



PROFISSIONAIS
PARA ENERGIAS
DO FUTURO

ENERGIA FOTOVOLTAICA

INSTALADOR DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS



EXPEDIENTE

COORDENAÇÃO DA INICIATIVA PROFISSIONAIS PARA ENERGIAS DO FUTURO E RESPONSÁVEL PELA PUBLICAÇÃO

Christoph Büdke

COORDENAÇÃO DA PUBLICAÇÃO

Klaus Albrechtsen, Roberta H. Knopki e Uzoma Edward Madukanya (GIZ)

AUTOR

Francisca Dayane Carneiro Melo

REVISÃO

GT de Solar da Rede Energia do SENAI

CAPA, PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO

Estúdio Marujo

REALIZAÇÃO

O conteúdo desse material foi elaborado através de uma parceria entre a Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH e o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI).

INFORMAÇÕES LEGAIS

As idéias e opiniões expressas neste livro são dos autores e não refletem necessariamente a posição do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) ou da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.

A duplicação ou reprodução de todo ou partes (incluindo a transferência de dados para sistemas de armazenamento de mídia) e distribuição para fins não comerciais é permitida, desde que SENAI e a GIZ sejam citados como fonte da informação. Para outros usos comerciais, incluindo duplicação, reprodução ou distribuição de todo ou partes deste estudo, é necessário o consentimento por escrito do SENAI e da GIZ.

PROFISSIONAIS PARA ENERGIAS DO FUTURO

Profissionais para Energias do Futuro é uma iniciativa do projeto de cooperação técnica Sistemas de Energia do Futuro, dos governos brasileiro e alemão, e implementado sob coordenação do Ministério Minas e Energia (MME), do lado brasileiro e pela Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, do lado alemão. O tema educação profissional tem como principais parceiros o Ministério da Educação (MEC) e o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI).

O principal objetivo da iniciativa Profissionais para Energias do Futuro é ampliar a capacidade do sistema educacional brasileiro nos temas de energias renováveis e eficiência energética de maneira sistêmica e sustentável, visando atender a demanda do mercado por profissionais qualificados nas áreas de energia eólica, energia solar e eficiência energética. Destacamos ainda os objetivos específicos dessa iniciativa:

- Promoção do intercâmbio de conhecimento técnico entre Brasil e Alemanha nas três áreas temáticas: energia eólica, energia solar e eficiência energética;
- Definição da demanda do mercado por profissionais nessas áreas;
- Definição dos perfis de profissionais demandados pelo setor produtivo;
- Elaboração de currículos nas áreas temáticas;
- Capacitação de docentes das instituições parceiras;
- Elaboração de material didático;

- Apoio técnico a instalação de centros de treinamento das áreas especificadas;
- Apoio a implementação dos cursos pilotos com base nos currículos desenvolvidos;
- Colaboração na realização de eventos técnicos, científicos e tecnológicos nas áreas temáticas.

Para alcançar os objetivos, estão planejadas ações na esfera federal, junto a órgãos de governo e dos setores da educação e produtivo, que serão executadas de forma regional/ local junto às instituições parceiras. A equipe da iniciativa Profissionais para Energias do Futuro conta com profissionais multidisciplinares de todas as instituições envolvidas.

SOBRE ESTE MATERIAL

Visando atender à necessidade de material técnico didático de boa qualidade e na língua portuguesa, a iniciativa Profissionais para Energias do Futuro elaborou 2 apostilas na área de energia solar fotovoltaica, que poderão ser utilizadas pelas instituições parceiras quando da implementação dos cursos nessa área. São elas:

- Instalador de sistemas fotovoltaicos
- Especialista técnico em sistemas fotovoltaicos

Ambas as apostilas foram elaboradas e revisadas por especialistas renomados nas áreas específicas, por meio de uma parceria entre a GIZ e o SENAI.

Por meio da:



Iniciativa da CNI - Confederação Nacional da Indústria

SUMÁRIO

1. FUNDAMENTOS DE ELETRICIDADE - 16H	7	1.11. SISTEMAS ELÉTRICOS PREDIAIS	15
1.1 GRANDEZAS ELÉTRICAS NO SI	7	1.11.1. LIGAÇÃO MONOFÁSICA	15
1.1.1. TENSÃO ELÉTRICA OU DDP (DIFERENÇA DE POTENCIAL)	7	1.11.2. LIGAÇÃO BIFÁSICA	16
1.1.2. CORRENTE ELÉTRICA	7	1.11.3. LIGAÇÃO TRIFÁSICA	16
1.1.3. RESISTÊNCIA ELÉTRICA	7	1.12. NORMAS TÉCNICAS E DE SEGURANÇA APLICÁVEIS	16
1.1.4. POTÊNCIA ELÉTRICA	7	1.13. REFERÊNCIAS	17
1.2. ELEMENTOS FUNDAMENTAIS DOS CIRCUITOS ELÉTRICOS	7	2. FUNDAMENTOS DE ENERGIAS SOLAR FOTOVOLTAICA - 24H	18
1.2.1. FONTE DE TENSÃO	7	2.1. SOLARIMETRIA - GENERALIDADES	18
1.2.2. RESISTÊNCIA	7	2.2. RADIAÇÃO SOLAR	19
1.2.3. CORRENTE ELÉTRICA	8	2.2.1. IRRADIÂNCIA X IRRADIAÇÃO	19
1.3. CIRCUITOS ELÉTRICOS RESISTIVOS SIMPLES	8	2.2.2. COMPONENTES DA RADIAÇÃO SOLAR	19
1.4. POTÊNCIA E ENERGIA ELÉTRICA	9	2.3. RADIAÇÃO SOLAR NO BRASIL	19
1.5. DEFINIÇÃO DE SISTEMA ELÉTRICO EM CA	9	2.4. MOVIMENTO TERRA - SOL	21
1.6. SISTEMA ELÉTRICO TRIFÁSICO	10	2.5. ORIENTAÇÃO E INCLINAÇÃO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	21
1.7. INSTRUMENTOS DE MEDIDAS ELÉTRICAS	10	2.5.1. BÚSSOLA	22
1.7.1. MULTÍMETRO	10	2.5.2. CARACTERÍSTICAS MAGNÉTICAS DA TERRA	22
1.7.2. AMPERÍMETRO ANALÓGICO	10	2.5.3. MONTAGEM DA ESTRUTURA DE SUPORTE DOS MÓDULOS	22
1.7.3. VOLTÍMETRO ANALÓGICO	10	2.6. SISTEMA DE ENERGIA SOLAR - GENERALIDADES	22
1.7.4. TERRÔMETRO	11	2.6.1. SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO	22
1.7.5. MEDIDOR DE RELAÇÃO DE TRANSFORMAÇÃO	11	2.6.2. SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE	23
1.7.6. MICROHMÍMETRO	11	2.7. SISTEMAS HÍBRIDOS QUE UTILIZAM ENERGIA SOLAR	23
1.7.7. CÂMERA TERMOGRÁFICA - TERMOVISOR	11	2.8. ÂNGULOS DE UMA INSTALAÇÃO SOLAR - INCLINAÇÃO E ORIENTAÇÃO	24
1.7.8. MEGÔMETRO	12	2.9. SUPORTES PARA CORREÇÃO DE ÂNGULOS	25
1.7.9. ALICATE AMPERÍMETRO	12	2.10. REFERÊNCIAS	26
1.8. ELEMENTOS E COMPONENTES DE UMA INSTALAÇÃO ELÉTRICA	12	3. FUNDAMENTOS DE ENERGIAS SOLAR FOTOVOLTAICA - 24H	27
1.8.1. CABOS	12	3.1. CÉLULAS FOTOVOLTAICAS	27
1.8.2. DISJUNTORES	12	3.2. TIPOS DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS	27
1.8.3. CONTACTORES	13	3.2.1. SILÍCIO MONOCRISTALINO	27
1.8.4. MEDIDORES DE ENERGIA	13	3.2.2. SILÍCIO POLICRISTALINO	28
1.8.5. LÂMPADAS	13	3.2.3. FILME FINO DE SILÍCIO	28
1.8.6. LUMINÁRIAS	13		
1.8.7. ELETRODUTOS E CANALETAS	14		
1.8.8. TRANSFORMADORES	14		
1.9. ELEMENTOS FOTOVOLTAICOS	14		
1.10. INSTALAÇÃO DE EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS	15		
1.10.1. ATERRAMENTO ELÉTRICO	15		
1.10.2. RESISTIVIDADE DO SOLO	15		
1.10.3. FATORES QUE INFLUENCIAM NA RESISTÊNCIA DA HASTE	15		

3.3. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	29	4.4.6. COMPENSAÇÃO DE TEMPERATURA	43
3.4. CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	29	4.4.7. DIAGRAMA ELÉTRICO SIMPLIFICADO	43
3.4.1. CURVA CARACTERÍSTICA I X V DE UM MÓDULO FOTOVOLTAICO	30	4.4.8. CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DOS CONTROLADORES DE CARGA COMERCIAIS	44
3.5. FATORES DE INFLUÊNCIA NA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA	31	4.5. INVERSORES	44
3.5.1. INFLUÊNCIA DA RADIAÇÃO SOLAR	31	4.5.1. INVERSORES PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ISOLADOS	44
3.5.2. INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA	31	4.5.2. FORMAS DE ONDA NOS INVERSORES	45
3.6. ASSOCIAÇÕES DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	31	4.5.3. CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DOS INVERSORES ISOLADOS COMERCIAIS	46
3.6.1. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS EM SÉRIE	31	4.6. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA	46
3.6.2. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS EM PARALELO	32	4.6.1. FUNCIONAMENTO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA	47
3.6.3. ASSOCIAÇÃO MISTA (SÉRIE - PARALELA)	33	4.6.2. INVERSORES CONECTADOS À REDE ELÉTRICA	48
3.7. EFEITOS DO SOMBREAMENTO	33	4.6.3. CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DOS INVERSORES CONECTADOS À REDE	48
3.7.1. DIODOS DE DESVIO	34	4.7. DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO UTILIZADOS EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	49
3.7.2. DIODOS DE BLOQUEIO	36	4.7.1. DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO DC	50
3.8. CAIXA DE JUNÇÃO (JUNCTION BOX)	37	4.7.2. PROTEÇÃO AC	51
3.9. ASPECTOS RELEVANTES PARA A SELEÇÃO DE UM MÓDULO FOTOVOLTAICO	37	5. MONTAGEM DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS - 16H	53
3.10. IDENTIFICAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	38	5.1. FUNDAMENTOS DE MONTAGEM DE SISTEMAS FV	53
3.11. MANUTENÇÃO E CONSERVAÇÃO	38	5.1.1. FUNDAMENTOS DE TELHADOS E COBERTURAS	54
4. FUNDAMENTOS DE ENERGIAS SOLAR FOTOVOLTAICA - 24H	39	5.1.2. ESTÁTICA DE UM TELHADO/COBERTURA	55
4.1. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	39	5.1.3. COMPONENTES DA ESTRUTURA DE SUPORTE PARA UM SISTEMA FV "ROOFTOP"	56
4.2. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ISOLADOS	39	5.1.4. COMPONENTES DA ESTRUTURA DE SUPORTE PARA SISTEMAS FV EM TETOS PLANOS	57
4.2.1. SEM ARMAZENAMENTO DE ENERGIA	39	5.1.5. NOÇÕES DE QUALIDADE	57
4.2.2. COM ARMAZENAMENTO DE ENERGIA	40	5.1.6. VARIAÇÕES DE MONTAGEM	57
4.3. BATERIA	40	5.1.7. INTERPRETAÇÃO DIAGRAMAS E DOCUMENTOS TÉCNICOS	58
4.3.1. TIPOS DE BATERIAS	40	5.1.8. RELATÓRIO TÉCNICO	58
4.3.2. VIDA ÚTIL	40	5.2. MONTAGEM DE SISTEMAS FV	59
4.3.3. CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DAS BATERIAS	40	5.2.1. MÉTODOS DE TRABALHO	59
4.3.4. BANCO DE BATERIAS	41	5.2.1.1. PASSO-A-PASSO DA MONTAGEM	59
4.4. CONTROLADOR DE CARGA	42	5.2.1.2. PREPARAÇÃO FERRAMENTAS E MATERIAIS	61
4.4.1. MONITORAMENTO DO SISTEMA	42	FOLHA DE AVALIAÇÃO DO LOCAL	62
4.4.2. PROTEÇÃO CONTRA CORRENTE REVERSA	42		
4.4.3. PROTEÇÃO CONTRA SOBRECORRENTE	42		
4.4.4. SEGUIDOR DO PONTO DE MÁXIMA POTÊNCIA	43		
4.4.5. CONTROLE E ACIONAMENTO AUTOMÁTICO DE CARGAS	43		



FUNDAMENTOS DE ELETRICIDADE - 16H

1.1. GRANDEZAS ELÉTRICAS NO SI

No Sistema Internacional (SI) tem-se as seguintes grandezas elétricas com suas unidades:

1.1.1. TENSÃO ELÉTRICA OU DDP (DIFERENÇA DE POTENCIAL)

Definição: É a diferença de potencial entre dois pontos, ou seja, é a “força” necessária para que haja o movimento de carga elétrica.

Representatividade: letra U

Unidade: Volt (V)

1.1.2. CORRENTE ELÉTRICA

Definição: É a relação entre a quantidade de carga elétrica que atravessa uma seção do condutor em um dado intervalo de tempo.

Representatividade: letra I

Unidade: Ampère (A)

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

1.1.3. RESISTÊNCIA ELÉTRICA

Definição: É uma resistência que se opõem ao fluxo da corrente elétrica.

Representatividade: letra R

Unidade: Ohm (Ω)

1.1.4 POTÊNCIA ELÉTRICA

Definição: É uma grandeza obtida pela multiplicação da tensão pela corrente elétrica.

Representatividade: letra P

Unidade: Watt (W)

1.2. ELEMENTOS FUNDAMENTAIS DOS CIRCUITOS ELÉTRICOS

Nos circuitos elétricos tem-se os seguintes elementos básicos abaixo, os quais são as representações matemáticas dos componentes elétricos reais.

1.2.1. FONTE DE TENSÃO

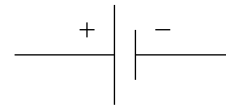


Figura 1. Fonte de Tensão Contínua

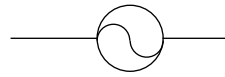


Figura 2. Fonte de Tensão Alternada



Figura 3. Pilha – Fonte CC

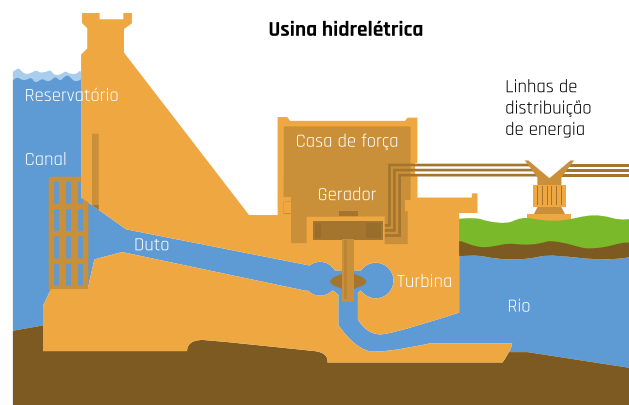


Figura 4. Gerador – Usina Hidrelétrica – Fonte CA

1.2.2. RESISTÊNCIA



Figura 5. Resistência elétrica

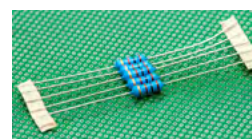


Figura 6. Resistência Elétrica – Imagem Real

1.2.3. CORRENTE ELÉTRICA



Figura 7. Indicação da Direção do Fluxo da Corrente Elétrica

OBS.: Nos circuitos Elétricos normalmente é indicado o sentido convencional da corrente elétrica, ou seja, do polo positivo para o polo negativo no caso de uma fonte CC, porém sabe-se que o sentido real da corrente elétrica é do polo negativo para o polo positivo de uma fonte CC.

1.3. CIRCUITOS ELÉTRICOS RESISTIVOS SIMPLES

Os circuitos elétricos resistivos simples são aqueles onde os componentes dos circuitos se restringem a Fonte de Tensão e Resistência Elétrica (resistores).

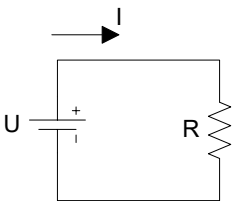


Figura 8. Circuito Elétrico Resistivo Simples

$$(II) U = R \times I$$

Exercício: Considerando um circuito elétrico resistivo simples, qual o valor da corrente elétrica solicitada por uma carga (Resistência) de 24Ω , quando esta está submetida a uma tensão de 12 V .

Solução: Representando matematicamente tem-se o circuito abaixo:

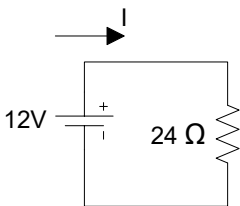


Figura 9. Exemplo Circuito Elétrico Resistivo Simples

Assim, pode-se aplicar a fórmula (II):

$$U = R \times I$$

$$12 = 24 \times I$$

$$I = \frac{12}{24}$$

$$I = 0,5 \text{ A} = 500 \text{ mA}$$

Portanto, a corrente solicitada pela carga será de $0,5 \text{ A}$.

ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES

Série

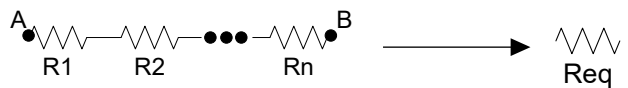


Figura 10. Associação de Resistores em Série

$$(III) R_{eq}(AB) = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Paralelo

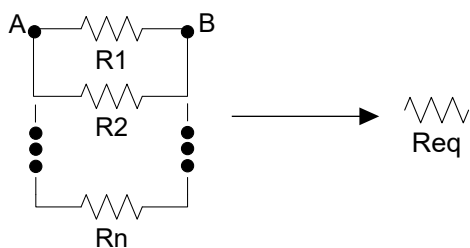


Figura 11. Associação de Resistores em Paralelo

$$(IV) \frac{1}{(R_{eq}(AB))} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \dots \frac{1}{R_n}$$

OBS.: $R_{eq}(AB)$ = Resistência Equivalente entre os pontos A e B.

Exercício: Indicar a Resistência Elétrica Equivalente entre os pontos A e B das figuras abaixo.

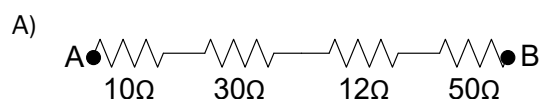


Figura 12. Exemplo de Associação de Resistores em Série

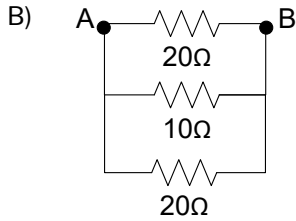


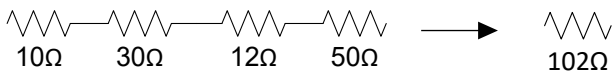
Figura 13. Exemplo de Associação de Resistores em Paralelo

Solução A: Observa-se que a associação anterior é em Série, portanto pode-se utilizar a Fórmula (III):

$$Req(AB) = R1 + R2 + \dots + Rn$$

$$Req(AB) = 10 + 30 + 12 + 50$$

$$Req(AB) = 102\Omega$$



Solução B: Observa-se que a associação anterior é em Paralelo, portanto pode-se utilizar a Fórmula (IV):

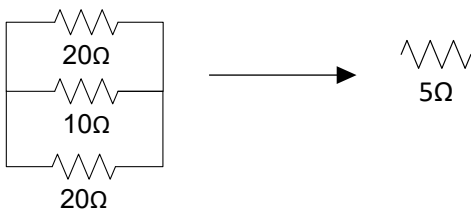
$$\frac{1}{Req(AB)} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3} \dots \frac{1}{Rn}$$

$$\frac{1}{Req(AB)} = \frac{1}{20} + \frac{1}{10} + \frac{1}{20}$$

$$\frac{1}{Req(AB)} = \frac{(1+2+1)}{20} = \frac{4}{20}$$

$$\frac{Req(AB)}{1} = \frac{20}{4}$$

$$Req(AB) = 5\Omega$$



1.4. POTÊNCIA E ENERGIA ELÉTRICA

Como visto anteriormente, a potência é uma grandeza obtida pela multiplicação da tensão pela corrente elétrica. Assim tem-se a seguinte relação:

$$(V) P = U \times I$$

$$(II) U = R \times I$$

Associando a fórmula (II) com a fórmula (V), obtém-se:

$$P = R \times I \times I$$

$$(VI) P = R \times I^2$$

ou

$$(VII) P = \frac{U^2}{R}$$

Assim, a potência elétrica é uma grandeza que não necessita do tempo, portanto sua unidade é dada em W (Potência Ativa).

A energia é uma grandeza obtida através da multiplicação da potência pelo tempo. Portanto:

$$(VIII) E = P \times t$$

Assim, a energia é uma grandeza que necessita do tempo, portanto sua unidade é dada em Wh (Potência Ativa).

Exemplo: Uma lâmpada que possui uma potência de 60 W, fica ligada por um período de 8h diárias. Considerando um mês de 30 dias, calcule a energia consumida em 1 mês.

Solução: Utilizando a equação (VII) tem-se:

$$E = 60 W \times 8h \times 30 dias$$

$$E = 14400Wh$$

$$E = 14,4 kWh/mês$$

1.5. DEFINIÇÃO DE SISTEMA ELÉTRICO EM CA

O sistema elétrico em CA (Corrente Alternada) é um sistema onde a fonte de tensão gera um sinal alternado. Este sinal de tensão tem a forma de uma onda senoidal, conforme figura posterior:

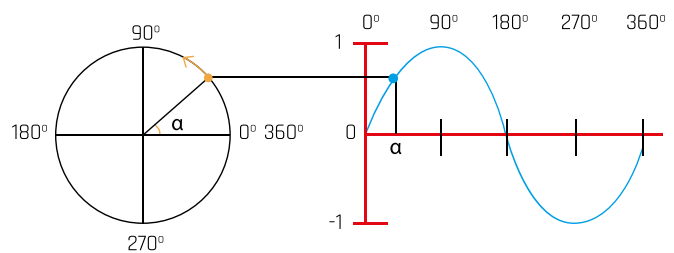


Figura 14. Onda senoidal

A frequência padronizada no Brasil é igual a $f = 60 \text{ Hz}$, ou seja, 60 ciclos em 1 segundo. Considerando que 1 ciclo é demonstrado na figura anterior.

Neste sistema tem-se um fluxo e refluxo de energia, assim a corrente elétrica altera o seu sentido a cada meio ciclo.

Para alguns equipamentos é importante essa variação do fluxo para o correto funcionamento dos mesmos, como por exemplo: transformadores, motores e etc. Lembrando que os transformadores são equipamentos de grande importância no sistema elétrico, pois através dos mesmos é possível deslocar grandes blocos de energia desde a geração (Hidrelétricas, termelétricas, etc) até o consumidor final evitando, dentre outras coisas, que o sistema necessite de bitolas de cabos com maiores dimensões que dificultariam a sua manipulação e instalação.

1.6. SISTEMA ELÉTRICO TRIFÁSICO

Um sistema elétrico trifásico é constituído por três fases defasadas entre si em 120° conforme mostrado na figura a seguir.

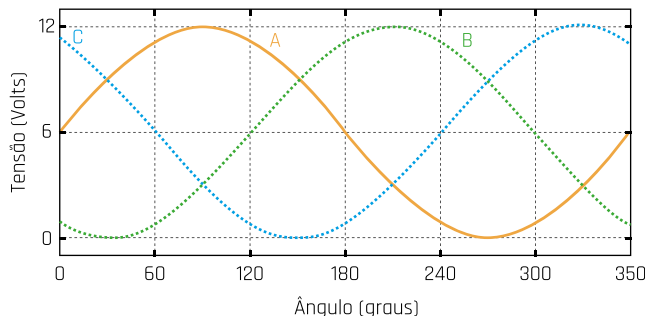


Figura 15. Circuito Trifásico

No setor industrial brasileiro, normalmente, a tensão entre duas fases distintas é 220 V, 380 ou 440 V alternada, dependendo da região. Assim, esta tensão é utilizada para acionar motores elétricos trifásicos.

1.7. INSTRUMENTOS DE MEDIDAS ELÉTRICAS

1.7.1. MULTÍMETRO

Instrumento utilizado principalmente para medição de tensão, corrente e resistência elétrica.



Figura 16. Multímetro Digital

1.7.2. AMPERÍMETRO ANALÓGICO

Instrumento utilizado para medição de corrente elétrica.



Figura 17. Amperímetro Analógico

1.7.3. VOLTÍMETRO ANALÓGICO

Instrumento utilizado para medição de tensão elétrica.



Figura 18. Voltímetro Analógico

1.7.4. TERRÔMETRO

Instrumento utilizado para medição de resistência de malha de aterramento e resistividade do solo.



Figura 19. Terrômetro Digital

1.7.6. MICROHMIMETRO

Instrumento utilizado para medição de continuidade em circuitos elétricos. Pode ser utilizado para medir continuidade em sistemas de aterramento de máquinas e SPDA (Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas).



Figura 21. Microhmimetro Digital

1.7.5. MEDIDOR DE RELAÇÃO DE TRANSFORMAÇÃO

Instrumento utilizado para medição de relação de espiras em transformadores.



Figura 20. Medidor de Relação de Espiras de Transformação

1.7.7. CÂMERA TERMOGRÁFICA - TERMOVISOR

Instrumento utilizado para medição da intensidade de radiação proveniente dos circuitos e equipamentos elétricos. Através desse equipamento é possível identificar pontos quentes nos circuitos elétricos.



Figura 22. Termovisor

1.7.8. MEGÔMETRO

Instrumento utilizado para medir resistência de isolação, principalmente em buchas de transformadores.



Figura 23. Megômetro

1.7.9. ALICATE AMPERÍMETRO

Instrumento utilizado para medição de corrente elétrica em condutores (cabos).



Figura 24. Alicate Amperímetro

1.8. ELEMENTOS E COMPONENTES DE UMA INSTALAÇÃO ELÉTRICA

1.8.1. CABOS

Os cabos são condutores onde ocorre o deslocamento da corrente elétrica. Os mesmos possuem uma determinada bitola (área da seção transversal) em função da capacidade de condução de corrente elétrica bem como também nível de isolação para a tensão elétrica os quais são submetidos.



Figura 25. Cabos elétricos

1.8.2. DISJUNTORES

São equipamentos utilizados para proteção dos condutores e circuitos elétricos com intuito de desligamento de um circuito quando ocorre uma sobrecarga ou curto circuito.

Disjuntores Termomagnéticos: Atuam na proteção do circuito contra sobrecargas e curto circuitos.

Disjuntores DR (Diferencial Residual): Atuam na proteção contra fuga de corrente elétrica dos circuitos protegendo os usuários contra possíveis choques elétricos.



Figura 26. Disjuntores Termomagnéticos



Figura 27. Disjuntores DR

1.8.3. CONTACTORES

Equipamentos utilizados em conjunto com disjuntores para abertura do circuito controlando principalmente motores elétricos. O Contactor é considerado uma chave de abertura e fechamento do circuito elétrico, onde o fechamento é obtido quando se energiza a bobina do contactor com tensões normalmente de 24V ou 220V, dependendo do tipo de contactor.



Figura 28. Contactores

1.8.4. MEDIDORES DE ENERGIA

Equipamento utilizado para medição do consumo de energia elétrica em determinado circuito.



Figura 29. Medidores de Energia

1.8.5. LÂMPADAS

Equipamentos utilizados para iluminação artificial de um determinado ambiente onde a luz natural não é suficiente para atender a necessidade do usuário.

