



POLÍCIA FEDERAL

DEA/CGPLAM/DLOG/PF

**DIRETRIZES DE PROJETOS DE SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE (SFCR)**

 PF DEA/CGPLAM/DLOG	DIRETRIZES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE (SFCR)	
	PROJETOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EDIFICAÇÕES DA POLÍCIA FEDERAL	EM REV 1 26/03/2020

ÍNDICE

1.	DESCRIÇÃO	4
2.	OBJETIVOS	4
3.	NORMAS GERAIS	4
4.	Glossário e Terminologia.....	5
5.	MOTIVAÇÃO E EXPLANAÇÃO TÉCNICA.....	6
5.1.	Fatores externos que interferem na geração fotovoltaica	8
5.2.	Topologia de uso de módulos fotovoltaicos com microinversores integrados e dos sistemas convencionais.....	8
5.3.	Micro e minigeração fotovoltaica.....	9
6.	CONDIÇÕES GERAIS.....	9
6.1.	Projeto Fotovoltaico – Itens Essenciais	9
6.2.	Critérios de Elaboração	10
6.3.	Apresentação do Projeto	10
6.4.	Garantia.....	10
7.	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA	11
7.1.	Avaliação do Recurso Solar	11
7.2.	Localização da Instalação dos Painéis.....	11
7.3.	Configuração do Sistema	12
7.4.	Levantamento da Demanda e do Consumo de Energia Elétrica.....	12
7.5.	Retorno do Investimento (Payback)	13
7.6.	Programa de Eficiência Energética	13
7.7.	Definição dos Painéis Solares	14
7.8.	Definição do inversor	15
7.9.	Demais elementos do Sistema.....	16
7.9.1.	Diodo de Bloqueio	17
7.9.2.	Fusíveis de Fileira (Corrente Contínua)	17
7.9.3.	Disjuntores	18
7.9.4.	Dispositivos de Proteção de Surtos (DPS)	18
7.9.5.	Sistema de Aterramento	18
7.9.6.	O medidor de energia	18
7.9.7.	Elemento de desconexão	19

	PF DEA/CGPLAM/DLOG	DIRETRIZES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE (SFCR)	
PROJETOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM EDIFICAÇÕES DA POLÍCIA FEDERAL		REV 1 26/03/2020	Página 3 de 20

7.9.8.	Elementos de Interrupção	19
7.9.9.	Proteção de sub e sobre frequência.....	19
7.9.9.1.	Proteção de sub e sobretensão	19
7.9.10.	Proteção de sobrecorrente	19
7.9.11.	Anti-Ilhamento	19
7.9.12.	Relé de Sincronismo.....	19
7.9.13.	Eletrodutos e Condutores	19
7.9.14.	Comissionamento	20
7.9.15.	Transformador.....	20
7.9	Projeto Elétrico	20
8.	REFERÊNCIAS.....	20

 PF DEA/CGPLAM/DLOG	DIRETRIZES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE (SFCR)	
	PROJETOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM EDIFICAÇÕES DA POLÍCIA FEDERAL	REV 1 26/03/2020

1. DESCRIÇÃO

Trata-se das diretrizes e condições gerais para elaboração de projetos de engenharia elétrica para instalações de Sistema Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCR) em edificações da Polícia Federal. Visando otimizar os recursos públicos os projetos de sistemas fotovoltaicos só podem ser iniciados após a finalização do projeto de eficiência energética sendo desejável etiquetagem do edifício.

Os projetos a que se refere o parágrafo anterior envolvem definições de parâmetros de projetos e formais de implementações.

A finalidade deste documento é fazer a viabilização de projetos e instalações de sistemas de geração fotovoltaicos na Polícia Federal, sendo esses otimizados, evitando que os sistemas sejam elaborados de maneira deficiente ou superdimensionados. Esta especificação originou-se das orientações encontradas em manuais para elaborações de projeto.

2. OBJETIVOS

Agilizar e otimizar o processo de elaboração dos projetos de instalação de sistemas de geração fotovoltaica para a Polícia Federal, mantendo um nível mínimo de aceitação.

3. NORMAS GERAIS

Todos os equipamentos, materiais, projetos e serviços devem estar em conformidade com a revisão vigente das normas técnicas publicadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) no momento da elaboração do projeto.

As principais normas a serem respeitadas no projeto e instalação de sistema fotovoltaico são:

- a) NBR 5410/2004 – Instalações Elétricas de baixa tensão;
- b) NBR 5419/2005 – Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas;
- c) NBR 16149/2013 – Sistemas fotovoltaicos, características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição;
- d) NBR 10899/2013 – Energia solar fotovoltaica – Terminologia.
- e) NBR 16150/2013 - Sistemas fotovoltaicos – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição – Procedimento de ensaio de conformidade;
- f) NBR 16274/2014 – Sistemas fotovoltaicos conectados à rede – requisitos mínimos para documentação, ensaios, de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho;
- g) PRODIST – Módulo 3: Acesso ao Sistema de Distribuição;
- h) Portaria 004/2011 – Inmetro: Requisitos de avaliação da conformidade para sistemas e equipamentos para energia fotovoltaica;
- i) Resolução Normativa nº 482/2012 (REN 482) da ANEEL;
- j) Normas da Concessionária de Distribuição de Energia Elétrica do local de instalação.
- k) Atlas Brasileiro de Energia Solar, disponível no site <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>

	PF DEA/CGPLAM/DLOG	DIRETRIZES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE (SFCR)	
		PROJETOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM EDIFICAÇÕES DA POLÍCIA FEDERAL	REV 1 26/03/2020

Na falta de uma norma brasileira para alguma situação, devem ser atendidas, nas mesmas condições, os padrões da IEC e da ISO. Se estas ainda forem insuficientes, a Fiscalização deve ser consultada.

Os painéis fotovoltaicos e os inversores a serem adquiridos necessitam de registro no Inmetro, sendo obrigatoriamente de categoria “A”. Destaca-se que inversores de potência muito elevada não possui classificação no Inmetro. Nesse caso, na ausência de classificação do Inmetro, deve utilizar outro organismo certificador internacional.

