



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

HAMILTON FREIRE DE ANDRADE NETO

**GUIA SIMPLIFICADO PARA INSTALAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS
RESIDENCIAIS**

CARAÚBAS

2021

HAMILTON FREIRE DE ANDRADE NETO

**GUIA SIMPLIFICADO PARA INSTALAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS
RESIDENCIAIS**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador (a): Prof. Dra. Sâmara de Cavalcante Paiva.

CARAÚBAS

2021

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

dA381 de Andrade Neto, Hamilton.
GUIA SIMPLIFICADO PARA AVALIAÇÃO, PROJETO E
EXECUÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS RESIDENCIAIS /
Hamilton de Andrade Neto. - 2021.
57 f. : il.

Orientadora: Sâmara de Cavalcante Paiva.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Elétrica, 2021.

1. Energia Solar. 2. Sistema Fotovoltaico. 3.
Engenharia. 4. Guia de instalação. I. de
Cavalcante Paiva, Sâmara, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Caruabas
Bibliotecária: Dalvanira Brito Rodrigues
CRB: 15/700

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

HAMILTON FREIRE DE ANDRADE NETO

**GUIA SIMPLIFICADO PARA AVALIAÇÃO, PROJETO E EXECUÇÃO DE
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS RESIDENCIAIS**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Defendida em: 12 / 11 / 2021.

BANCA EXAMINADORA

**SAMARA DE CAVALCANTE
PAIVA:08424485432**

Assinado de forma digital por SAMARA
DE CAVALCANTE PAIVA:08424485432
Dados: 2021.11.16 14:16:31 -03'00'

Prof. Dra. Sâmara de Cavalcante Paiva. (UFERSA)

Presidente

Francisco das Chagas Barbosa de Sena

Assinado de forma digital por FRANCISCO DAS
CHAGAS BARBOSA DE SENA:00895009382
Dados: 2021.11.16 13:58:13 -03'00'

Prof. Dr. Francisco das Chagas Barbosa de Sena (UFERSA)

Membro Examinador

gov.br

DENIS KEUTON ALVES
Data: 16/11/2021 14:46:58-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Denis Keuton Alves (UFRPE)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal Rural do Semi-Árido, por toda infraestrutura, suporte intelectual e emocional. A Prof. Sâmara de Cavalcante Paiva, por todo conhecimento e paciência para colaborar nessa nova área de pesquisa.

Aos meus pais Francilucia Rebouças de Queiroz e Carlos Hamilton Freire de Andrade que nunca mediram esforços para me ajudar, me apoiam em tudo e nunca me deixaram faltar amor, amor este do coração de Deus para mim, vocês são exemplo de vida e sempre serão meus heróis e meu espelho.

A toda minha família em especial aos meus Avós que tem maior orgulho de mim, e das minhas irmãs

A minha namorada Raissa Sales Alves, pela paciência que tem comigo, pelo auxílio e compreensão, por me ouvir e ajudar em todos os momentos que precisei.

A todos que de forma direta ou indiretamente participaram da minha jornada para essa conquista

É uma disciplina que promove, com visão integrada, o gerenciamento e o compartilhamento de todo o ativo de informação possuído pela empresa. Esta informação pode estar em um banco de dados, documentos, procedimentos, bem como em pessoas, através de suas experiências e habilidades.

Gartner Group

RESUMO

Com o avanço tecnológico atual, o uso de energias renováveis vem se tornando cada vez mais estudado devido ao alto consumo de eletricidade no mundo e aos impactos causados ao meio ambiente, quando advinda de fontes não renováveis. Apenas uma pequena parcela da energia consumida no planeta vem de fontes renováveis, sendo preciso pensar a longo prazo a fim de diversificar a matriz energética sem causar danos ao ecossistema. A energia solar fotovoltaica é um dos tipos mais estudado, considerada sustentável e limpa, possuindo grande potencial para substituir a queima de combustíveis fósseis e a geração nuclear de energia elétrica. Apesar de inovadora, muitas pessoas ainda desconhecem os benefícios de sua instalação, necessitando de incentivos e divulgação. O presente trabalho trata de um guia simplificado para avaliação, projeto e execução de sistemas fotovoltaicos residenciais. Levando em consideração o aumento das tarifas energéticas, a procura mais forte por fontes energéticas alternativas e a redução nos custos da implementação de sistemas fotovoltaicos, o mercado de projetos e execução dessa fonte de energia vem ganhando destaque, surgindo a necessidade de se expor as etapas desse tipo de projeto, desde a entrevista com o cliente até a instalação do sistema gerador.

