



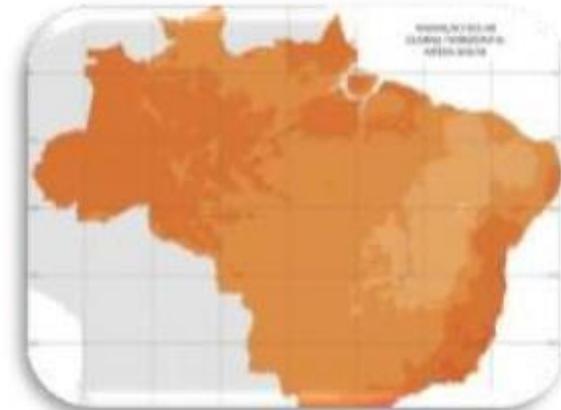
KSA
ENERGIA SOLAR

Fundamentos de Energia Solar Fotovoltaica

PROFESSOR: KLEBER SANTANA

ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA





Módulo I

Conceitos fundamentais



Fundamentos de Energia Solar Fotovoltaica



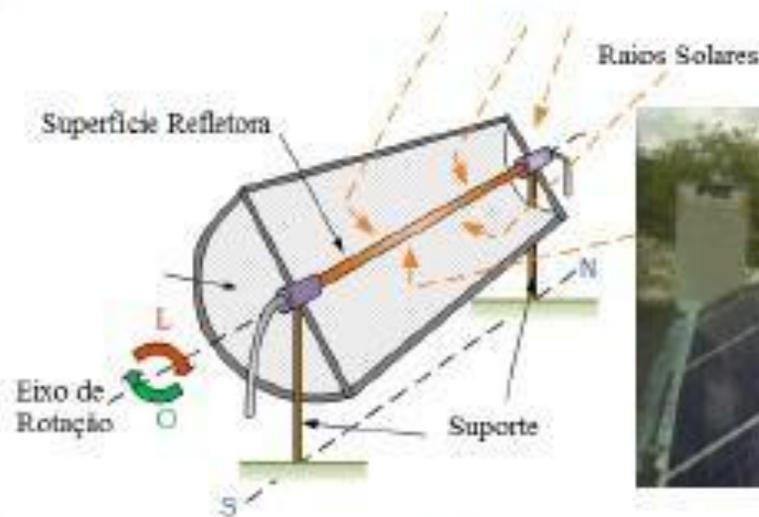
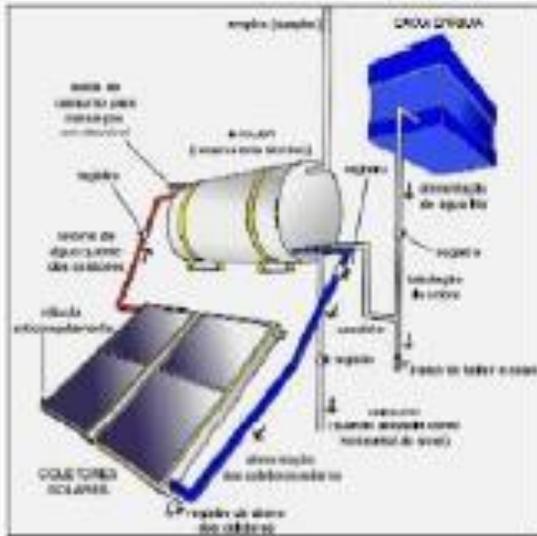
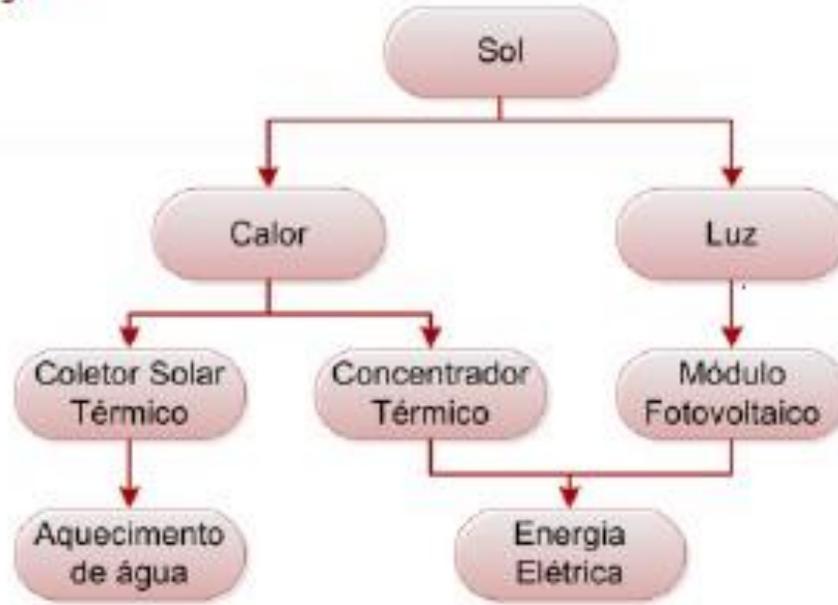
Tipos de
sistemas
fotovoltaicos



ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Radiação Solar - Aplicações

ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA



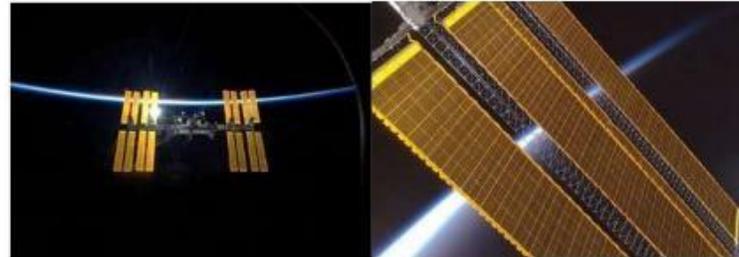


Primeiras aplicações

Primeiras aplicações para energia fotovoltaica foram na área aeroespacial, sendo a primeira nave a Vanguard 1, lançada em 1958

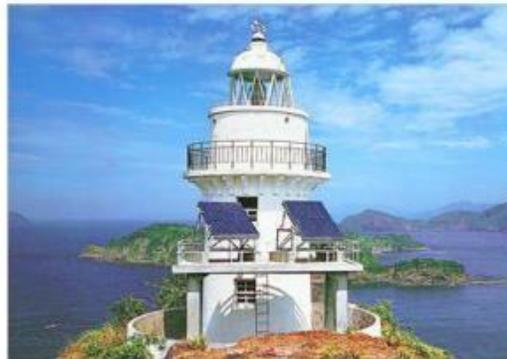


*Vanguard 1
(o satélite mais antigo ainda em órbita)*



Estação Espacial Internacional

Primeira instalação comercial terrestre se deu no Japão em 1966, no farol da ilha Ogami



Primeira Usina Solar Fotovoltaica

1980

Em 1982 foi construída a primeira usina solar fotovoltaica. Localizada na Califórnia, EUA, sua potência era de 1 MW.

Ainda nos anos 80, outras usinas foram implantadas no estado.



E HOJE EM DIA?



Classificação dos Sistemas Fotovoltaicos

Sistema Off grid : demandas menores

- Não necessita de autorização junto a concessionária
- Necessita de bancos de baterias (Reposição periódica)

Sistemas ON GRID: demandas de energia maiores

- Sistema de créditos com a concessionária
- Necessita de projeto aprovado junto a concessionária (ART precisa ser assinalada).

Obs.: Todos os projetos devem ter ART recolhida , para o sistema ON GRID a ART é obrigatória para aprovação do ponto de acesso.



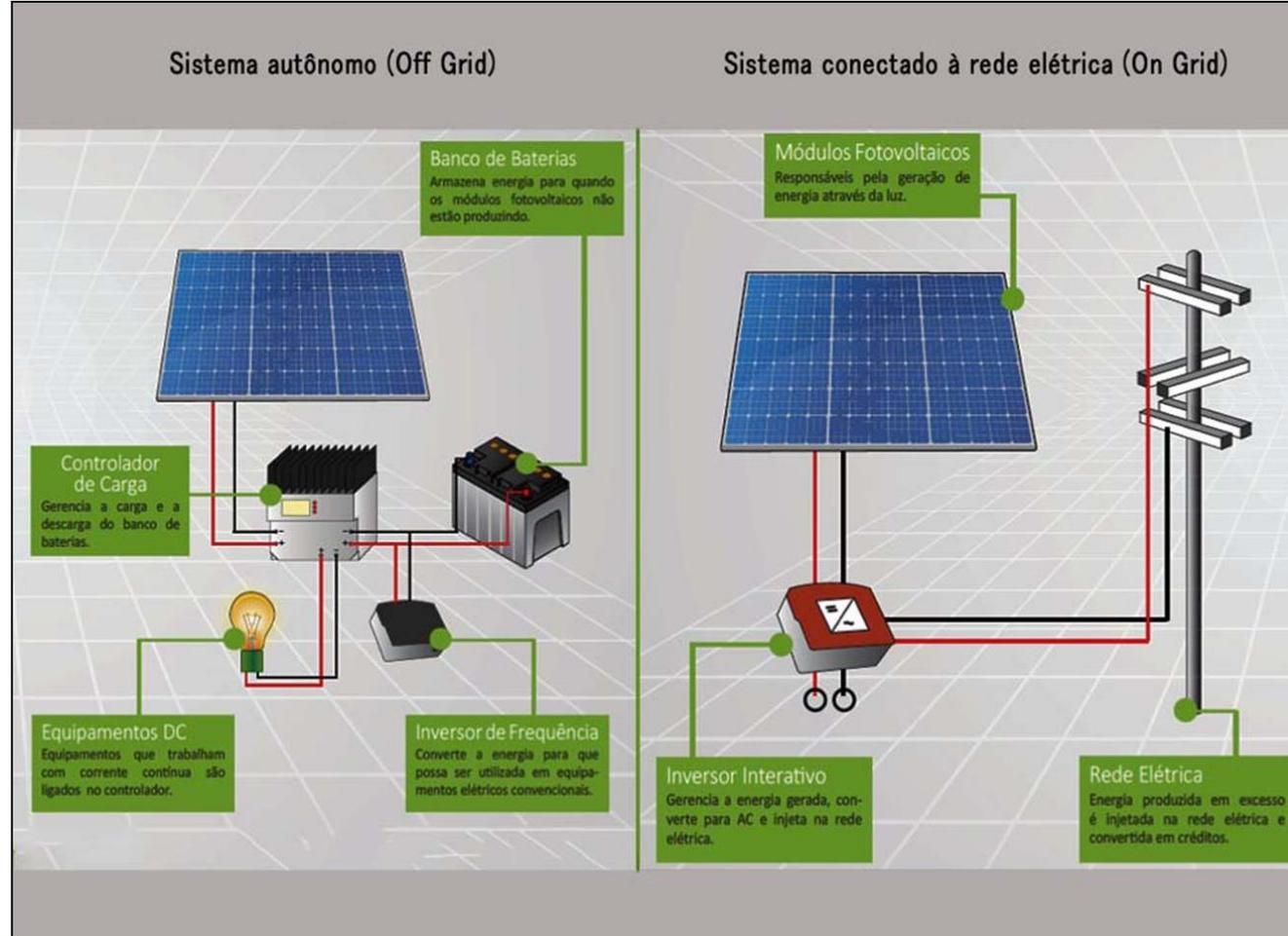
CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Quais são as premissas necessárias para a elaboração de um projeto de EFV

- ✓ Qual a área disponível para a implantação do Gerador Fotovoltaico?
- ✓ Existem obstáculos e Sombreamento no local?
- ✓ Verificar o tipo de terreno ou Prédio aonde o sistema será instalado.
- ✓ Se o telhado aonde o sistema será instalado é plano ou inclinado, para qual lado está voltado? Qual tipo de telhado, se é metálico, cerâmico ou fibrocimento
- ✓ Se o local de instalação, tem uma boa radiação solar, e se a energia gerada é suficiente?(Viabilidade do Sistema).



CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS





CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Sistemas Off Grid ou Isolado : Atende Demandas Menores.

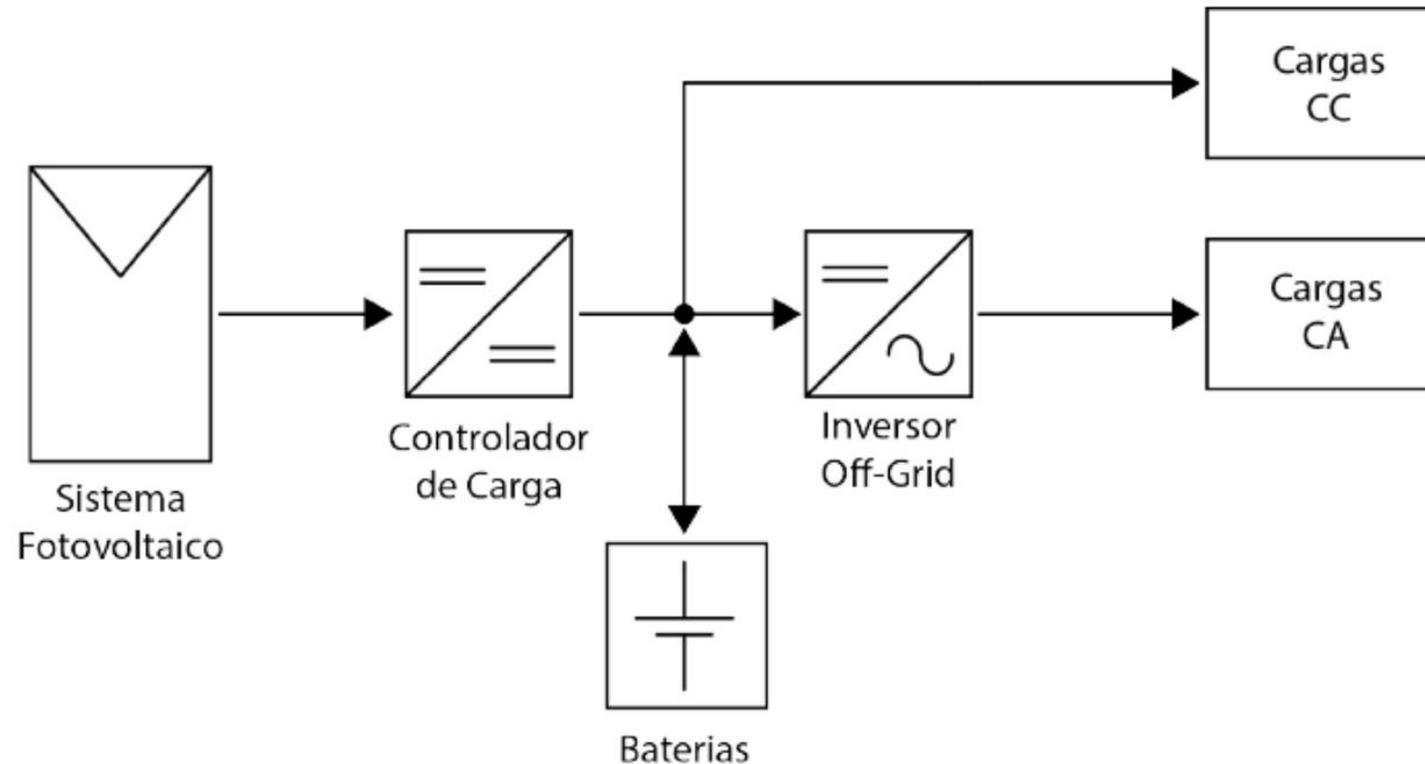


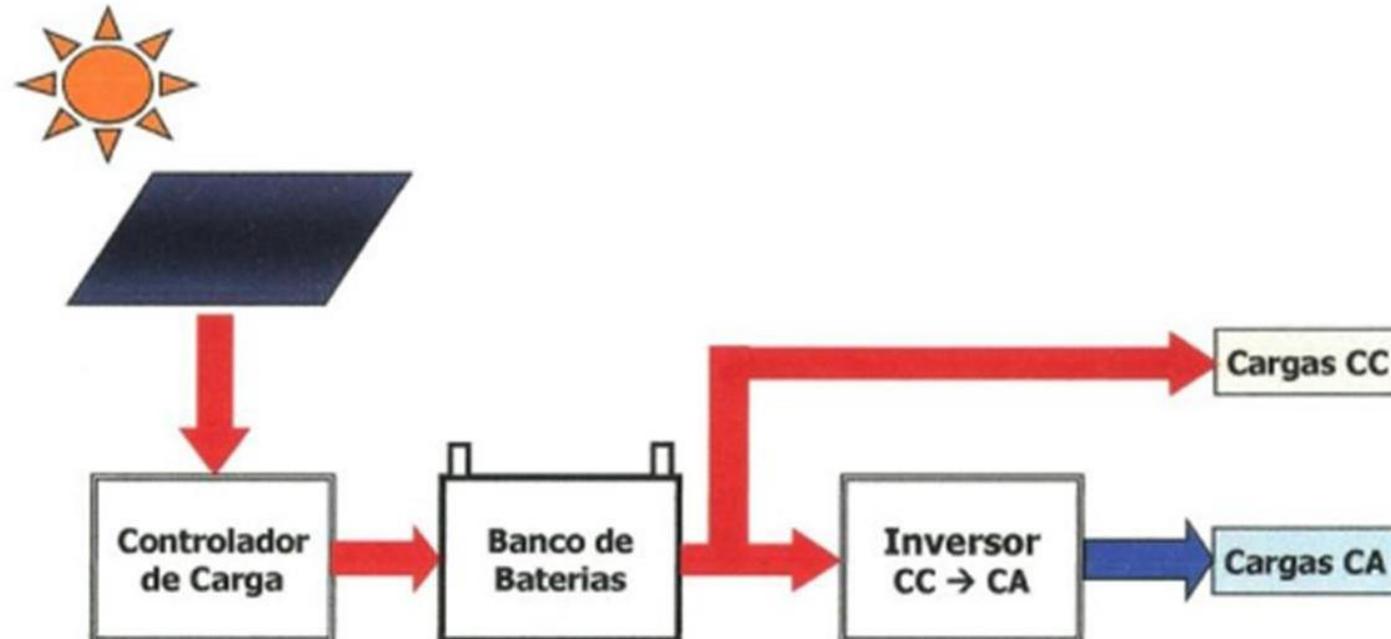
Diagrama simplificado



CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO- SFVI

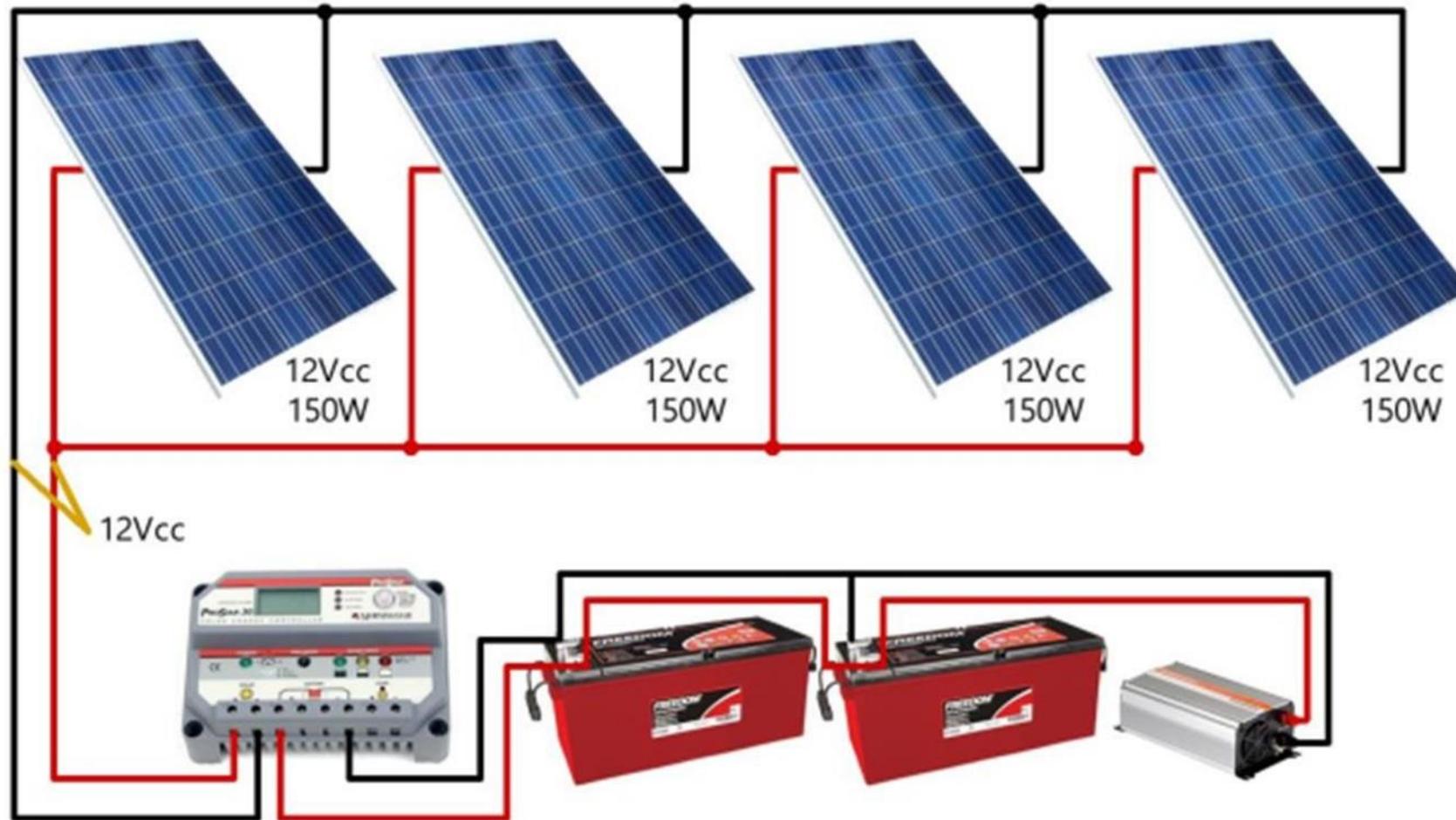
- COMPONENTES BÁSICOS
- Módulo fotovoltaico;
- Controlador de carga;
- Banco de baterias;
- Inversor.





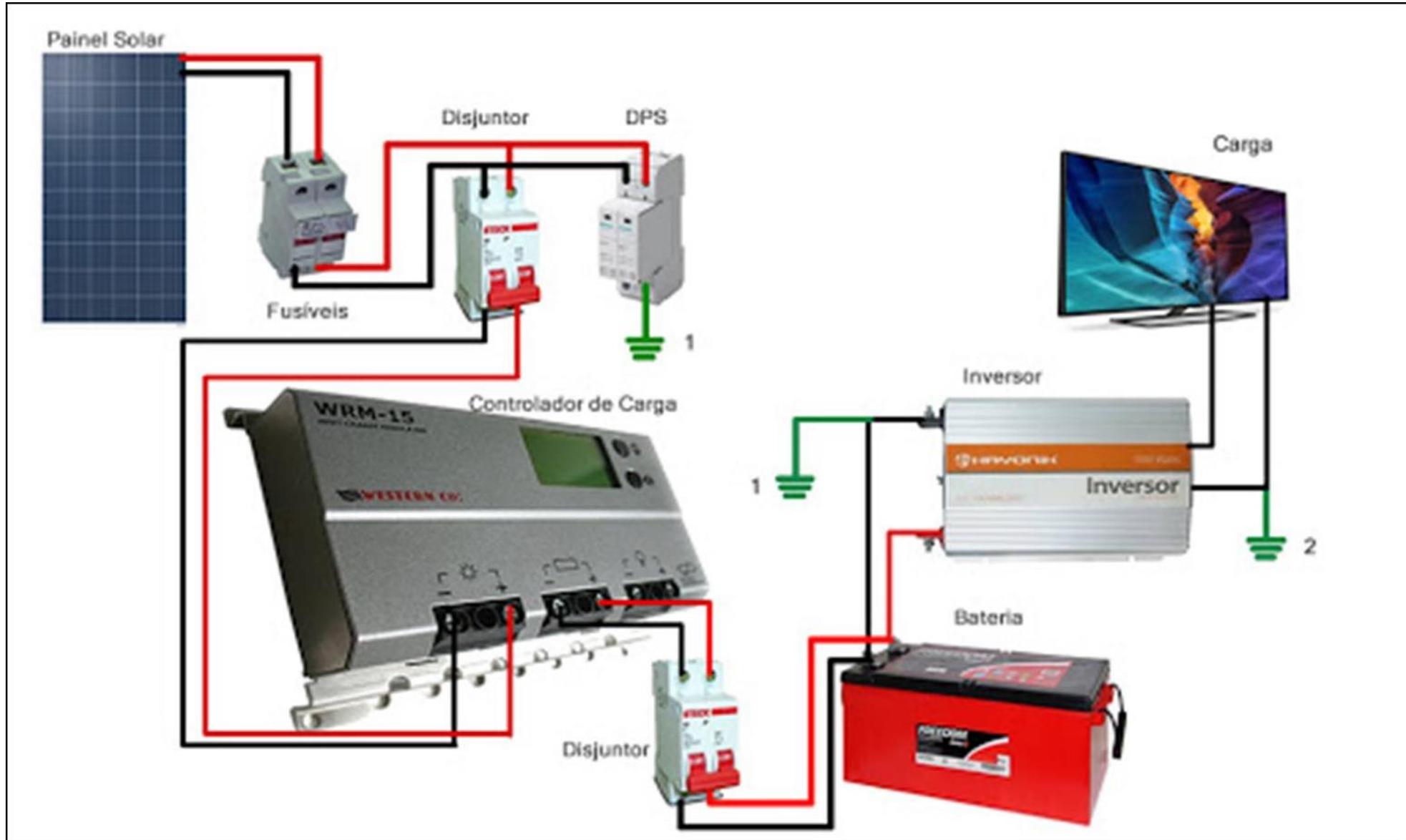
CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Diagrama para Ligação de Paineis Fotovoltaicos em Paralelo 12Vcc





CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS





Sistemas off-grid ou autônomos: são sistemas com baterias, que trabalham desconectados da rede elétrica. São usados em locais não atendidos pela rede elétrica. Necessariamente esses sistemas precisam de baterias para poder disponibilizar energia em horários de baixa geração solar ou no período noturno.





Sistemas off-grid ou autônomos: principais componentes



Módulos ou painéis fotovoltaicos:
Convertem a energia da luz em eletricidade.



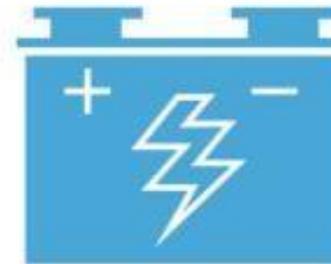
Inversor CC-CA:
Converte a energia de corrente contínua para alternada.



String-box:
Quadro elétrico que conecta os módulos fotovoltaicos ao inversor.



Controlador de carga:
Conecta os módulos fotovoltaicos ao banco de baterias. Realiza o controle das carga das baterias, evitando sobrecarga ou descarga excessiva.



Banco de baterias:
Armazena energia para ser usada em horários de pouca geração solar ou no período noturno. É um elemento essencial no sistema off-grid.



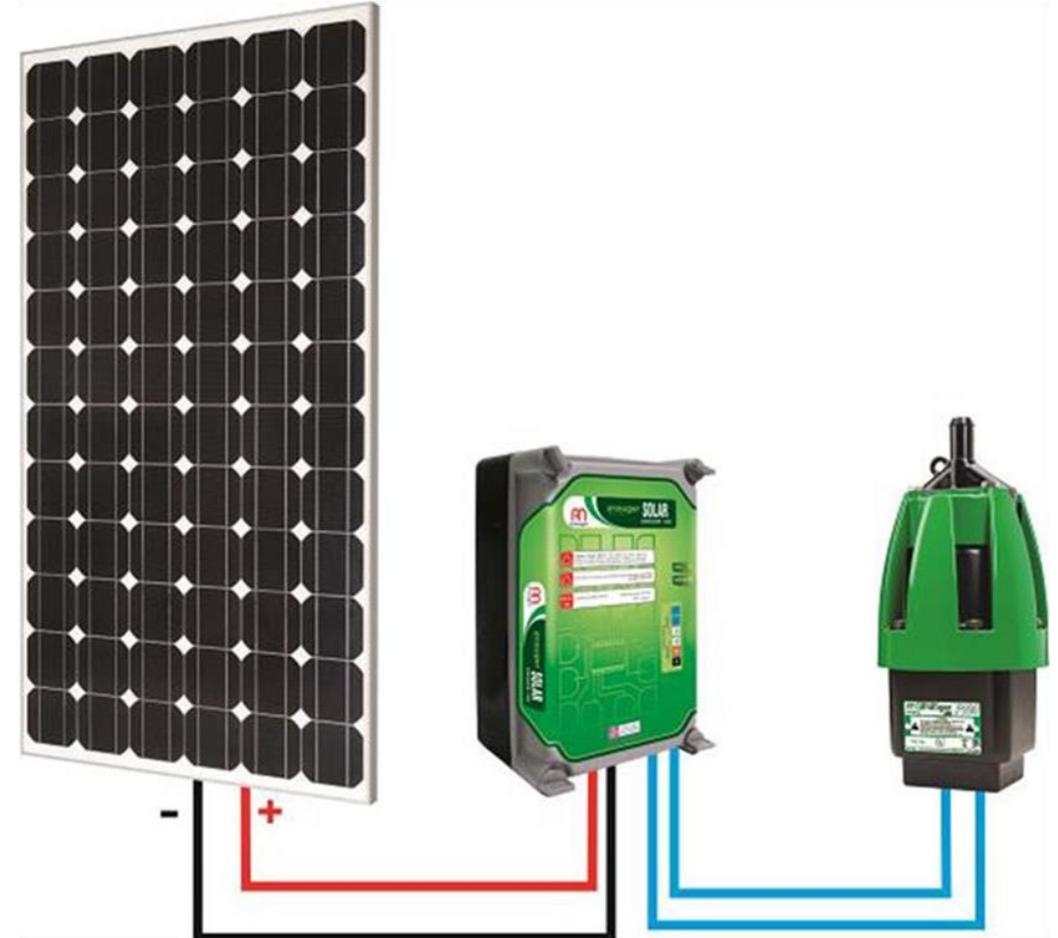
Sistemas off-grid ou autônomos: exemplos de aplicações





CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

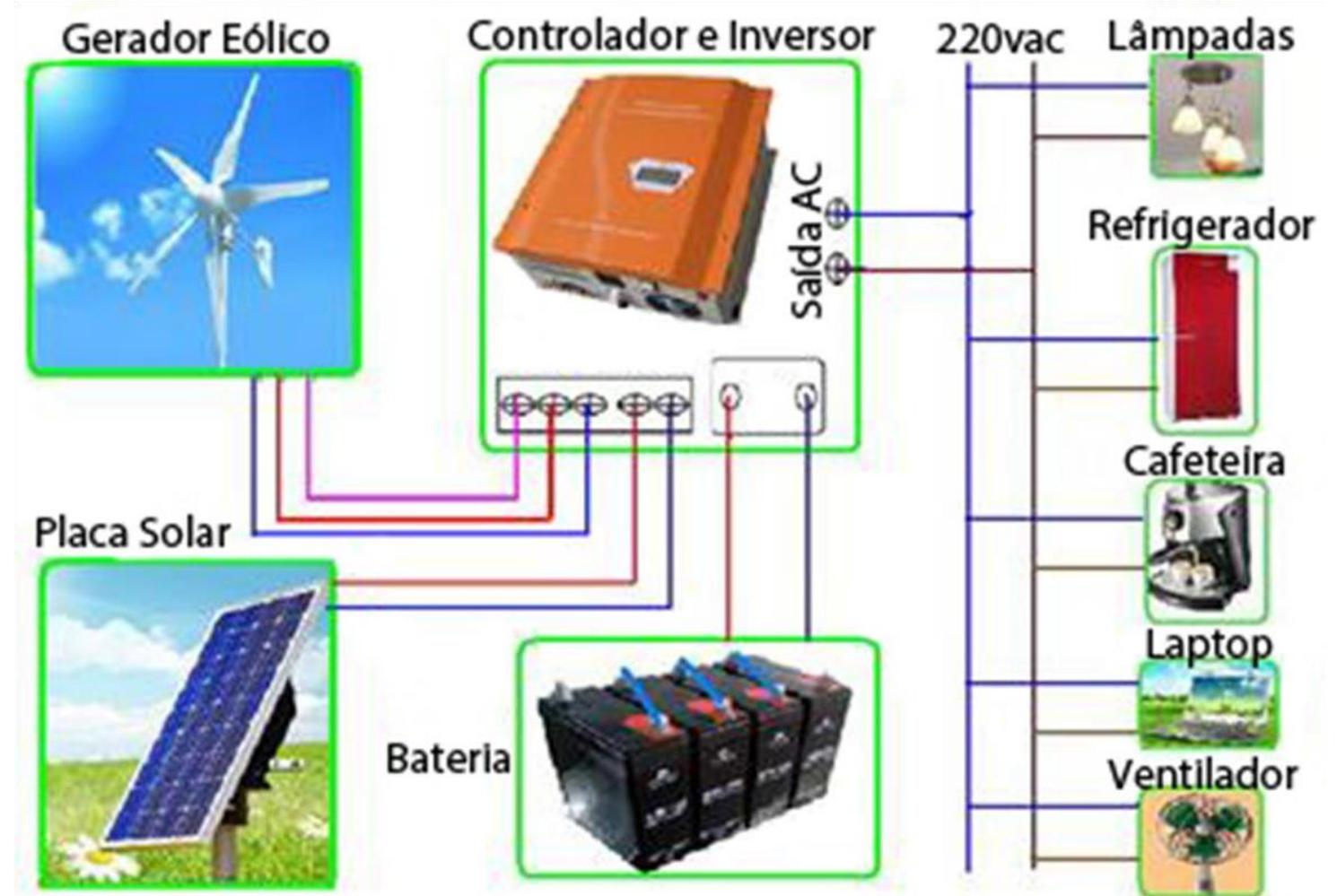
Sistema Fotovoltaico Isolado Puro (Autônomo) sem Armazenamento Elétrico





CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

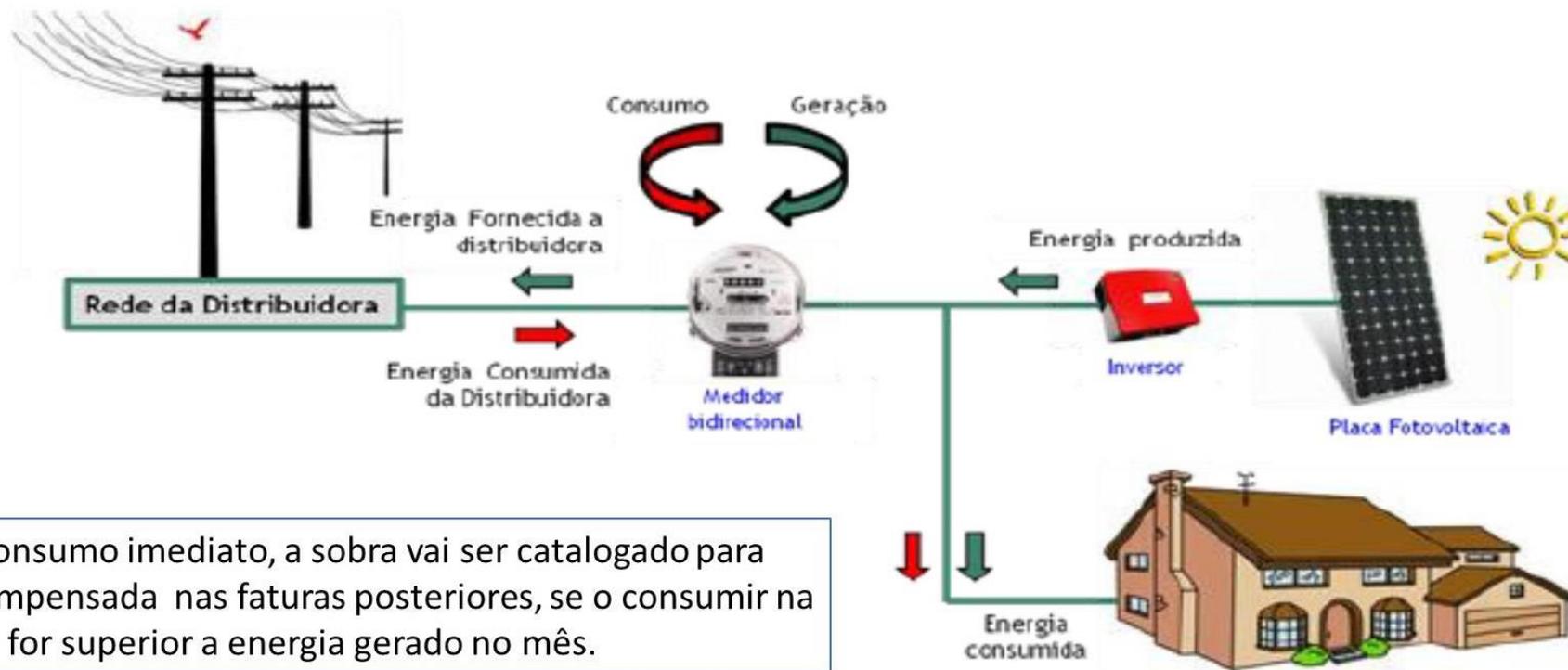
Sistema Isolado Híbrido utilizando um aerogerador





CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Sistema ON Grid – GRID TIE Sistema Fotovoltaico Conectado a Rede



Tem consumo imediato, a sobra vai ser catalogado para ser compensada nas faturas posteriores, se o consumir na média for superior a energia gerado no mês.



CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

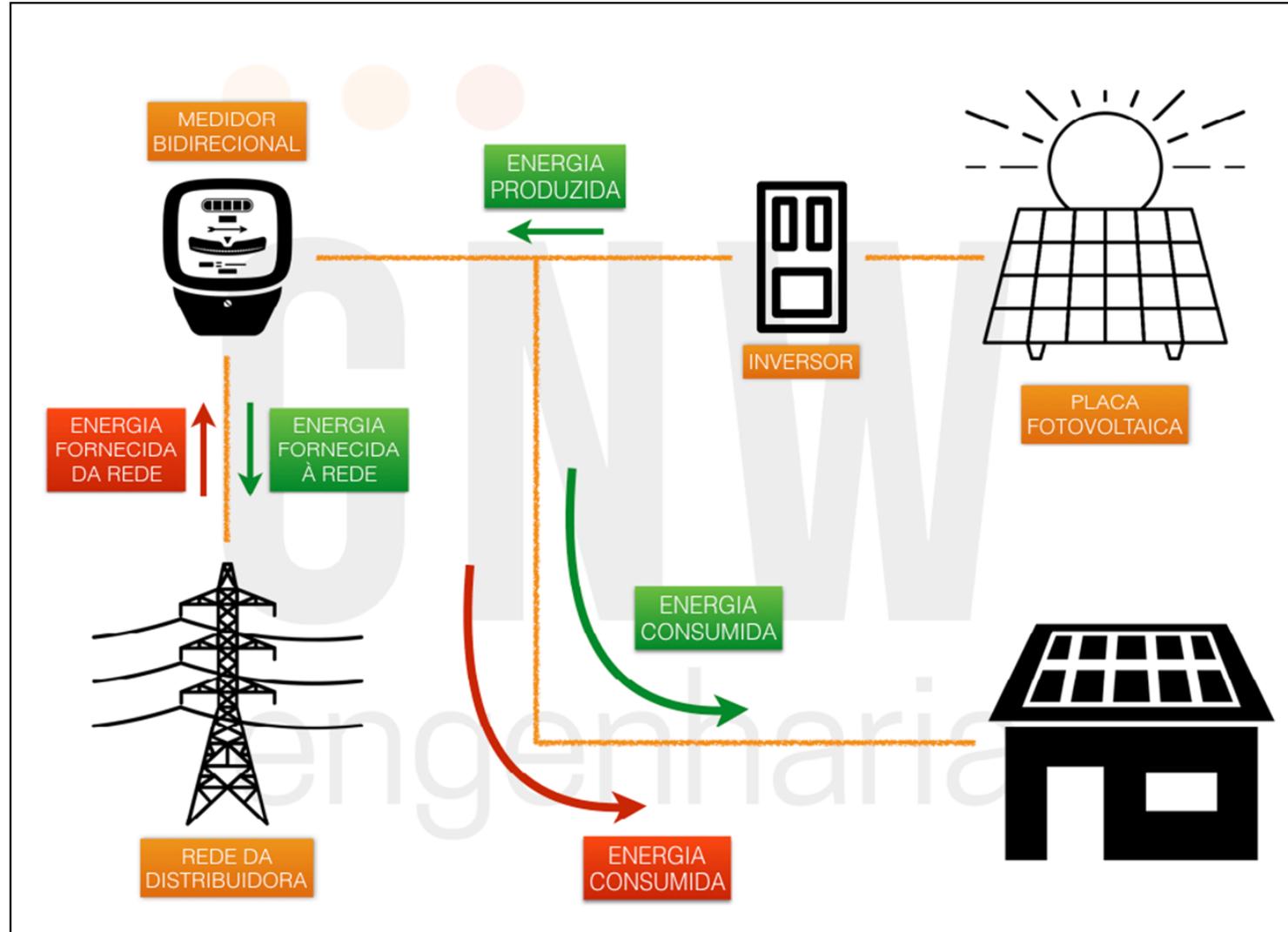
SISTEMA ON GRID





CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

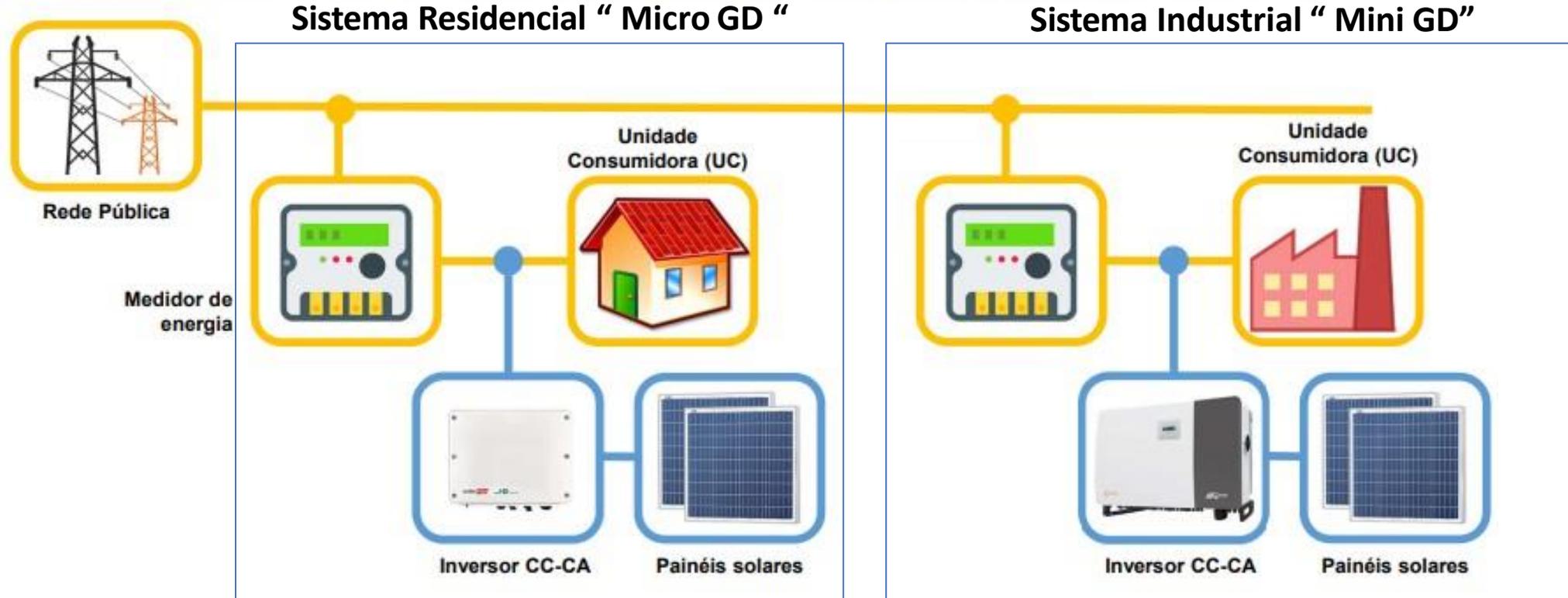
SISTEMA ON GRID





Tipos de sistemas fotovoltaicos

Sistemas grid-tie ou on-grid: são sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica, que têm a função de produzir energia em paralelismo com a rede elétrica. São usados em locais atendidos pela rede de distribuição de energia elétrica.





Sistemas grid-tie ou on-grid: principais componentes



Módulos ou painéis fotovoltaicos:
Convertem a energia da luz em eletricidade



Inversor CC-CA:
Converte a energia de corrente contínua para alternada



String-box:
Quadro elétrico que conecta os módulos fotovoltaicos ao inversor



Cabos e conectores:
Conectam os módulos fotovoltaicos à string-box e ao inversor.



Sistemas de fixação: Usados para fixar os módulos fotovoltaicos ao telhado ou ao solo. Um tipo de sistema deve ser usado para cada tipo de telhado ou superfície (laje, solo), conforme a necessidade.

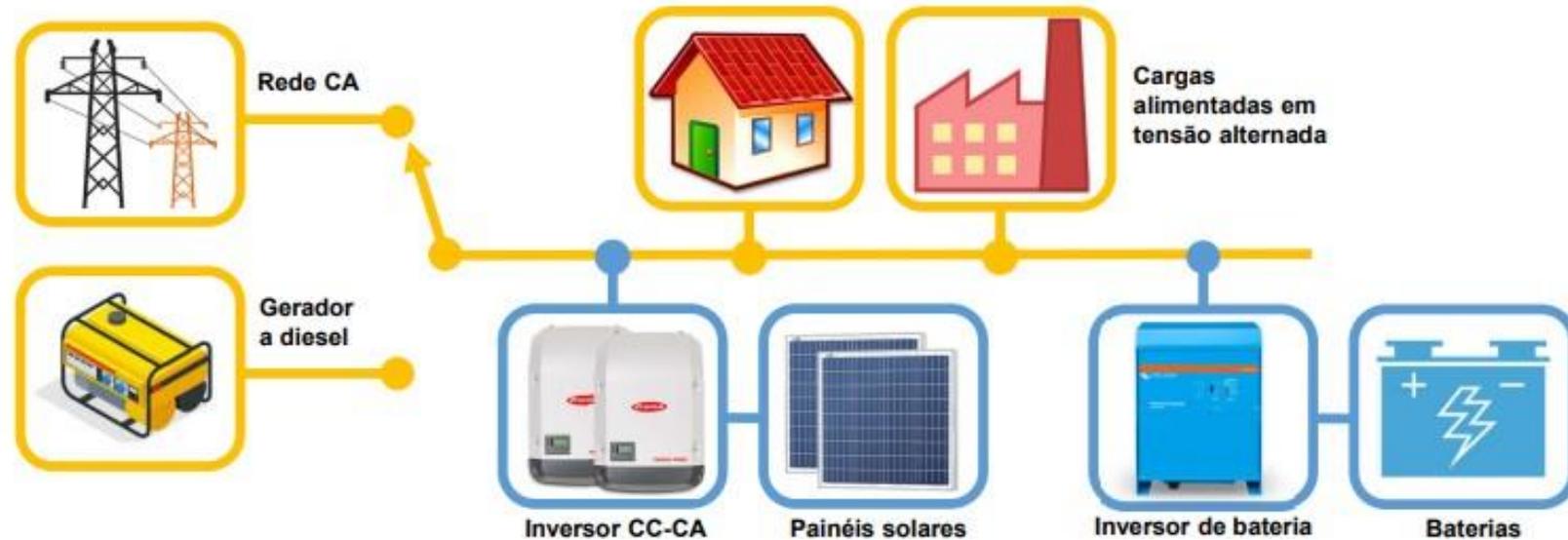


Sistemas grid-tie ou on-grid: exemplos de aplicações





Sistemas fotovoltaicos híbridos: são sistemas que trabalham conectados à rede elétrica e, além de serem alimentados por painéis solares, permitem o armazenamento e o fornecimento de energia através de bancos de baterias. São usados em locais atendidos pela rede elétrica. As baterias permitem o gerenciamento do uso da energia (evitando, por exemplo, o consumo de energia da concessionária em horário de ponta) e também possibilitam a operação ilhada.





Sistemas fotovoltaicos híbridos: principais componentes



Módulos ou painéis fotovoltaicos: Convertem a energia da luz em eletricidade.



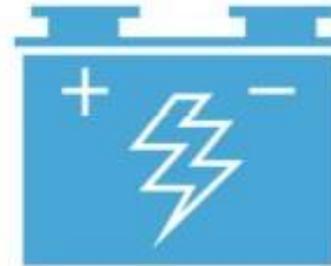
Inversor CC-CA grid-tie: Converte a energia de corrente contínua para alternada.



String-box: Quadro elétrico que conecta os módulos fotovoltaicos ao inversor.



Inversor CC-CA para uso com baterias: No modo **on-grid**, armazena energia nas baterias e descarrega (retira energia da rede ou injeta de volta). No modo **off-grid** (quando o sistema está ilhado), fornece tensão alternada para alimentação de cargas locais.



Banco de baterias: Armazena energia para ser usada em horários de pouca geração solar ou no período noturno, evitando consumo de energia da rede elétrica ou servindo como fonte principal quando o sistema estiver operando no modo ilhado.



Sistemas fotovoltaicos híbridos: exemplos de aplicações



Fundamentos de Energia Solar Fotovoltaica



Fatos sobre a
geração de
energia elétrica





Matriz Energética e Elétrica

O que é energia?, precisamos de energia, por exemplo, para acender a luz, preparar nossas refeições e nos transportar de carro até a escola, a praia... Essa **energia** vem de um conjunto de **fontes** que formam o que chamamos de **matriz energética**. Ou seja, ela representa o conjunto de fontes utilizadas em um país, ou no mundo, para suprir a necessidade (demanda) de energia.

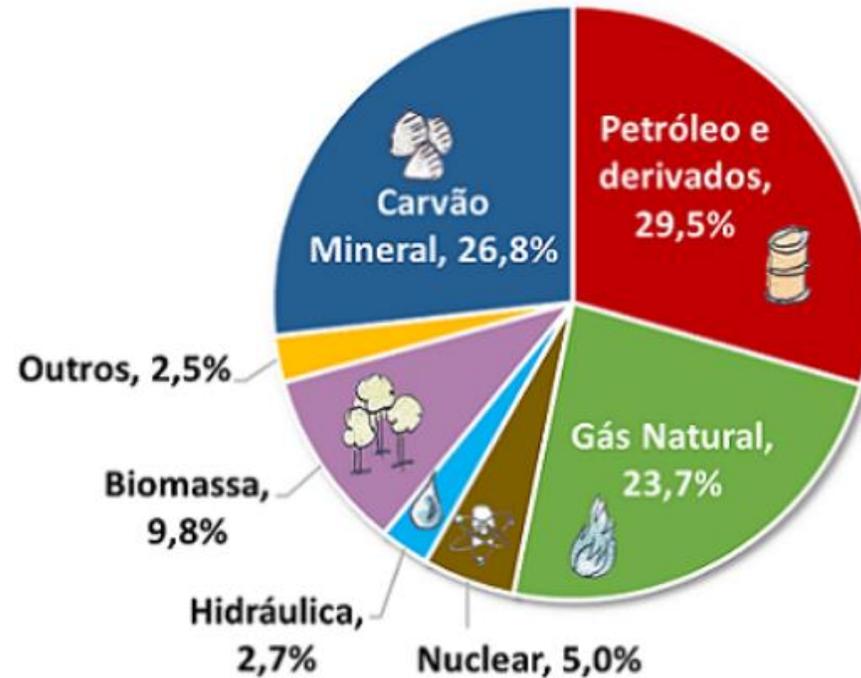


Muitas pessoas confundem a matriz energética com a **matriz elétrica**, mas elas são diferentes. Enquanto a matriz energética representa o conjunto de **fontes de energia** utilizadas para movimentar os carros, preparar a comida no fogão e gerar eletricidade, a matriz elétrica é formada pelo conjunto de fontes utilizadas apenas para a geração de energia elétrica. Dessa forma, podemos concluir que a matriz elétrica é parte da matriz energética.



