



SFV

Curso Híbrido de Instalador de
Sistemas Fotovoltaicos

Unidade 1

Eletricidade básica aplicada a Sistemas Fotovoltaicos

Ficha 10

O FIO E A MEADA



Por meio da:



MINISTÉRIO DA
EDUCAÇÃO





Objetivos de aprendizagem

Os alunos e as alunas serão desafiados a:

1. Definir, conforme as normas, o quadro elétrico e o cabeamento necessário em uma instalação;
2. Identificar os elementos de proteção contra descargas atmosféricas, disjuntores e fusíveis em partes com corrente contínua;
3. Identificar os elementos de proteção contra descargas atmosféricas, disjuntores e fusíveis em partes com corrente alternada;
4. Reconhecer os principais elementos para leitura e interpretação de desenhos técnicos.



Competências

Capacidades Técnicas e Conhecimentos conforme os Itinerários Formativos EnergIF

- Conhecer os sistemas fotovoltaicos isolados e os conectados à rede.
 - Instalação elétrica (quadro elétrico, cabeamento, proteções contra descargas atmosféricas, disjuntores, fusíveis e outros elementos do circuito elétrico) relacionada com a aplicação.



Relação com a Unidade Curricular

Conhecer e saber identificar os elementos de instalação elétrica que fazem parte do sistema fotovoltaico que será implementado, diferenciando as redes em corrente contínua e em corrente alternada é fundamental para a correta e segura aplicação de SFV.

Mapeando o território

Quando se planeja instalar um SFV, o responsável tem várias preocupações. De início, deve-se pensar nos altos custos de investimento e na segurança da adequação da parte elétrica, pois tudo deve acontecer de modo que as instalações elétricas sejam bem executadas e os equipamentos adquiridos sejam de boa qualidade, assim como ocorre com todos os demais serviços (projeto e mão de obra).

Os SFV isolados, assim como os SFV conectados, são muito confiáveis, uma vez que bem instalados. Diferentemente dos sistemas conectados, que operam em paralelo à rede elétrica, os sistemas isolados costumam se situar em áreas mais remotas. Dessa forma, falhas ou defeitos inesperados podem demorar a ser detectados nestes últimos sistemas, prejudicando o seu desempenho ou, até mesmo, causando danos irreversíveis. Por isso, é de extrema importância atentar-se à correta instalação elétrica de ambos os sistemas, assim como valer-se de elementos que eliminem ou mitiguem a possibilidade de falhas e, conseqüentemente, de seus efeitos. No caso de a falha atingir a rede, nos sistemas conectados, deve-se alertar a distribuidora imediatamente para as providências necessárias.

Para que um instalador ou uma instaladora de SFV realize seu trabalho corretamente, é fundamental que conheça os elementos de instalação elétrica relacionados com sua aplicação.

A norma NBR 5410:2004 – “Instalações Elétricas em Baixa Tensão”, por exemplo, é a norma brasileira que estabelece as condições em que devem ser executadas as instalações elétricas de baixa tensão, a fim de garantir a segurança de

pessoas e animais, o funcionamento adequado da instalação e a conservação dos bens. Ou seja, trata-se de uma das normas que deve ser lida atentamente pelo profissional, para a correta instalação elétrica dos painéis fotovoltaicos.

A norma NBR 16690:2013 – “Instalações Elétricas de Arranjos Fotovoltaicos” é a norma brasileira que estabelece os requisitos de projeto das instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos, incluindo disposições sobre os condutores, os dispositivos de proteção elétrica, os dispositivos de manobra, o aterramento e a equipotencialização do arranjo fotovoltaico. Assim, torna-se outra norma fundamental a ser seguida no trabalho de instalação de um SFV.

A seguir, veremos mais detalhes dos elementos de instalação elétrica que fazem parte do sistema fotovoltaico.

1 Cabeamento

O cabeamento fotovoltaico é diferente dos usados nas instalações elétricas internas de um imóvel qualquer. Isso se dá porque os sistemas fotovoltaicos trabalham com tensões super elevadas, devendo utilizar cabos mais resistentes e adequados a esse tipo de trabalho energético.

O cabo solar é feito de fio de cobre eletrolítico estanhado, com excelente flexibilidade. O isolamento e o revestimento externo são fabricados em compostos termofixos, possuindo excelente desempenho, com tensão nominal de até 0,6 / 1 kV AC ou até 1,8 kV DC.