Palavras-chave: Energia Solar. Sistema fotovoltaico. Engenharia. Guia de instalação.

ABSTRACT

With current technological advances, the use of renewable and clean energy has been increasingly studied in view of the exacerbated consumption of electricity in the world and its damage to the environment when it comes from non-renewable sources. Only a small portion of the energy consumed on the planet comes from renewable sources and non-renewable resources are finite, it is necessary to think in the long term to diversify the energy matrix without causing damage to the ecosystem. Photovoltaic solar energy is one of the most studied types, considered sustainable and clean, having a great potential to replace the burning of fossil fuels and nuclear energy. Despite being innovative, many people are still unaware of the benefits of its installation, requiring incentives and dissemination. This work is a simplified guide for the evaluation, design and execution of residential photovoltaic systems, taking into account the increase in energy tariffs, the stronger demand for alternative energy sources and the reduction in the costs of implementing photovoltaic systems. As a result, the market for projects and execution of this energy source has gained prominence, resulting in the need to expose the stages of this type of project, from the interview with the client to the installation of the generator system.

Keywords: Solar energy. Photovoltaic system. Engineering. Installation guide.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Matriz energética mundial.....	11
Figura 2	–	Tarifa Média de Aplicação	12
Figura 3	–	Célula fotovoltaica e módulo fotovoltaico	15
Figura 4	–	Célula fotovoltaica	16
Figura 5	–	Componente do sistema fotovoltaico	17
Figura 6	–	Inversor	18
Figura 7	–	Controlador de carga	19
Figura 8	–	Bateria.....	20
Figura 9	–	Estrutura de fixação.....	20
Figura10	–	Placa fotovoltaica.....	22
Figura11	–	Representação de sistema fotovoltaico conectado à rede.....	22
Figura12	–	Configuração com um ou mais inversores.	23
Figura13	–	Sistema fotovoltaico distribuído conectado à rede elétrica	24
Figura14	–	Sistema fotovoltaico conectado em serie ou paralelo.....	25
Figura15	–	Fio de prumo	31
Figura16	–	Sistema Monocristalino e policristalino.....	33
Figura17	–	Recorte do papel de energia da cliente (ENEL).....	43
Figura18	–	Dimensões do painel fotovoltaico.....	45
Figura19	–	Dados do painel solar.....	46
Figura20	–	Dados do inversor	47

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	MOTIVAÇÃO	12
1.2	METODOLOGIA	12
1.3	OBJETIVOS	14
1.3.1	Objetivos específicos.....	14
1.4	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	CONTEXTO DO MERCADO ENERGÉTICO SOLAR NO BRASIL	16
2.2	EFEITO FOTOVOLTAICO	17
2.3	ESTRUTURA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO	19
2.3.1	Inversor	20
2.3.2	Controlador de carga	21
2.3.3	Baterias.....	22
2.3.4	Placas fotovoltaicas.....	22
2.3.5	Estrutura de Fixação	23
2.4	SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO DA REDE (<i>OFF-GRID</i>).....	23
2.5	SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE (<i>ON-GRID</i>).....	24
2.5.1	Métodos de instalação	26
2.6	ANÁLISE ECONÔMICA DA ENERGIA FOTOVOLTAICA	28
3	ETAPAS PARA INSTALAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	30
3.1	INFORMAÇÕES AO CLIENTE.....	30
3.2	VISITA TÉCNICA E ANÁLISE PRÉVIA DA INSTALAÇÃO	32
3.3	NBR 16690/2019	33
3.4	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	34

3.5	VIABILIDADE ECONÔMICA DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	37
3.6	INSTALAÇÃO	38
3.7	HOMOLOGAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	39
4	SIMULAÇÃO DE INSTALAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	41
4.1	APRESENTAÇÃO DOS BENEFÍCIOS E ENTREVISTA AO CLEINTE	41
4.2	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	42
4.3	ANÁLISE FINANCEIRA E ECONOMIA DE ENERGIA	47
4.4	FLUXOGRAMA DO PROJETO.....	48
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	50
	REFERÊNCIAS	51