Atualmente, utiliza-se bastante lâmpadas fluorescentes e há um crescimento na utilização de LEDs de alto brilho culminando em uma boa economia no consumo de energia elétrica, pois os LEDs possuem baixa potência para o mesmo nível de iluminação quando compara-se o mesmo com lâmpadas fluorescentes ou incandescentes.



Figura 30. Lâmpadas fluorescentes



Figura 31. LEDs

1.8.6. LUMINÁRIAS

Equipamentos utilizados para armazenamento da lâmpada e com intuito de aumentar a iluminação da mesma através de material reflexivo.



Figura 32. Luminárias

1.8.7. ELETRODUTOS E CANALETAS

Equipamentos utilizados para armazenamentos e acomodação e proteção mecânica dos condutores elétricos.



Figura 33. Eletrodutos

1.8.8. TRANSFORMADORES

Equipamentos utilizados para transformação da energia elétrica através de aumento ou redução da tensão elétrica. Neste equipamento a corrente elétrica é inversamente proporcional a tensão, ou seja, se o transformador elevar no secundário a tensão elétrica aplicada no primário do mesmo, então irá diminuir a corrente do secundário quando comparada à corrente elétrica do primário.



Figura 34. Transformadores

1.9. ELEMENTOS FOTOVOLTAICOS

Em sistemas solares fotovoltaicos têm-se diversos componentes, podendo citar:

- Painéis Fotovoltaicos
- Banco de baterias
- Inversores
- Controlador de Carga

Nos painéis fotovoltaicos, é possível ter a seguinte divisão conforme descrito abaixo:

- **Célula fotovoltaica:** Unidade elementar capaz de converter energia solar incidente em energia elétrica
- **Módulo fotovoltaico:** Agrupamento de células fotovoltaicas
- **Painel fotovoltaico:** Agrupamento de módulos fotovoltaicos

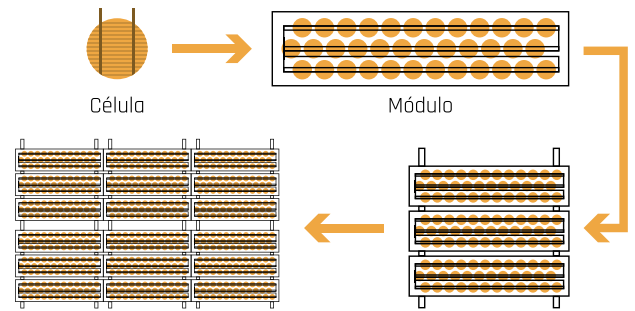


Figura 35. Diferença entre célula, módulo e painel fotovoltaico

Assim, a célula fotovoltaica é capaz de converter a energia solar incidente em energia elétrica. Normalmente, as células fotovoltaicas são fabricadas utilizando o material silício, podendo ser constituídas de cristais monocristalinos, policristalinos ou silício amorfo.

Na figura posterior, observa-se um sistema solar fotovoltaico não conectado (sistema isolado) a rede elétrica da concessionária local.

Esse sistema necessita de um banco de baterias para armazenamento de energia com intuito de utilização em períodos e horários em que haja pouca ou nenhuma incidência solar.

O inversor tem a finalidade de converter a tensão contínua em alternada, visto que os módulos fotovoltaicos convertem a energia solar para energia elétrica em forma contínua.

O controlador de carga tem a finalidade de regular o carregamento das baterias.

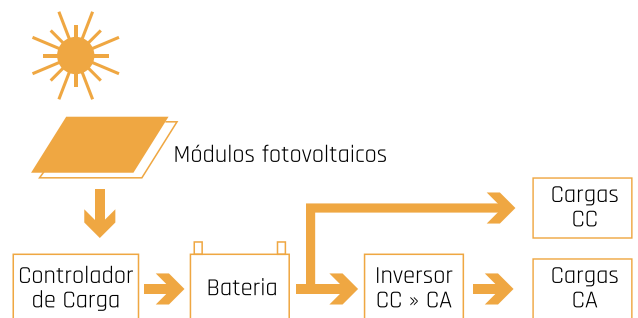


Figura 36. Sistema fotovoltaico isolado

Na próxima figura, é possível observar um sistema conectado a rede de energia da concessionária local, onde é necessário um medidor de energia específico para medição nos dois sentidos (geração e consumo).

Neste sistema o banco de baterias não é necessário, visto que quando há pouca ou nenhuma incidência solar o consumidor consome a energia elétrica da rede referente a concessionária local.

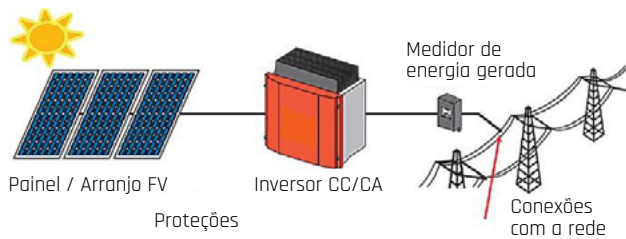


Figura 37. Sistema fotovoltaico conectado a rede

1.10. INSTALAÇÃO DE EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

1.10.1. ATERRAMENTO ELÉTRICO

O sistema de aterramento elétrico é um dos pontos mais importantes quando se trata em segurança em instalações e serviços em eletricidade.

O aterramento tem a finalidade de escoar as cargas elétricas excedentes para a terra, devido a sinistros nas instalações.

O equipamento utilizado para medição de malha de aterramento é o terrômetro, onde o mesmo calcula a resistência de malha de terra, com intuito de garantir que a resistência não seja muito elevada e que as cargas elétricas possam ser escoadas para a terra quando for necessário.

Um sistema de aterramento bem dimensionado e funcionando corretamente é de extrema importância para os sistemas de proteção dos circuitos elétricos.

1.10.2. RESISTIVIDADE DO SOLO

A resistividade do solo pode ser afetada de acordo com vários fatores como:

- Tipo de Solo
- Temperatura
- Pressão
- Compactação
- Umidade

1.10.3. FATORES QUE INFLUENCIAM NA RESISTÊNCIA DA HASTE

- **Diâmetro da Haste:** Quanto maior o diâmetro da haste menor será a resistência elétrica.
- **Hastes em Paralelo:** Quanto mais hastes em paralelo menor será a resistência elétrica equivalente.
- **Comprimento da haste:** Quanto maior o comprimento da haste menor será a resistência elétrica.
- **Tratamento Químico do solo:** Através do tratamento químico do solo pode-se reduzir o valor da resistividade (ρ) do mesmo.

Superfícies equipotenciais de uma Haste: Se as hastes estiverem em paralelo, as mesmas devem estar distantes o suficiente para que a superfície equipotencial de cada haste não seja cancelada pela superfície equipotencial proveniente de uma segunda haste. Caso, haja o cancelamento parcial das superfícies equipotenciais, o aterramento teria uma menor eficácia, pois haveria uma redução na capacidade de escoamento de uma determinada carga elétrica.

1.11. SISTEMAS ELÉTRICOS PREDIAIS

De acordo com a Norma Técnica NT- 001/2012 R-05 da COELCE referente ao fornecimento de energia elétrica em tensão secundária de distribuição, tem-se:

1.11.1. LIGAÇÃO MONOFÁSICA

Unidades consumidoras

- Conectadas à rede aérea de BT (Baixa Tensão): Carga Instalada até o limite de 10kW.
- Conectadas à rede Subterrânea de BT: Carga instalada até o limite de 15kW.

Estas unidades consumidoras devem ser atendidas através de condutor fase e neutro, onde a tensão fase-neutro seja 220 V.

Neste contexto podem ser conectadas no máximo as seguintes cargas individuais:

- Motor com potência individual até 3 CV;
- Aparelho com potência individual até 5 kW;
- Máquina de solda a transformador com potência até 2 kVA;
- Aparelho de Raios X com potência até 4 kVA.

NOTA: Em áreas rurais, onde a unidade consumidora for suprida através de transformador monofásico exclusivo para o cliente, admite-se a ligação de motor monofásico com potência individual até 5 CV.

1.11.2. LIGAÇÃO BIFÁSICA

Unidades consumidoras

- Conectadas à rede aérea de BT (Baixa Tensão): Carga Instalada até o limite de 20kW.
- Conectadas à rede Subterrânea de BT: Carga instalada até o limite de 30kW.

Estas unidades consumidoras devem ser atendidas através de dois condutores fase e um neutro, onde a tensão fase-neutro seja 220 V e a tensão de linha seja de 380 V.

Neste contexto podem ser conectadas no máximo as seguintes cargas individuais:

- Motor monofásico com potência individual até 5 CV, em 380 V;
- Aparelho com potência individual até 8 kW, em 380 V;
- Máquina de solda a transformador com potência individual até 6 kVA, em 380 V;
- Aparelho de Raios X com potência individual até 8 kVA, em 380 V.

1.11.3. LIGAÇÃO TRIFÁSICA

Unidades consumidoras

- Conectadas à rede aérea de BT (Baixa Tensão): Carga Instalada até o limite de 75kW.
- Conectadas à rede Subterrânea de BT: Carga instalada até o limite de 100kW.

Estas unidades consumidoras devem ser atendidas através de três condutores fase e um neutro, onde a tensão fase-neutro seja 220 V e a tensão de linha seja de 380 V.

Neste contexto podem ser conectadas no máximo as seguintes cargas individuais:

- Motor trifásico com potência individual até 30 CV, em 380 V;
- Aparelho trifásico não resistivo, com potência individual até 20 kVA;
- Máquina de solda a transformador trifásico com potência até 15 kVA;
- Aparelho de Raios X trifásico com potência até 20 kVA.

OBS.: É importante estudar e analisar as características de tensão de fornecimento da distribuidora local, pois no caso acima mencionamos como exemplo a norma NT-001/2012 pertencente a distribuidora de energia elétrica COELCE (Companhia Energética do Ceará). Para ter o conhecimento das normas de fornecimento de energia elétrica com relação a prédios de múltiplas unidades consumidoras referentes a área de atuação da COELCE deve-se analisar a NT-003/2012 R-03 pertencente a mesma distribuidora de energia.

1.12. NORMAS TÉCNICAS E DE SEGURANÇA APLICÁVEIS

NR 06: Equipamentos de Proteção Individual – EPI

NR 10: Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade

NR 17: Ergonomia

NR 18: Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção

NR 26: Sinalização de Segurança

NR 35: Trabalho em Altura

NBR 5410: Instalações Elétricas de Baixa Tensão

NBR 14039: Instalações Elétricas de Média Tensão

NBR 14200/1998: Acumulador Chumbo-Ácido estacionário ventilado para o sistema fotovoltaico- Ensaio

NBR 15389/2006: Bateria de Chumbo-Ácido estacionária regulada por válvula – Instalação e Montagem

NBR 11704/2008: Sistemas fotovoltaicos – Classificação

NBR 10899/2013: Energia Solar fotovoltaica – Terminologia

NBR IEC 62116/2012: Procedimentos de Ensaio de Anti-ilhamento para inversores de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à rede Elétrica.

ABNT NBR 16149/2013: Sistemas Fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição- Procedimento de ensaio de conformidade.

ABNT NBR 16150/2013: Características da Interface de Conexão com a Rede Elétrica de Distribuição.

NBR 16274/2014: Sistema Fotovoltaicos Conectados à rede – Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho.

1.13. REFERÊNCIAS

COELCE. **NT 001/2012:** Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Secundária de Distribuição. Fortaleza, 2012. 61 p.

_____. **NT 003/2012:** fornecimento de energia elétrica a Prédios de Múltiplas Unidades Consumidoras. Fortaleza, 2009. 75 p.

KINDERMAN, Geraldo. CAMPAGNOLO, J.M. **Aterramento elétrico.** 3. ed. Porto Alegre: Sagra-DC Luzzatto, 1995.

LIMA FILHO, Domingos Leite. **Projeto de instalações elétricas prediais.** 6. ed. Érica, 2001.

MAMEDE FILHO, João. **Manual de equipamentos elétricos.** 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2005.

_____. **Instalações elétricas industriais.** 7. ed. LTC, 2007.

NISKIER, Julio. MACINTYRE, A.J. **Instalações Elétricas.** 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

NILSSON, J.W. SUSAN, A.R. **Circuitos elétricos.** 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

FUNDAMENTOS DE ENERGIAS SOLAR FOTOVOLTAICA - 24H

2.1. SOLARIMETRIA - GENERALIDADES

Para o desenvolvimento de projetos com intuito de captação e conversão da energia solar é importante a medição da radiação solar na superfície terrestre, pois como normalmente as regiões possuem variações da intensidade dessa radiação ao longo do ano, essas medições terão a funcionalidade de garantir o máximo de aproveitamento dos recursos naturais, viabilizando instalações e sistemas fotovoltaicos.

Os instrumentos mais utilizados para a medição da irradiação solar são o piranômetro e o pireliômetro, conforme figuras ao lado.

Piranômetro: Utilizado para medições da irradiação global. Os tipos principais de piranômetro são o termoeletrico e o piranômetro fotovoltaico. O piranômetro do tipo fotovoltaico tem a vantagem de possuir um menor custo, porém com uma menor precisão quando comparado ao piranômetro termoeletrico.

Pireliômetro: Utilizado para medições da irradiação direta.

Os instrumentos podem ser classificados em três categorias de acordo com a ISO 9060 (Energia Solar – Especificação e classificação de instrumentos para medir a radiação solar e direta hemisférica). Essas categorias referem-se a precisão do equipamento.

- Padrão Secundário
- Primeira Classe
- Segunda Classe

Segundo a WMO – World Meteorological Organization, os instrumentos possuem a seguinte classificação:

- Alta qualidade (erro máximo de 2% admitido na irradiação diária)
- Boa qualidade (erro máximo de 5% admitido na irradiação diária)
- Qualidade razoável (erro máximo de 10% admitido na irradiação diária)

Assim, os piranômetros termoeletricos são classificados como de boa qualidade enquanto que os piranômetros fotovoltaicos são classificados como de qualidade razoável.



Figura 38. Piranômetro Fotoelétrico



Figura 39. Piranômetro Fotovoltaico



Figura 40. Pireliômetro

Com as medições realizadas é possível elaborar um trabalho com um índice maior de acerto na fase de projeto.

Os dados coletados devem ser verificados, observando a veracidade dos mesmos mediante alguns parâmetros como os valores obtidos por modelos, bem como se existe proximidade de valores entre sensores diferentes.

Em primeiro momento os dados coletados, após os filtros descritos anteriormente, serão reduzidos culminando em várias formas de apresentação, dentre elas pode-se citar as curvas de distribuição de frequência da irradiação.

As estações de medição de dados e técnicas de medição da radiação solar a partir de satélites estão sendo aprimoradas proporcionando maior abrangência das áreas estudadas.

Os sistemas computacionais são grandes aliados nas obtenções dos dados de medição da irradiação solar, porém deve-se observar que estes dados são normalmente indicados em superfícies horizontais, enquanto que os painéis fotovoltaicos geralmente são colocados em planos inclinados e com diferentes orientações.

2.2. RADIAÇÃO SOLAR

A energia em forma de ondas eletromagnéticas que provém do sol, chamamos de Radiação Solar, sendo que esta pode ser transmitida através do vácuo, ou seja não precisa de meio para se propagar.

2.2.1. IRRADIÂNCIA X IRRADIAÇÃO

- **Irradiância Solar:** É a relação entre potência e área da região de incidência. Assim, a mesma é expressa por W/m^2 .

Curiosidades: A Irradiância que chega à terra advinda do Sol possui valor médio de aproximadamente $1.367 W/m^2$.

- **Irradiação Solar:** É a relação entre a quantidade de energia solar incidente e a área de determinada superfície durante um período de tempo definido. Assim, a mesma é expressa por $kWh/(m^2.dia)$ ou $kWh/(m^2.mês)$ ou $kWh/(m^2.ano)$.

OBS.: Para instalação solar fotovoltaica a irradiação solar anual em determinada localidade é considerada um parâmetro fundamental.

2.2.2. COMPONENTES DA RADIAÇÃO SOLAR

- **Radiação direta:** incide diretamente na superfície sem ter sido espalhada pela atmosfera
- **Radiação difusa:** radiação incidente na superfície após ter sido dispersada de raios solares diretos por moléculas em suspensão na atmosfera.
- **Radiação refletida:** radiação que incide na superfície após reflexão (devida ao albedo).

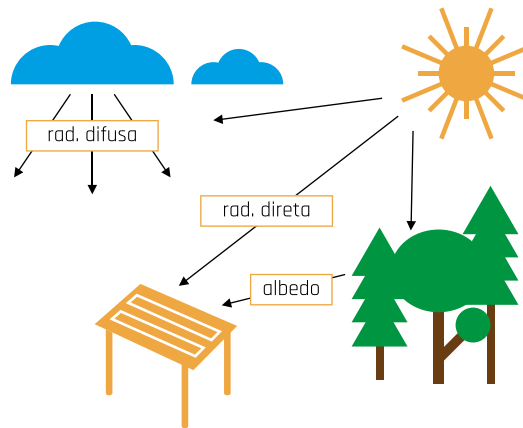


Figura 41. Componentes da Radiação Solar

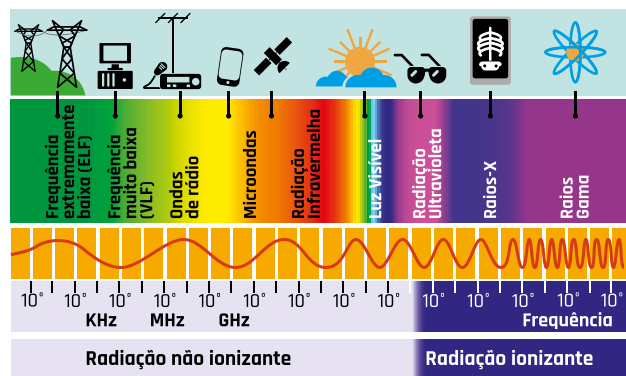


Figura 42. Espectro Eletromagnético

2.3. RADIAÇÃO SOLAR NO BRASIL

Quando se compara o Brasil com outros países da Europa com relação a incidência de radiação solar verifica-se que aquele possui um índice mais elevado, facilitando a instalação de estruturas com intuito de captação da energia solar para conversão em energia elétrica.

No Brasil, o desenvolvimento de módulos fotovoltaicos foi iniciado em meados dos anos 50 no INT – Instituto Nacional de Tecnologia e no CTA- Centro Tecnológico de Aeronáutica.

Por volta de 1970, o IME- Instituto Militar de Engenharia com parceria internacional iniciou o desenvolvimento de tecnologias de filmes finos.

No final dos anos 70 e início da década de 80, duas fábricas de módulos fotovoltaicos (Silício Cristalino) iniciaram suas atividades no Brasil, porém as mesmas tiveram baixa produtividade devido a falta de incentivo e conseqüente migração da pesquisa para outras áreas.

Nos anos 80 e 90 houve pesquisas destinadas à purificação do Silício com intuito de utilização em células fotovoltaicas.

Na década de 90, países como a Alemanha e Japão tiveram grande desenvolvimento na área de tecnologia fotovoltaica enquanto que a difusão da tecnologia no Brasil ficou defasada.

Atualmente, o Brasil possui várias linhas de pesquisas em universidades bem como laboratórios destinados a testes e análises de módulos fotovoltaicos, inversores e controladores de carga, porém o Brasil ainda está bastante defasado em relação ao desenvolvimento de países europeus no quesito utilização da energia solar.

Ao lado tem-se um gráfico mostrando os maiores fabricantes de módulos fotovoltaicos do mundo em 2012.

Abaixo tem-se uma figura demonstrando as médias anuais dos níveis de irradiação solar no Brasil.

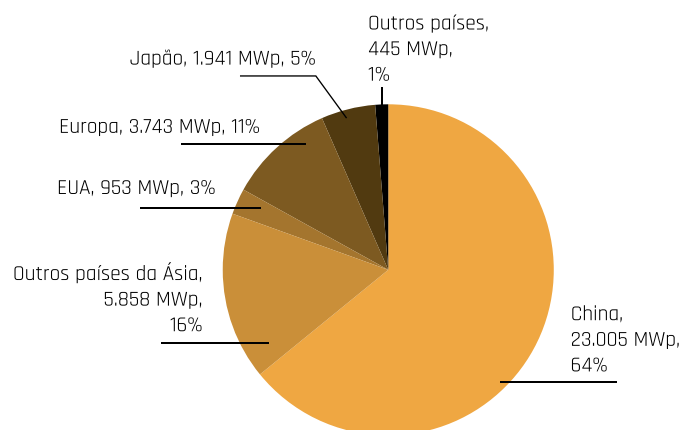


Figura 43. Distribuição de produção mundial de módulos fotovoltaicos em 2012

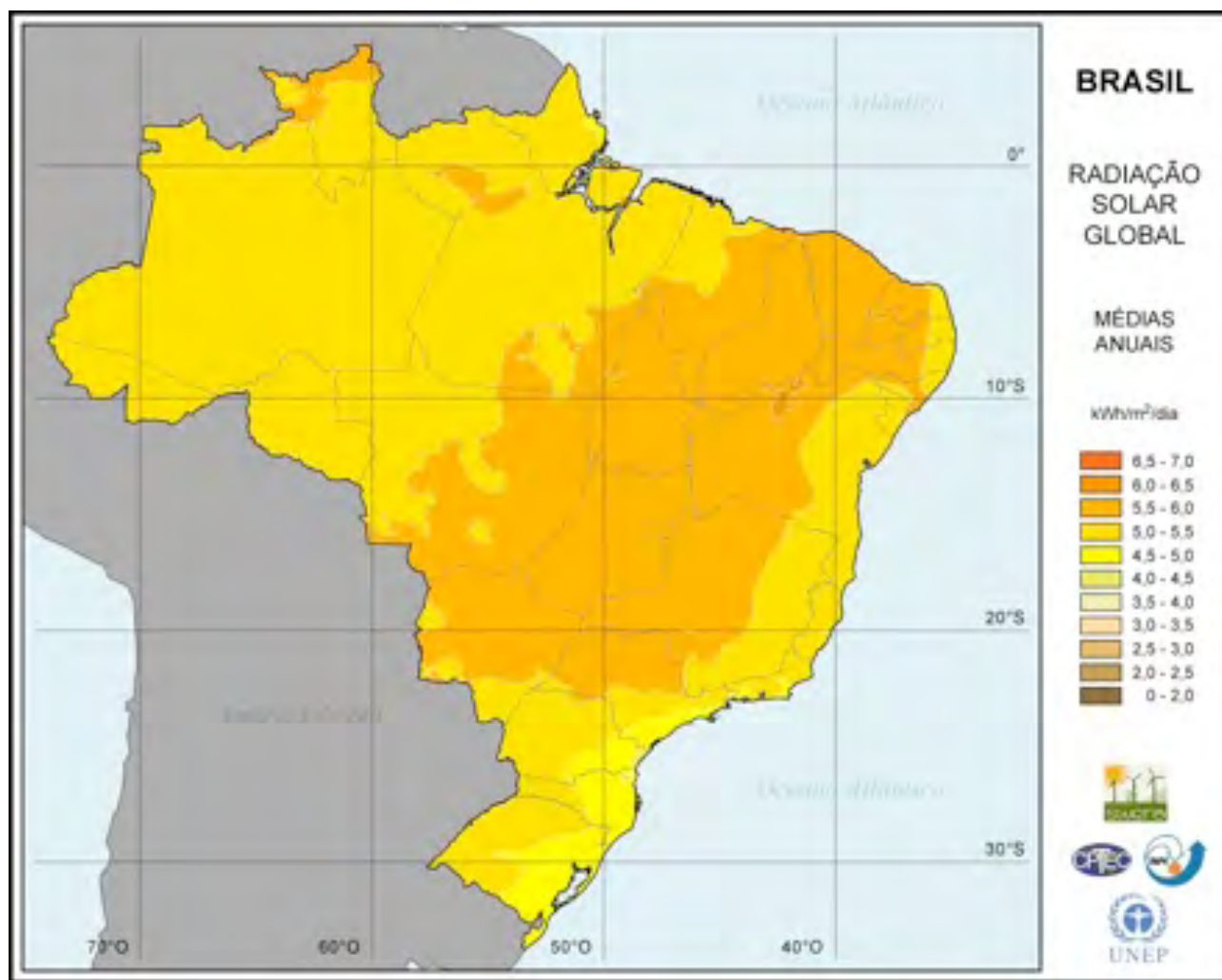


Figura 44. Médias Anuais de irradiação Solar – Brasil (INEP 2015)

2.4. MOVIMENTO TERRA - SOL

O sol possui a seguinte estrutura dividida em regiões conforme figura ao lado.

Assim, o Sol é considerado uma grande esfera de gás incandescente, onde há geração de energia através de reações termonucleares no núcleo.

A terra descreve uma trajetória elíptica em seu movimento anual em torno do sol.

O Eixo da Terra em relação ao plano normal à elipse apresenta uma inclinação de aproximadamente 23,450. Essa inclinação da Terra em conjunto com o seu movimento de translação resulta nas estações do ano.

Ao lado segue figura com relação ao movimento da terra em relação a sol, proporcionando as estações do ano.

A Terra também possui um sistema de rotação em torno do seu próprio eixo culminando em dias e noites.

Para que a Terra possa concluir uma volta em torno do seu próprio eixo é necessário um tempo de aproximadamente 24 h, ou seja, 1 dia.

Para que a Terra possa concluir uma volta em torno do sol é necessário um tempo de aproximadamente 365 dias, ou seja, 1 ano.

2.5. ORIENTAÇÃO E INCLINAÇÃO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Para que ocorra a máxima captação da energia solar, deve-se observar tanto a orientação como a inclinação dos módulos fotovoltaicos.

Com relação a orientação, os módulos devem ser orientados em direção à linha do equador.

- Instalações localizadas no hemisfério Sul →
A face do módulo voltada para o norte verdadeiro.
- Instalações localizadas no hemisfério Norte →
A face do módulo voltada para o Sul verdadeiro.

Normalmente, a direção do Sul verdadeiro (ou do Norte Verdadeiro) não coincide com a do Sul Magnético (ou Norte Magnético). Assim, deve ser realizada a correção do referencial magnético, para tanto utiliza-se a Declinação magnética do local de instalação. A declinação Magnética pode ser encontrada através de mapas e programas computacionais.

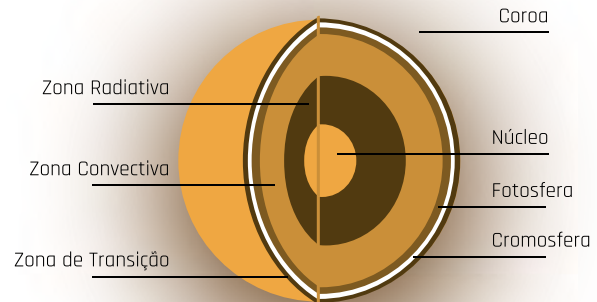


Figura 45. Estrutura do Sol

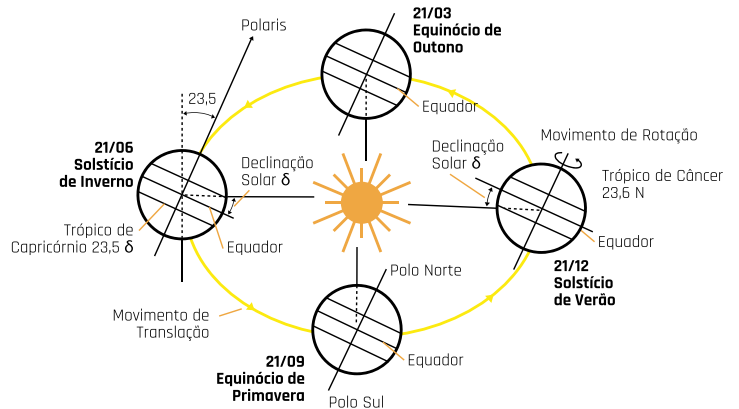


Figura 46. Órbita da Terra em torno do Sol

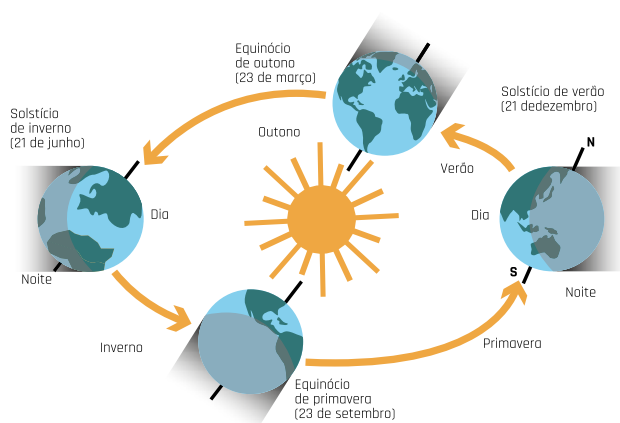


Figura 47. Movimentos da Terra e as Estações do ano

2.5.1. BÚSSOLA

É uma ferramenta de orientação com uma agulha magnética onde a mesma é atraída pelo magnetismo terrestre, assim é possível localizar-se através dos pontos cardeais. Desde a antiguidade, a bússola foi utilizada para navegação, porém com o crescimento da tecnologia, hoje é possível se localizar através de sistemas como GPS – “Global Positioning System”.