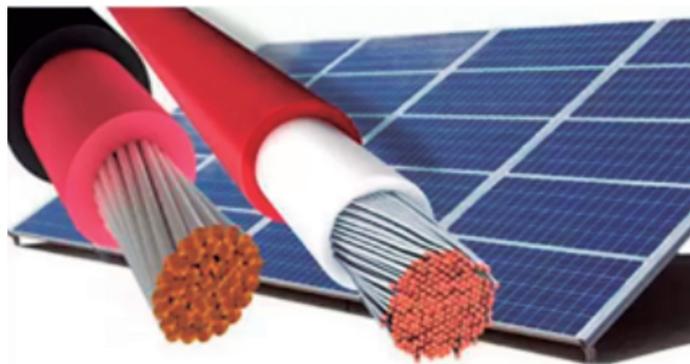


Figura 1: Cabos fotovoltaicos.

Fonte: Acervo do autor

A norma ABNT NBR 16612 – “Cabos de potência para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura” indica diversos requisitos para a qualificação e a aceitação dos cabos solares. Estes devem ser cabos singelos com condutor flexível para uso em corrente, devendo suportar temperaturas e intempéries extremas, pois, como sabemos, os SFV ficam expostos ao clima e ao tempo de onde estiverem instalados.

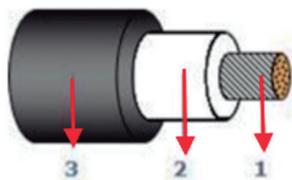


Figura 2: Composição dos cabos fotovoltaicos.

Fonte: Acervo do autor

Na Figura 2, podemos identificar as partes de um cabo solar:

- parte interna composta pelo fio de cobre estanhado, flexível (1);
- composto interno de termofixo (2);
- parte externa composta pelo termofixo e resistente aos raios ultravioletas (3).

2 Quadro Elétrico

Para instalarmos um SFV em uma residência ou em uma edificação qualquer de forma segura, em conformidade com as normas técnicas, é necessário conhecermos os equipamentos existentes em uma instalação elétrica, assim como o seu funcionamento.

O quadro elétrico (ou quadro de distribuição) é um dos elementos centrais de qualquer instalação elétrica. É ele que recebe e distribui a energia elétrica para todos os circuitos em ação.

Os quadros elétricos de distribuição atuais são muito mais seguros, pois, neles, não existem mais pontos possíveis de choque. Os equipamentos de proteção foram evoluindo ao longo do tempo, tornando toda a instalação mais segura.

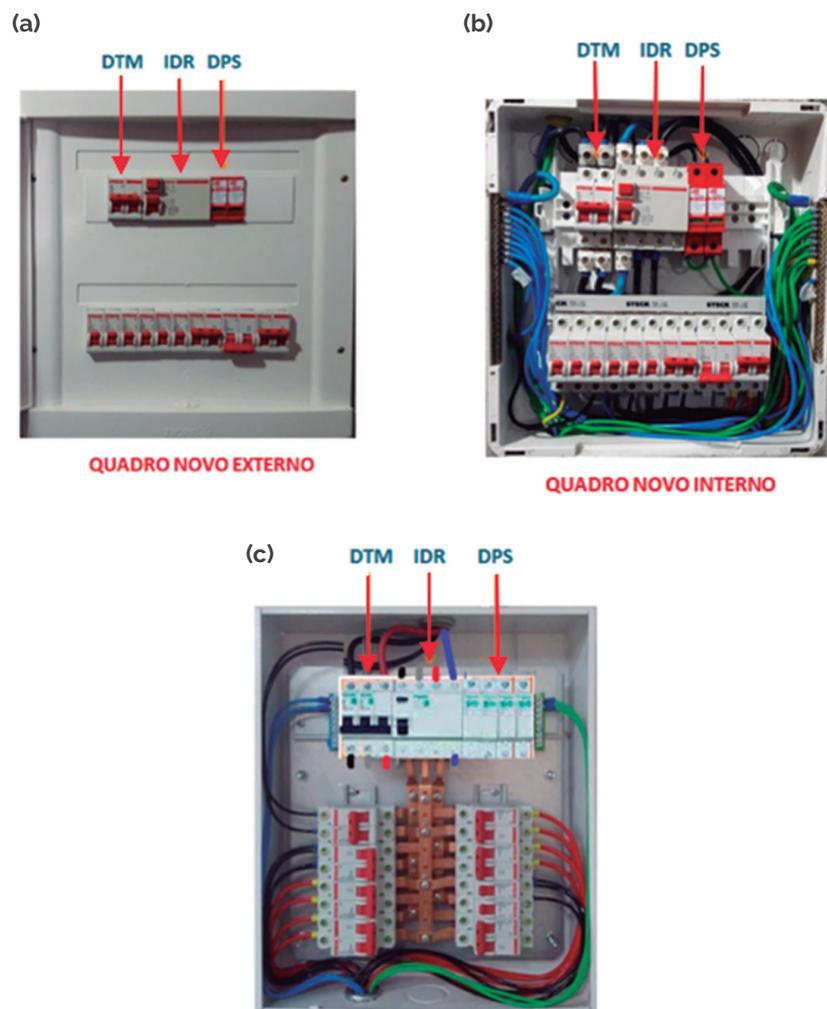


Figura 3: Quadros elétricos de distribuição: quadros com barramento horizontal (a) e (b); quadro com barramento vertical (c).