1 INTRODUÇÃO

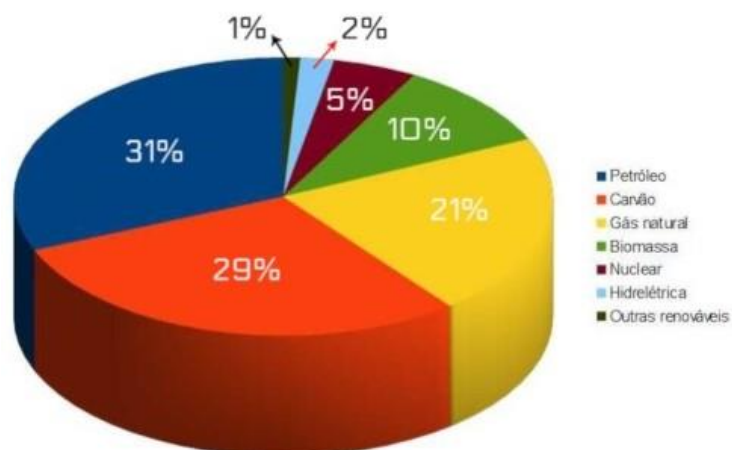
O aumento do uso de energias renováveis vem se tornando tendência no mundo inteiro. No Brasil, a autorização de incentivos a mini e microgeração estimulam tal crescimento (ANEEL, 2014). Com o avanço da tecnologia e com a redução no custo de painéis fotovoltaicos, o uso da energia solar apresentou um crescimento exponencial na última década. No Brasil, houve um aumento de 0,5%, entre os anos de 2018 e 2019, no consumo de energia elétrica proveniente da energia solar. Dessa forma, levando em consideração o avanço tecnológico e, conseqüentemente, o alto consumo de eletricidade no mundo, estudos acerca de energias renováveis vêm sendo discutidos nos principais eventos mundiais de preservação ao meio ambiente (PINTO, 2014).

A energia solar fotovoltaica é um dos tipos de geração de energia estudada no âmbito da engenharia elétrica, sendo considerada uma fonte de energia sustentável e limpa. Por ser um tipo de energia ainda pouco utilizada no contexto residencial, muitas pessoas ainda desconhecem os benefícios intrínsecos de sua instalação. Nesse sentido, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) regulamenta a geração de energias renováveis por meio da Resolução Normativa nº 482 de 17 de abril de 2012, visto que esse tipo de consumo energético ainda é pouco conhecido por uma parte da população.

O consumo de energia elétrica no Brasil e no mundo vem crescendo de forma exponencial (JUNIOR, 2005). A dependência e conforto que a eletricidade proporciona as residências, empresas e demais departamentos sociais, geram, por consequência, muitos danos ao planeta, visto que a maior parte da energia elétrica consumida no mundo é originada da queima de combustíveis fósseis e de origem nuclear (KYOCERA, 2021). Apenas cerca de 20% da energia consumida a nível mundial vem de fontes renováveis. Além disso, os recursos para a produção de energia não-renováveis estão se esgotando, sendo necessária a utilização de fontes de energia renováveis com baixo impacto ambiental (PINTO, 2014).

As fontes de energia renováveis compreendem por volta de 20% da produção de energia elétrica atual, conforme mostra a Figura 1, sendo que no futuro, com o investimento necessário e desenvolvimento tecnológico, a necessidade de eletricidade poderá ser suprida pelo uso de energias limpas, contribuindo drasticamente com a diminuição de danos ao meio ambiente (ONU, 2021).

Figura 1 – Matriz energética mundial



Fonte: Fonte: Mppt Solar (2016)

A produção de energia elétrica a partir do sol e dos ventos são consideradas as alternativas que mais crescem atualmente, principalmente no que tange aos países tropicais, sendo a energia solar fotovoltaica o tipo de energia mais estudado para ocupar o lugar mais importante na produção de eletricidade no mundo, substituindo de forma direta e indireta a queima de combustíveis fósseis e a energia nuclear (KOYCERA, 2021).

A captação e posteriormente a produção de energia solar fotovoltaica é feita a partir da conversão da luz do sol em energia elétrica, sendo este tipo de energia uma fonte renovável. Por ser uma fonte inesgotável, ela se mostra uma excelente alternativa para reduzir/complementar a queima de combustíveis fósseis que geram danos graves a camada de ozônio, em especial, aqueles países que possuem alta taxa de incidência solar (BRAGA, 2008). A energia solar fotovoltaica capta diretamente a luz solar e produz corrente elétrica, sendo coletada e processada por controladores e conversores, e, posteriormente, armazenada ou usada diretamente quando conectada a uma rede elétrica (BRAGA, 2008).

Com base no comparativo do valor da tarifa energética, observando o período de 2011 até o ano de 2021, o valor da tarifa aumentou cerca de 70%, conforme a Figura 2 (ANEEL, 2021). Apesar do aumento das tarifas energética, observa-se uma redução nos custos para implementação de sistemas fotovoltaicos para mini e microgeração distribuída e, consequentemente, aumentou-se a busca por essa fonte energética alternativa.