4. Glossário e Terminologia

Os termos mais utilizados na definição de sistema fotovoltaicos se encontram, entre outras fontes na NBR 10899/2013, e se encontram a seguir descritos:

- **Arranjo fotovoltaico:** conjunto de módulos fotovoltaicos ou subarranjos fotovoltaicos mecânica e eletricamente integrados, incluindo a estrutura de suporte. Um arranjo fotovoltaico não inclui sua fundação, rastreador solar, controle térmico e outros elementos similares. Normalmente o arranjo fotovoltaico corresponde a um conjunto de módulos fotovoltaicos, séries fotovoltaicas ou subarranjos fotovoltaicos eletricamente conectados em paralelo.
- **Caixa de junção:** invólucro no qual subarranjos fotovoltaicos, séries fotovoltaicas ou módulos fotovoltaicos são conectados em paralelo, e que aloja dispositivos de proteção e/ou seccionamento.
- **Célula fotovoltaica:** dispositivo fotovoltaico elementar especificamente desenvolvido para realizar a conversão direta de energia solar em energia elétrica.
- **Eficiência de conversão fotovoltaica:** razão entre a potência máxima fornecida e o produto da área total do módulo, ou da célula, pela irradiância total, para valores preestabelecidos de temperatura, especificada na forma de porcentagem.
- **Gerador fotovoltaico:** gerador que utiliza o efeito fotovoltaico para converter a luz do sol em eletricidade. O gerador fotovoltaico não inclui dispositivos de armazenamento de energia ou acondicionamento de potência. Na prática, o gerador fotovoltaico normalmente corresponde a uma célula fotovoltaica, a um módulo fotovoltaico ou a um arranjo fotovoltaico.
- **Inversor:** conversor estático de potência que converte a corrente contínua do gerador fotovoltaico em corrente alternada.
- **Inversor com função anti-ilhamento:** inversor que deixa de fornecer energia à rede elétrica, quando esta estiver fora das especificações normais de operação de tensão e/ou frequência.
- **Módulo fotovoltaico CA:** conjunto integrado módulo/inversor, cujos terminais de interface são unicamente CA, sem qualquer acesso ao lado c.c.
- **Módulo fotovoltaico:** unidade básica formada por um conjunto de células fotovoltaicas, interligadas eletricamente e encapsuladas, com o objetivo de gerar energia elétrica.
- **Potência de pico ou nominal:** potência de saída de um gerador fotovoltaico, sob as condições-padrão de ensaio. A unidade demedida utilizada para a potência de pico ou nominal é o watts-pico (Wp).

	PF DEA/CGPLAM/DLOG	DIRETRIZES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE (SFCR)	
PROJETOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM EDIFICAÇÕES DA POLÍCIA FEDERAL		REV 1 26/03/2020	Página 6 de 20

- **Radiação solar:** forma de transferência de energia advinda do sol, por meio da propagação de ondas eletromagnéticas (ou fótons).
- **Sistema fotovoltaico:** conjunto de elementos que geram e fornecem eletricidade pela conversão da energia solar.
- **Sistema *Off-grid*:** são sistemas autônomos, independentes da rede de distribuição de energia elétrica e que se sustentam através de baterias.
- **Sistema *On-grid ou grid-tie*:** são sistema fotovoltaico que necessita estar conectado à rede de distribuição de energia.
- **Temperatura nominal de operação da célula:** temperatura média de equilíbrio da célula fotovoltaica encapsulada em um módulo, em um ambiente com irradiância de 800 W/m², temperatura ambiente de 20 °C, velocidade do vento de 1 m/s e em circuito aberto.

5. MOTIVAÇÃO E EXPLANAÇÃO TÉCNICA

O aproveitamento da energia solar se mostra uma tendência, tanto pela natureza da energia quanto pela evolução tecnológica dos elementos de geração. A energia solar possui uma grandeza elevada, estimasse que em apenas 2 horas o planeta recebe energia solar suficiente para suportar todo o consumo energético anual da humanidade. Vale destacar que a posição geográfica do Brasil é privilegiada por possuir um elevado índice de irradiação solar médio.

 PF DEA/CGPLAM/DLOG	DIRETRIZES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE (SFCR)	
	PROJETOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM EDIFICAÇÕES DA POLÍCIA FEDERAL	REV 1 26/03/2020

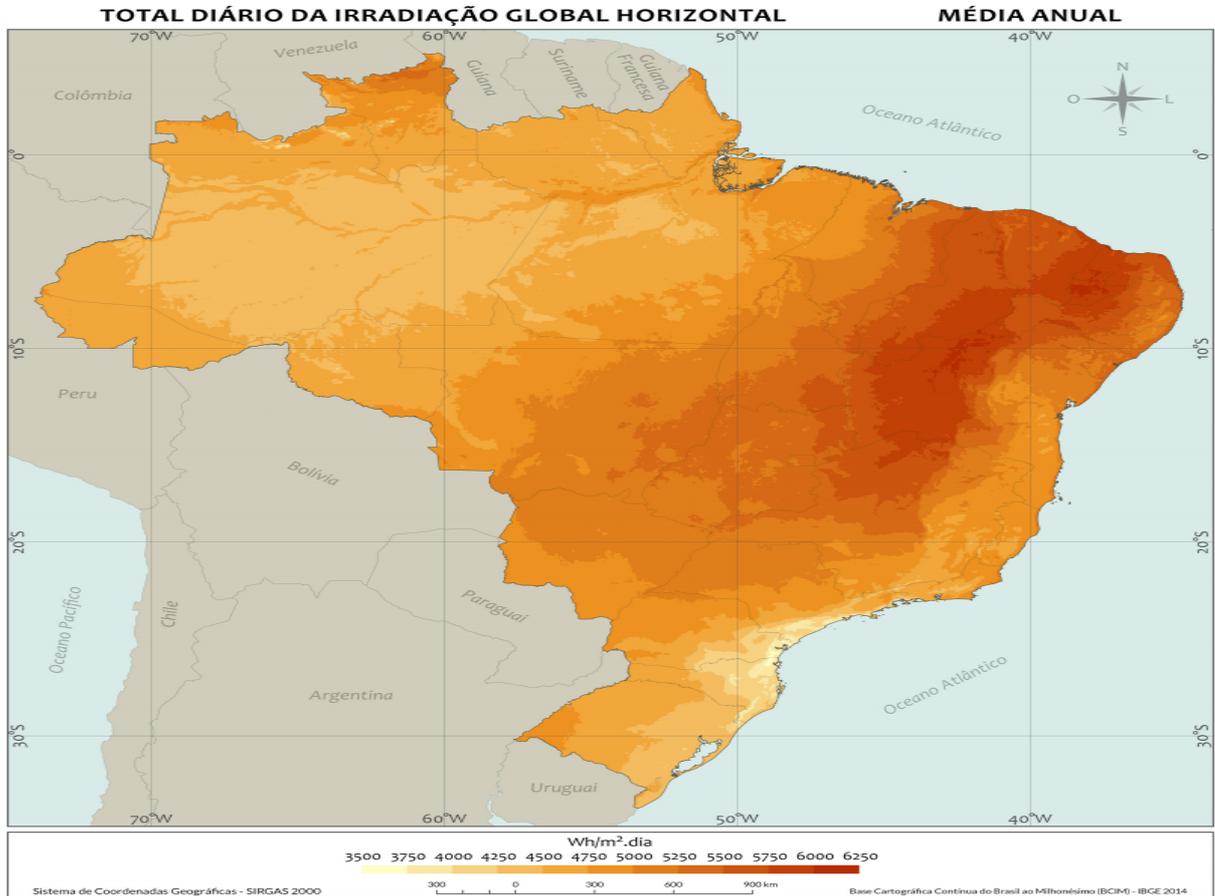


Figura 01: Atlas Brasileiro de Energia Solar, INPE, 2017.