Fonte: Acervo do autor

Nas instalações elétricas, o quadro de distribuição é o componente responsável por abrigar um ou mais dispositivos de proteção (e/ou de manobra) e a conexão de condutores elétricos interligados a esses elementos, com a finalidade de distribuir a energia aos diversos circuitos da edificação.

É também no quadro de distribuição que ocorre a interligação dos sistemas de geração fotovoltaicos com o sistema de distribuição de energia elétrica do local e a energia da concessionária (no caso de sistemas conectados em rede).

Com a instalação de um SFV em qualquer local é necessário a instalação de um novo quadro, a chamada caixa de ligação (*string box*), na qual encontramos os seguintes dispositivos de proteção: seccionadora CC, DPS (Dispositivo de Proteção de Surto) e fusíveis e/ou disjuntores.

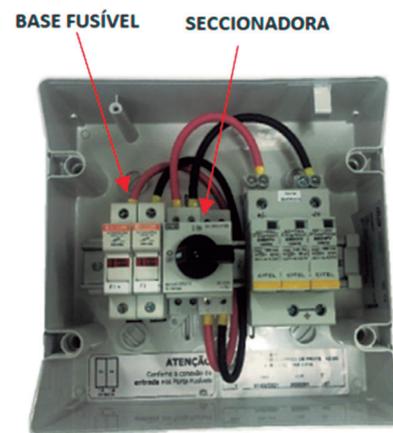


Figura 4: Caixa de Proteção (DC) – *String Box*.

Fonte: Acervo do autor

A função dessa caixa é a proteção dos circuitos DC (Corrente Contínua) e a união dos módulos em série (*strings*).

A *string box* é uma caixa que liga os cabos fotovoltaicos dos módulos ao inversor solar.

Disjuntores Termomagnéticos (DTM)

Na figura a seguir, podemos ver as principais partes internas dos disjuntores em corrente alternada (AC).

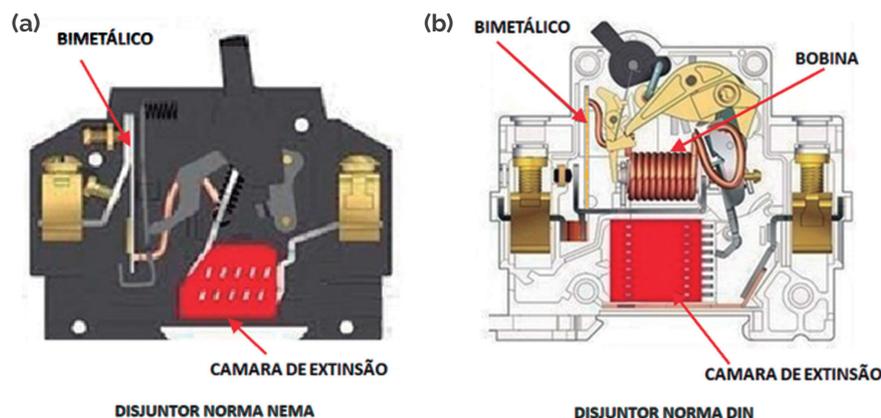


Figura 5: Disjuntor norma NEMA (a); disjuntor norma DIN (b).

Fonte: Acervo do autor



Figura 6: Disjuntor norma DIN em corrente contínua (DC).

Fonte: Acervo do autor

A seguir, podemos ver as partes internas do disjuntor em Corrente Contínua (DC).

A principal diferença entre corrente alternada e corrente contínua reside no fato de que a corrente contínua (DC) não altera o seu sentido de circulação dentro do circuito elétrico. Já a corrente alternada (AC) consegue

alterar seu sentido. A câmara de extinção de arco é muito mais reforçada nos disjuntores DC. Em corrente contínua, os arcos nos desligamentos são muito mais rigorosos.

Os disjuntores DC estão de acordo com a norma IEC 60947-2 e diferem das versões padrões, pois têm elementos magnéticos permanentes nas câmaras de extinção de arco. Esses elementos permitem que o arco elétrico seja quebrado em tensões equivalentes a V_{cc} (Tensão em corrente contínua). A presença desses elementos magnéticos permanentes estabelece uma polaridade no disjuntor (positiva ou negativa). Como consequência, sua conexão deve ser feita de acordo com a polaridade indicada no produto.

3 Proteções Elétricas

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

As chaves seccionadoras são dispositivos de interrupção muito usados no SFV.