Figura 48. Bússola

2.5.2. CARACTERÍSTICAS MAGNÉTICAS DA TERRA

A Terra se comporta como um grande ímã onde o pólo Norte geográfico está próximo do pólo Sul Magnético assim como o pólo Sul geográfico está próximo do pólo Norte Magnético, conforme figura ao lado.

Com relação ao ângulo de inclinação dos módulos fotovoltaicos, com o intuito de obter a máxima geração de energia ao longo do ano, o mesmo deve ser igual à latitude onde o sistema será instalado.

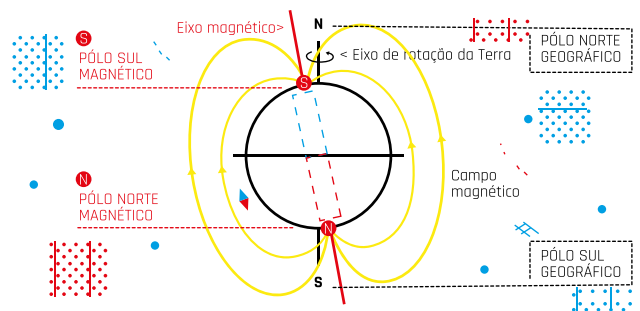


Figura 49. Características Magnéticas da Terra

2.5.3. MONTAGEM DA ESTRUTURA DE SUPORTE DOS MÓDULOS

A estrutura possui a seguinte finalidade:

- Posicionar os módulos fotovoltaicos de forma estável
- Auxiliar na dissipação de calor garantindo a eficiência dos módulos
- Possibilitar distanciamento dos módulos evitando danos aos mesmos devido ao processo de dilatação.

Portanto, os módulos em alguns casos devem ser montados sobre essas estruturas para que o sistema funcione da melhor forma possível garantindo a eficiência do módulo e correta orientação e angulação de inclinação.



Figura 50. Suporte para módulo fotovoltaico

2.6. SISTEMA DE ENERGIA SOLAR - GENERALIDADES

2.6.1. SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO

O sistema fotovoltaico isolado tem a característica principal de não ser conectado a rede elétrica.

A figura 36 (Capítulo 1) representa este sistema.

Os principais equipamentos que constituem este sistema são:

- **Módulos Fotovoltaicos:** Captação da luz solar convertendo em energia elétrica.
- **Controlador de carga:** Controlar o nível de carregamento da Bateria
- **Baterias:** Armazenamento de carga para ser utilizada posteriormente quando não existir incidência solar nos módulos fotovoltaicos
- **Inversor CC/CA:** converte a tensão elétrica contínua para alternada

OBS.: O módulo Fotovoltaico gera tensão contínua, portanto é necessário um inversor CC/CA para alimentação de cargas CA (Alternada).

2.6.2. SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE

Para um sistema fotovoltaico conectado à rede não é necessário um banco de baterias, pois este sistema fornece energia elétrica para o consumidor em conjunto com a rede elétrica tradicional (figura 37). Assim quando há incidência de radiação solar o consumidor será abastecido com energia proveniente do módulo fotovoltaico e quando não há incidência solar o consumidor é abastecido pela rede da concessionária local.

Através da resolução 482 da ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, quando ocorre uma geração de energia elétrica superior ao que o consumidor necessita através de módulos fotovoltaicos, esse excedente irá para a rede elétrica da concessionária local e gera-se um crédito de energia que pode ser utilizado como desconto na próxima fatura de energia elétrica do consumidor.

2.7. SISTEMAS HÍBRIDOS QUE UTILIZAM ENERGIA SOLAR

Os Sistemas Híbridos têm a característica de utilizar diferentes fontes de energia de forma combinada, como Energia Solar e Energia Eólica. Cada uma das aplicações depende principalmente da disponibilidade dos recursos energéticos na localidade.

O Sistema Híbrido tem como finalidade proporcionar maior eficiência no sistema, assim como um maior equilíbrio no fornecimento de energia.

Quando se considera por exemplo um sistema híbrido diesel- fotovoltaico, cada fonte terá contribuição no sistema dependendo dos seguintes fatores:

- Investimento inicial
- Custo de Manutenção
- Dificuldade de Obtenção do Combustível
- Poluição do ar
- Poluição sonora do grupo gerador a diesel
- Área ocupada pelo sistema fotovoltaico
- Curva de Carga

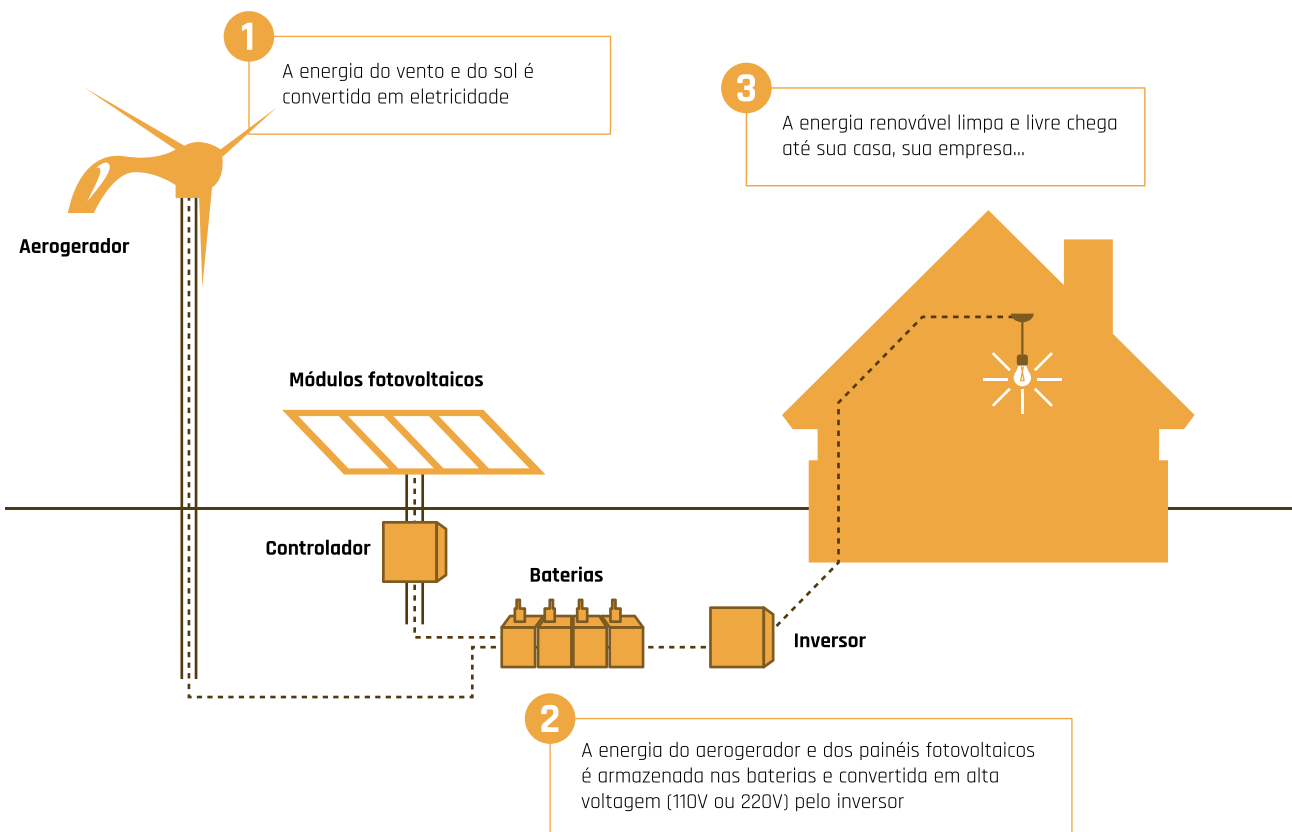


Figura 51. Sistema Híbrido – Eólica-Solar

Na página anterior a figura 51 demonstra um sistema Híbrido onde o mesmo é composto por módulos fotovoltaicos em conjunto com uma turbina eólica.

É importante observar que na figura 51 é importante o armazenamento de energia através de banco de baterias.

Normalmente, os sistemas híbridos são utilizados para atendimento de cargas em corrente alternada (CA), portanto é necessário um inversor para converter o sistema CC em CA.

Quando o empreendimento se localiza em regiões remotas, o sistema híbrido torna-se desvantajoso, considerando que esse sistema possui uma maior complexidade em termos de operação e manutenção.

Quando há um sistema híbrido através da combinação de painéis fotovoltaicos e aerogeradores pode-se ter tanto geração durante o dia como durante a noite, pois o aerogerador poderia gerar principalmente energia elétrica no período noturno.

Na figura ao lado, também pode ser utilizado um sistema de aquecimento de água (Solar Térmica).

A instalação de um sistema híbrido proporciona um maior rendimento e retorno econômico quando se compara com sistemas independentes de energia solar, hídrica, eólica ou biomassa.

É possível também ser encontrado um sistema combinado entre painéis fotovoltaicos em conjunto com grupo gerador diesel e aerogeradores conforme figura 54.

Assim, diversas combinações de fontes distintas podem ser obtidas, constituindo um sistema híbrido.

2.8. ÂNGULOS DE UMA INSTALAÇÃO SOLAR - INCLINAÇÃO E ORIENTAÇÃO

Como visto anteriormente, os módulos fotovoltaicos localizados no hemisfério Sul devem estar com a face orientada para o Norte Verdadeiro. Neste caso, é importante que o clima local não varie muito ao longo do dia.

Quando o local da instalação esteja no hemisfério norte, os módulos fotovoltaicos devem estar com sua face voltada para o Sul verdadeiro.

Com relação a inclinação dos módulos fotovoltaicos observa-se que a mesma deve estar no máximo entre -10° e $+10^{\circ}$ em torno da latitude do local com intuito obtenção do máximo desempenho dos módulos.

Para áreas localizadas próximas ao equador, onde a latitude varia entre -10° e $+10^{\circ}$ é importante que a inclinação mínima do módulo seja de 10° , com intuito de facilitar a limpeza dos módulos em períodos de chuva.



Figura 52. Sistema Híbrido 2 - Eólica-solar



Figura 53. Sistema Híbrido 3 - Eólica-solar

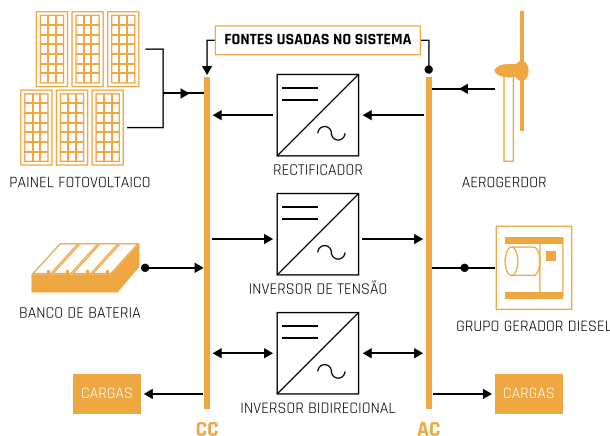


Figura 54. Sistema Híbrido - Eólica-Solar- Gerador Diesel

As impurezas como poeira reduzem a capacidade de captação de luz dos módulos, portanto a limpeza periódica desses torna-se essencial para um bom funcionamento do sistema.

Atualmente, já existem geradores fotovoltaicos onde ocorre o rastreamento do movimento aparente do sol proporcionando melhorias na captação da radiação solar.

Quando se compara em termos de custos, os sistemas automáticos possuem o custo mais elevado de implantação e manutenção em relação aos sistemas manuais, porém aqueles possuem um maior desempenho no sistema.

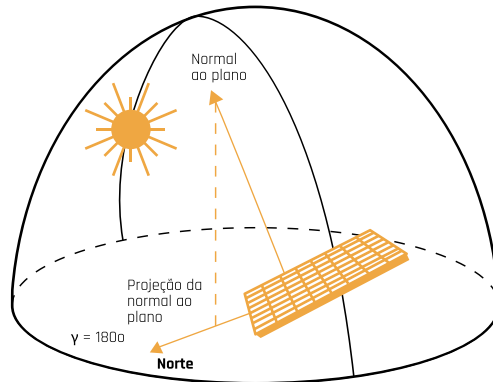


Figura 55. Orientação da face dos módulos em local no hemisfério sul

2.9. SUPORTES PARA CORREÇÃO DE ÂNGULOS

O suporte de instalação tem como finalidade proporcionar em todos os casos estabilidade e correto posicionamento do módulo fotovoltaico em terrenos ou estrutura de prédios sem prejudicar a estética deste.

A estrutura de suporte deve ser eletricamente aterrada e de material resistente as condições ambientais do local garantindo confiabilidade e segurança.

Conforme figura abaixo, tem-se as formas usuais de instalação de módulos fotovoltaicos.

1. Solo
2. Poste
3. Fachada
4. Telhado

Dentre as vantagens e desvantagens das diferentes formas de instalação podem-se citar as que estão na tabela 1.

Normalmente, em sistemas residenciais os módulos fotovoltaicos são instalados no telhado, porém quando não é possível a instalação no telhado, os módulos são instalados em poste ao lado a residência.

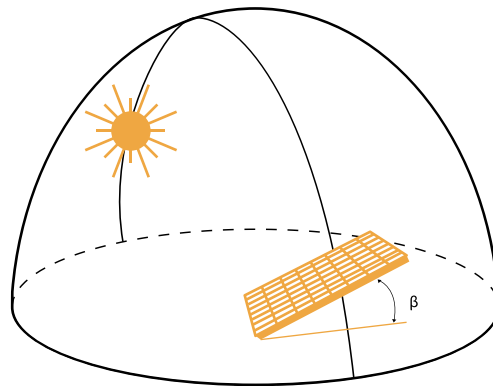


Figura 56. Ângulo de inclinação dos módulos fotovoltaicos

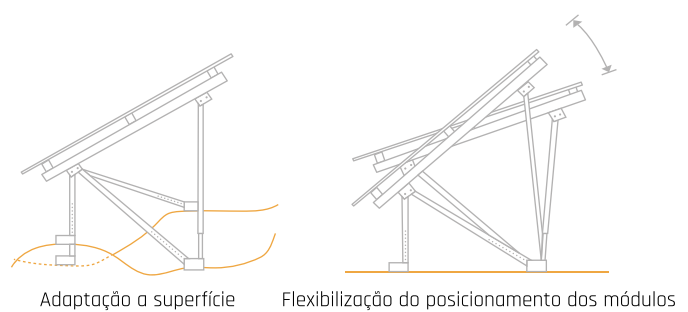


Figura 57. Estruturas de sustentação fotovoltaico

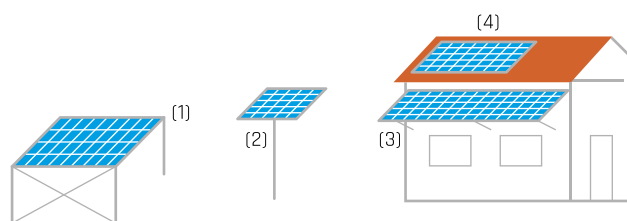


Figura 58. Formas de instalação de módulos fotovoltaicos

Forma de Instalação	Vantagens	Desvantagens
(1) Estrutura de sustentação no solo	<ul style="list-style-type: none"> · Fácil instalação · Fácil manutenção · Estrutura robusta · Indicado para sistemas de qualquer porte 	<ul style="list-style-type: none"> · Mais propícia a situações de sombreamento · Mais sujeita a acúmulo da poeira e contato de pessoas, objetos e animais
(2) Poste	<ul style="list-style-type: none"> · Fácil instalação · Menos propícia a situações de sombreamento · Mais segura contra contato de pessoas, objetos e animais 	<ul style="list-style-type: none"> · Estrutura menos robusta · Maior dificuldade de manutenção · Indicada apenas para sistemas de pequeno porte
(3) Fachada	<ul style="list-style-type: none"> · Menos propícia a situações de sombreamento · Mais segura contra contato de pessoas, objetos e animais · Ajuda a reduzir a carga térmica interna da edificação 	<ul style="list-style-type: none"> · Instalação mais trabalhosa · Maior dificuldade de manutenção · Riscos associados ao trabalho em altura · O porte do sistema deve ser adequado à área e à suportabilidade mecânica da edificação
(4) Sobre a edificação	<ul style="list-style-type: none"> · Menos propícia a situações de sombreamento · Mais segura contra contato de pessoas, objetos e animais · Estrutura de suporte mais simples 	<ul style="list-style-type: none"> · Instalação mais trabalhosa · Maior dificuldade de manutenção · Riscos associados ao trabalho em altura · O porte do sistema deve ser adequado à área e à suportabilidade mecânica da cobertura

Tabela 1. Vantagens e desvantagem de formas de instalação de módulos fotovoltaicos (adaptado Manual de Engenharia 2008)



Figura 59. Sistema fotovoltaico localizado em região isolada

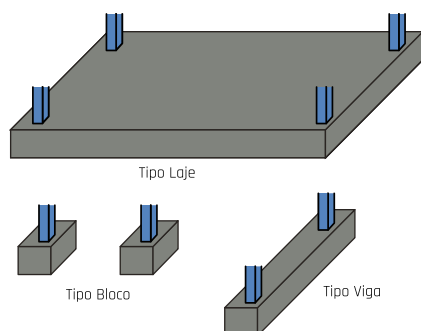


Figura 60. Principais tipos de fundações



Figura 61. Fundação tipo bloco de cimento

2.10. REFERÊNCIAS

Programa De Capacitação Em Energias Renováveis/ Energia Solar Fotovoltaica – ONUDI (Observatório De Energias Renováveis Para América Latina E Caribe)

PINHO, João Tavares. GALDINO, Marco Antonio. GRUPO DE TRABALHO DE ENERGIA SOLAR – GTES. CEPAL-DTE-CRESESB. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro- Março 2014.

Site: www.ecoplanetenergy.com/pt-br/sobre-eco-energia

FUNDAMENTOS DE ENERGIAS SOLAR FOTOVOLTAICA - 24H

3.1. CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

A célula fotovoltaica é o elemento principal na geração de eletricidade a partir da energia solar. Quando uma célula fotovoltaica é exposta a luz surge uma tensão em seus terminais e assim a capacidade de gerar corrente elétrica. A palavra fotovoltaica vem de Foto, que tem sua raiz na língua grega que significa 'luz' e Voltaiça, da unidade de medida de tensão elétrica volt.

As células fotovoltaicas são feitas de materiais semicondutores onde o material que é mais utilizado para a fabricação das mesmas é o silício. No entanto, o silício por si só não é capaz de gerar muita eletricidade quando exposto à luz. Para conseguir níveis elevados de corrente elétrica o silício é misturado com outros materiais (a exemplo do fósforo e boro) para conseguir gerar eletricidade a níveis satisfatórios.

A mistura desses materiais com o silício faz com que a célula fotovoltaica gere corrente elétrica em apenas um sentido, em outras palavras as células fotovoltaicas geram corrente contínua.

Veja ao lado uma ilustração que mostra uma célula fotovoltaica recebendo radiação solar e convertendo em eletricidade para alimentar uma carga. Note que a parte superior é o pólo negativo e a parte inferior é o pólo positivo da célula fotovoltaica.

Se expusermos uma célula fotovoltaica ao sol e ligarmos uma carga formando um circuito elétrico fechado podemos medir com um amperímetro a corrente gerada e com um voltímetro a tensão da célula aplicada a essa carga.

De forma geral podemos dizer que a tensão nominal de uma célula fotovoltaica é da ordem de 0,5V e que sua corrente varia de acordo com a sua potência nominal.

Exemplo 3.1: Dadas duas células fotovoltaicas, sendo uma de 2W e a outra de 3,6W, calcule a corrente nominal que essas células podem fornecer.

Sabendo que a tensão nominal de uma célula fotovoltaica é de aproximadamente 0,5V, para calcular a corrente basta tomar mão da clássica equação de potência. Sendo assim, para a célula de 2W, teremos:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{2W}{0,5V} = 4A$$

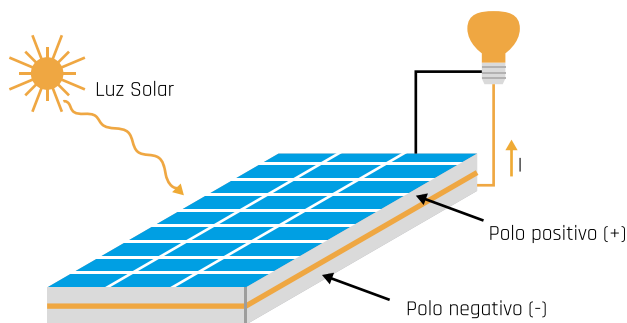


Figura 62. Célula fotovoltaica recebendo radiação solar

Já para a célula de 3,6W, teremos:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{3,6W}{0,5V} = 7,2A$$

3.2. TIPOS DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

As células fotovoltaicas mais comuns encontradas atualmente no mercado são de três tipos, as de silício monocristalino, as de silício policristalino e as de filme fino de silício. Vejamos a seguir as diferenças entre essas tecnologias.

3.2.1. SILÍCIO MONOCRISTALINO

As células de silício monocristalino são as mais eficientes devido ao material utilizado apresentar um grau de pureza bastante elevado. Essas células podem apresentar uma eficiência na ordem de 18% comercialmente e chegar aos 25% de eficiência em laboratório, mas para que o silício apresente um grau de pureza muito elevado o seu processo de fabricação demanda de muito investimento e energia, o que eleva o preço final desse tipo de célula, tornando-a a mais cara dentre as três. Essas células costumam apresentar uma aparência e coloração uniforme como podemos notar na imagem 63.

3.2.2. SILÍCIO POLICRISTALINO

As células de silício policristalino apresentam uma desuniformidade em sua coloração devido ao processo de purificação do material ser menos exigente e mais barato. Essa produção menos exigente faz com que a eficiência desse tipo de célula seja mais baixa em relação a das células de silício monocristalino, podendo ficar em torno dos 13 e 15% nas células comerciais. Podemos notar na imagem 64 o aspecto de cor desuniforme em uma célula de silício policristalino.

3.2.3. FILME FINO DE SILÍCIO

A tecnologia das células de filme fino de silício é mais recente que a tecnologia monocristalina e policristalina. O seu processo de fabricação se dá por meio do depósito de finas camadas de material a base de silício sobre uma superfície que pode ser rígida ou flexível. A tecnologia de filme fino mais empregada é a desilício amorfo. Essa tecnologia apresenta um baixo rendimento (entre 5 e 8%) e a desvantagem de diminuir sua eficiência no primeiro ano de uso devido à degradação pela exposição a radiação solar. Essa redução tende a se estabilizar após o primeiro ano de uso. Devido ao seu baixo custo de fabricação esse tipo de célula é muito utilizada em calculadoras, brinquedos e pequenos aparelhos eletrônicos que demandam uma baixa energia em seu funcionamento. As células de silício amorfo apresentam uma coloração escura e uniforme como mostrado na imagem 65.

A tabela abaixo relaciona as diferentes tecnologias de células fotovoltaicas com suas respectivas eficiências:

Tipo de célula fotovoltaica	Eficiência em laboratório	Eficiência comercial
Silício Monocristalino	25%	15 a 18%
Silício Policristalino	20%	13 e 15%
Silício Amorfo	13%	5 a 8%

Tabela 2. Eficiência das tecnologias de energia fotovoltaica

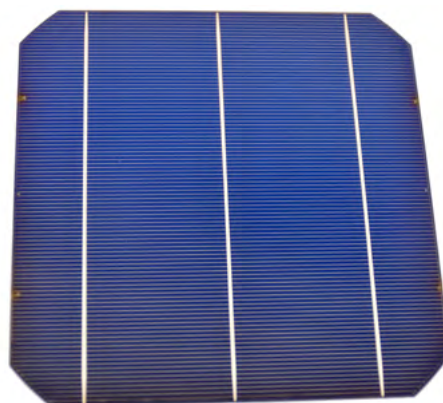


Figura 63. Célula de silício monocristalino

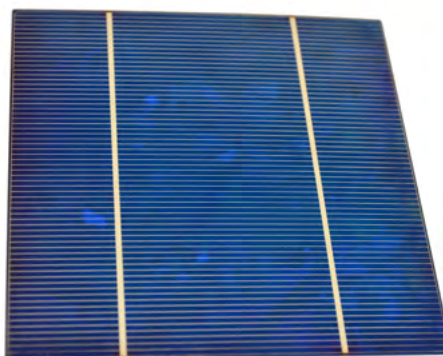


Figura 64. Célula de silício policristalino

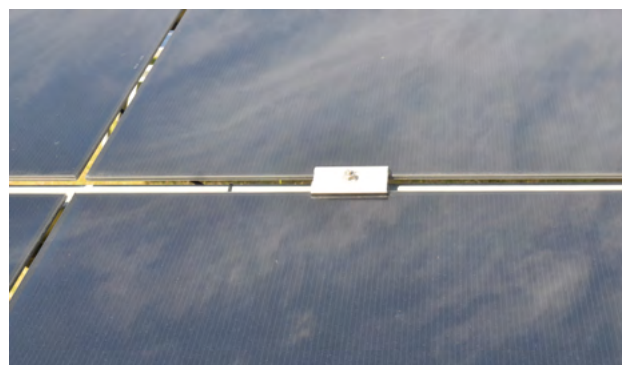


Figura 65. Célula de filme fino de silício

3.3. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Vimos que as células fotovoltaicas geram tensões muito baixas (da ordem de 0,5V) se forem utilizadas individualmente. Em aplicações práticas se faz necessário o uso de tensões mais elevadas para alimentar cargas habituais. Os módulos fotovoltaicos (também chamados de painéis fotovoltaicos ou placas fotovoltaicas) são estruturas rígidas que comportam várias células interligadas em série para se obter uma tensão maior em seus terminais. Quando vamos representar um módulo fotovoltaico em um diagrama elétrico utilizamos a simbologia abaixo:

Os módulos fotovoltaicos de silício monocristalino e policristalino apresentam conexões em série entre suas células, onde a parte superior de uma célula (pólo negativo) é conectada ao pólo inferior (pólo positivo) da próxima célula. O número de células conectadas em série depende da tensão final desejada para o módulo. A figura abaixo ilustra uma conexão em série típica entre 36 células fotovoltaicas:

É muito comum encontramos módulos fotovoltaicos com 36 células para aplicações de baixa e média potência, onde a tensão requerida dos módulos não é tão elevada. Para aplicações de maior potência é comum o uso de módulos fotovoltaicos de até 60 células, pois os equipamentos de condicionamento de potência em sistemas de maior porte utilizam tensões mais altas em suas entradas, com isso o número de módulos no projeto se torna reduzido.