Matriz Energética e Elétrica

O mundo possui uma matriz energética composta, principalmente, por **fontes não renováveis**, como o carvão, petróleo e gás natural:



Matriz Energética Mundial 2020

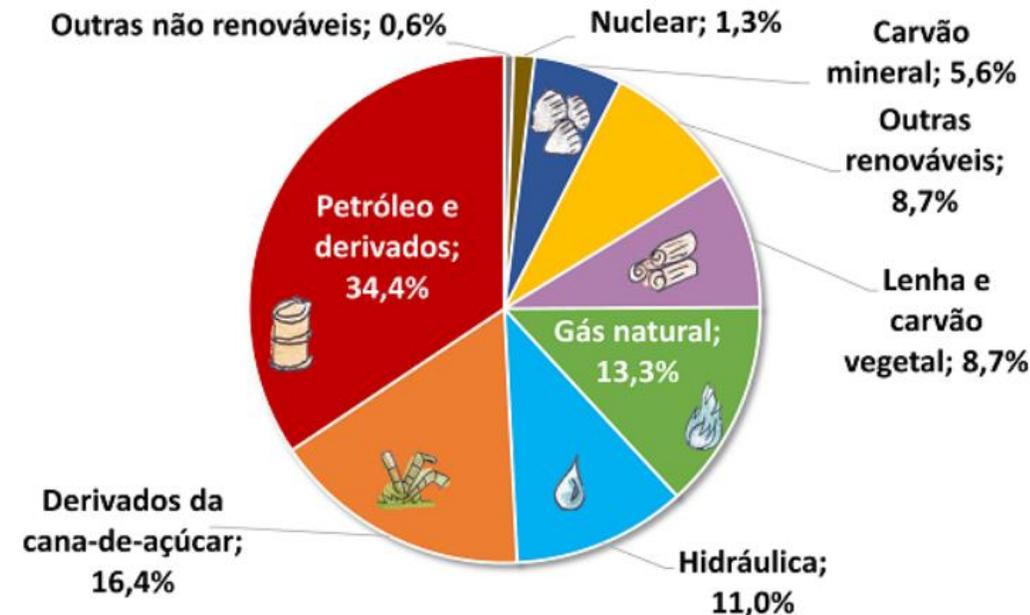
(IEA, 2022; total: 585 milhões de TJ - terajoule)



Matriz Energética e Elétrica

Fontes renováveis como solar, eólica e geotérmica, por exemplo, juntas correspondem a apenas 2,5% da **matriz energética mundial**, assinaladas como **“Outros” no gráfico**. Somando à participação da energia hidráulica e da biomassa, as renováveis totalizam aproximadamente 15%.

A matriz energética do Brasil é muito diferente da mundial. Por aqui, usamos mais fontes renováveis que no resto do mundo. Somando lenha e carvão vegetal, hidráulica, derivados de cana e outras renováveis, nossas renováveis totalizam 44,8%, quase metade da nossa matriz energética:

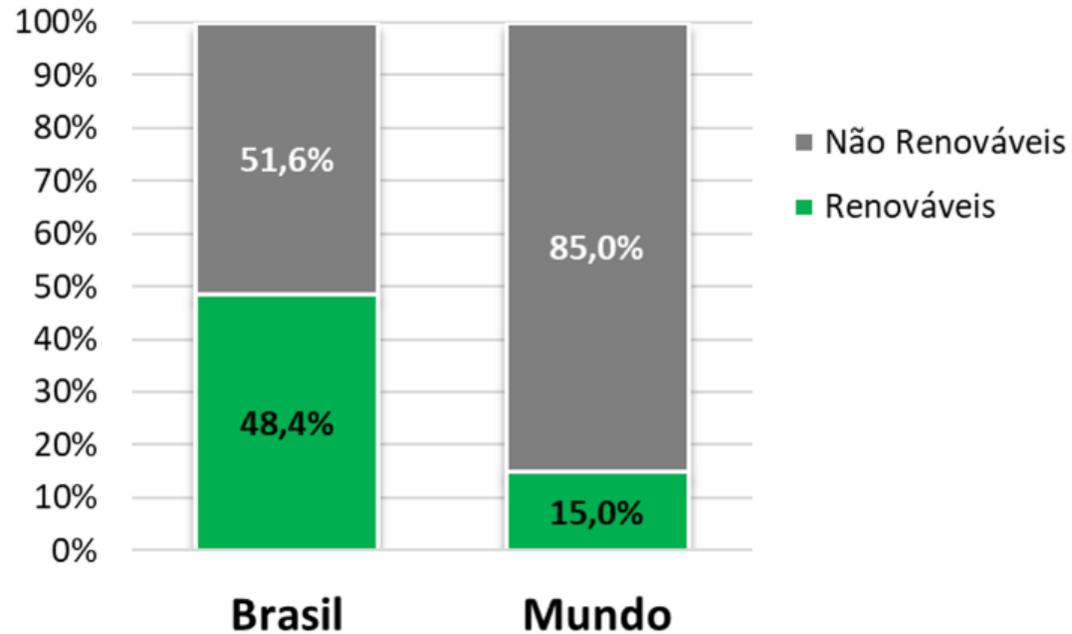


Matriz Energética Brasileira 2021

(BEN, 2022; total: 302 milhões de tep - tonelada-equivalente de petróleo)



Vamos comparar o consumo de energia proveniente de fontes renováveis e não renováveis no Brasil e no mundo para o ano de 2020?



Percebemos pelo gráfico que a **matriz energética brasileira** é mais renovável do que a mundial.

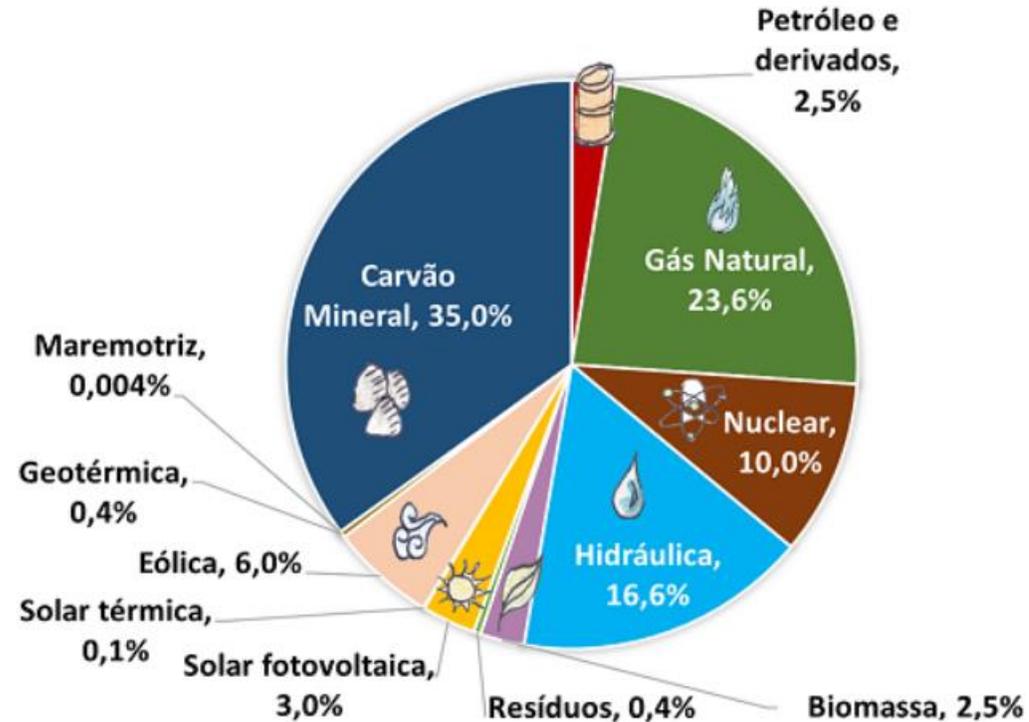
Essa característica da nossa matriz é muito importante. As fontes não renováveis de energia são as maiores responsáveis pela **emissão de gases de efeito estufa** (GEE). Como consumimos mais energia das fontes renováveis que em outros países, dividindo a emissão de gases de efeito estufa pelo número total de habitantes no Brasil, veremos que nosso país emite menos GEE por habitante que a maioria dos outros países.



A matriz elétrica é formada pelo conjunto de fontes disponíveis apenas para a geração de energia elétrica em um país, estado ou no mundo.

Precisamos da energia elétrica, por exemplo, para assistir televisão, ouvir músicas no rádio, acender a luz, ligar nossa geladeira, carregar nosso celular, entre tantas outras coisas.

A geração de energia elétrica no mundo é baseada, principalmente, em **combustíveis fósseis** como carvão, óleo e gás natural, em termelétricas.



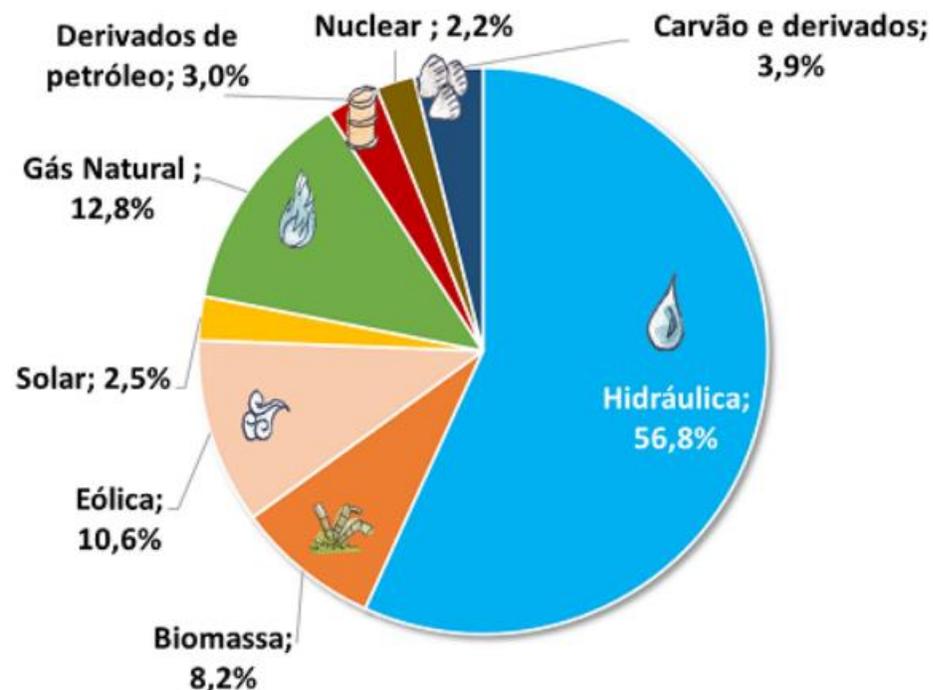
Matriz Elétrica Mundial 2020

(IEA, 2022; total: 27 milhões de GWh - gigawatt-hora)



A **matriz elétrica brasileira** é ainda mais **renovável** do que a energética, isso porque grande parte da energia elétrica gerada no Brasil vem de usinas hidrelétricas.

A energia eólica também vem crescendo bastante, contribuindo para que a nossa matriz elétrica continue sendo, em sua maior parte, renovável.



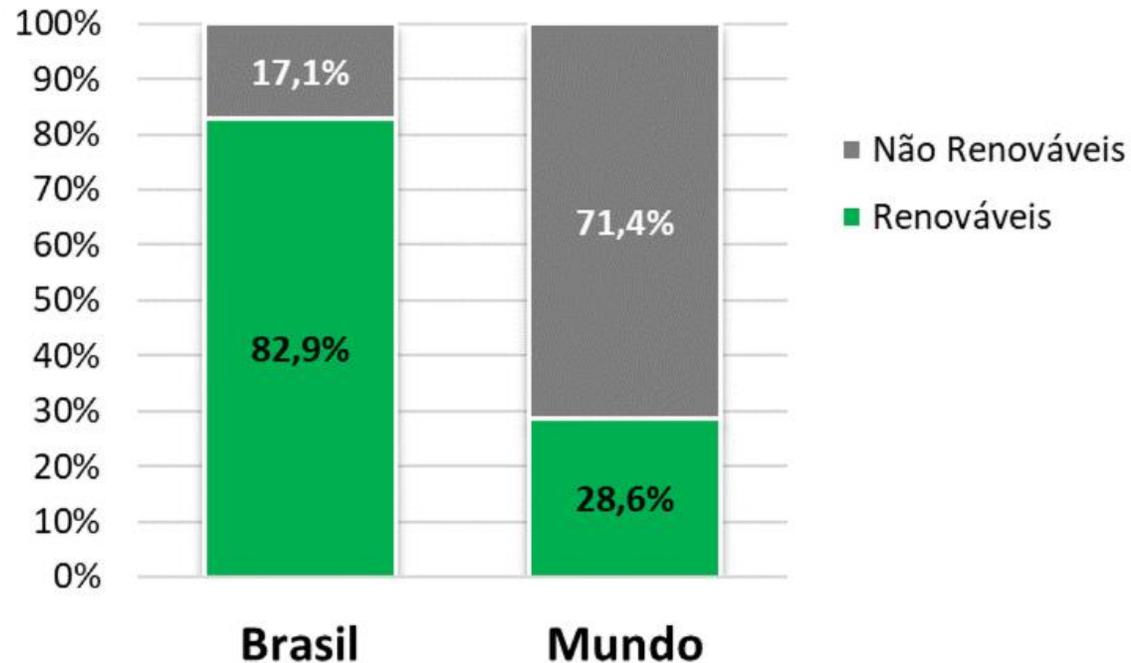
Matriz Elétrica Brasileira 2021

(BEN, 2022; total: 656 TWh - terawatt-hora)

A eletricidade produzida pela fonte solar nesse gráfico inclui a **GD (geração distribuída)**, ou seja, a geração das placas solares de telhados de casas, shoppings e estacionamentos. A GD vem crescendo bastante no nosso país!



Comparando a utilização de fontes renováveis e não renováveis para a geração de energia elétrica no Brasil e no mundo para o ano de 2020?



Conforme o gráfico apresenta a matriz elétrica brasileira é baseada em fontes renováveis de energia, ao contrário da matriz elétrica mundial. Isso é ótimo para o Brasil, pois além de possuírem menores custos de operação, as usinas que geram energia a partir de fontes renováveis em geral emitem bem menos gases de estufa



Fatos sobre a geração de energia elétrica

Canal Solar

bruno@canalsolar.com.br [Receber Boletim](#)

Buscar no Canal Solar

HOME NOTÍCIAS ▾ ARTIGOS ▾ ESPECIAIS ▾ FÓRUM GUIA DO CONSUMIDOR EMPREGOS WEBINÁRIOS PODCASTS GUIA

Renováveis irão compor 60% da matriz energética global em 2050

Autor: Mateus Badra

18 de setembro de 2020

Mundo



A participação das energias renováveis na matriz energética global deve atingir aproximadamente 60% em 2050, afirmou a BP em seu último relatório de perspectiva energética.

De acordo com Spencer Dale, economista-chefe da BP, a velocidade deste aumento será determinada pela adoção ou não de políticas de incentivo às renováveis.

O especialista citou fontes como a solar, eólica, biomassa e a geotermal como as protagonistas para essa expansão, sendo que as duas primeiras estão na liderança desse processo.

Esse panorama apresentado pela BP tem como premissa a perspectiva de que a demanda global de energia cresce, impulsionada pelo aumento da prosperidade e dos padrões de vida no mundo emergente. Dale citou a eletrificação dos sistemas e mobilidade com destaque na impulsão desse consumo.



Fatos sobre a geração de energia elétrica

- Números da geração centralizada de energia solar no Brasil

Tipo	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	Quantidade	% (Pot. Outorgada)
CGH	844,348.64	822,371.64	750	0.40%
CGU	50.00	50.00	1	0.00%
EOL	28,666,738.86	16,503,327.86	1011	13.49%
PCH	7,139,090.54	5,414,346.57	543	3.36%
UFV	17,209,151.20	3,113,946.25	4263	8.10%
UHE	103,344,328.00	103,026,876.00	222	48.64%
UTE	51,910,835.79	42,883,827.79	3169	24.43%
UTN	3,340,000.00	1,990,000.00	3	1.57%
Total	212,454,543.03	173,754,746.11	9962	100.00%



Dados: ANEEL – 19/11/2020



Fatos sobre a geração de energia elétrica

- Números da geração distribuída de energia solar no Brasil

GD solar fotovoltaica no Brasil

Qtd de GDs	Municípios com GD
332,408	5,090
UCs Rec Créditos	Pot Instalada (kW)
414,169	4,030,973.77



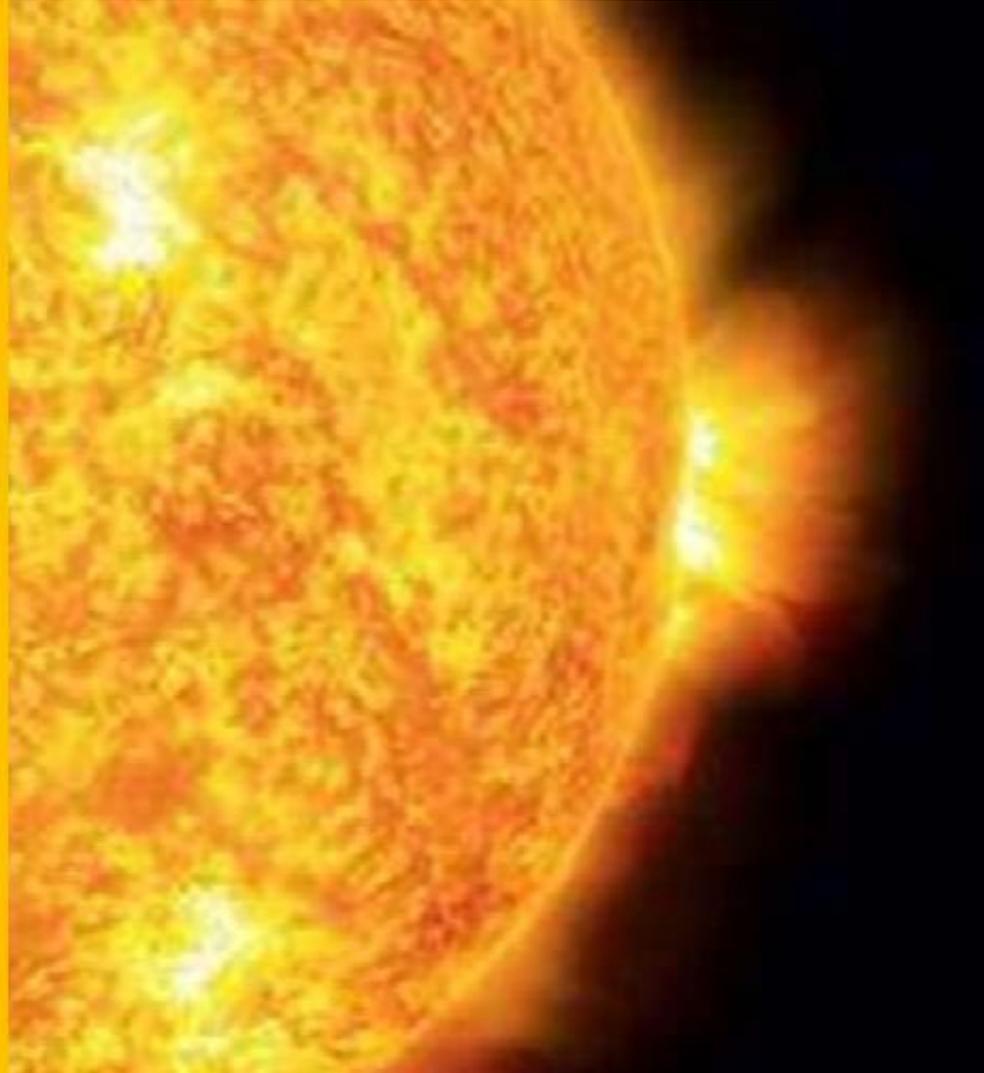
Dados: ANEEL –
19/11/2020

GD por estado brasileiro (inclui outras fontes)

UF	Quantidade	Quantidade de UCs que recebem os créditos	Potência Instalada (kW)
AC	554	559	6.905,60
AL	2.319	3.996	29.827,84
AM	1.219	1.541	18.397,00
AP	266	324	5.365,11
BA	12.807	15.450	138.728,04
CE	9.387	11.973	160.227,01
DF	2.521	2.709	33.945,90
ES	5.388	6.383	76.196,73
GO	14.359	19.138	232.368,58
MA	2.827	3.523	34.835,26
MG	66.767	99.409	819.753,94
MS	8.758	10.877	108.745,74
MT	17.838	18.075	298.639,15
PA	5.888	6.681	64.269,68
PB	5.602	9.228	79.510,99
PE	6.877	10.569	112.040,21
PI	6.505	9.142	79.582,99
PR	17.712	17.846	284.617,58
RJ	18.163	20.963	171.337,23
RN	5.360	5.925	80.691,95
RO	1.746	1.893	28.447,01
RR	226	278	2.832,70
RS	44.716	54.789	510.270,14
SC	17.190	22.795	217.163,93
SE	1.856	2.248	20.944,16
SP	53.684	65.045	512.814,43
TO	2.253	2.318	25.760,73



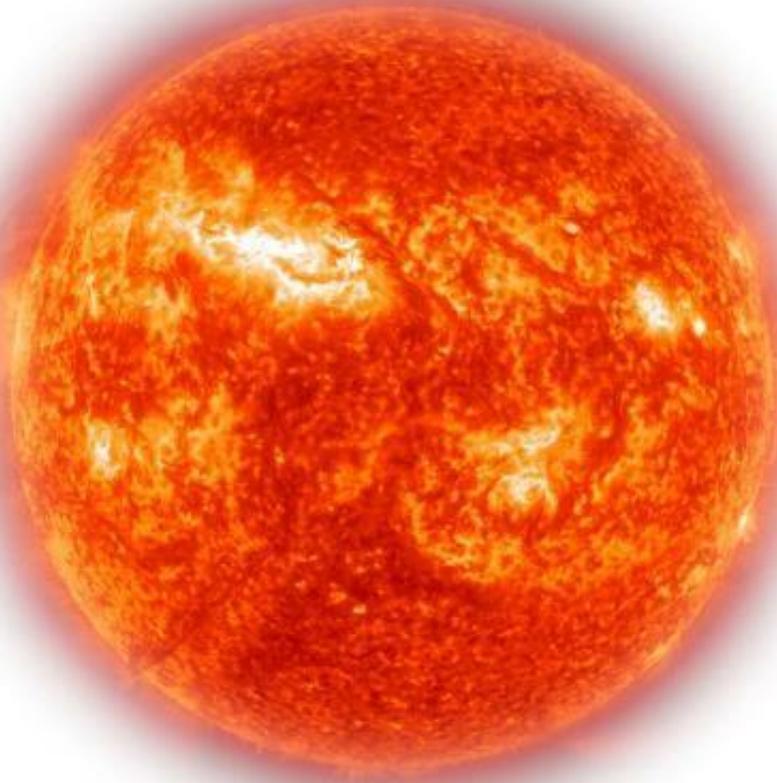
Radiação solar





Radiação solar

- O que é radiação solar



Radiação solar é a radiação eletromagnética emitida pelo Sol. É a principal fonte de energia do planeta Terra.

Essa radiação é percebida pelos seres vivos como luz e calor.

Uma parte da radiação solar é o que chamamos de luz visível.

Uma parte da radiação solar é usada pelas plantas na realização da fotossíntese.

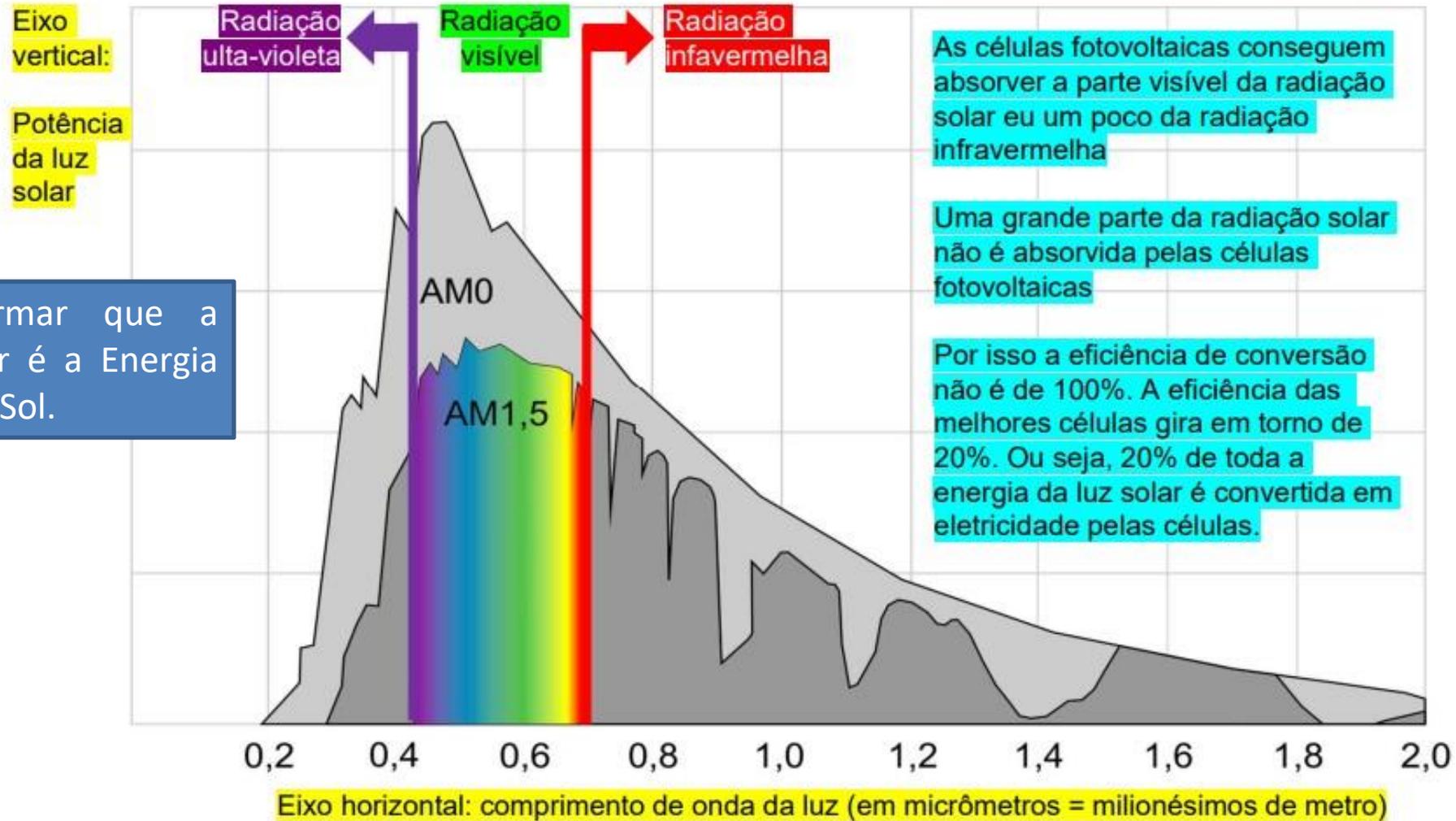


A radiação solar infravermelha pode ser usada para produzir calor nos sistemas térmicos.

A radiação solar visível e uma parte da radiação infravermelha podem ser usadas pelas células fotovoltaicas para produzir eletricidade.



- Espectro da radiação solar



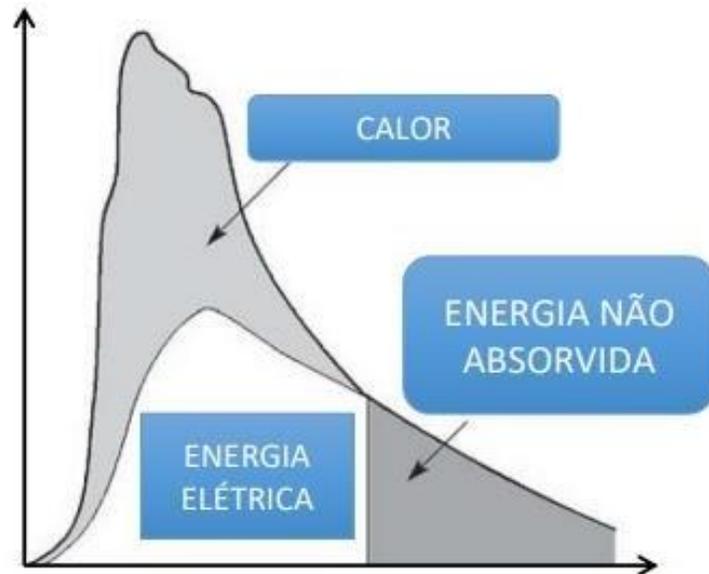
Podemos afirmar que a Radiação Solar é a Energia Irradiada pelo Sol.

Para o aproveitamento da Energia Solar, as faixas de maior interesse são : a Radiação da Luz Visível e Radiação Infravermelho próximo do calor, que representa 81% da energia irradiada pelo Sol.



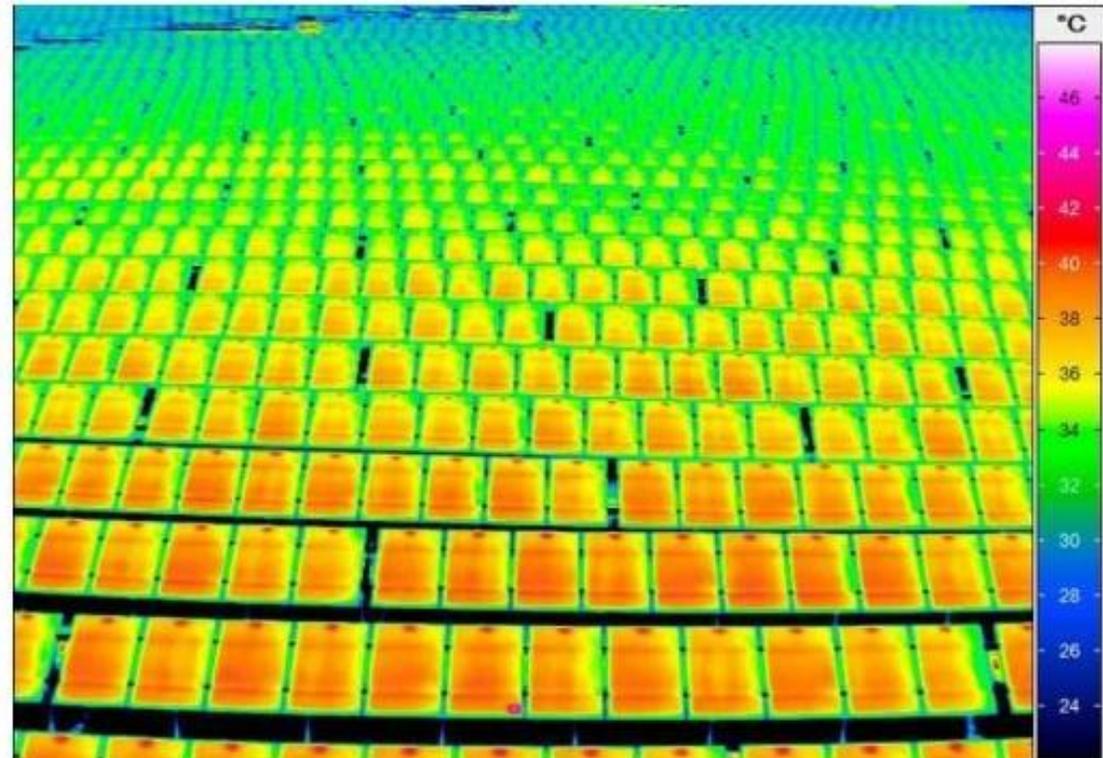
Radiação solar

- Espectro da radiação solar



Uma parte da energia da radiação solar absorvida pelas células é transformada em calor. Por isso as células trabalham aquecidas, com temperaturas tipicamente 30 °C acima da temperatura ambiente.

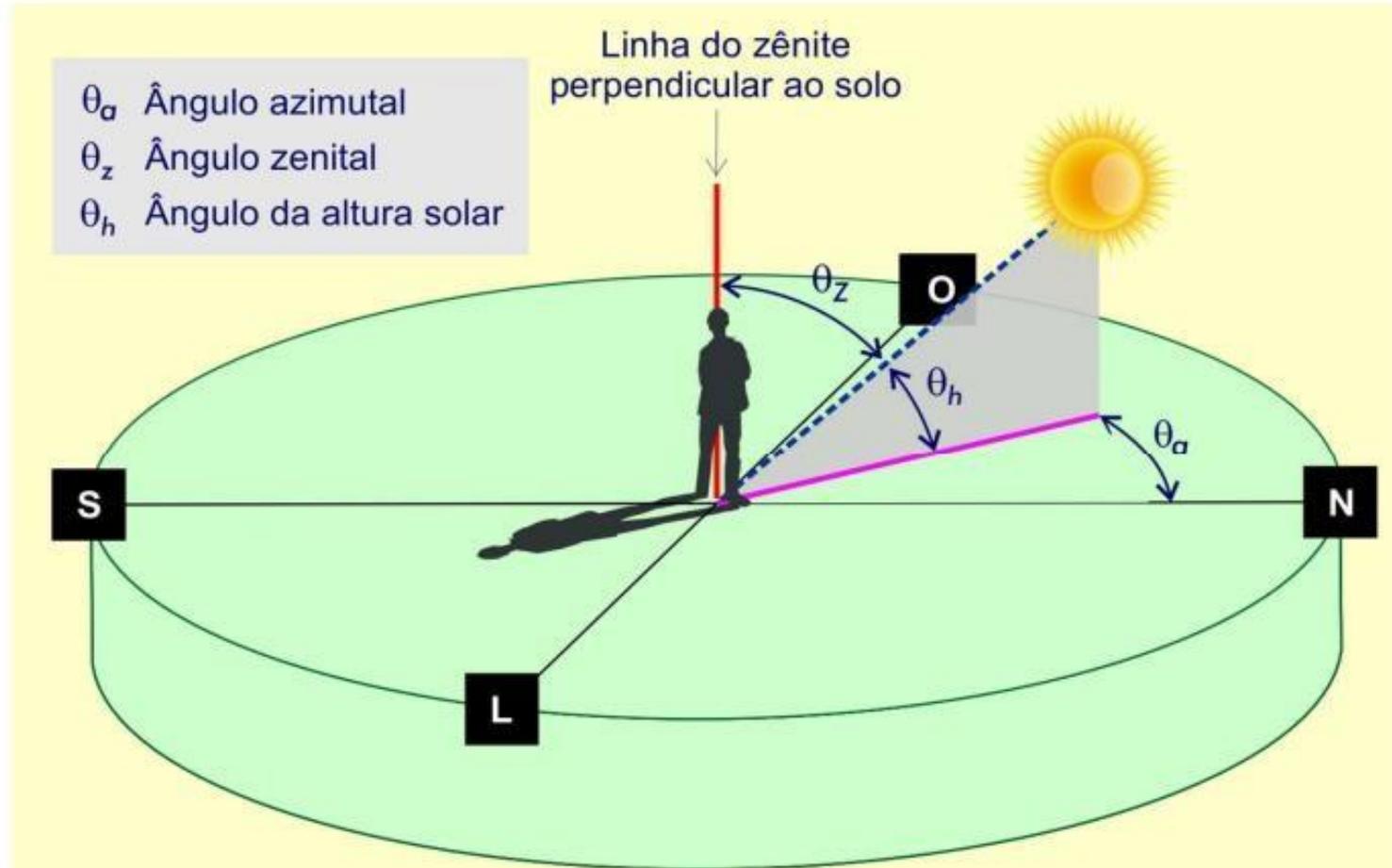
Termografia infravermelha de uma usina solar, mostrando o aquecimento dos módulos fotovoltaicos.





Radiação solar

- Ângulos solares



Ângulo azimutal do Sol: é o ângulo da posição solar em relação ao Norte geográfico.

Ângulo da altura solar: é a altura solar expressa em graus angulares em relação ao plano do local de observação.

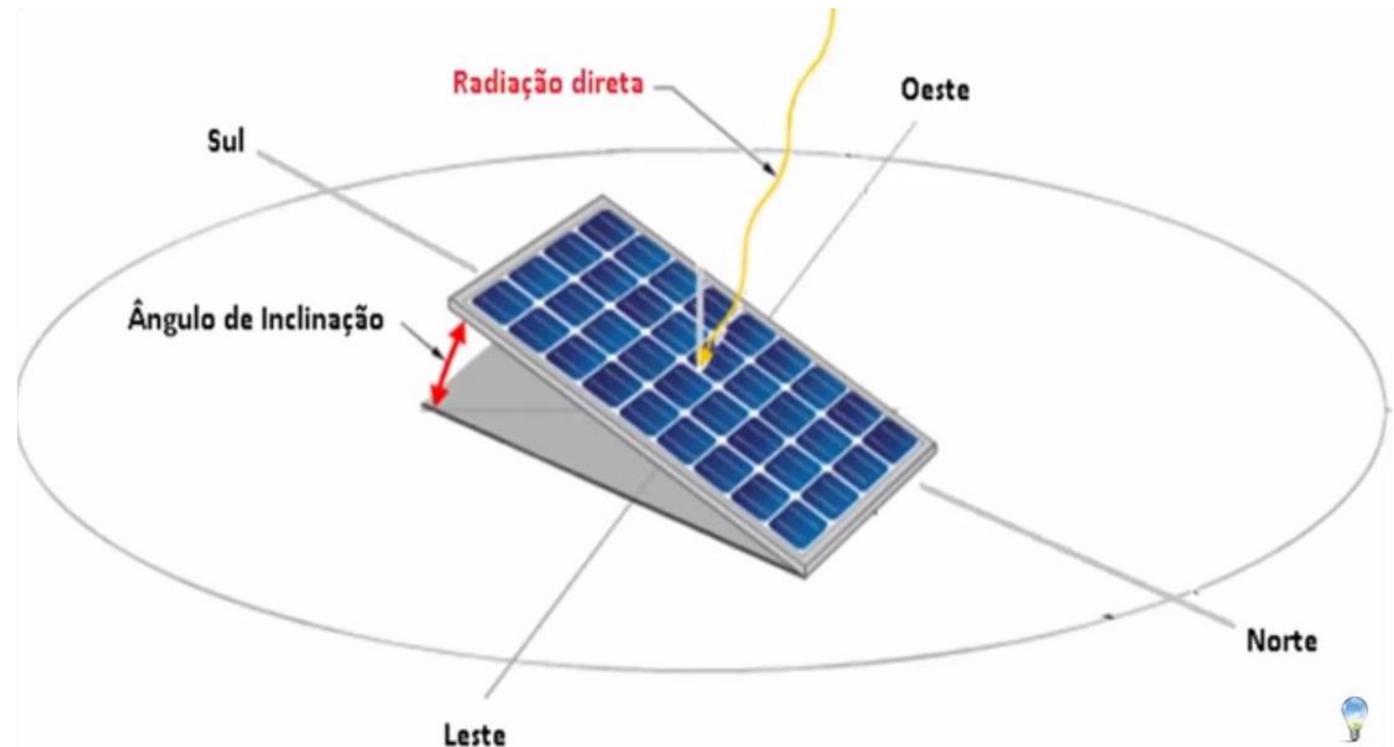
Ângulo zenital: é o complemento da altura solar. É o ângulo da posição solar em relação à linha do zênite (linha perpendicular ao ponto de observação).



- ✓ No **Brasil**, além dos **softwares de dimensionamento mais conhecidos** (PV-Syst; PV*Sol; Solergo; Azul-Sol), os projetistas de sistemas fotovoltaicos **utilizam duas metodologias**, disponibilizadas gratuitamente, em contrapartida aos altos custos dos softwares:

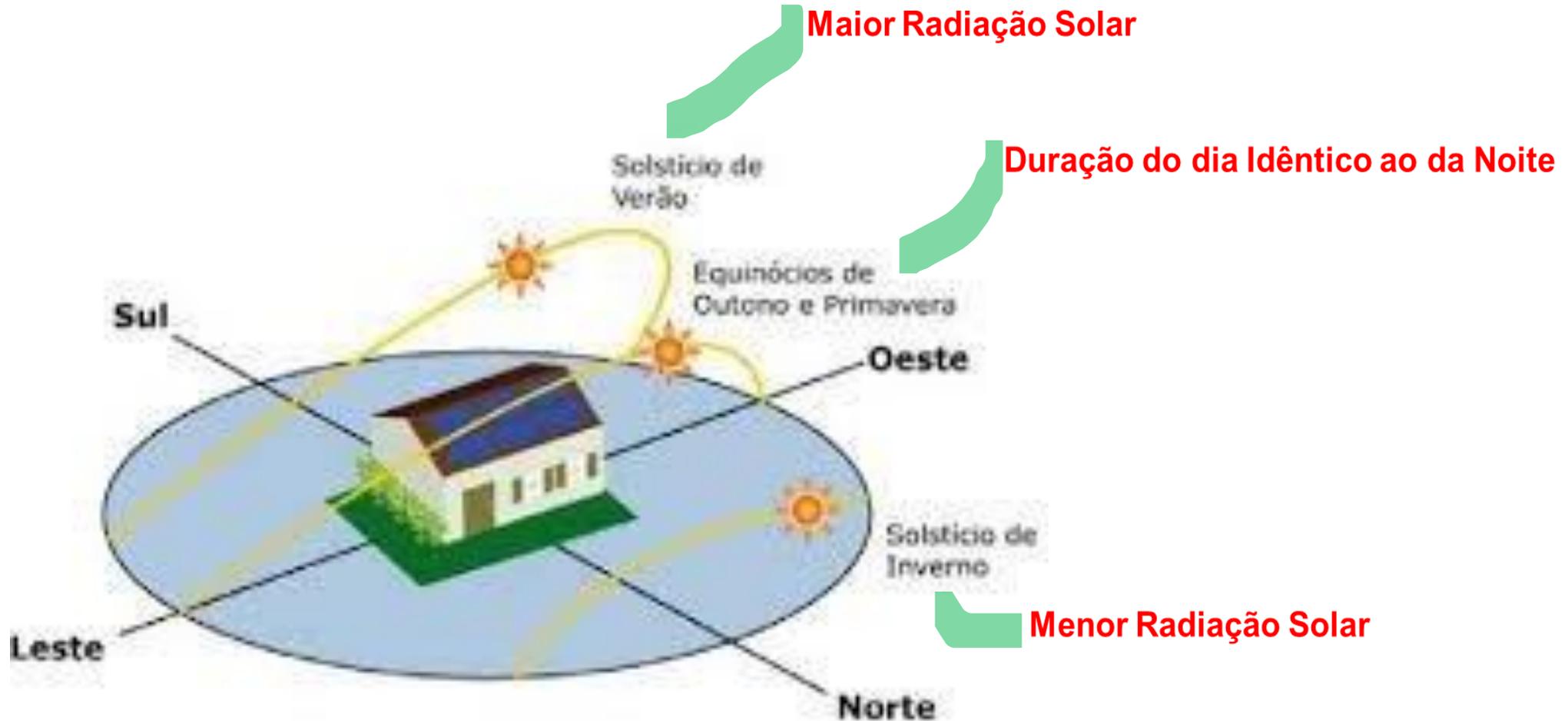
1 – Tabela de Fatores de Correção da Radiação para Superfícies Inclinadas

2 – Software de Análise Radiasol.





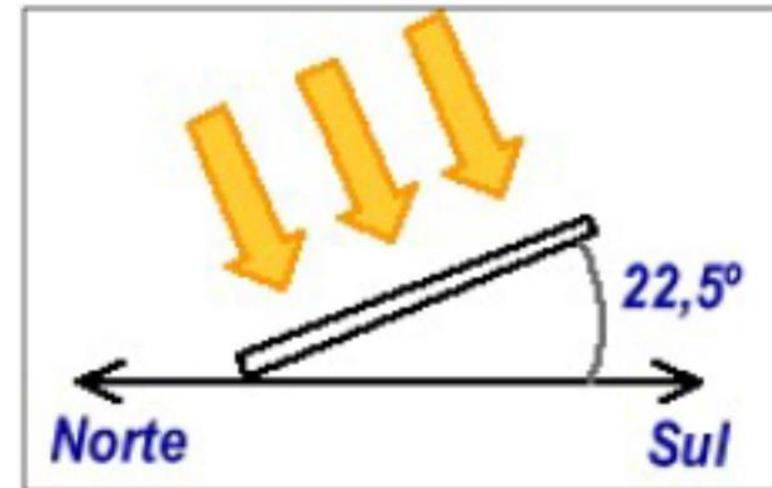
Orientação e Posicionamento do Sol



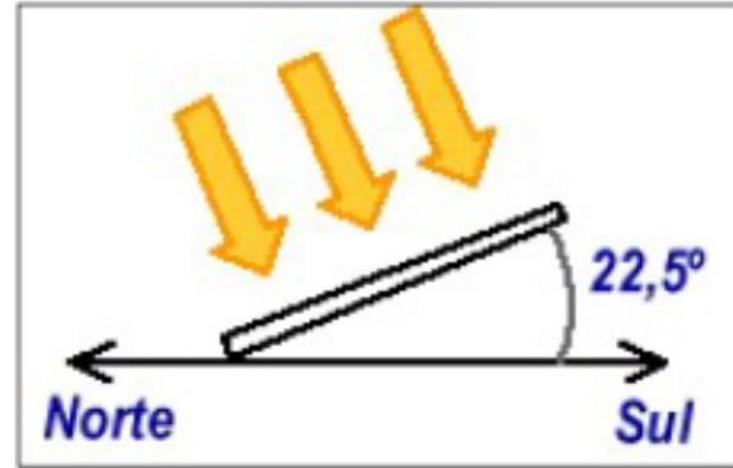


Dados de Radiação Solar

O **projeto de um sistema fotovoltaico** requer o conhecimento e a cuidadosa utilização de **dados de radiação solar** de um determinado lugar, em particular (levantamos por instrumentos de medição, modelos de estimativas por dados terrestres ou dados de imagens de satélite).



*O **Sol nasce** do lado **leste** de onde estamos. O mesmo acontece para o poente, o **Sol não se põe no ponto cardinal oeste**, mas sim do lado **oeste** de onde estamos.



*Como proceder para se posicionar com relação ao Sol:

*Estique o **braço direito** para a direção em que o **Sol nasceu (nascente)**, assim você encontrou o ponto Leste.

*Em seguida, estique o **braço esquerdo** para a **outra** direção (ponto Oeste - poente).

*O **Norte** está à sua **frente** e o **sul**, **atrás de você**.



Ângulo de Inclinação do Painei Fotovoltaico

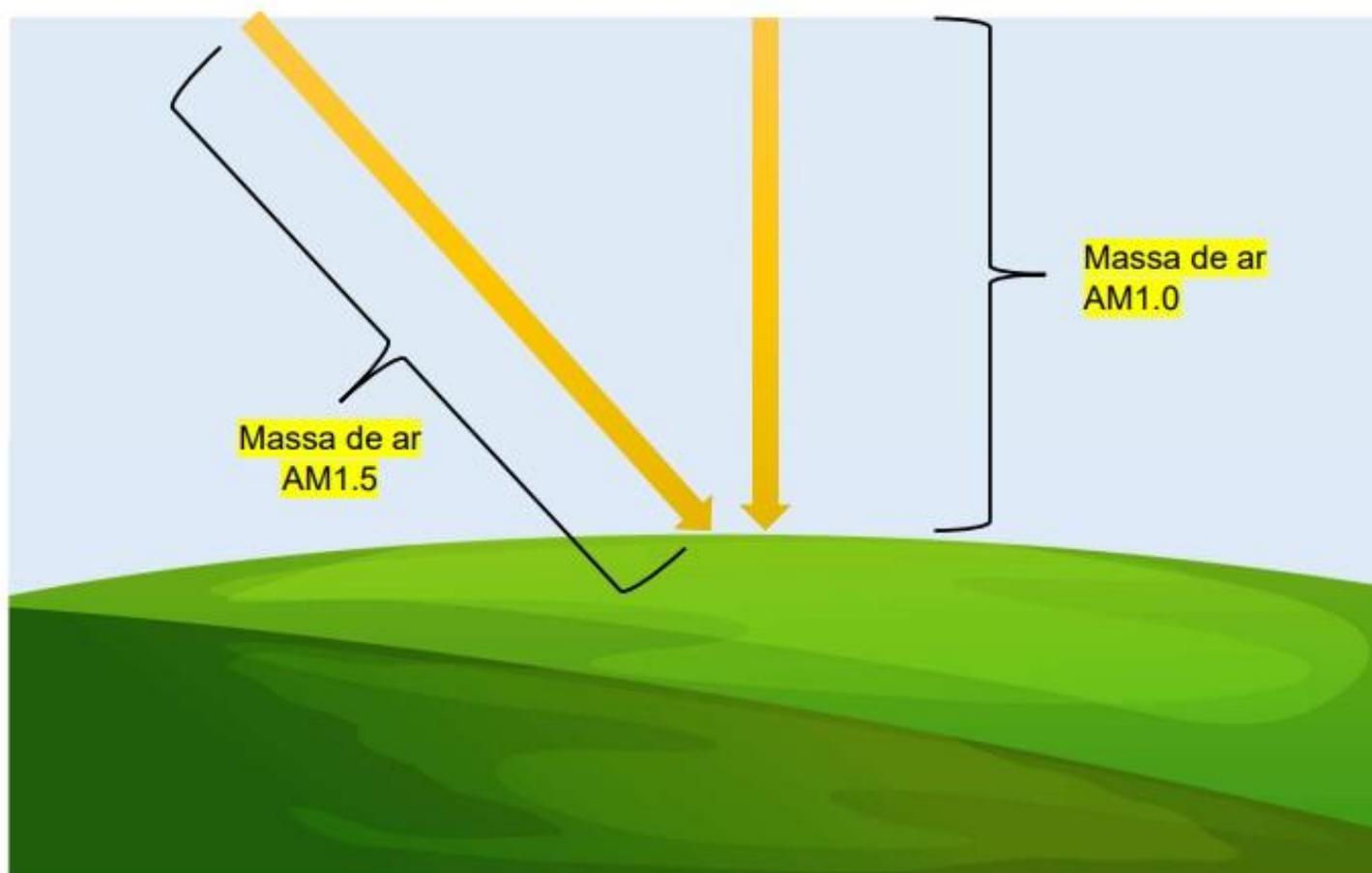
Acre	15°	Paraíba	15°
Alagoas	15°	Paraná	25°
Amapá	15°	Pernambuco	15°
Amazonas	15°	Piauí	15°
Bahia	15°	Rio de Janeiro	22°
Ceará	15°	Rio Grande do Norte	15°
Espírito Santo	20°	Rio Grande do Sul	40°
Goiás	16°	Rondônia	15°
Maranhão	15°	Roraima	15°
Mato Grosso	15°	Santa Catarina	32°
Mato Grosso do Sul	20°	São Paulo	23°
Minas Gerais	19°	Sergipe	15°
Pará	15°	Tocantins	15°

Latitude do lugar	Ângulo no inverno	Ângulo no verão
0 a 15°	15°	15°
15 a 25°	Latitude	Latitude
25 a 30°	Latitude + 5°	Latitude - 5°
30 a 35°	Latitude + 10°	Latitude + 10°
35 a 40°	Latitude + 15°	Latitude + 15°
> 40°	Latitude + 15°	Latitude + 20°



Radiação solar

- Massa de ar



Massa de ar é a espessura da camada atmosférica atravessada pelos raios solares.

Nos locais próximos do equador os raios atravessam uma massa de ar reduzida, pois os raios solares incidem de forma perpendicular.

Nos locais próximos aos polos do planeta os raios atravessam uma massa de ar maior, pois os raios incidem de forma inclinada.

A massa de AM1.5 é a massa padronizada pela indústria fotovoltaica.

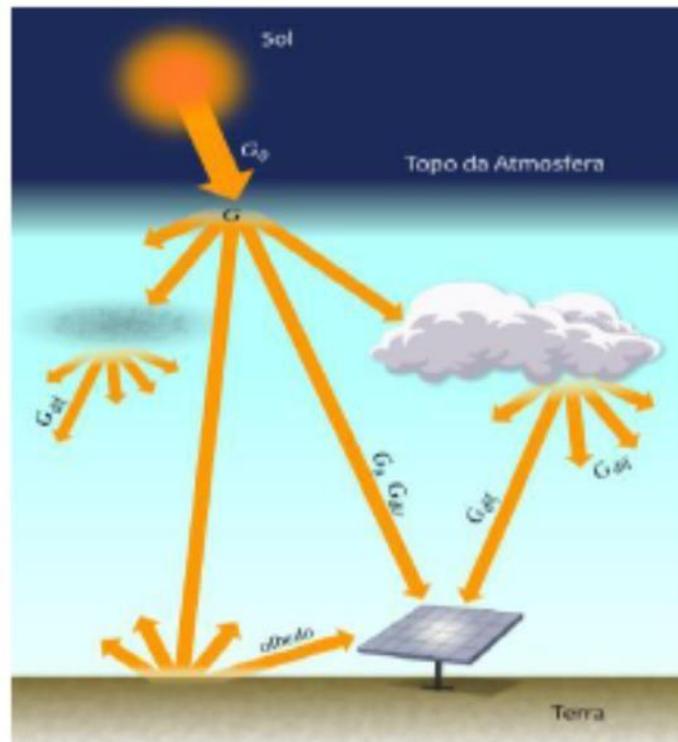
A massa de ar altera o espectro da radiação solar (que mostramos nos slides anteriores).

Os módulos fotovoltaicos são testados de acordo com um padrão espectral AM1.5.