O presente documento se pauta nas instalações de geradores fotovoltaicos em edificações da Polícia Federal, sendo importante salientar a diferença entre coletores solares de aquecimento de água que unicamente aquecem e acumulam água quente em reservatórios e os geradores fotovoltaicos, que captam a radiação solar e a convertem em energia elétrica por meio de células fotovoltaicas, encaminhado a eletricidade para a rede de alimentação.

As células fotovoltaicas a serem utilizadas nos geradores projetados para as edificações da Polícia Federal serão compostas de silício monocristalino (m-Si) ou silício policristalino (p-Si), por se tratar de uma tecnologia consolidada, confiável e disponível no mercado.

Com a tecnologia atualmente utilizada desaconselha-se a tentativa de projetos isolados da rede, com estrutura de armazenamento por baterias. A proposta dessas diretrizes é unicamente para sistemas conectados à rede elétrica.

Nos projetos atuais deste sistema, durante a falta da energia da rede elétrica a geração fotovoltaica suspende sua produção. A mesma suspensão ocorre durante o período em que não há energia da rede e o gerador do edifício (quando existir) entra em operação.

O projeto de sistema de geração fotovoltaica para edifícios da Polícia Federal envolve orientação e posicionamento de módulos solares diante da disponibilidade de espaço, não

	PF DEA/CGPLAM/DLOG	DIRETRIZES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE (SFCR)	
		PROJETOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM EDIFICAÇÕES DA POLÍCIA FEDERAL	REV 1 26/03/2020

prejudicando a estética do edifício. Através do projeto pretende-se adequar o gerador fotovoltaico às necessidades definidas pela demanda total ou parcial (nos casos em que não seja possível montar sistema de geração compatível com a demanda).

5.1. Fatores externos que interferem na geração fotovoltaica

A geração efetiva de um sistema fotovoltaico sobre influência de alguns fatores externos que muitas vezes são regionais, tais como:

- a) Irradiação solar média anual: Em que se pese a irradiação média nacional ser elevada em relação a, por exemplo, a Europa, algumas regiões possuem uma maior ou menor incidência média. Uma estimativa do valor da irradiação na região em que se visa instalar o sistema solar pode ser obtido em mapas de irradiação ou em sites governamentais como o do Atlas Brasileiro de Energia Solar, disponível no site <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>.
- b) Temperatura ambiente: O sistema fotovoltaico, em especial as placas fotovoltaicas, quando instalados em uma localidade de temperatura elevadas, tendem a perder rendimento em sua geração. Entretanto, esse fator não inviabiliza a implementação do sistema, apenas deve ser analisado na definição da energia anual a ser gerada.
- c) Sombras parciais em placas: A posição de instalação dos painéis pode deixá-los suscetíveis ao sombreamento em partes do dia ou época do ano. É muito importante o estudo do sombreamento para não comprometer a produção energética. Destaca-se que o sombreamento em apenas um painel compromete a produção energética de todos os painéis ligados em série.
- d) Sujeira: Poeira e poluição tipicamente afetam a produção caso não sejam observados e evitados locais mais suscetíveis a estes fatores.

5.2. Topologia de uso de módulos fotovoltaicos com microinversores integrados e dos sistemas convencionais

Os sistemas convencionais de geração fotovoltaicas são compostas por placas que geram tensão elétrica em corrente-contínua, sendo posteriormente agrupados em série ou paralelo e direcionado a um ou mais inversores que convertem a energia para corrente-alternada.

O sistema convencional sofre efeito diretamente do sombreamento em painéis, sendo que a sombra implica na redução da geração de todos os painéis ligados a esse em série.

Nos casos com sombreamento inevitável em algumas placas do sistema, é possível optar por sistemas MLPE (do Inglês: “*Module Level Power Electronics*”, que são sistemas seja com microinversores ou com otimizadores de potência. No caso dos microinversores não há acesso à parte de corrente-contínua dos painéis solares, cada painel solar já é conectado diretamente em um pequeno inversor que entrega a energia em corrente-alternada diretamente a rede, dispensando um inversor único que concentra a geração. Já no caso dos otimizadores de potência, é preservada a figura de um inversor único, porém os módulos são conectados à pequenos dispositivos chamados de otimizadores de potência, que nivelam os níveis de tensão e corrente, permitindo um melhor aproveitamento de cada módulo. Assim, caso alguma placa fotovoltaica não estiver gerando devidamente (por sombreamento, sujeira, etc..) as demais

	PF DEA/CGPLAM/DLOG	DIRETRIZES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE (SFCR)	
		PROJETOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM EDIFICAÇÕES DA POLÍCIA FEDERAL	REV 1 26/03/2020

seguem gerando com intensidade nominal. Entretanto, esse sistema possui a desvantagem de possuir um custo mais elevado se comparado ao sistema convencional.

A necessidade de uso de tecnologia MLPE não inviabiliza o projeto da geração fotovoltaica em edifícios da Polícia Federal, entretanto é um fator que deve ser avaliado em casos específicos.

5.3. Micro e minigeração fotovoltaica

Dependendo da dimensão do gerador fotovoltaico a ser instalado temos a classificação do sistema em micro ou minigeração solar, a qual é definida pela Resolução Normativa da Aneel nº 482/2012 e suas revisões, que considera a microgeração como um gerador de potência instalada menor ou igual a 75 kW e a minigeração na faixa entre 75 kW e 5 MW.

6. CONDIÇÕES GERAIS

6.1. Projeto Fotovoltaico – Itens Essenciais

O projeto SFCR em edificações da PF consiste na elaboração dos seguintes documentos:

- Memorial Descritivo;
- Diagrama unifilar e de blocos do sistema de geração e proteção;
- Especificação técnica dos equipamentos e materiais a serem utilizados, constando o dimensionamento do gerador em comparação com o estudo do consumo de energia;
- Certificado de conformidade do(s) inversor(es) ou número de registro da concessão do Inmetro do(s) inversor(es) para a tensão nominal de conexão com a rede;
- Formulários a serem entregues à distribuidora local para obtenção do parecer de acesso;
- Projeto estrutural de fixação da instalação das placas quando necessário;
- Definição do Sistema de proteção;
- Estudo quanto à posição e abordagem de instalação dos painéis solares para a otimização de incidência solar (identificação e seleção da localização mais adequada para instalação do SCFCR e da conexão do mesmo ao prédio a ser alimentado);
- Demonstrativo de estimativa de Geração e retorno do Investimento, apresentando um cálculo da produção de energia estimada anual;
- Projeto elétrico de interface do sistema de geração com o sistema elétrico predial;
- Plantas Elétricas;
- Aprovação do projeto legal na Concessionária de Energia Elétrica do local da instalação;
- ART's;
- Definição de garantias do sistema e tipo de monitoramento de geração;
- Especificações;
- Lista de Materiais;
- Planilha Orçamentária;
- Cronograma Físico-Financeiro;
- Licenças ambientais, quando aplicáveis.