Já os módulos de filme fino apresentam uma única célula, pois o material é depositado sobre toda a área do módulo desejado. Os módulos de filme fino geralmente apresentam uma tensão maior que os módulos de silício monocristalino e policristalino podendo chegar até 70V, no entanto a corrente de saída geralmente é reduzida.

Na construção de um módulo fotovoltaico as células são recobertas com lâminas plásticas transparentes para evitar o contato direto com a lâmina de vidro que fica na parte superior. A parte inferior do módulo é revestida com um material plástico um pouco mais rígido e a moldura é feita com peças de alumínio para dar rigidez e não comprometer o peso do módulo. Por fim é instalada uma caixa de conexões elétricas, também conhecida como caixa de junção (do inglês Junction Box), na parte inferior do módulo onde são conectados os cabos de saída. Veja na figura 68 uma vista explodida de um módulo fotovoltaico.

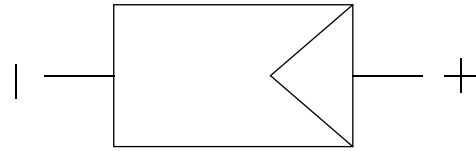


Figura 66. Simbologia do módulo fotovoltaico

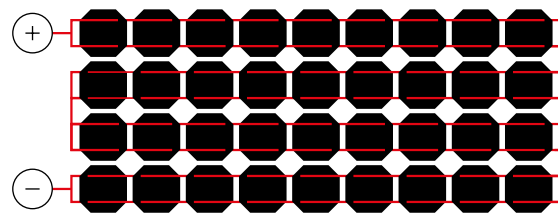


Figura 67. Exemplo de como é feita a conexão entre células fotovoltaicas em um módulo

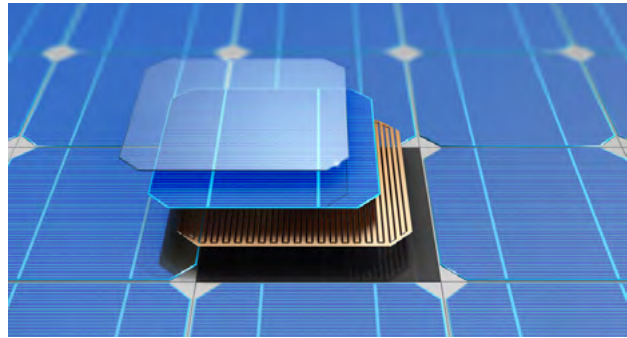


Figura 68. Vista explodida de um módulo fotovoltaico para identificar suas partes

3.4. CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Um módulo fotovoltaico pode ser especificado por sua potência elétrica de pico nominal (Wp), no entanto, as características de tensão e corrente para módulos de mesma potência e de fabricantes diferentes podem variar um pouco.

A potência nominal ou potência de pico que é informada pelo fabricante é a potência que o módulo pode fornecer levando em consideração as condições de teste padrão realizadas em laboratório (STC – do inglês Standard Test Conditions). Após a fabricação de

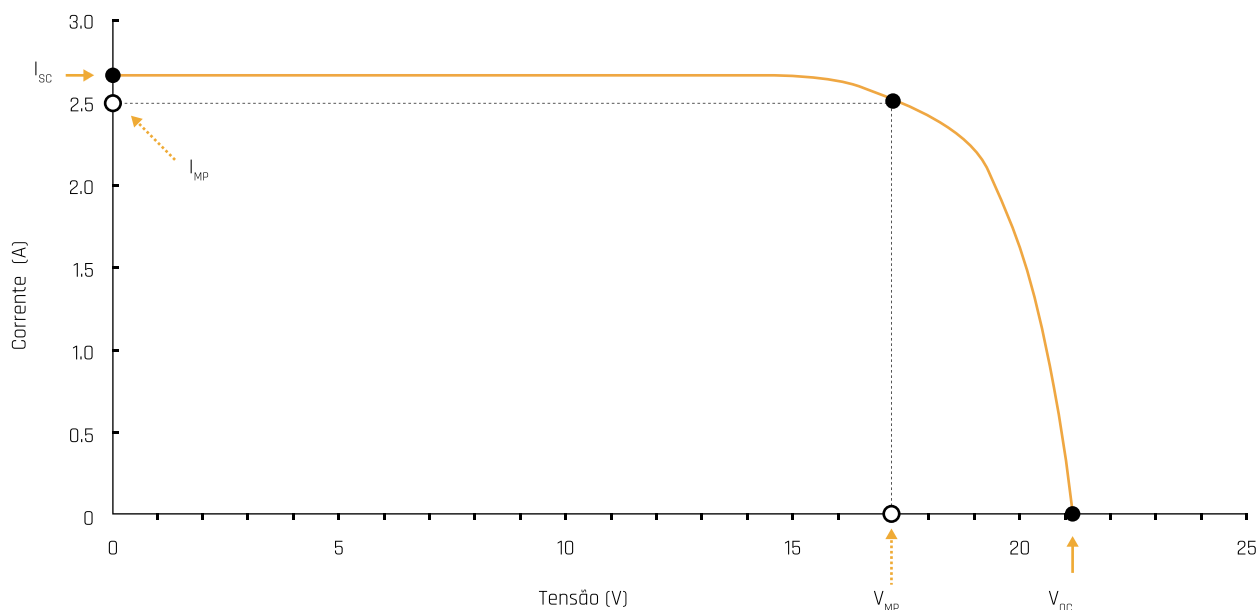


Figura 69. Curva I x V de um módulo fotovoltaico

um módulo, o fabricante realiza testes de desempenho elétrico para traçar a curva característica do módulo e extrair alguns parâmetros importantes. Nesse teste, o módulo é colocado em uma câmara que simula níveis de radiação solar, temperatura e massa de ar fixa. A irradiância na qual o módulo é submetido é de $1000\text{W}/\text{m}^2$, a temperatura das células fotovoltaicas controlada em 25°C e a massa de ar (AM) de 1,5.

A seguir vamos entender o funcionamento dos módulos fotovoltaicos e compreender as informações técnicas fornecidas pelos fabricantes.

3.4.1 CURVA CARACTERÍSTICA I x V DE UM MÓDULO FOTOVOLTAICO

O módulo fotovoltaico apresenta uma curva característica diferente das curvas de fontes de tensão convencionais. Mantendo um nível de irradiância fixa sobre o plano frontal do módulo fotovoltaico, a tensão e a corrente do mesmo dependem da carga que está conectada em seus terminais.

A relação entre a tensão e a corrente de um módulo fotovoltaico é mostrada na figura acima.

O ponto de operação do módulo pode excursionar por toda a curva traçada acima a depender da carga conectada. Podemos notar alguns pontos singulares nesta curva, tais como:

- **I_{sc} – Corrente de Curto Circuito:** Corrente máxima que um módulo fotovoltaico pode fornecer. Como o próprio nome diz, a mesma é obtida a partir de um curto circuito em seus

terminais. Para realizar a medição de ISC basta fazer um curto circuito nos terminais do módulo e medir a corrente que flui com um amperímetro. Na curva acima esse valor é de aproximadamente 2,7A.

- **V_{oc} – Tensão de Circuito Aberto:** Máxima tensão entre os terminais de um módulo. É quando o mesmo não está fornecendo corrente elétrica. Pode ser medida com um voltímetro ligado aos terminais do módulo fotovoltaico sem que o mesmo esteja alimentando qualquer carga, ou seja, em circuito aberto. Na curva acima essa tensão é de 21V.
- **I_{MP} – Corrente de Máxima Potência:** Valor de corrente que corresponde à situação na qual o módulo fornece máxima potência. Na curva essa corrente vale 2,5A.
- **V_{MP} – Tensão de Máxima Potência:** Valor de tensão que corresponde à situação na qual o módulo fornece máxima potência. Na curva essa tensão é de 17V.
- **P_{MP} – Ponto de Máxima Potência:** Máxima potência que o módulo fotovoltaico pode entregar para um determinado nível de irradiância solar. É calculado como sendo o produto $V_{MP} \times I_{MP}$, portanto, se levarmos em consideração que essa curva foi traçada a partir das condições de teste padrão (STC = irradiância de $1000\text{W}/\text{m}^2$, temperatura de célula de 25°C e massa de ar de 1,5), podemos estimar que a potência desse módulo é de aproximadamente $17\text{A} \times 2,5\text{A} = 42,5\text{W}$

3.5. FATORES DE INFLUÊNCIA NA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

O principal fator que influencia a geração fotovoltaica é o nível de irradiância solar que chega até as células fotovoltaicas, mas existe outro fator que pode também influenciar na geração que é a temperatura das células.

3.5.1. INFLUÊNCIA DA RADIAÇÃO SOLAR

A corrente elétrica que o módulo fotovoltaico pode fornecer depende diretamente da intensidade da radiação solar que incide sobre as células. Com uma irradiância de 1000W/m^2 o módulo é capaz de fornecer a corrente máxima especificada em sua etiqueta (sob temperatura de 25°C). Com pouca luz a corrente fornecida pelo módulo é muito pequena e sua capacidade de gerar energia é severamente reduzida. Veja no gráfico ao lado as diferentes curvas I-V para diferentes níveis de irradiância.

Notamos que à medida que a irradiância solar diminui a corrente gerada pelo módulo cai quase que proporcionalmente enquanto a tensão do módulo pouco sofre com esse efeito. Concluímos que quanto menor a irradiância solar incidente no módulo menor será a potência gerada pelo mesmo.

3.5.2. INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA

A temperatura tem influência sobre a tensão que o módulo apresenta em seus terminais e, conseqüentemente, na potência fornecida pelo mesmo. Em temperaturas mais baixas a tensão aumenta e em temperaturas mais altas a tensão diminui. Veja no gráfico ao lado como a tensão pode variar para diferentes temperaturas de células.

3.5. ASSOCIAÇÕES DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

No dimensionamento da geração fotovoltaica, o projetista tem que identificar as características elétricas do módulo fotovoltaico a ser instalado no sistema. Com exceção de pequenos sistemas de baixa potência, costuma-se associar módulos fotovoltaicos para atingir uma faixa de tensão, corrente ou potência na qual um único módulo não é capaz de produzir. Vejamos a seguir como são feitas as associações de módulos fotovoltaicos:

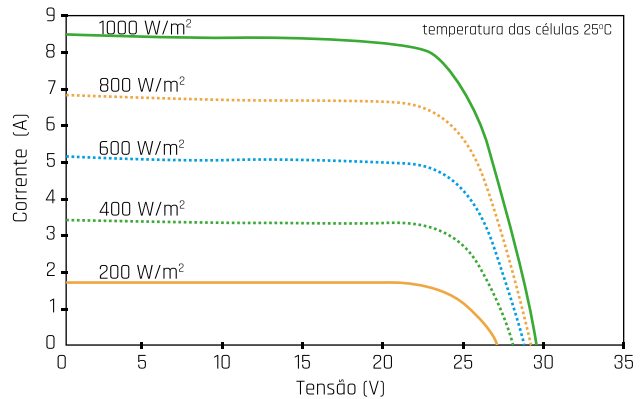


Figura 70. Curva I x V para diferentes níveis de irradiância

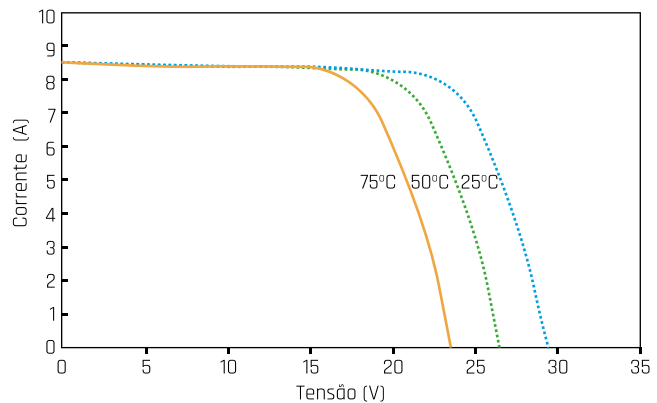


Figura 71. Curva I x V para diferentes temperaturas de células

3.6.1. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS EM SÉRIE

Associamos módulos fotovoltaicos em série quando o projeto necessita que a geração fotovoltaica atinja valores de tensão nos quais os módulos comerciais não apresentem.

Na conexão série as tensões dos módulos se somam e a corrente que percorre os módulos é a mesma. Um detalhe importante é que os módulos fotovoltaicos conectados em série devem ser de mesmo tipo e modelo mantendo a unicidade das características elétricas entre eles para evitar que um módulo fotovoltaico de menor capacidade de geração (seja de potência menor ou de corrente menor) limite a capacidade de geração dos módulos de maior capacidade.

A figura abaixo ilustra a associação série entre dois módulos fotovoltaicos:

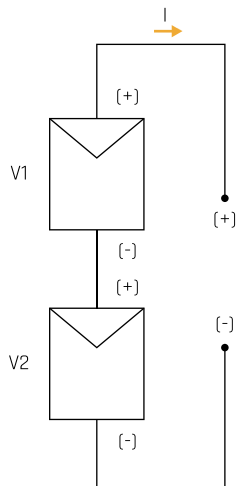


Figura 72. Conexão de módulos fotovoltaicos em série

Damos o nome de *string* a um conjunto de módulos conectados em série.

Exemplo 3.2: Vejamos o resultado de uma conexão série entre dois módulos fotovoltaicos que apresentem para as condições de teste padrão STC as seguintes características elétricas:

Características elétricas para 1000W/m ² e 25°C	
Potência de pico (Wp)	140W
Tensão de circuito aberto (VOC)	22,1V
Tensão de máxima potência (VMP)	17,7V
Corrente de curto circuito (ISC)	8,68A
Corrente de máxima potência (IMP)	7,91A

Tabela 3. Características elétricas

Na conexão série as tensões dos módulos se somam, sendo assim teremos:

- $VOC = 22,1V + 22,1V = 44,2V$
- $VMP = 17,7V + 17,7V = 35,4V$

No entanto as correntes permanecem as mesmas.

Sendo assim:

- $ISC = 8,68A$
- $IMP = 7,91A$

O produto $VMP \times IMP$ resulta na potência de pico Wp da associação, se calcularmos com os resultados obtidos anteriormente, teremos:

- $Wp = VMP \times IMP = 35,4V \times 7,91A = 280W$

Com isso concluímos que a potência também é somada na associação série.

3.6.2. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS EM PARALELO

Ao associar módulos fotovoltaicos em paralelo as correntes geradas por cada módulo se somam e a tensão entre eles permanece a mesma. Esse tipo de associação também soma as potências de cada módulo resultando em uma potência final maior. Note que os terminais positivos dos módulos são interligados entre si e o mesmo deve acontecer para os terminais negativos.

É importante que os módulos associados em paralelo apresentem mesma tensão, pois um módulo de tensão menor pode passar a receber energia de outro módulo de tensão maior, funcionando como consumidor ao invés de gerador.

Vejamos o diagrama de uma associação em paralelo entre dois módulos fotovoltaicos:

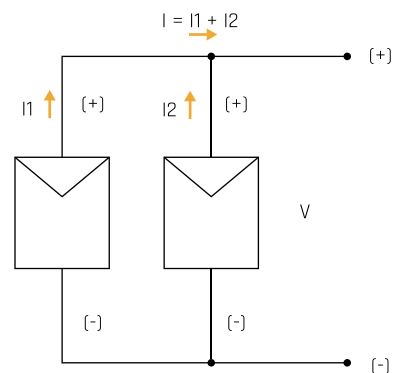


Figura 73. Conexão paralela entre módulos fotovoltaicos

Exemplo 3.3: Utilizando os mesmos módulos fotovoltaicos do exemplo anterior (3.2) teremos como resultado de uma associação paralela o seguinte:

As tensões permanecem as mesmas:

- $VOC = 22,1V$
- $VMP = 17,7V$

Já as correntes geradas pelos módulos serão somadas resultando em:

- $ISC = 8,68A + 8,68A = 17,36A$
- $IMP = 7,91A + 7,91A = 15,82A$

Ao multiplicarmos os resultados de VMP por IMP chegaremos na seguinte potência de pico dessa associação:

- $Wp = 140W + 140W = 280W$

Notamos que a potência de cada módulo também foi somada como na associação série.

3.6.3. ASSOCIAÇÃO MISTA (SÉRIE - PARALELA)

É muito comum a associação mista entre módulos fotovoltaicos aplicados a projetos de médio/grande porte para atingir níveis de tensões e potências mais altas do que um simples string pode chegar. Ao conectarmos strings em paralelo estaremos somando as correntes de cada string e no final de tudo somando as potências de todos os módulos fotovoltaicos.

Note na figura abaixo como é feita uma associação mista:

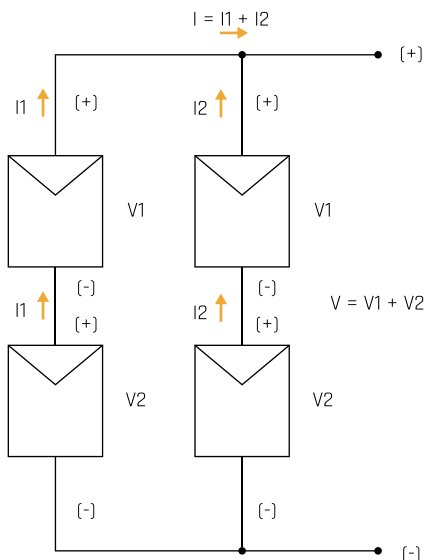


Figura 74. Conexão mista entre módulos fotovoltaicos

Exemplo 3.4: Conectando em paralelo dois strings iguais ao do exemplo 3.2, teremos:

As tensões finais serão as tensões dos strings que é resultado da soma de dois módulos em série:

- $VOC = 22,1V + 22,1V = 44,2V$
- $VMP = 17,7V + 17,7V = 35,4V$

As correntes geradas por cada string se somarão, resultando em:

- $ISC = 8,68A + 8,68A = 17,36A$
- $IMP = 7,91A + 7,91A = 15,82A$

Para calcular a potência de pico total dessa associação basta multiplicar VMP por IMP resultando em:

- $Wp = 35,4V \times 15,82A = 560W$

Outra forma de calcular a potência de pico resultante de qualquer associação é multiplicar o número de módulos associados pela potência dos mesmos. Sendo assim:

- $Wp = N^\circ \text{ de módulos} \times \text{Potência}$

Como nessa associação mista temos quatro módulos de 140W, teremos:

- $Wp = 4 \times 140W = 560W$

3.7. EFEITOS DO SOMBREAMENTO

Quando um módulo fotovoltaico é sombreado parcialmente, onde apenas uma ou mais células passam a receber menos radiação solar em relação as demais, o mesmo diminui sua capacidade de geração elétrica. Como as células em um módulo fotovoltaico são conectadas em série, a célula sombreada que teve sua capacidade de geração reduzida acaba limitando a passagem de corrente das demais comprometendo toda a geração do módulo. O efeito de sombreado parcial pode ser gerado por uma folha de uma árvore que caiu sobre o módulo, pela sombra causada por uma antena ou por qualquer outro objeto que venha gerar sombra.

Esse efeito pode causar danos à célula sombreada e, conseqüentemente, ao módulo fotovoltaico, pois essa célula passará a funcionar como uma carga elétrica consumindo energia e dissipando em forma de calor. Caso a energia dissipada por essa célula seja demasiadamente elevada poderão surgir pontos permanentemente danificados, nos quais chamamos de pontos quentes, podendo chegar a destruir a célula e inutilizar o módulo.

Para identificarmos pontos quentes em células fotovoltaicas podemos utilizar uma câmera termográfica. A imagem abaixo mostra com clareza esse efeito:

3.7.1. DIODOS DE DESVIO

Para diminuir os problemas causados pelo sombreamento parcial em módulos fotovoltaicos são utilizados diodos semicondutores conectados em antiparalelo a um conjunto de células ou ao próprio módulo fotovoltaico.

Diodos são dispositivos eletrônicos que permitem a passagem de corrente elétrica em apenas um sentido. Quando o diodo está diretamente polarizado, ou seja, quando existe um potencial positivo entre o seu Ânodo e o seu Cátodo, o mesmo passa a conduzir corrente funcionando como uma chave fechada. Já quando aplicamos um potencial negativo entre o Ânodo e o Cátodo do diodo, dizemos que o mesmo está inversamente polarizado e dessa forma passa a não conduzir corrente, funcionando como uma chave aberta.

Veja nas figuras ao lado a simbologia de um diodo e como o mesmo funciona diretamente e inversamente polarizado.

Note que a seta do seu símbolo indica o sentido que a corrente elétrica pode percorrer.

Na polarização direta o diodo passa a conduzir corrente funcionando como uma chave fechada como na figura 78.

Já na polarização inversa o diodo passa a funcionar como uma chave aberta, não conduzindo corrente como ilustra a figura 79.

Agora que entendemos um pouco como funciona um diodo, veremos quatro casos, de forma simples e ilustrada, como é o funcionamento de um conjunto de células em série onde uma delas é sombreada e o que acontece sem a conexão dos diodos e em seguida com a conexão dos diodos. As setas vermelhas indicam o caminho percorrido pela corrente elétrica.

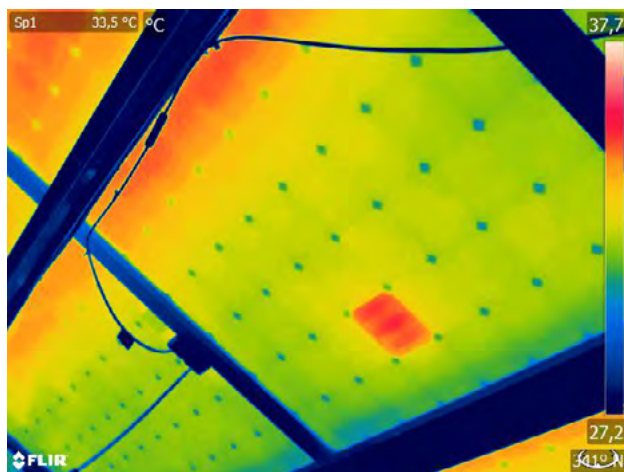


Figura 75. Ponto quente em uma célula fotovoltaica.

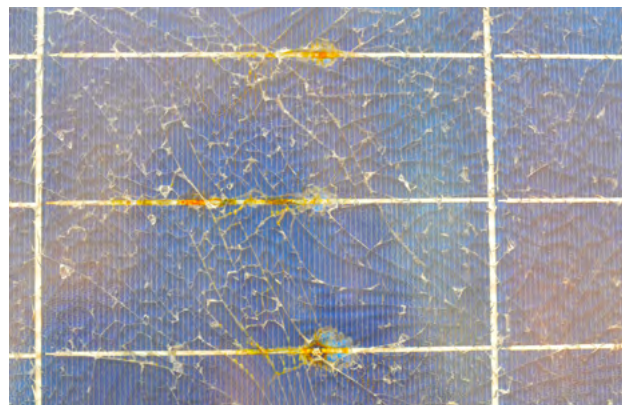


Figura 76. Célula fotovoltaica destruída por ponto quente.

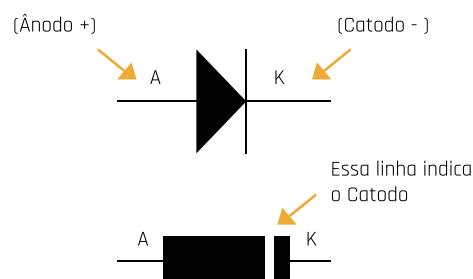


Figura 77. Simbologia do diodo e sua representação física. A listra indica o cátodo.

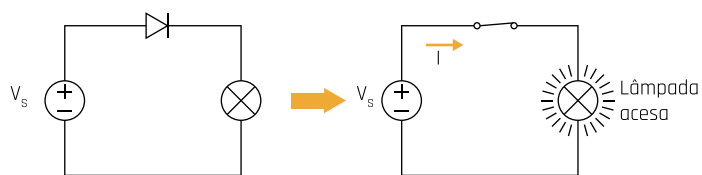


Figura 78. Polarização direta do diodo: conduz corrente.

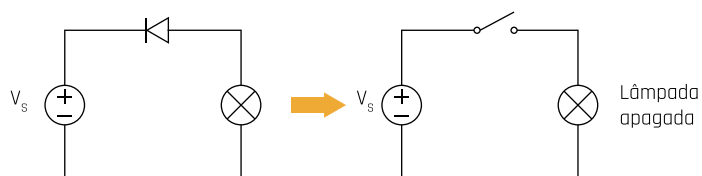
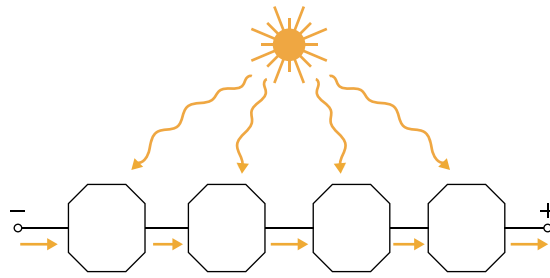


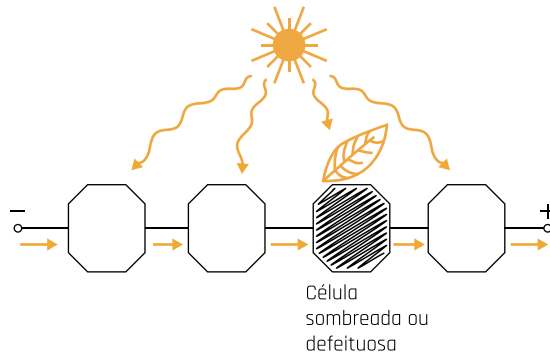
Figura 79. Polarização inversa do diodo: não conduz corrente.

Caso 1 – Sem sombreamento e sem diodos

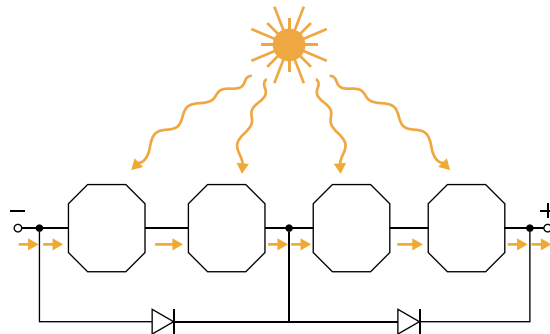
Ao incidir radiação solar sobre as células fotovoltaicas as mesmas passam a gerar corrente elétrica se conectadas a uma carga. Nesse caso a geração ocorre de forma natural com boa intensidade de corrente a depender apenas do nível de irradiância incidente.

**Caso 2 – Com sombreamento e sem diodos**

No momento em que uma das células é sombreada ou danificada a mesma passa a limitar a corrente gerada pelas outras células, gerando aquecimento e diminuindo a quantidade de energia gerada pelo conjunto. Veja figura ao lado.

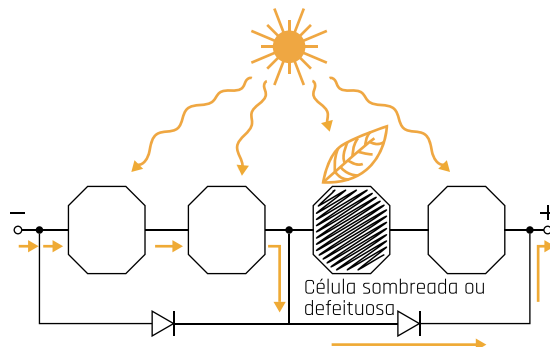
**Caso 3 – Sem sombreamento e com diodos**

A partir do momento em que são instalados os diodos de desvio (também chamados de diodos de derivação) a corrente flui normalmente pelas células caso nenhuma delas seja sombreada ou apresente defeito. Assim toda a corrente passará pelas células e os diodos acabam não interferindo no conjunto.