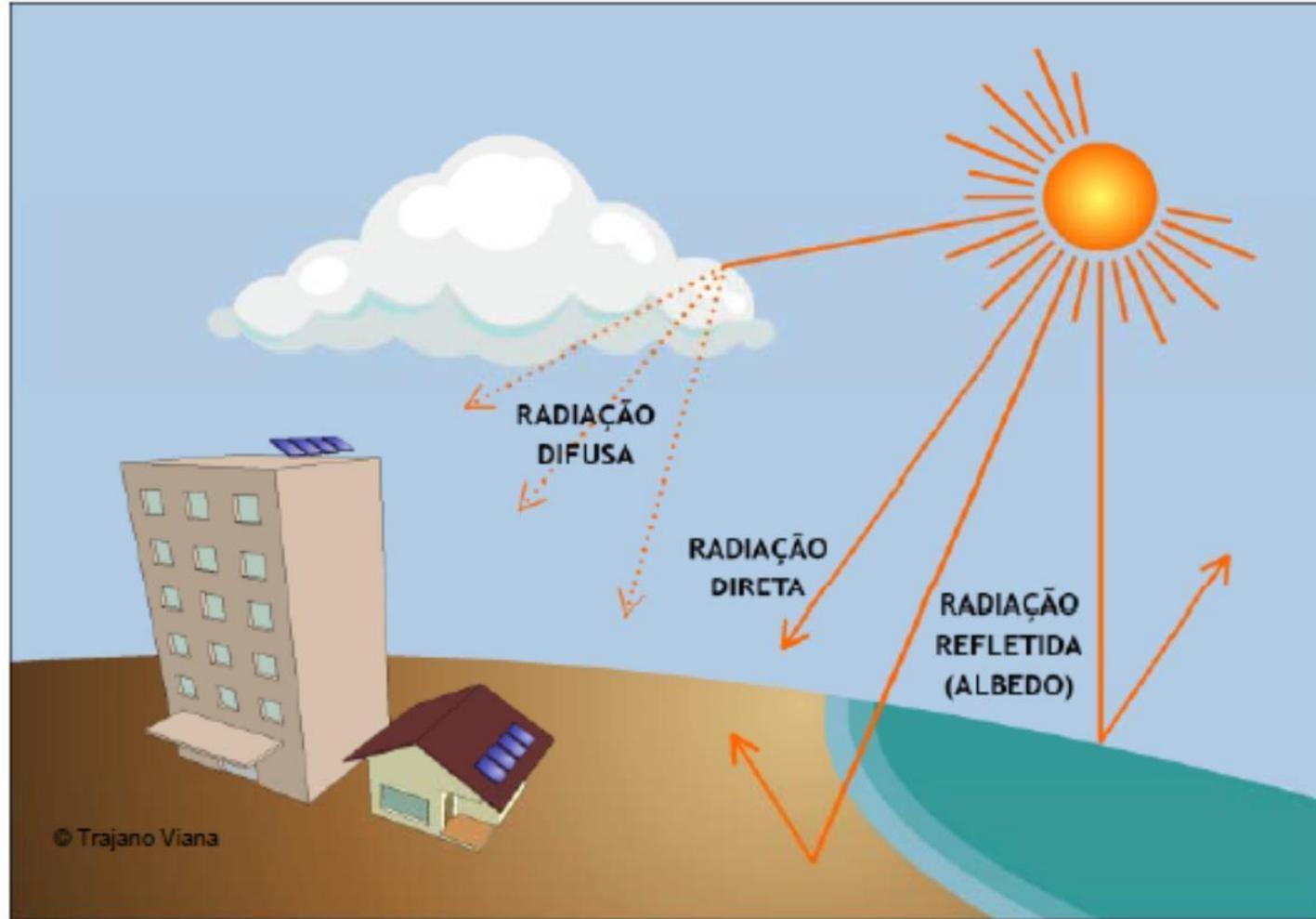
A **energia solar incidente na superfície do planeta** sofre a influência de processos físicos, que **reduzem a intensidade da radiação ao longo do percurso.**

Ao incidir sobre uma área próxima à superfície da Terra, a radiação solar pode ser dividida nas seguintes componentes:



Componentes da Radiação Solar:

- **Direta (G_{dir}):** linha reta entre sol e a superfície da Terra
- **Difusa (G_{dif}):** espalhamento que ocorre na trajetória da radiação solar
- **Albedo:** luz difundida a partir da superfície da Terra



Radiação Solar

Componentes

- Direta
- Difusa
- de Albedo

Irradiância Irradiação



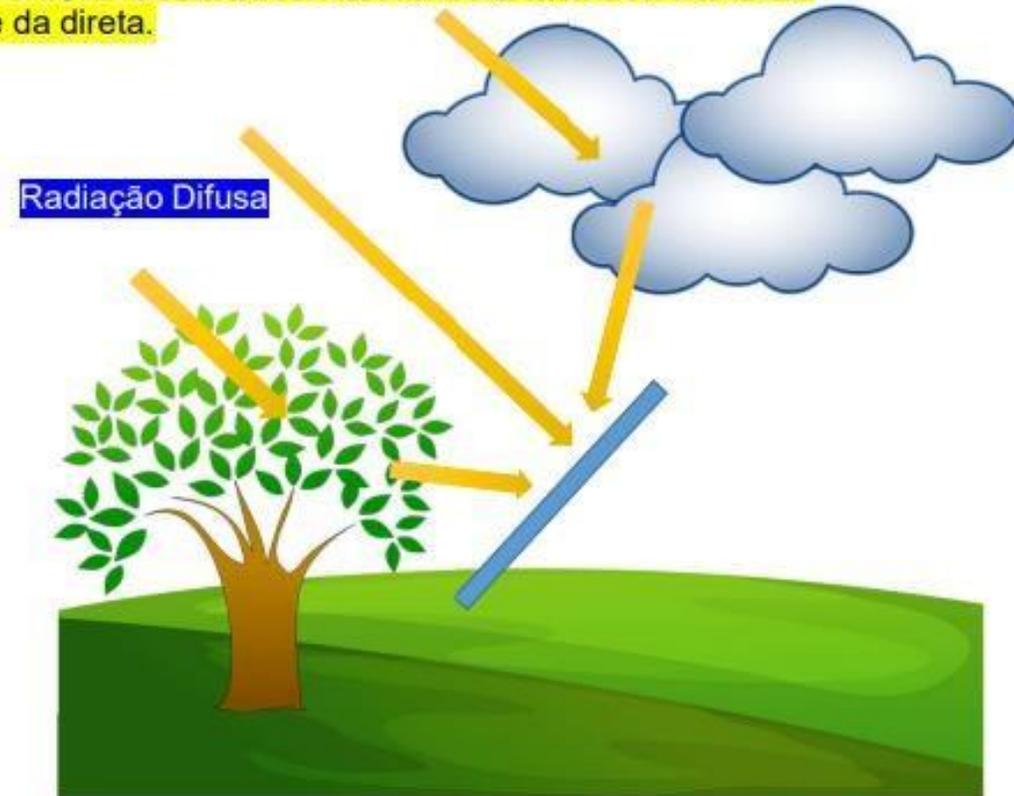
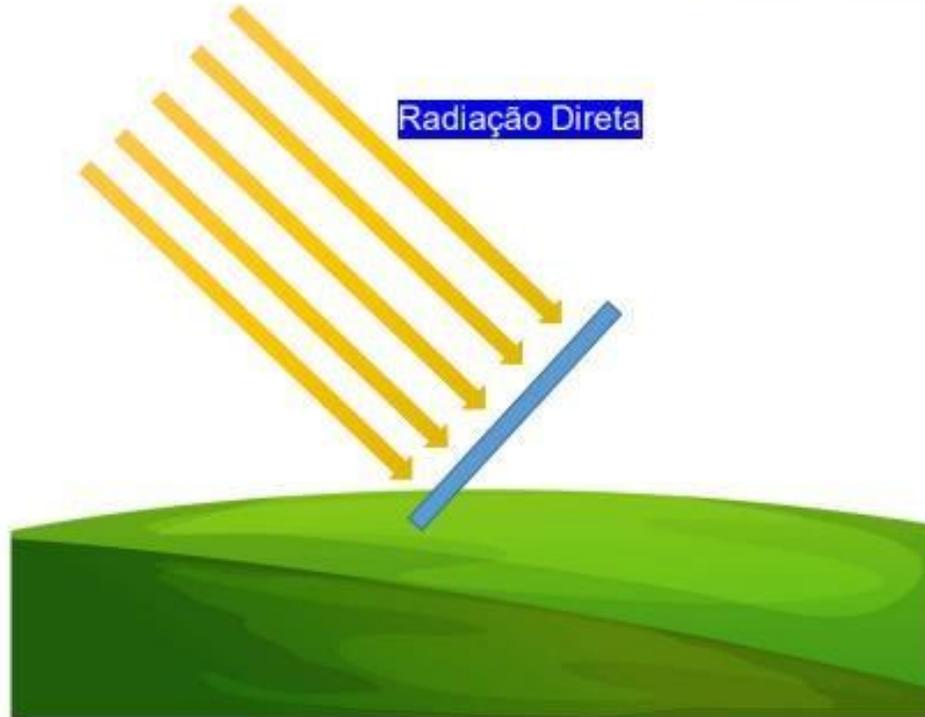
Radiação solar

- Radiação direta, difusa e global

Direta: incide perpendicularmente à superfície coletora, com todos os raios na mesma direção. É o tipo de radiação que existe em dias de céu limpo e azul.

Difusa: radiação espalhada pela atmosfera e refletida por objetos. Não tem uma direção definida. É o tipo de radiação preponderante nos dias nublados.

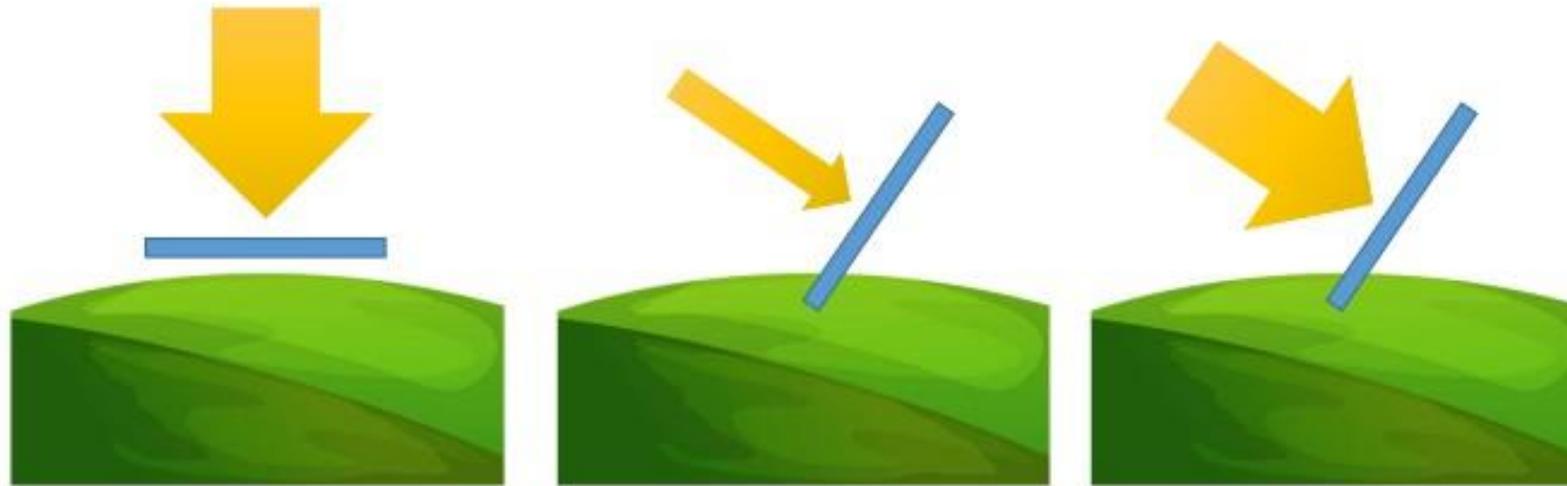
Global: Toda a radiação que incide sobre uma superfície coletora. É a soma da difusa e da direta.





Radiação solar

- Irradiação global horizontal, normal inclinada e global inclinada



Irradiação Global Horizontal

Irradiação Normal Inclinada

Irradiação Global Inclinada

Algumas bases solarimétricas trazem informações sobre a **irradiação (energia/m²) global horizontal**, a **irradiação normal inclinada** e a **irradiação global inclinada**.

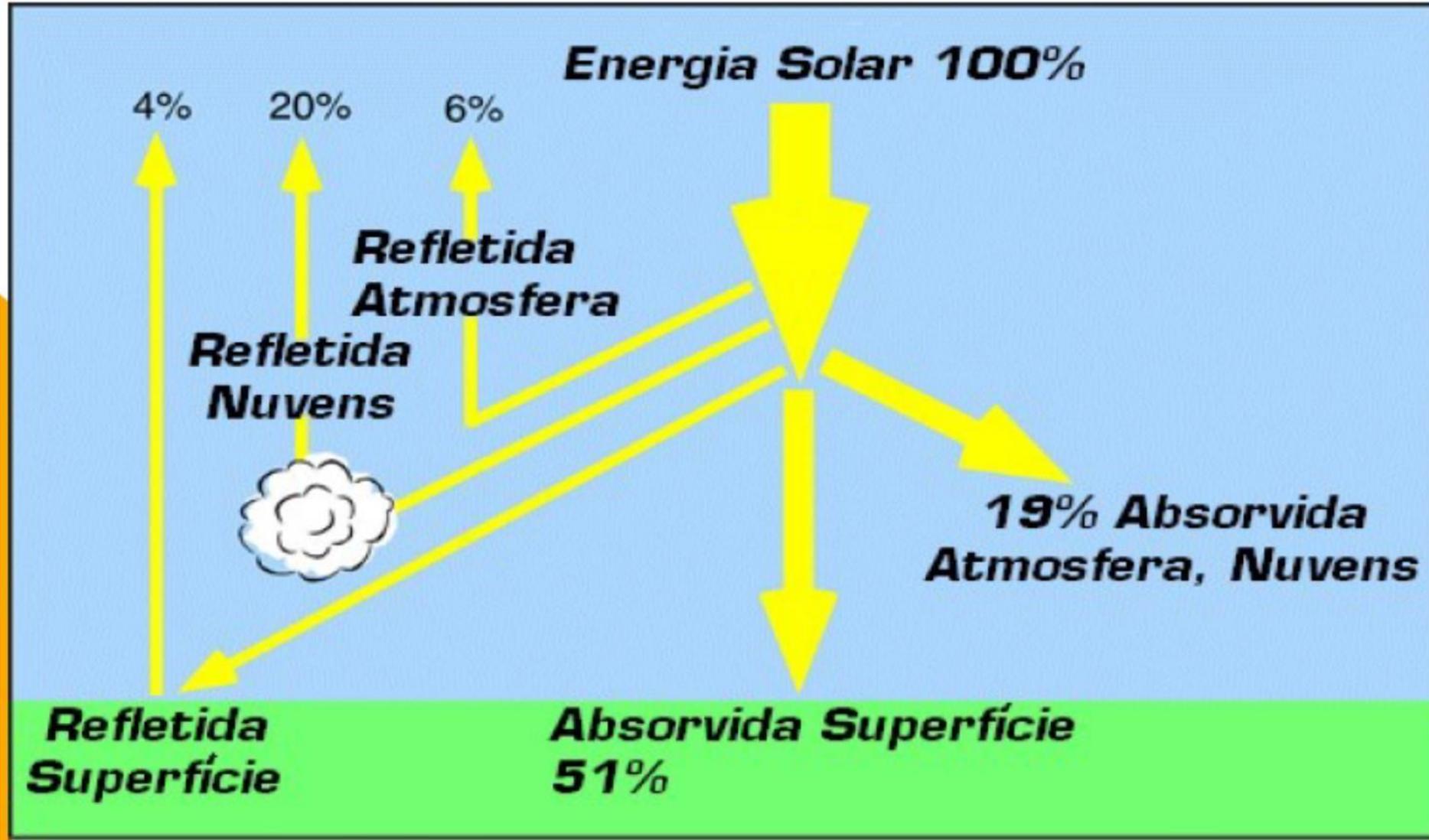
Global horizontal: toda a irradiação incidente em um coletor horizontal.

Normal inclinada: componente de irradiação direta que incide perpendicularmente à superfície do coletor.

Global inclinada: toda a irradiação incidente em um coletor inclinado.



2.B RADIAÇÃO SOLAR SOBRE A TERRA





27/03/2023

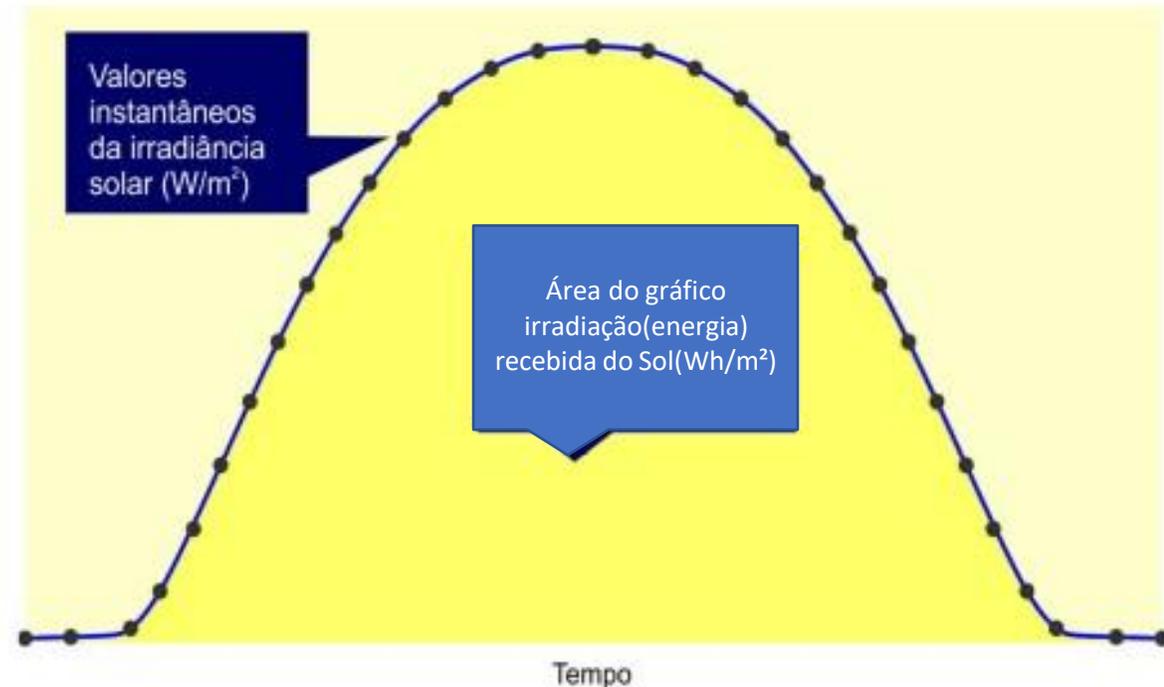
Radiação solar

- Dicionário: **radiação, irradiância e irradiação**

Radiação: são as ondas eletromagnéticas emitidas pelo Sol em direção à Terra.

Irradiância: é a potência (intensidade) da luz solar medida em W/m^2 (watts por metro quadrado).

Irradiação: é a energia solar incidente em uma superfície durante um determinado intervalo de tempo, medida em Wh/m^2 (watts-hora por metro quadrado).





ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Radiação Solar

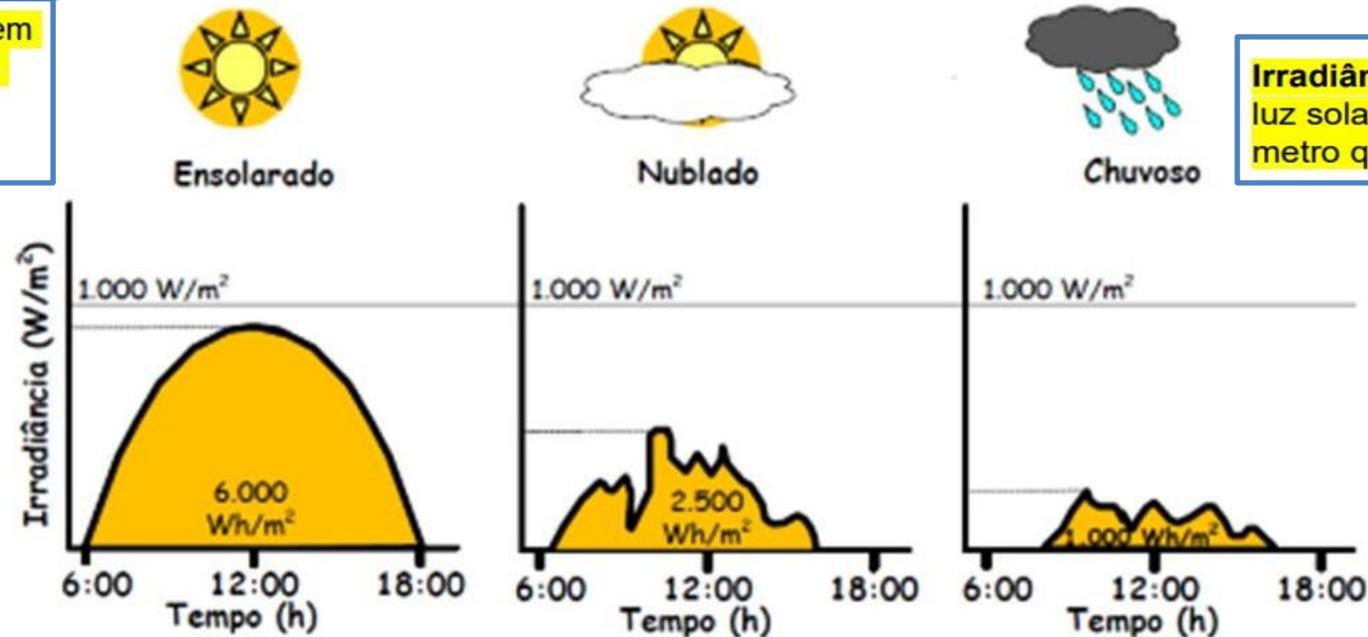
28/03/2023

Exemplo de perfis de Irradiação solar diária (área laranja):

Irradiação: é a energia solar incidente em uma superfície durante um determinado intervalo de tempo, medida em Wh/m^2 (watts-hora por metro quadrado).

Radiação: são as ondas eletromagnéticas emitidas pelo Sol em direção à Terra.

Irradiância: é a potência (intensidade) da luz solar medida em W/m^2 (watts por metro quadrado).

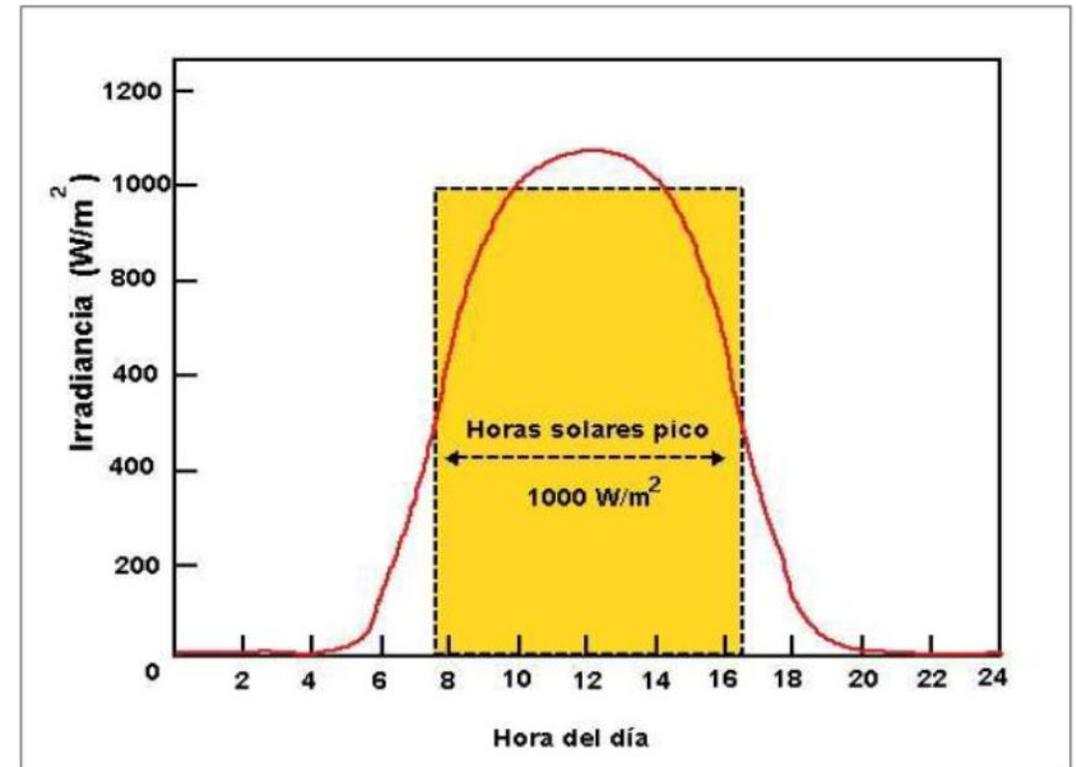
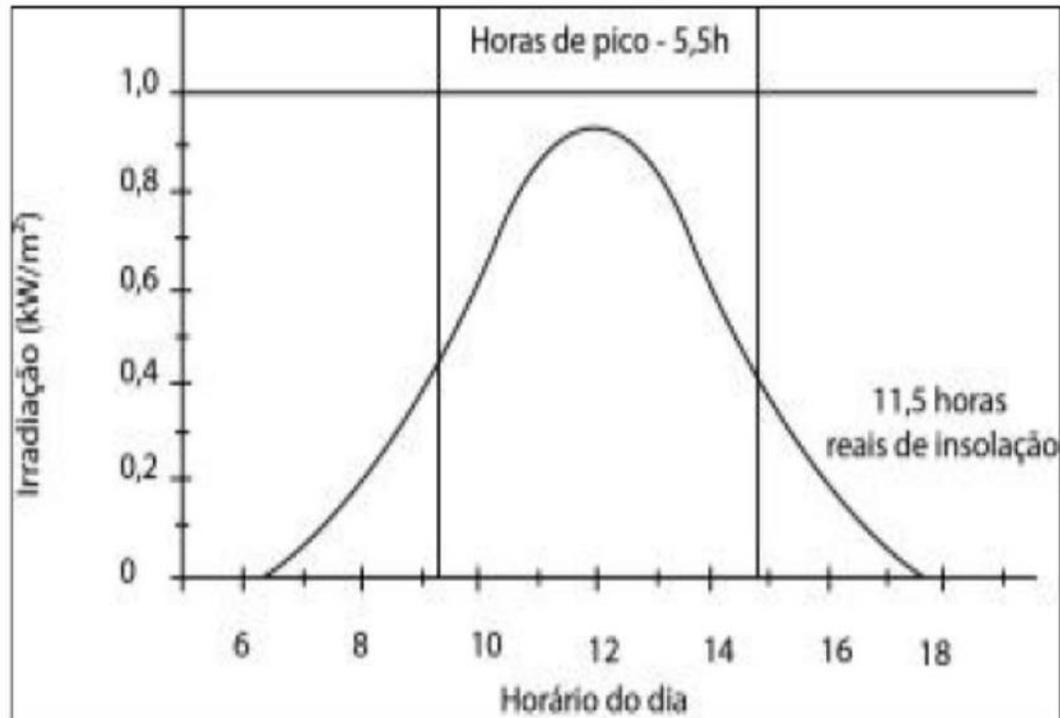


Fonte: Pinho, Galdino (2014)



HORAS DE SOL DE PICO

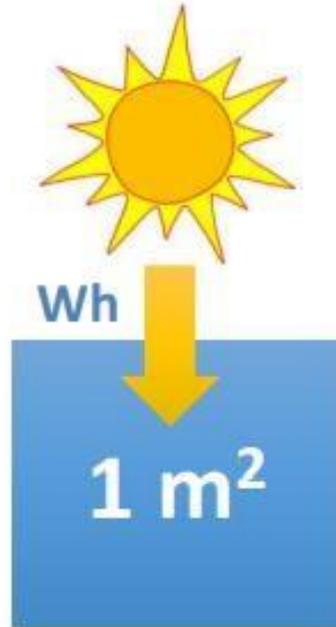
- ✓ As **horas de sol pico** estão compreendidas entre **duas a três horas antes e depois do meio-dia-solar**.
- ✓ O **meio-dia-solar** acontece quando os **raios de sol** estão se **projetando na direção Norte-Sul**, no meridiano local.
- ✓ **Meio dia solar varia ao longo do ano**, na maioria das vezes será diferente do **meio dia no horário civil**.





Radiação solar

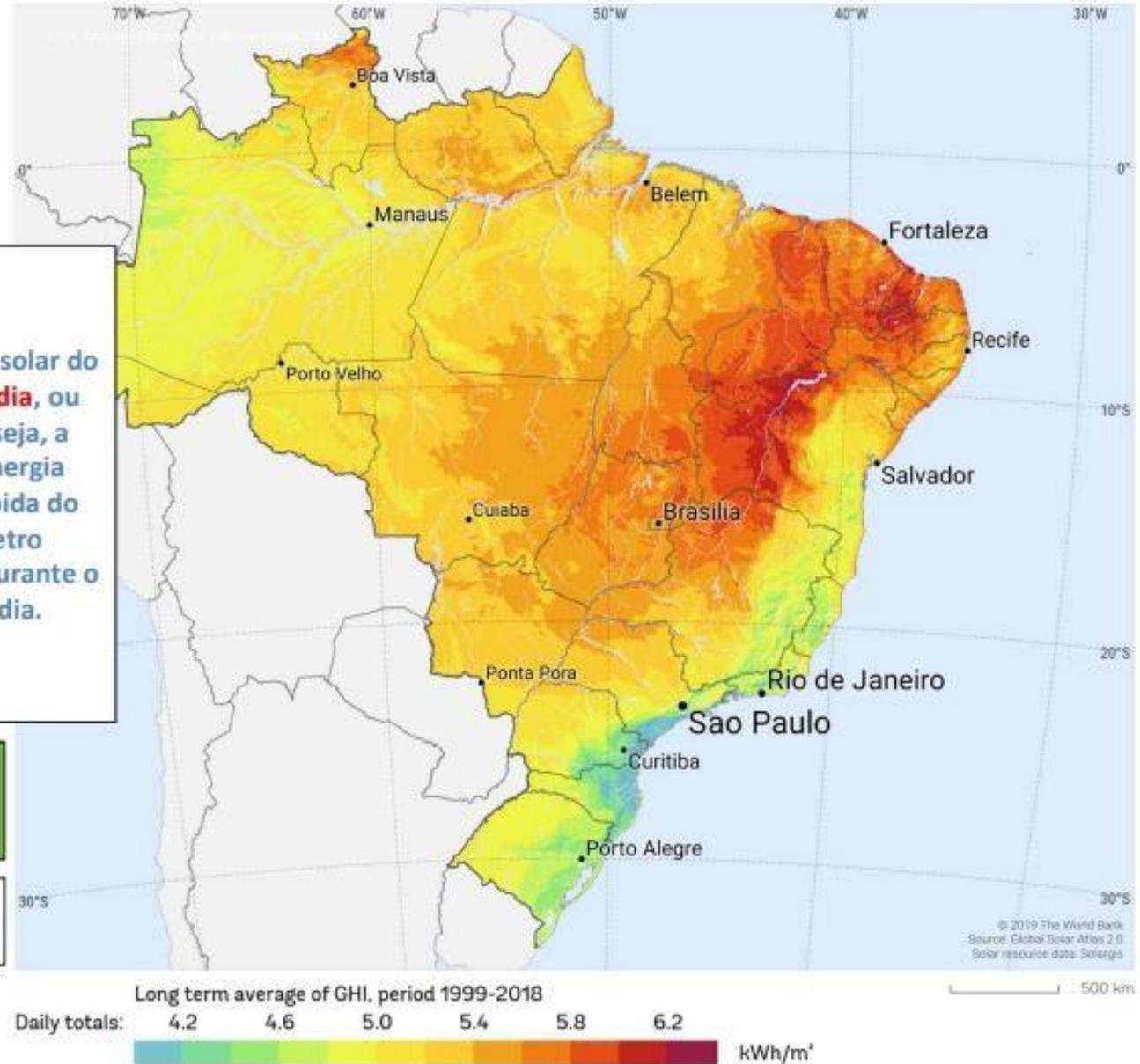
- Mapa solarimétrico



Mapa da irradiação solar do Brasil em **Wh/m²/dia**, ou **Wh/(m².dia)**, ou seja, a quantidade de energia (watts-hora) recebida do Sol por cada metro quadrado de área durante o período de um dia.

1 kWh =
1000 Wh

Fonte:
Global Solar Atlas





- Bases de dados solarimétricos disponíveis na internet: <https://globalsolaratlas.info>



GLOBAL SOLAR ATLAS
GLOBAL WIND ATLAS | ENERGYDATA.INFO

Search locations

Map Sites PV study Download About Contact

Welcome to Global Solar Atlas v2.3 released in Jul 2020. What's new?

SITE INFO

Map data Per day

<input checked="" type="checkbox"/>	Specific photovoltaic power output	PVOUT specific	4.772 kWh/kWp per day
	Direct normal irradiation	DNI	5.720 kWh/m ² per day
	Global horizontal irradiation	GHI	5.786 kWh/m ² per day
	Diffuse horizontal irradiation	DIF	1.909 kWh/m ² per day
	Global tilted irradiation at optimum angle	GTI opta	6.110 kWh/m ² per day
	Optimum tilt of PV modules	OPTA	21 / 0 °
	Air temperature	TEMP	24.9 °C
	Terrain elevation	ELE	536 m

500 km / 500 mi

Satellite PVOUT Show sites

Leaflet | PVOUT map © 2020 Solargis, © OpenStreetMap

WORLD BANK GROUP ESMAP SOLARGIS

Terms of use



No Brasil temos dois principais estudos sobre a radiação solar em território brasileiro: o “**Atlas Solarimétrico do Brasil**” – produzido pelo **CRESESB** (Centro de Referência em Energia Solar e Eólica Sergio de Salvo Brito); e o “**Atlas Brasileiro de Energia Solar**” – produzido pela Universidade Federal de Santa Catarina em conjunto/para com o **Projeto SWERA**.





- Principal
- O Cresesb
- Links
- Fale conosco

→ Casa Solar Eficiente

Centros de
→ Demonstração do
SENAI

→ Tutorial

→ Perguntas Frequentes
(F.A.Q)

→ **Potencial Energético**

→ Publicações

→ Legislação

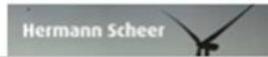
→ Eventos

→ Guia de Instituições e
Empresas

Em Destaque

Destaque

» **Cepel/Cresesb publica edição em português do último livro de Hermann Scheer**

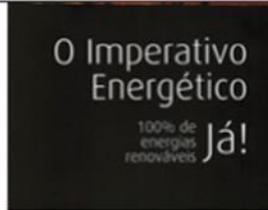


O autor é uma referência mundial em debate sobre fontes renováveis, e seus livros têm despertado crescente interesse no Brasil

Potencial Eólico

Potencial Solar

Fontes de dados eólicos e solares



parte das atividades do Cresesb (Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito, o Cepel traz ao público brasileiro a edição em português de Der energetische Imperativ ("O Imperativo Energético"), última obra literária do renomado economista e sociólogo alemão Hermann Scheer, falecido em 2010. A iniciativa foi viabilizada com recursos do Ministério de Minas e Energia (MME), no âmbito de um Convênio de Cooperação Técnica e Financeira, e visa estimular o debate sobre formas sustentáveis de geração de energia, com baixa emissão de gases de efeito estufa.

Coordenada pelo pesquisador do Cepel Ary Vaz, chefe do Departamento de Materiais, Eficiência Energética e Geração Complementar, a edição em português do livro contou com extensa revisão técnica de vários pesquisadores do Centro. "O Imperativo Energético" foi a terceira obra de Scheer editada em língua portuguesa pelo Cepel/Cresesb. Anteriormente, já haviam sido publicados "O

Mercado de Aerogeradores de Pequeno Porte no Brasil



Participe da pesquisa de Mercado de Aerogeradores de Pequeno Porte no Brasil, desenvolvida pelo Cepel, preenchendo o [questionário](#) para o potencial consumidor final

Novo Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos



O novo Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (ed. 2014) encontra-se disponível para download gratuito. Essa nova edição revisada e ampliada aborda, além de sistemas fotovoltaicos isolados de pequeno porte, sistemas interligados à rede. [Mais informações...](#)

Sistema de Aquisição de Dados da Casa Solar



Monitore a operação em tempo real e consulte o histórico de dados medidos do sistema



Site do CRESESB:

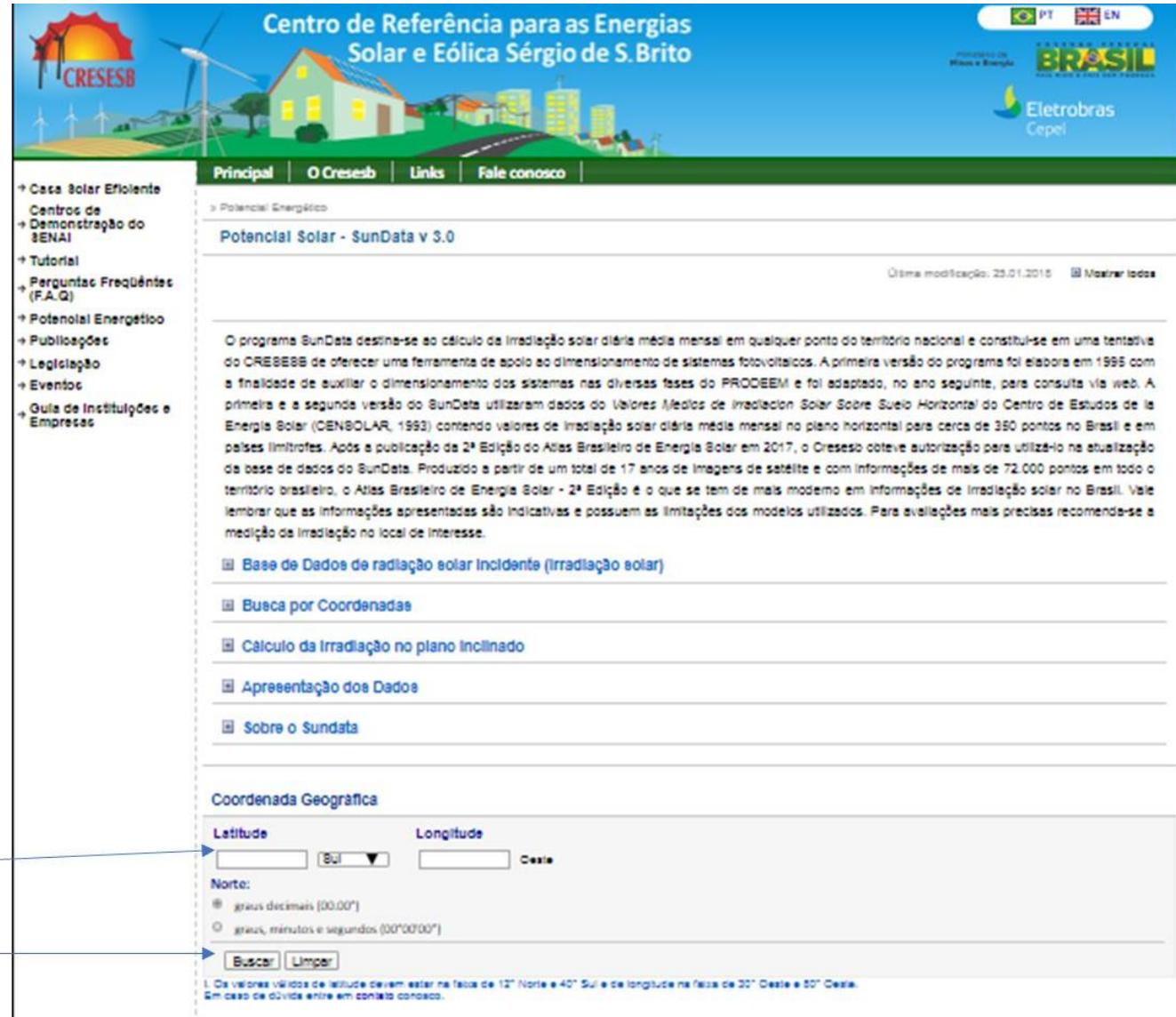
<http://www.cresesb.cepel.br/>

Roraima está no Hemisfério Norte

Coordenadas de Boa Vista

2°49'11.6"N 60°41'00.7"W

2.819887, -60.683515



The screenshot shows the website of the Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB). The page is titled "Potencial Solar - SunData v 3.0" and includes a navigation menu with options like "Principal", "O Cresesb", "Links", and "Fale conosco". A sidebar on the left lists various resources such as "Casa Solar Eficiente", "Centros de Demonstração do SENAI", and "Tutorial". The main content area provides information about the SunData program, its purpose, and a list of links for further exploration, including "Base de Dados de radiação solar incidente", "Busca por Coordenadas", and "Cálculo da Irradiação no plano Inclinado". At the bottom, there is a "Coordenada Geográfica" section with input fields for latitude and longitude, and a "Buscar" button. A note at the bottom states: "Os valores válidos de latitude devem estar na faixa de 12° Norte e 40° Sul e de longitude na faixa de 30° Oeste e 80° Oeste. Em caso de dúvida entre em contato conosco."



Casa Solar Eficiente
Centros de Demonstração do SENAI

Tutorial

Perguntas Frequentes (F.A.Q)

Potencial Energético

Publicações

Legislação

Eventos

Guia de Instituições e Empresas

» Potencial Energético

Potencial Solar - SunData v 3.0

Última modificação: 25.01.2018 [Mostrar todos](#)

O programa SunData destina-se ao cálculo da irradiação solar diária média mensal em qualquer ponto do território nacional e constitui-se em uma tentativa do CRESESB de oferecer uma ferramenta de apoio ao dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. A primeira versão do programa foi elaborada em 1995 com a finalidade de auxiliar o dimensionamento dos sistemas nas diversas fases do PRODEEM e foi adaptado, no ano seguinte, para consulta via web. A primeira e a segunda versão do SunData utilizaram dados do *Valores Médios de Irradiacion Solar Sobre Suelo Horizontal* do Centro de Estudos de la Energia Solar (CENSOLAR, 1993) contendo valores de irradiação solar diária média mensal no plano horizontal para cerca de 350 pontos no Brasil e em países limítrofes. Após a publicação da 2ª Edição do Atlas Brasileiro de Energia Solar em 2017, o Cresesb obteve autorização para utilizá-lo na atualização da base de dados do SunData. Produzido a partir de um total de 17 anos de imagens de satélite e com informações de mais de 72.000 pontos em todo o território brasileiro, o Atlas Brasileiro de Energia Solar - 2ª Edição é o que se tem de mais moderno em informações de irradiação solar no Brasil. Vale lembrar que as informações apresentadas são indicativas e possuem as limitações dos modelos utilizados. Para avaliações mais precisas recomenda-se a medição da irradiação no local de interesse.

[Base de Dados de radiação solar incidente \(irradiação solar\)](#)

[Busca por Coordenadas](#)

[Cálculo da Irradiação no plano Inclinado](#)

[Apresentação dos Dados](#)

[Sobre o Sundata](#)

Coordenada Geográfica

Latitude

2 ° 49 ' 11.6 " Norte

Longitude

60 ° 41 ' 7 " Oeste

Norte:

graus decimais (00.00°)

graus, minutos e segundos (00°00'00")

Roraima está no Hemisfério Norte

Coordenadas de Boa Vista

2°49'11.6"N 60°41'00.7"W

2.819887, -60.683515



Energia tem como unidade de medida padrão kwh

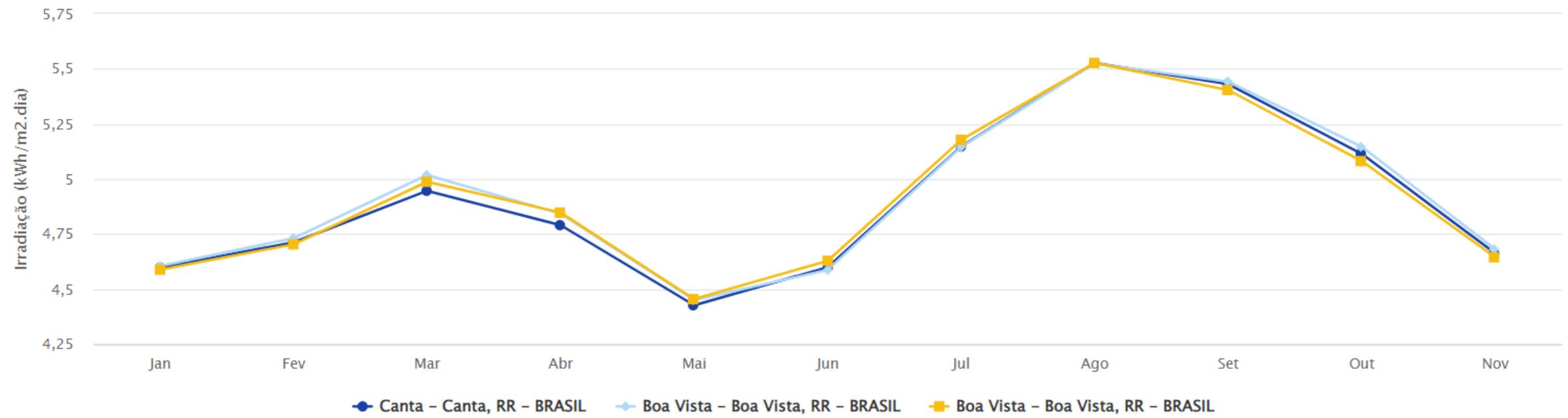
Localidades próximas

Latitude: 2,819889° N
Longitude: 60,685278° O

#	Estação	Município	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m ² .dia]																
					Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
✓	Canta	Canta	RR	BRASIL	2,8° N	60,649° O	4,6	4,60	4,71	4,95	4,79	4,43	4,60	4,69	5,15	5,53	5,43	5,11	4,66	4,89	1,10
✓	Boa Vista	Boa Vista	RR	BRASIL	2,8° N	60,749° O	7,4	4,60	4,73	5,02	4,84	4,45	4,59	4,71	5,15	5,53	5,44	5,15	4,68	4,91	1,08
✓	Boa Vista	Boa Vista	RR	BRASIL	2,9° N	60,649° O	9,8	4,59	4,70	4,99	4,85	4,45	4,63	4,71	5,18	5,53	5,40	5,08	4,64	4,90	1,07

Irradiação Solar no Plano Horizontal para Localidades próximas

2,819889° N; 60,685278° O



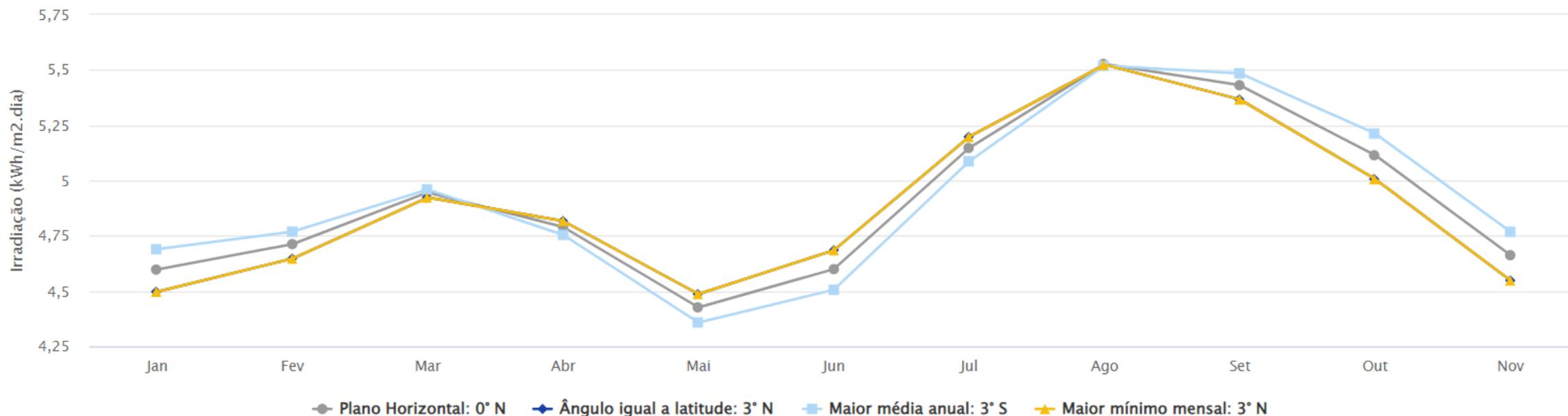


Estação: Canta
Município: Canta, RR - BRASIL
Latitude: 2,8° N
Longitude: 60,649° O
Distância do ponto de ref. (2,819889° N; 60,685278° O): 4,6 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]													
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	4,60	4,71	4,95	4,79	4,43	4,60	4,69	5,15	5,53	5,43	5,11	4,66	4,89	1,10
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	3° N	4,50	4,65	4,92	4,82	4,49	4,68	4,77	5,20	5,52	5,37	5,01	4,55	4,87	1,04
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	3° S	4,69	4,77	4,96	4,75	4,36	4,51	4,60	5,09	5,52	5,48	5,21	4,77	4,89	1,16
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	3° N	4,50	4,65	4,92	4,82	4,49	4,68	4,77	5,20	5,52	5,37	5,01	4,55	4,87	1,04

Irradiação Solar no Plano Inclinado –Canta–Canta, RR–BRASIL

2,8° N; 60,649° O





Estação: Boa Vista

Município: Boa Vista , RR - BRASIL

Latitude: 2,8° N

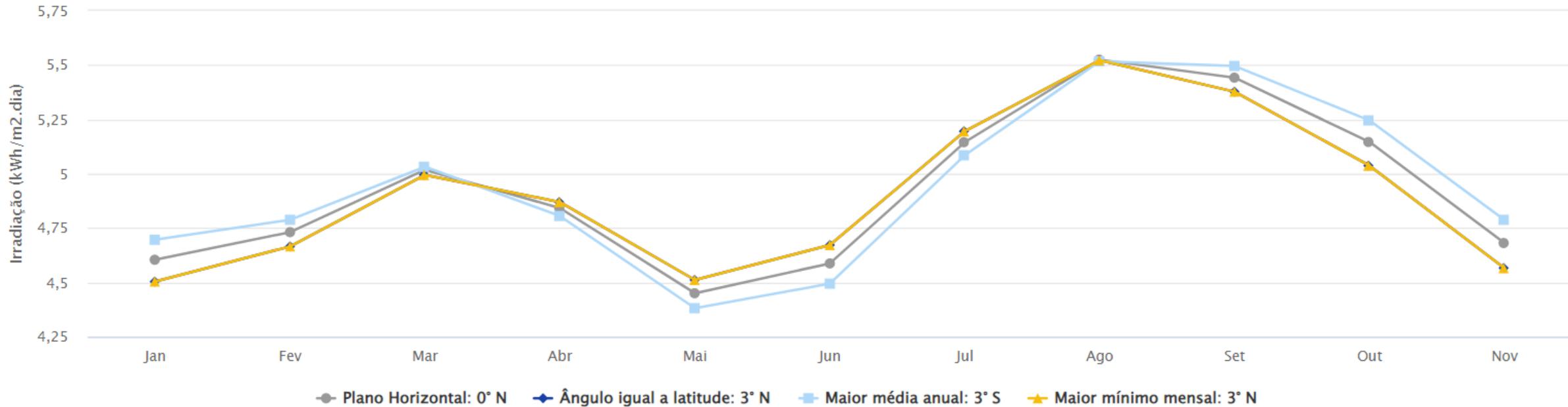
Longitude: 60,749° O

Distância do ponto de ref. (2,819889° N; 60,685278° O) : 7,4 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	4,60	4,73	5,02	4,84	4,45	4,59	4,71	5,15	5,53	5,44	5,15	4,68	4,91	1,08
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	3° N	4,50	4,67	4,99	4,87	4,51	4,67	4,79	5,20	5,52	5,38	5,04	4,57	4,89	1,02
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	3° S	4,70	4,79	5,03	4,81	4,38	4,49	4,63	5,08	5,52	5,50	5,25	4,79	4,91	1,14
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	3° N	4,50	4,67	4,99	4,87	4,51	4,67	4,79	5,20	5,52	5,38	5,04	4,57	4,89	1,02

Irradiação Solar no Plano Inclinado –Boa Vista–Boa Vista, RR–BRASIL

2,8° N; 60,749° O



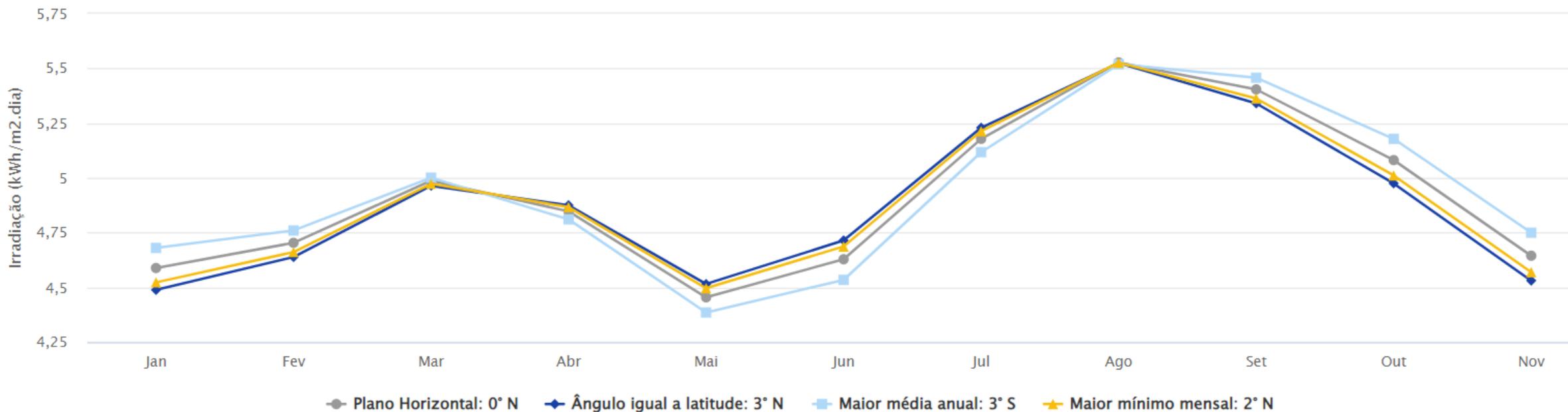


Estação: Boa Vista
Município: Boa Vista , RR - BRASIL
Latitude: 2,9° N
Longitude: 60,649° O
Distância do ponto de ref. (2,819889° N; 60,685278° O) : 9,8 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	4,59	4,70	4,99	4,85	4,45	4,63	4,71	5,18	5,53	5,40	5,08	4,64	4,90	
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	3° N	4,49	4,64	4,96	4,87	4,51	4,71	4,79	5,23	5,52	5,34	4,97	4,53	4,88	
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	3° S	4,68	4,76	5,00	4,81	4,38	4,53	4,63	5,12	5,52	5,46	5,18	4,75	4,90	
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	2° N	4,52	4,66	4,97	4,87	4,50	4,69	4,77	5,21	5,53	5,36	5,01	4,57	4,89	

Irradiação Solar no Plano Inclinado –Boa Vista–Boa Vista, RR–BRASIL

2,9° N; 60,649° O





Radiação solar

- Instrumentos de medição da radiação solar

Radiação: são as ondas eletromagnéticas emitidas pelo Sol em direção à Terra.