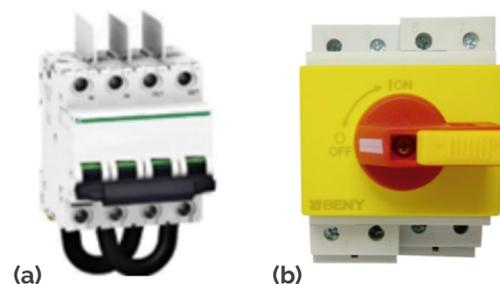


Figura 7: Chave seccionadora rotativa (a); chave seccionadora padrão DIN (b).

Fonte: Acervo do autor

A chave de seccionamento sob carga em DC tem como finalidade desconectar os módulos FV do resto do sistema. Esses tipos de chave são mais robustos que as de corrente alternada, por possuírem internamente uma câmara de extinção de arco que ameniza o efeito gerado pelo arco voltaico. O arco voltaico (ou arco elétrico) ocorre a partir de um desligamento entre dois polos, produzindo uma queima (fogo) na câmara de extinção.

Outra opção de proteção de circuitos são os fusíveis de proteção (FUS). Quando ocorre um curto-circuito ou uma sobrecarga, o fusível se funde (queima), interrompendo a passagem de corrente, que poderia danificar o circuito. Após a queima, o elemento fusível deve ser repostado por um novo de mesma capacidade do queimado.

Os fusíveis podem ser utilizados em corrente alternada ou em corrente contínua, de acordo com a sua especificação. A norma NBR IEC 60269-1 – “Dispositivos-fusíveis de baixa tensão”, indica as condições exigíveis para esses dispositivos.



Figura 8: Fusível tipo “NH” (a); fusível tipo “Diazed” (b); fusível tipo cartucho (c).

Fonte: Acervo do autor

O dispositivo de proteção contra surtos (DPS) é outro dispositivo de proteção encontrado em circuito em corrente contínua. Os raios provenientes de descargas atmosféricas podem causar sobretensões em redes elétricas, podendo danificar os equipamentos ligados a elas. O DPS tem a finalidade de limitar sobretensões em níveis adequados aos equipamentos e desviar altas correntes provenientes das descargas atmosféricas. Nas aplicações de energia solar fotovoltaica, o uso do DPS é justificado devido aos módulos fotovoltaicos estarem expostos ao tempo, aumentando o risco de sofrerem uma descarga atmosférica. Nesses casos, os DPS utilizados devem ser próprios para corrente contínua (DC) e, de preferência, uma combinação de dois tipos de tecnologia: de centelhador e de varistor.

O DPS (Classe I) – Entrada de Energia é o dispositivo utilizado na proteção contra os efeitos das descargas diretas; sua instalação é realizada no ponto de entrada da instalação. O DPS Classe I é o mais robusto em relação à capacidade de descarga. O DPS Classe I é a 10/350 μ s.

O centelhador (*spark gap*) atua com um curto-circuito desviando toda corrente de surto para a terra. É utilizado na proteção contra descargas diretas (raios).



Figura 9: DPS com centelhador (no detalhe).

Fonte: Acervo do autor

O DPS (Classe II) – Proteção de Quadros de Distribuição é o dispositivo adequado para a proteção contra os efeitos das descargas indiretas; sua instalação normalmente é feita no quadro de distribuição.



Figura 10: DPS com varistor (no detalhe).

Fonte: Acervo do autor

O varistor é o componente eletrônico que limita o nível de tensão a um dado valor desde que seja respeitada sua corrente nominal. É utilizado na proteção contra descargas indiretas.

O DPS (Classe III) – Proteção de Equipamentos é o dispositivo instalado para uma proteção complementar. É usado em níveis internos de proteção, sendo instalado próximo aos equipamentos para garantir uma proteção ainda maior.



Figura 11: DPS para proteção de equipamentos.

Fonte: Acervo do autor

As especificações da NBR 5410 (de instalações elétricas de baixa tensão) e da NBR 5419 (de proteção de estruturas contra descargas atmosféricas) indicam, em geral, os seguintes valores:

- áreas urbanas, próximas à região central, com prédios equipados com para-raios no entorno DPS de 12 kA a 20 kA;
- periferia de áreas urbanas, com poucos prédios sem para-raios no entorno: DPS de 30 kA a 45 kA;
- áreas rurais ou edificações afastadas (isoladas): DPS 60 kA ou maior.

O dispositivo diferencial residual (DR) possui internamente um núcleo toroidal no qual são enrolados os cabos que se deseja monitorar. Nos polos de entrada do DR são conectados os cabos fase e neutro (dependendo do modelo usado). A soma das correntes nas toroides de entrada e de saída é igual. Caso haja uma diferença de corrente de entrada e saída é indicio de que há fuga de corrente. A bobina de fuga acusa essa diferença e, se for superior à especificada (por exemplo, 30 μ A), ela acionará o gatilho de desarme.