Figura 2 – Tarifa Média de Aplicação (R\$/MWh)



Fonte: ANEEL (2021).

À medida que se aumenta a procura por fontes alternativas de geração de energia elétrica, ocorre o aumento na oferta desses serviços no mercado. Portanto, esse trabalho vem nortear futuros engenheiros projetistas de sistemas fotovoltaicos que tende a continuar crescendo nos próximos anos.

1.1 MOTIVAÇÃO

Os constantes aumentos no valor da fatura de energia elétrica para consumidores residenciais atrelados tanto a fatores sazonais (épocas de chuva e estiagem) quanto a reflexos da economia (impostos e taxas), encarecem cada vez mais a tarifa de energia e refletem a dependência de fontes hídricas no Brasil. Além disso, a preocupação com a preservação do meio ambiente reflete a necessidade de novas formas de geração de energia limpa. Isto posto, este trabalho de conclusão de curso vem de encontro com este cenário, propondo uma alternativa ao modo convencional de fonte de energia aos consumidores desta categoria, promovendo o estudo da instalação de um projeto fotovoltaico residencial, além de verificar o desempenho de um sistema instalado após seu dimensionamento de acordo com as normas e especificações vigentes.

1.2 METODOLOGIA

Segundo Vergara (2016, p. 74), a metodologia da pesquisa faz referência aos instrumentos responsáveis pela captação da realidade. A abordagem metodológica é considerada, portanto, como o espaço destinado ao relato dos processos metodológicos, tendo como objetivo central colaborar na explicação dos fatos e do seu próprio desenvolvimento, não se limitando apenas a uma sequência de mecanismos (BRUYNE, 1991). Ou seja, a sua

aplicação está associada às maneiras, procedimentos, caminhos, formas e modelos utilizados para se atingir determinado objetivo.

Conforme Gil (2008, p. 26) a pesquisa pode ser definida como “[...] o processo formal e sistemático de desenvolvimento do método científico. O objetivo fundamental da pesquisa é descobrir respostas para problemas mediante o emprego de procedimentos científicos”.

Para o desenvolvimento do referido trabalho, foi realizada primeiramente uma pesquisa bibliográfica para que tivéssemos um melhor embasamento científico para discutir e analisar os futuros resultados da pesquisa. Quanto aos procedimentos técnicos, GIL (2008) afirma que a pesquisa bibliográfica é desenvolvida com base em material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos. Não se recomendando trabalhos oriundos da internet.

A pesquisa bibliográfica busca a resolução de um problema (hipótese) por meio de referenciais teóricos publicados, analisando e discutindo as várias contribuições científicas. Esse tipo de pesquisa trará subsídios para o conhecimento sobre o que foi pesquisado, como e sob que enfoque e/ou perspectivas foi tratado o assunto apresentado na literatura científica. Para tanto, é de suma importância que o pesquisador realize um planejamento sistemático do processo de pesquisa, compreendendo desde a definição temática, passando pela construção lógica do trabalho até a decisão da sua forma de comunicação e divulgação. (BOCCATO 2006, p. 266)

O trabalho em questão trata-se inicialmente de uma revisão bibliografia, em que todos os artigos, trabalhos e manuais foram selecionados a partir de bases de dados como: Repositório institucional da UFJF, Biblioteca digital de teses e dissertações, Scielo e Google Acadêmico, com base nos descritores: Energia solar, Fotovoltaica, Guia de instalação.

Este trabalho foi realizado através de uma Metodologia de pesquisa com embasamento teórico por intermédio bibliográfico de trabalhos digitais, do período de 2010 – 2021. Foram selecionados 30 trabalhos acadêmicos. Em geral, todos os artigos, trabalhos e manuais selecionados preencheram os critérios adequados para a confecção do trabalho.

A natureza de pesquisa utilizada no trabalho é a qualitativa, que garante que as informações sejam organizadas de maneira adequada, garantindo uma demonstração adequada, ao qual se possa levantar dados e pesquisar determinado assunto. Segundo Minayo (1995, p.21-22)

A pesquisa qualitativa responde a questões muito particulares. Ela se preocupa, com um nível de realidade que não pode ser quantificado, ou seja, ela trabalha com o universo de significados, motivos, aspirações, crenças, valores e atitudes, o que corresponde a um espaço mais profundo das relações dos processos e dos fenômenos que não podem ser reduzidos à operacionalização de variáveis.