Irradiância: é a potência (intensidade) da luz solar medida em W/m^2 (watts por metro quadrado).

O que podemos medir: **irradiância** (potência ou intensidade da luz solar expressa em W/m^2 (watts por metro quadrado))



Piranômetro: mede a irradiância global (difusa + direta) da luz solar.



Pireliômetro: mede a irradiância da luz solar direta.



Célula fotovoltaica de precisão: célula fotovoltaica calibrada, usada para medições da irradiância em sistemas de monitoramento. Tem uma resposta espectral inferior à do piranômetro e do pireliômetro.



Radiação solar

- Instrumentos de medição da radiação solar



Albedômetro: usado na medição da luz refletida. É útil em projetos de usinas solares com módulos bifaciais.

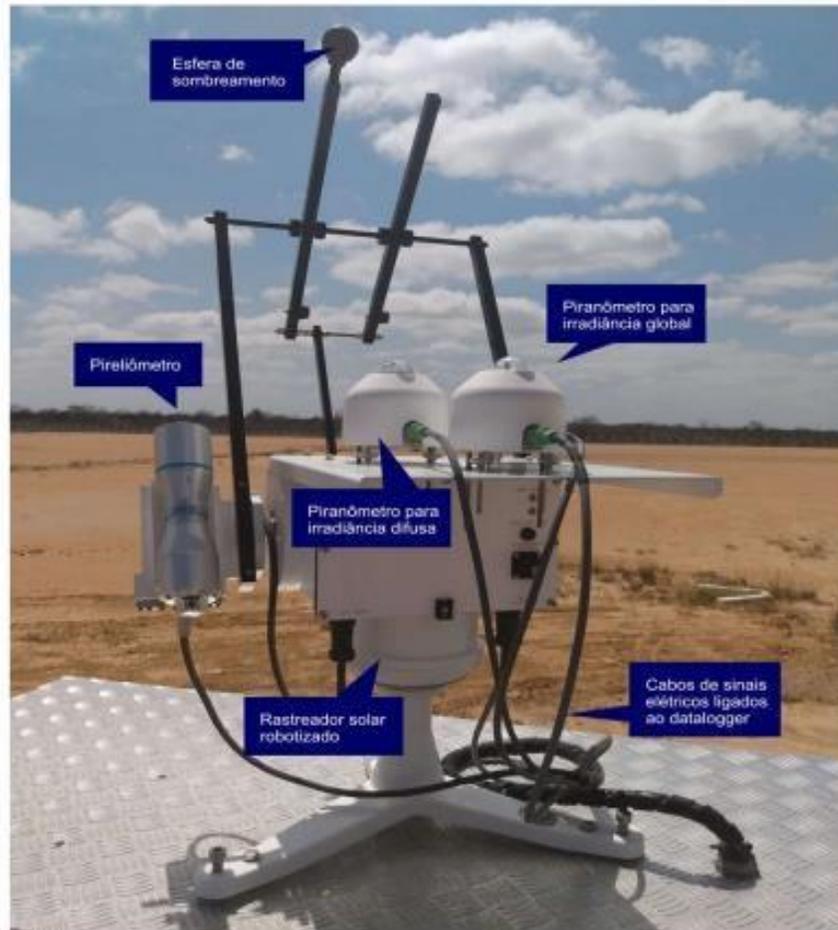
Radiação: são as ondas eletromagnéticas emitidas pelo Sol em direção à Terra.



Radiação solar

- Instrumentos de medição da radiação solar

Estação solarimétrica: reúne vários instrumentos (piranômetro, pireliômetro, termômetro, anemômetro, higrômetro etc).



Estação solarimétrica científica: usada em estações meteorológicas e centros de pesquisa. Reúne um conjunto de instrumentos de precisão.

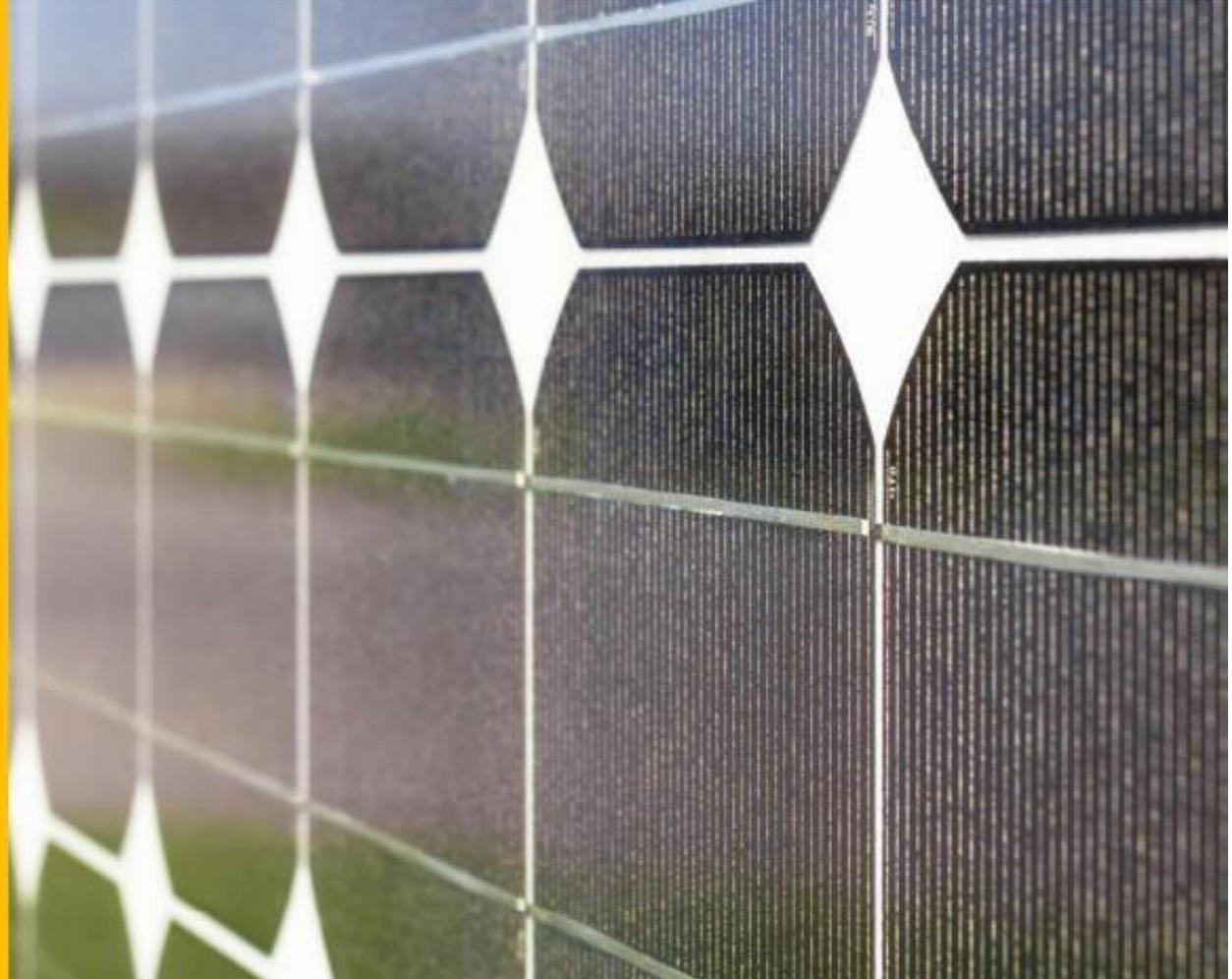
Datalogger: é o componente da estação solarimétrica que registra as medições efetuadas. Os dados podem ser transmitidos ou armazenados em um cartão de memória.





Fundamentos de Energia Solar Fotovoltaica

Células
fotovoltaicas





O silício apresenta-se normalmente como areia.

- ✓ Através de **métodos adequados** obtém-se o **silício** em forma pura.
- ✓ O **crystal de silício puro não possui elétrons livres** e portanto é um **mau condutor elétrico**.
- ✓ Para **alterar essa deficiência acrescentam-se porcentagens de outros elementos**.
- ✓ Este processo denomina-se **dopagem**.
- ✓ Mediante a **dopagem do silício com o fósforo** obtém-se um material com **elétrons livres** ou material com **portadores de carga negativa (silício tipo N)**.
- ✓ Realizando o mesmo processo, mas **acrescentando Boro**, obtêm-se um material com características inversas, ou seja, **défice de elétrons** ou material com **cargas positivas livres (silício tipo P)**.



Célula fotovoltaica monocristalina: fabricação

- Purificação do silício



Matéria prima:
90% silício



Silício grau metalúrgico (produzido
no Brasil):
98% - 99% silício



Silício grau semiconductor
(ultrapuro):
99,9999% silício

O silício (símbolo: Si) é o principal material usado na fabricação de componentes eletrônicos e células fotovoltaicas. O silício deve ter um elevado grau de pureza para ser usado com essas finalidades.



Célula fotovoltaica monocristalina: fabricação

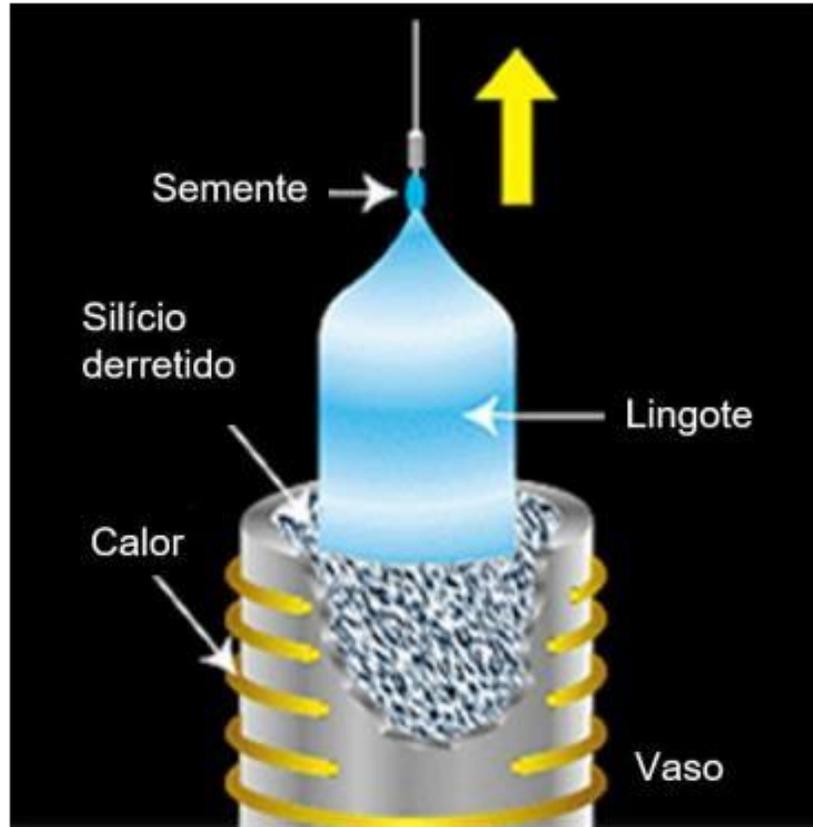
Lingote monocristalino



- As células de **silício monocristalino** são feitas através do corte de uma fina fatia de um lingote de silício cristalino.
- Cada célula que compõe um módulo fotovoltaico é confeccionada com uma fatia do lingote. Essa fatia tem o nome de *wafer* (bolacha).



Célula fotovoltaica monocristalina: fabricação



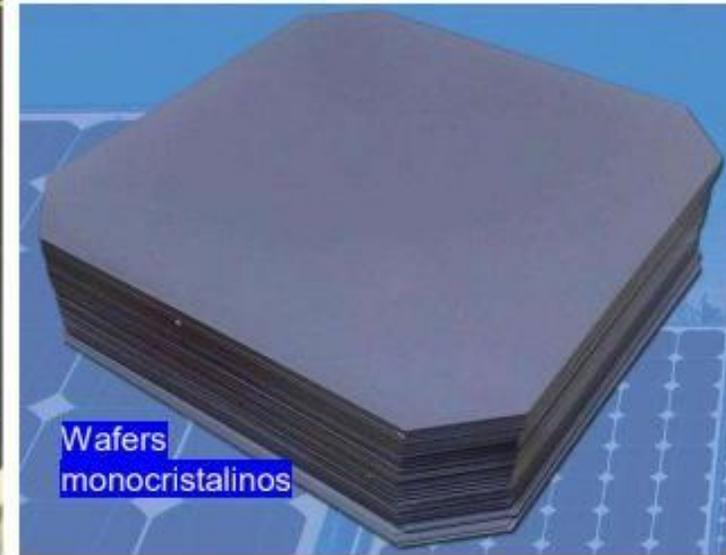
Processo de Czochralski de crescimento de lingote monocristalino





Célula fotovoltaica monocristalina: fabricação

- Wafers ou bolachas monocristalinas: fatias de silício obtidas pela serragem do lingote monocristalino





Célula fotovoltaica monocristalina: fabricação

- Célula monocristalina acabada





Célula fotovoltaica policristalina: fabricação

- Tecnologia multicristalina ou policristalina



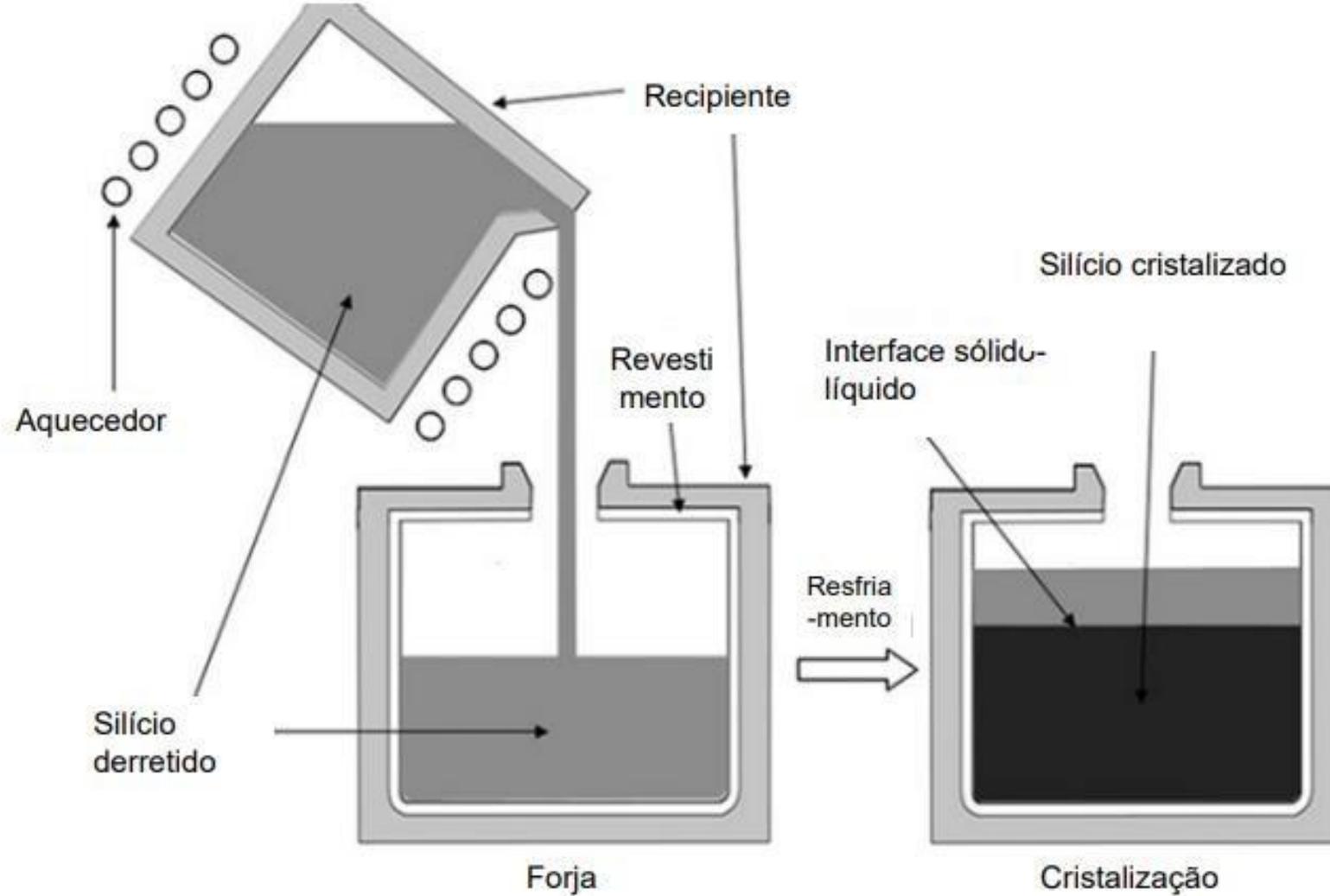
As células de **silício policristalino** são confeccionadas a partir de lingotes brutos, policristalinos.

Os lingotes são formados por um aglomerado de pequenos cristais derretidos.



Célula fotovoltaica policristalina: fabricação

- Fabricação do lingote policristalino





Célula fotovoltaica policristalina: fabricação

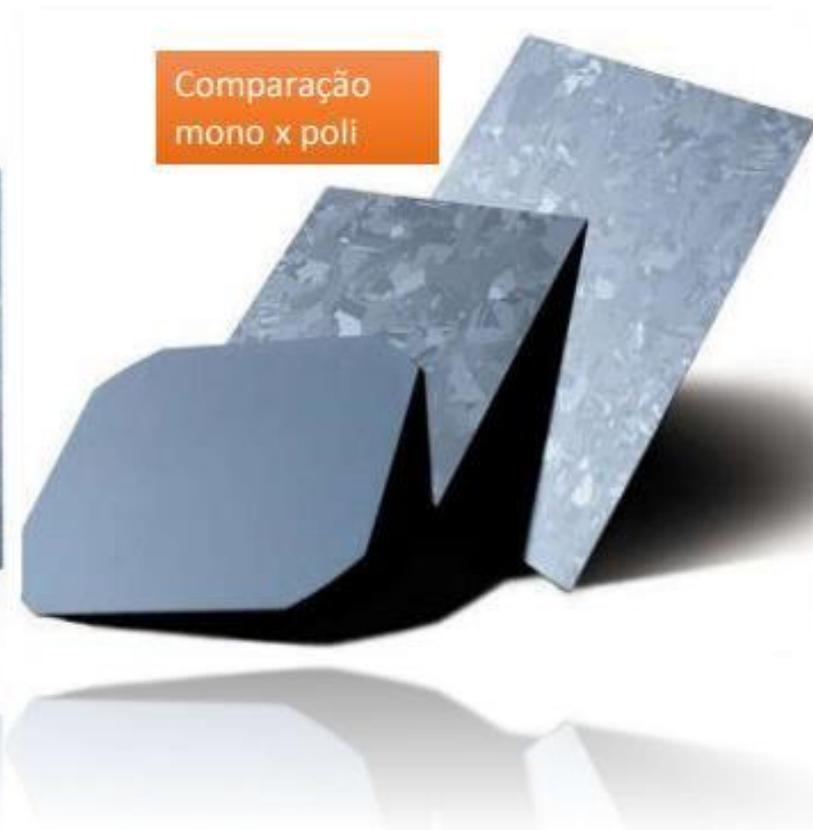
- Lingotes policristalinos





Célula fotovoltaica policristalina: fabricação

- Wafers policristalinos e célula policristalina





Novas tecnologias de células cristalinas

- Silício policristalino de alta eficiência ou quase-monocristalino



O processo de fabricação de uma célula fotovoltaica cristalina (mono ou poli) começa com a produção do lingote monocristalino ou policristalino (etapa 2), de onde são extraídos os wafers pelo processo de serragem. Os wafers depois são dopados e vão se transformar em células.



O processo de fabricação do **silício cast-mono** é uma adaptação do processo de fabricação do silício policristalino, com a adição de uma base monocristalina que funciona como semente de crescimento de cristais. O resultado são wafers (e células) quase-monocristalinas.



Células cast mono: fabricação

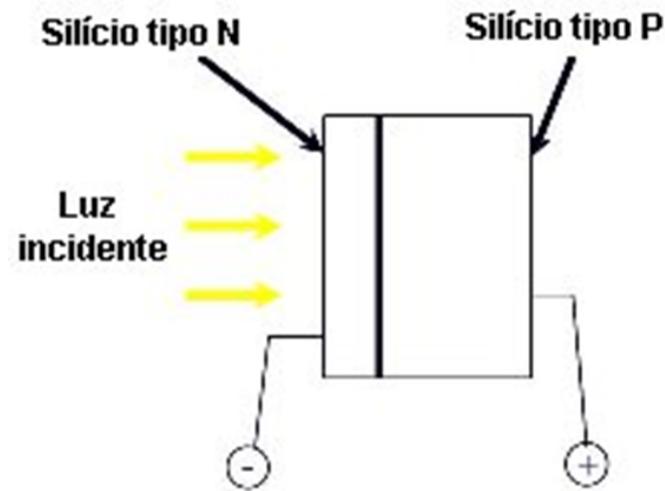
- Silício policristalino de alta eficiência ou quase-monocristalino



Aspectos de células cast-mono em módulos fotovoltaicos disponíveis comercialmente. As células são praticamente monocristalinas, mas podem existir algumas manchas resultantes do fatiamento de grãos policristalinos. Fotos: Ricardo Loureiro (Crivan Solar Energy)

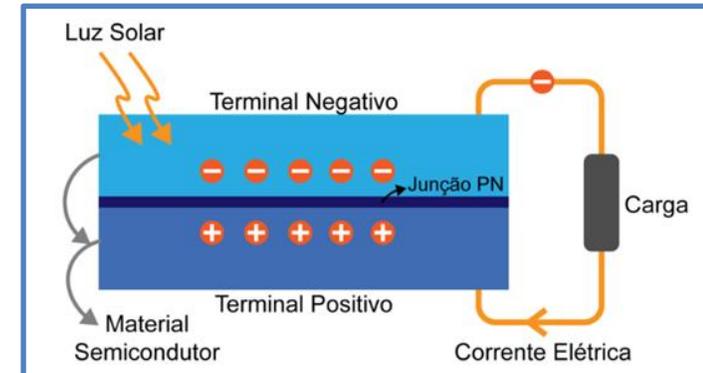
Funcionamento de uma Célula FV

- ✓ Cada **célula solar** compõe-se de uma camada fina de material **tipo N** e outra com maior espessura de material **tipo P** conforme a figura a seguir.
- ✓ Separadamente, **ambas as capas são eletricamente neutras**.
- ✓ Na **junção P-N**, é gerado um **campo elétrico** devido aos **elétrons do silício tipo N** que **ocupam os vazios da estrutura do silício tipo P**.



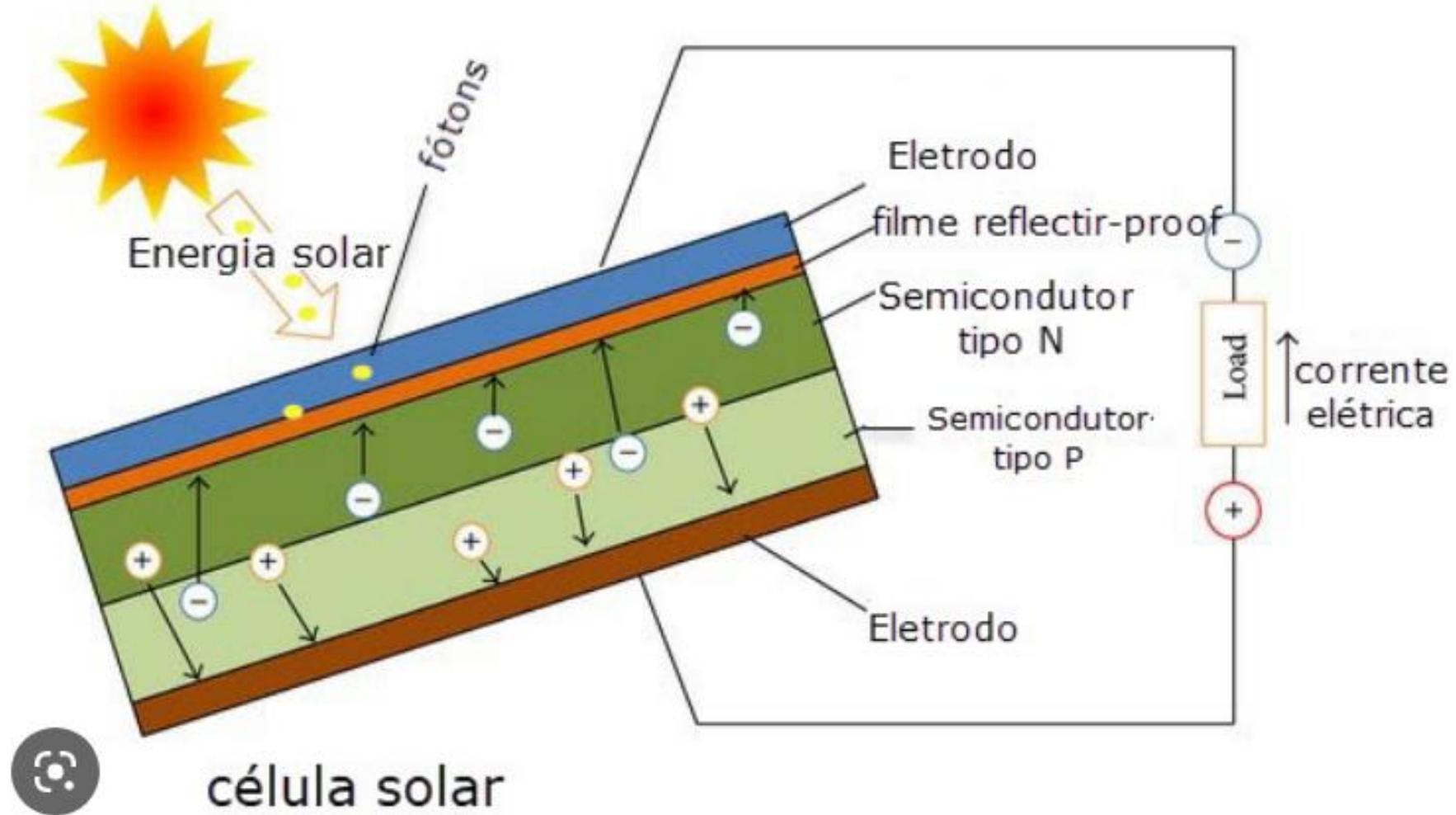


- ✓ Ao **incidir a luz sobre a célula fotovoltaica**, os **fótons** que a integram **chocam-se com os elétrons da estrutura do silício** transferindo energia e **transformando-os em condutores**.
- ✓ Devido ao **campo elétrico gerado na junção P-N**, os **elétrons são orientados e fluem da camada "P" para a camada "N"**.
- ✓ Por meio de um condutor externo, liga-se a camada negativa à positiva.
- ✓ Gera-se assim **um fluxo de elétrons** (corrente elétrica) na conexão.
- ✓ Enquanto a **luz continua a incidir na célula**, o **fluxo de elétrons** manter-se-á.
- ✓ A **intensidade da corrente gerada** variará proporcionalmente conforme a **intensidade da luz incidente**.



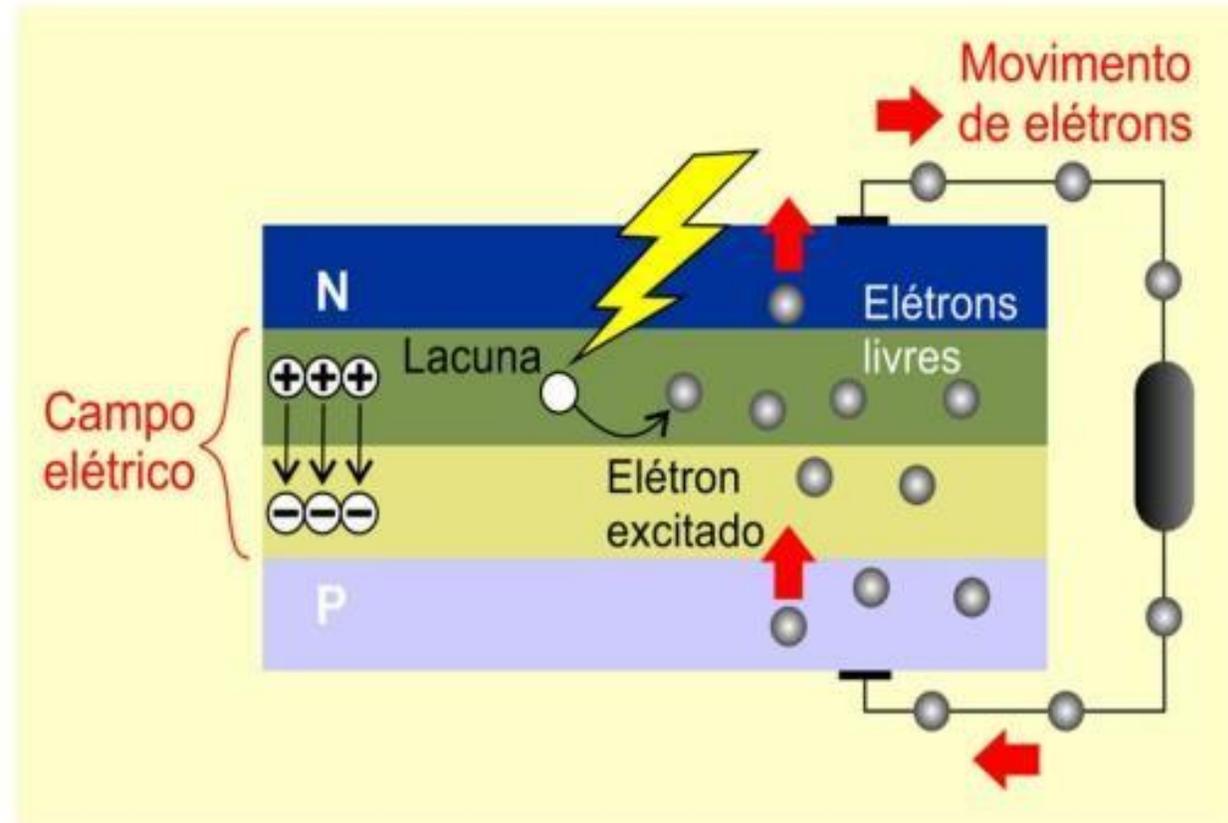
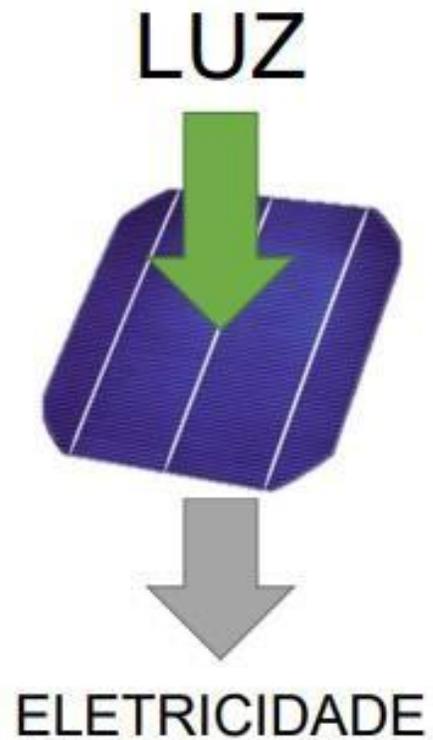
CELULAS FOTOVOLTAICAS

Funcionamento de uma Célula FV



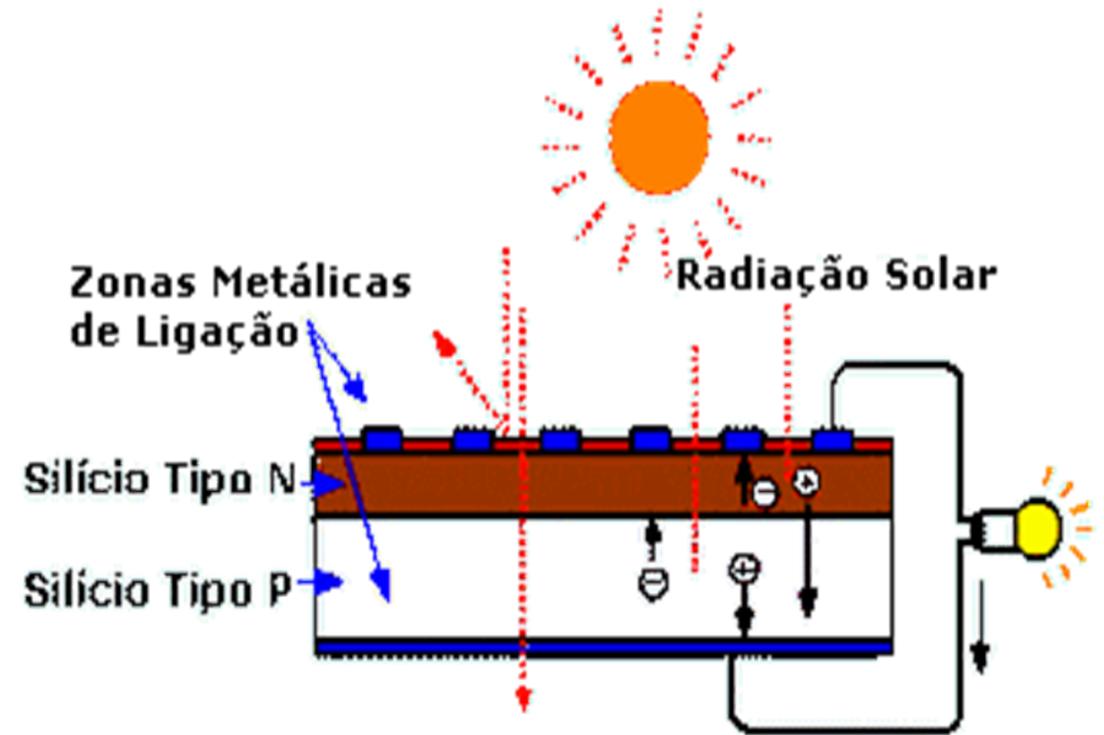
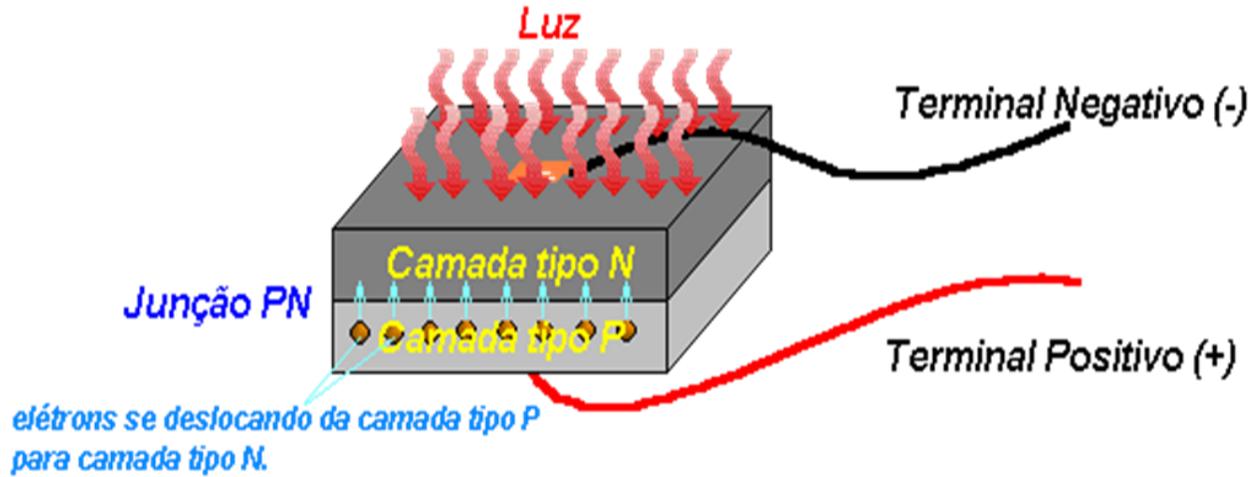


Junção semicondutora e o efeito fotovoltaico

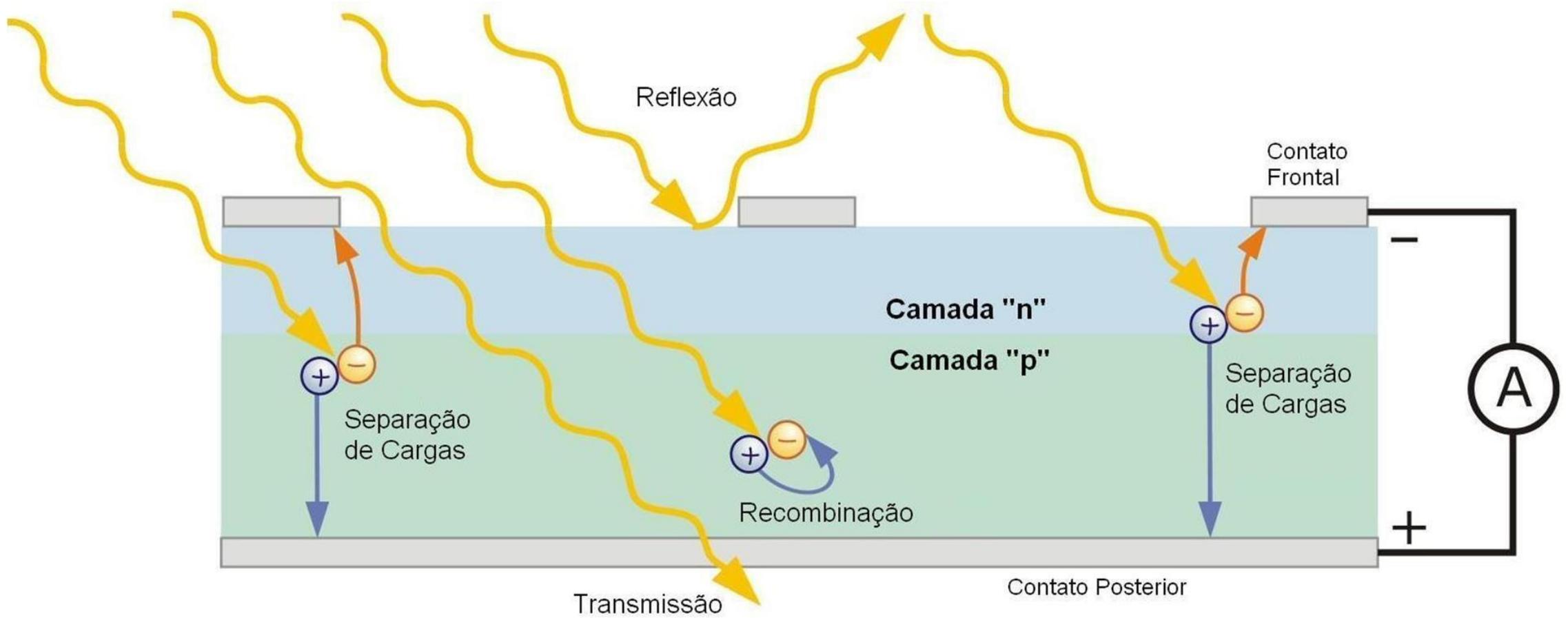




CÉLULA FOTOVOLTAICA



CELULAS FOTOVOLTAICAS



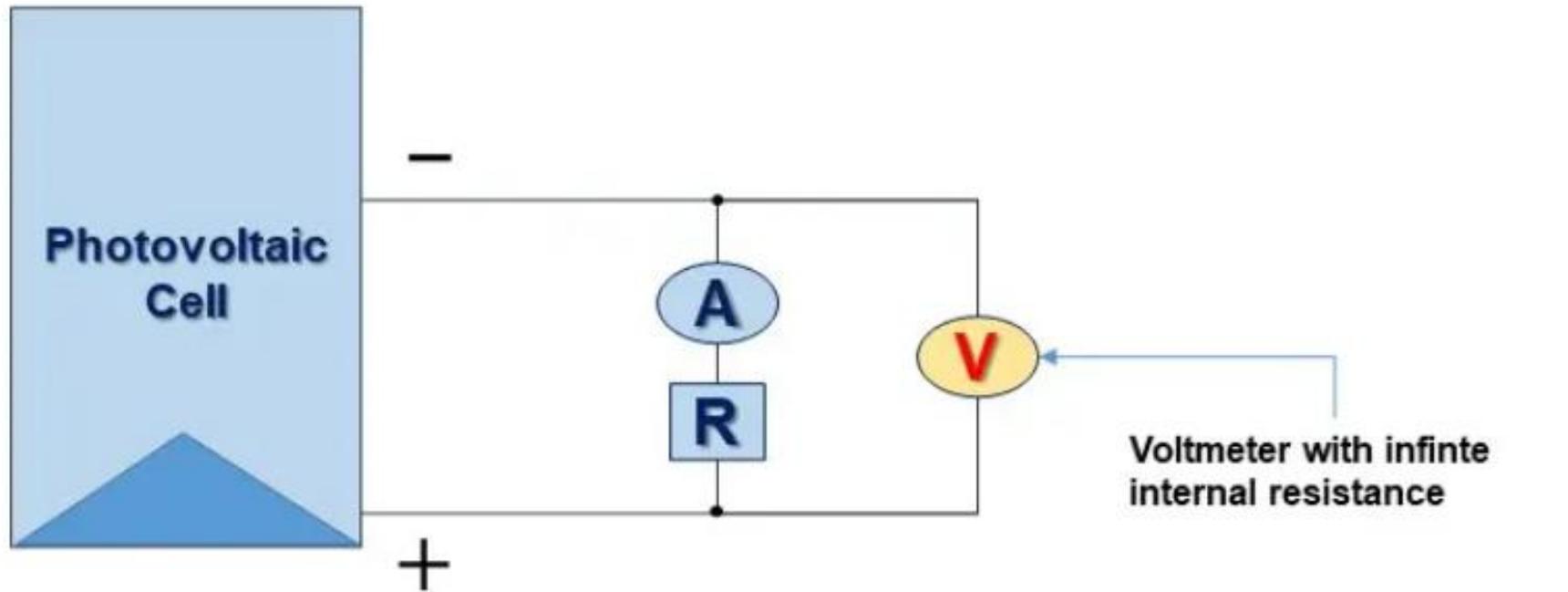


- ✓ A **célula Fotovoltaica** é um **gerador de eletricidade**, cujo o **efeito fotovoltaico** ocorre quando é **exposta à radiação Solar**, sendo aproveitado por meio do **campo elétrico da junção P-N** e de um **circuito elétrico externo**.
- ✓ Se a **célula não estiver conectada a nenhuma carga**, quando **iluminada aparece em seus terminais uma tensão de circuito aberto V_{OC}** .
- ✓ Quando a **célula for conectada a uma carga**, haverá **circulação de corrente entre a carga e a célula**.
- ✓ A **célula pode ser representada** a partir de **dois parâmetros elétricos de saída, tensão e corrente** em função de **dois parâmetros de entrada, irradiância e temperatura da célula**.
- ✓ As **principais características de uma célula fotovoltaico** são a **Potência Nominal, a Tensão e a Corrente**.

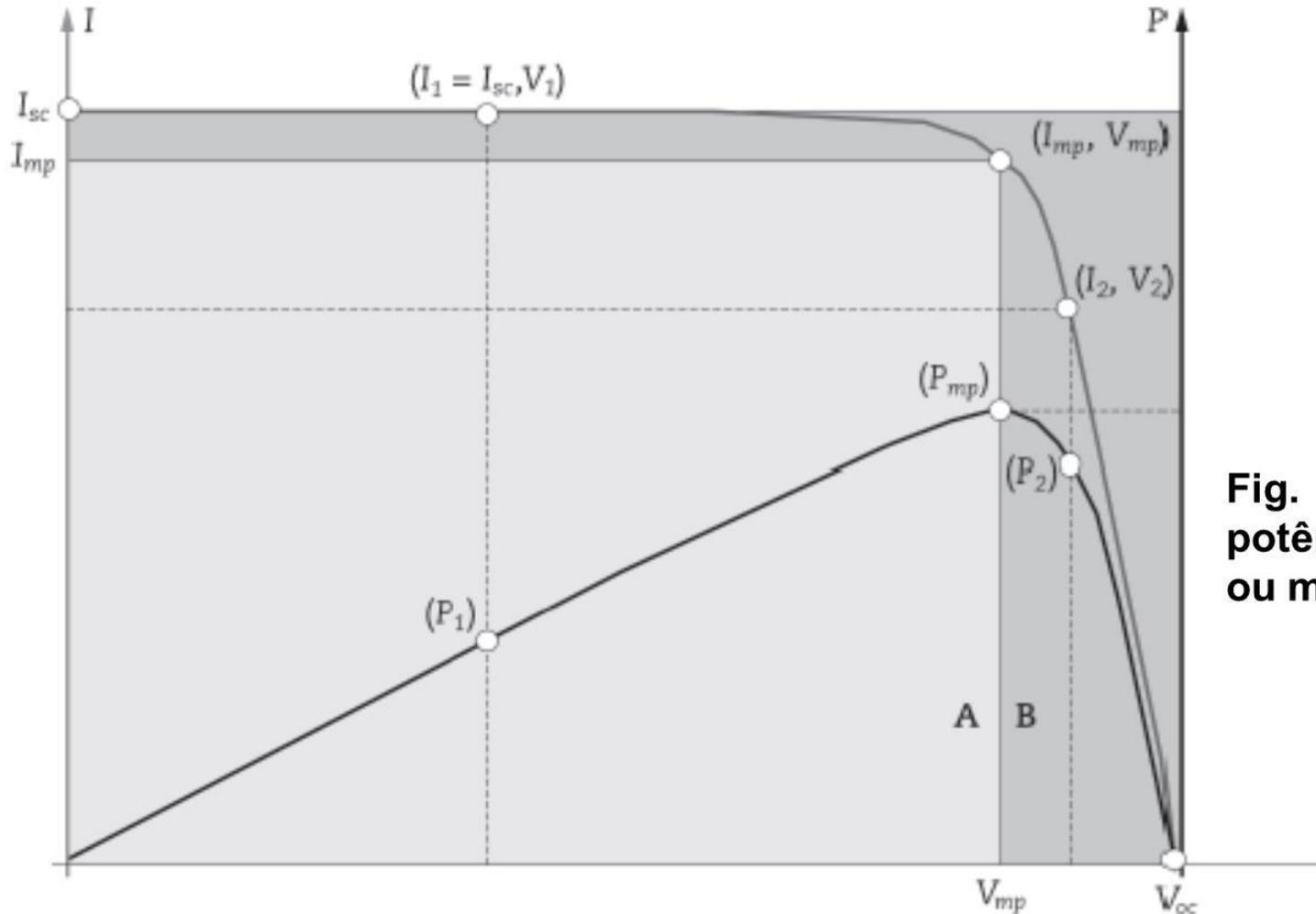


- ✓ As **condições padrão de teste** ou (STC, do Inglês Standard Teste Conditions) são definidas para valores de **1.000 W/m² de Irradiância, 25° C de Temperatura da Célula em AM = 1,5 para massa de ar.**
- ✓ A **máxima Potência (Pmp) de uma célula** é dada em **Watt-pico (Wp)** que vai ser atingida quando temos a **corrente de máxima potência (Imp)** e a **tensão de máxima potência (Vmp).**
- ✓ Outro parâmetro muito importante é **a corrente de curto-circuito (I_{sc} – Short Circuit Current)**, medida ao aplicarmos um curto na saída da célula e medir a corrente.
- ✓ A **tensão (V_{oc} – open circuit voltage)**, que é obtida na aferição da célula quando **não tem carga** na saída. Figura 1.13.

CELULAS FOTOVOLTAICAS



A = Amperometer
V = Voltmeter
R = Electrical Load



Os valores de V_{mp} e I_{mp} podem ser estimados conforme segue:

$$V_{mp} \approx (0,75 - 0,90) \times V_{oc}$$

$$I_{mp} \approx (0,85 - 0,95) \times I_{sc}$$

Fig. 1.13 Curva $I-V$, **cinza-claro**, é a curva de potência ($P-V$), **cinza-escuro**, de uma célula ou módulo fotovoltaico

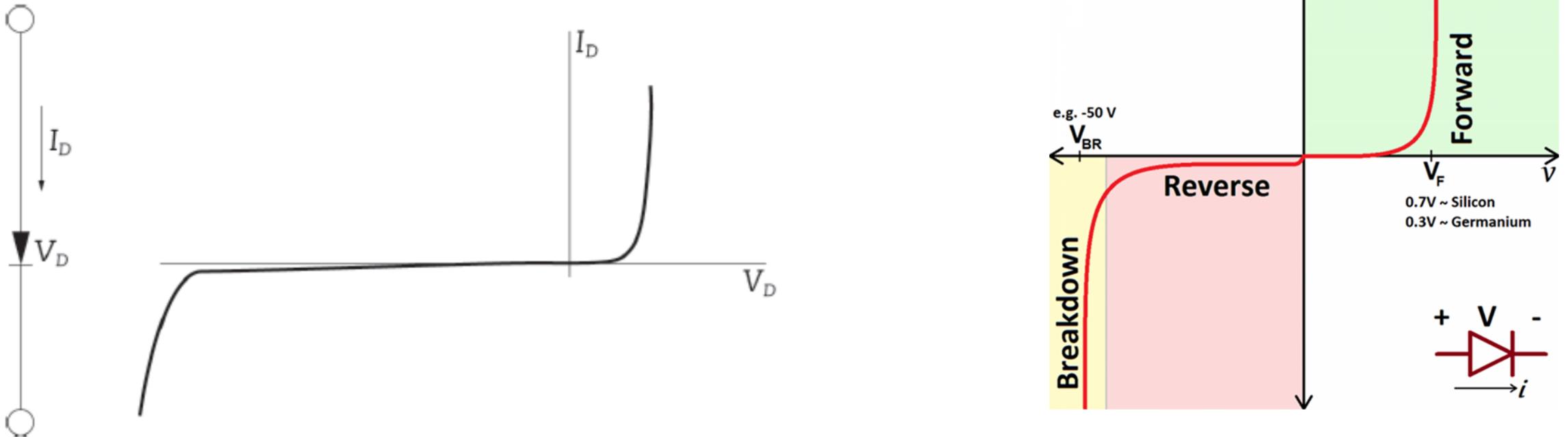


- ✓ Por meio da **superposição da corrente Fotovoltaica** com a **curva do diodo**, a **curva I – V** da célula Fotovoltaica é obtida.
- ✓ As **células tem as mesmas características elétricas** de um **diodo não polarizado**, se a célula estiver conectada a uma carga como exemplo uma bateria, a **medida que a célula é iluminada**, a **curva se desloca para o quarto quadrante (quadrante de Geração)**, devido o sentido da corrente agora ser inverso.
- ✓ Conforme a **intensidade da Radiação Solar aumenta**, mais a curva se desloca, por convenção a curva da célula iluminada é espelhada no eixo da tensão.
- ✓ Na **figura a seguir** temos o esboço da **cura I-V** as curvas em conformidade com a descrição e os circuitos equivalentes, com detalhes para a **polaridade da tensão** e o sentido da corrente para cada situação.

CELULAS FOTOVOLTAICAS



Podemos representar a junção P-N do Semicondutor como um diodo, conforme a curva característica da figura a seguir.





- ✓ A **geração de corrente elétrica** por uma **célula fotovoltaica** varia de acordo à **intensidade luminosa** que recebem.
- ✓ Quanto **maior a potência da radiação luminosa** (irradiância), mais **corrente elétrica será gerada**.
- ✓ A **tensão também varia de acordo à irradiância**, mas não tanto quanto a corrente; a **diferença de potencial (tensão)** é uma característica da **junção-PN das células fotovoltaicas**, e estará presente mesmo na absoluta ausência de luz.
- ✓ Sob a ação do Sol, quanto **maior a Irradiância sobre a superfície da célula fotovoltaico**, maior será a **tensão** e mais **corrente elétrica será gerada**.