Veamos, a seguir, as principais partes internas do interruptor diferencial residual (IDR):

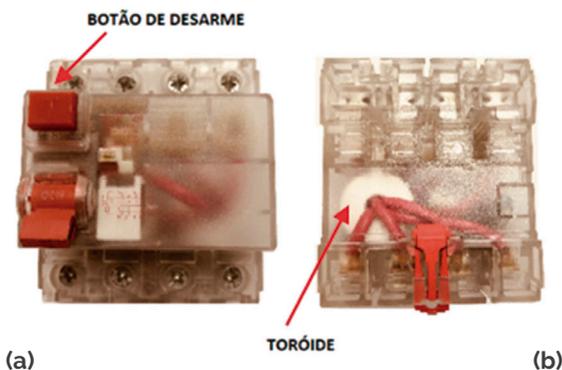


Figura 12: Interruptor DR: botão de desarme (a); toróide (b).

Fonte: Acervo do autor.

Veamos, a seguir, o esquema interno de ligação do dispositivo DR.

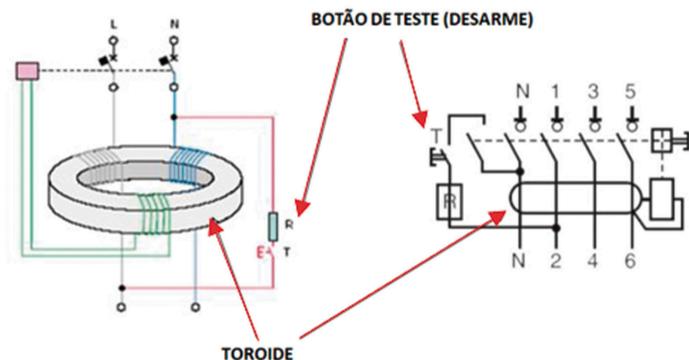


Figura 13: Esquema interno de ligação.

Fonte: Acervo do autor.

Veamos, agora, a diferença entre o interruptor DR (IDR) e o disjuntor DR (DDR).

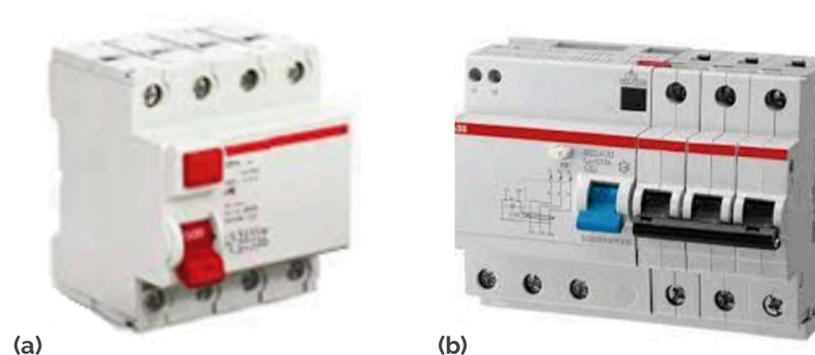


Figura 14: Interruptor DR (a); disjuntor DR (b).

Fonte: Acervo do autor

O interruptor diferencial residual (IDR) é um dispositivo que protege a instalação exclusivamente contra a fuga de corrente. Isso quer dizer que sua função primordial é detectar correntes de fugas no sistema e provocar seu seccionamento o mais rápido possível, para evitar danos fatais aos usuários.

O disjuntor diferencial residual (DDR) é um dispositivo que pode atuar como um IDR ou como um disjuntor termomagnético. Logo, ele atua tanto combatendo as correntes de fugas como as correntes de curtos-circuitos e sobrecargas.

4 Leitura e Interpretação de Desenhos Técnicos

O projeto de um sistema fotovoltaico começa pela definição da quantidade de energia a ser produzida, passa pelo cálculo da produção desejada e chega até a instalação. Em paralelo à adequação técnica, temos a parte de documentação, que abrange a homologação na concessionária de energia local.

Como instalador ou instaladora de SFV, será importante saber ler o esquema técnico de uma instalação. A partir dele, você deve identificar os elementos externos e internos para a montagem do sistema, ou seja, todo o caminho, desde a energia do Sol até a tomada dos painéis.

A seguir, temos um exemplo de montagem de um Projeto Fotovoltaico.

Na Figura 15, podemos observar, da esquerda para a direita, desde a entrada da energia solar pela menor unidade do módulo fotovoltaico, que é a célula, até o inversor, que fará a conexão com a energia elétrica alternada do imóvel.