Vale destacar que a lista acima é extensiva e certos itens podem não ser exigidos por concessionários locais. A ANEEL faculta aos distribuidores a criação de mecanismos que

	PF DEA/CGPLAM/DLOG	DIRETRIZES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE (SFCR)	
		PROJETOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM EDIFICAÇÕES DA POLÍCIA FEDERAL	REV 1 26/03/2020

simplifiquem e facilitem o acesso à rede, como forma de incentivar a instalação de novos geradores.

6.2. Critérios de Elaboração

Os critérios a seguir devem ser levados em consideração na elaboração de um projeto de instalações de SFCR para a PF:

- *Topologia do sistema para um maior aproveitamento solar* – Cada região possuiu a melhor posição e ângulo em relação ao sol, em que se terá a maior captação solar. Em linhas gerais as placas devem ficar direcionadas ao norte com uma inclinação otimizada de acordo com sua localização (latitude e longitude). Além disso, é recomendado a compatibilização com os projetos estruturais e de cobertura / telhados para melhor aproveitamento da radiação solar incidente;
- *Confiabilidade* – O projeto deve ser feito com estreito atendimento às normas técnicas, objetivando garantir o perfeito funcionamento dos componentes do sistema, a integridade física dos seus usuários e a preservação das condições locais e ambientais.
- *Economicidade* – Deve ser conduzida análise da economicidade do projeto, que é a verificação da capacidade da contratação em resolver problemas e necessidades reais do contratante, da capacidade dos benefícios futuros decorrentes da contratação compensarem os seus custos e a demonstração de ser a alternativa escolhida a que traz o melhor resultado estratégico possível de uma determinada alocação de recursos financeiros, econômicos e/ou patrimoniais. Essa análise é bastante conhecida como análise custo/benefício.

6.3. Apresentação do Projeto

O projeto Básico deve estabelecer as características, dimensões, especificação e as quantidades de serviços e de materiais, custo e tempo necessários para execução da obra, contendo desenhos (diagramas, plantas, etc), memória descritiva e de cálculo, especificações técnicas, orçamento e cronograma físico financeiro.

Após a elaboração do projeto básico deve ser elaborado o projeto executivo que apresenta o conjunto dos elementos necessários e suficientes à execução completa da obra, de acordo com as normas e legislações pertinentes.

6.4. Garantia

O contrato de serviço de instalação deve prever uma fase de garantia de funcionamento do sistema e de equipamentos. Além disso, o fornecedor deve apresentar garantia de desempenho, atendendo à geração de energia estimada em projeto, ressalvado problemas não vinculados ao sistema, tais como níveis de irradiação anual muito abaixo da média histórica, períodos de “apagão”, desconexões da rede interna para manutenção de aparelhos não relacionados ao SCFR, etc.

Entre os elementos de garantia está o tempo para a conclusão da instalação, que deve atender aos definidos em normais e ao exigido pelo projeto. Assim, deve ser previsto tempo de garantia para o serviço de instalação dos equipamentos e que seja apresentado os certificados de garantia de fábrica para os equipamentos do sistema de geração.

	PF DEA/CGPLAM/DLOG	DIRETRIZES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE (SFCR)	
		PROJETOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM EDIFICAÇÕES DA POLÍCIA FEDERAL	REV 1 26/03/2020

Quanto à garantia de desempenho deve ser incluída a garantia quanto à capacidade de geração fotovoltaica tal como o projetado, onde a potência medida dos módulos e a geração verificada não podem apresentar valores inferiores a tolerâncias definidas no projeto.

7. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA

Para o dimensionamento do sistema de geração deve ser inicialmente utilizado o histórico de consumo de energia do edifício no período de três anos (caso haja) adicionando um estudo quanto a tendência futura de aumento ou redução de consumo. De maneira geral, a dimensão do sistema de geração deve atender a demanda de energia média anual verificada no histórico de consumo, ressalvado os casos em que não há espaço físico para instalação dos painéis ou que o estudo de tendência indicar uma alteração futura de demanda.

Da mesma forma, deve ser seguida outras análises do projeto:

- 1- Levantamento adequado do recurso solar disponível no local da instalação;
- 2- Definição da localização e configuração do sistema;
- 3- Levantamento adequado de demanda e consumo de energia elétrica;
- 4- Dimensionamento do gerador fotovoltaico;
- 5- Dimensionamento dos equipamentos de condicionamento de potência, inversores e transformador (quando necessário);

7.1. Avaliação do Recurso Solar

Um gerador fotovoltaico tem suas características elétricas dependentes basicamente da irradiância e da temperatura nos módulos. A influência da irradiância solar é muito mais significativa do que a da temperatura. A irradiância varia em curtos intervalos de tempo vinculado a nuvens e dias chuvosos e lentamente com as estações do ano. Em todos os casos deve se utilizar uma estimativa média anual definindo uma energia mínima anual gerada.

7.2. Localização da Instalação dos Painéis

A escolha do local em que os painéis fotovoltaicos serão instalados são determinantes nos custos e no desempenho do sistema. Pode ocorrer, também, a falta de espaço físico para a estrutura da geração plena da demanda de consumo. A integração com elementos arquitetônicos e a presença de elementos de sombreamento podem afetar a eficiência da geração fotovoltaica. O estudo da localização de instalação dos painéis deve estar incluído no estudo da viabilidade do sistema, do pré-projeto e posteriormente do projeto do sistema.

Além disso, é de suma importância observar os requisitos normativos relativos às cargas de vento da região. O local e estrutura de fixação escolhidos devem estar em conformidade com a NBR6123, que descreve as velocidades máximas de vento que devem ser observadas em cada região do Brasil.