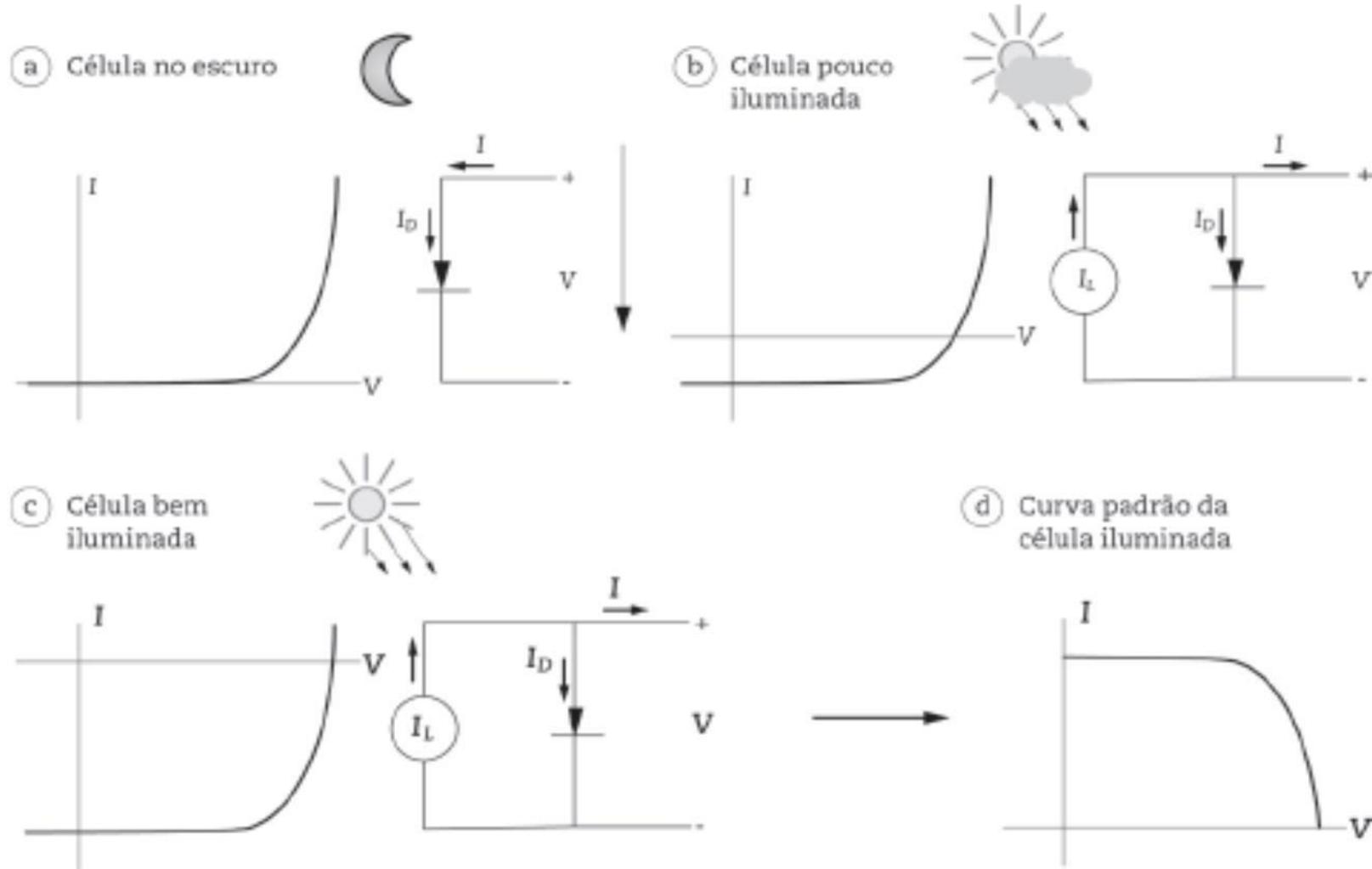


Fig. Apresenta a Curva característica corrente-tensão de uma célula de silício no escuro e iluminada

CELULAS FOTOVOLTAICAS

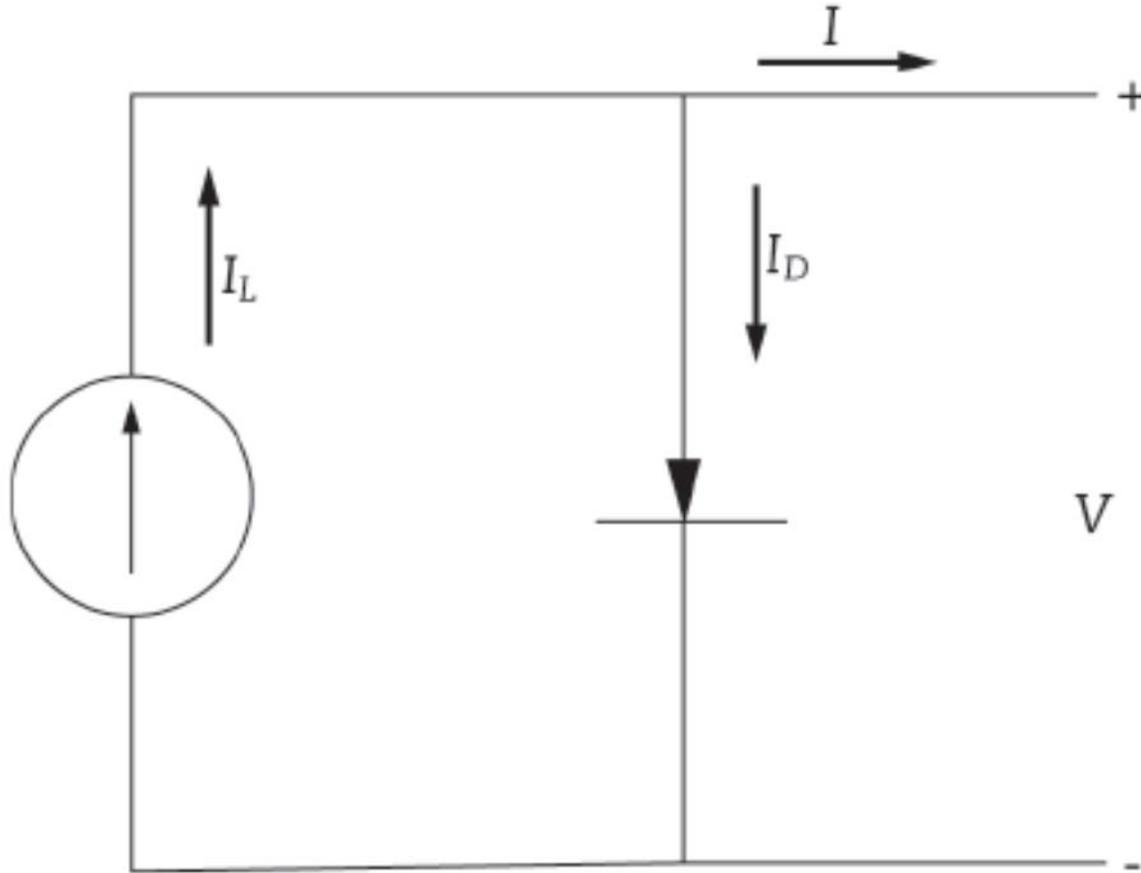
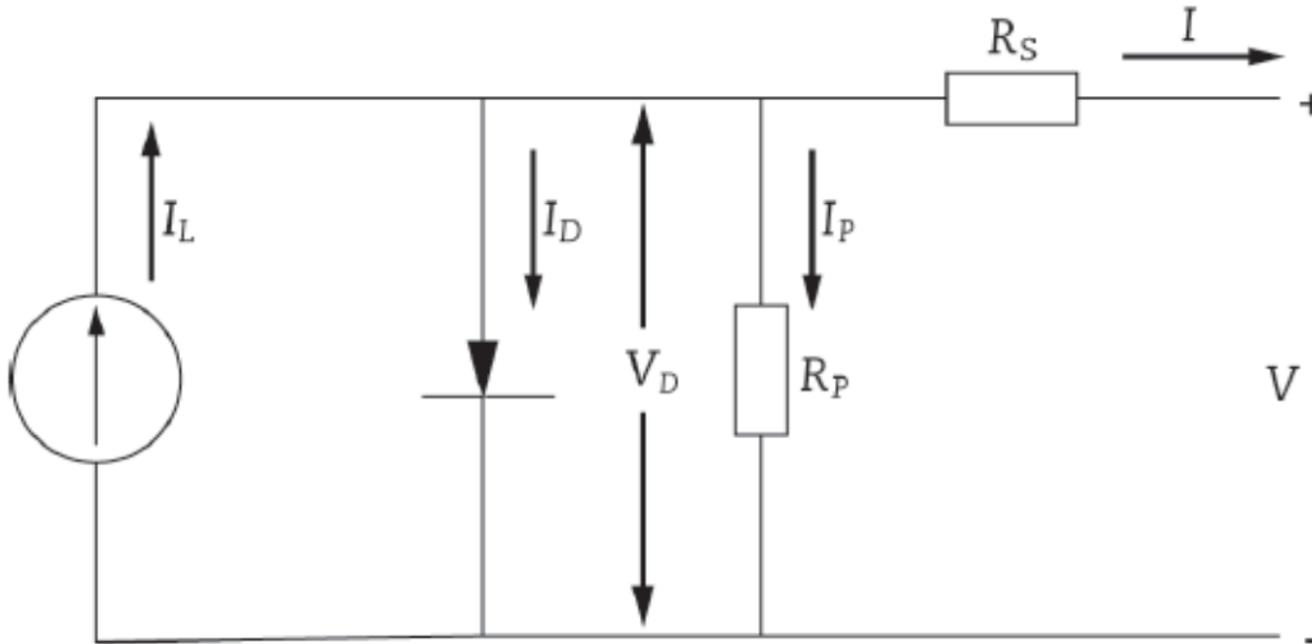


Fig. A seguir apresenta
Circuito equivalente ideal da
célula fotovoltaica



A **resistância shunt R_p** considera as perdas ôhmicas internas da célula (**Shunt ou derivação**), tem um valor alto.

A **resistância R_s** tem um valor bem pequeno, considera as **perdas ôhmicas do material que interligam as células dentro do módulo**.

Assim o I_F é pequeno e a queda de tensão sobre o R_s é pequena.

Fig. A seguir mostra o Circuito equivalente de uma célula fotovoltaica



K
EI

CELULAS FOTOVOLTAICAS

ENERGIA SOLAR
FOTOVOLTAICA

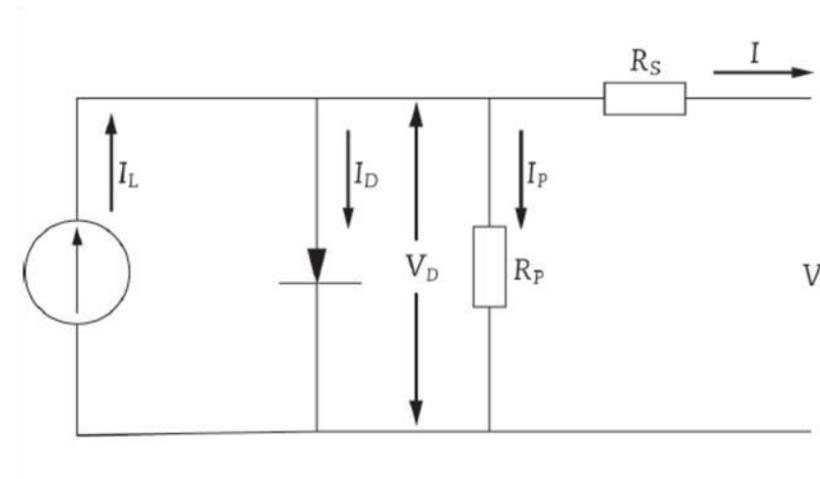
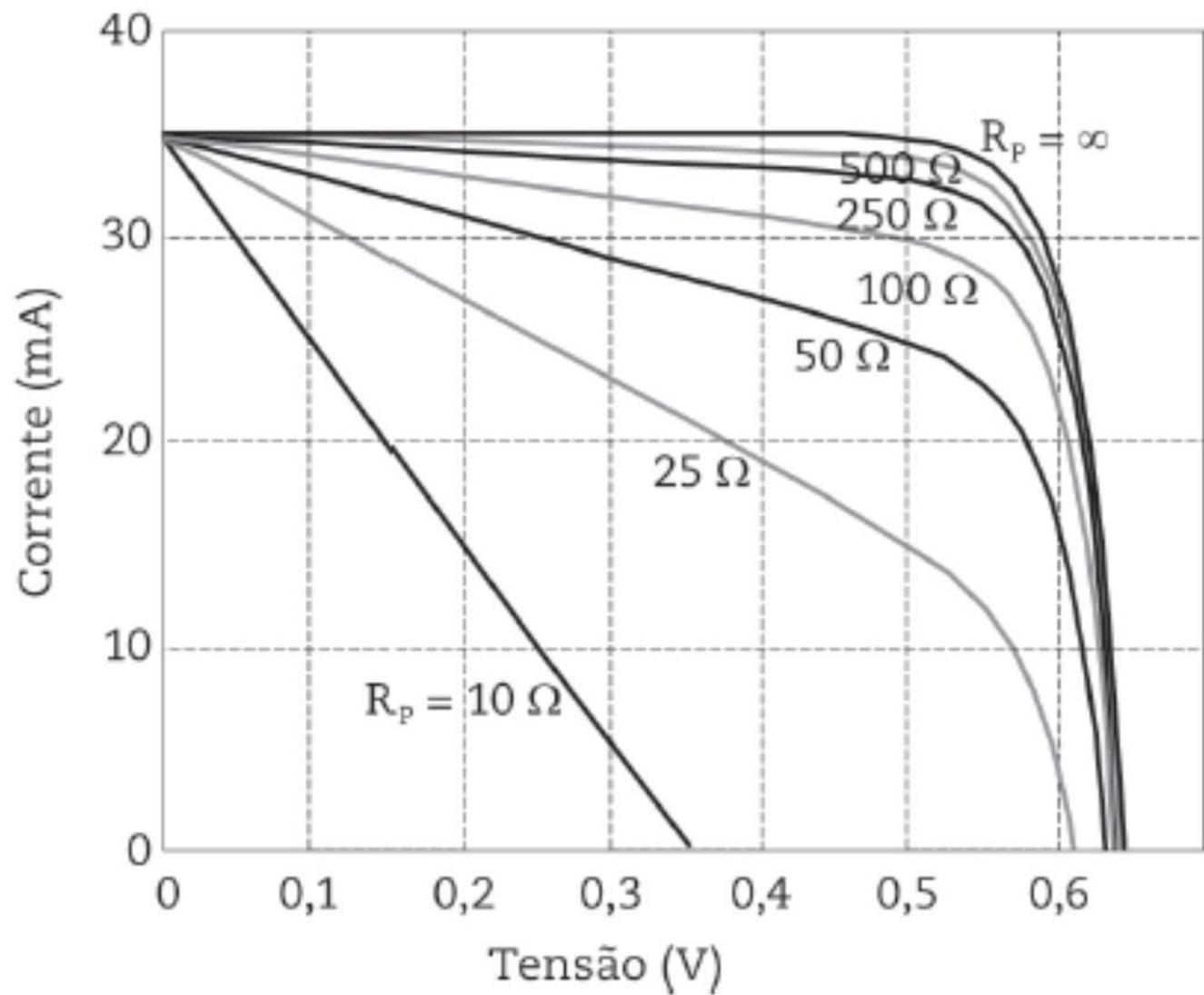
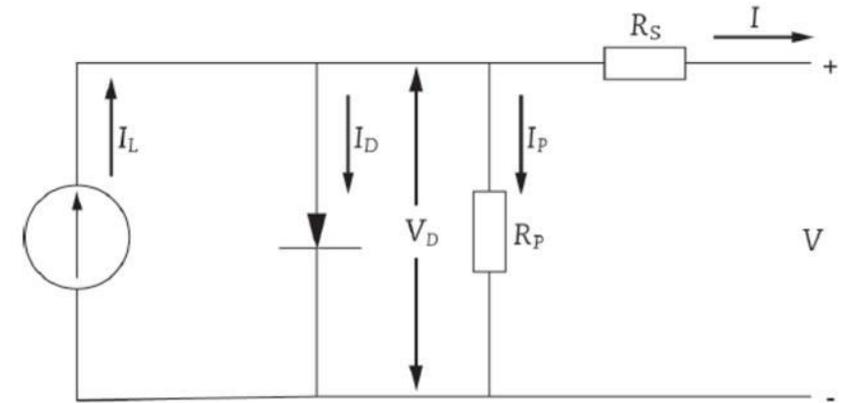
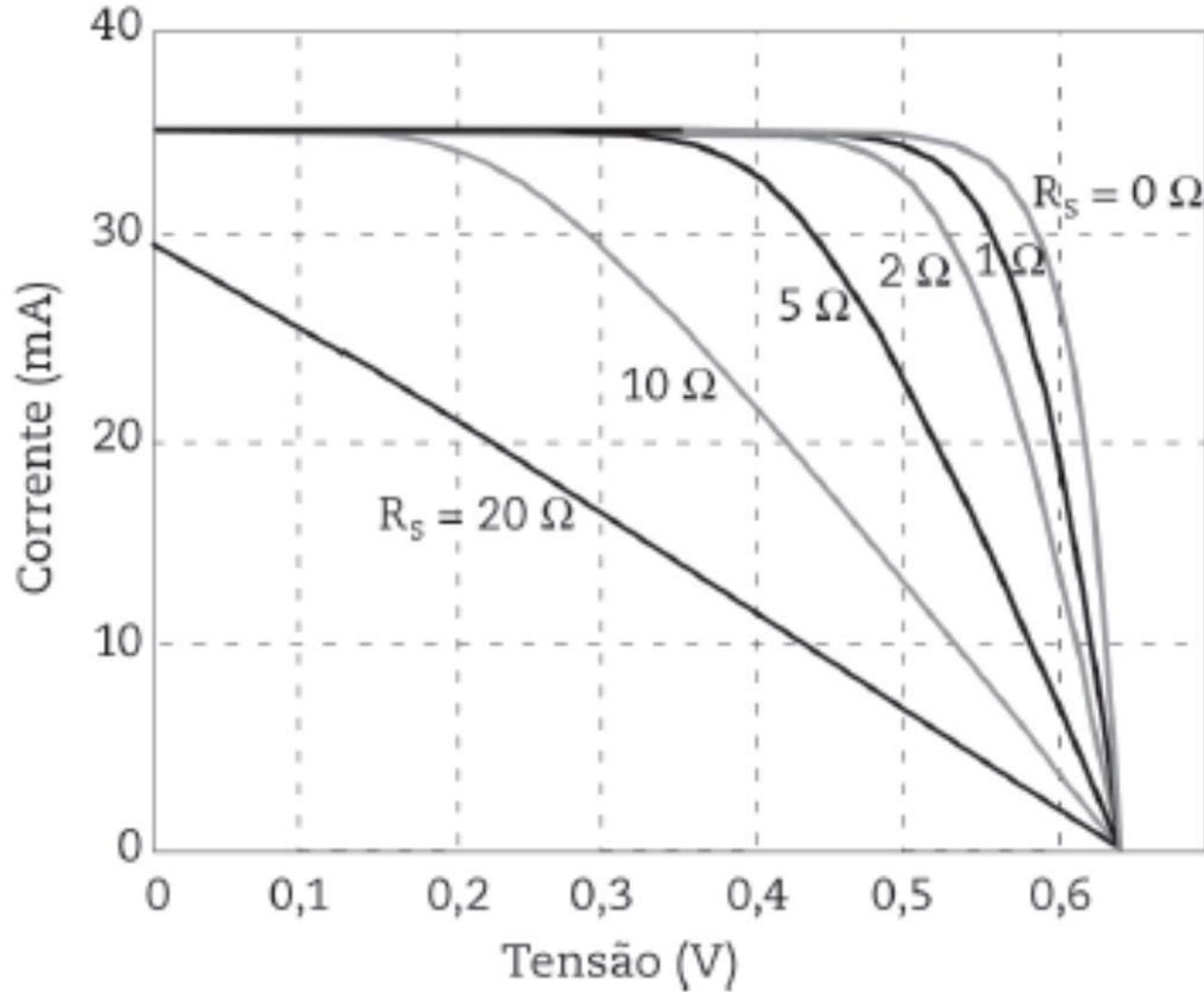


Fig. mostra o Efeito da variação da resistência paralelo sobre o comportamento de uma célula fotovoltaica. Fonte: Prieb (2002).



CELULAS FOTOVOLTAICAS



A Fig apresenta o **Efeito da ação da resistência série** sobre o comportamento de uma célula fotovoltaica. Fonte: Prieb (2002).



Tipos de células:

Existem **três tipos de células**, conforme o método de fabricação.

- ✓ **Silício Monocristalino:** Estas células obtêm-se a partir de barras cilíndricas de silício Monocristalino produzidas em fornos especiais.
- ✓ Eficiência: 15% – 18%
- ✓ Forma: Geralmente arredondadas, ou em formato de fatia de pizza, hoje os cilindros são cortados mais profundamente, dando formato mais quadrado às células, mas algumas ainda mantêm bordas arredondadas.
- ✓ Tamanho: geralmente 10x10 cm ou 12,5x12,5 cm ou 15x15 cm.
- ✓ Espessura: 0,3 mm. Cor: geralmente azul-escuro ou quase preto (com antirreflexo), cinza ou azul-acinzentado (sem antirreflexo).

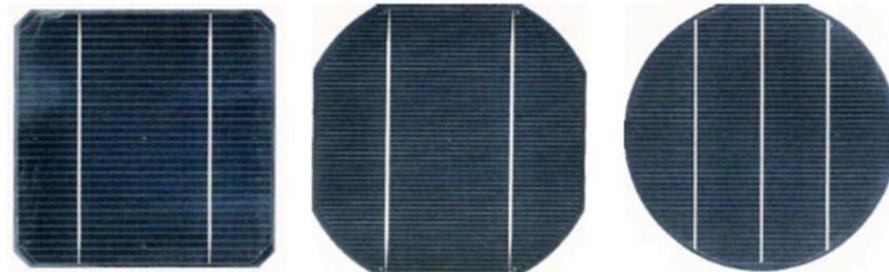


Figura 11 - Células de silício monocristalino – fonte: GreenPro



Tipos de células:

- ✓ **Silício Policristalino:** Estas células são produzidas a partir de blocos de silício obtidos por fusão de bocados de silício puro em moldes especiais.
- ✓ Eficiência: 13 – 15% (com antirreflexo)
- ✓ Forma: geralmente quadrada. Tamanho: 10x10 cm, 12,5x12,5 cm, 15x15 cm.
- ✓ Espessura: 0,3 mm.
- ✓ Estrutura: durante o resfriamento, formam-se vários cristais de silício com orientações diversas.
- ✓ Essa formação multicristalina é facilmente reconhecida.
- ✓ Cor: azul (com antirreflexo), cinza prateado (sem antirreflexo).

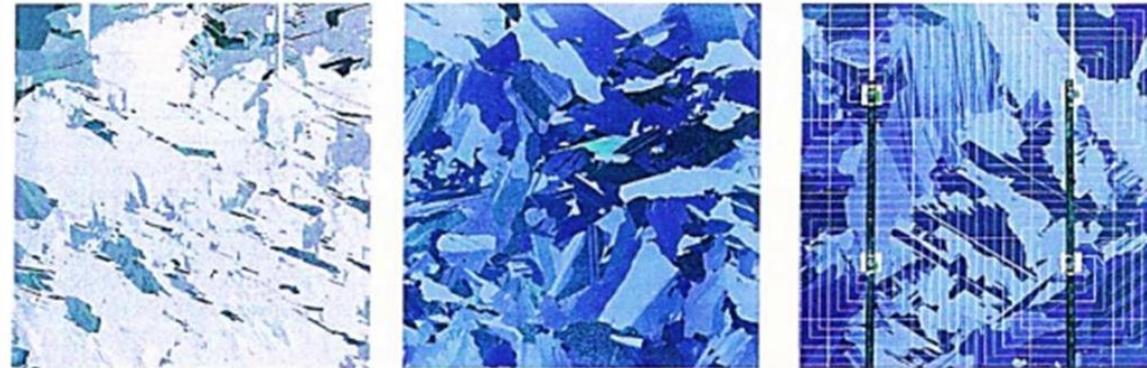
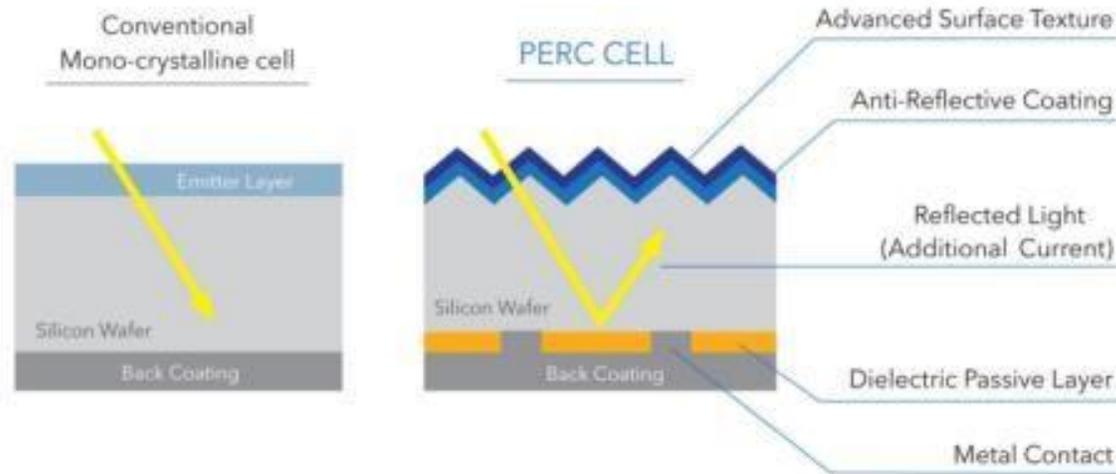


Figura 12 - Células de silício policristalino



Novas tecnologias de células cristalinas

- Células PERC



Fonte: Solar Power World, <https://www.solarpowerworldonline.com/2016/07/what-is-perc-why-should-you-care/>

A tecnologia PERC consiste no acréscimo de camadas adicionais de passivação na estrutura das células fotovoltaicas. Essa passivação reduz a perda de elétrons nas bordas da célula e também possibilita a reflexão interna dos raios solares, o que também contribui para o aumento da eficiência. Com a tecnologia PERC é possível fabricar células mais finas, portanto mais baratas, mantendo-se a eficiência elevada.

Exemplo de módulo PERC comercial.

M6K-36-SÉRIE-5BB



156.75M



- 21,4%** Eficiência celular média de até 21,4%
Excelente desempenho óptico
- 0-5W** Tolerância positiva de 0 – 5W
Confabilidade do desempenho de saída
- 10 Anos** 10 anos de garantia para o produto
25 anos de garantia de desempenho linear
- Rede** Sistemas residenciais para telhados
Sistemas comerciais on-grid (ligados à rede) e off-grid (fora de rede)
Redes de serviços on-grid (ligadas à rede) e off-grid (fora de rede)
- Garantia** ISO 9001:2015; ISO 14001:2015

ESPECIFICAÇÕES ELÉTRICAS – BYD M6K-36-SÉRIE-5BB

Tipo de módulo	340M6K-36	345M6K-36	350M6K-36	355M6K-36	360M6K-36	365M6K-36	370M6K-36
Tensão de circuito aberto (Voc)	45,3V	45,8V	46,0V	46,3V	46,6V	46,9V	47,0V
Tensão máxima de funcionamento (Vmp)	37,5V	38,0V	38,4V	38,6V	39,2V	39,6V	40,0V
Corrente de curto-circuito (Isc)	9,61A	9,62A	9,66A	9,70A	9,73A	9,75A	9,77A
Corrente de potência de pico (Imp)	9,98A	9,98A	9,12A	9,15A	9,19A	9,21A	9,26A
Potência máxima em STC (Pmax)	340 Wp	345 Wp	350 Wp	355 Wp	360 Wp	365 Wp	370 Wp
Eficiência do módulo	17,7%	17,9%	18,2%	18,4%	18,8%	19,0%	19,2%
Temperatura de operação	-40°C – 85°C						
Valor nominal da corrente máxima do fusível	15A						
Tensão máxima do sistema	1500 VCC						
Tolerância de saída de potência	0 – 5W						
Classe de aplicação	Classe A						

- Valores em condições de teste normalizadas STC (IRRADIÂNCIA de 1000W/m², temperatura do módulo de 25°C, AM (senso de ar) = 1,5
- Medida máxima de eficiência de 0,1% a 25°C

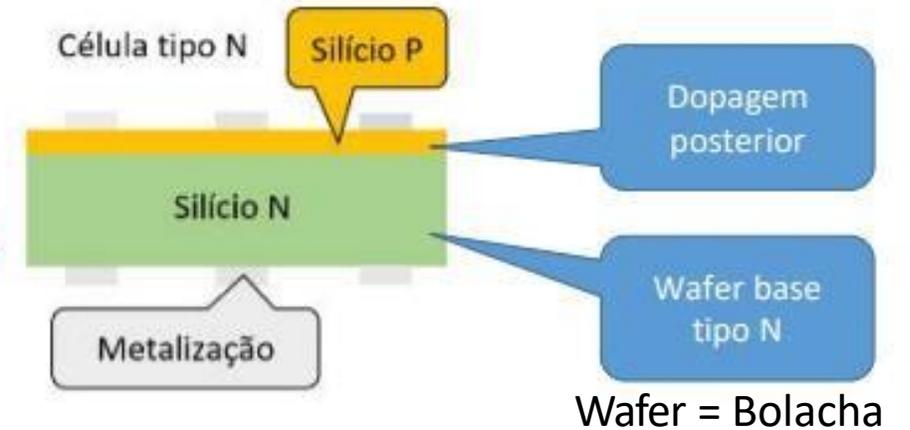


Novas tecnologias de células cristalinas

- Células do tipo N



O processo de fabricação de uma célula fotovoltaica cristalina (mono ou poli) começa com a produção do lingote monocristalino ou policristalino (etapa 2), de onde são extraídos os wafers pelo processo de serragem. Os wafers depois são dopados e vão se transformar em células.



A célula do tipo N é produzida com wafer do tipo N (dopado com fósforo), enquanto o padrão usado na indústria sempre foi a célula do tipo P (dopado com boro).

A mudança em direção à tecnologia N representa um desafio para a indústria, com alterações nos processos produtivos. Existem dificuldades adicionais na fabricação do silício N, que tornam o processo mais desafiador.

As células N têm inúmeras vantagens: mais eficientes pela eliminação do efeito LID (*light induced degradation*).



Células fotovoltaicas de filmes finos



A família dos filmes finos inclui células e módulos fabricados a partir de um processo de deposição de partículas, como um *spray*.

A tecnologia de filmes finos é totalmente diferente da tecnologia de células cristalinas.

Os filmes finos são fabricados em pequena escala e correspondem a uma pequena parcela do mercado mundial de módulos fotovoltaicos.

Algumas vantagens dos filmes finos:

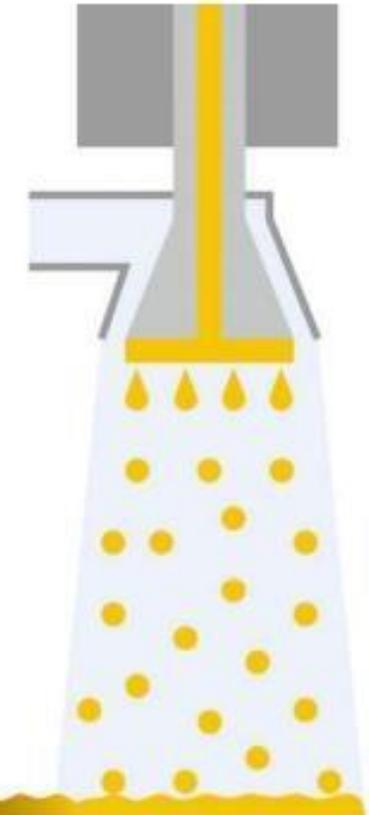
Bom coeficiente térmico (sofrem menos com o aumento da temperatura)

Permitem a fabricação de células e módulos em substratos (bases) flexíveis.

Permitem a fabricação em grande escala, com custo de produção reduzido.

Problemas dos filmes finos:

Baixa eficiência e baixa durabilidade (no caso dos filmes finos orgânicos).



Substrato (base da célula fotovoltaica)

Ilustração do processo de fabricação de um filme fino



Células fotovoltaicas de filmes finos

Alguns materiais usados na fabricação de filmes finos:

- Silício amorfo ou microcristalino
- Telureto de cádmio (CdTe)
- Cobre, índio, gálio e selênio (CIGS)
- Filmes orgânicos (OPV – *organic photovoltaic*) sensibilizados com corantes

Módulos flexíveis ou com formatos curvos

são as aplicações mais interessantes dos filmes finos.



Módulos de filmes finos também podem ser rígidos

Além das células flexíveis ou em outros formatos, também é possível encontrar módulos de filmes finos rígidos.

A tecnologias que mais se aproximam (em termos de eficiência) dos módulos cristalinos são os filmes CdTe e CIGS.



Telhas fotovoltaicas de filmes finos

Telhas fotovoltaicas do tipo CIGS são uma aplicação muito interessante dos filmes finos.

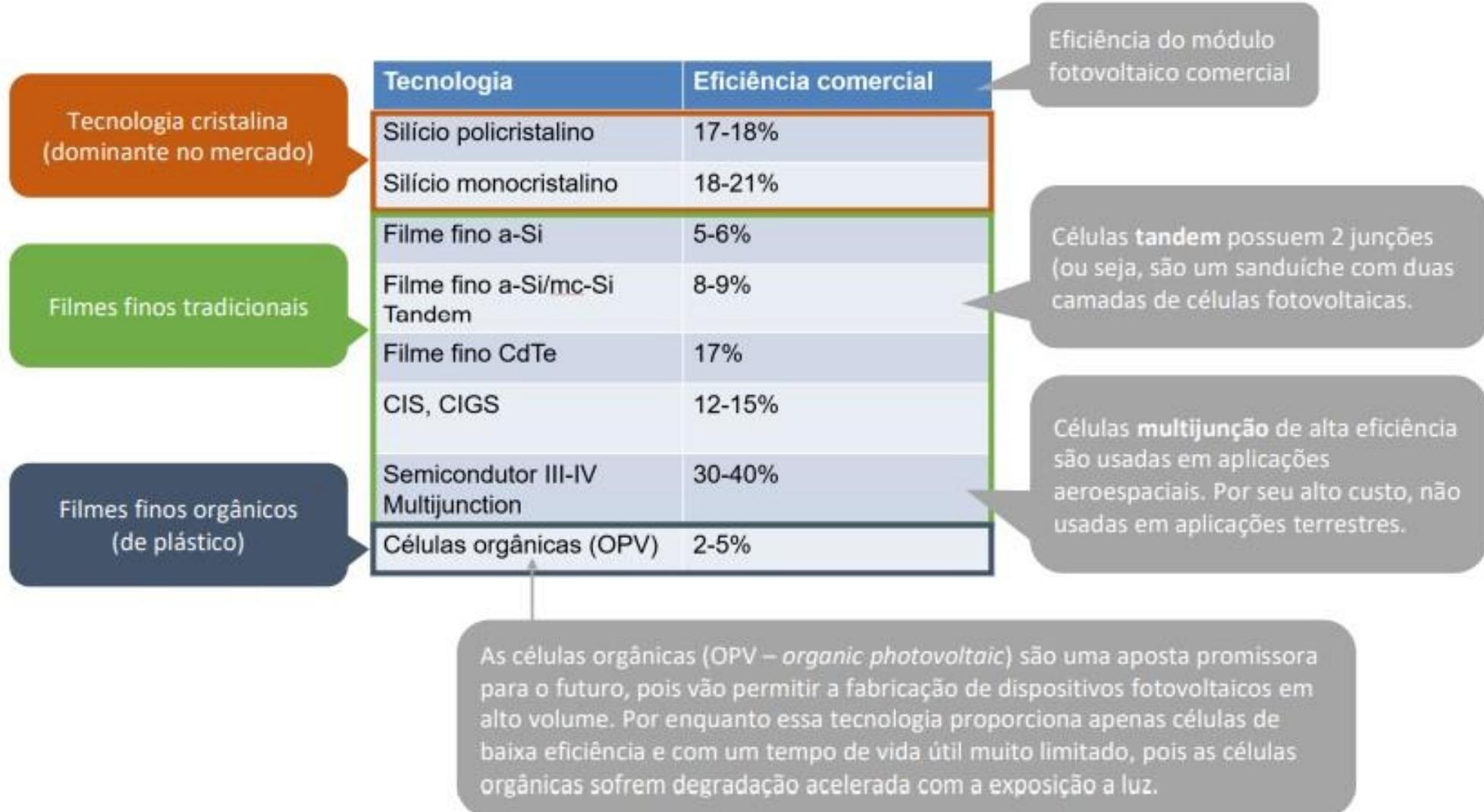
Apesar da menor eficiência do material CIGS (em relação ao silício cristalino), a possibilidade de aproveitar toda a área do telhado para a geração de energia torna a aplicação comercialmente viável.

Outras vantagens: telhas fotovoltaicas dispensam o uso de telhas comuns e não requerem os sistemas de fixação usados nos módulos fotovoltaicos convencionais.



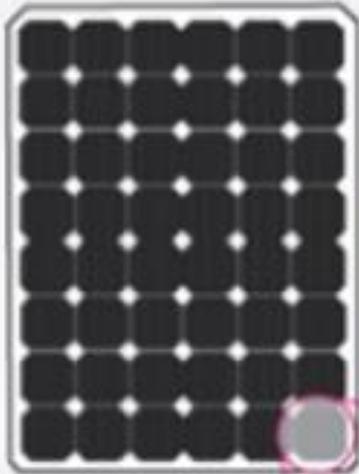


Eficiências das diferentes tecnologias de células fotovoltaicas





Módulo Monocristalino



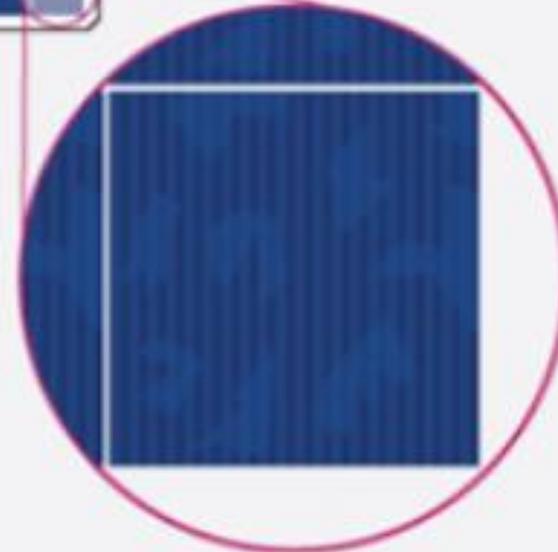
Para produzir as células dos módulos monocristalinos, o silício é solidificado em formato de barras circulares e posteriormente cortados em *wafers*.



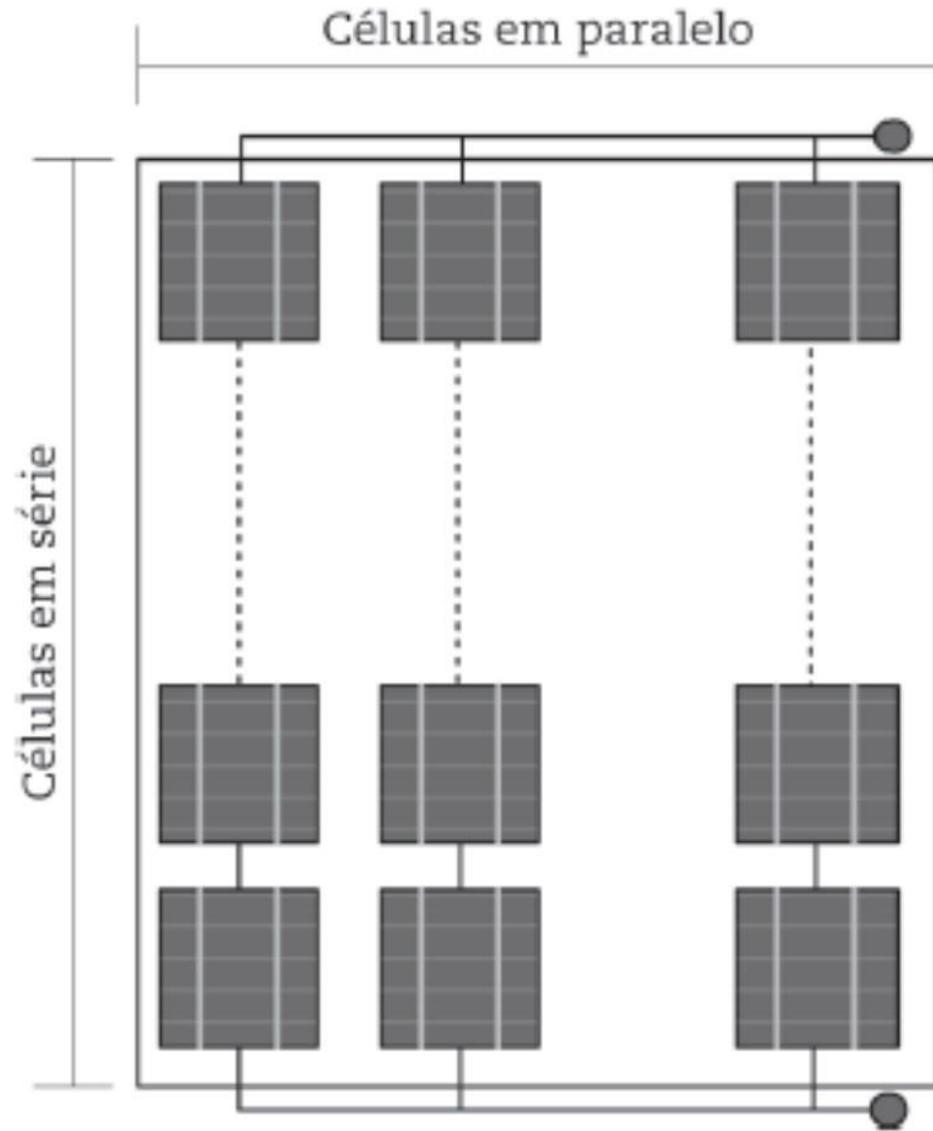
Módulo Policristalino



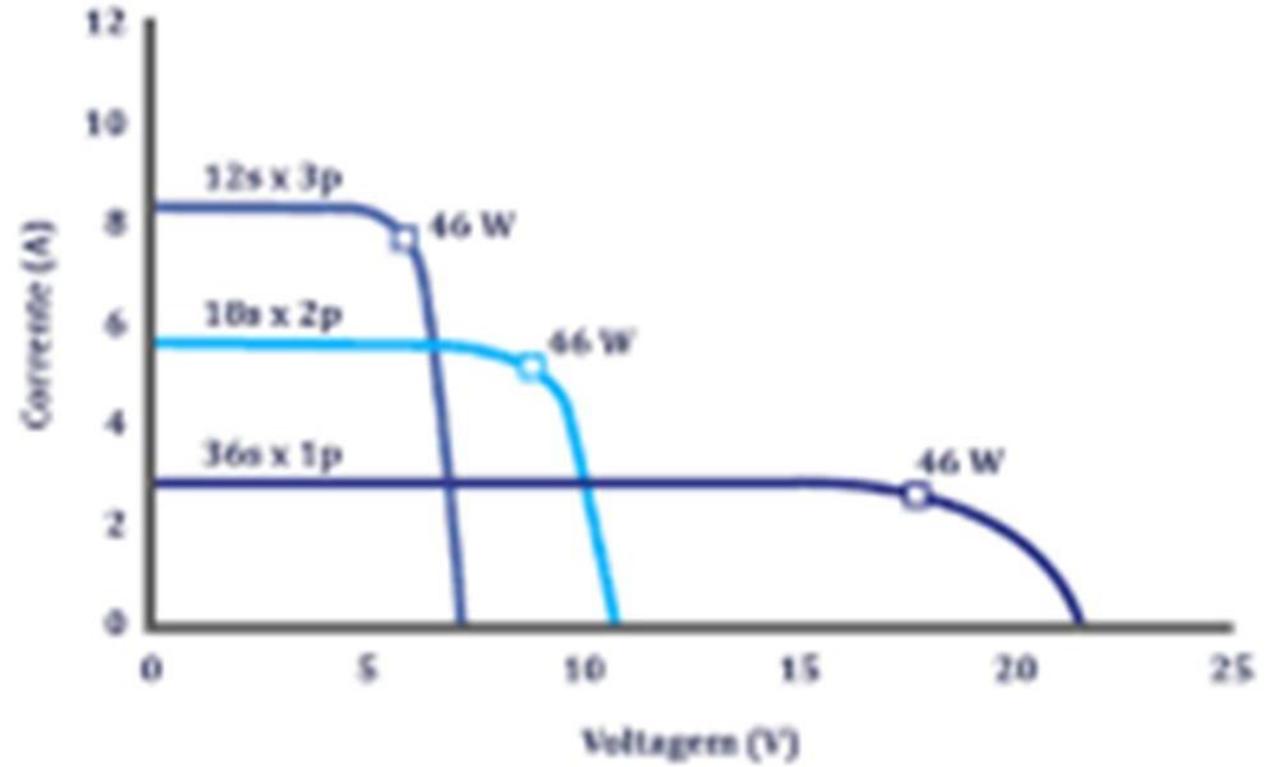
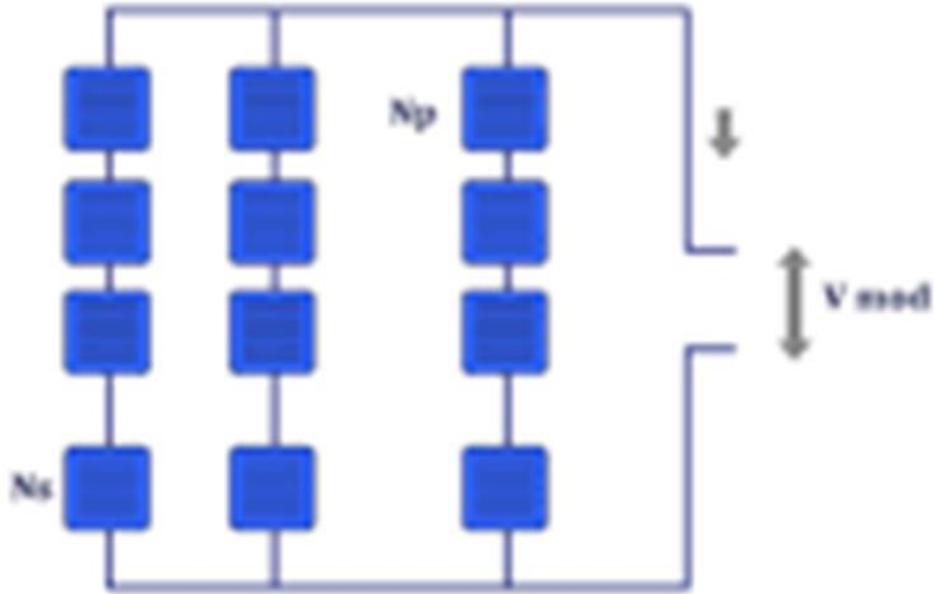
Para produzir as células dos módulos policristalinos, fragmentos de silício são derretidos e solidificados juntos, formando um bloco, e cortados posteriormente em *wafers*.



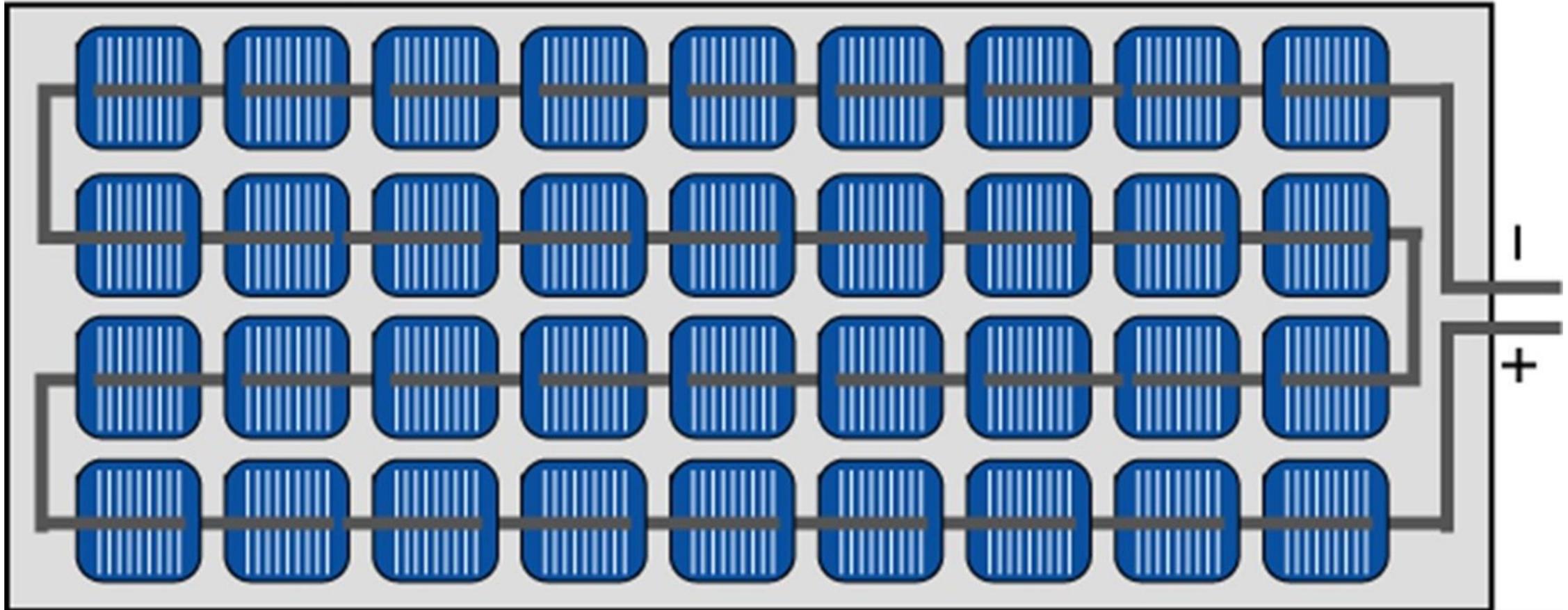
CELULAS FOTOVOLTAICAS



Conexão de células em série e paralelo



Células em Série e Paralelo



Células em Série



Fundamentos de Energia Solar Fotovoltaica

Módulos
fotovoltaicos



CELULAS FOTOVOLTAICAS





CÉLULAS E MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Célula Fotovoltaica

- Dispositivo desenvolvido para realizar a conversão direta da radiação solar em energia elétrica.

Módulo Fotovoltaico

- Unidade básica formada por um conjunto de células interligadas eletricamente e encapsuladas, com o objetivo de gerar energia elétrica.



Representação esquemática de um módulo fotovoltaico.
O triângulo representa o polo positivo (+).

Painel Fotovoltaico

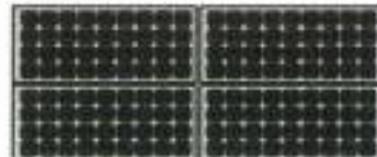
- Conjunto de módulos interligados eletricamente e montados de modo a formar uma única estrutura.