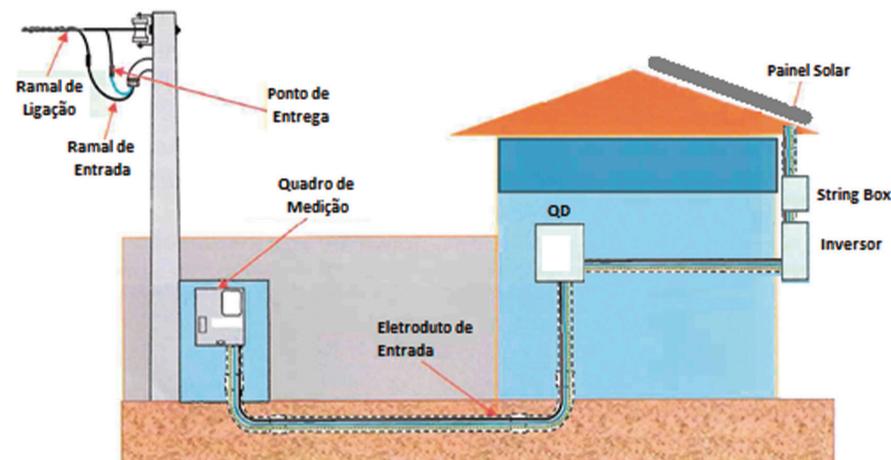


Figura 16: Configuração fotovoltaica residencial, com a entrada de elétrica da concessionária e a entrada de energia solar nos módulos (placas) fotovoltaicas (on-grid).

Fonte: Acervo do autor

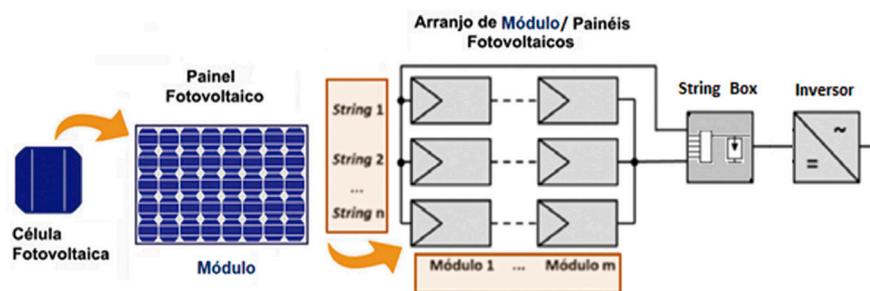


Figura 15: Configuração básica de um conjunto fotovoltaico.

Fonte: Acervo do autor

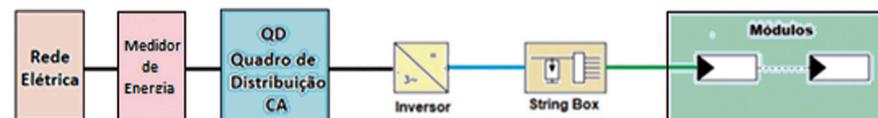


Figura 17: Arranjo básico de um conjunto fotovoltaico residencial.

Fonte: Acervo do autor

Vejamos, a seguir, um exemplo de um projeto real fotovoltaico instalado no campus IFSP, em São Paulo.

ARRANJO FÍSICO (Sem escala)