**Caso 4 – Com sombreamento e com diodos**

Notamos o efeito dos diodos de desvio quando uma ou mais células são sombreadas ou apresentam defeito, pois a corrente é desviada pelo diodo aproveitando assim a geração das demais células que estão em perfeito funcionamento.

Um detalhe importante é que com o desvio da corrente a célula que estava sombreada evita de dissipar muita energia atuando como uma carga, preservando sua vida útil.



Os diodos de desvio também são muito úteis quando conectamos módulos fotovoltaicos em série formando strings. Caso um módulo seja sombreado ou apresente defeito a corrente gerada pelos demais será desviada pelo diodo aproveitando a energia gerada pelos módulos não sombreados. O funcionamento desses diodos é análogo ao explicado anteriormente com as células fotovoltaicas. Veja ao lado um string de 2 módulos com diodos de desvio conectados em antiparalelo a cada módulo.

3.7.2. DIODOS DE BLOQUEIO

Os diodos também podem ser conectados em série a um módulo fotovoltaico ou string quando há ligações em paralelo para evitar que um módulo (ou string) injete corrente em outro caso as tensões entre eles sejam diferentes. A esse diodo damos o nome de diodo de bloqueio.

Outra vantagem dos diodos de bloqueio ocorre quando são instalados em sistemas fotovoltaicos com armazenamento de energia através de baterias. À noite, quando os módulos fotovoltaicos não estão gerando energia, as baterias passam a injetar corrente nos módulos caso a conexão entre eles seja de forma direta. Mesmo essa corrente sendo a níveis baixos acaba contribuindo com o descarregamento das baterias. Com o uso dos diodos de bloqueio evitamos esse tipo de efeito.

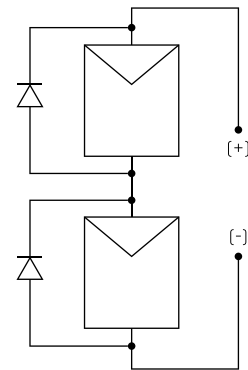


Figura 80. Diodos de desvio conectados em antiparalelo a cada módulo fotovoltaico.

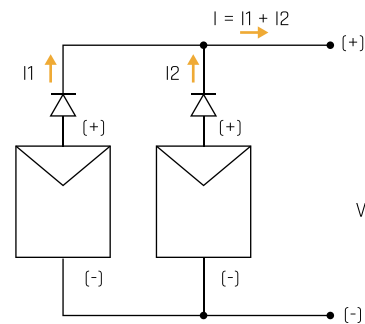


Figura 81. Diodos conectados em série aos módulos para evitar corrente reversa.

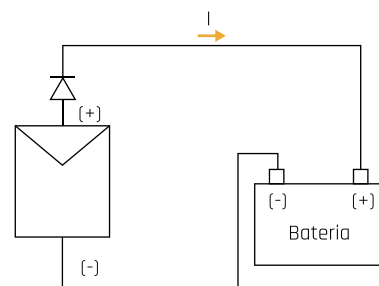


Figura 82. O diodo de bloqueio evita que a bateria injete corrente nos módulos durante a noite.

3.8. CAIXA DE JUNÇÃO (JUNCTION BOX)

Como vimos anteriormente os diodos de bloqueio são conectados em série ao módulo e os diodos de desvio conectados em antiparalelo ao módulo ou a conjuntos de células. Esses diodos geralmente ficam abrigados na caixa de junção que fica na parte traseira do módulo fotovoltaico.

É da caixa de junção que sai o cabeamento dos módulos fotovoltaicos. Alguns módulos já vêm de fábrica com os cabos conectados e com os plugues próprios para módulos fotovoltaicos. Os conectores dos tipos MC3 e MC4 são padronizados para uso fotovoltaico e podem ser encontrados em lojas especializadas. Existem também conectores apropriados para fazer as conexões série e paralelo dos módulos sem a necessidade de solda ou emendas. Veja ao lado imagens de conectores dos tipos MC3 e MC4 bem como os conectores série e paralelo.



Figura 83. Caixa de junção com três diodos.



Figura 84. Conector tipo MC4 Macho.



Figura 85. Conector tipo MC4 Fêmea.

3.9. ASPECTOS RELEVANTES PARA A SELEÇÃO DE UM MÓDULO FOTOVOLTAICO

Devido à grande oferta de módulos fotovoltaicos no comércio atual, é de grande importância que os módulos fotovoltaicos escolhidos para os projetos sejam certificados pelo INMETRO e atendam as normas nacionais e internacionais, pois só assim podemos garantir boa qualidade no funcionamento desses módulos e durabilidade por maior tempo. Veja abaixo algumas normas (nacionais e internacionais) e regulamentações que tratam de testes e ensaios de módulos fotovoltaicos:

- **IEC – 61215 : 2005** – Estabelece ensaios de qualificação para módulos fotovoltaicos de silício monocristalino e policristalino.
- **IEC – 61701 : 2011** – Estabelece o procedimento de ensaio da resistência de módulos fotovoltaicos à corrosão por névoa salina.
- **NBR – 11876 : 2010** – Estabelece requisitos e critérios de aceitação de módulos fotovoltaicos de uso terrestre.
- **INMETRO: Portaria nº 004, de 04 de janeiro de 2011** – Especifica os procedimentos de ensaio para etiquetagem de módulos fotovoltaicos (e outros equipamentos).

Outro ponto relevante na escolha de módulos fotovoltaicos é a sua eficiência, pois quanto maior a eficiência dos módulos utilizados, menor será o espaço a ser destinado à instalação para uma dada potência.



Figura 86. Conector MC4 para conexão paralela entre dois módulos.

3.10. IDENTIFICAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Todo módulo fotovoltaico tem em sua traseira uma etiqueta que apresenta suas características técnicas. Nessa etiqueta podemos encontrar as seguintes informações:

- Nome do fabricante
- Modelo do módulo
- Potência nominal ou potência de pico (Wp)
- Tensão de circuito aberto (VOC)
- Tensão de máxima potência (VMP)
- Corrente de curto circuito (ISC)
- Corrente de máxima potência (IMP)
- Tensão máxima do sistema (Maximum system voltage) – máxima tensão por string
- Peso
- Dimensões
- País de origem

As características elétricas informadas geralmente valem para as condições de teste padrão STC (1000W/m² e 25°C). Outras informações adicionais também podem constar na etiqueta.

Todo módulo fotovoltaico comercializado no Brasil deve apresentar a etiqueta do INMETRO / PROCEL informando a classificação de eficiência energética. Essa etiqueta é muito importante, pois garante que o modelo do módulo escolhido tenha passado pelos testes e ensaios realizados em laboratórios credenciados.

3.11. MANUTENÇÃO E CONSERVAÇÃO

Módulos fotovoltaicos são elementos bastante duráveis e de pouca manutenção. Existem fabricantes que dão até 10 anos de garantia contra defeito de fabricação e 25 anos de garantia de rendimento do módulo (garante perda máxima de 20% da potência em 25 anos).

No entanto algumas medidas devem ser tomadas para preservar a geração:

Limpeza dos vidros: A poeira acumulada sobre os vidros dos módulos fotovoltaicos diminui a quantidade de radiação solar que chega até as células. A limpeza dos vidros deve ser realizada periodicamente com água e materiais de limpeza apropriados para vidros. Muitas vezes a própria chuva se encarrega de retirar a poeira acumulada. Não devem ser utilizados materiais abrasivos, raspantes ou cortantes, pois o uso desses materiais pode levar a perda da garantia do fabricante.

Conexões elétricas: Periodicamente devem ser verificadas as conexões elétricas dos módulos. Como tempo algumas conexões podem oxidar ou ficar frouxas e gerar mal contato o que pode ocasionar pontos quentes, faíscas e uma diminuição na geração. Portanto, é aconselhável que de ano em ano sejam verificadas todas as conexões elétricas e cabos dos módulos para que seja corrigida qualquer imperfeição.

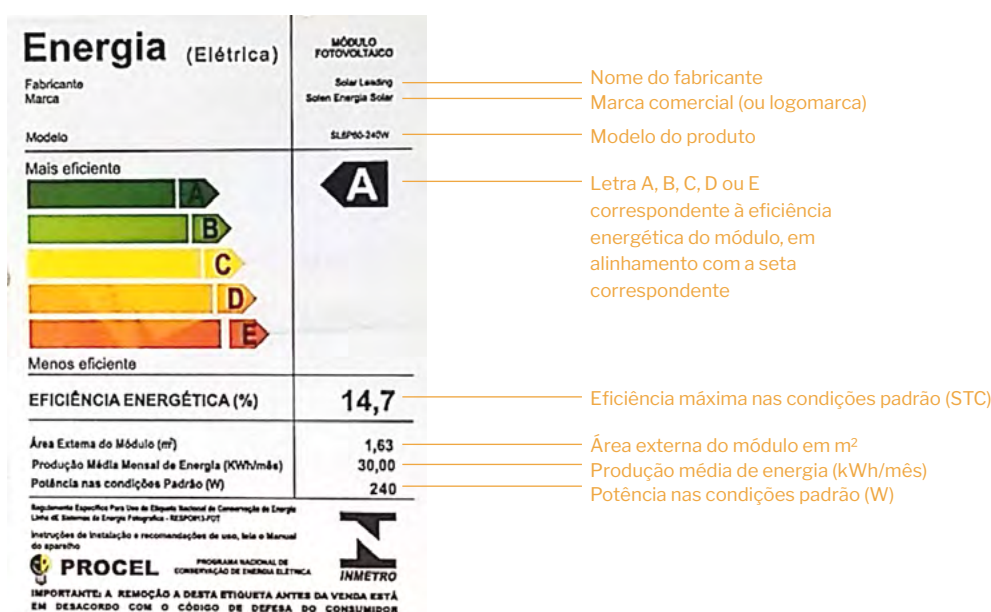


Figura 87. Modelo de etiqueta do Inmetro afixada nos módulos fotovoltaicos

FUNDAMENTOS DE ENERGIAS SOLAR FOTOVOLTAICA - 24H

4.1. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Podemos classificar os sistemas fotovoltaicos em três tipos:

- Sistemas isolados
 - Sem armazenamento de energia
 - Com armazenamento de energia
- Sistemas híbridos
- Sistemas conectados a rede elétrica

Veremos nesse capítulo como é o funcionamento de cada sistema bem como a identificação dos elementos que compõem cada um.

4.2. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ISOLADOS

Os sistemas fotovoltaicos isolados não têm nenhuma ligação com a rede elétrica. Em outras palavras, são sistemas autônomos, capazes de gerar toda energia que será consumida pelas cargas sem haver a necessidade de outra fonte geradora de energia. São sistemas muito utilizados em localidades remotas onde não há rede de distribuição de energia elétrica.

Os sistemas isolados ainda podem ser classificados como sistemas sem armazenamento de energia e sistemas com armazenamento de energia.

4.2.1. SEM ARMAZENAMENTO DE ENERGIA

Os sistemas isolados sem armazenamento de energia são sistemas de geração direta, onde a energia gerada pelo sistema é consumida no mesmo instante pela carga.

Esse tipo de sistema é comumente utilizado em sistemas de bombeamento de água, onde a água é bombeada somente durante o período ensolarado do dia podendo ser armazenada em caixa d'água para uso posterior.

Por não conter banco de baterias para armazenar energia esse tipo de sistema se torna barato e muito viável para localidades remotas onde não há sistema de distribuição de energia elétrica nem sistema de água encanada.

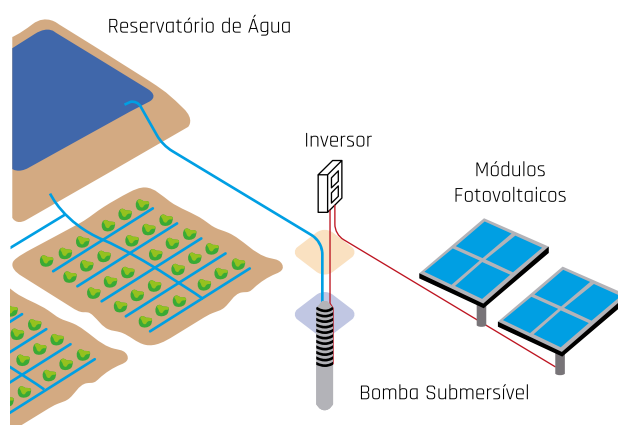


Figura 88. Sistema de bombeamento de água com energia solar fotovoltaica.

O módulo fotovoltaico pode ser conectado diretamente a uma bomba d'água DC, específica para uso fotovoltaico, ou conectado a um equipamento de condicionamento de potência, chamado de inversor, para que a energia gerada pelo módulo chegue à bomba d'água com parâmetros adequados para seu perfeito funcionamento.

A quantidade e a potência dos módulos fotovoltaicos empregados em sistemas de bombeamento variam de acordo com os parâmetros elétricos do inversor ou do próprio motor quando for o caso.

Comercialmente é muito fácil de encontrar kits de bombeamento solar onde a bomba d'água já vem com seu próprio inversor. Isso é muito bom, pois como o fabricante desenvolve o inversor com características apropriadas para um determinado modelo de motor as perdas na conversão de potência serão minimizadas, garantindo maior eficiência no final.

O único inconveniente dos sistemas isolados sem armazenamento de energia é sua forte dependência da radiação solar. Como a irradiância solar que chega ao plano terrestre é intermitente, pode ser que em alguns momentos do dia a bomba d'água não tenha força suficiente para bombear devido o baixo nível de radiação solar que chegou aos módulos.

4.2.2. COM ARMAZENAMENTO DE ENERGIA

Os sistemas isolados com armazenamento de energia são muito utilizados em localidades onde não há abastecimento de energia pela rede elétrica das concessionárias. Esse sistema conta com um banco de baterias que armazenam a energia gerada pelos módulos para alimentar cargas em qualquer momento do dia.

4.3. BATERIA

Quando ligamos uma lâmpada incandescente diretamente a um módulo fotovoltaico exposto ao sol, podemos notar que o brilho da lâmpada varia de acordo com o nível de radiação solar que chega às células fotovoltaicas. Esse experimento simples, mas muito interessante mostra o quanto o fornecimento de energia é afetado ao longo do dia só pelo simples fato de uma nuvem passar entre o sol e o módulo fotovoltaico.

Para garantir que a carga não sofra com as intermitências da geração fotovoltaica é utilizada uma bateria ou um banco de baterias em paralelo ao módulo e a carga. Isso faz com que a tensão aplicada à carga se estabilize e garante o fornecimento de energia nos momentos de baixa ou nenhuma geração fotovoltaica.

4.3.1. TIPOS DE BATERIAS

Apesar de existirem vários tipos de baterias, como as de Níquel-Cádmio, Níquel-Metal-Hidreto e etc, as mais utilizadas atualmente em aplicações fotovoltaicas são as baterias de chumbo ácido devido seu melhor custo x benefício.

Além dos tipos citados acima, podemos ainda classificar as baterias de acordo com sua aplicação, sendo para uso automotivo ou uso estacionário.

As baterias automotivas são desenvolvidas para fornecer níveis elevados de corrente em um período de tempo curto, situação característica de partida em automóveis. Geralmente não são desenvolvidas para ciclos profundos de descarga, podendo descarregar no máximo 20% de sua carga nominal sem prejudicar sua vida útil.

Já as baterias estacionárias são ideais para aplicações fotovoltaicas, pois permitem geralmente uma profundidade de descarga maior do que as automotivas. No entanto, baterias do tipo estacionárias são geralmente mais caras que as baterias automotivas.

Podemos encontrar ainda dois tipos diferentes de baterias, as seladas e as não seladas. As baterias seladas são ditas livres de manutenção, pois o fabricante garante que o eletrólito em seu interior dura por toda

sua vida útil sem a necessidade de ser repostado. Já as baterias não seladas requerem manutenção periódica onde o usuário deverá verificar o nível do eletrólito e, caso esteja baixo, realizar a reposição.

Existem também as baterias de chumbo ácido com eletrólito em gel, comumente chamadas de baterias de gel. São baterias um pouco mais caras que as de chumbo ácido convencionais mas apresentam algumas vantagens como maior tempo de vida útil.

4.3.2. VIDA ÚTIL

A vida útil de uma bateria de chumbo ácido é influenciada por dois fatores: quantidade ciclos de carga e descarga e sua temperatura de trabalho.

À medida que a bateria vai sendo utilizada, o material de suas placas metálicas vai sendo transferido para seus terminais. Ao se separar das placas, esse material não pode ser repostado nem utilizado novamente, o que diminui sua capacidade de armazenamento de energia ao longo do tempo de uso. Descargas profundas diminuem a quantidade de ciclos de carga e descarga e, conseqüentemente, a vida útil da bateria.

O aumento da temperatura de trabalho das baterias influencia negativamente sua vida útil. Temperaturas de trabalho acima de 40°C acarretam numa forte diminuição de sua vida útil.

4.3.3. CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DAS BATERIAS

Vamos agora identificar as características elétricas das baterias informadas pelo fabricante:

- **Tensão nominal:** Tensão média de uma bateria. Geralmente 12V, mas também podemos encontrar baterias com tensão nominal de 24V.
- **Capacidade:** Expressa em ampéres-hora (Ah), indica a quantidade de corrente que pode ser retirada da bateria em uma hora. Como exemplo, uma bateria de 120Ah pode fornecer 120 ampéres em uma hora, ou 60 ampéres em duas horas, ou 30 ampéres em quatro horas, ou 1 ampére em cento e vinte horas. Note, nesse exemplo, que ao multiplicarmos o valor da corrente pelo tempo sempre vai dar os 120Ah.
- **Tensão de flutuação:** Nível de tensão que deve ser mantido na bateria para manter o estado de carga no máximo sem sobrecarregá-la. Nas baterias de chumbo ácido essa tensão gira em torno dos 13,2V e 13,8V.
- **Tensão de carga:** Tensão que deve ser aplicada para carregar a bateria. Valores indicados pelos fabricantes estão entre 14,4V e 15,5V.

4.3.4. BANCO DE BATERIAS

Podemos associar baterias para atingir níveis de tensão ou capacidade nas quais não encontramos em uma única bateria comercial. Ao conjunto de baterias associadas eletricamente damos o nome de banco de baterias.

Para ilustrar os resultados das associações de baterias, vamos utilizar nos exemplos, baterias de 12V de tensão nominal e capacidade de 150Ah.

Associação série

Na associação série o pólo negativo de uma bateria deve ser conectado ao pólo positivo da outra e assim sucessivamente. Nessa associação as tensões são somadas enquanto que a capacidade se mantém a mesma.

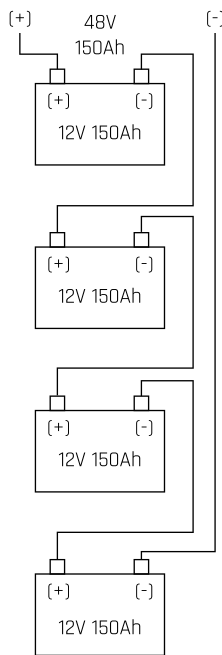


Figura 89. Associação de baterias em série. As tensões se somam enquanto que a capacidade permanece a mesma.

Associação paralela

Na associação paralela os pólos de mesma polaridade devem ser unidos. Os pólos positivos são conectados entre si e o mesmo deve ser feito com os pólos negativos, tomando cuidado para não unir pólos de diferentes polaridades para não gerar um curto circuito e provocar algum acidente. Para esse caso as tensões permanecem as mesmas enquanto que as capacidades se somam.

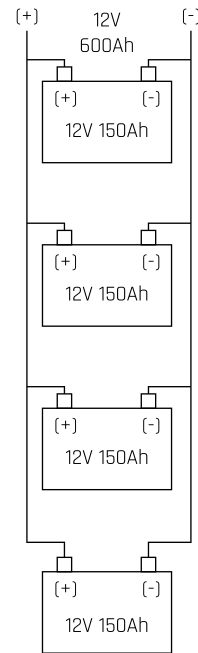


Figura 90. Associação de baterias em paralelo. A tensão do banco permanece igual a das baterias enquanto que as capacidades se somam.

Associação mista (série-paralela)

Na associação mista duas ou mais fileiras de baterias em série são conectadas em paralelo. A tensão do banco é igual à tensão das fileiras e a capacidade será a soma das capacidades de cada fileira.

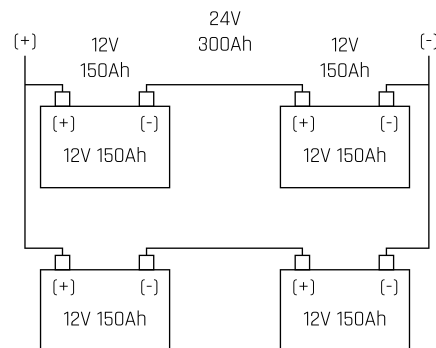


Figura 91. Associação mista de baterias. A tensão do banco será igual a tensão das fileiras em série enquanto que a capacidade do banco será a soma das capacidades de cada fileira.

Em sistemas isolados com armazenamento a bateria (ou o banco de baterias) é conectada em paralelo ao módulo e à carga. A figura ao lado ilustra um sistema isolado simples com armazenamento de energia:

O sistema ilustrado acima apresenta as seguintes desvantagens:

- O módulo fotovoltaico pode fornecer energia para a bateria mesmo após o nível de carga ter atingido o nível máximo. Isso acarreta o que chamamos de sobrecarga e pode gerar aquecimentos indesejáveis e diminuir o tempo de vida útil das baterias.
- Caso a carga fique ligada por um tempo maior, demandando mais energia do que o determinado, sem que haja recarga do banco, o nível de carga das baterias pode chegar a níveis muito baixos, o que também provoca uma diminuição na sua vida útil. Esse fato pode acontecer no período noturno onde os módulos não geram energia e a carga pode ser utilizada por um tempo maior do que o especificado no projeto.

Para evitar sobrecargas no banco de baterias e níveis de descarga muito baixos é necessário realizar o controle da carga e da descarga da bateria constantemente. O elemento que realiza essas funções é chamado de controlador de carga.

4.4. CONTROLADOR DE CARGA

O controlador de carga é um equipamento essencial e indispensável nos sistemas isolados com armazenamento de energia por baterias. Para determinar o estado de carga das baterias o controlador de carga realiza a medição da tensão do banco de baterias (ou da bateria) para tomar algumas decisões.

Quando o nível de carga da bateria atinge seu máximo, o controlador “desliga” o carregamento para evitar sobrecarga na bateria. No entanto os módulos fotovoltaicos continuam fornecendo energia para as cargas. Caso a demanda de energia aumente de tal forma que a potência entregue pelos módulos fotovoltaicos seja menor que a potência das cargas a bateria passa também a fornecer energia somando com a dos módulos. Nesse momento o nível de carga da bateria torna a cair e o controlador de carga volta a permitir o carregamento da bateria.

Quando o nível de carga da bateria cai demasiadamente, chegando a níveis considerados prejudiciais a vida útil da mesma, o controlador de carga desliga o fornecimento de energia para as cargas e só volta a

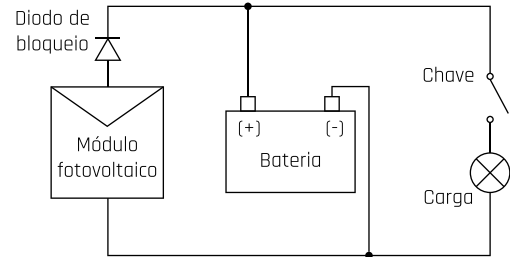


Figura 92. Modelo simplificado de um sistema fotovoltaico isolado com armazenamento de energia.

fornecer energia quando a carga da bateria estiver a níveis não comprometam a vida útil da bateria.

Além de controlar carga e descarga das baterias os controladores de carga podem apresentar algumas outras funções que podem ser de grande utilidade. São elas:

4.4.1. MONITORAMENTO DO SISTEMA

A maioria dos controladores de carga comerciais apresentam um meio de visualizar o estado do sistema. Alguns vêm com displays ou LED's que podem indicar o nível de carga da bateria, se os módulos estão fornecendo energia, se o fornecimento de energia para as cargas está ativo, etc. Outros controladores de carga mais sofisticados podem transmitir dados ao computador para um monitoramento mais completo do sistema fotovoltaico.

4.4.2. PROTEÇÃO CONTRA CORRENTE REVERSA

Durante a noite as baterias podem fornecer energia aos módulos fotovoltaicos caso não haja o diodo de bloqueio. Alguns controladores de carga contam com a função de proteção contra corrente reversa que evita o fornecimento de corrente das baterias para os módulos fotovoltaicos mesmo sem a presença do diodo em série.

4.4.3. PROTEÇÃO CONTRA SOBRECORRENTE

Alguns controladores de carga contam com circuito de proteção contra sobrecorrente. Esse tipo de prote-

ção evita com que níveis de corrente muito elevados danifiquem o controlador. Alguns deles vêm com fusíveis externos para facilitar a reposição.

4.4.4. SEGUIDOR DO PONTO DE MÁXIMA POTÊNCIA

Os controladores de carga mais simples realizam o controle de carga e descarga simplesmente desconectando da bateria os módulos fotovoltaicos ou a alimentação das cargas. Dessa forma, quando o módulo está fornecendo energia para a bateria é como se os dois estivessem em paralelo. Como já foi visto, existe um único ponto de operação do módulo fotovoltaico no qual é extraída a máxima potência.

No entanto, se o módulo fotovoltaico for conectado diretamente a uma bateria seu ponto de operação ficará restrito a faixa de tensão da mesma. Para exemplificar o que foi dito, o gráfico ao lado ilustra a operação de um módulo fotovoltaico que tem sua tensão de máxima potência (VMP) de 17V conectado em paralelo a uma bateria de tensão nominal de 12V.

A partir do gráfico acima podemos concluir que o ponto de operação do módulo ficará restrito à faixa de tensão de 10V a 14,5V, que dessa maneira nunca poderá chegar aos 17V e extrair a sua máxima potência.

Alguns controladores de carga contam com a função **MPPT** que significa Rastreador do Ponto de Máxima Potência (do inglês *Maximun Power Point Tracking*). Os equipamentos com essa função conseguem manter o ponto de operação do módulo fotovoltaico na região de máxima potência conseguindo extrair mais energia do que os controladores de carga comuns. Estudos indicam um aumento médio de 30% na geração quando se utilizam equipamentos com MPPT.

4.4.5. CONTROLE E ACIONAMENTO AUTOMÁTICO DE CARGAS

Uma função muito interessante e que pode evitar a compra de outros equipamentos é a de controle e acionamento automático de cargas. Controladores que apresentam essa função podem acionar e ou desacionar cargas sem a intervenção do usuário. Uma das mais conhecidas é a função fotocélula, muito utilizada em postes de iluminação por energia solar fotovoltaica. Durante a noite o controlador identifica que os módulos fotovoltaicos não estão gerando energia e aciona a luminária. Quando o sol nasce e os módulos começam a gerar energia o controlador identifica que é dia e desliga a luminária. Com isso pode ser evitado o uso dos relés fotoelétricos que são equipamentos que vez por outra estão dando defeito.

4.4.6. COMPENSAÇÃO DE TEMPERATURA

Como já foi visto, o aumento da temperatura das baterias implica numa diminuição de sua vida útil. Para minimizar isso alguns controladores de carga vêm com a função de compensação de temperatura. O controlador de carga realiza a medição de temperatura da bateria para fazer o controle da tensão que será aplicada para carregá-la de forma a minimizar os danos causados pelo efeito da temperatura.

4.4.7. DIAGRAMA ELÉTRICO SIMPLIFICADO

Segue abaixo um layout de um sistema fotovoltaico isolado com armazenamento por bateria.