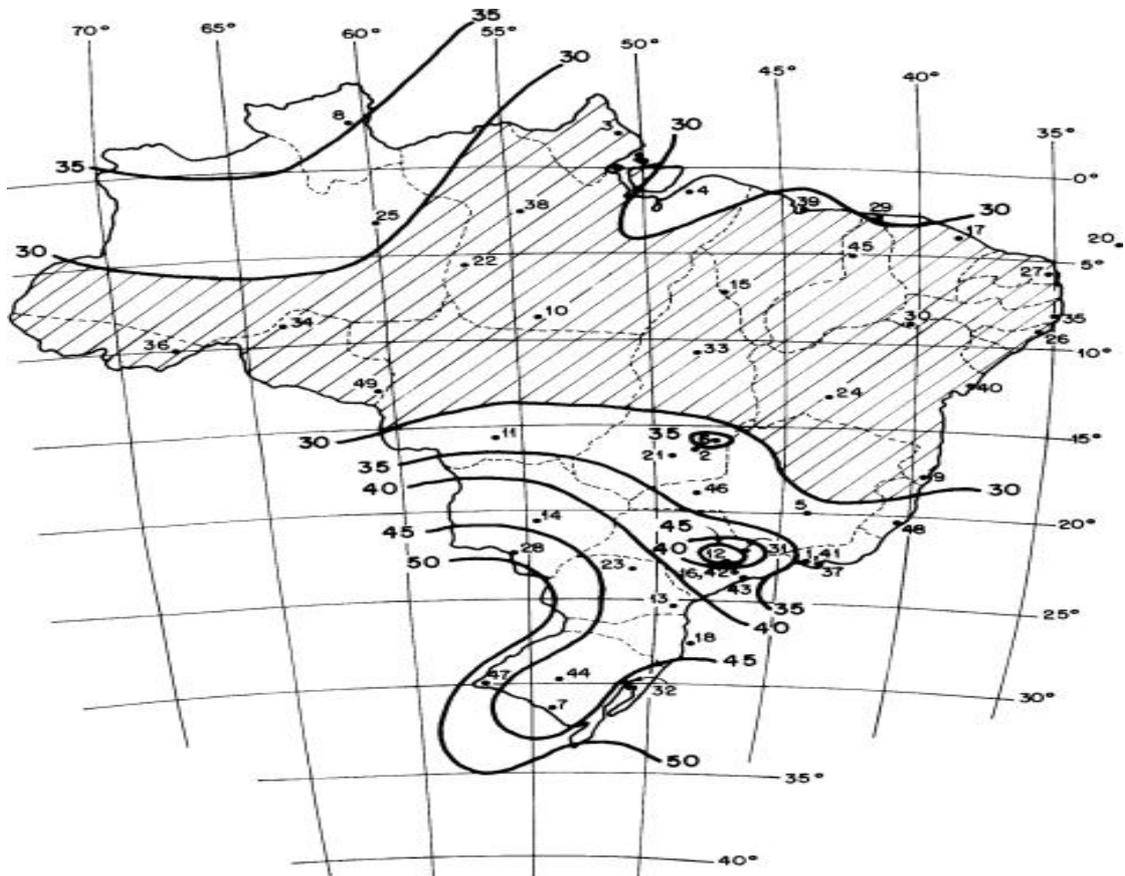


Figura 02: Mapa indicativo de cargas de vento por região (NBR6123).

7.3. Configuração do Sistema

Os Sistemas Fotovoltaicos podem ser classificados em sistemas interligados à rede, autônomos ou híbridos. O sistema de geração utilizado pela Polícia Federal será o interligado à rede elétrica (SFCR). Somente se deve projetar sistemas isolados ou híbridos (com uso de banco de baterias) nos casos em que for inviável a conexão à rede elétrica.

7.4. Levantamento da Demanda e do Consumo de Energia Elétrica

Os projetos de SFCR na Polícia Federal devem buscar atender a demanda de consumo da unidade a ser instalada, entretanto não há a necessidade do atendimento pleno quando há limitação de espaço para a instalação. Vale destacar que durante o estudo da demanda é preciso avaliar se há uma tendência de elevar ou reduzir o consumo de energia nos próximos anos.

Para o dimensionamento da potência do sistema é importante para o entendimento do sistema de compensação definido no país. No sistema de compensação de energia adotado no Brasil (REN 482/2012 da ANEEL), quando o gerador produzir mais energia que a demandada pela instalação consumidora, a energia excedente é entregue à rede elétrica e o medidor registra essa energia. O contrário ocorre quando a edificação consome mais energia do que a gerada pelo sistema fotovoltaico, nesse caso ocorre o registro no fluxo do sentido convencional.

	PF DEA/CGPLAM/DLOG	DIRETRIZES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE (SFCR)	
PROJETOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM EDIFICAÇÕES DA POLÍCIA FEDERAL		REV 1 26/03/2020	Página 13 de 20

No fim do mês, caso o balanço energético seja positivo (o consumidor gerou mais energia que consumiu), a distribuidora disponibilizará um crédito energético referente ao excedente, que será compensado nas faturas subsequentes, em um prazo de até 60 meses.

Os créditos de energia que não tenham sido compensados na própria unidade consumidora poderão ser utilizados em outras unidades, previamente cadastradas e atendidas pela mesma distribuidora, cujo titular seja o mesmo da unidade com sistema de compensação de energia elétrica (possuidor do mesmo CNPJ).

A energia injetada na rede da concessionária é passível de tributação (ICMS). A cobrança ou não varia de estado para estado e tipicamente podem ser **integral**, cobrada em cima das duas componentes principais da tarifa de energia, da TE (Tarifa da Energia, que remunera a energia propriamente dita) e da TUSD (Tarifa de Utilização do Sistema de Distribuição, que remunera a infraestrutura de transporte da energia); ou podem ser **parcial**, cobrada apenas em cima da componente TUSD (como é o caso do Estado do Paraná); e, finalmente, pode ser **totalmente isenta** de impostos (como é o caso do Estado de Minas Gerais).

Como, no caso do consumo junto à geração, uma parcela significativa da energia gerada é consumida imediatamente, não chegando a ser injetada na rede das concessionárias, não há de se falar em tributação ou tarifação. Portanto, deve-se avaliar com critério a opção de gerar em uma UC “A” e consumir em uma UC “B”, já que, neste caso, 100% da energia que chega na UC “B”, estará sujeita à cobrança de impostos e, eventualmente, potenciais tarifas.

7.5. Retorno do Investimento (Payback)

Ao se realizar o estudo de instalação de geração solar, deve-se calcular a estimativa da economia energética mensal e anual na fatura de energia elétrica da edificação, obtendo posteriormente o tempo de retorno do investimento (*payback*).

No caso de instalação de SFCR o *Payback* se mostra em torno de cinco anos, não devendo, em princípio, ser superior a oito anos.

7.6. Programa de Eficiência Energética

De forma a garantir um consumo de energia mais sustentável e eficiente, tanto para o meio ambiente quanto para a Unidade Consumidora (UC), com redução de gastos de custeio, torna-se necessária a substituição de equipamentos elétricos e / ou retrofit das instalações atuais por equipamentos tecnológica e energeticamente mais avançados e eficientes.

A unidade deverá apresentar o histórico de consumo de energia elétrica em planilha a ser disponibilizada para a DEA/CGPLAM/DLOG/PF assim como todas as cópias das faturas, consolidadas num documento denominado **Diagnóstico Energético**, no qual deverão ainda estar presentes as ações levantadas e necessárias para uma implementação de um Programa de Eficiência Energética.

Neste contexto, **como pré-requisito para a aprovação**, pela DEA/CGPLAM/DLOG/PF, de SFCR na respectiva unidade da PF, é necessária a apresentação de um Projeto de Eficiência Energética que otimize o consumo e promova a eficiência energética de equipamentos, processos e usos finais de energia elétrica.