GERADOR FOTOVOLTAICO

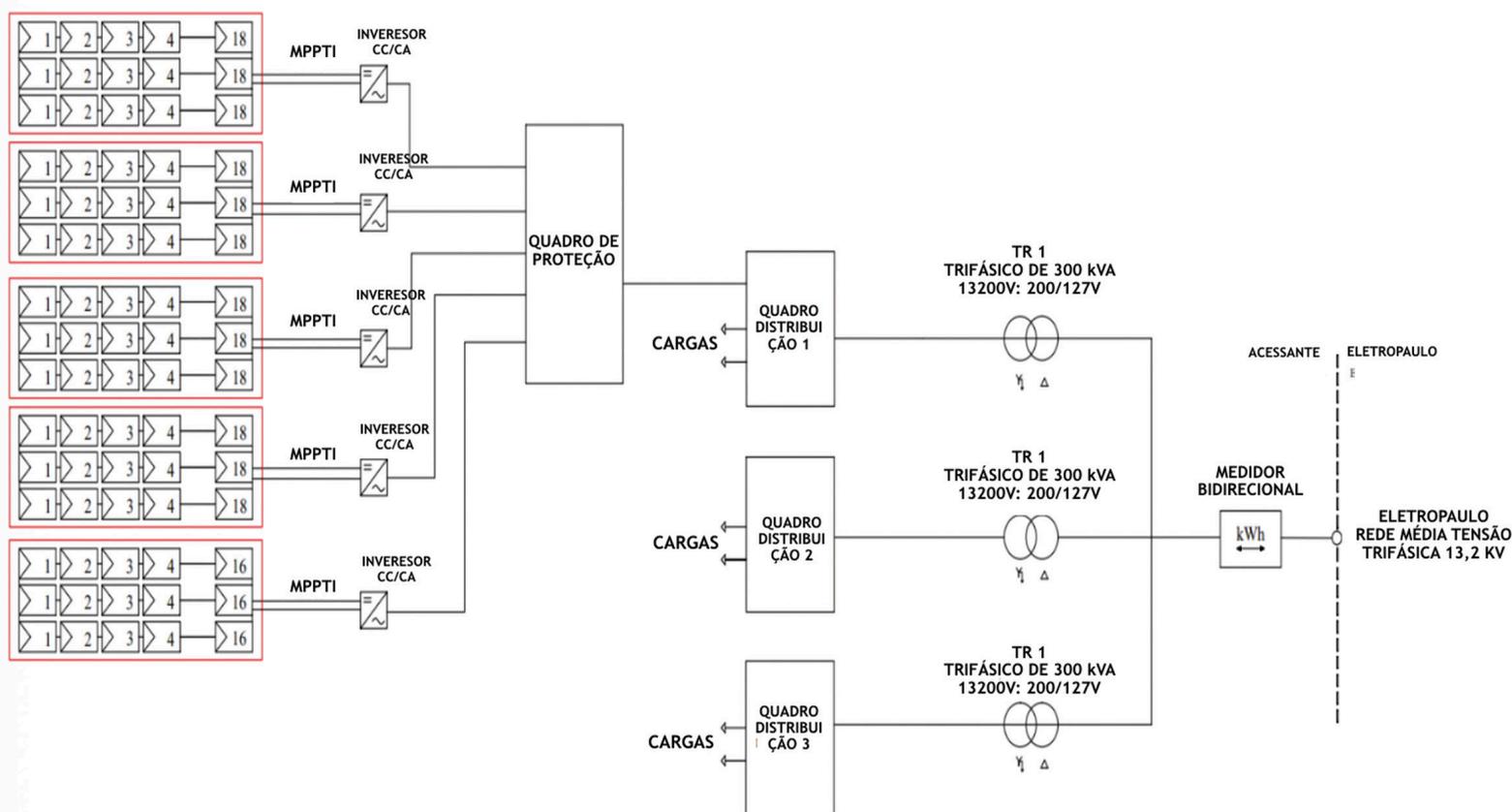


Figura 18: Desenho do Projeto Fotovoltaico do IFSP – Campus São Paulo.

Fonte: Acervo do autor

Amplificadores

Podemos observar que, cada vez mais, o uso de corrente contínua tem se tornado importante nas instalações elétricas, principalmente em áreas de segurança e fotovoltaicas. Por isso, a correta aplicação de sistemas de proteção se torna fundamental. O conhecimento por parte dos técnicos de como dimensionar adequadamente esses tipos de sistema poderá torná-los mais confiáveis e garantir o bom fornecimento de energia elétrica para o consumidor. Para dimensionar corretamente os disjuntores e os seccionadores, é necessário que o técnico aprenda as diferenças entre o sistema AC e o sistema DC (ou CA e CC); a maneira como se comporta uma rede em corrente contínua; e, como acontecem suas eventuais falhas.

Os dispositivos de proteção contra sobretensão e choques elétricos estão previstos tanto na ABNT NR 16274 quanto na IEC 60364-3, que tratam de sistemas fotovoltaicos conectados à rede - requisitos mínimos para a documentação, ensaio de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho. Vamos nos dedicar à parte de inspeção e ensaios de comissionamento, quando a norma instrui a inspeção da proteção contra sobretensão e choque elétrico. Dessa forma, uma exigência é que verifiquemos se os componentes utilizados na parte sob corrente contínua usam a especificação para DC (ou CC), assim como se os componentes instalados na parte de corrente alternada são especificados para trabalho com AC (ou CA). Existe grande diferenciação dos curtos-circuitos em correntes contínuas e correntes alternadas quanto ao arco voltaico, riscos à saúde e segurança, assim como quanto ao custo do equipamento.

O alto risco a que os moradores e bombeiros estão expostos, em caso de incêndio ou de enchente, não é eliminado pelo ponto de interrupção de CC prescrito na norma de instalação VDE 0100-712 (equivalente à IEC 60364-712). Com o referido ponto, que pode se localizar no montante do inversor ou mesmo no próprio inversor, o trecho dos cabos entre os módulos FV e o interruptor permanece sob tensão. Soluções alternativas instaladas diretamente nos módulos não obtiveram sucesso até o momento, em função dos elevados custos de instalação e operação. De fato, um dispositivo de manobra (relé, contator) com acionamento eletromecânico ou eletrônico utilizado nessa aplicação pressupõe sempre uma fonte de alimentação separada, além da necessidade de testes periódicos para garantir a funcionalidade..