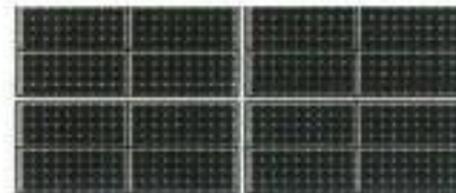
Célula



Módulo



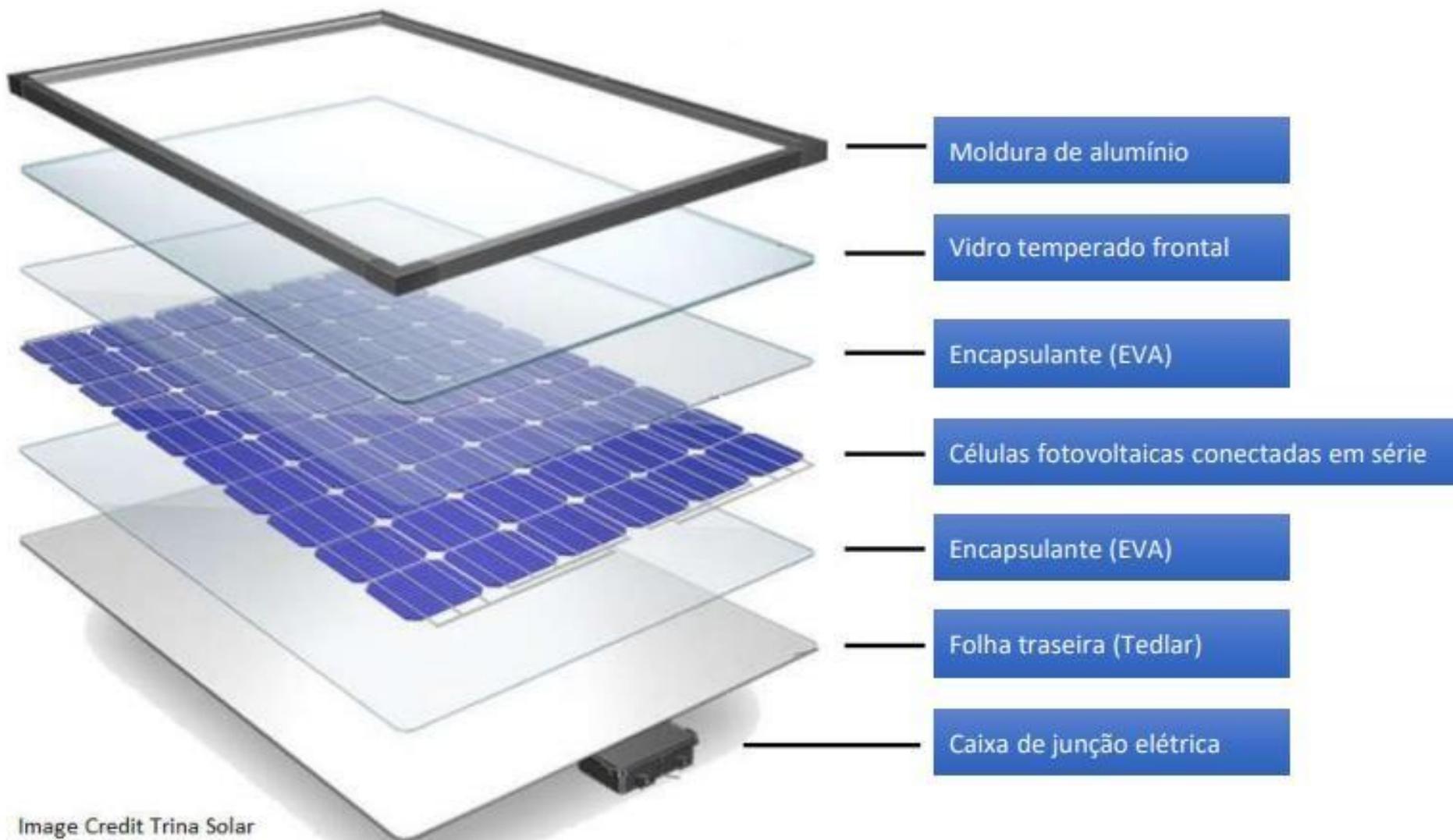
Painel



Arranjo (*Array*)



Módulos fotovoltaicos: componentes



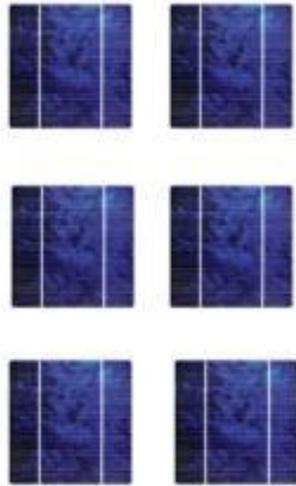


Caixa de junção, cabos e conectores dos módulos fotovoltaicos

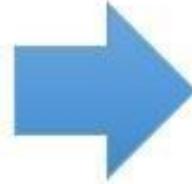




Módulos fotovoltaicos: componentes



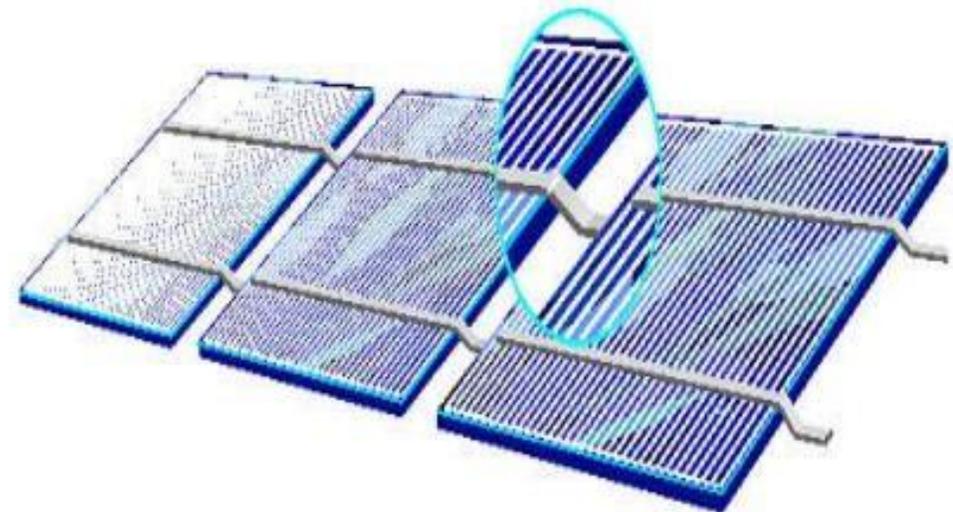
Uma célula fotovoltaica sozinha produz pouca energia.



As células são agrupadas em módulos.

Módulos fotovoltaicos tipicamente possuem 60, 72 ou 144 células e produzem mais energia.

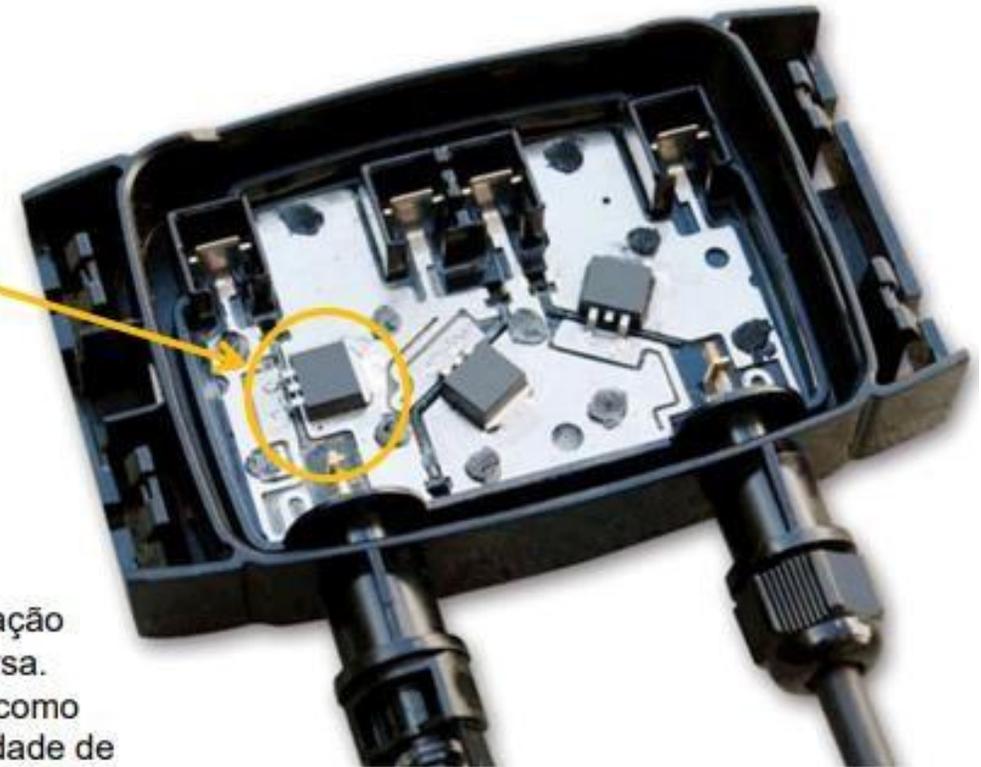
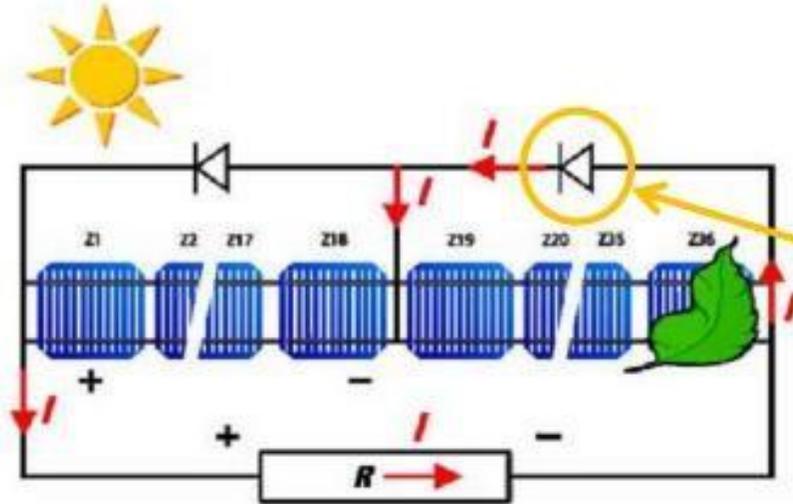
Dentro dos módulos as células são ligadas em série. O positivo de uma é ligado ao positivo da outra e assim sucessivamente. A ligação série permite somar as tensões. A tensão de saída (V, volts) de um módulo fotovoltaico é igual à soma das tensões de cada uma das células.





Diodos de *bypass* alojados na caixa de junção

- Proteção contra *hotspot* (sobreaquecimento localizado das células)



Quando está em série com outras células que recebem iluminação normal, a célula sombreada pode sofrer uma polarização reversa. Nesta condição sua tensão fica negativa e ela passa a operar como uma carga consumidora de energia, dissipando grande quantidade de calor.

Nesta situação o diodo de *bypass* é polarizado, evitando o *hotspot* (sobreaquecimento da célula sombreada) e ainda permitindo que a parte do módulo não sombreada continue funcionando normalmente.



Tipos de módulos fotovoltaicos: standard, double-glass e bifaciais



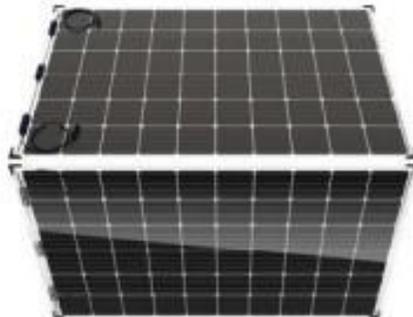
Módulo standard (padrão)

- É o tipo mais comumente encontrado no mercado.
- Possui vidro na parte frontal e *back sheet* (folha traseira) de plástico banca na parte traseira.
- Possui moldura de alumínio.
- Recebe luz apenas pela parte frontal.



Módulo *double-glass* (vidro duplo)

- É uma evolução do módulo *standard*.
- Possui duas lâminas de vidro, na frente e atrás.
- Por ser mais rígido, dispensa a moldura de alumínio.
- A ausência de moldura minimiza o efeito PID (*potencial induced degradation*), responsável pela degradação dos módulos fotovoltaicos.
- Por não ter *back sheet* traseiro, é mais durável.

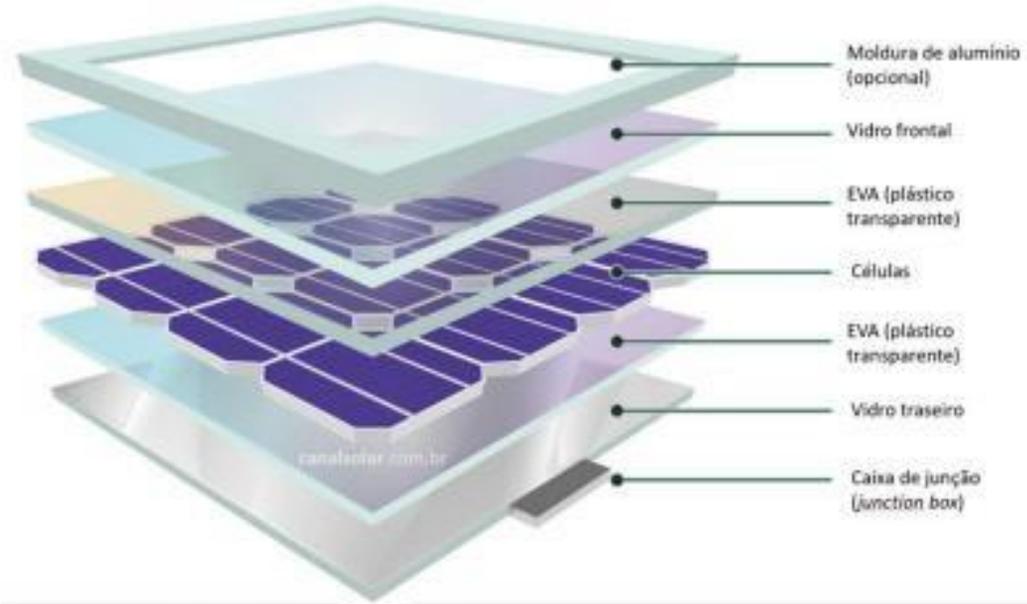


Módulo bifacial (vidro duplo)

- É uma evolução do módulo *double-glass*.
- Possui células do tipo "bifaciais", que são capazes de receber luz nos dois lados.
- Gera mais energia que os módulos *standard* ou *double-glass* comuns, pois consegue captar luz pela parte traseira também.



Módulos bifaciais



ELECTRICAL DATA | STC*

	Nominal Power (P _{max})	Opt. Operating Voltage (V _{mp})	Opt. Operating Current (I _{mp})	Open Circuit Voltage (V _{oc})	Short Circuit Current (I _{sc})	Module Efficiency
CS3U-370MB-AG	370 W	39.6 V	9.35 A	47.4 V	9.85 A	18.45%
Bifacial Gain**						
5%	389 W	39.6 V	9.82 A	47.4 V	10.34 A	19.39%
10%	407 W	39.6 V	10.29 A	47.4 V	10.84 A	20.29%
20%	444 W	39.6 V	11.22 A	47.4 V	11.82 A	22.14%
30%	481 W	39.6 V	12.16 A	47.4 V	12.81 A	23.98%
CS3U-375MB-AG	375 W	39.8 V	9.43 A	47.6 V	9.93 A	18.70%
Bifacial Gain**						
5%	394 W	39.8 V	9.9 A	47.6 V	10.43 A	19.64%
10%	413 W	39.8 V	10.37 A	47.6 V	10.92 A	20.59%
20%	450 W	39.8 V	11.32 A	47.6 V	11.92 A	22.43%
30%	488 W	39.8 V	12.26 A	47.6 V	12.91 A	24.33%
CS3U-380MB-AG	380 W	40 V	9.5 A	47.8 V	10.01 A	18.94%
Bifacial Gain**						
5%	399 W	40 V	9.98 A	47.8 V	10.51 A	19.89%
10%	418 W	40 V	10.45 A	47.8 V	11.01 A	20.84%
20%	456 W	40 V	11.4 A	47.8 V	12.01 A	22.73%
30%	494 W	40 V	12.35 A	47.8 V	13.01 A	24.63%
CS3U-385MB-AG	385 W	40.2 V	9.58 A	48 V	10.09 A	19.19%
Bifacial Gain**						
5%	404 W	40.2 V	10.06 A	48 V	10.59 A	20.14%
10%	424 W	40.2 V	10.54 A	48 V	11.1 A	21.14%
20%	462 W	40.2 V	11.5 A	48 V	12.11 A	23.03%
30%	501 W	40.2 V	12.45 A	48 V	13.12 A	24.98%

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

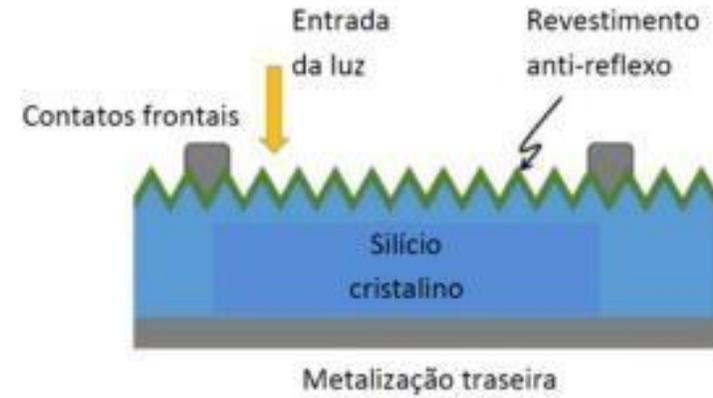
** Bifacial Gain: The additional gain from the back side compared to the power of the front side at the standard test condition. It depends on mounting structure, height, tilt angle etc. and

O ganho da bifacialidade depende do ambiente onde o módulo é instalado

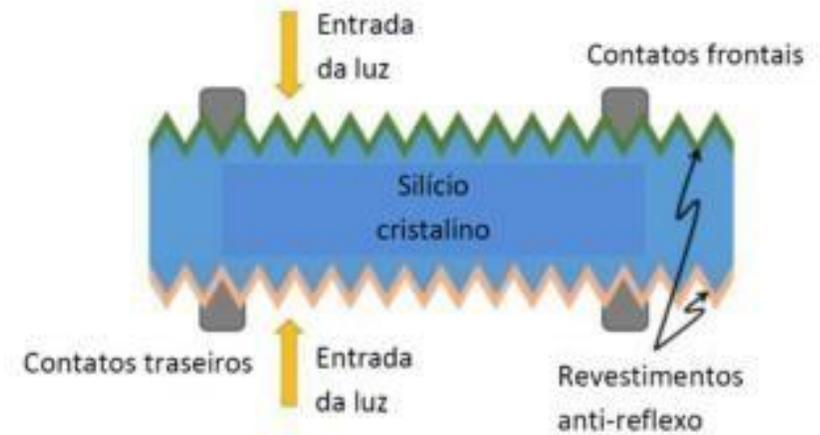


Células bifaciais x convencionais

Célula fotovoltaica convencional

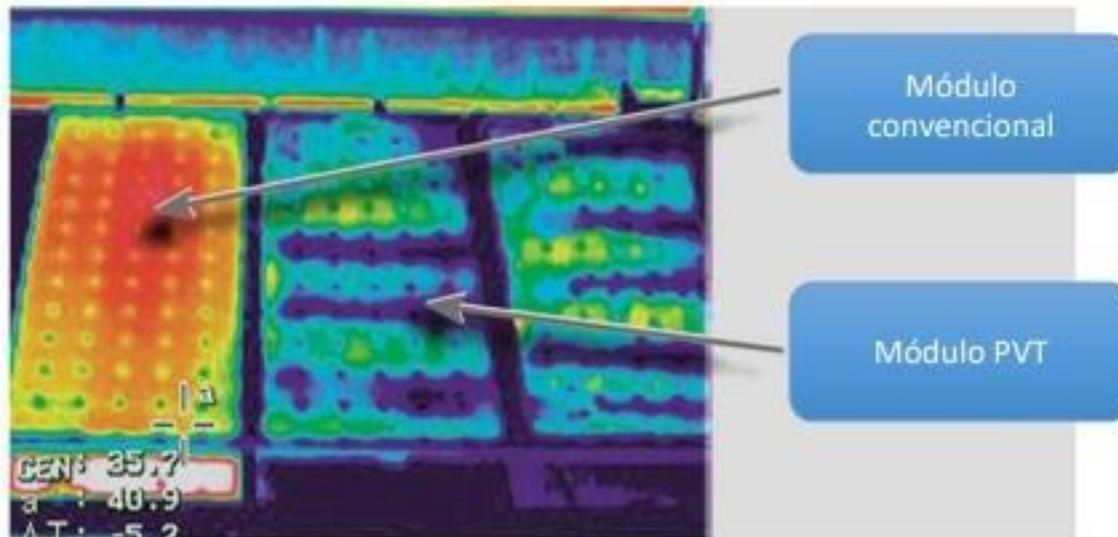
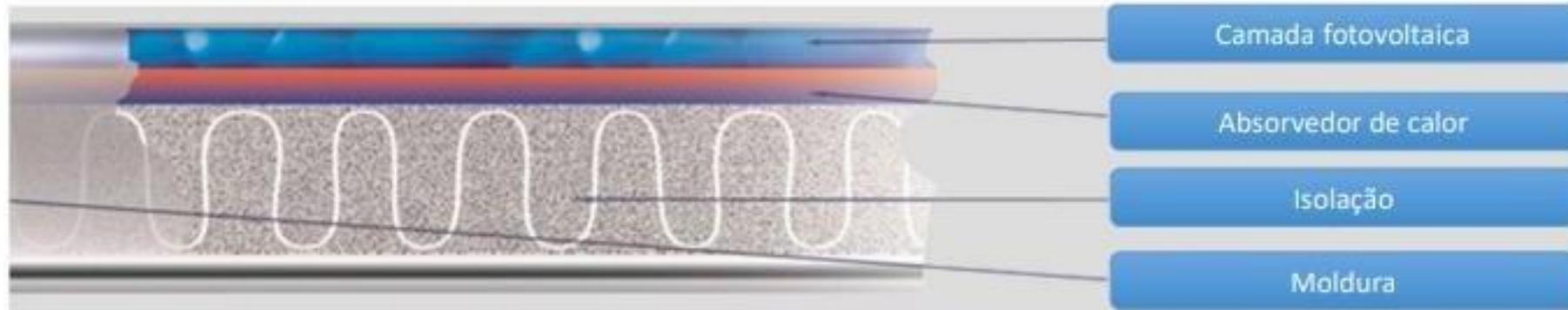


Célula fotovoltaica bifacial



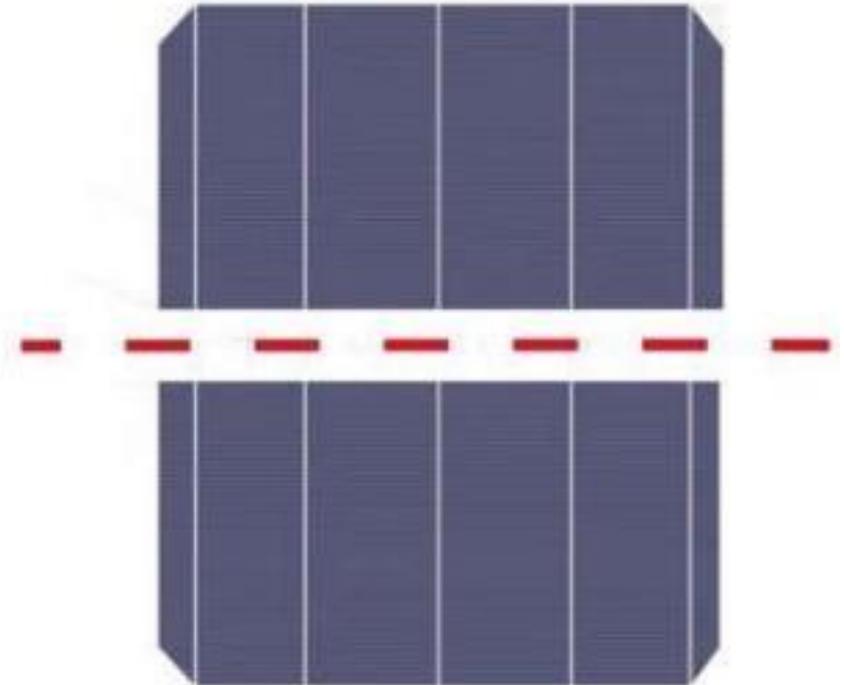
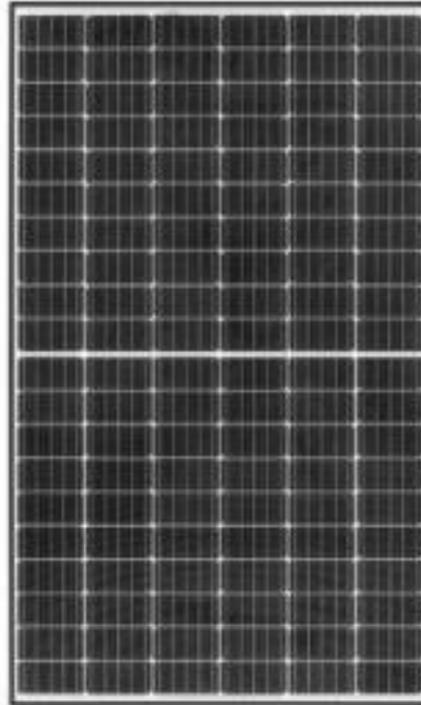


Módulo PVT – Fotovoltaico + Térmico



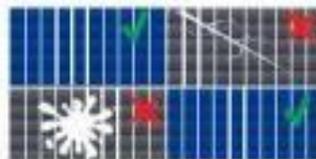
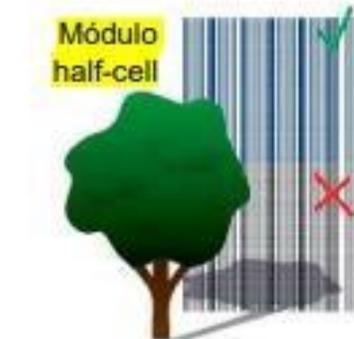
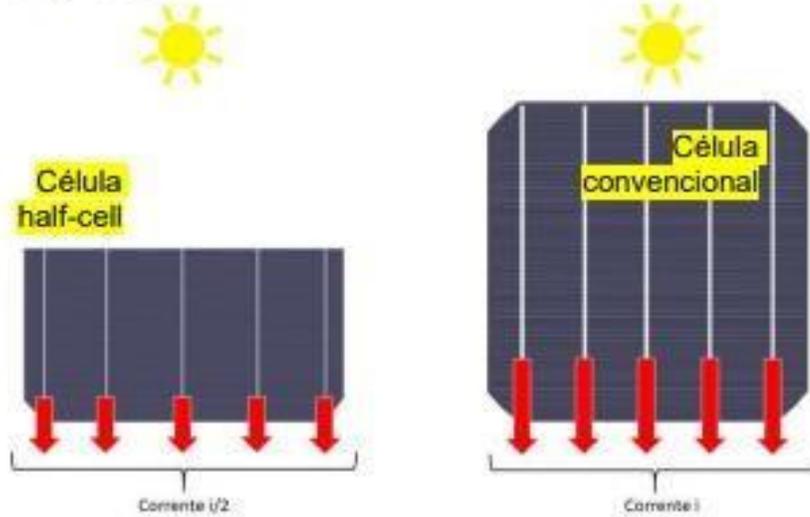


- Módulos *half-cell* (meia célula) são fabricados com células fotovoltaicas cortadas ao meio.
- Enquanto um módulo convencional possui (por exemplo) 72 células, um módulo *half-cell* possui 144 células (que na verdade são 144 meias células).
- Principal vantagem: o módulo fabricado com meias células é mais eficiente, pois possui menos resistências ôhmicas internas.
- Os módulos *half-cell* são mais tolerantes a sombras, pois é como se fossem constituídos por dois meios módulos ligados em paralelo. Se uma metade do módulo receber sombra, a outra metade continua funcionando.





Módulos *half-cell*



Células cortadas ao meio produzem metade da corrente elétrica de uma célula convencional.

Com a metade da corrente circulando em cada célula, as perdas ôhmicas nos terminais e contatos elétricos e nas próprias células são reduzidas a 1/4 das perdas originais, pois a perda ôhmica do módulo torna-se $P = R (i/2)^2 = Ri^2/4$, ao passo que originalmente as perdas seriam $P = Ri^2$, assumindo que as resistências ôhmicas presentes nos módulos são aproximadamente as mesmas para os dois tipos de células.

O aumento da eficiência do módulo *half-cell* também é mais elevado devido ao espaçamento existente entre as células, que eleva a eficiência óptica ao permitir maior espalhamento da luz que incide sobre as células.

Módulos *half-cell* são mais tolerantes a sombras

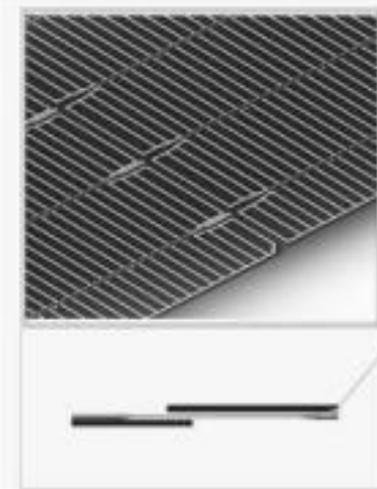


Módulos fotovoltaicos do tipo *shingle*

Conexão *shingle*
(células sobrepostas)



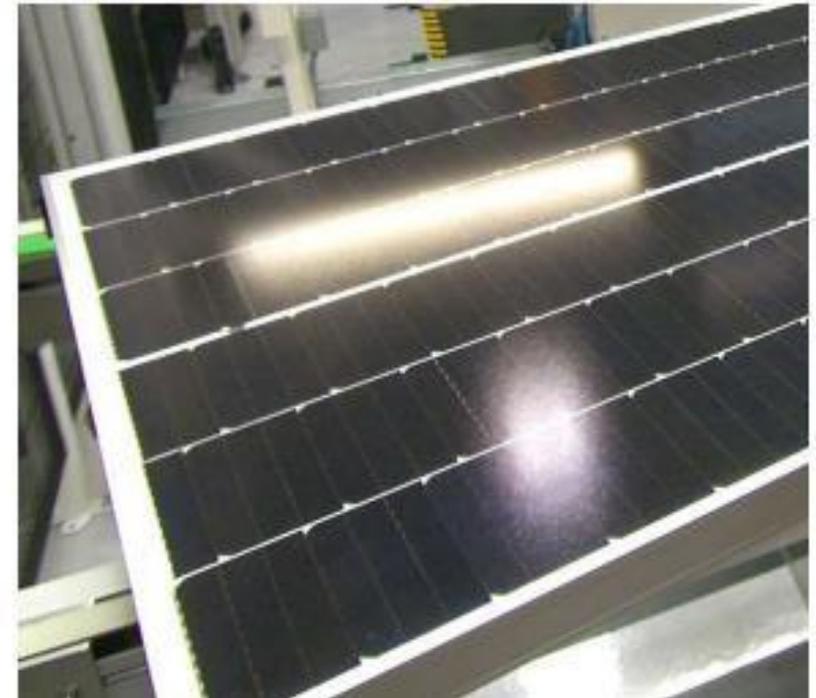
Conexão convencional (células interligadas por *ribbons*, que são condutores elétricos na forma de fitas) – é assim que os módulos tradicionais são construídos



Processo "quase *shingle*" usado pela Jinko Solar (ainda existe um *ribbon*)

Aspecto de um módulo *shingle*: células muito finas que são sobrepostas nas suas bordas.

Vantagens: elimina-se o uso de *ribbons* (perdas reduzidas) e aumenta-se a área útil do módulo fotovoltaico (maior eficiência).





Módulos fotovoltaicos *multi-busbar*



Os módulos FV eram tradicionalmente fabricados com células 3BB, 4BB ou 5BB (*busbars*).

Existe agora uma tendência para a fabricação de células com muitos *busbars*.

O aumento do número de *busbars* eleva a eficiência do módulo fotovoltaico, pois existe menos resistência à passagem da corrente elétrica.

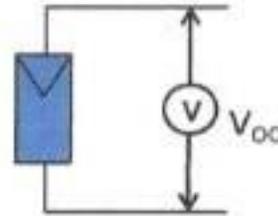
O maior número de *busbars* também confere resistência mecânica às células, tornando-as menos vulneráveis a *microcracks* (microfissuras).



CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DOS MÓDULOS FV

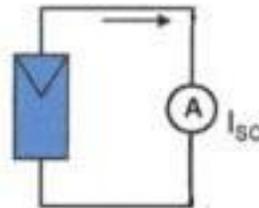
- Tensão de circuito aberto (V_{oc})

Tensão gerada por um conversor fotovoltaico, na condição de saída aberta (oc – open circuit), sem carga, para valores preestabelecidos de temperatura e de irradiância total.



- Corrente de curto-circuito (I_{sc})

Corrente de saída de um conversor fotovoltaico, na condição de curto-circuito (sc – short circuit), para valores preestabelecidos de temperatura e irradiância total.



As figuras a seguir ilustram como são medidos os parâmetros I_{sc} e V_{oc} .



A corrente de curto-circuito I_{sc} é medida com um [amperímetro](#), curto-circuitando os terminais de saída do módulo fotovoltaico.

Durante o teste ilustrado na figura abaixo o curto-circuito do módulo é realizado internamente pelo multímetro (operando no modo amperímetro).





A tensão de circuito aberto V_{oc} , é medida com um multímetro operando no modo voltímetro, mantendo abertos os terminais do módulo fotovoltaico.

Embora estejam conectados ao multímetro durante o teste, não há corrente passando pelos terminais de saída do módulo, portanto dizemos que ele se encontra em circuito aberto (desligado).





Curva **IV** é o gráfico que relaciona a corrente (I) e a tensão de saída (V) do módulo fotovoltaico.

Já a curva **PV** é o gráfico que relaciona a potência (P) e a tensão (V) de saída do módulo.

A **Isc** (short circuit – corrente de curto-circuito) é a máxima corrente elétrica que o módulo pode fornecer.

O **Voc** (open circuit – tensão de circuito aberto) é a máxima tensão que o módulo pode fornecer.

A **Imp** (maximum power – corrente de máxima potência) é a corrente que o módulo fornece quando opera no seu ponto de máxima potência.

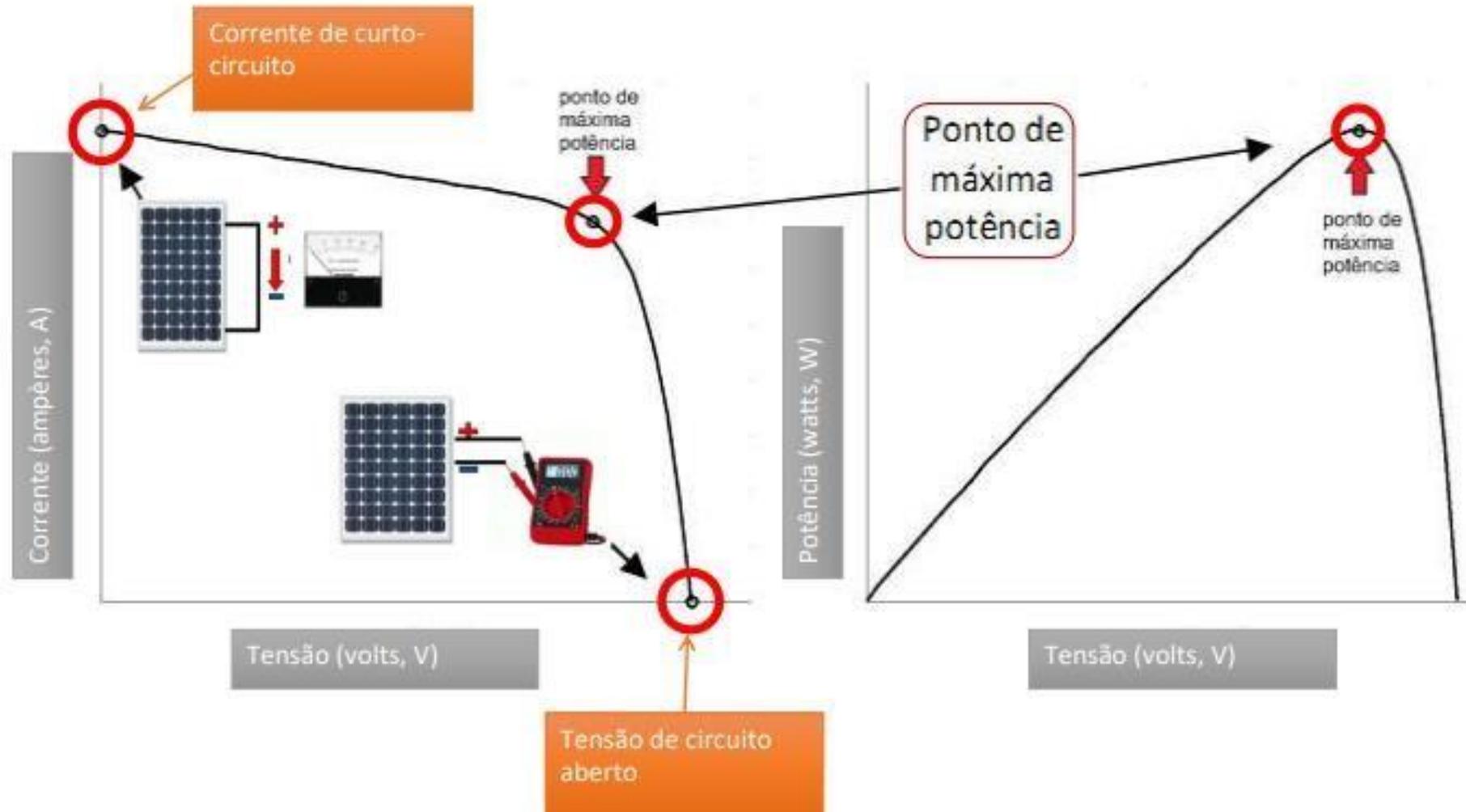
A **Vmp** (tensão de máxima potência) é a tensão que o módulo apresenta nos seus terminais quando opera no seu ponto de máxima potência.

A **Pmp** (potência de máxima potência) o nome é um pouco redundante e quer dizer exatamente isso. Em outras palavras, esta é a potência de pico do módulo fotovoltaico.

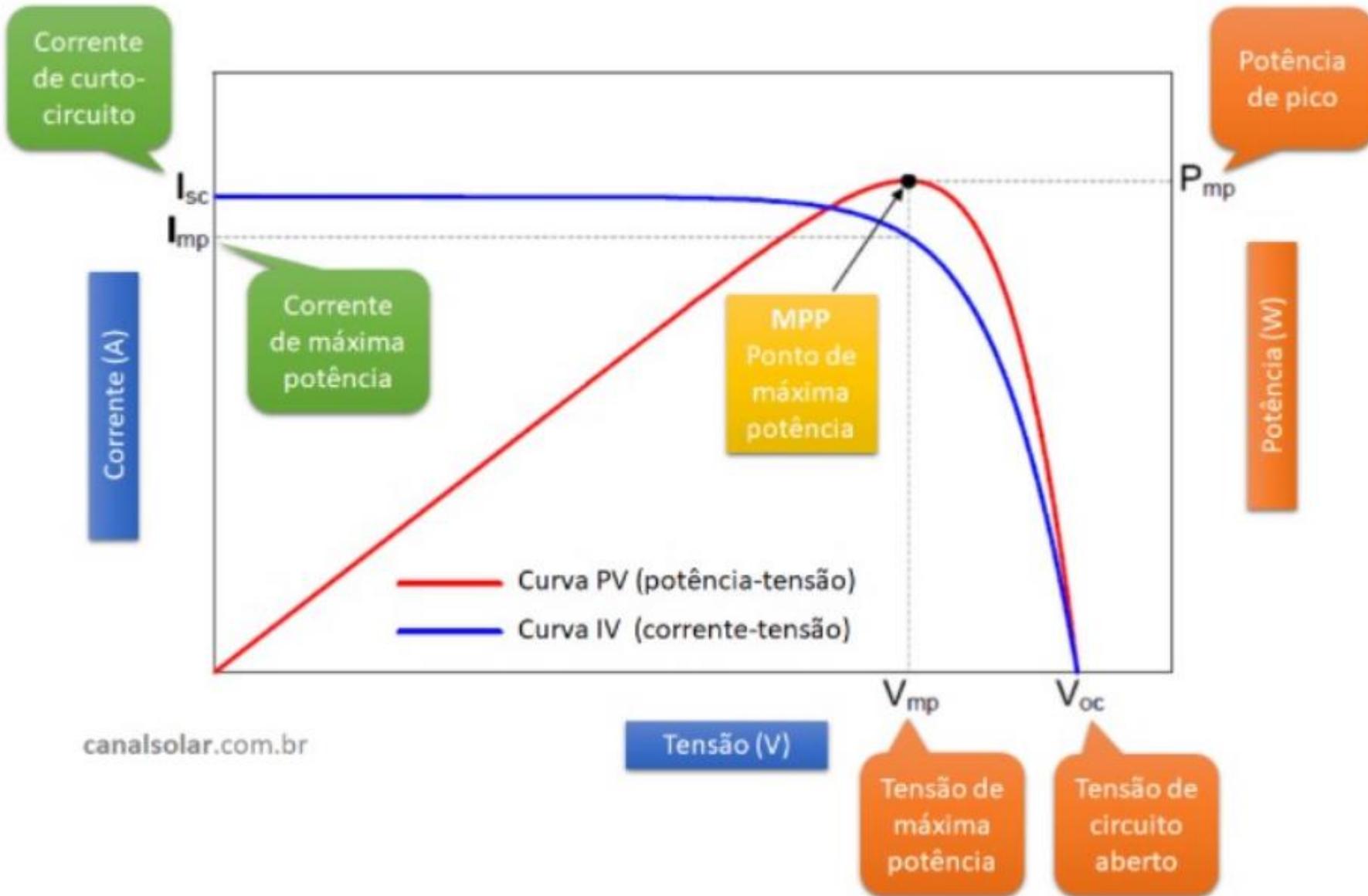
A **MPP** (maximum power point) é o ponto de máxima potência do módulo fotovoltaico. Encontra-se no joelho da curva IV e no pico da curva PV. Os valores de **Isc**, **Voc**, **Imp**, **Vmp**, **Pmp** são especificados nas folhas de dados para uma irradiância de **1000 W/m²** e uma temperatura operacional de **25 °C**.



Características elétricas dos módulos fotovoltaicos



Características elétricas dos módulos fotovoltaicos





Ponto de Máxima Potência

- ✓ A **máxima transferência de potência de um gerador qualquer**, ocorre quando ele está fornecendo os valores máximos de tensão (em volts) e corrente (em amperes) que combinados, formam o maior valor de potência (em watts).
- ✓ Para que isso ocorra, a **carga(consumidora de energia)** deve possuir resistência (ou impedância) igual à resistência interna do gerador.
- ✓ No **gerador fotovoltaico**, o ponto de **máxima potência**, é dado pelos valores limitados da “tensão em máxima potência” e da “corrente em máxima potência”.
- ✓ O **ponto de máxima potência varia em função da irradiância solar, e da temperatura de trabalho das células fotovoltaicas**; o que faz com que o “ponto de **máxima potência**” de um **módulo fotovoltaico flutue**, acompanhando tais variações.



MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Características elétricas dos Módulos FV

Grandezas Elétricas Padrão

- ✓ A tabela 3 mostra os valores e grandezas das características elétricas principais dos módulos fotovoltaicos, em condições padrão de teste (STC). São os valores que os fabricantes costumam apresentar nas “folhas de dados” e nas etiquetas coladas na parte traseira dos módulos fotovoltaicos.

Tabela 3 - Grandezas elétrica de módulos fotovoltaicos em condições padrão de teste - STC - fonte: IEC-61730-2:2004

Característica	Abreviatura	Descrição	Grandeza	Símbolo
Potência Máxima	P_{MPP}	Máxima Potência transferida à carga	watt	Wp
Tensão em Máxima Potência	V_{MPP}	Tensão Máxima, durante a máxima transferência de potência.	volt	V
Corrente em Máxima Potência	I_{MPP}	Corrente Máxima, durante a máxima transferência de potência.	ampere	A
Tensão em Circuito Aberto	V_{OC}	Tensão Máxima entre terminais, sem a presença de carga.	volt	V
Corrente em Curto Circuito	I_{SC}	Corrente máxima entre terminais, em condição de curto circuito e sem a presença de carga.	ampere	A



MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

- ✓ A Figura mostra a variação da geração de um **módulo fotovoltaico de 36 células**, que recebe diferentes valores de Irradiância.

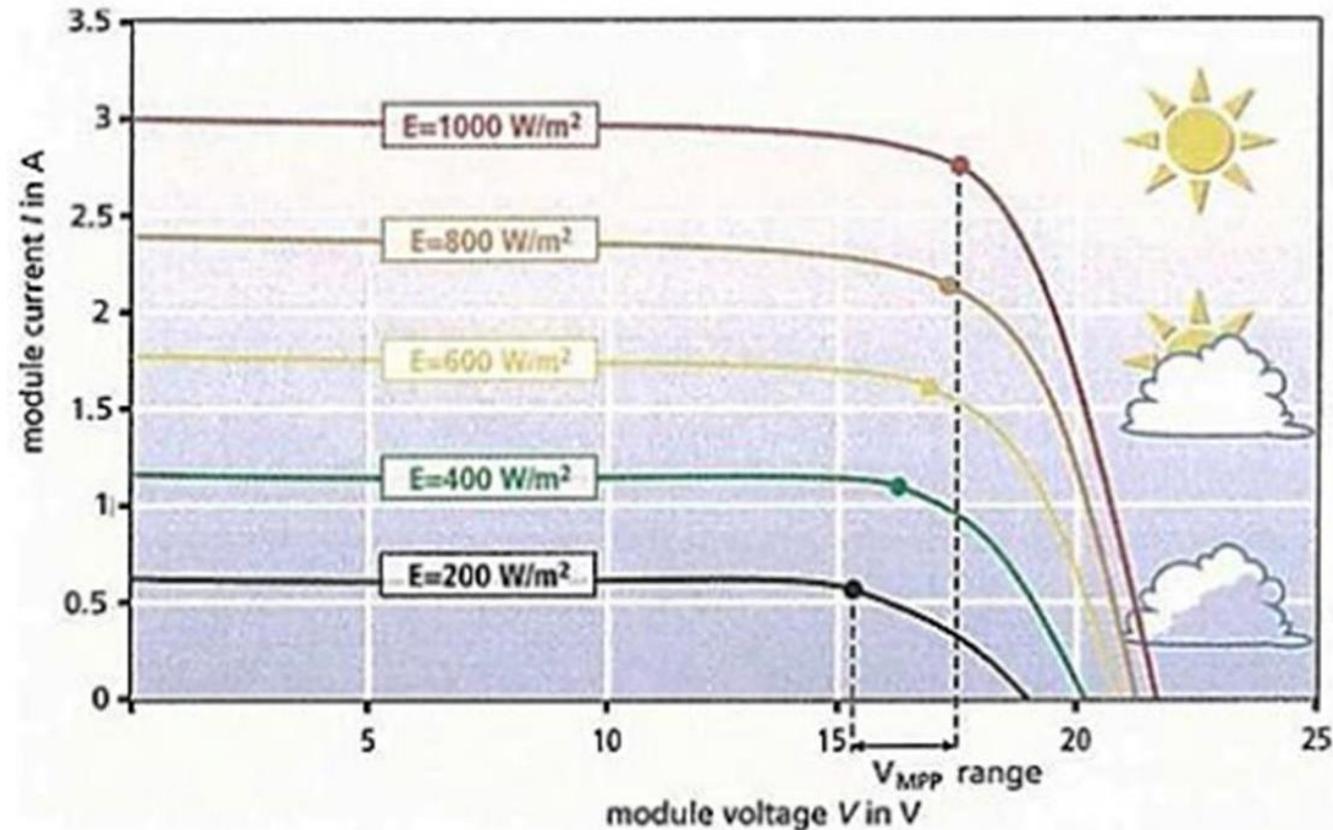
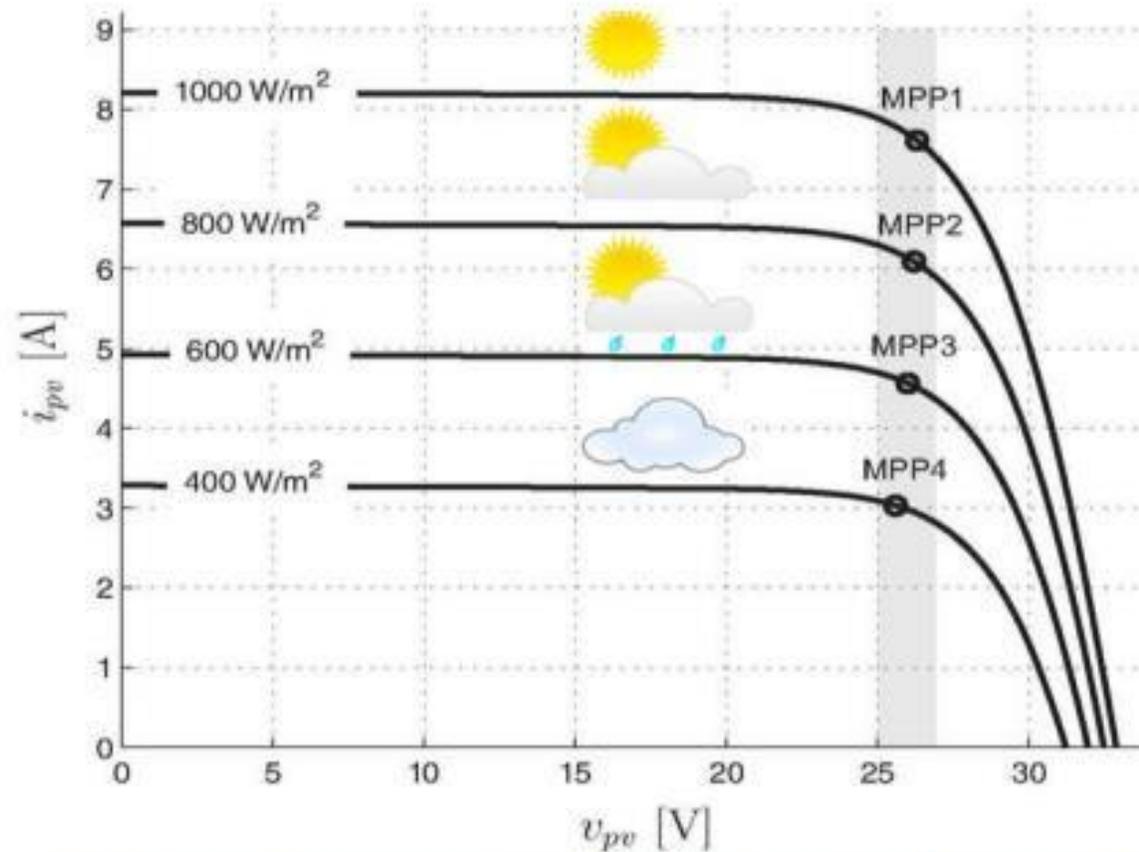


Figura 18 - Curvas de tensão e corrente de um módulo fotovoltaico em diferentes irradiâncias – fonte: GreenPro



Influência da intensidade da luz solar (irradiância)



Relação entre corrente e tensão do painel fotovoltaico (curva IxV) em várias condições de radiação solar.

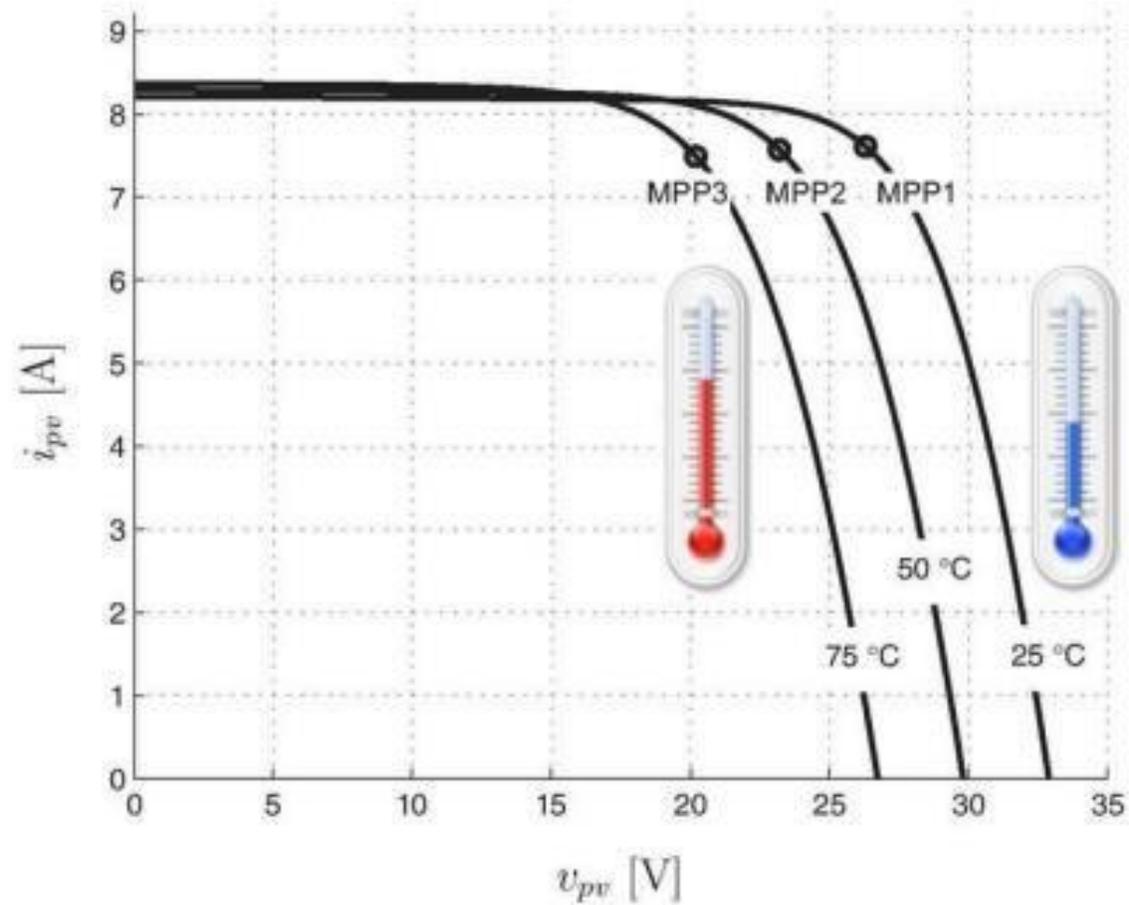


Coeficientes de Temperatura

- ✓ **Coeficiente de temperatura do Módulo Fotovoltaico** é especialmente importante no Brasil!
- ✓ O **coeficiente de temperatura** é um **número que descreve** a forma como o **módulo solar fotovoltaico** funciona com **temperaturas quentes** - quente é definido como uma temperatura maior que 25 graus Celsius.
- ✓ **As unidades deste coeficiente** são expressas em "%" por graus "C" (%/C).
- ✓ Quanto **menor esse número**, melhor! Quanto mais sol você tiver em seu telhado mais energia você poderá gerar. Não se este número é muito alto ...



Influência da temperatura



Relação entre corrente e tensão do painel fotovoltaico (curva IxV) em várias condições de temperatura.