Dentro da classificação da pesquisa, destacam-se, ainda, os níveis de manifestação do estudo, que podem ser identificados com base nos objetivos específicos propostos. Quanto a isso, a pesquisa pode ser dividida em três tipos: exploratória, descritiva e explicativa. A tipologia adotada para o presente estudo é a descritiva, devido método descritivo valorizar as características de um determinado grupo e a descrição destes.

Este trabalho de conclusão de curso não necessitou ser apresentado ao comitê de ética mediante a sua natureza de pesquisa, uma vez que sua tipologia utiliza artigos e estudos de acesso público, onde eles respeitam os aspectos éticos em suas metodologias.

A pesquisa em questão não apresenta riscos, pois é uma pesquisa de cunho bibliográfico. Nesse sentido, mediante o tipo e natureza de pesquisa, não será necessário coletar dados ou informações sigilosas ou de potencial constrangedor em risco. Sendo assim, a pesquisa trouxe benefícios no sentido de enfatizar a importância de se discutir sobre energias limpas e renováveis e a sua utilização a nível residencial.

Os gastos produzidos durante a construção desta pesquisa serão de responsabilidade da pesquisadora afiliada. A Universidade Federal Rural do Semi-árido – UFERSA - se encarregará pela disposição do orientador e banca examinadora juntamente com a disposição do acervo da biblioteca para utilização de referências, computadores e subsequente.

A partir dos dados coletados mediante a revisão bibliográfica, foi confeccionado um guia simplificado para novos engenheiros que se interessam em adentrar no mundo da energia solar.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho é elaborar um guia simplificado para avaliação, projeto e execução de sistemas fotovoltaicos residenciais.

1.3.1 Objetivos específicos

Para alcançar este objetivo geral, foram traçados alguns objetivos específicos:

- Levantamento bibliográfico acerca dos tipos de sistemas e projetos fotovoltaicos, assim como, os métodos de instalação;
- Verificação das normas vigentes que contemplem o assunto abordado neste trabalho;
- Apresentação das etapas seguidas pelos engenheiros projetistas que consistem na entrevista do cliente, análise prévia da instalação, visita técnica, dimensionamento do sistema a ser instalado, orçamento do projeto, instalação

do sistema fotovoltaico e apresentação do contexto do mercado energético solar atualmente.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

A estrutura do trabalho é a da seguinte: no Capítulo II, será apresentada a revisão bibliográfica, onde é realizada uma abordagem sobre efeito fotovoltaico, a célula fotovoltaica e seus principais materiais de fabricação, a estrutura de um sistema fotovoltaico, sistema fotovoltaico isolado e conectado à rede, métodos de instalação e o contexto do mercado energético solar no Brasil. Uma vez apresentado o funcionamento do sistema e o seu desenvolvimento no âmbito nacional, o Capítulo III apresenta as etapas para instalação do sistema fotovoltaico. Finalmente, no Capítulo IV são apresentados os passos adequados para instalação de um sistema fotovoltaico por meio da simulação de sua instalação. Para concluir este trabalho, são apresentadas as referências bibliográficas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O presente capítulo apresenta o embasamento teórico com uma breve discussão sobre o efeito fotovoltaico, sistema fotovoltaico, estrutura do sistema, tipos de sistemas, métodos de instalação, contexto do mercado energético solar no Brasil e análise econômica da energia fotovoltaica.

2.1 CONTEXTO DO MERCADO ENERGÉTICO SOLAR NO BRASIL

Diante do grande avanço tecnológico vivenciado pela humanidade, um dos grandes desafios da atualidade é a procura por fontes de energia renováveis e limpas. Uma das formas promissoras da resolução desse desafio é o mercado energético solar, por meio da energia fotovoltaica (DANTAS, 2018).

Os avanços alcançados pela ciência e pela tecnologia ajudaram a reduzir os preços dos sistemas fotovoltaicos, isso porque, os materiais semicondutores estão sendo aprimorados em qualidade e, o aumento na fabricação das células fotovoltaicas e o incentivo fiscal ajudaram a baratear esse sistema (SCHMELA, 2016). A diminuição dos valores tornou-se um fator importante para que esse mercado entrasse em ascensão. Em 2015, a produção mundial chegou à marca de 230 GW, mais de quarenta vezes a produção de 2006 (SCHMELA, 2016).

Apesar do Brasil apresentar significativo potencial energético solar, a quantidade de energia fotovoltaica produzida não acompanha seu potencial. De acordo com Portal Solar (2020), o Brasil possui aproximadamente 7 GW de potência instalada, o que representa 1,7% da potência total, valor que é abaixo de países como Estados Unidos, China e Alemanha, considerados como líderes de produção (SOUZA, 2018).