	PF DEA/CGPLAM/DLOG	DIRETRIZES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE (SFCR)	
		PROJETOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM EDIFICAÇÕES DA POLÍCIA FEDERAL	REV 1 26/03/2020

Os projetos podem ter como objeto retrofiting, plano de operação e manutenção, substituição de equipamentos com maior potencial de economia e eficiência energética para os usos finais de iluminação e climatização e outras práticas racionais de uso da energia elétrica seguindo as recomendações do Programa de Eficiência Energética da ANEEL.

7.7. Definição dos Painéis Solares

Na definição da placa, deve-se optar pela tecnologia fotovoltaica de primeira geração (silício de mono ou policristalino). Essa definição se deve ao fato de ser a mais utilizada e comercializada.

Quanto à eficiência, a placa fotovoltaica utilizada deve ter classificação “A” no Inmetro. Tipicamente é importante avaliar a relação de custo vs. potência das placas. Uma placa de 400W produzirá a mesma energia de duas placas de 200W, entretanto a segunda opção ocupará mais espaço físico. Sendo que módulos fotovoltaicos de menor potência tem uma eficiência menor (uma potência menor por m²). Na maior parte dos casos o espaço disponível para a instalação do sistema é limitado, sendo importante avaliar opções de maior eficiência, mesmo que o custo seja mais elevado. Como definição, sugere-se a utilização de placas fotovoltaica de uma potência mínima de 320 Watts por placa e com uma eficiência mínima de 16 %.

Vale destacar que as placas comercialmente possuem cerca de 2 metros quadrados, e nos casos em que o espaço físico para instalação de placas for reduzido deve-se optar pelas placas fotovoltaicas de maior potência, no caso, igual ou superior a 400 Watts por placa.

Na topologia do sistema, ao se interconectar as placas fotovoltaicas, deve-se fazer arranjos em série, paralelo ou mista, sendo que posteriormente essas são conectadas ao(s) inversor(es). A definição do arranjo depende da potência a ser instalada e da característica das placas e inversores. As especificações devem ser realizadas na fase de projeto.

Quanto à garantia deve exigir uma garantia mínima de 10 anos para defeitos de fabricação e de 25 de performance, com uma eficiência de pelo menos 80% da nominal ao final dos 25 anos.

Quanto a inclinação das placas, o planeta terra, em seu movimento anual em torno do Sol, descreve uma trajetória elíptica em um plano que é inclinado de aproximadamente 23,5° com relação ao plano equatorial.

A posição angular do Sol, ao meio dia solar, em relação ao plano do Equador (Norte positivo), é chamada de declinação solar (δ) que varia de acordo com os seguintes limites: $-23,5^\circ \leq \delta \leq 23,5^\circ$. Dependendo da posição em relação ao Equador (latitude) se tem o ângulo que melhor otimiza a geração dos painéis.

A tabela 01 apresenta alguns valores médios do ângulo em relação ao solo que a placa deve ser instalada em cada Estado. Vale destacar que a placa deve ser preferencialmente instalada direcionada para o norte.

Tabela 01: Inclinação dos Painéis fotovoltaicos (em graus).

 PF DEA/CGPLAM/DLOG	DIRETRIZES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE (SFCR)	
	PROJETOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM EDIFICAÇÕES DA POLÍCIA FEDERAL	REV 1 26/03/2020

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

Ainda que válida a regra de inclinar os painéis a um grau equivalente à latitude do local, devem ser observados também fatores climáticos. Dois lugares com a mesma latitude podem ter períodos de seca ou chuva em estações diferentes ao longo do ano, o que pode fazer com que priorizar o verão (reduzindo a inclinação) ou o inverno (aumentando a inclinação) resulte em uma maior produtividade média anual.

7.8. Definição do inversor

Por definição de configuração de sistema, deve-se optar pelo inversor chamado de “Grid-Tie” ou “Grid-Connected”, com seu funcionamento conectado à rede elétrica. As edificações da Polícia Federal possuem, por regra, potências instaladas muito superiores a 10 kW necessitando do uso em projeto de inversores trifásicos em baixa ou média tensão.

Tabela 02: Níveis de Tensão considerados para conexão de micro e minicentraís geradores.

Potência Instalada	Nível de Tensão de Conexão
< 10 kW	Baixa Tensão (monofásico, bifásico ou trifásico)
10 a 100 kW	Baixa Tensão (trifásico)
101 a 500 kW	Baixa Tensão (trifásico) / Média Tensão
501 kW a 1 MW	Média Tensão

Nota: A quantidade de fases e o nível de tensão de conexão da central geradora serão definidos pela distribuidora em função das limitações técnicas da rede.

O Inversor projetado deve possuir as seguintes funções: conversão CC – CA, ajuste do ponto operacional do Inversor ao MPPT do Gerador Fotovoltaico, registro de dados operacionais, desconexão automática ou manual da rede, dispositivos de proteção CA e CC, proteção contra sobrecargas, proteção contra sobretensões, proteção contra troca de polaridade, anti-ilhamento (a interrupção de funcionamento com a ausência momentânea da rede elétrica) e proteção contra excessiva elevação de temperatura.

Quanto à potência do inversor ou inversores em relação à potência de geração das placas, segundo recentes estudos do LABSOLAR (UFSC), existem pouca variação de produção

 PF DEA/CGPLAM/DLOG	DIRETRIZES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE (SFCR)	
	PROJETOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM EDIFICAÇÕES DA POLÍCIA FEDERAL	REV 1 26/03/2020

de energia para Inversores subdimensionados ao Gerador Fotovoltaico. O percentual de potência dos inversores com relação ao sistema fotovoltaico é definido na faixa de 85% até a potência nominal plena do Gerador Fotovoltaico.

As normas e regras que regem a avaliação da conformidade desses inversores são: ABNT NBR 16149:2013; ABNT NBR 16150:2013; IEC 61727:2004; IEC 62116:2008; e IEC 62109-1:2010.

O(s) inversor(es) a ser(em) utilizado(s) deve(m) possuir as seguintes características:

- a) Alta eficiência de conversão, tanto em carga nominal quanto em cargas parciais, sendo superior a 97 % de eficiência;
- b) Alta confiabilidade (MTBF) e baixa manutenção (MTTR);
- c) Operação em uma faixa ampla de tensão de entrada;
- d) Boa regulação na tensão de saída;
- e) Forma de onda senoidal com baixo conteúdo harmônico;
- f) Baixa emissão de ruído audível;
- g) Grau de proteção IP adequado ao tipo de instalação;
- h) Garantia de fábrica de pelo menos 5 anos;
- i) Registro no Inmetro (destaca-se que inversores de potência superiores a 10kW não têm registro no Inmetro. Cabe à cada concessionária fazer um cadastro baseado em certificações internacionais como por exemplo da TUV Rheinland.)

7.9. Demais elementos do Sistema

A tabela 03 apresenta alguns requisitos mínimos para o sistema dependendo da potência instalada.

Tabela 03: Requisitos mínimos de conexão em função da potência instalada.