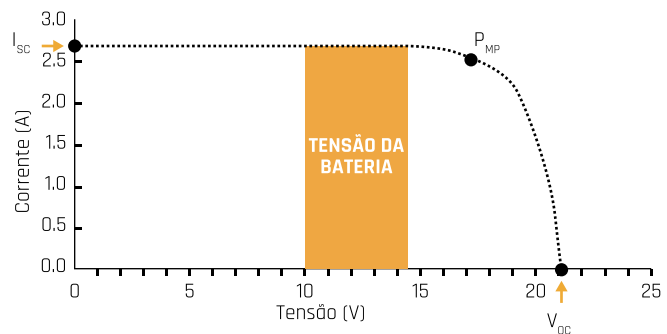


Figura 93. Curva I x V de um módulo fotovoltaico conectado em paralelo a uma bateria de 12V. Note que a bateria força o módulo a operar em tensões que não sejam a de máxima potência.

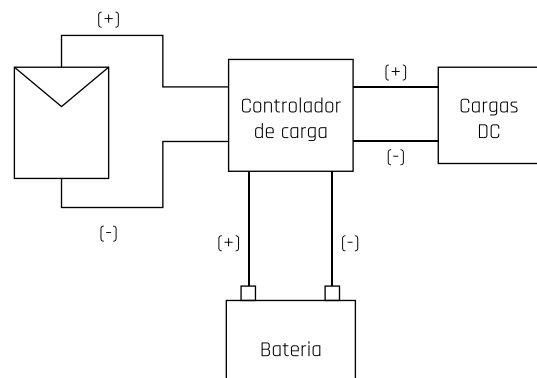


Figura 94. Sistema fotovoltaico isolado com armazenamento por bateria.

4.4.8. CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DOS CONTROLADORES DE CARGA COMERCIAIS

Os controladores de carga geralmente são especificados por tensão de trabalho e a máxima corrente que os mesmos suportam.

Tensão: A tensão dos controladores de carga é especificada de acordo com a tensão da bateria ou do banco de baterias que vai ser ligado a ele. Podemos encontrar controladores de carga com tensão de 12VDC, 24VDC ou 48VDC com certa facilidade no comércio brasileiro. Existem controladores de carga que funcionam com tensão automática, a maioria sendo de 12 ou 24 volts.

Corrente: Podemos encontrar controladores de carga que suportam níveis de corrente de 5A, 10A, 15A, 20A, 40A e até 60A. Outros valores também podem ser encontrados, no entanto é mais difícil de encontrar controladores de carga de corrente acima de 60 ampères devido a fiação elétrica na instalação ser muito cara.

A partir do que foi mostrado até aqui, podemos notar que o controlador de carga é o elemento central do sistema, que recebe a energia proveniente dos módulos fotovoltaicos, realiza o controle de carga e descarga da bateria e libera energia para as cargas. Esse tipo de sistema fotovoltaico é muito utilizado quando temos cargas de baixa potência, baixa tensão (da ordem de 12V, 24V ou 48V) e de corrente contínua (DC). No entanto, a dificuldade em encontrar cargas com essas características faz com que esse sistema seja pouco utilizado.

4.5. INVERSORES

Na maioria dos casos os equipamentos eletroeletrônicos que utilizamos funcionam com tensão de 127V ou 220V e de corrente alternada, que são características da rede elétrica local. Vimos que o sistema fotovoltaico apresentado até o então era de baixa tensão e de corrente contínua. Dessa forma, é intuitivo imaginar que, para fazer funcionar equipamentos eletroeletrônicos que funcionam com tensões da rede (127V ou 220V) em corrente alternada, é necessário um equipamento que converta a energia fornecida pelos módulos e baterias (corrente contínua em baixa tensão) para valores adequados às novas cargas (corrente alternada em tensão elevada).

Os equipamentos que convertem energia de corrente contínua em corrente alternada são chamados conversores DC/AC ou simplesmente inversores.

Os inversores podem ser classificados como:

- **Inversores isolados** – Convertem tensão contínua em alternada sem haver a necessidade de estar conectado a uma rede elétrica.
- **Inversores conectados à rede** – Convertem tensão contínua em alternada com a necessidade de estar conectado a uma rede elétrica para fazer a leitura dos parâmetros de tensão e frequência da mesma.

Podemos encontrar inversores de variadas potências a depender de sua aplicação, sendo os de baixa potência (até algumas dezenas de kilowatt) para aplicações simples como em residências, por exemplo, e os de alta potência, chamados de inversores centrais, utilizados em usinas fotovoltaicas com potência de centenas de kilowatt. A depender da aplicação, os inversores podem receber energia de um único módulo fotovoltaico (microinversor), de um único string (quando a tensão de entrada do inversor é maior do que a tensão de um único módulo) ou até de vários strings.

Por enquanto vamos nos deter ao estudo dos inversores para sistemas isolados, mas logo em breve estudaremos também os inversores para sistemas conectados à rede.

4.5.1. INVERSORES PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ISOLADOS

Os inversores utilizados em sistemas fotovoltaicos isolados, comumente chamados de inversores isolados, são equipamentos eletrônicos que geralmente recebem em sua entrada 12V ou 24V de corrente contínua (DC) e convertem para 127V ou 220V em corrente alternada (AC) com frequência fixa de 50Hz ou 60Hz.

A simbologia utilizada para representar um inversor é a seguinte:

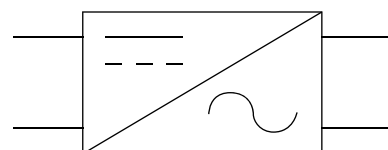


Figura 95. Simbologia do inversor.

O inversor é conectado entre o controlador de carga e os equipamentos eletroeletrônicos que funcionam com corrente alternada. A figura ao lado ilustra isso.

Note que esse sistema só apresenta polaridade definida (positiva e negativa) até a entrada do inversor. Na sua saída a tensão é alternada, o que gera uma corrente também alternada.

4.5.2. FORMAS DE ONDA NOS INVERSORES

São várias as formas de onda que podemos encontrar nos inversores isolados. Os inversores comerciais mais comuns podem ser de onda quadrada, retangular (senóide modificada), PWM ou senoidal.

Onda quadrada

Os inversores de onda quadrada fornecem uma saída AC com harmônicos elevados e baixa regulação de tensão. A onda quadrada é obtida simplesmente alternando-se a tensão e corrente. Comparando-se com a operação em tensão senoidal da rede, um motor de indução operando em onda quadrada tem somente cerca de 60% do seu torque normal e apresenta aquecimentos indesejáveis. Os inversores de onda quadrada são tipicamente mais baratos devido seu circuito simplificado e de grande facilidade de montagem, porém não devem ser usados para alimentar cargas predominantemente indutivas como motores. Entretanto, são muito adequados para cargas puramente resistivas.

Onda retangular (senóide modificada)

Os inversores de onda retangular (também conhecidos como senóide modificada) são um refinamento dos inversores de onda quadrada. Chaveamentos adicionais são usados para tentar aproximar à forma de uma onda senoidal e, por isso, estes possuem menor distorção harmônica que os de onda quadrada. São inversores adequados para uma maior variedade de cargas, incluindo lâmpadas, equipamentos eletrônicos e motores, embora não consigam operar um motor tão eficientemente quanto um inversor de onda senoidal. De forma geral, podemos dizer que esse tipo de inversor é o que apresenta melhor custo x benefício. Apenas cargas muito sensíveis a ruído não devem ser alimentadas com esse tipo de inversor.

Onda PWM

Inversores com saída PWM (do inglês *Pulse Width Modulation* que significa Modulação por Largura de Pulso), apesar de seu aspecto visual de forma de onda, possuem níveis de distorção harmônica muito bai-

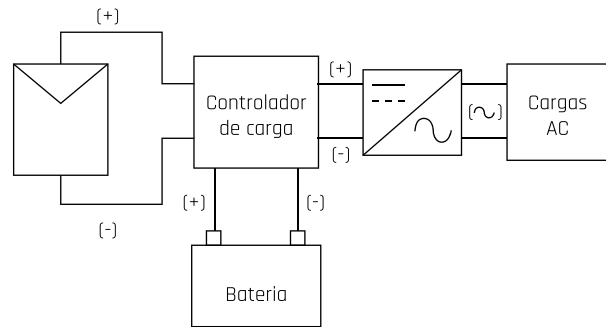


Figura 96. Sistema fotovoltaico isolado com armazenamento de energia e inversor.

ONDA QUADRADA

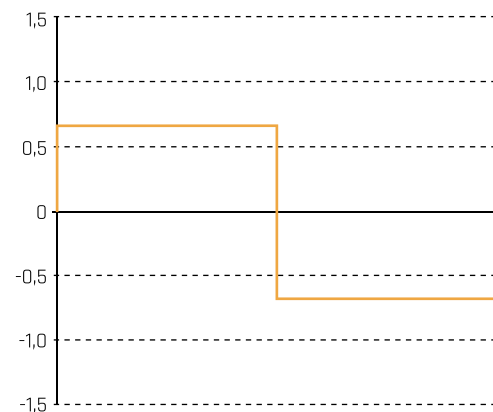


Figura 97. Onda quadrada.

ONDA RETANGULAR

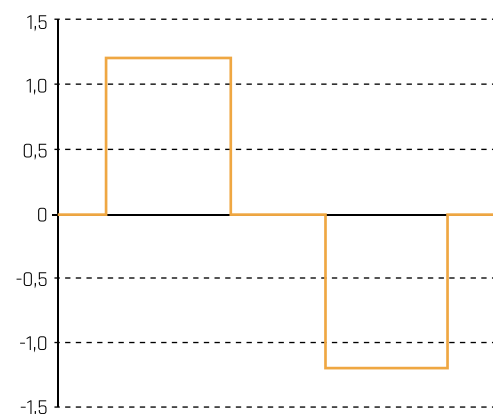


Figura 98. Note que a mudança de polaridade é menos brusca devido maior tempo de repouso no zero.

xa, principalmente em configurações trifásicas. Pode ser obtida a partir de uma senóide “misturada” com outra forma de onda chamada de portadora. A tecnologia PWM é muito utilizada no acionamento de motores na indústria onde são utilizados os chamados Inversores de Frequência. Os inversores com saída PWM são adequados para praticamente todo tipo de cargas CA, exceto equipamentos muito sensíveis.

Onda senoidal

A tensão que chega até as tomadas de nossas casas apresenta a forma de uma senóide. Os inversores de onda senoidal conseguem reproduzir fielmente uma senóide e assim fornecer uma energia mais limpa, com baixíssimo teor de harmônicos. Geralmente utilizam a técnica PWM com um filtro elétrico bem dimensionado para “limpar” o sinal e deixar passar somente a senóide na frequência de 50Hz ou 60Hz. Com isso podem alimentar qualquer equipamento eletroeletrônico de corrente alternada, desde que seja respeitada a potência do inversor. Os inversores de onda senoidal para sistemas isolados são os mais caros da categoria.

4.5.3. CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DOS INVERSORES ISOLADOS COMERCIAIS

Vejamos algumas características elétricas que podemos encontrar nos inversores comerciais:

Tensão de entrada: Os inversores isolados de pequeno ou médio porte geralmente podem receber em sua entrada $12V_{DC}$ ou $24V_{DC}$. Inversores de porte maior podem apresentar uma tensão de entrada maior, da ordem de $100V_{DC}$ ou mais, isso é feito pra diminuir a corrente na entrada do inversor.

Tensão de saída: No comércio brasileiro podemos encontrar inversores com saída de $127V_{AC}$ ou $220V_{AC}$ devido à diferença de tensão que podemos encontrar entre as regiões do país. É importante sempre observar a tensão de trabalho das cargas que serão ligadas ao inversor para evitar qualquer problema.

Frequência da onda: Podemos encontrar inversores com frequência de onda de 50Hz ou 60Hz. No Brasil a frequência da rede é de 60Hz e muitos equipamentos eletroeletrônicos desenvolvidos e vendidos no país só funcionam nessa frequência. Por isso a importância de verificar a frequência da onda do inversor.

Potência: Comercialmente podemos encontrar inversores que vão de potências de dezenas de watt, como os inversores automotivos que podem alimentar

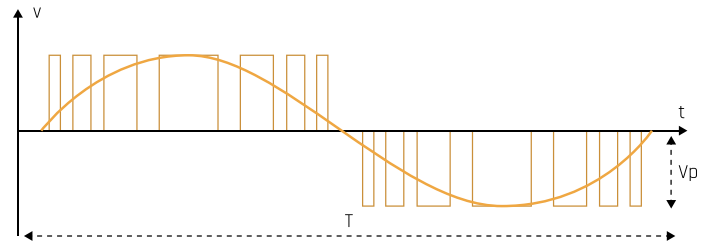


Figura 99. Onda PWM. É obtida a partir de uma senóide e apresenta baixa distorção harmônica comparada às ondas quadradas e retangular.

ONDA SENOIDAL

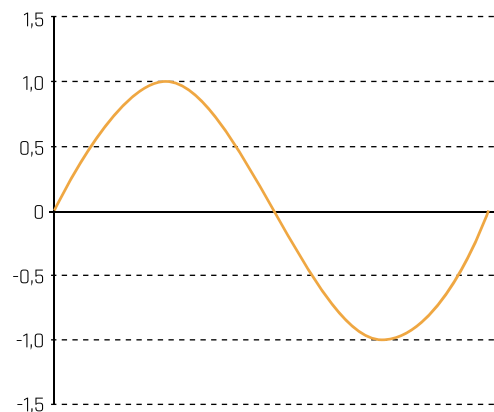


Figura 100. Onda senoidal. Melhor forma de onda para operar qualquer tipo de carga.

pequenas cargas (celular, notebook) dentro do carro, até dezenas de milhares de watt em casos de centrais de geração fotovoltaica isolada. Não devemos ultrapassar a potência nominal do inversor, pois o mesmo poderá ser danificado.

Potência de pico: Outra característica importante é a potência de pico que o inversor pode suportar, pois indica o quanto de sua potência nominal poderá ser ultrapassada por um curto período de tempo sem que o mesmo seja danificado. Muito importante quando vamos ligar cargas elétricas que demandam muita potência na sua partida, como é o caso dos motores elétricos.

4.6. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA

Em 17 de abril de 2012 o Brasil deu o primeiro grande passo em direção ao fortalecimento das energias renováveis no país com a resolução de número 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Essa

resolução trata da regularização de sistemas de geração de energia elétrica através de fontes de energias renováveis (fotovoltaica, eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas) conectados à rede de distribuição elétrica. Os sistemas de geração podem ser classificados a partir de sua potência instalada como podemos ver abaixo:

- **Microgeração:** Sistemas de potência de pico instalada de até 75kW. Compreende a maioria dos sistemas fotovoltaicos residenciais.
- **Minigeração:** Sistemas de potência de pico instalada entre 75W e 5MW. São, na maioria dos casos, empregados em indústrias onde o consumo de energia é muito elevado.
- **Usina de geração de eletricidade:** Potência instalada acima de 5MW. Engloba as usinas de geração voltadas para o comércio de energia elétrica.

Sistemas de micro e minigeração são instalados para realizar um abatimento no consumo de energia da rede elétrica diminuindo o valor a ser pago as concessionárias. Diferente de países como Alemanha e Portugal, no Brasil os sistemas de microgeração e minigeração não podem vender energia.

4.6.1. FUNCIONAMENTO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA

Os sistemas conectados à rede elétrica são instalados em paralelo à rede local e seu funcionamento é muito simples.

No momento em que o sistema fotovoltaico gera mais energia do que está sendo consumido, o excesso de energia que sobra é injetado na rede elétrica e registrada por um medidor do tipo bidirecional.

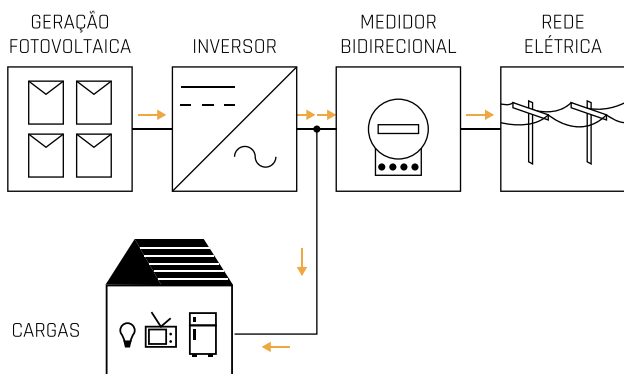


Figura 101. O excesso de energia gerada pelos módulos é injetado na rede elétrica e registrada pelo medidor bidirecional.

No momento em que a geração é menor que o consumo de energia, a rede elétrica passa a fornecer a energia que falta às cargas e o consumo de energia da rede é registrado pelo medidor.

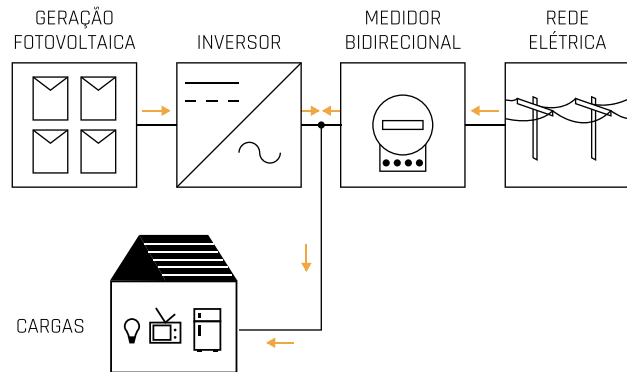


Figura 102. Geração menor que o consumo. Parte da energia é retirada da rede elétrica e registrada pelo medidor.

Durante a noite, momento em que os módulos fotovoltaicos não geram energia, toda energia consumida pelas cargas é fornecida pela rede elétrica local e todo consumo é também registrado pelo medidor bidirecional de energia elétrica.

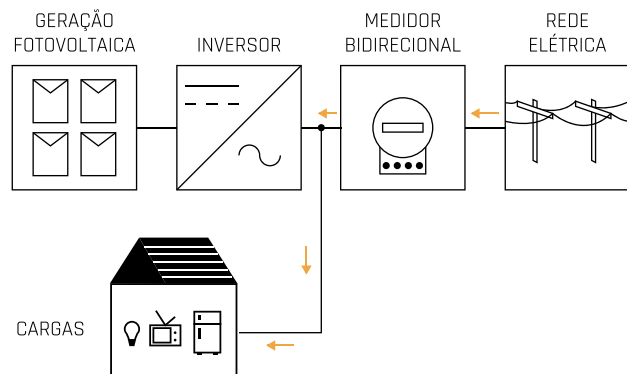


Figura 103. Durante a noite toda energia é consumida da rede elétrica e registrada pelo medidor.

A fatura de energia elétrica que chega mensalmente ao usuário deve informar a quantidade de energia elétrica injetada na rede e a quantidade de energia elétrica consumida da rede naquele mês. A energia cobrada ao usuário será o valor líquido entre o que foi injetado na rede e o que foi consumido da rede elétrica. Caso o saldo do mês seja positivo para a geração, ou seja, a quantidade de energia injetada na rede tenha sido maior do que a energia consumida da rede naquele mês, será creditada em sua fatura de energia o excedente resultante da geração desse mês que poderá ser utilizado nos meses seguintes. Esse crédito tem validade máxima de 3 anos.

Observação: Muito embora o usuário feche o mês com saldo positivo na sua geração, ainda deverá ser cobrado um valor mínimo devido o estabelecido em contrato de prestação de serviços, como por exemplo iluminação pública entre outros.

Vejamos um exemplo numérico que pode melhorar o entendimento sobre esse assunto:

Exemplo 1: Em uma residência foi registrado 100kWh de consumo de energia elétrica, enquanto que a energia gerada pelo sistema fotovoltaico nesse mês foi de 60kWh.

O valor líquido entre o que foi gerado e o que foi consumido será de:

$$\text{Geração} - \text{Consumo} = 100\text{kWh} - 60\text{kWh} = \mathbf{40\text{kWh}}$$

Portanto, será cobrado do usuário o valor referente à apenas 40kWh de consumo.

Exemplo 2: Nessa mesma residência houve um mês em que a energia consumida foi de 80kWh enquanto a energia gerada pelo sistema fotovoltaico foi de 90kWh.

O valor líquido para esse caso será de:

$$\text{Geração} - \text{Consumo} = 80\text{kWh} - 90\text{kWh} = \mathbf{-10\text{kWh}}$$

Concluímos que nesse mês foi creditado 10kWh na fatura de energia do usuário e que poderá ser utilizado durante o prazo máximo de 3 anos.

4.6.2. INVERSORES CONECTADOS À REDE ELÉTRICA

Diferentemente dos inversores para sistemas isolados, os inversores para sistemas conectados à rede elétrica necessitam da rede para funcionar. Os inversores conectados à rede (também conhecidos

como inversores Grid-Tie) realizam a leitura de parâmetros da rede constantemente para trabalhar em sincronismo com a mesma. Caso algum desses parâmetros não esteja dentro de valores pré-definidos pelo fabricante ou usuário o inversor é desligado automaticamente e deixa de mandar energia para a rede.

Dentre muitas exigências cobradas pelas concessionárias para autorizar o uso de inversores conectados à rede, uma delas é que o inversor tenha a função anti-ilhamento. Essa função garante que o inversor pare de fornecer energia no momento em que a rede elétrica seja desligada. Podemos citar muitos casos que mostram a importância dessa função, mas citaremos apenas uma:

"Quando a rede elétrica local é desenergizada para a realização de uma manutenção é importante que o inversor pare de mandar energia para a rede. Caso o inversor continue fornecendo energia, o técnico que está realizando a manutenção na rede corre um enorme risco de sofrer uma descarga elétrica proveniente do sistema fotovoltaico."

4.6.3. CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DOS INVERSORES CONECTADOS À REDE

Os inversores conectados à rede podem apresentar características elétricas de entrada bem diferentes em comparação aos inversores isolados. Começando pela tensão de entrada, os inversores isolados apresentam uma tensão de entrada bem definida, geralmente 12VDC ou 24VDC, enquanto que os inversores conectados à rede geralmente trabalham com uma faixa de tensão mais elevada. Talvez fique mais fácil de notar a diferença e as particularidades dos inversores conectados à rede com um exemplo.

Exemplo: A tabela abaixo mostra os dados fornecidos por um fabricante de inversores conectados à rede:

DC		AC	
$V_{DC\max}$	500 V	V_{AC}	220 V
V_{DCMPP}	200 - 400 V	P_{AC}	3800 W
$I_{DC\max}$	20 A	f_{AC}	60 Hz
		$I_{AC\max}$	18 A

Vejamos o significado de cada parâmetro desses:

V_{DCmax} : Indica o valor máximo da tensão de entrada do inversor. Tensões de strings maiores que a especificada pode levar a queima do inversor. Nesse inversor a máxima tensão por string é de 500V.

V_{DCMPP} : Faixa de tensão de entrada na qual o inversor opera extraindo a máxima potência do arranjo fotovoltaico. Para esse inversor essa faixa de tensão vai de 200 a 400 volts. Com tensões entre 400 e 500 volts o inversor opera normalmente, no entanto a função MPPT não irá atuar.

I_{DCmax} : Máximo valor de corrente DC na entrada do inversor. Valores acima do especificado podem provocar a queima do inversor. Para o inversor desse exemplo a corrente DC máxima de entrada é de 20 ampères.

V_{AC} : Tensão nominal da rede elétrica no qual o inversor será interligado. Geralmente existe uma tolerância da variação dessa tensão na qual o inversor aceita para funcionar. Se considerarmos que a variação de tensão aceitável pelo inversor seja de $\pm 5\%$, então valores de tensão abaixo de $209V_{AC}$ e $231V_{AC}$ fazem com que o inversor deixe de funcionar e entre em modo de segurança.

P_{AC} : Potência máxima que o inversor pode fornecer a rede elétrica. É comum a utilização de um arranjo fotovoltaico que tenha potência nominal igual a do inversor para que o mesmo opere com máxima eficiência. Para esse inversor a potência máxima é de 3800 watts.

f_{AC} : Valor nominal de frequência da tensão da rede no qual o inversor pode operar. Como na tensão AC, existe uma tolerância na qual essa frequência pode variar sem que o inversor deixe de operar. Se considerarmos para esse inversor uma variação máxima de $\pm 4Hz$, a frequência da rede pode variar entre 56Hz e 64Hz que o inversor funcionará normalmente.

I_{ACmax} : Máximo valor de corrente que o inversor pode injetar na rede elétrica. Para esse inversor a máxima corrente é de 18 ampères.

4.7. DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO UTILIZADOS EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Pelo que foi visto até agora podemos resumir um sistema fotovoltaico em três partes:

- **Geração:** Compreende os módulos fotovoltaicos;
- **Condicionamento de potência:** Inclui o sistema de armazenamento, controladores de carga e inversores;
- **Cargas:** São os equipamentos que vão ser alimentados pelo sistema.

No entanto é muito importante que sejam empregados dispositivos de proteção elétrica no sistema, tanto na parte DC quanto na parte AC.

Vejamos onde devem ser inseridos os dispositivos de proteção nos sistemas fotovoltaicos isolados:

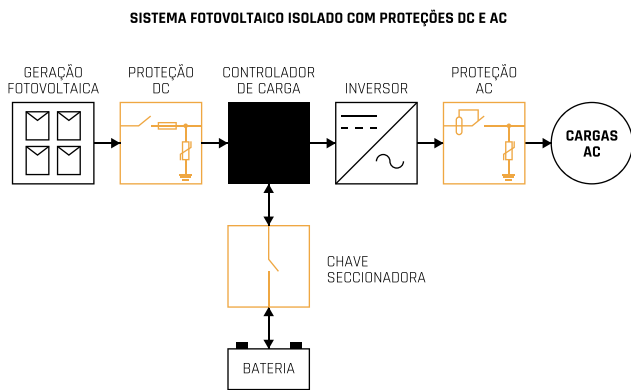


Figura 104. Diagrama em blocos de um sistema fotovoltaico isolado com proteções DC e AC.

Segue abaixo um digrama em blocos de um sistema fotovoltaico conectado a rede com proteções DC e AC:

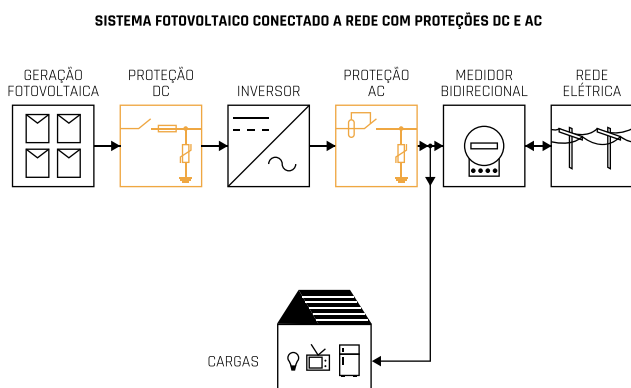


Figura 105. Diagrama em blocos de um sistema fotovoltaico conectado a rede com proteções DC e AC.

4.7.1. DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO DC

Um quadro de proteção DC de um sistema fotovoltaico simples é composto geralmente por uma chave de seccionamento sob carga DC, fusíveis e dispositivo de proteção contra surtos – DPS.

Chave de seccionamento sob carga DC: Tem como finalidade desconectar os módulos fotovoltaicos do resto do sistema. As chaves de seccionamento sob carga em corrente contínua são mais robustas que as de corrente alternada por possuírem internamente uma câmara de extinção de arco que ameniza os efeitos gerados pelo arco voltaico dentro delas. Chaves comuns para uso em corrente alternada podem ser danificadas rapidamente caso sejam utilizadas na interrupção de corrente contínua.

Fusíveis: São dispositivos de proteção contra sobrecorrente que rompem seu filamento ao serem percorridos por uma corrente maior que a especificada nominalmente. Os fusíveis utilizados em aplicações fotovoltaicas são dos tipos que têm areia em seu interior para extinguir o arco voltaico gerado pela interrupção do circuito. Em certas aplicações podemos utilizar porta fusíveis que são instalados sob o mesmo trilho que os demais dispositivos de proteção de modo a facilitar a troca desses fusíveis quando houver necessidade. As figuras abaixo ilustram a simbologia do fusível e um porta fusível que é montado sob trilho tipo DIN:

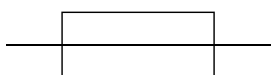


Figura 106. Simbologia do fusível.