Dentre os estados brasileiros, a ordem dos estados que possuem maior quantidade de sistemas *on-grid* são: Minas Gerais, São Paulo e, em seguida, Rio Grande do Sul. Já a maior parte dos estados do Norte e parte da região Nordeste possuem quantidades não tão significativas de energia fotovoltaica (ANEEL, 2020).

Logo, mesmo com o abundante recurso solar existente no país, os poucos programas criados para a diversificação da matriz energética brasileira não consolidam efetivamente o mercado para o uso dos sistemas fotovoltaicos, existindo a necessidade de ampliar programas e a criação de uma legislação voltada a desenvolver a indústria nacional de equipamentos e serviços no que tange os sistemas fotovoltaicos (BOLSO, GABRIEL, GABRIEL E ALMEIDA, 2015).

2.2 EFEITO FOTOVOLTAICO

Tem-se por definição de sistema fotovoltaico, um gerador de eletricidade que usa como fonte primária a radiação solar que, necessitando de um conjunto de equipamentos para que haja a geração de energia elétrica propriamente dita (GEENBRAS, 2018).

A energia solar é considerada uma energia renovável, sendo esta produzida a partir da luz e do calor do sol. Esse tipo de energia pode ser usado por uma série de tecnologias e estar em constante evolução, sendo a fonte de energia que mais cresce no mundo por se tratar de uma fonte de energia renovável (VILLALVA, 2017).

O sistema fotovoltaico converte, em geral, na modificação da irradiação solar em energia elétrica através de materiais semicondutores, sendo este fenômeno conhecido como efeito fotovoltaico. É válido salientar que a quantidade de energia solar recebida anualmente em nosso país é mais que suficiente para suprir a sua necessidade energética. Entretanto, este tipo de fonte renovável é pouco aproveitado (TIEPOLO, 2013).

O físico francês, Alexandre Edmond, descobriu o efeito fotovoltaico no ano de 1839 enquanto realizava experimentos envolvendo eletrodos. Durante seu experimento, o cientista percebeu que o contato destes eletrodos com a luz solar gerava eletricidade. Entretanto, apenas em 1884, surgiu a primeira célula fotovoltaica que tinha como principal constituinte o selênio, tendo apenas 1% de eficiência energética (GEENBRAS, 2018).

Em 1905, um dos maiores físicos da história, Albert Einstein, permitiu através de seus estudos um melhor esclarecimento sobre o efeito fotoelétrico. Através da mecânica quântica, o processo de produção de energia solar fotovoltaica começou a se desenvolver em passos mais largos, o que garantiu ao cientista o prêmio Nobel de física em 1923 (TOYAMA, 2014).

O efeito fotovoltaico envolve, de modo geral, a conversão direta da luz e do calor do sol em energia elétrica. A célula fotovoltaica, por sua vez, é uma peça fundamental deste sistema, produzida a partir de um material semicondutor. (URBANETZ, CASAGRANDE, e TIEPOLO, 2014).

De acordo com Braga, 2008:

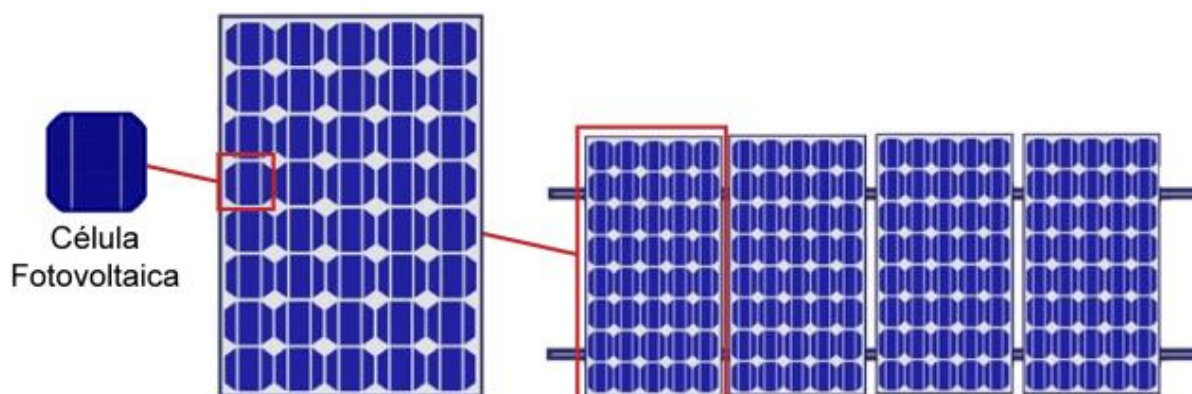
A eletricidade solar fotovoltaica é a tecnologia energética promissora, em que as células solares convertem diretamente a energia solar, qual é a mais abundante e renovável fonte de energia em eletricidade, assim o processo de geração de energia acontece por dispositivos semicondutores, não tem partes moveis, esse processo não gera resíduos e, não libera calor residual, mantendo o equilíbrio da biosfera evitando o aumento do efeito estufa. (BRAGA ,2008. P.13).