Tecnologia em foco



Você sabe o que são disjuntores para corrente contínua de alta tensão (HVDC)? Esses equipamentos combinam mecanismos muito rápidos com eletrônica de potência e são capazes de “interromper” fluxos de energia equivalentes à saída de uma grande usina, em 5 milissegundos. Essa inovação garante mais segurança para as grandes gerações de energia solar.

A tecnologia HVDC é necessária para facilitar a transferência de energia a longa distância de usinas hidrelétricas, a integração da energia eólica *offshore*, o desenvolvimento de projetos de energia solar previstos e a interconexão de diferentes redes de energia. Acesse o link a seguir e leia um artigo sobre HVDC, considerado o futuro da transmissão da eletricidade.

<https://ichi.pro/pt/o-futuro-da-transmissao-de-eletricidade-e-hvdc-167128540237080>



Dicas para o instalador ou a instaladora de SFV

Torna-se muito importante o ou a projetista e o instalador ou instaladora especificar e utilizar equipamentos adequados ao uso do sistema em questão (por exemplo, circuitos de corrente contínua ou alternada).

É importante, também, saber identificar corretamente os equipamentos a serem utilizados, tais como: secção dos condutores, disjuntores e seccionadoras DC e AC e índice de proteção (IP) dos equipamentos, entre outros.



Situações de avaliação

Para identificar se alguns pontos importantes tratados aqui foram apreendidos por você, tente responder às perguntas a seguir. Caso você não se lembre de alguma resposta ou fique na dúvida, retorne a esses pontos nas seções trabalhadas ou busque informações na internet. Depois, volte a tentar respondê-las.

1. Quais são as funções de proteção dos disjuntores termomagnéticos (DTM)? E quais são os componentes internos usados para essas funções de proteção?
2. Existem diferenças entre os disjuntores em corrente alternada (AC) e os disjuntores em corrente contínua (DC)? Se existem, quais são?
3. Quais são as funções de proteção do interruptor diferencial residual (IDR)?
4. Quais são as funções de proteção do dispositivo de proteção de surto (DPS)?
5. Quais são as principais dificuldades de proteção no uso de circuitos de corrente contínua?

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

Presidente da República

Luiz Inácio Lula da Silva

Ministro de Estado da Educação

Camilo Sobreira de Santana

Secretário de Educação Profissional e Tecnológica

Getúlio Marques Ferreira

Coordenação do Projeto Profissionais do Futuro: Competências para a Economia Verde

Fábio de Medeiros

APOIO TÉCNICO

Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável por meio da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Diretor Nacional

Michael Rosenauer

Coordenação do Projeto Profissionais do Futuro: Competências para a Economia Verde

Julia Giebeler Santos

Coordenação do material

Roberta Knopki (GIZ)

Marco Antonio Juliatto (MEC)

Instalador de Sistemas Fotovoltaicos

Fichas de Conteúdo

Organização

Roberta Knopki (GIZ)

Projeto Instrucional

Cristine Barreto (Ohje Soluções de Aprendizagem)
Anderson Castanha

Autoria

Mario Sergio Cambraia (IFSP)

Design Instrucional

Cristine Barreto (Ohje Soluções de Aprendizagem)

Revisão de Língua Portuguesa

Patrícia Sotello

Projeto Gráfico e Diagramação

André Guimarães S. (Yellow Carbo Design)

Abril de 2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Instalador de sistemas fotovoltaico [livro eletrônico] :
fichas de conteúdo / coordenação Roberta Hessmann Knopki, Marco Antonio Juliatto. --
1. ed. -- Brasília, DF : Ministério da Educação :
Deutsche Gesellschaft für Internationale
Zusammenarbeit - GIZ, 2023.

PDF

Vários autores.

ISBN 978-85-92565-07-7

1. Energia - Fontes alternativas 2. Energia solar fotovoltaica 3. Instalações elétricas I. Knopki, Roberta Hessmann. II. Juliatto, Marco Antonio.

23-149831

CDD-621.47

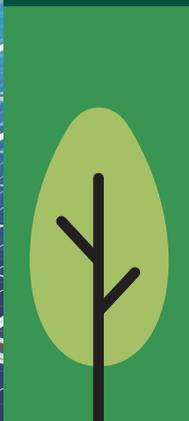
Índices para catálogo sistemático:

1. Energia solar fotovoltaica : Engenharia 621.47
Henrique Ribeiro Soares - Bibliotecário - CRB-8/9314

INFORMAÇÕES LEGAIS

As ideias e opiniões expressas nesta publicação são dos autores e não refletem necessariamente a posição do Ministério da Educação ou da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.

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



SFV

Curso Híbrido de Instalador de
Sistemas Fotovoltaicos