Dispositivo de proteção contra surtos – DPS: Os raios provenientes de descargas atmosféricas podem causar sobretensões em redes elétricas podendo danificar os equipamentos ligados a mesma. O dispositivo de proteção contra surtos, comumente chamado de DPS, tem a finalidade de limitar sobretensões a níveis adequados aos equipamentos e desviar altas correntes provenientes das descargas atmosféricas. Os DPS são necessários em qualquer instalação elétrica que tenha riscos de sofrer danos por sobretensão (raios diretos, indiretos e surtos por chaveamento). São utilizados em instalações industriais, comerciais e residenciais. Nas aplicações de energia solar fotovoltaica o uso do DPS é justificado devido



Figura 107. Porta fusível montável sob trilho tipo DIN.

os módulos fotovoltaicos estarem expostos ao tempo, aumentando o risco de sofrer uma descarga atmosférica. Os DPS utilizados em aplicações fotovoltaicas devem ser próprios para corrente contínua e de preferência uma combinação de dois tipos de tecnologia, o de varistor e o centelhador como descrito abaixo:

Varistor – limita o nível de tensão a um dado valor desde que seja respeitada sua corrente nominal. É utilizado na proteção contra descargas indiretas;

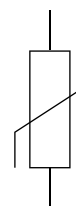


Figura 108. Simbologia do varistor.

Centelhador (spark gap) – atuam como um curto circuito desviando toda corrente para a terra. É utilizado na proteção contra descargas diretas.

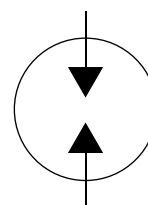


Figura 109. Simbologia do spark gap (centelhador).

Em aplicações fotovoltaicas os DPS do tipo varistor e o do tipo centelhador podem ser utilizados juntos. Dessa forma o sistema ficará protegido tanto por descargas atmosféricas indiretas quanto por descargas diretas. Comercialmente encontramos DPS para uso fotovoltaico com as duas tecnologias encapsuladas, bastando apenas conectar os cabos positivo, negativo e de terra ao dispositivo como podemos ver na ilustração abaixo:

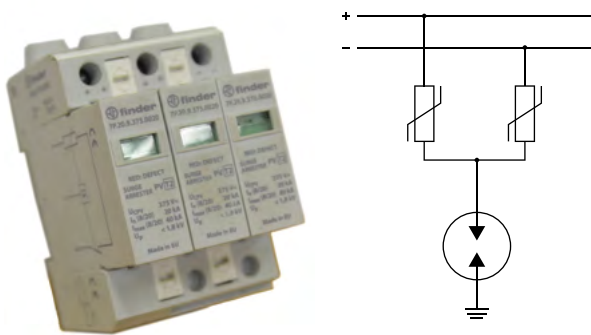


Figura 110. DPS para aplicações fotovoltaicas.

Em aplicações mais simples não se faz necessário o uso de DPS do tipo centelhador, podendo ser utilizado apenas o do tipo varistor entre cada pólo e o terra.

Podemos ver na ilustração abaixo o diagrama elétrico de um quadro de proteção DC com todos os dispositivos de proteção citados acima:

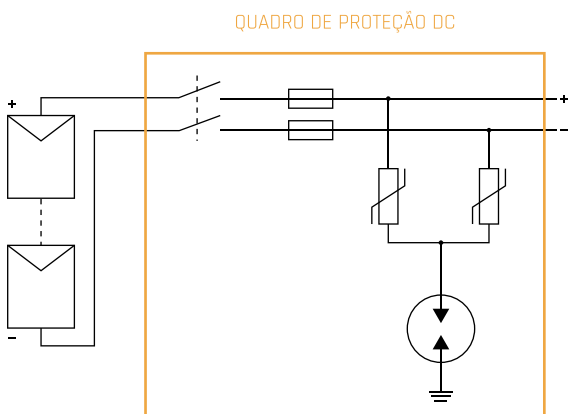


Figura 111. Diagrama elétrico de um quadro de proteção DC.

4.7.2. PROTEÇÃO AC

Nos sistemas com inversores é importante o uso de dispositivos de proteção no lado CA, tanto para proteção do inversor e dos condutores quanto para proteção dos usuários. Veja abaixo quais os dispositivos de proteção mais utilizados na parte de corrente alternada:

Disjuntor termomagnético: Dispositivo de proteção capaz de interromper a corrente quando surgem condições anormais de trabalho no circuito que resultam em sobrecorrente, como uma sobrecarga ou um curto-circuito. Podemos ver na imagem abaixo um disjuntor monopolar com sua respectiva simbologia:

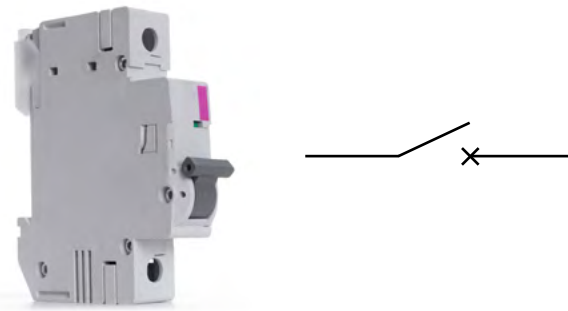


Figura 112. Disjuntor monopolar e sua respectiva simbologia.

Os disjuntores são fabricados em três modelos: monopolar, bipolar e tripolar como mostra a imagem abaixo:



Figura 113. Da esquerda para a direita temos os disjuntores monopolar, bipolar e tripolar.

Diferencial Residual – DR: O dispositivo diferencial residual – DR atua desligando o circuito elétrico caso haja uma fuga de corrente de pelo menos 30mA que coloque em risco a vida de pessoas e animais. A utilização do DR em instalações elétricas de baixa tensão nos circuitos elétricos que atendam às áreas molhadas ou sujeitas as lavagens e às áreas externas é obrigatório no Brasil.

Quando há uma diferença de corrente entre o condutor de entrada e o de saída de pelo menos 30mA o DR é desarmado desligando o circuito. O mesmo ainda conta com um botão que simula um desvio de corrente para teste do dispositivo. Caso o DR esteja em perfeito estado de funcionamento, após apertar o botão de teste o DR deverá desarmar desligando o circuito. Por motivos de segurança é aconselhável que esse teste seja realizado mensalmente.

A imagem a seguir ilustra um DR tetrapolar⁵⁴⁴ e sua simbologia:

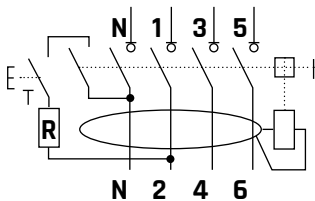


Figura 114. Dispositivo DR.

Os dispositivos diferenciais residuais podem ser classificados em dois tipos:

IDR – Interruptor Diferencial Residual: Atua somente quando há diferença de corrente entre o condutor de entrada e o de saída. Em caso de curto-circuito ou sobrecorrente esse dispositivo não tem a capacidade de desconectar o circuito elétrico.

DDR – Disjuntor Diferencial Residual: Além de atuar como DR também atua como disjuntor termomagnético desarmando em casos de curto-circuito ou sobrecorrente.

Nos sistemas fotovoltaicos esses dispositivos são ligados na saída dos inversores, seja em sistemas conectados a rede ou em sistemas isolados.

O diagrama ao lado mostra como é a ligação dos dispositivos de proteção DPS e DDR após o inversor. Caso o instalador não disponha de um DDR (disjuntor DR) a proteção contra sobrecorrente e curto-circuito pode ser feita com um disjuntor bipolar em série com um IDR (interruptor DR).

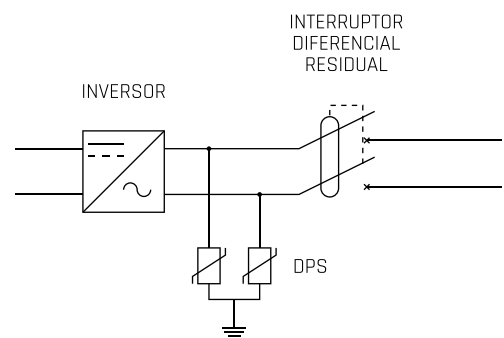


Figura 115. Circuito de proteção no lado de corrente alternada com DPS e DDR.

Note que nos circuitos de proteção do lado AC também são instalados DPS. Diferente dos DPS utilizados na proteção do lado de corrente contínua, esses agora devem ser próprios para tensão alternada.

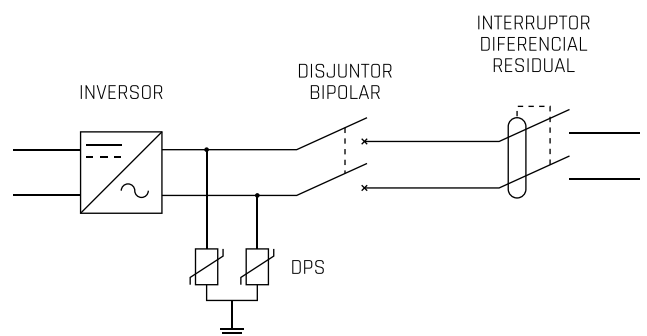


Figura 116. Circuito de proteção no lado de corrente alternada com DPS, disjuntor bipolar e IDR.

MONTAGEM DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS - 16H

A experiência do mercado fotovoltaico na Alemanha mostrou que a montagem dos sistemas fotovoltaicos é um grande desafio para um mercado incipiente. Entre 1991 e 1995 quase 40% das falhas nos sistemas fotovoltaicos ocorreram por causa de problemas na instalação (Cepel: p.357).

Para enfrentar esse desafio, nesta disciplina com uma carga horária de 64 horas, terá destaque a montagem e instalação de um sistema FV residencial em condições reais. Esse capítulo visa englobar tipos de estruturas para a fixação de sistemas FV na cobertura e suas particularidades (1), a integração do microgerador FV no sistema elétrico do edifício (2), a interpretação e análise de um projeto fotovoltaico (diagramas e documentação técnica) (3), avaliação do local da instalação (4), métodos de trabalho e preparação dos materiais e ferramentas (5), noções de seguidores (6) e finalmente as normas vigentes para a montagem e instalação de sistemas FV em edifícios (7).

5.1. FUNDAMENTOS DE MONTAGEM DE SISTEMAS FV

Em princípio, todo tipo de superfície ou cobertura de um edifício exposto ao sol, seja a fachada, telhado cerâmico, fibrocimento ou outro tipo de cobertura, pode ser utilizado para a instalação de um sistema fotovoltaico. Existe uma grande variedade de soluções aditivas e integrativas para estruturas de suportes para sistemas FV.

Na figura 117 todos as possíveis formas de montagem de um sistema FV num edifício estão ilustrados.

Em caso de soluções aditivas os módulos fotovoltaicos estão fixados em cima numa estrutura de suporte, em geral metálica. Normalmente estas soluções, também chamado de “retrofitting”, financeiramente, estão mais aplicadas do que soluções integrativas.

Com soluções integrados, os módulos fotovoltaicos estão integrados na fachada ou cobertura e podem substituir o telhado do edifício. Além da sua função de produzir energia elétrica, o sistema FV atende as funções gerias de um telhado como proteção contra chuva, ruído, sol ou serve como isolamento térmico.

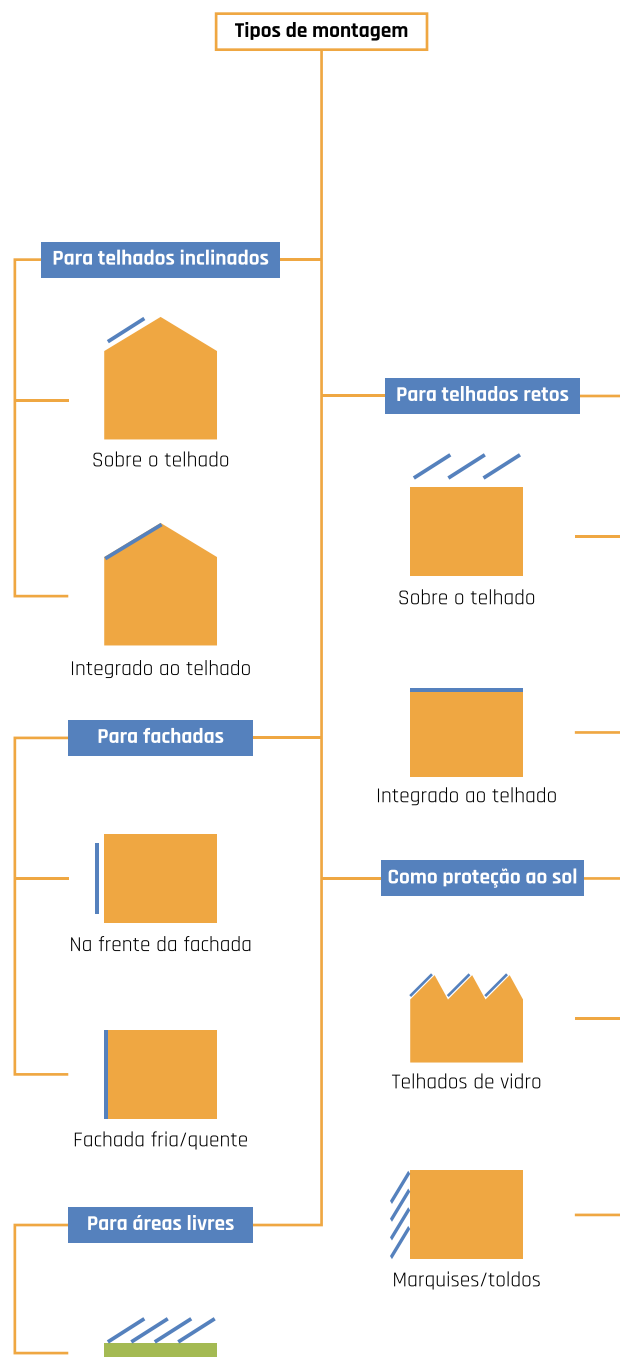


Figura 117. Formas de montagem do sistema FV.

5.1.1. FUNDAMENTOS DE TELHADOS E COBERTURAS

O montador deve ser familiarizado com as nomenclaturas dos elementos de uma cobertura conforme a ilustração abaixo.

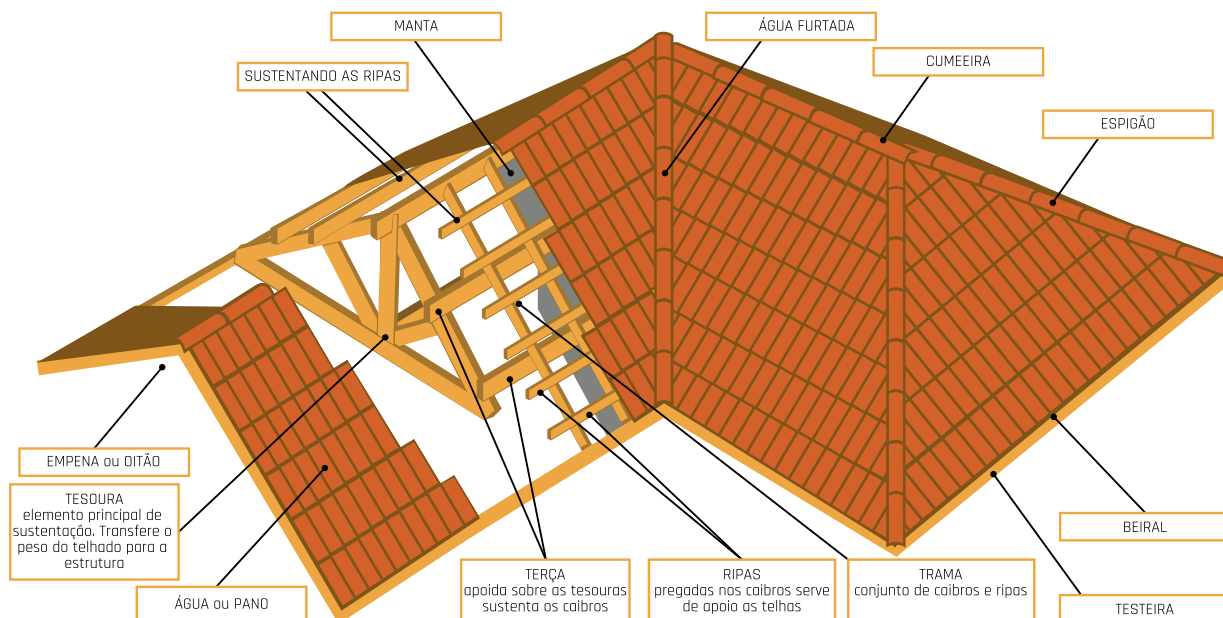


Figura 118. Construção de Telhados .

Os elementos principais são:

Tesoura – o elemento principal de sustentação, que transfere o peso do telhado para a estrutura; seu espaçamento depende do vão do telhado.

Terça – apoiada sobre as tesouras; sustenta os caibros; o espaçamento geralmente é de 1,5 – 2,5 m; existem dois tamanhos padronizados 6 x 12 cm ou 6 x 16 cm.

Caibro – apoiadas sobre as terças, sustentam as ripas; os tamanhos padronizados são 5 x 6 cm e 5 x 7 cm; o espaçamento entre os caibros fica entre 50 – 60 cm.

Ripas – pregadas sobre os caibros, servem de apoio para as telhas; as dimensões padronizadas da ripa são 5 cm (largura) x 1 – 2 cm (espessura); o espaçamento fica em torno de 30 cm.

As coberturas mais utilizadas no Brasil são telhas cerâmicas, telhas de fibrocimento ou telhas de aço-zincado, cujas ilustrações estão ao lado e na página seguinte.

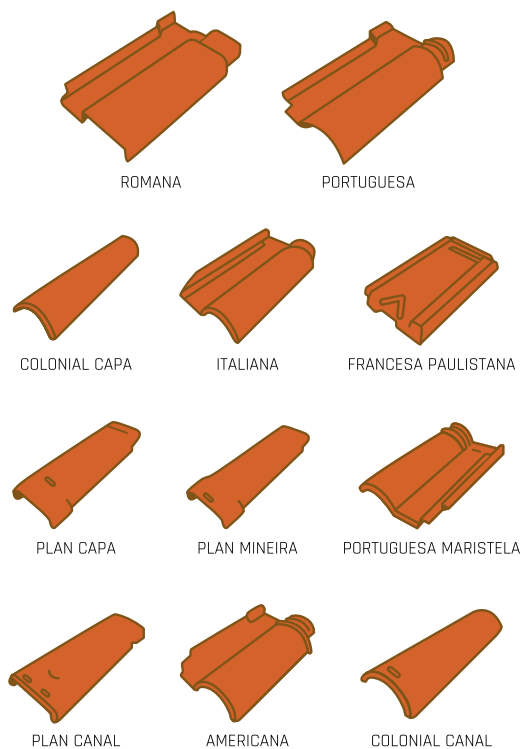


Figura 119a. Telhas de cerâmicas.

Em geral as formas de telhado estão denominadas de acordo com os números de inclinação e chamado de “xx água”, conforme ilustrada na figura 119. Mas além desses tipos de telhados, existem uma grande variedade de outras formas de telhados.

5.1.2. ESTÁTICA DE UM TELHADO/COBERTURA

A estática é um importante tema para a montagem de sistemas FV e deve ser avaliada em cada instalação, resguardando especialmente o vigente na norma da construção civil NBR 6123/1988 “Forças devidas ao vento em edificações”. A estática de um telhado define a forma que o sistema FV deve ser montado, como, por exemplo, a distância entre os ganchos de fixação, espessura das calhas de suportes.

Em certos casos um estudo de estática é indispensável. Porém, pelo menos, uma estimativa da capacidade máxima de carga do telhado deve ser feita por um especialista. Por razões legais, é recomendado deixar tudo suficientemente documentado.

Cuidado especial deve ser tomado com sistemas fotovoltaicos em relação as cargas adicionais e a ação de vento, sobretudo quando os módulos estão montados em coberturas planas. O sistema FV aumentará a área exposto ao vento e conseqüentemente as forças e cargas agindo na cobertura.

Em princípio existem duas forças/cargas agindo na cobertura:

1. O próprio peso do sistema FV e
2. Uma carga não-permanente causada pelo vento.

Assim surgem forças compressivas e forças de sucção como ilustrado na figura 121. Geralmente as cargas de vento dependem da inclinação do telhado e são maiores perto da borda do telhado ou da empena.

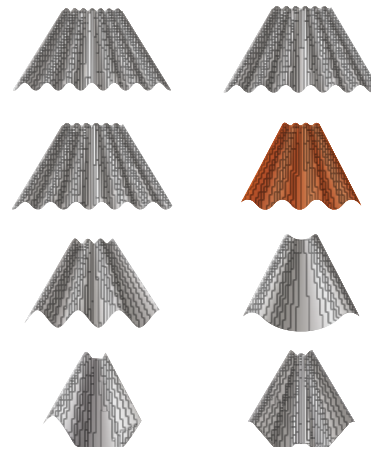


Figura 119b: Telhas de fibra-cimento.

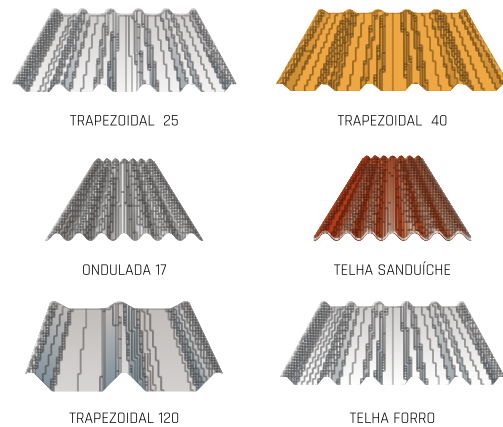


Figura 119c: Telhas de aço zincado.

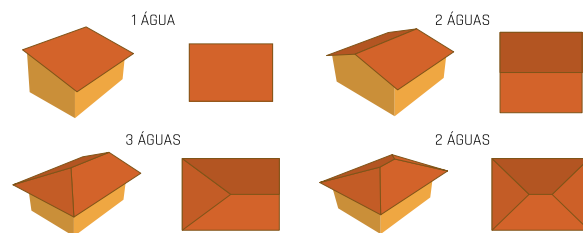


Figura 120: Formas de telhados.

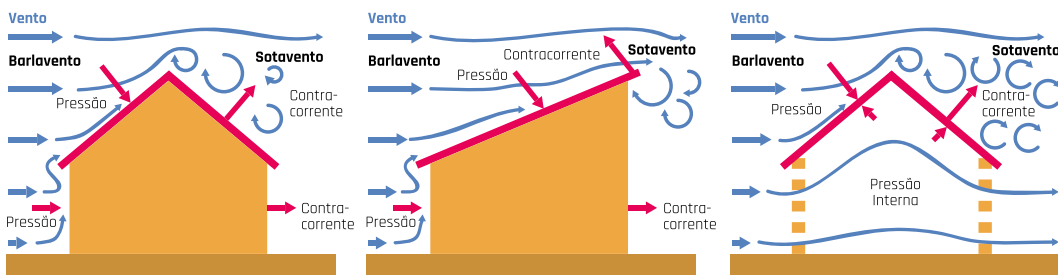


Figura 121. Ilustração esquemática das forças compressivas e de sucção.

5.1.3. COMPONENTES DA ESTRUTURA DE SUPORTE PARA UM SISTEMA FV "ROOFTOP"

Na figura 122, as diferentes opções desses três componentes principais estão ilustradas. Para a fixação no telhado pode ser utilizado um gancho de fixação, parafusos passadores ou adaptações especiais para um determinado tipo de telhado.

As calhas/perfis de suporte pode ser montadas de uma ou duas camadas. Para a fixação dos módulos na estrutura de suporte existe uma grande variedade de aplicações. Em geral os módulos FV podem ser fixados pontual, linearmente ou enganchado na própria calha.

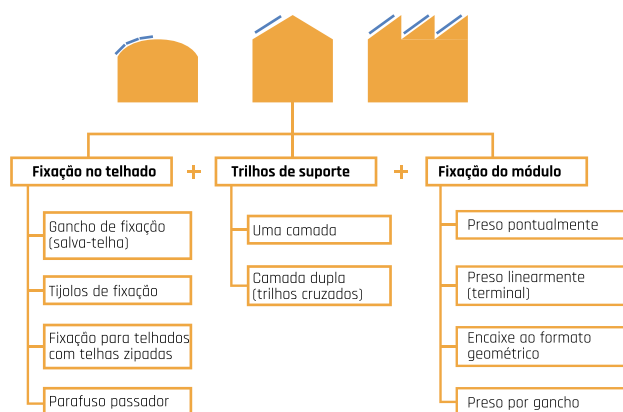


Figura 122: Resumo de estruturas de suportes para soluções aditivas.

Fixação no telhado

Ganchos de fixação

No caso de telhados com telhas cerâmicas, geralmente ganchos metálicos em formato de "Z" são utilizados. Esses ganchos estão fixados no caibro do telhado e passa para fora do telhado entre duas telhas. Esse gancho de fixação também é chamado de "salva telha", porque ele preserva a telha.



Figura 123. Gancho de fixação.

Parafusos passadores

Uma alternativa em vez de ganchos de fixação são parafusos passadores. Normalmente esse tipo de fixação é utilizado para telhas de fibrocimento ou metálicas.



Figura 124. Parafuso passador.

Dispositivos de fixação para telhas metálicas

Para telhas metálicas trapezoidal existem fixações específicas no formato da própria telha. A utilização desses dispositivos permite a montagem do sistema FV no telhado sem furar a cobertura.

Calhas/perfis de suporte

As calhas/perfis de suporte servem para sustentar os módulos FV e podem ser montadas de uma ou duas camadas. Eles estão fixados nos pontos de fixação da estrutura no telhado (ganchos ou parafusos passadores).

Na montagem das calhas deve se considerar a boa ventilação dos módulos FV para garantir a eficiência dos mesmos e a redução da carga de vento. Irregularidades do telhado devem ser compensado para obter uma superfície plana. Deve ser garantido um bom acesso aos módulos FV e permitido um acesso facilitado para remoção individual de módulos FV. A espessura e o material das calhas dependem da carga total do sistema FV e do local de instalação.

Fixação dos módulos FV

A forma mais difundida para a fixação de módulos no suporte metálico é o aperto pontual. Nos dois lados, os módulos são fixados com grampos. No início e final do arranjo FV grampos terminadores, e entre dois módulos FV grampos intermediários, são utilizados.

Fixação dos módulos FV

A forma mais difundida para a fixação de módulos no suporte metálico é o aperto pontual. Nos dois lados os módulos estão fixados com grampos como ilustrado nas figuras 125 e 126. No início e final do arranjo FV grampos terminadores, e entre dois módulos FV grampos intermediários, são utilizados.

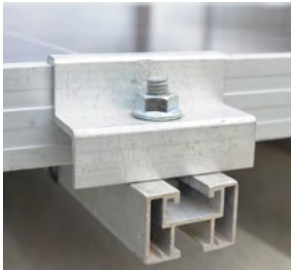


Figura 125. Grampo terminador.



Figura 126. Grampo intermediário.

Em caso de módulos FV sem moldura grampos laminados são utilizados. Em geral esses grampos são mais largos e possuem borrachas de EPDM (Etileno-Propileno-Dieno).



Figura 127. Grampos laminados com borrachas EPDM.

Uma alternativa para a fixação pontual com grampos curtos, é o encaixe dos módulos FV na calha. Porém, deve ser verificado com o fabricante dos módulos FV, se essa forma de fixação é permitida.