Nesse sentido, a energia solar é uma das fontes mais promissoras atualmente, em que, através de dispositivos semicondutores, é possível converter a luz e o calor do sol em abundante energia elétrica. Além disso, há o benefício deste tipo de conversão não liberar resíduos tóxicos ao meio ambiente, garantindo, acima de tudo, o equilíbrio do ecossistema (BRAGA, 2008).

Dessa forma, o sistema fotovoltaico é construído por meio de painéis ou módulos, sendo que estes dispositivos absorvem a energia solar e produzem, a partir do sistema de semicondutores, a energia elétrica. Essa energia produzida pelos módulos é de grande benefício visto que os gastos em torno da energia de uma residência ou estabelecimento diminuem de forma drástica (LIMA, 2015).

Portanto, por definição básica, um sistema fotovoltaico é um conjunto integrado de módulos fotovoltaicos e outros componentes projetados para converter energia solar em eletricidade (MAYCOCK, 1981; TREBLE, 1991). Conforme mostrado na Figura 3, a conversão de radiação solar em energia elétrica se dá através dos módulos que são compostos por células solares ou células fotovoltaicas, sendo obtida usando materiais semicondutores como elemento de conversão.

Figura 3- Célula fotovoltaica e módulo fotovoltaico

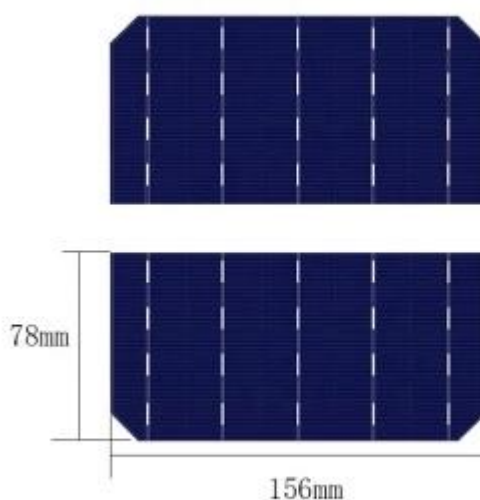


Fonte: Mppt Solar (2016)

. Para isso, passa-se primeiro por uma etapa de purificação e, em seguida, por uma etapa de dopagem. A dopagem ocorre pela adição de átomos de matérias tetravalentes e pentavalentes, como boro e fósforo, nas quantidades certas para garantir a correta produção de energia elétrica (LIMA, HACK E AVENCA, 2015). A Figura 4 mostra com melhor detalhe a célula fotovoltaica. Os sistemas fotovoltaicos são classificados em dois tipos: o sistema

fotovoltaico isolado à rede (*off-grid*) e o sistema fotovoltaico conectado à rede (*on-grid*), em ambos os casos os sistemas podem possuir mais de uma fonte de geração, sendo denominados de sistemas híbridos (pinto, 2014).

Figura 4 - Célula fotovoltaica

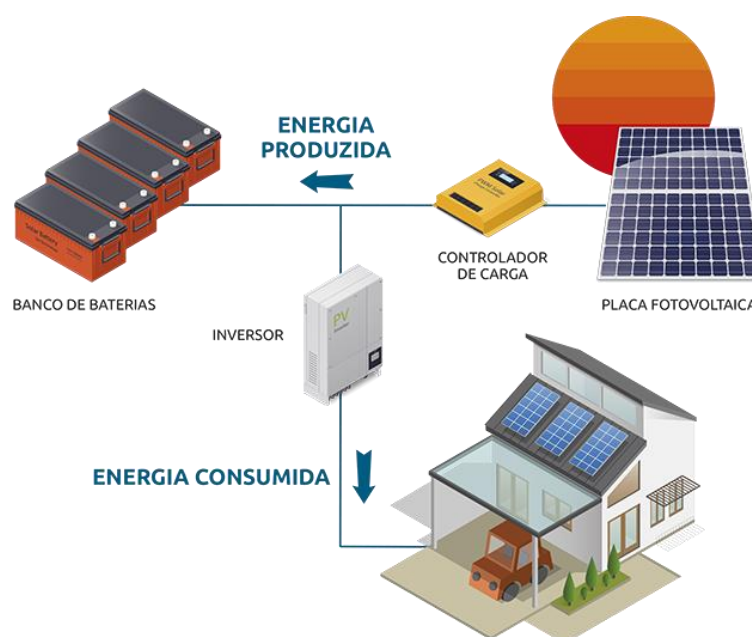


Fonte: Mppt Solar (2016)