Coeficientes térmicos

Coeficiente de temperatura P_{mpp}	-0,46%/K
Coeficiente de temperatura U_{oc}	-0,32%/K

A potência gerada e a tensão de saída diminuem com o aumento da temperatura

O coeficiente de tensão/temperatura é o mais importante, pois define o aumento da tensão do painel quando a temperatura diminui. Isso é importante no dimensionamento dos sistemas.



MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Coeficientes de Temperatura

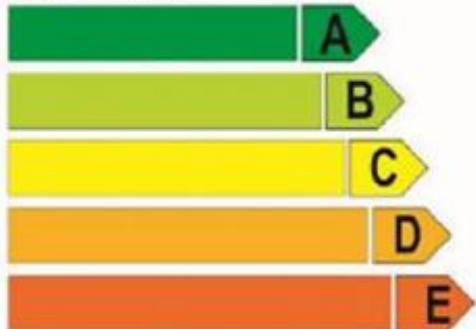
- ✓ Os **coeficientes de temperatura** tomam como base as **características elétricas dos módulos fotovoltaicos em STC**, com a temperatura das células fotovoltaicas no valor padrão de 25° C.
- ✓ Qualquer **valor acima ou abaixo dessa referência** significa alterações nos valores das características (grandezas) elétricas dos módulos fotovoltaicos.

Tabela 4 - Coeficientes de temperatura de um módulo fotovoltaico comercial (240 Wp) - fonte: Shufeng/Suntech

Características de Temperatura	
Temperatura Nominal de Funcionamento da Célula (NOCT)	45±2 °C
Coeficiente de Temperatura da Ppeak	-0,4%/°C
Coeficiente de Temperatura da Voc	-0,314%/°C
Coeficiente de Temperatura da Isc	0,51%/°C

ESPECIFICAÇÃO DO PAINEL SOLAR



Energia (Elétrica)	MÓDULO FOTOVOLTAICO
Fabricante Marca	JA SOLAR BRASIL LTDA. JA Solar
Modelo	JAM72S30-550/MR
<p>Mais eficiente</p>  <p>Menos eficiente</p>	A
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (%)	21,3
Área Externa do Módulo (m ²)	2,58
Produção Média Mensal de Energia (kWh/mês)	68,75
Potência nas Condições Padrão (W)	550
<p>Requisitos de Avaliação da Conformidade para Sistemas e Equipamentos para Energia Fotovoltaica</p> <p>Instruções de instalação e recomendações de uso, leia o Manual do aparelho</p> <p>PROCEL PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA</p> <p>INMETRO</p> <p>IMPORTANTE: A REMOÇÃO DESTA ETIQUETA ANTES DA VENDA ESTÁ EM DESACORDO COM O CÓDIGO DE DEFESA DO CONSUMIDOR</p>	



JA SOLAR

MONO

550W

EFICIÊNCIA

21,30%

84,8%

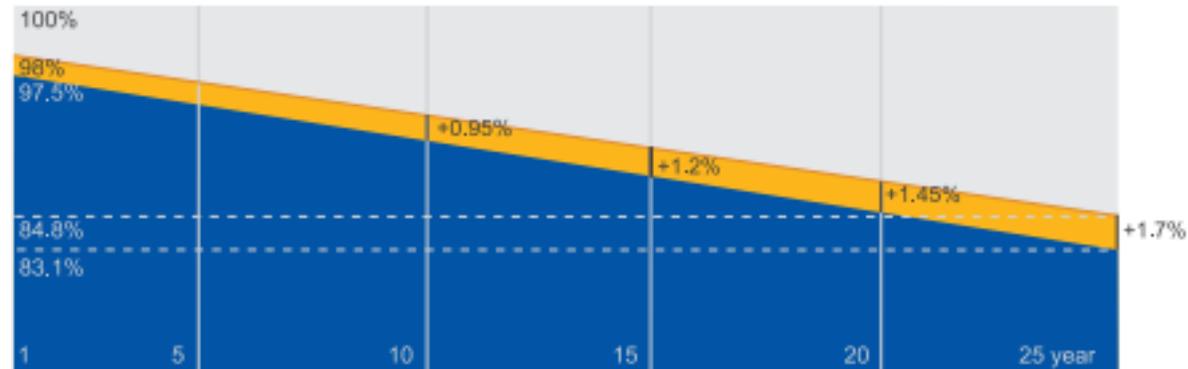
AOS 25 ANOS



Garantia Superior

- 12-anos garantia de produto
- 25-anos garantia de geração de potência linear

0,55% de degradação anual por 25 anos



■ Nova garantia linear

■ Garantia linear de módulo padrão

Certificados

- IEC 61215, IEC 61730, UL 61215, UL 61730
- ISO 9001 : 2015 Sistema de Gestão da Qualidade
- ISO 14001: 2015 Gestão do meio ambiente
- ISO 45001: 2018 Saúde ocupacional e gestão da segurança
- IEC TS 62941: 2016 Módulos fotovoltaicos terrestres (FV) - Guia para maior confiabilidade no design de módulos FV qualificação e aprovação por tipo

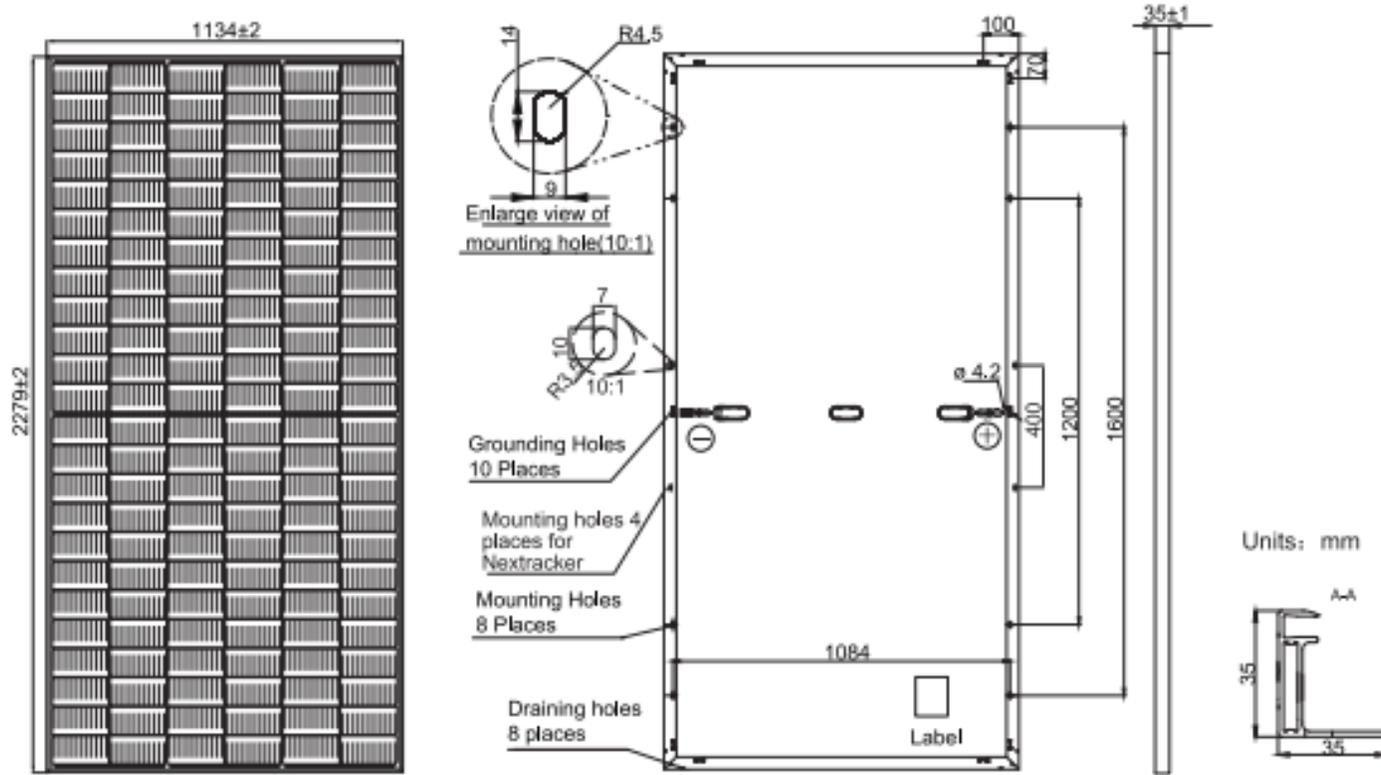




JA SOLAR

JAM72S30 530-555/MR Series

DIAGRAMA MECÂNICO



Remark: customized frame color and cable length available upon request

ESPECIFICAÇÕES

Célula	Mono
Peso	28.6kg±3%
Dimensões	2278±2mm×1134±2mm×35±1mm
Seção transversal do cabo	4mm ² (IEC) , 12 AWG(UL)
Nº de células	144(6×24)
Caixa de Junção	IP68, 3 diodos
Conector	QC 4.10(1000V) QC 4.10-35(1500V)
Comprimento do cabo (Incluindo Conector)	Porta-retrato: 300mm(+)/400mm(-); Paisegem: 1300mm(+)/1300mm(-)
Configuração da Embalagem	31pcs/Pallet 620pcs/40HQ Container



PARAMÊTROS ELÉTRICOS NA STC

Tipo	JAM72S30 -530/MR	JAM72S30 -535/MR	JAM72S30 -540/MR	JAM72S30 -545/MR	JAM72S30 -550/MR	JAM72S30 -555/MR
Potência Máxima(Pmax) [W]	530	535	540	545	550	555
Tensão de Circuito Aberto(Voc) [V]	49.30	49.45	49.60	49.75	49.90	50.02
Tensão na Potência Máxima(Vmp) [V]	41.31	41.47	41.64	41.80	41.96	42.11
Corrente de Curto-circuito(Isc) [A]	13,72	13,79	13,86	13,93	14,00	14,07
Corrente na Potência Máxima(Imp) [A]	12,83	12,90	12,97	13,04	13,11	13,18
Eficiência do Módulo [%]	20,5	20,7	20,9	21,1	21,3	21,5
Tolerância de Potência	±5W					
Coeficiente de Temperatura da Isc(α_{Isc})	+0.045%/°C					
Coeficiente de Temperatura da Voc(β_{Voc})	-0.275%/°C					
Coeficiente de Temperatura da Pmax(γ_{Pmp})	-0.350%/°C					
STC (Condições de Teste Padrão)	Irradiância 1000W/m ² , temperatura das células 25°C, AM1,5G					

Observações: Os dados neste catálogo não se referem a um módulo ^o e não são parte da oferta. Eles somente servem como comparação entre módulos distintos.



Observações: Os dados neste catálogo não se referem a um módulo e não são parte da oferta. Eles somente servem como comparação entre módulos distintos.

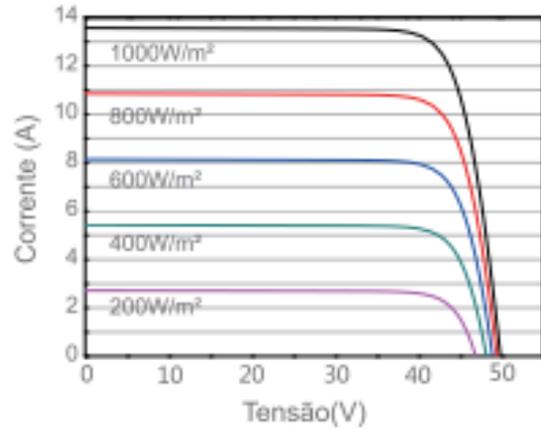
PARÂMETROS ELÉTRICOS NA NOCT							CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO	
Tipo	JAM72S30 -530/MR	JAM72S30 -53 /MR	JAM72S30 -540/MR	JAM72S30 -545/MR	JAM72S30 -550/MR	JAM72S30 -555/MR		
Potência Máxima(Pmax) [W]	401	405	408	412	416	420	Tensão Máxima do Sistema	1000V/1500V DC
Tensão de Circuito Aberto(Voc) [V]	46.18	46.31	46.43	46.55	46.68	46.85	Temperatura Operacional	-40 C ~+85 C
Tensão na Potência Máxima(Vmp) [V]	38.57	38.78	38.99	39.20	39.43	39.66	Classificação Máxima de Fusíveis em Série	25A
Corrente de Curto-circuito(Isc) [A]	11.01	11.05	11.09	11.13	11.17	11.21	Carga Estática Máxima, Frontal*	5400Pa(112lb/ft ²)
Corrente na Potência Máxima(Imp) [A]	10.39	10.43	10.47	10.51	10.55	10.59	Carga Estática Máxima, Traseira*	2400Pa(50lb/ft ²)
NOCT	Irradiância 800W/m ² , temperatura ambiente 20°C, velocidade do vento 1m/s, AM1.5G						NOCT	45±2 C
							Classe de Segurança	Class II
							Classificação Contra Fogo	UL Type 1

*Para instalações NexTracker, Carga Estática Máxima, Frontal 2000Pa, enquanto, Carga Máxima Estática Traseira 2000Pa

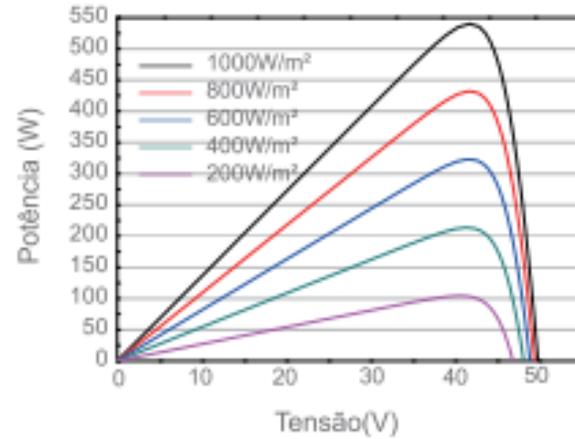


CARACTERÍSTICAS

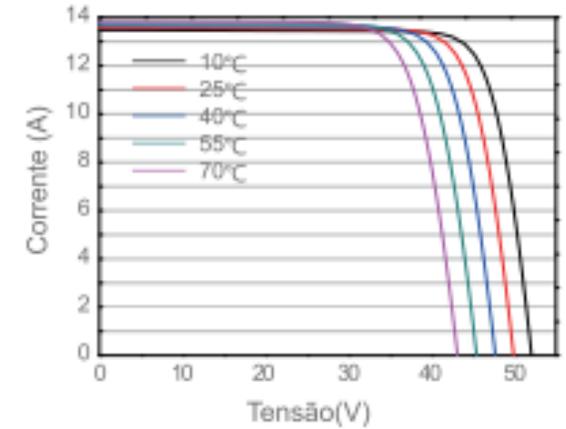
Curva de Corrente-Tensão JAM72S30-540/MR



Curva de Potência-Tensão JAM72S30-540/MR



Curva de Corrente-Tensão JAM72S30-540/MR





Condições STC e NOCT

- A sigla **STC** refere-se à condição padrão de teste do painel (*standard test condition*).
- Todos os módulos fotovoltaicos são testados na fábrica e são especificados nas condições STC padronizadas por organismos internacionais de certificação.
- Irradiância de **1000 W/m²** e temperatura de **25°C da célula solar**

- Condição na temperatura normal de operação da célula (**NOCT= *normal operation cell temperature***)
- Tensões, correntes e potências do painel em condições reais de operação, com temperatura ambiente de 20 °C , irradiância solar de **800 W/m²** e velocidade do vento de 1 m/s.
- Em temperatura ambiente de 20 °C **a célula vai estar tipicamente a 48 °C.**



Características elétricas com ganho da bifacialidade (para módulos bifaciais)

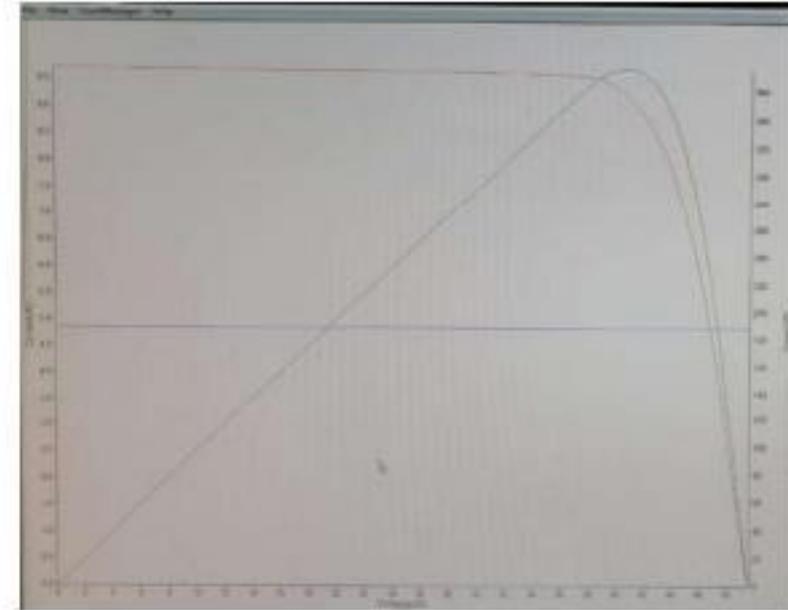
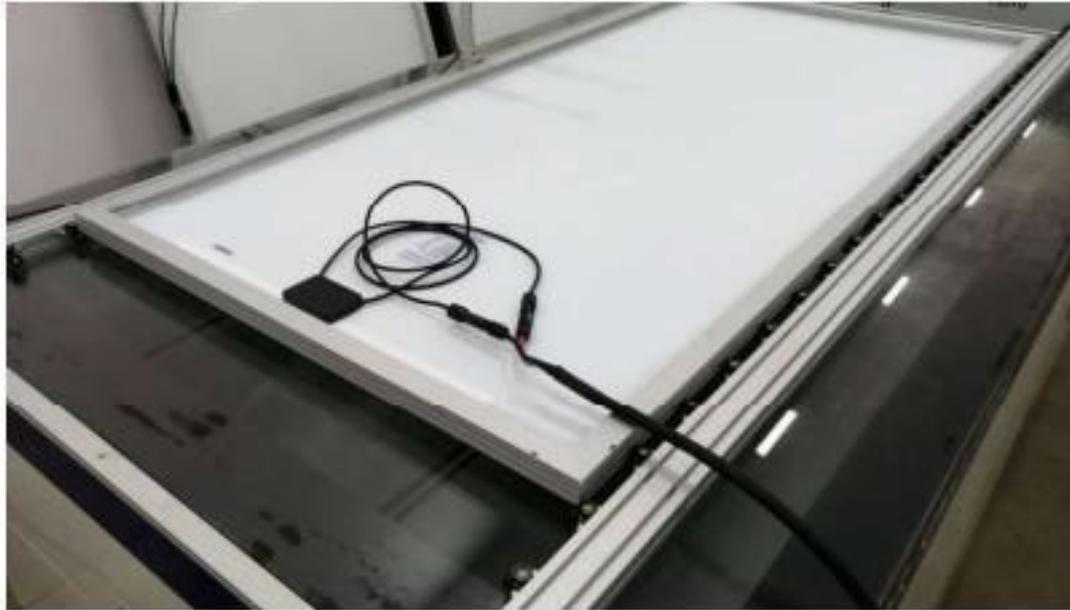
ELECTRICAL CHARACTERISTICS WITH DIFFERENT REAR SIDE POWER GAIN(REFRENC TO 385W FRONT)						OPERATING CONDITIONS	
Backside Power Gain	5%	10%	15%	20%	25%	Maximum System Voltage	1500V DC(IEC)
Rated Max Power(Pmax) [W]	404	424	443	462	481	Operating Temperature	-40°C--+85°C
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	49.11	49.11	49.11	49.21	49.21	Maximum Series Fuse	20A
Max Power Voltage(Vmp) [V]	40.33	40.33	40.33	40.43	40.43	Maximum Static Load,Front*	5400Pa
Short Circuit Current(Isc) [A]	10.59	11.10	11.60	12.11	12.61	Maximum Static Load,Back*	2400Pa
Max Power Current(Imp) [A]	10.02	10.51	10.98	11.43	11.90	NOCT	45±2°C
						Bifaciality*	70%±5%

*For NexTracker installations static loading performance: front load measure 2400Pa, while back load measures 2400Pa.



Determinação das características elétricas do módulo: teste de *flash* de luz

- Permite determinar as características elétricas do módulos fotovoltaicos (eficiência, potência, corrente de curto-circuito, tensão de circuito aberto)



Modelo/Código:	
Potência Máxima:	380W Classe: A
Tensão de Máx. Potência:	39,64V Tensão de Circuito Aberto 47,77V
Corrente de Máx Potência:	9,60A Corrente de Curto Circuito: 9,90A
Fusível Máx em Série:	15A Tensão Máx. de Sistema: 1000V
Condição padrão de teste STC: Temperatura ambiente de 25°C e irradiância de 1000W/m ² .	

Modelo	380W
Classe	A
Potência Máx	380,00
Tensão Máx Pot	39,64
Corrente Máx Pot	9,60
Tensão de Circuito Aberto	47,77
Corrente de Curto Circuito	9,90
Fusível Máx em Série	15,00
Tensão Máx. de Sistema	1000,00
Condição padrão de teste STC	Temperatura ambiente de 25°C e irradiância de 1000W/m ² .
Eff	19,3515



Etiquetagem INMETRO

- A certificação de módulos fotovoltaicas tornou-se obrigatória no país em 2011
- A certificação deve ser feita na origem, antes do embarque do produto (para importados)
- O fabricante deve fornecer 2 amostras
- Somente após a homologação pelo INMETRO o produto recebe a LI (licença de importação)
- Deve haver uma **única** pessoa jurídica responsável pela marca e modelo do painel no território nacional

Energia (Elétrica)		MÓDULO FOTOVOLTAICO
Fabricante		ABCDEF ← I
Marca		XYZLMNP ← II
Modelo		WQOPI ← III
Mais eficiente		A ← IV
	A	
	B	
	C	
	D	
	E	
Menos eficiente		
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (%)		XYZ ← V
Área Efetiva do Módulo (m ²)	0,00	← VI
Produção Média Mensal de Energia (kWh/mês)	0,00	← VII
Potência (nas Condições Padrão (W))	0,00	← VIII
<small> Número de Modelo de Conformidade com Padrões e Especificações Grupo Fotovoltaico Instruções de instalação e manutenção de uso, lista de peças de reposição </small>		
 <small> Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica Ministério de Minas e Energia </small>		
<small> IMPORTANTE: A REMOÇÃO DESTA ETIQUETA ANTES DA VENDA, ESTA EM DISACORDO COM O CONSELHO DE DEFESA DO CONSUMIDOR </small>		



Vida útil do módulo fotovoltaico

- Fabricantes de módulos asseguram vida útil de 25 anos com 80% da potência máxima inicial ao final desse período.
- Alguns fabricantes asseguram 90% da potência máxima inicial em 10 anos.
- O desempenho dos módulos é testado em ensaios de envelhecimento acelerado, em condições agressivas.



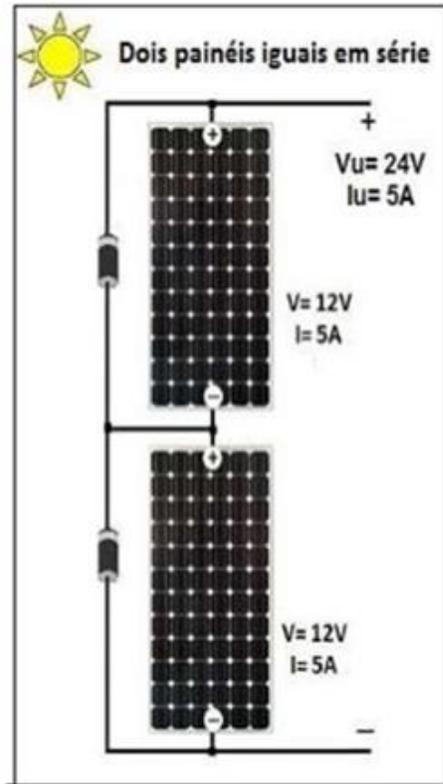
Thermal cycling (ciclo térmico)

O teste de ciclo térmico é outro procedimento encontrado na norma IEC 61215. Neste teste o módulo fotovoltaico é submetido a ciclos de aquecimento e resfriamento com o objetivo de provocar a fadiga térmica dos componentes. O estresse a que o módulo é submetido permite avaliar a confiabilidade do produto e identificar defeitos de fabricação, soldas mal feitas, células fissuradas, delaminação (descolamento das células), redução de eficiência e redução da capacidade de isolamento elétrica, entre outras coisas.

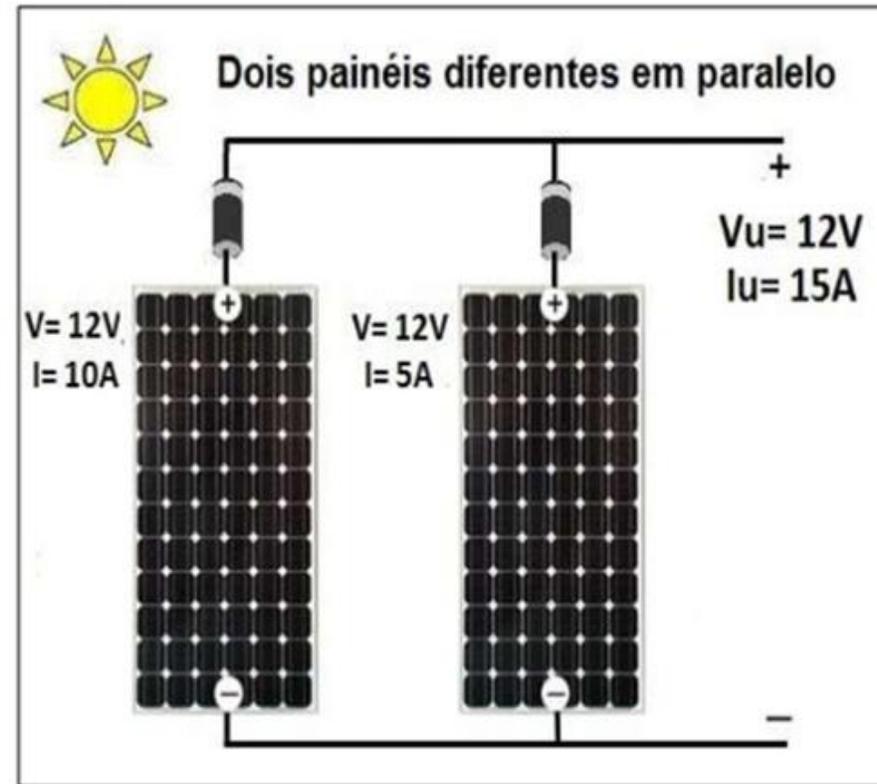
A designação TC200 encontrada na norma IEC 61215 corresponde a uma sequência de **200 ciclos de 6 horas**. Em cada ciclo o módulo é submetido a temperaturas que vão de **-40 °C a +85 °C**, com variações máximas de 100 °C/hora e permanência mínima de 10 minutos em cada valor de temperatura.



TIPOS DE LIGAÇÃO DOS MÓDULOS SOLARES FOTOVOLTAICOS



Em Série : A corrente é a mesma e as Tensões somam.



Em Paralelo : A Tensão é a mesma e as correntes somam

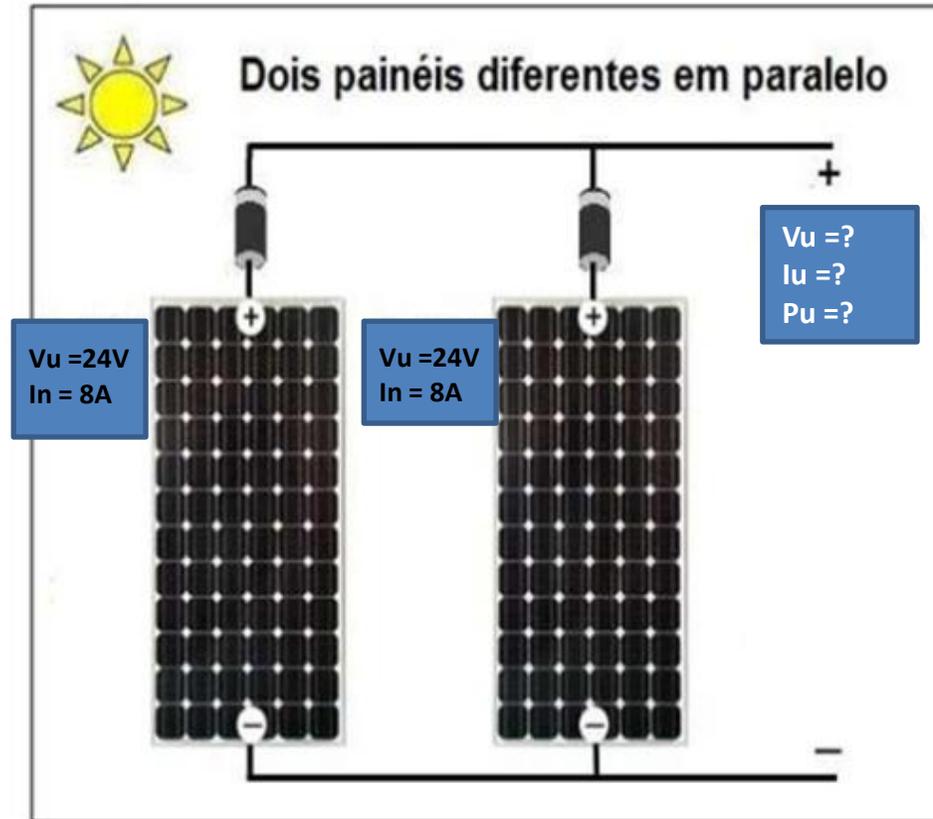
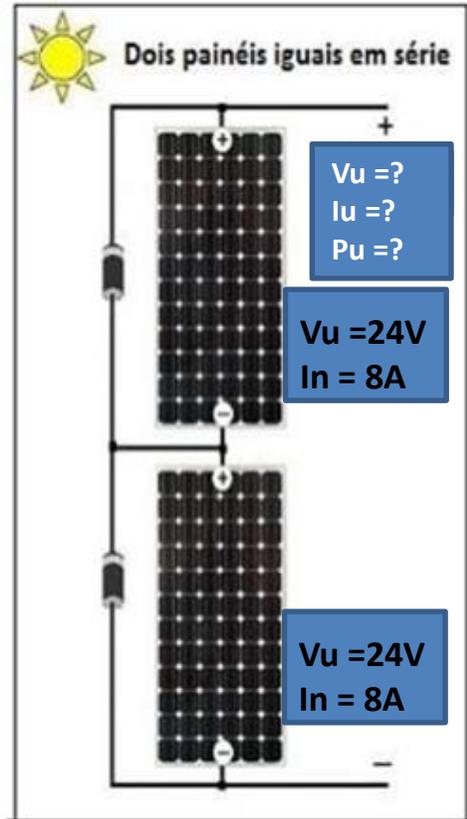
TIPOS DE LIGAÇÃO DOS MÓDULOS SOLARES FOTOVOLTAICOS



Em Série - Paralelo : As Tensões somam e as Correntes somam.



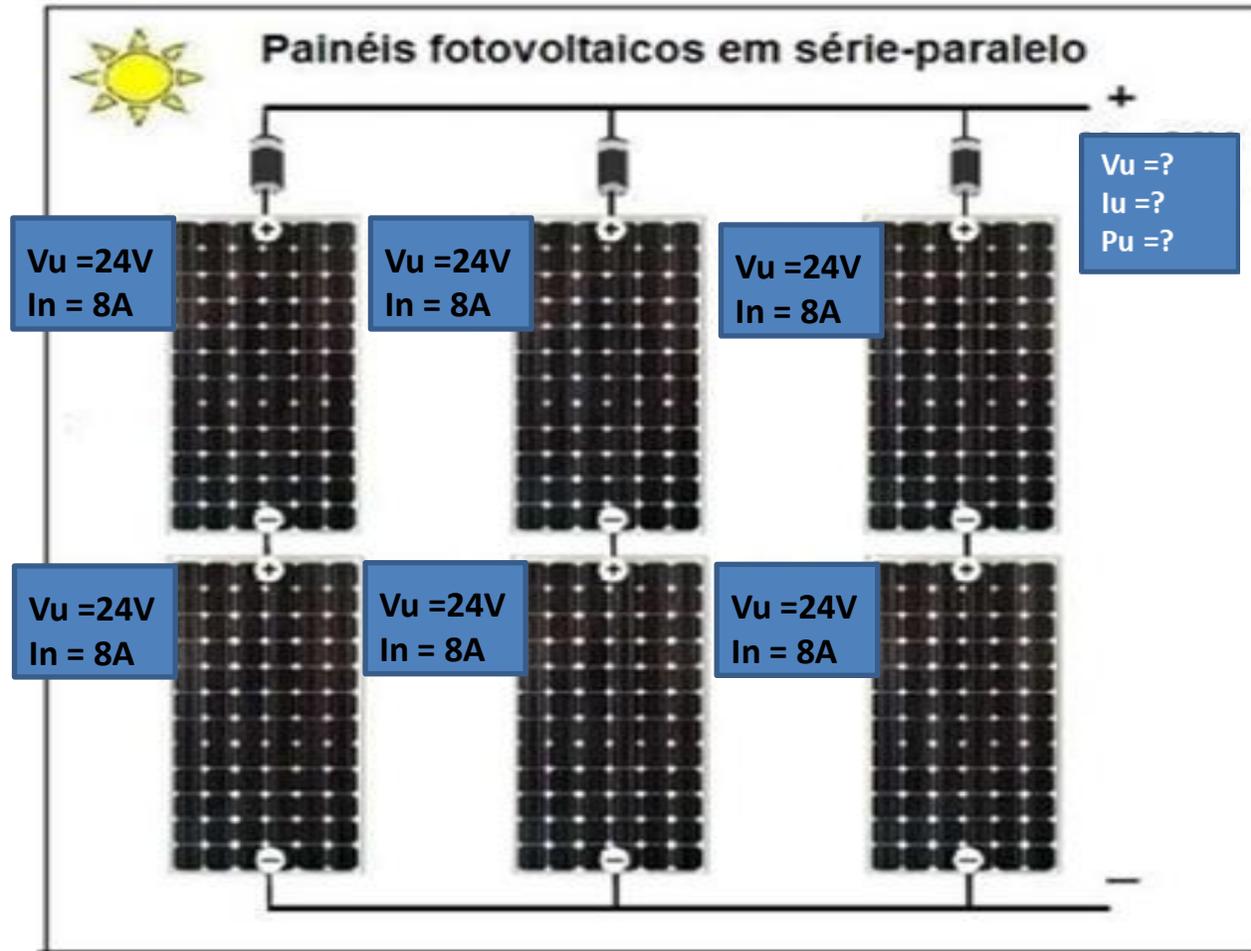
TIPOS DE LIGAÇÃO DOS MÓDULOS SOLARES FOTOVOLTAICOS



Em Série : A corrente é a mesma e as Tensões somam.

Em Paralelo : A Tensão é a mesma e as correntes somam

TIPOS DE LIGAÇÃO DOS MÓDULOS SOLARES FOTOVOLTAÍCOS

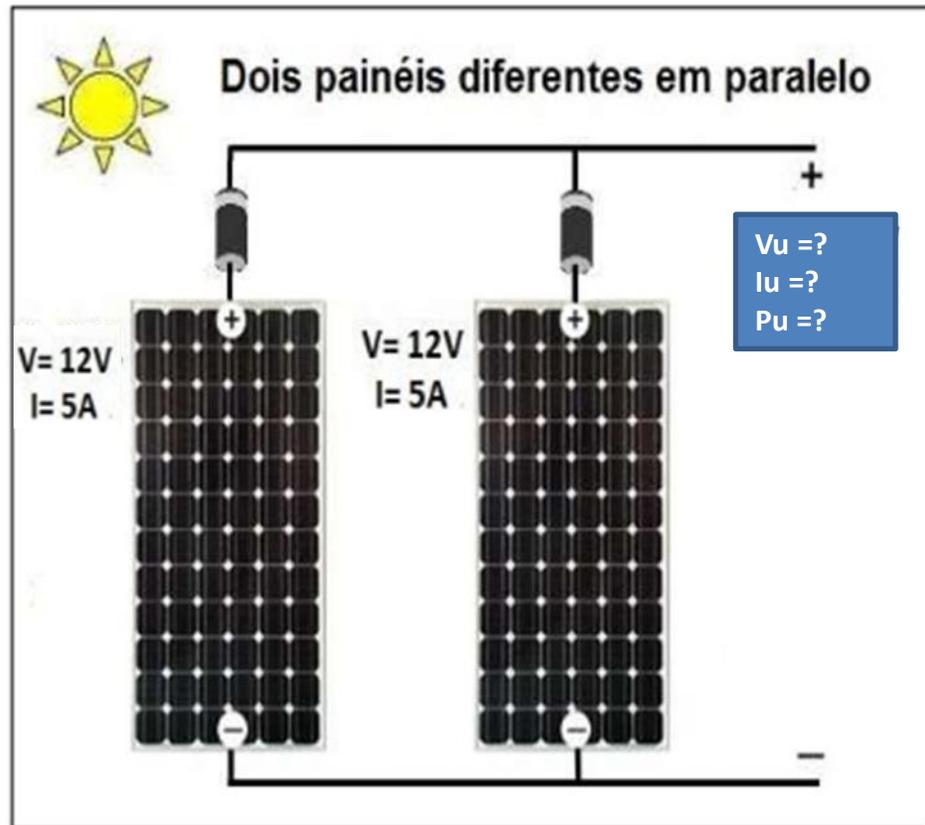


Em Série - Paralelo : As Tensões somam e as Correntes somam.

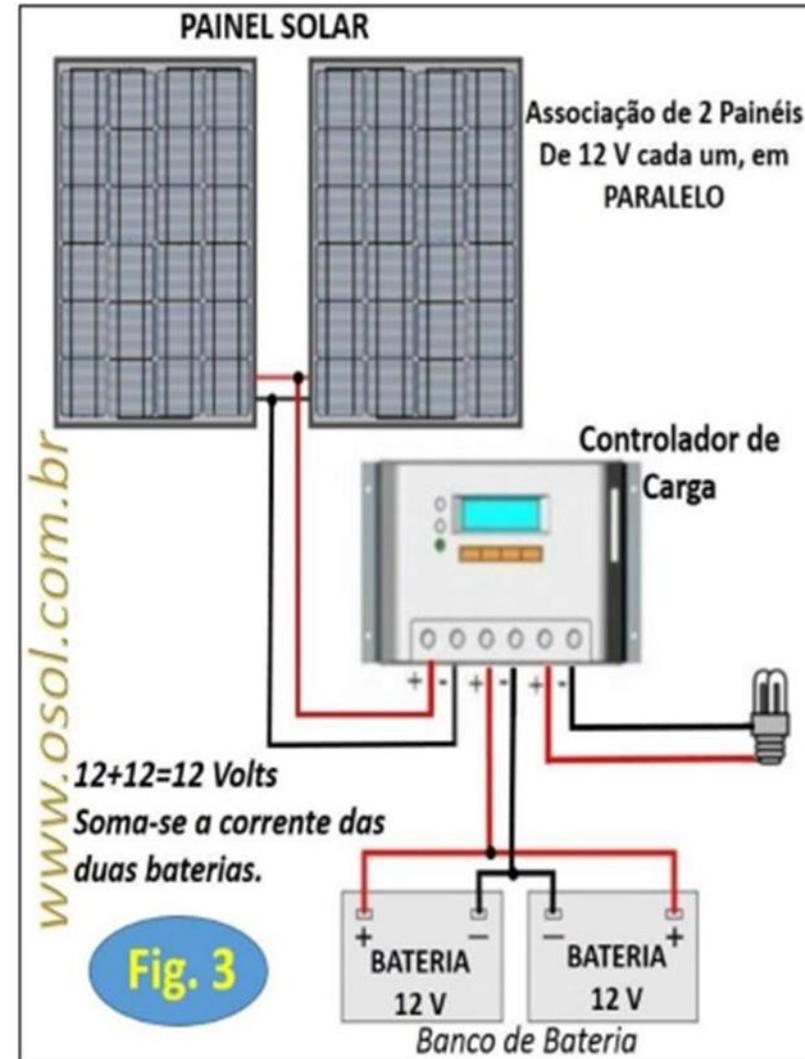


TIPOS DE LIGAÇÃO DOS MÓDULOS SOLARES FOTOVOLTAICOS

EXERCÍCIOS TEÓRICOS - CÁLCULOS FUNDAMENTAIS: PAINÉIS SOLARES FOTOVOLTAICOS



EM PARALELO = A TENSÃO É A MESMA, E AS CORRENTES SOMAM.

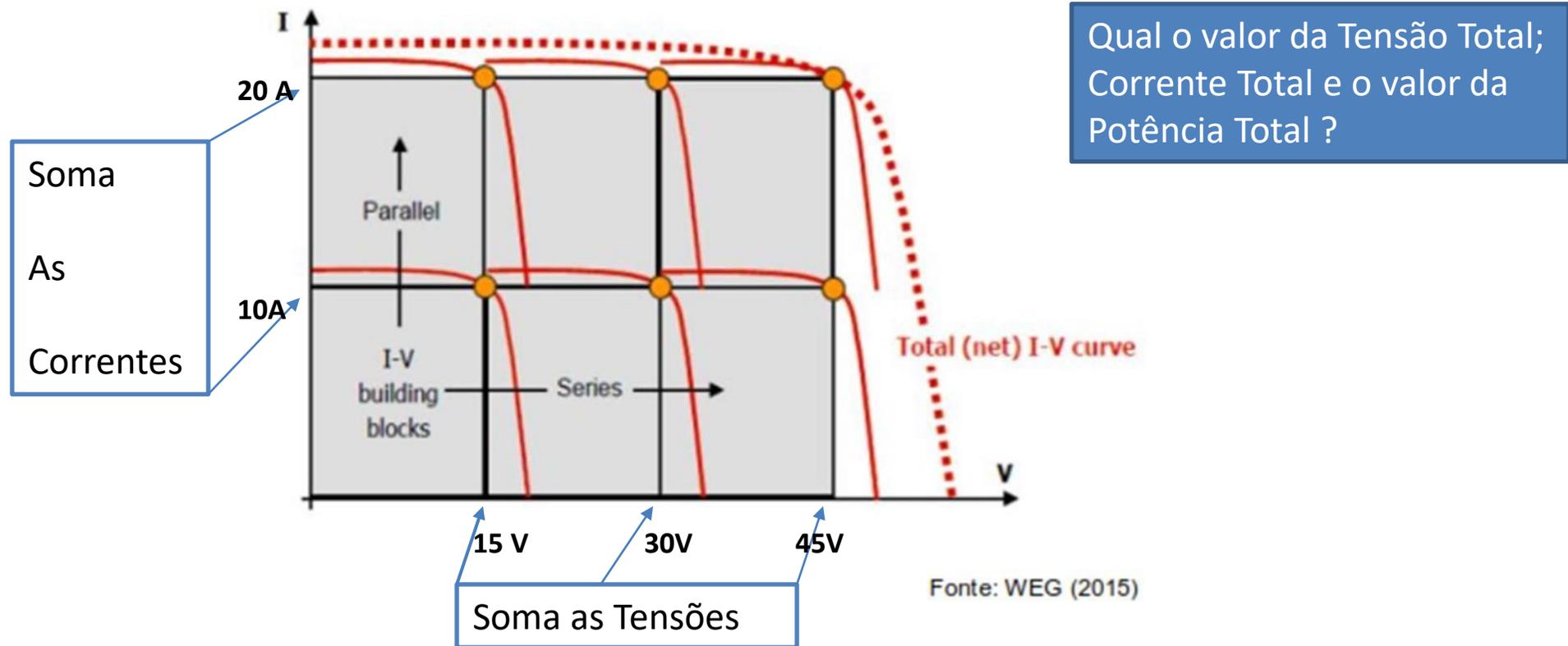




TIPOS DE LIGAÇÃO DOS MÓDULOS SOLARES FOTOVOLTAICOS

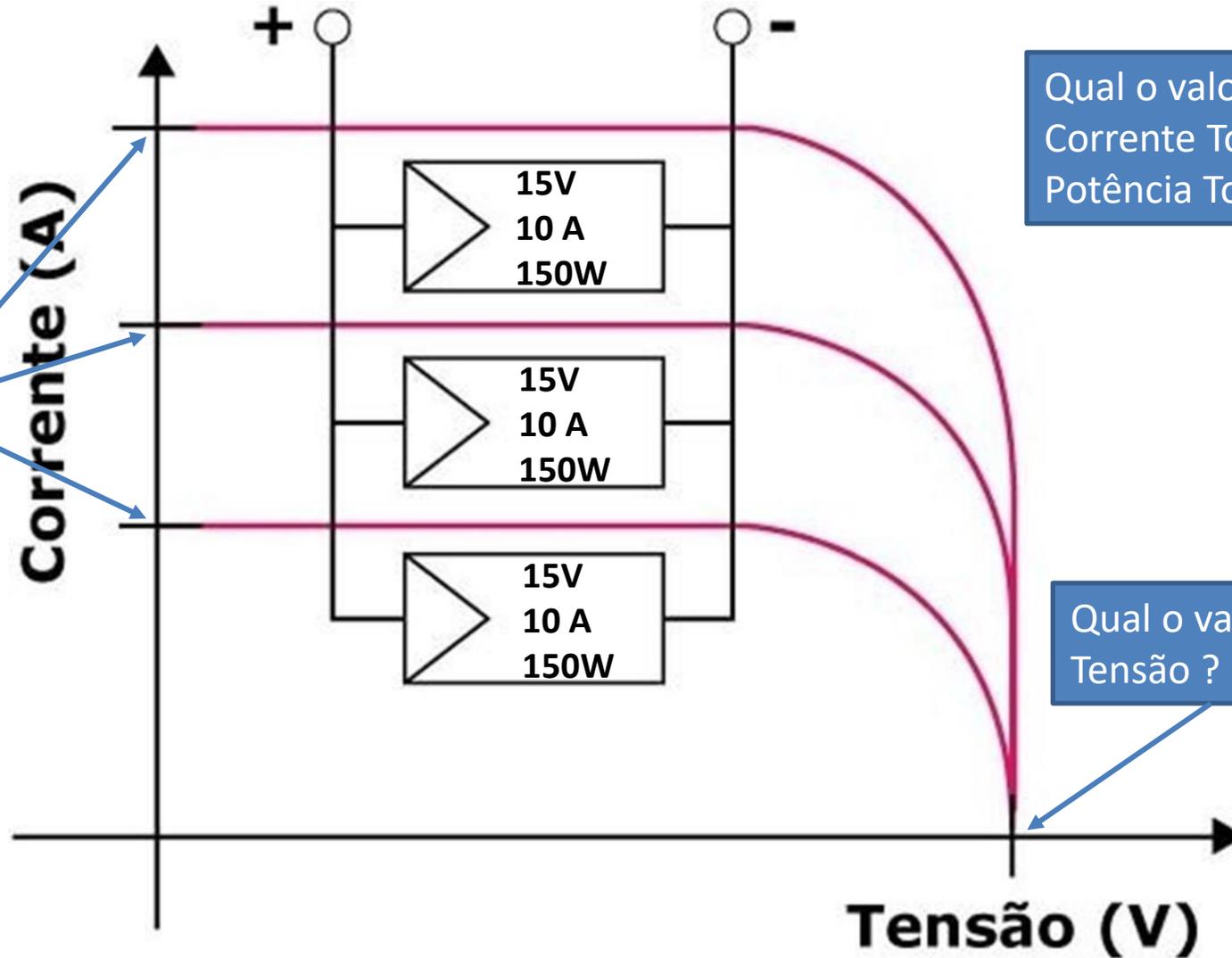
CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DOS MÓDULOS FV

Deslocamento das curvas I x V com a associação série e paralelo.



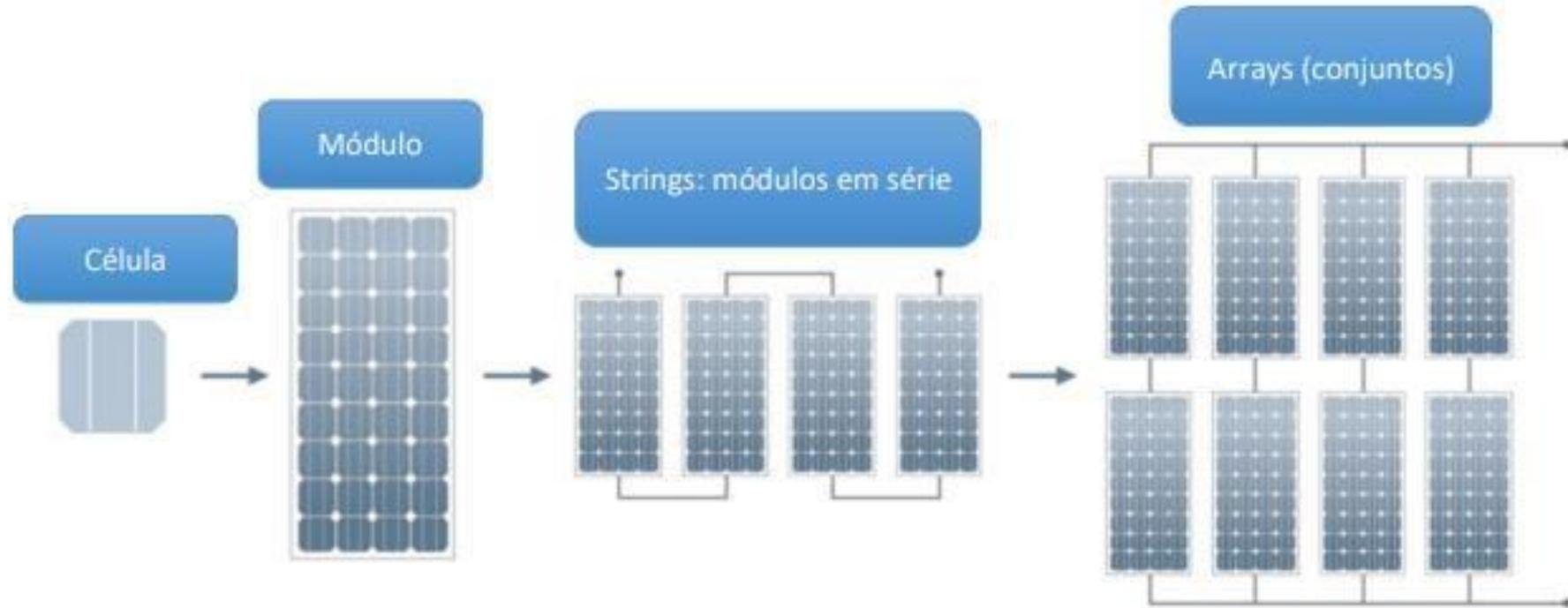


TIPOS DE LIGAÇÃO DOS MÓDULOS SOLARES FOTOVOLTAICOS



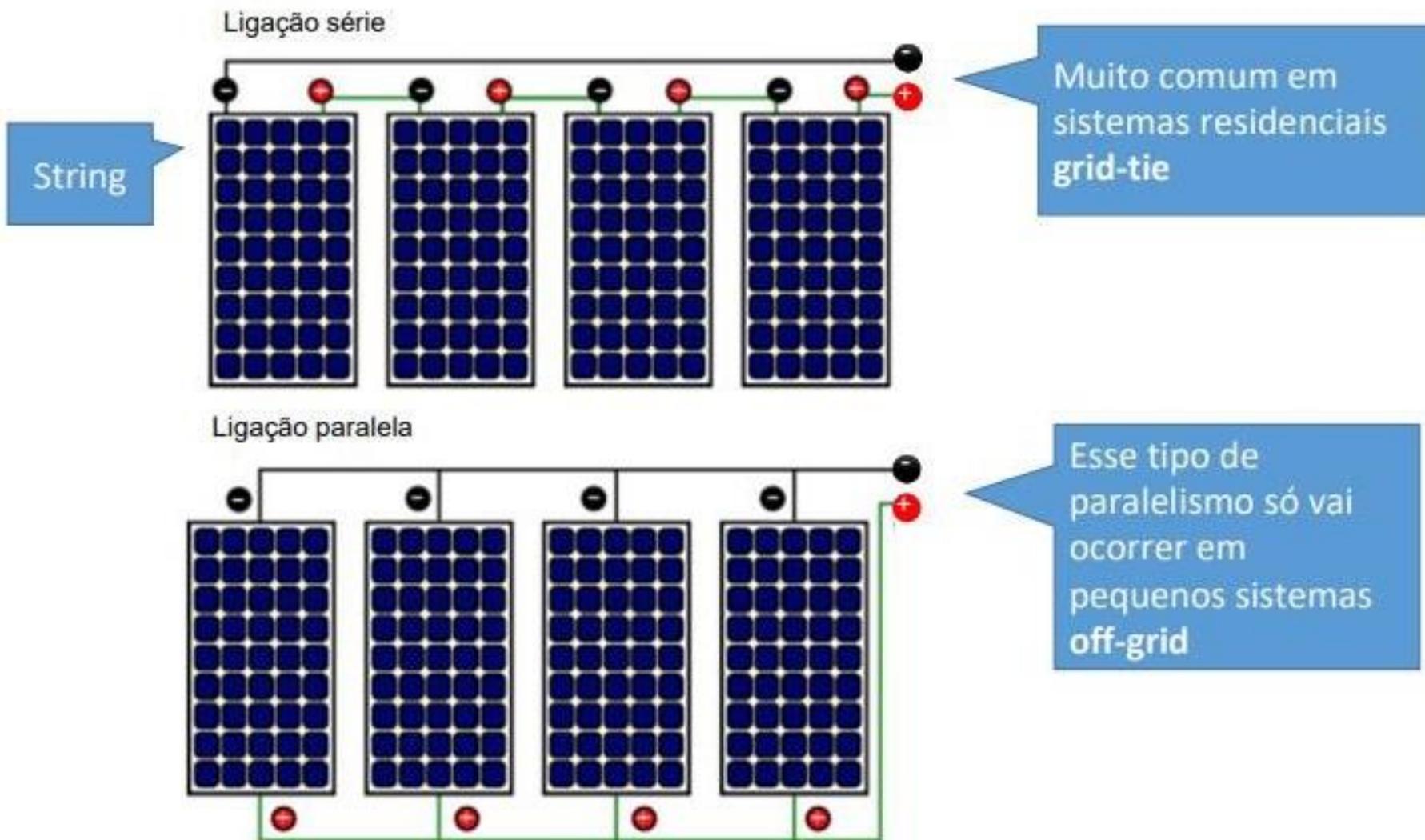


Strings (ligações série) e arrays (conjuntos) de módulos fotovoltaicos



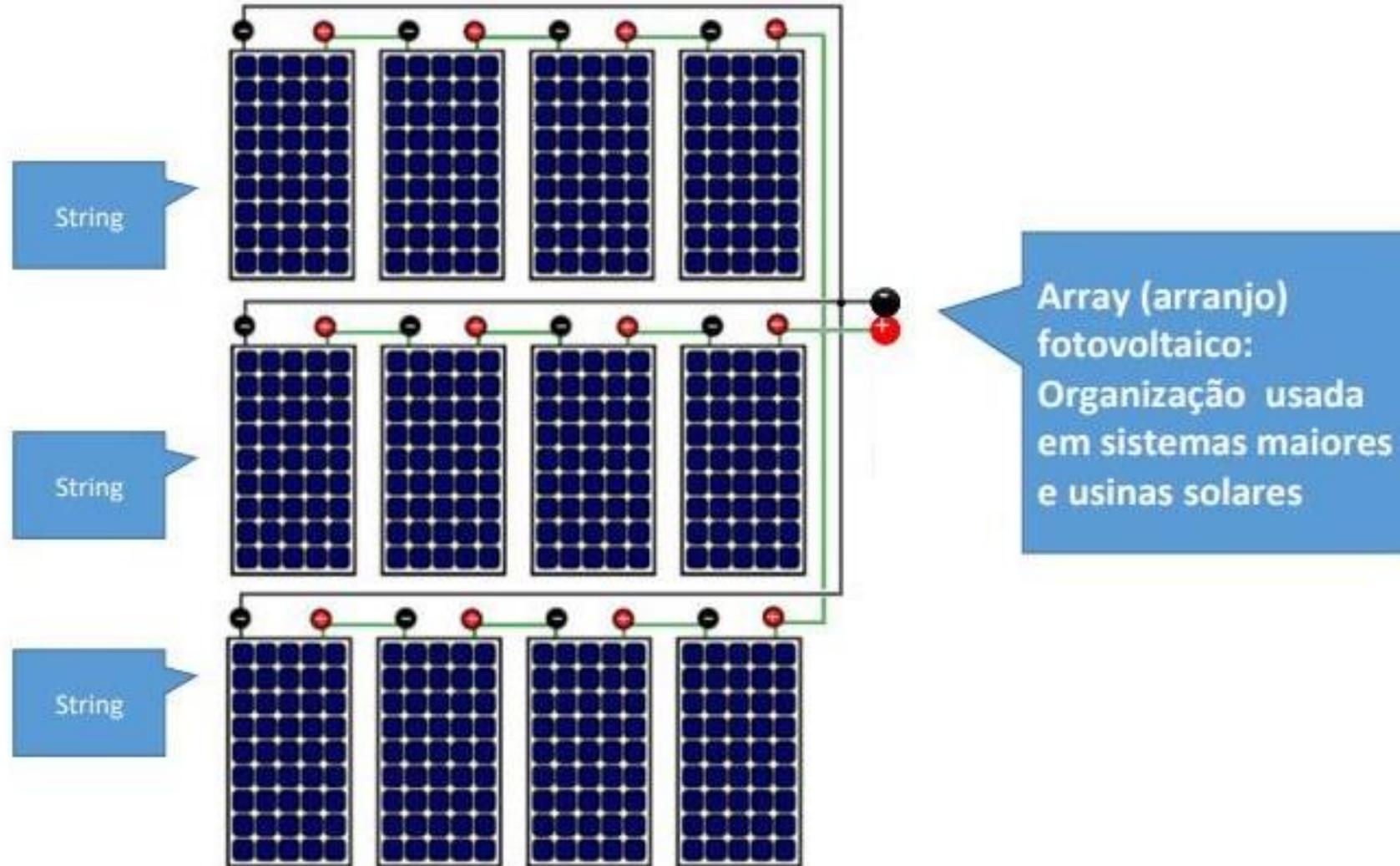


Ligação em série e paralelo





Ligação em série e paralelo





Conector MC4

Os conectores MC4 apresentam a facilidade de conexão entre painéis em série e paralelo e entre os Inversores.