5.1.4. COMPONENTES DA ESTRUTURA DE SUPORTE PARA SISTEMAS FV EM TETOS PLANOS

Tetos planos oferecem a liberdade para um planejamento otimizado de um sistema FV. Por exemplo em relação a escolha da inclinação ou orientação do sistema FV. Porém antes da instalação do sistema FV deve ser conferido, se a cobertura suporta a carga adicional, sobretudo considerando a carga de vento, que é consideravelmente aumentada. O instalador deve tomar cuidado a não danificar a cobertura na montagem do sistema FV. Figura 128 mostra as diversas opções para montagens de sistemas FV em tetos planos:

Quanto a fixação do sistema FV no telhado existe a possibilidade de utilizar estruturas de suportes autoportantes, a estrutura de suporte pode ser ancorada na cobertura ou a estrutura pode ser fixado no telhado.

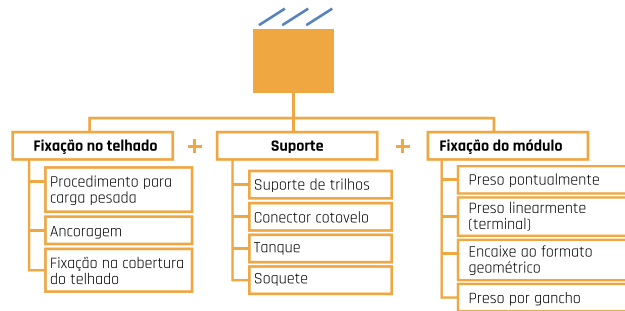


Figura 128. Opções de montagem de sistemas FV em tetos planos.

No caso de sistemas FV com estruturas autoportantes (figura 129), o sistema FV é segurado pelo próprio peso ou pesos adicionais. A vantagem desse tipo de sistema é que não precisa fixar o suporte no teto.



Figura 129. Estrutura de suporte autoportante.

5.1.5. NOÇÕES DE QUALIDADE

A vida útil de um sistema fotovoltaico é considerada de no mínimo 20 anos. Para garantir o bom funcionamento do sistema FV durante este período, deve-se tomar um cuidado especial em utilizar somente materiais de alta qualidade, resistente à corrosão e irradiação UV.

Combinações de metais devem ser utilizados somente quando não houver perigo de reações eletroquímica entre eles. Metais galvanizados não devem ser perfurados ou serrados posteriormente. No caso se for preciso, o lugar deve ser galvanizado a frio e controlado periodicamente. As calhas de alumínio devem ser resistentes à corrosão (tipo 6061 ou 6063) e não devem ter contato direto com materiais de concreto. Também pode ser utilizado aço inoxidável.

Cantos, onde sujeira, folhas ou outros depósitos podem se juntar, devem ser evitados. Tanto como águas paradas, que acontece muitas vezes em bandejas de cabos.

Na montagem do sistema FV sempre deve-se considerar os manuais e as indicações do fabricante. No caso de dúvida procura-se entrar em contato com o fornecedor ou diretamente com o fabricante.

5.1.6. VARIAÇÕES DE MONTAGEM

Em geral os módulos FV estão montados na extremidade em cima de duas calhas paralelas e fixados em quatro pontos (Figura 130a). A distância entre as calhas depende dos possíveis pontos de fixação no telhado e das indicações do fabricante dos módulos FV.

No caso em que os módulos FV serão montados em orientação horizontal, as calhas devem ser fixadas vertical (figura 130b). Nem sempre, isto é possível, devido a distância dos caibros. Neste caso, duas camadas de calhas devem ser instaladas, como ilustrado na figura 130c.

Para sistemas FV maiores uma pré-montagem de módulos antes de montar o sistema no telhado é útil. Os módulos podem ser grupados e montados em cima do suporte já no chão e em seguida levantados e montados na estrutura de suporte em cima do telhado (figura 130d).

5.1.7 INTERPRETAÇÃO DIAGRAMAS E DOCUMENTOS TÉCNICOS

Na projeção de sistemas FV a documentação técnica contém vários diagramas e desenhos técnicos, que servem como diretrizes para a instalação e montagem do sistema. Os principais documentos são o diagrama elétrico unifilar e planilha de strings.

- **Diagrama elétrico unifilar**
- **Planilha de strings:** A planilha de strings serve para identificar os módulos FV que serão interligados e formam um string (módulos FV interligados em série). Particularmente para sistemas FV maiores essa planilha é essencial para a instalação e manutenção do sistema de forma eficaz.

Dica: Para identificar os módulos FV de uma string mais fácil e rápido, os módulos interligados em série são desenhados em diferentes cores.

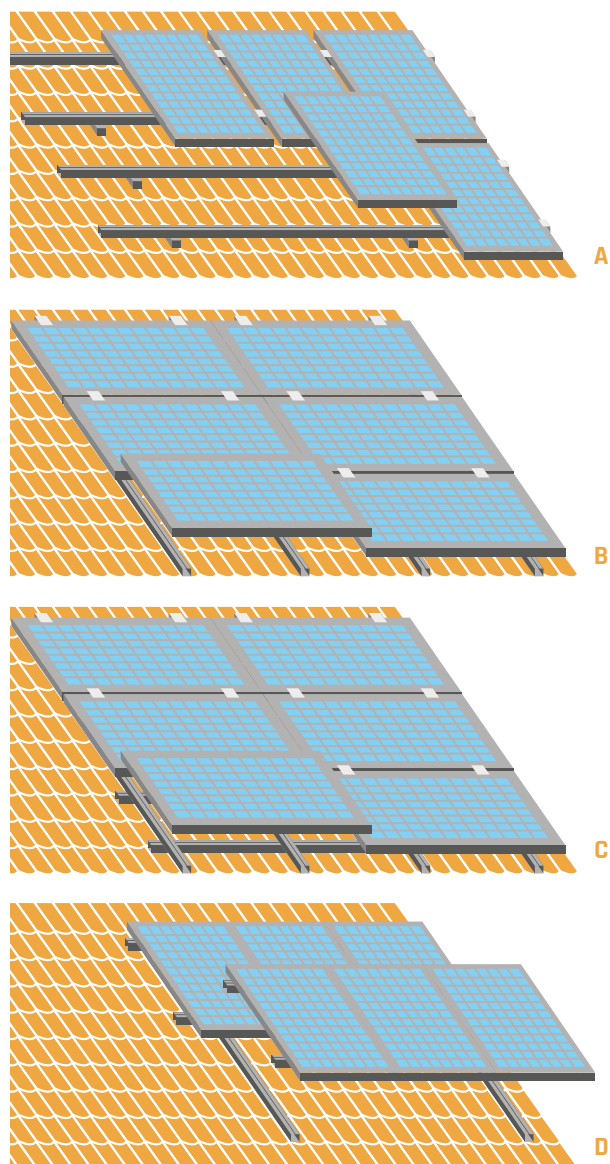


Figura 130. A) Instalação na extremidade, B) Instalação na horizontal, C) Instalação em duas camadas, D) Instalação de módulos pré-fixados.

5.1.8. RELATÓRIO TÉCNICO

A equipe de montagem e instalação de um sistema FV deve elaborar um relatório técnico, que consta:

- todos as divergência com o projeto,
- os dados do sistema FV com as fichas técnicas dos componentes,
- a planilha de string,
- o diagrama elétrico unifilar,
- opcional: uma planilha de manutenção e
- o check-list do comissionamento.

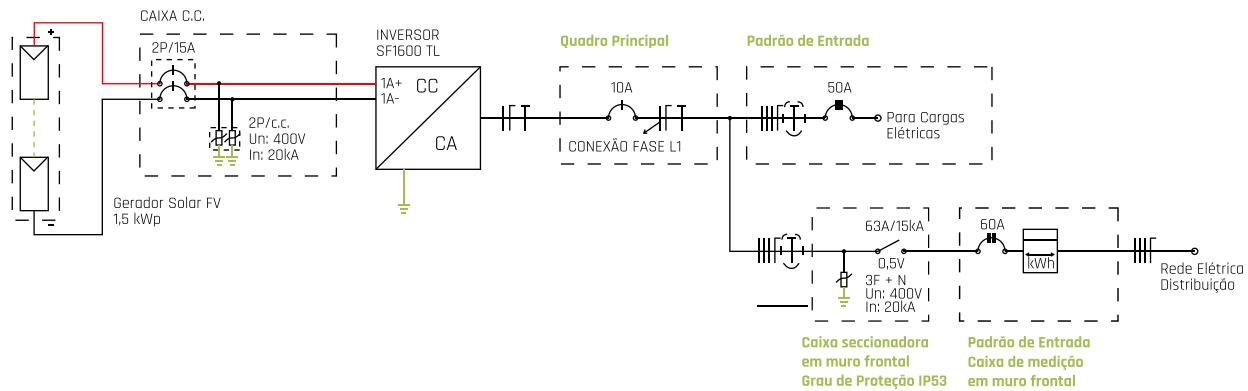


Figura 131. Diagrama elétrico.

Este relatório serve para o acompanhamento da operação e para a manutenção do sistema FV. Uma via deve ser entregue para o cliente.

5.2. MONTAGEM DE SISTEMAS FV

Antes da montagem do sistema FV o local deve ser vistoriado para identificar possíveis obstáculos e divergências com o projeto. Qualquer divergência ou mudança do projeto deve ser anotado no relatório técnico.

Ao seguir, os métodos de trabalho com o passo-a-passo da montagem e a listagem das ferramentas e instrumentos utilizados, estão descritos.

5.2.1. MÉTODOS DE TRABALHO

É recomendado que a montagem e instalação de um sistema FV seja realizada por equipe de pelo menos duas profissionais. Eles devem ter familiaridade com a sequência da montagem e as medidas de segurança aplicáveis, além de trabalhar em sintonia.

5.2.1.1. Passo-a-passo da montagem

A montagem do sistema FV pode ser dividido em sete passos, que serão apresentados a seguir:

- **Marcação da área de instalação:** A posição desejada para a instalação do sistema FV foi definido na fase do planejamento do sistema. O topo das bordas exteriores da primeira fila e a borda inferior dos módulos FV da última fila serão marcados no telhado com giz, para receber uma noção do espaço utilizado.

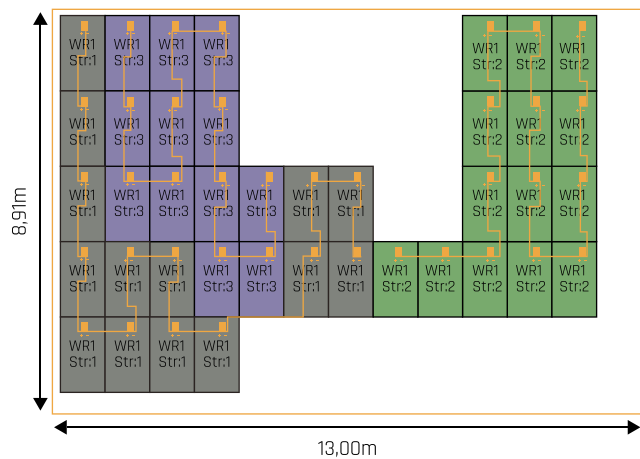


Figura 132. Planilha de string de um sistema FV de 9,6 kW.

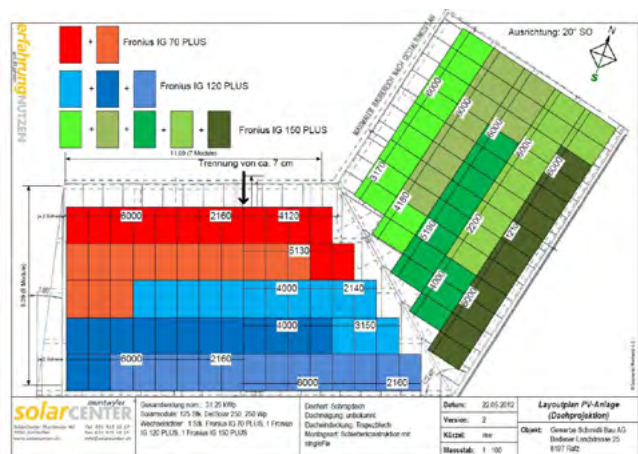


Figura 133. Planilha de string, 31,25 kW.

- **Montagem dos ganchos de fixação:** Para a montagem dos ganchos de fixação, primeiramente tem que ser definido em qual fileira das telhas os ganchos devem ser fixados e qual será a distância entre eles. Depois, a telha será removida e o gancho fixado no caibro com pelo menos quatro parafusos, conforme figura 134. Em seguida a telha será colocada de volta.

Atenção: Deve-se tomar cuidado para que o gancho de fixação não encosta na telha inferior como demonstrado na figura 135.

- **Fixação dos perfis metálicos nos ganchos:** Os perfis de suporte serão fixados nos ganchos de fixação conforme figura 135. Em seguida, o alinhamento dos perfis deve ser conferido com uma corda. Caso preciso, os ganchos de fixação devem ser reposicionados.

Dica: O alinhamento exato do perfil inferior, que serve como referência para o alinhamento dos outros perfis, garante uma aparência limpa do sistema FV.

A distância de um perfil para o outro depende do tamanho dos módulos FV e do local da instalação. Normalmente procura-se montar as calhas de tal forma, que a distância entre os perfis seja a metade do tamanho dos módulos FV, conforme figura 139.

Dica: Em geral as molduras do módulo FV estão perfuradas no lado inferior. Isso pode servir como indicação, onde os perfis devem ser posicionados.

- **Montagem dos módulos FV:** No próximo passo, os módulos FV serão fixados nos perfis de suporte com grampos fixadores ou dispositivos similares. Entre dois módulos FV grampos intermediários estão fixados.

Atenção: Os módulos FV devem ser aterrados através dos perfis e ganchos de fixação.

- **Interligação dos módulos FV:** Através da interligação dos módulos FV um com outro, forma se uma string.
- Montagem do inversor/interligação
- Interligação com medidor bidirecional (somente pessoas autorizadas)



Figura 134. Montagem da fixação do gancho no caibro.

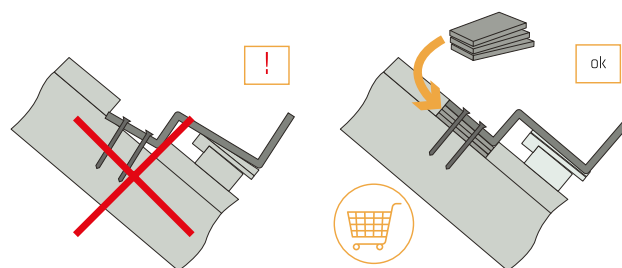


Figura 135. Posicionamento certo do gancho de fixação.

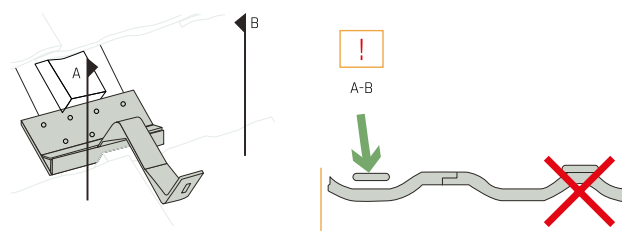


Figura 136. Posicionamento certo do gancho de fixação.

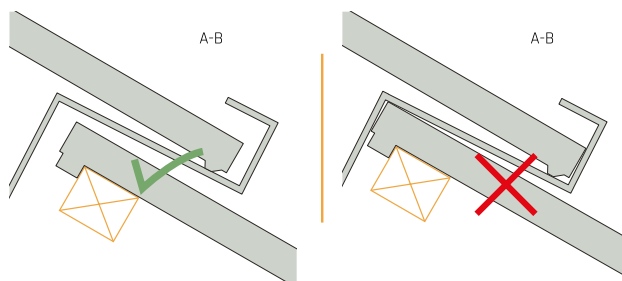


Figura 137. Posicionamento certo do gancho de fixação.

5.2.1.2. Preparação ferramentas e materiais

Para uma montagem segura e eficaz, as seguintes ferramentas são necessárias:

- Passo (Marcação): Fita métrica, giz
- Passo (ganchos “Z”): Parafusadeira, Cabo de Aterramento com parafusos, Moedor de ângulo com disco de pedra (Winkelschleifer mit Steinschleifer)
- Passo (Perfis metálicos): Chave Allen, fio guia (Richtschnur), open end chave
- Passo: (Módulos FV): Chave de fenda, open-end chave, Chave Allen
- Passo (Interligação): Marcação de cabos para as strings, abraçadeiras, eletrodutos
- Passo (Inversor): Furadeira com broca de concreto

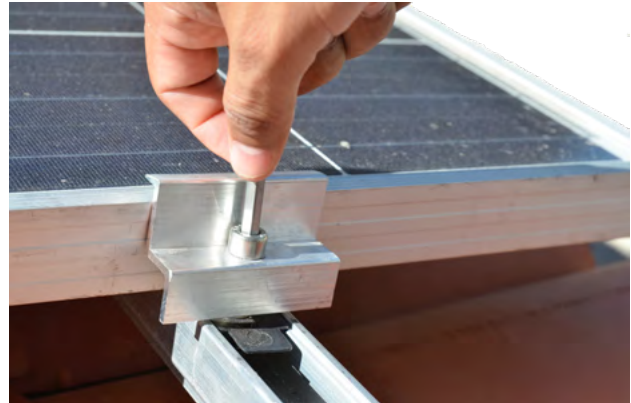


Figura 140. Fixação do módulo FV no perfil de suporte



Figura 138. Fixação dos perfis de suporte nos ganchos de fixação.



Figura 141. Ferramentas para montagem e instalação do sistema FV.

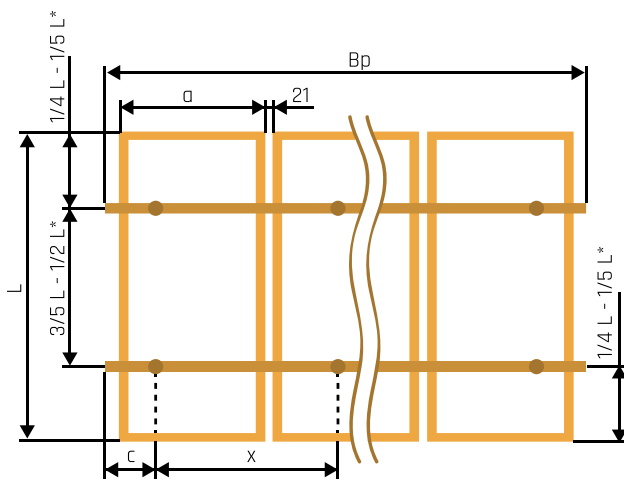


Figura 139. Distância da fixação dos módulos FV na estrutura de suporte.



Figura 142. Instruções normativas.

FOLHA DE AVALIAÇÃO DO LOCAL

ORIENTAÇÕES PARA A AVALIAÇÃO DO LOCAL JUNTO COM O CLIENTE

DADOS DO CLIENTE

Cliente: _____

Nome completo: _____

Endereço: _____

CEP, Cidade: _____

Contato (Email, Telefone, Celular, Whats-up, Skype): _____

CPF / CNPJ: _____

LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA FV (caso não seja idêntico com endereço do cliente)

Endereço: _____

CEP, Cidade: _____

Nome, contato: _____

Outras informações (Consumo em diferentes locais; onde?): _____

LOCALIZAÇÃO E DIMENSÃO DO TELHADO/ ÁREA NO SOLO/ PAREDE

Sistema FV será instalado em _____ área(s), composto por _____ arranjos

Orientação do telhado, solo, parede:

LAT _____ LONG _____ ALT _____ Direção _____

Inclinação do telhado, solo, parede: _____ Inclinação dos painéis: _____

Altura do prédio _____ Área útil para o(s) arranjos FV [m2]: _____

Potência a ser instalada [kWp] de cada arranjo: _____

Potência a ser instalada total [kWp]: _____

TEXTURA / SUPERFÍCIE DO TELHADO, SOLO PAREDE

Formato do telhado:

meia-água duas-águas três-águas quatro-águas plano

tipo de superfície:

Tipos de telhas:

Cerâmica Fibra-cimento Aço zincado Concreto

Croqui detalhado da área disponível para o sistema FV Ver em anexo

Distância dos caibros: _____ cm

Possibilidade de furar telhado, solo, parede SIM NÃO

Idade da cobertura _____ anos.

Estimativa Indicação do dono do prédio

Particularidades, da área do telhado/ solo / parede: _____

ANÁLISE DE SOMBREAMENTO

Análise de sombreamento (antenas, satélite, para-raios arvores etc.) é necessário? SIM NÃO

Redução do rendimento por causa do sombreamento: _____% (Estimativa! cálculo necessário.) Possíveis

Medidas para minimizar o efeito de sombreamento: _____

FIANÇA E INSTALAÇÃO

Aterramento adequado para um equipotencial/aterramento do sistema FV ? SIM NÃO

SPDA existente SIM NÃO

Quadro elétrico existente SIM NÃO

apropriado SIM NÃO

Espaço livre para quadro elétrico FV SIM NÃO

Observação: _____

Rotas de fiação determinada SIM NÃO

Observação: _____

Comprimento estimado dos cabos CC: _____ m, CA: _____ m
(gerador solar - inversor - quadro elétrico - rede)

Lugar de instalação do inversor definido SIM NÃO

Lugar de instalação da chave seccionador CA definido SIM NÃO

Ponto de conexão à rede: DEFINIDO A DEFINIR PELA CONCESSIONÁRIA

OUTROS ASPECTOS

Avaliação de
estática do telhado

NECESSÁRIO

PROVIDENCIADO PELO CLIENTE

NÃO NECESSÁRIO

PROVIDENCIADO PELO INSTALADOR

Licenças de construção

NECESSÁRIO

PROVIDENCIADO PELO CLIENTE

NÃO NECESSÁRIO

PROVIDENCIADO PELO INSTALADOR

Levantamento
geo-referenciado

NECESSÁRIO

PROVIDENCIADO PELO CLIENTE

NÃO NECESSÁRIO

PROVIDENCIADO PELO INSTALADOR

Acesso ao Telhado, Solo, Parede: _____

Observação:(Escada, andaime, guindaste): _____

RESPONSABILIDADES

Definir responsabilidades (Consultor/Cliente) para os seguintes trabalhos:

DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FV

DEFINIÇÃO DO SISTEMA FV

ESQUEMAS ELÉTRICAS UNI FILAR DA INSTALAÇÃO

DESENHOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL DA INSTALAÇÃO ELÉTRICA E MECÂNICA

OBTENÇÃO DE ORÇAMENTOS DE EQUIPAMENTOS FV

CALCULO DE VIABILIDADE ECONÔMICA

OBTENÇÃO DE FINANCIAMENTO

VERIFICAÇÃO DA RESOLUÇÃO N°482 E NORMA DO CONCESSIONÁRIO LOCAL

ANÁLISE DE ESTÁTICA

ELABORAÇÃO DE ART (CREA)

ELABORAÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO DE LICENÇAS AMBIENTAIS

ELABORAÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO DE SOLICITAÇÃO DE LIGAÇÃO

SELEÇÃO DA EMPRESA DE INSTALAÇÃO

ELABORAR O PLANO CRONOLÓGICO E DE LOGÍSTICA DE INSTALAÇÃO

MONITORAMENTO / SUPERVISÃO DA INSTALAÇÃO

SOLICITAÇÃO DE LIGAÇÃO FV À CONCESSIONÁRIA

COMISSIONAMENTO DO SISTEMA FV

PLANO DE O & M & GARANTIAS

PLANO DE REVISÕES JUNTO COM A CONCESSIONÁRIA

Observação: _____

ASSINATURAS

Com a assinatura neste documento os principais dados e solicitações do cliente foram documentados.

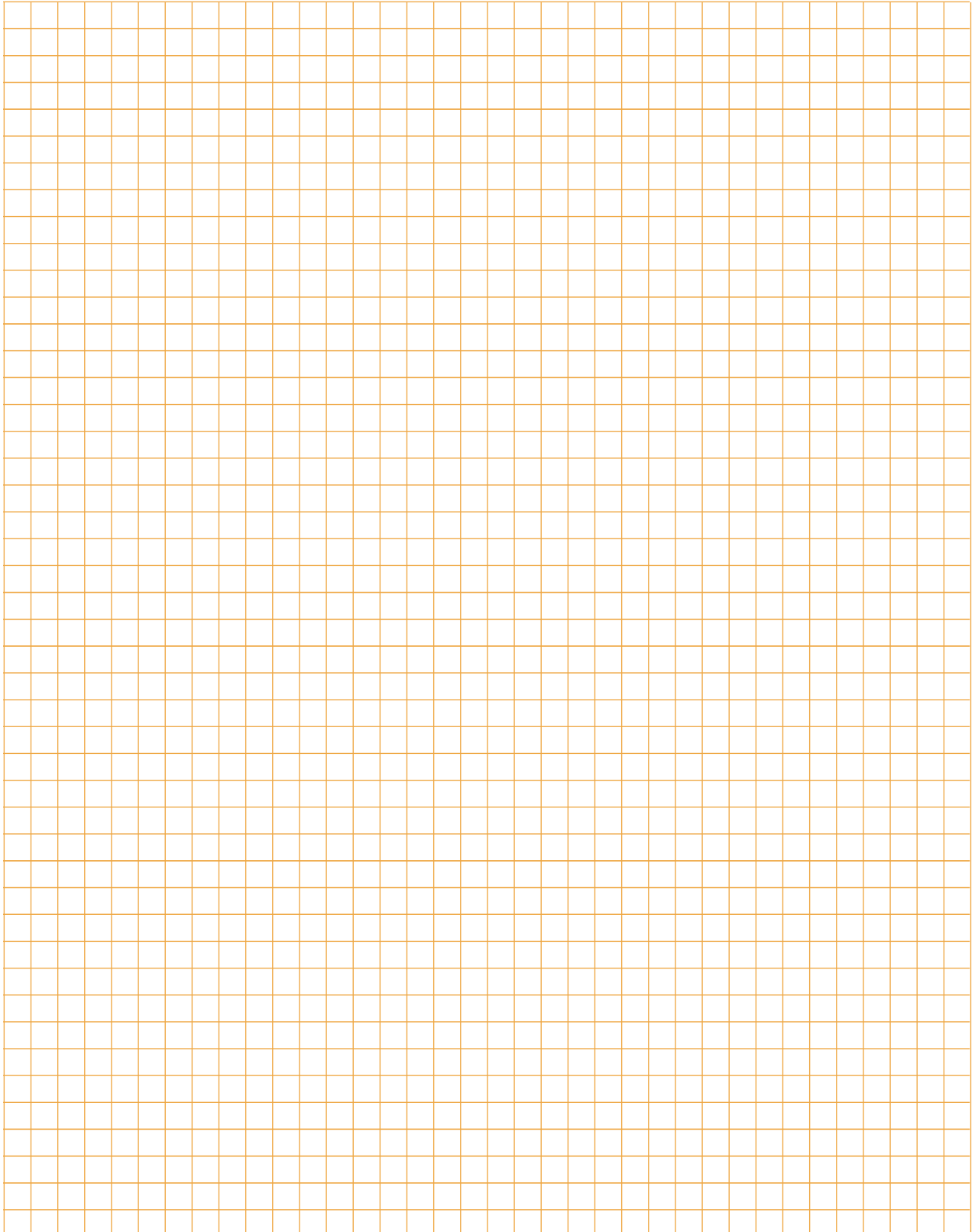
Os dados e estimativas são preliminar. No processo de desenvolvimento do projeto podem ocorrer modificações e serão comunicadas e documentadas.

Lugar, Data

Assinatura do Cliente

Empresa

ANEXO: CROQUI DA LOCALIDADE DE INSTALAÇÃO FV DETALHADO (COLOQUE N-S E ESCALA 1:XX)







PARCEIROS DA INICIATIVA PROFISSIONAIS PARA ENERGIAS DO FUTURO



Por meio da:

