OVR PV 40-1000 P plugável com cartuchos
Tipo de conexão de saída	Tipo II
Bitola do cabo	I <sub>max</sub> = 40kA
Isolamento / proteção do prensa cabo	Tensão de operação = 1000VDC Proteção: fusível 15A conexão com borne cabos de 2,5 mm <sup>2</sup> até 16mm <sup>2</sup> IP 68
<b>Quadro / Características</b>	
Grau de proteção IP IEC 60529	IP 65
Material	Polycarbonato
Resistência a temperatura (IEC 60695-2-11)	960°C (Teste do fio incandescente)
Tipo de montagem	Sobrepor
Peso	-
Temperatura de operação	-20°C até +50°C
Temperatura de armazenamento	-25°C até +60°C
Umidade relativa do ar	até 95%
Altitude máxima de operação	2.000 metros
Cor	RAL7035
Dimensões (A x L x P) [mm]	380x370x140
Grau de resistência mecânica	IK10

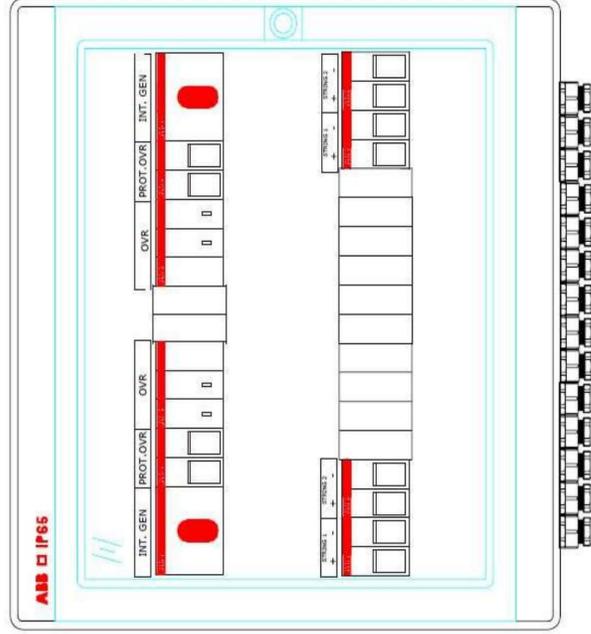


ABB SACE  
Uma divisão de ABB S.p.A.  
V.le Vicenza 61 36063 Marostica (VI)  
Tel.: 0424.478200 Telefax: 0424.478305