EQUIPAMENTO	Potência Instalada		
	Menor ou igual a 75 kW	Maior que 75 kW e menor ou igual a 500 kW	Maior que 500 kW e menor ou igual a 5 MW
Elemento de desconexão ⁽¹⁾	Sim	Sim	Sim
Elemento de interrupção ⁽²⁾	Sim	Sim	Sim
Transformador de acoplamento ⁽³⁾	Não	Sim	Sim
Proteção de sub e sobretensão	Sim ⁽⁴⁾	Sim ⁽⁴⁾	Sim
Proteção de sub e sobrefrequência	Sim ⁽⁴⁾	Sim ⁽⁴⁾	Sim
Proteção contra desequilíbrio de corrente	Não	Não	Sim
Proteção contra desbalanço de tensão	Não	Não	Sim
Sobrecorrente direcional	Não	Sim	Sim
Sobrecorrente com restrição de tensão	Não	Não	Sim
Relé de sincronismo	Sim ⁽⁵⁾	Sim ⁽⁵⁾	Sim ⁽⁵⁾
Anti-ilhamento	Sim ⁽⁶⁾	Sim ⁽⁶⁾	Sim ⁽⁶⁾
Medição	Sistema de Medição Bidirecional ⁽⁷⁾	Medidor 4 Quadrantes	Medidor 4 Quadrantes

Notas:

	PF DEA/CGPLAM/DLOG	DIRETRIZES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE (SFCR)	
		PROJETOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM EDIFICAÇÕES DA POLÍCIA FEDERAL	REV 1 26/03/2020

- (1) Chave seccionadora visível e de fácil acesso, para desconexão da central geradora da rede, durante manutenção em seu sistema, exceto para os microgeradores fotovoltaicos, que já possuem esta proteção em seu inversor.
- (2) Elemento de interrupção automática acionado por sistema de proteção.
- (3) Transformador de interface entre unidade consumidora e rede de distribuição.
- (4) Não é necessário relé de proteção específico, mas um sistema eletroeletrônico, que detecte tais anomalias e que produza uma saída capaz de operar na lógica de atuação do elemento de desconexão.
- (5) Não é necessário relé de sincronismo específico, mas um sistema eletroeletrônico que realize sincronismo com a frequência da rede e que produza uma saída capaz de operar na lógica de atuação do elemento de interrupção, de maneira que somente ocorra a conexão com a rede após o sincronismo ser atingido.
- (6) No caso de operação em ilha do acessante, a proteção de anti-ilhamento deve fazer a desconexão física entre a rede de distribuição e as instalações elétricas internas à unidade consumidora, incluindo a parcela de carga e de geração, sendo vedada a conexão ao sistema da distribuidora durante a interrupção do fornecimento.
- (7) O sistema de medição bidirecional deve, no mínimo, diferenciar a energia elétrica ativa consumida, da energia elétrica ativa injetada na rede.

7.9.1. Diodo de Bloqueio

O diodo de bloqueio pode promover o desacoplamento de fileira de módulos ou de um módulo individual, em caso de ocorrer um curto-circuito ou o sombreamento de uma fileira ou de apenas um módulo na fileira.

Nessa situação, as fileiras e/ou os módulos restantes poderão continuar a funcionar sem serem perturbadas. Geralmente, para projetos aplica-se diodo de bloqueio para fileiras para não onerar o projeto pois, sem os diodos de bloqueio nas fileiras uma corrente inversa fluiria no sentido inverso da fileira afetada a ponto de danificar o sistema fotovoltaico. A tensão do diodo de bloqueio da fileira deve ser, obrigatoriamente, igual ao dobro da tensão de circuito aberto (Voc) da fileira sob condições STC. A circulação de corrente provoca perdas de potência nos diodos de 0,5 a 2,0 % e que resulta na queda de tensão nos terminais do diodo de 0,5 a 1,0 V.

Por esse motivo, nos sistemas sombreados, a produção energética para sistemas que usem diodos de bloqueio não é significativamente maior à dos que não possuem diodos de bloqueio. As perdas devido às correntes reversas podem ser compensadas pelas perdas originais pelas quedas da tensão aos terminais do diodo. A avaliação da necessidade do uso e da obrigação normativa de emprego pela concessionária de energia local fica a cargo do projetista.

7.9.2. Fusíveis de Fileira (Corrente Contínua)

Os fusíveis de fileira protegem os cabos contra sobrecargas e são concebidos para funcionar em corrente contínua. Os Fusíveis são intercalados entre fileiras para proteger os módulos e os cabos das fileiras contra sobrecargas ou curtos.

A avaliação da necessidade do uso e da obrigação normativa de emprego pela concessionária de energia local fica a cargo do projetista.

 PF DEA/CGPLAM/DLOG	DIRETRIZES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE (SFCR)	
	PROJETOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM EDIFICAÇÕES DA POLÍCIA FEDERAL	REV 1 26/03/2020

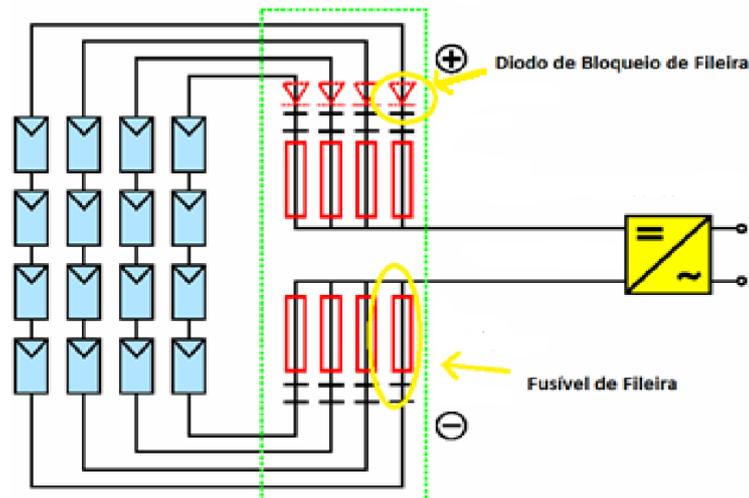


Figura 03: Localização Elétrica dos diodos de bloqueio e fusíveis em arranjos de SF.

7.9.3. Disjuntores

Os disjuntores projetados devem ser capazes de: interromper de forma rápida a corrente de curto circuito (ICC); suportar a tensão do circuito em que está instalado com os contatos abertos; suportar os efeitos do arco-elétrico, bem como os efeitos eletromagnéticos, mecânicos do primeiro meio-ciclo da corrente de curto e os efeitos térmicos da corrente estabelecida.