CONECTOR MC4 - MACHO



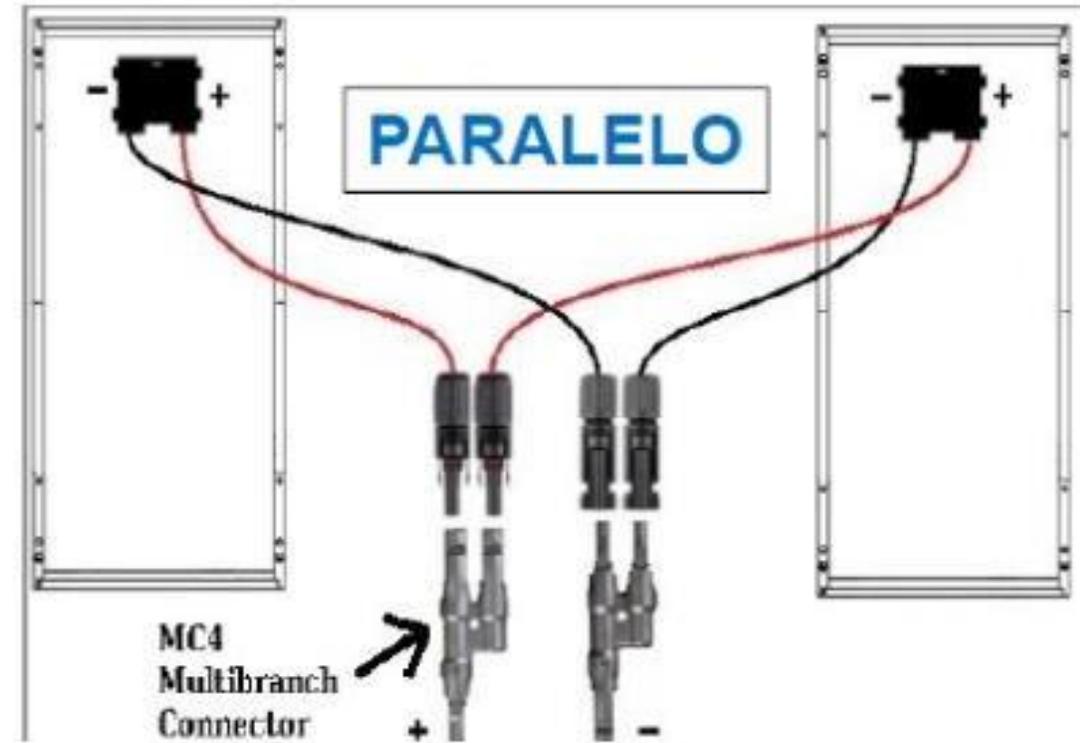
CONECTOR MC4 - FÊMEA





Conector MC4

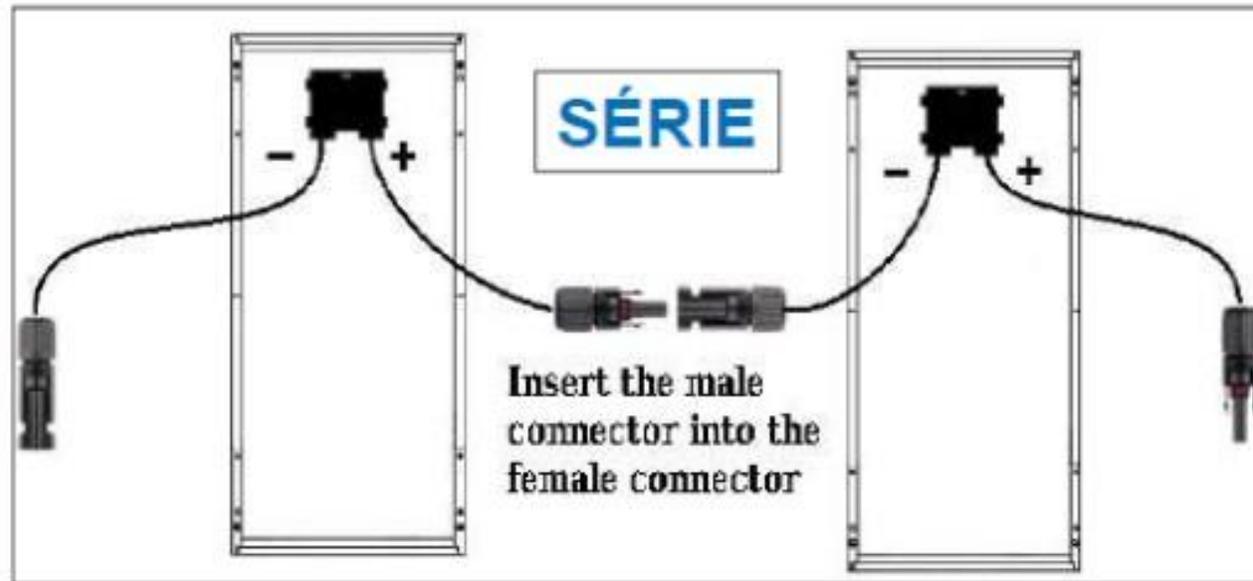
Os conectores MC4 apresentam a facilidade de conexão entre painéis em série e paralelo e entre os Inversores.





Conector MC4

- ✓ Os conectores MC4 apresentam a facilidade de conexão entre painéis em série e paralelo e entre os Inversores.



- ✓ **NÃO DEVEM EXISTIR EMENDAS NOS CABOS EM SISTEMAS DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICO, SOMENTE CONECTORES**

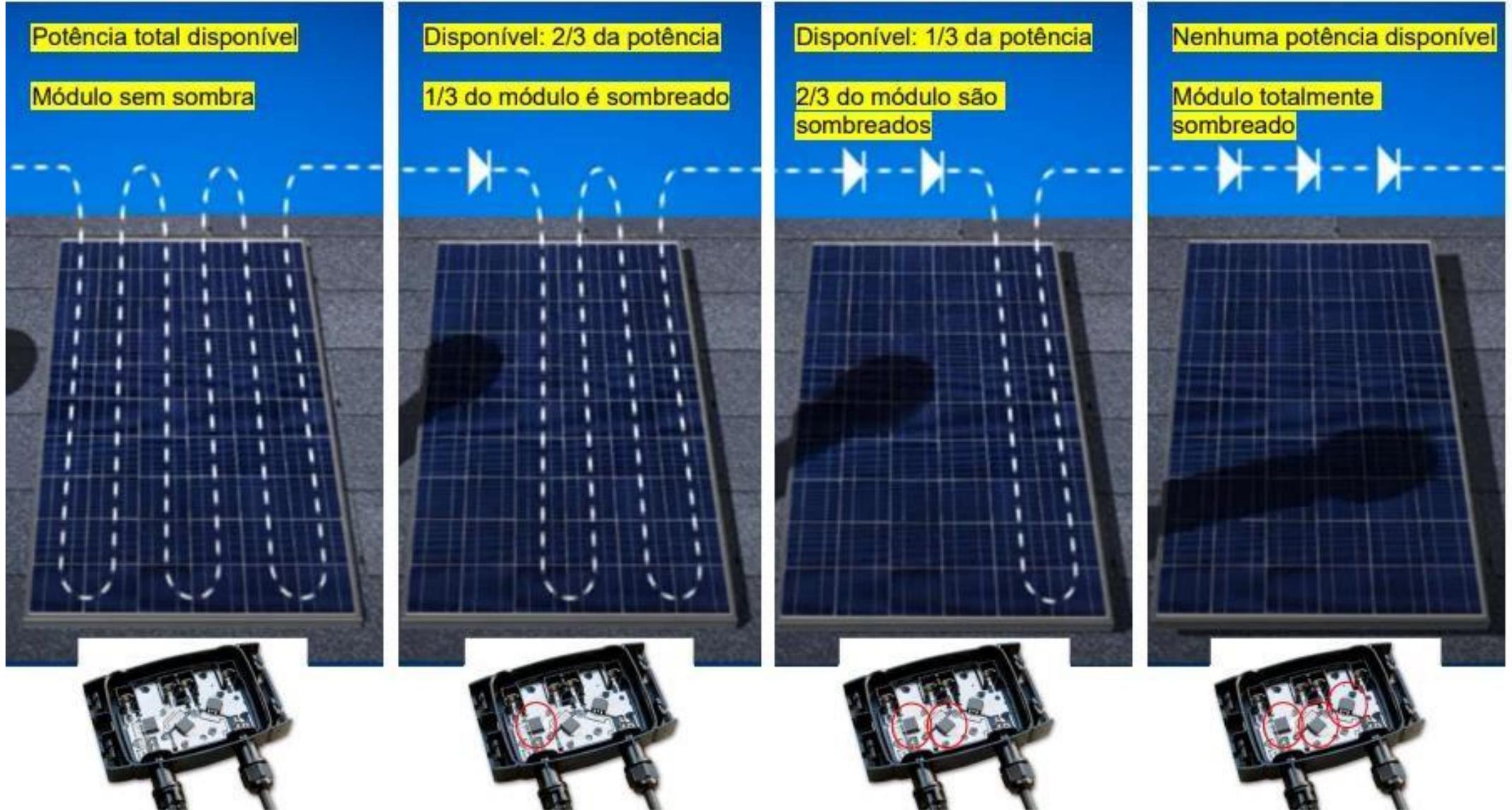


Sombreamento dos módulos fotovoltaicos





Módulo fotovoltaico sombreado: ativação dos diodos de bypass





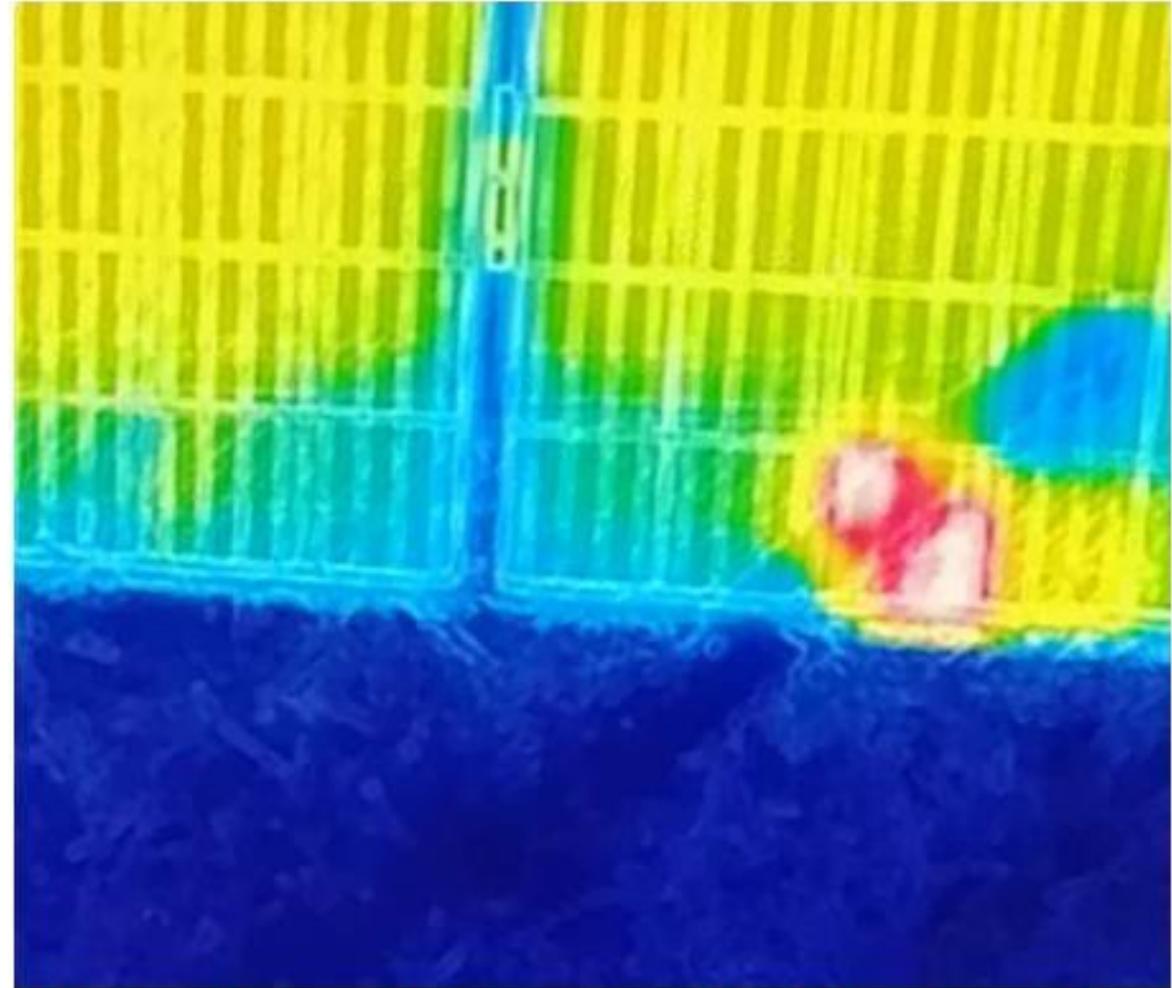
Causas das sombras





O problema do *hotspot*

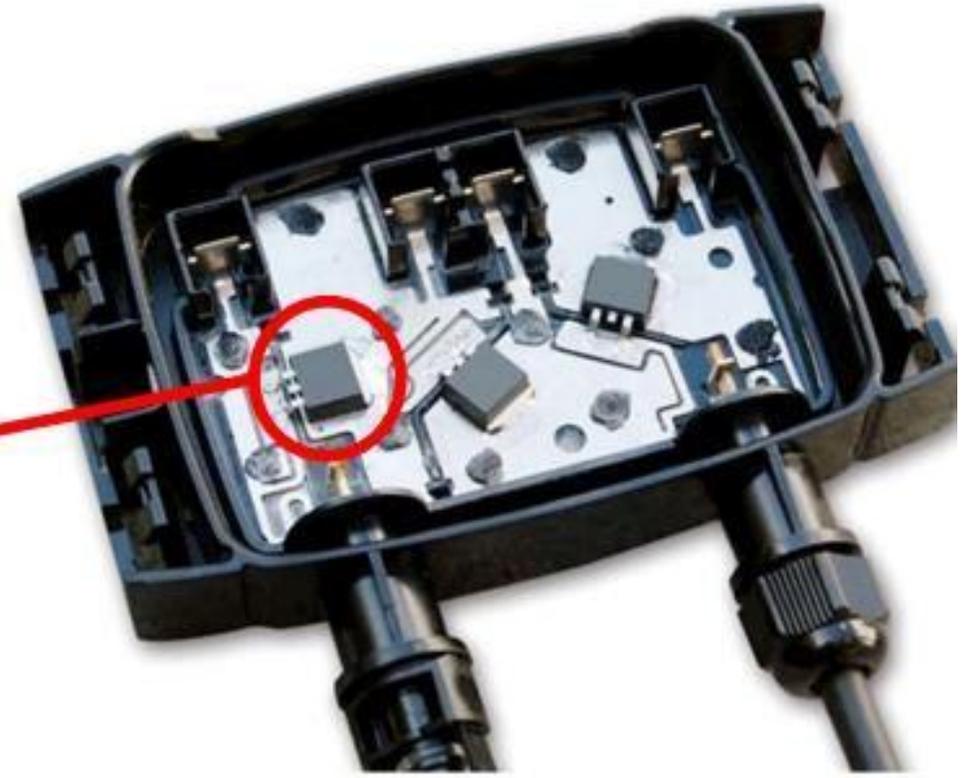
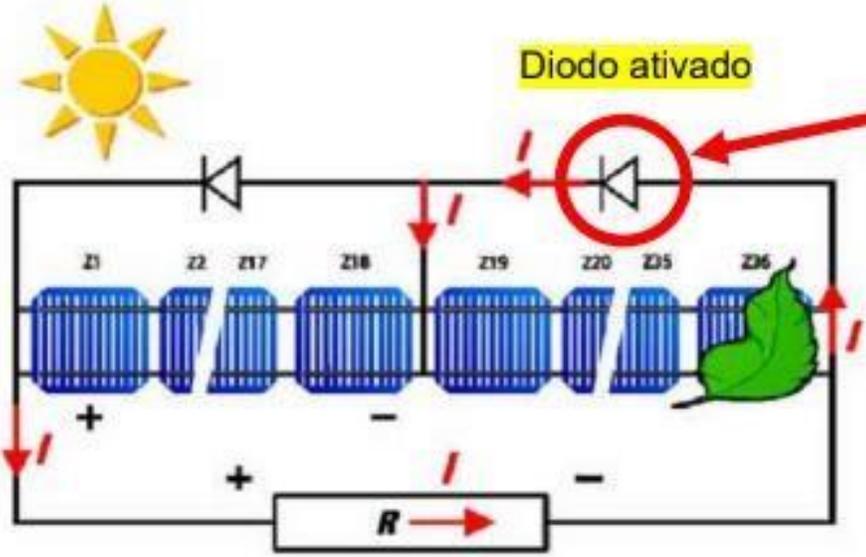
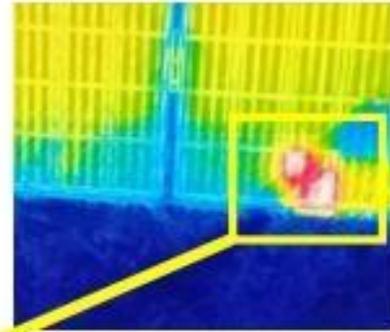
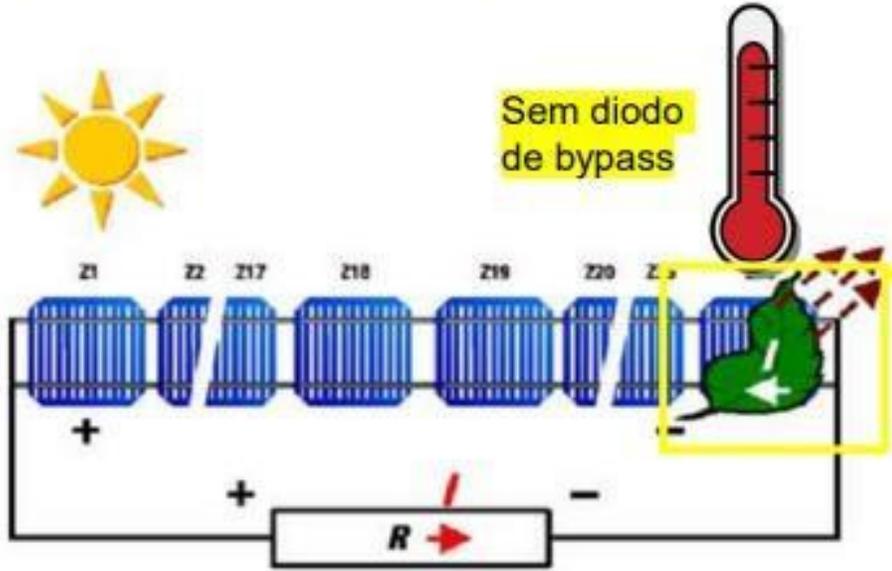
- O *hotspot* ocorre quando apenas um pequeno número de células do módulo recebe a sombra e o diodo de *bypass* não é ativado.
- O *hotspot* é causado pela polarização reversa da célula fotovoltaica quando uma corrente elétrica maior é “empurrada” sobre ela pelas células que não estão sombreadas.
- O *hotspot* causa o sobreaquecimento da célula e pode ser perigoso.



Esta imagem termográfica revela a ocorrência de um *hotspot* em uma célula de um módulo que recebe uma estreita sombra causada por um poste.



O problema do hotspot

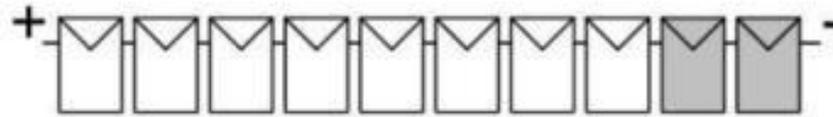
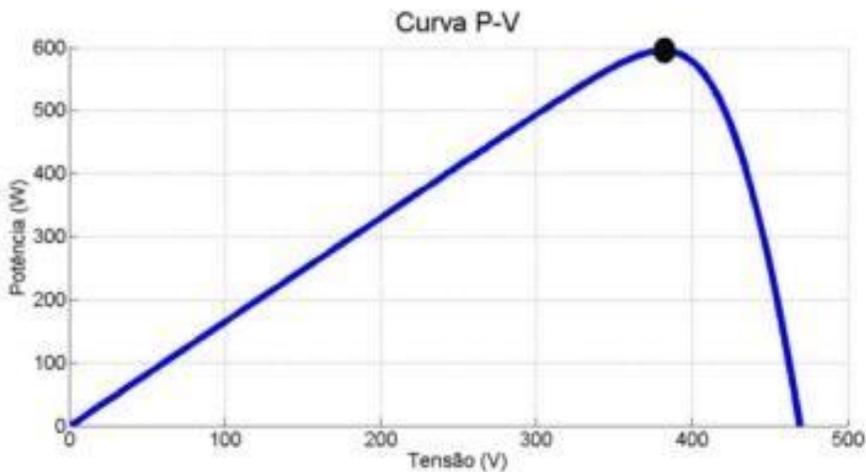
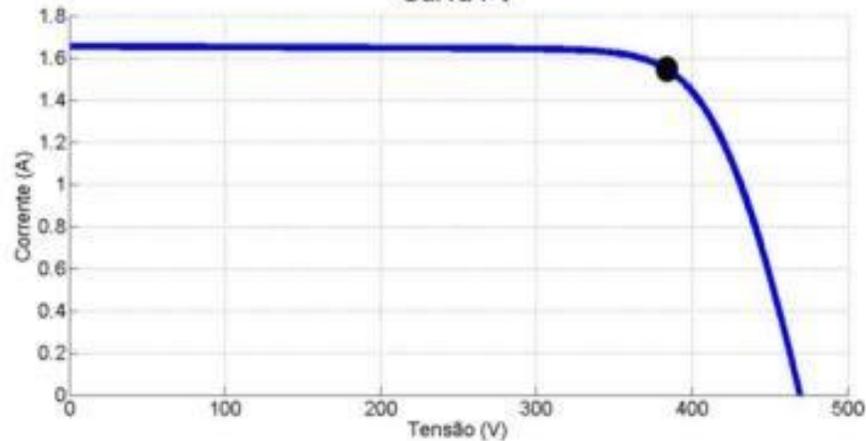




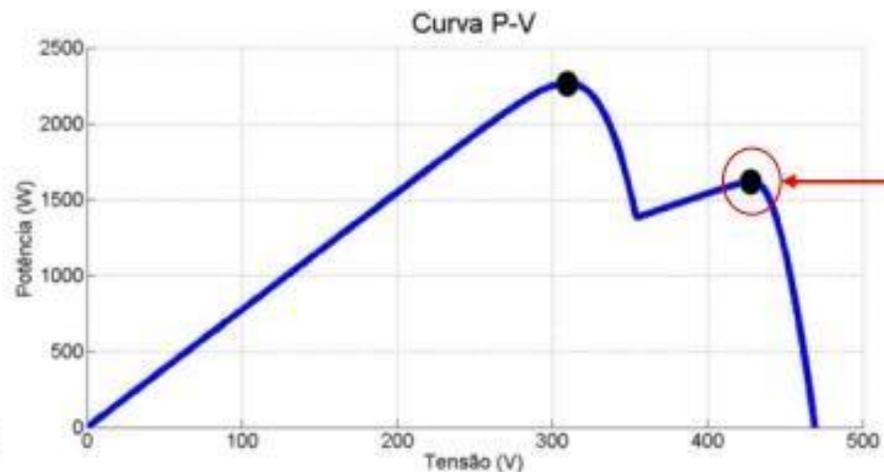
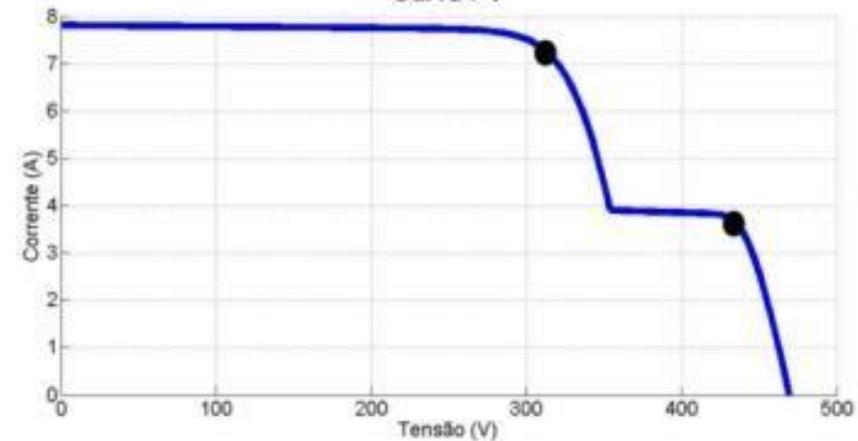
Strings com módulos sombreados (sombreamento parcial)



Curva I-V



Curva I-V



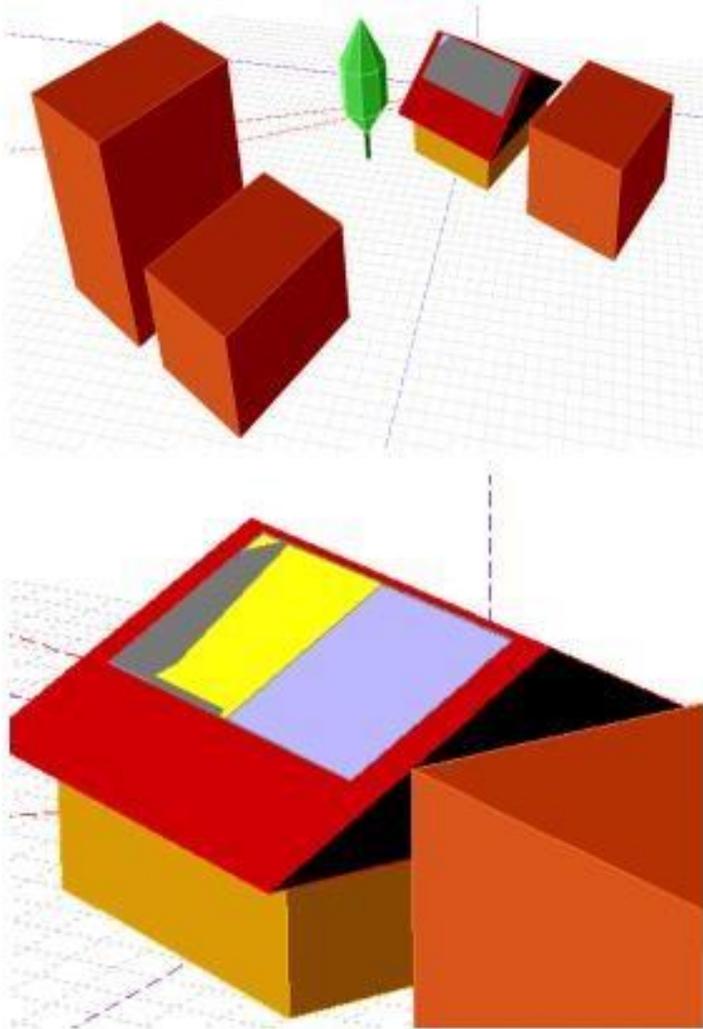
O sombreamento deve ser evitado nas instalações fotovoltaicas.

Quando apenas alguns módulos fotovoltaicos são sombreados podem ocorrer os seguintes problemas:

- Originação de vários picos de potência nas curvas I-V e P-V.
- Operação do sistema no pico de potência mais baixo, ocasionando grande perda de geração.



Cuidados com o sombreamento dos sistemas fotovoltaicos



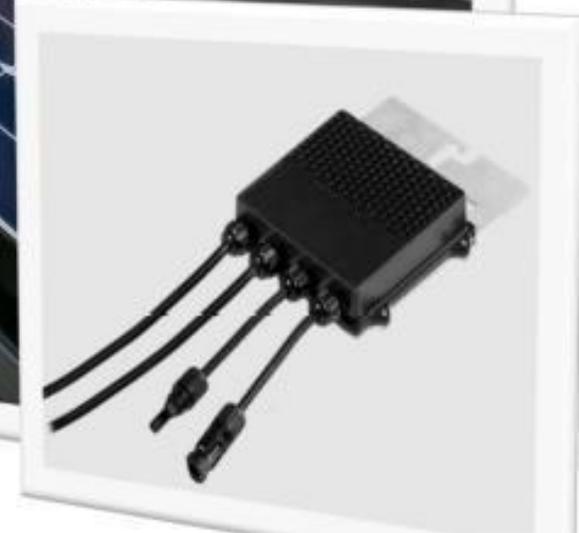
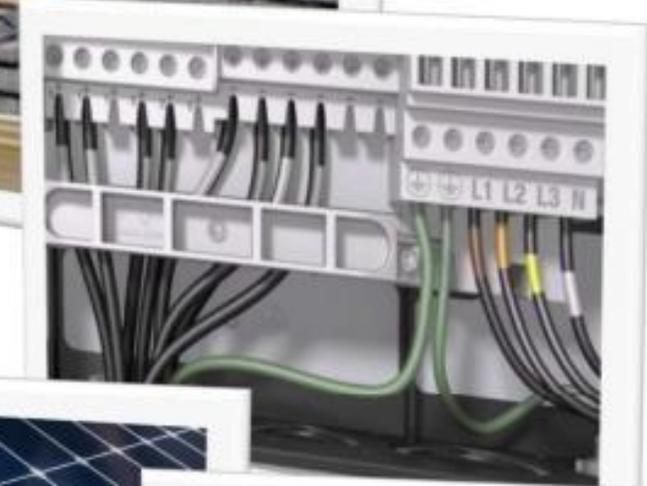
Exemplos de estudos realizados com o software PVSyst





Soluções para o sombreamento

- Escolher a melhor localização dos módulos fotovoltaicos no telhado.
- Empregar inversor com múltiplas entradas de MPPT, dividindo os módulos em blocos que recebem sombras em diferentes horários do dia, evitando assim que todo o sistema seja afetado pelas sombras.
- Empregar microinversores, que fazem a otimização da geração para cada módulo individualmente.
- Empregar otimizadores de potência, que também fazem a otimização individual da geração de cada módulo.





Fundamentos de Energia Solar Fotovoltaica

Dimensionamento
básico de um
sistema
fotovoltaico





Como dimensionar um sistema fotovoltaico

1. Definir a quantidade de energia (kWh) que precisa ser produzida. Isso pode ser feito a partir da conta de luz de uma residência (no caso de um sistema grid-tie) ou do levantamento de cargas (em um sistema off-grid).



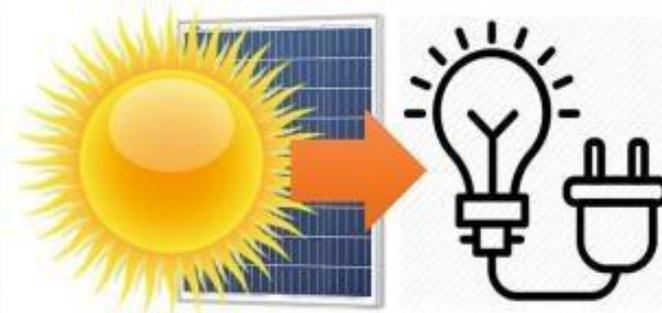
DESCRICAO	QUANTIDADE	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
CONSUMO	107,25	20,00	2145,00
IMPOSTOS	107,25	1,000	107,25
COPASA	107,25	1,000	107,25
TOTAL A PAGAR			R\$ 751,95

VENCIMENTO: 23/05/2017

Indicadores de Qualidade: Acurado, Limite de Tensão (V)

Nós vamos explicar esta etapa em detalhes nos módulos 2 e 3 do curso (sistemas off-grid e grid-tie)

2. Calcular quanta energia o módulo solar vai fornecer nas condições de instalação (a partir da irradiação do local e das características do módulo).



3. Calcular quantos módulos são necessários para produzir a energia desejada.

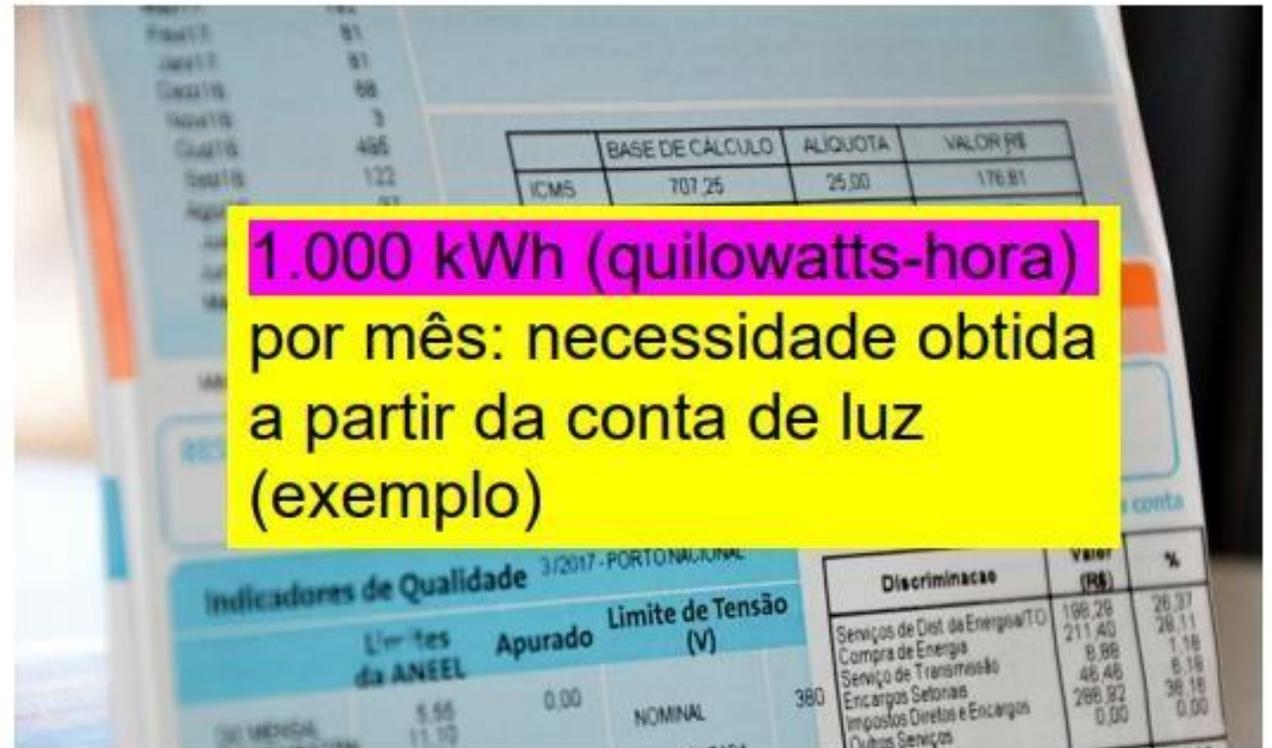




Como dimensionar um sistema fotovoltaico

Passo 1: Definir a quantidade de energia (kWh) que precisa ser produzida. Isso pode ser feito a partir da conta de luz de uma residência (no caso de um sistema grid-tie) ou do levantamento de cargas (em um sistema off-grid).

Exemplo: Dimensionar um sistema fotovoltaico para produzir 1.000 kWh/mês



1.000 kWh (quilowatts-hora) por mês: necessidade obtida a partir da conta de luz (exemplo)

	BASE DE CALCULO	ALIQUOTA	VALOR R\$
ICMS	707,25	25,00	176,81

Discriminacao	Valor (R\$)	%
Serviços de Dist da Energia TO	199,29	26,37
Compra de Energia	211,40	28,11
Serviço de Transmissão	8,89	1,18
Encargos Setoriais	46,48	6,18
Impostos Diretos e Encargos	268,82	36,16
Outros Serviços	0,00	0,00



Como dimensionar um sistema fotovoltaico

Passo 2: Calcular quanta energia o módulo solar vai fornecer nas condições de instalação (a partir da irradiação do local e das características do módulo).



Procedimento de cálculo:

**Irradiação
diária do
local
(Wh/m²)**

÷ 1000 =

**Número de
horas de
Sol pleno
(h)**

**Número de
horas de
Sol pleno
(h)**

×

**Potência de
pico do
painel solar
(W)**

=

**Energia
produzida
pelo painel
(Wh)**

(por dia)

Mapa solarimétrico:
irradiação solar diária no
local (kWh/m² ou Wh/m²)

1 kWh/m² = 1000 Wh/m²



Como dimensionar um sistema fotovoltaico

Passo 2: Calcular quanta energia o módulo solar vai fornecer nas condições de instalação (a partir da irradiação do local e das características do módulo).



Exemplo: Pannel solar de 350 W em um local com irradiação solar de 4,8 kWh/m²/dia

$$4,8 \text{ kWh /m}^2 = 4800 \text{ Wh/m}^2 \text{ (por dia)}$$

Wh/m²

W/m²

$$4800 \div 1000 = 4,8 \text{ h}$$

Condições Padrão
1.000W/m² a 25°

$$4,8 \text{ h} \times 350 \text{ W} = 1680 \text{ Wh} = 1,68 \text{ kWh}$$

(por dia) (por dia)



Incluindo no cálculo o fator de performance (FP) do sistema fotovoltaico

- No slide anterior fizemos um exemplo de cálculo da energia (diária) produzida por um painel solar de 350 W (potência de pico em STC) localizado em uma região que recebe irradiação solar de 4800 Wh/m²/dia.
- No cálculo foi utilizada a potência de pico (nominal) do módulo, encontrada na folha de dados do fabricante.
- Para tornar o cálculo mais realista é necessário descontar as perdas existentes no sistema fotovoltaico, incluindo as perdas causadas pelo fato de o módulo não operar nas condições STC. As principais perdas do módulo fotovoltaico são térmicas (redução da potência por aumento da temperatura), mas ainda existem perdas térmicas, perdas nos inversores e outras.
- De forma simplificada, podemos considerar nos cálculos de dimensionamentos simples um fator de performance (FP) igual a 0,85. O fator de performance dos sistemas fotovoltaicos geralmente encontra-se entre 0,8 e 0,85, dependendo do sistema. O número 0,85 é uma boa escolha para a realização de dimensionamentos simplificados.

$$\begin{array}{l} \text{Energia} \\ \text{produzida} \\ \text{pelo painel} \\ \text{(Wh)} \end{array} \times 0,85 =$$

(na condição STC)

$$= \begin{array}{l} \text{Energia} \\ \text{produzida} \\ \text{pelo painel} \\ \text{(Wh)} \end{array}$$

(em uma condição real)



Exemplo: considerando o fator de performance (FP) do sistema fotovoltaico

Exemplo: Pannel solar de 350 W em um local com irradiação solar de 4,8 kWh/m²/dia

$$4,8 \text{ kWh /m}^2 = 4800 \text{ Wh/m}^2 \text{ (por dia)}$$

$$4800 \div 1000 = 4,8 \text{ h}$$

$$4,8 \text{ h} \times 350 \text{ W} = 1680 \text{ Wh} = 1,68 \text{ kWh} \text{ (por dia)}$$

$$FP = 0,85 \rightarrow E = 1680 \text{ Wh} \times 0,85 = 1428 \text{ Wh} = 1,428 \text{ kWh}$$

Energia diária produzida pelo módulo fotovoltaico já descontando as perdas existentes no módulo e outras perdas que podem existir em um sistema fotovoltaico real

Geração do módulo por dia.

$$E_{\text{mês}} = 1,428 \text{ kWh dia} * 30 \text{ dias} = 42,84 \text{ kWh/mês}$$

Quantos módulos de 350W são necessário para atender uma demanda de energia: 1.000KWh/mês.

1.000KWh/mês/42,84KWh/mês= 23,34 Módulos.

1.000KWh/mês/30dias/ 1,428 kWh.dia = 23,34 Módulos.



Fundamentos de Energia Solar Fotovoltaica

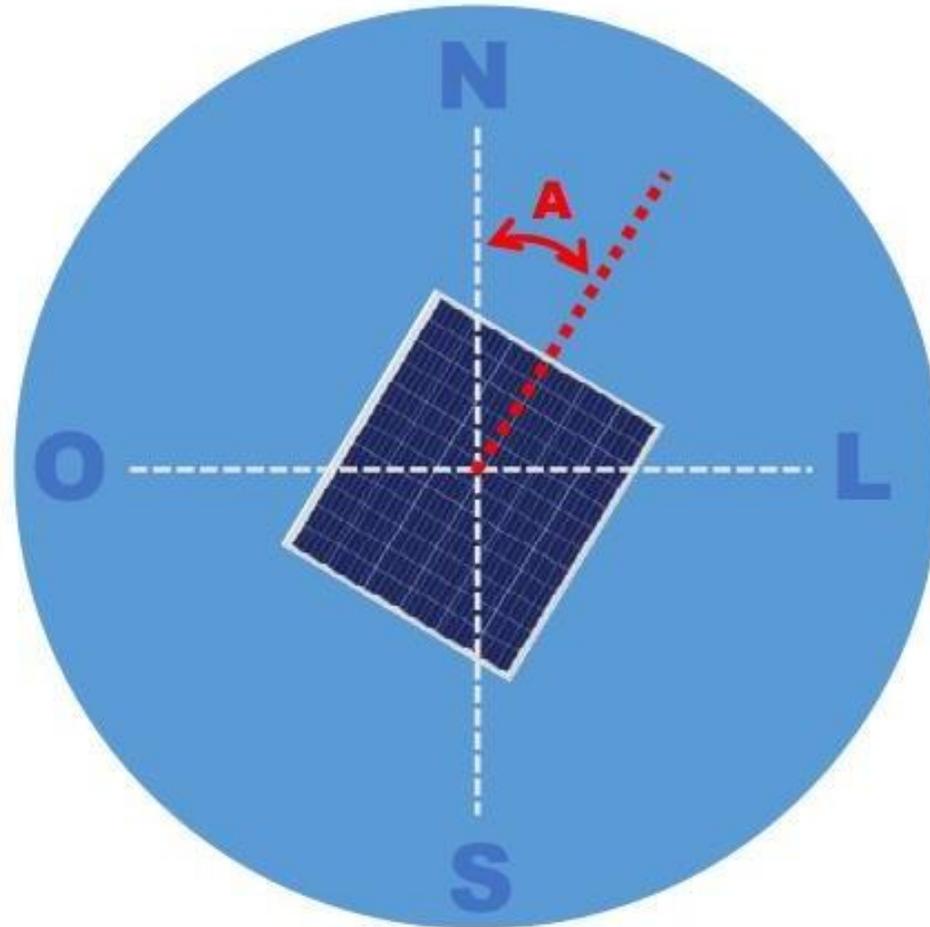
Instalação física
dos painéis solares





Orientação com relação ao Norte geográfico

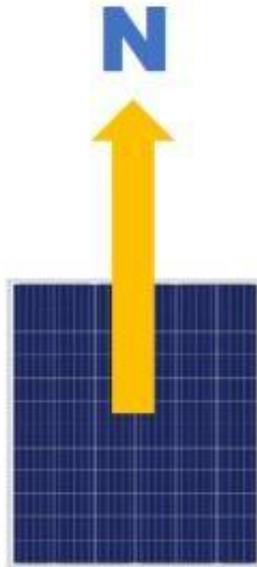
Azimute é o **ângulo de orientação** da superfície do módulo fotovoltaico em relação ao NORTE geográfico é chamado de ângulo azimutal.



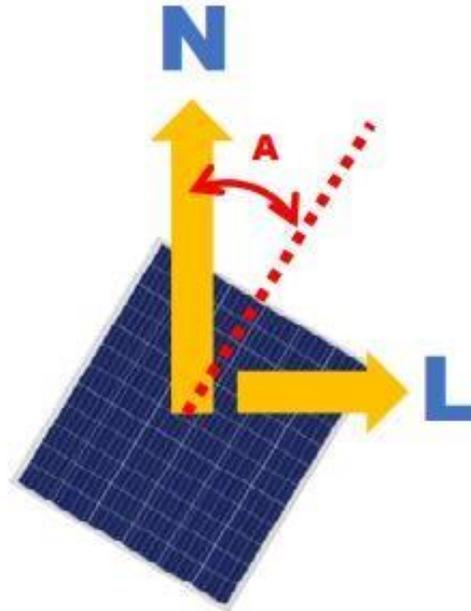


Orientação com relação ao Norte geográfico

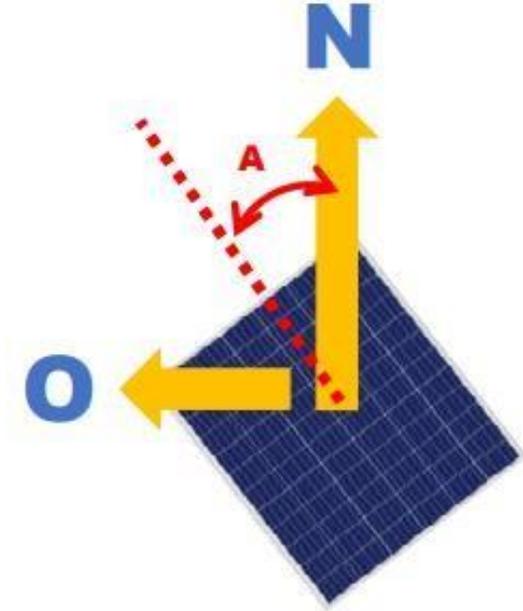
Azimute é o **ângulo de orientação** da superfície do módulo fotovoltaico em relação ao NORTE geográfico é chamado de **ângulo azimutal**.



Azimute = zero
módulo voltado para o NORTE



Azimute Leste
módulo voltado para o LESTE



Azimute Oeste
módulo voltado para o LESTE



Inclinação com relação ao plano horizontal



Módulo posicionado na horizontal



Módulo posicionado com algum ângulo de inclinação em relação ao plano horizontal

Nas localidades próximas ao Equador os módulos podem ser instalados com uma inclinação pequena, próxima da horizontal.

Nos locais mais distantes do Equador o aumento da inclinação proporciona maior captação de energia.

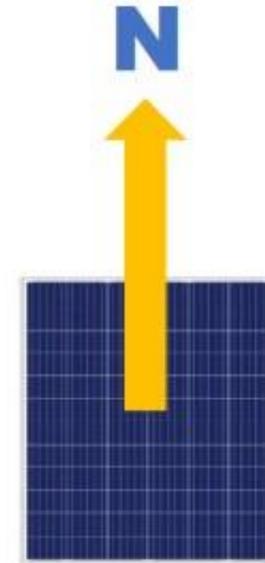
O ângulo ideal de inclinação depende da latitude geográfica do local da instalação.



Instalações em solo: azimute e inclinação

Azimute

- A regra geral é instalar os módulos orientados para o Norte geográfico.
- Estudos com software de simulação (PVSyst) permitem determinar o ângulo exato para cada instalação. Entretanto, o resultado da análise é sempre muito próximo do azimute zero (Norte).
- Ao instalar módulos orientados para o Norte garante-se a máxima captação de luz ao longo do dia, pois os módulos recebem luz na parte da manhã e na parte da tarde, tendo a máxima captação ao meio-dia.



Inclinação

- O ângulo de inclinação ideal para o módulo fotovoltaico muda de acordo com a localidade da instalação.
- Instalar um módulo inclinado com o ângulo correto pode aumentar a captação de luz em relação à instalação horizontal.





Instalações em solo: azimute e inclinação



Latitude geográfica do local

Ângulo de inclinação recomendado

0-10

10 graus

11-20

Latitude

21-30

Latitude + 5 graus

31-40

Latitude + 10 graus

41 ou mais

Latitude + 15 graus



Instalação em telhado: azimute e inclinação

- Nas instalações em telhados nem sempre é possível seguir as regras gerais (azimute Norte e inclinação de acordo com a latitude geográfica).
- Os módulos fotovoltaicos em telhados **devem ser instalados de acordo com o plano do telhado**, mesmo que isso represente uma certa perda de geração.
- **Adaptações** para ajustar azimute e inclinação sobre telhados **são perigosas**, pois não levam em conta a força do vento.





Rastreadores solares (trackers)

- É possível otimizar a captação de energia solar com o uso de rastreadores, que fazem o ajuste automático do azimute e da inclinação.
- Rastreadores ajustam a posição dos painéis solares de acordo com a posição do Sol no céu.
- Podem aumentar de 20% a 40% a geração de energia, de acordo com o tipo e o local de instalação.
- No Brasil são viáveis economicamente os trackers de 1 eixo horizontal (que fazem o rastreamento Leste-Oeste).