7.9.4. Dispositivos de Proteção de Surtos (DPS)

A instalação de módulos fotovoltaicos em telhados não aumenta o risco de uma descarga elétrica direta. Entretanto, o uso de Sistemas de Proteção contra Descarga Elétrica (SPDA) continua sendo necessário e é a única forma prática de proteção contra os efeitos de uma descarga elétrica promovida por um raio. Sobretensões em sistemas fotovoltaicos não são originadas apenas de agentes atmosféricos, sendo necessário considerar sobretensões, devido a mudanças na rede elétrica. Estas mudanças são ocasionadas por manobras e/ou perturbações na rede e em menor escala por acionamentos e desligamentos de equipamentos elétricos de grande porte conectados a ela. Sobretensões podem ser prejudiciais tanto para os inversores quanto para os módulos fotovoltaicos. Dispositivos de proteção de surtos (DPS) são necessários nos lados CC e CA do sistema. Sua configuração de instalação é geralmente sugerida nos manuais de instalação dos inversores. Além disso, é importante observar as normas brasileiras, no caso a NBR 5410, garantindo assim a perfeita proteção dos módulos e inversores.

7.9.5. Sistema de Aterramento

É obrigatória a realização de um sistema de aterramento proporcional à dimensão do projeto de geração, sendo um item de segurança importante para evitar acidentes e danos de equipamentos.

7.9.6. O medidor de energia

O medidor de energia a ser instalado é, pela Resolução nº 482/12 – ANEEL, do tipo bidirecional que deve, no mínimo, diferenciar a energia elétrica ativa consumida da energia elétrica ativa injetada na rede.

 PF DEA/CGPLAM/DLOG	DIRETRIZES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE (SFCR)	
	PROJETOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM EDIFICAÇÕES DA POLÍCIA FEDERAL	REV 1 26/03/2020

É obrigatoriamente fornecido pela concessionária de energia de forma gratuita, devendo atender os requisitos exigidos pela ANEEL.

7.9.7. Elemento de desconexão

Chave seccionadora sob carga, que deve ser instalada em local visível e acessível concessionária, conhecida como Dispositivo de Seccionamento Visível (DSV) instalado após medidor bidirecional, a qual pode operá-la para garantir a desconexão da central geradora em operações em manutenção na rede.

7.9.8. Elementos de Interrupção

A central deve ser conectada através de um dispositivo de interrupção. Geralmente, um disjuntor ou fusível adequado.

7.9.9. Proteção de sub e sobre frequência

Estas proteções já se encontram embutidas no inversor e havendo qualquer anormalidade na rede elétrica desse tipo, o inversor isola a conexão com a rede e inibe o religamento, até que a frequência e outros parâmetros elétricos se encontrem em níveis normais novamente.

7.9.9.1. Proteção de sub e sobretensão

Assim como no caso anterior, as proteções já estão embutidas no inversor. Havendo qualquer anormalidade na rede elétrica deste tipo, o inversor isola a conexão com a rede e inibe o religamento até que a tensão e outros parâmetros elétricos se encontrem em níveis normais novamente.

7.9.10. Proteção de sobrecorrente

Esse tipo de proteção pode ser realizado pelo disjuntor termomagnético, principal na entrada da construção no ponto de conexão entre as instalações da rede externa e da unidade da Polícia Federal.

7.9.11. Anti-Ilhamento

O inversor deve ter a capacidade de desacoplar-se da rede através de proteção anti-ilhamento, sempre que houver desligamento da rede da concessionária.

7.9.12. Relé de Sincronismo

O inversor conectado à rede emula a tensão da mesma definindo a frequência de comutação interna, a fim de maximizar a produção dos arranjos de painéis fotovoltaicos. Diante disso, o inversor sempre está em sincronismo e, uma vez que a referência de tensão sai dos parâmetros estabelecidos, o inversor isola o circuito da planta e da rede, interrompendo a produção.

7.9.13. Eletrodutos e Condutores

A instalação de condutores elétricos deve atender a alguns requisitos particulares da ABNT NBR 2014:2004 que dizem respeito, principalmente, ao número máximo de cabos em seu interior e a quantidade máxima permitida de curvas sem a instalação de caixas de passagens.

Devem ser utilizados eletrodutos metálicos FG em áreas externas, podendo em áreas internas ser utilizados eletrodutos em PVC / PEAD, conforme o caso.

	PF DEA/CGPLAM/DLOG	DIRETRIZES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE (SFCR)	
		PROJETOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM EDIFICAÇÕES DA POLÍCIA FEDERAL	REV 1 26/03/2020

7.9.14. Comissionamento

O comissionamento deverá ser realizado com pelo menos um engenheiro eletricista, de preferência o responsável pelo projeto com a ART (Anotação de Responsabilidade Técnica) com seu respectivo registro do CREA e também é recomendável mais um técnico com registro do CREA e mais quantos eletricistas forem necessários para a realização dos testes do SFCR, sejam para análise de requisitos de qualidade ou de proteção.

7.9.15. Transformador

Tipicamente, inversores trifásicos têm uma tensão de saída de 380V. Para sistemas instalados em redes onde a tensão entre fase e neutro seja de 127V e fase – fase de 220V, é necessário o uso de transformadores rebaixadores para adequar a tensão de 380V dos inversores aos 220V da rede.

O problema é que não existem transformadores específicos para geradores fotovoltaicos. Como transformadores tradicionais têm perdas expressivas de transformação ao não trabalharem em sua potência nominal, e, no caso dos sistemas fotovoltaicos, temos uma potência que varia conforme a disponibilidade de luz, os transformadores acabam operando a maior parte do tempo em “meia carga” o que gera perdas muito altas para o sistema.

Sempre que possível, para este tipo de situação, é aconselhável adquirir um inversor que tenha tensão de saída diretamente em 220V, mesmo que esse inversor tenha um custo superior ao de saída 380V.

A maioria dos fabricantes de inversores recomenda, quando necessário, o uso de transformadores isoladores (sem conexão física entre o primário e o secundário), para uma proteção adicional ao sistema.

7.9 Projeto Elétrico

A conexão do sistema de geração ao sistema elétrico da UC de possuir:

- a) Um planejamento da interconexão dos diversos componentes do sistema de forma eficiente, evitando perdas de energia;
- b) Adequação do projeto aos requisitos de segurança, visando torná-lo seguro sob o ponto de vista elétrico, contemplando-se segurança do próprio sistema, do usuário e da rede elétrica;
- c) Verificação da obediência às normas e aos regulamentos técnicos aplicáveis para instalações elétricas.

8. REFERÊNCIAS

- a) PROJETO DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA PARA A UFRJ, Felipe Souza Santana, RJ, Julho de 2014;
- b) Site [“https://maisengenharia.altoqi.com.br/eletrico/pre-requisitos-do-projeto-de-energia-fotovoltaica/”](https://maisengenharia.altoqi.com.br/eletrico/pre-requisitos-do-projeto-de-energia-fotovoltaica/);
- c) MANUAL DE ENGENHARIA PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS, João Tavares Pinho e Marco Antônio Galdinho, GTES – CEPEL – DTE – CRESESB, RJ, março de 2014;
- d) OS SISTEMAS DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICAS, Bluesol Educacional, Ronilson di Souza;
- e) ATLAS BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 2ª Ed, INPE, São José dos Campos-SP, 2017.