2.3 ESTRUTURA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO

Os componentes do sistema fotovoltaico *off-grid* são o banco de baterias, controlador de carga, placa fotovoltaica e inversor, como mostra a Figura 5 (MPPT SOLAR, 2016).

Figura 5 - Componente do sistema fotovoltaico OFF-GRID



Fonte: Mppt Solar (2016)

2.3.1 Inversor

Para que ocorra a conversão da Corrente Contínua (CC), gerada pelos painéis fotovoltaicos, em Corrente Alternada (CA), é necessário a presença do inversor, ilustrado na Figura 6, que tem como função principal proporcionar a compatibilidade dos níveis de tensão de saída dos equipamentos ligados a ele, sendo considerado, portanto, uma peça fundamental do sistema fotovoltaico (KYOCERA, 2016).

Figura 6 - Inversor



Fonte: Mppt (2016)

O inversor é capaz, ainda, de regular a frequência e tensão gerada. Dessa forma, o sistema pode ser conectado à rede pública no caso de sistemas *On-Grid*, por exemplo. A seleção do inversor adequado depende da forma de onda da carga e a sua própria eficiência, sendo necessário avaliar essas características para uma dada aplicação (MENSEGER E VENTRE, 2010).

2.3.2 Controlador de carga

O controlador de carga, representado na Figura 7, é também conhecido como regulador de carga. Este componente é mais utilizado nos sistemas *Off-Grid*, visto que se empregam o uso de baterias para o armazenamento de energia. Todavia, eles também podem ser utilizados nos sistemas *On-Grid* (PEREIRA E OLIVEIRA, 2011).

Figura 7 - controlador de carga



Fonte: Mppt Solar (2016)

Esses aparelhos têm como função principal proteger as baterias de sobrecarga do sistema, fazendo com que o sistema opere com máxima eficiência, sem grandes riscos (MENSEGER E VENTRE, 2010). Além disso, o controlador de carga impede que a bateria sofra descarga completa frente a tensão, impedindo o desgaste dessa e aumentando a sua vida útil (PINHO E GALDINO, 2014).

2.3.3 Baterias

A bateria, mostrada na Figura 8, também pode ser chamada de acumulador, sendo mais utilizada nos sistemas fotovoltaicos isolados da rede elétrica, ou seja, *Off-Grid*. Estes dispositivos são responsáveis, de modo geral, pelo armazenamento da energia elétrica produzida pelos módulos, com o objetivo de suprir a demanda energética na ausência de radiação solar. Nesse sentido, são de extrema importância, visto que a radiação solar não ocorre no período noturno e é diminuída nos períodos nublados, garantindo sua disponibilidade independente das adversidades climáticas (DAZCAL E MELLO, 2008).

Figura 8 - Bateria



Fonte: Google Imagens

2.3.4 Placas fotovoltaicas

A placa solar fotovoltaica, como apresentada na Figura 10 é um dos equipamentos fundamentais para geração de energia solar. Como mencionado no início deste trabalho, o painel solar é composto por células fotovoltaicas produzidas a partir de materiais semicondutores que absorvem a luz e geram a partir do sol a energia elétrica (DAZCAL E MELLO, 2008).

Figura 10 – Placa fotovoltaica



Fonte: Mppt Solar (2016)

2.3.5 Estrutura de Fixação

Os módulos fotovoltaicos são geralmente suportados por uma estrutura metálica em aço galvanizado, alumínio ou aço inoxidável, denominadas estruturas de fixação, conforme ilustra a Figura 9. O papel da estrutura fixa é garantir ótimas condições de posicionamento e inclinação do painel, mantendo sua angulação e segurança do módulo em intempéries (TAVARES, 2009).

Figura 9 – estrutura de fixação



Fonte: Mppt Solar (2016)

2.4 SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO DA REDE (*OFF-GRID*)

Nos sistemas fotovoltaicos *off-grid*, a eletricidade gerada é consumida de forma direta, enquanto a remanescente é armazenada. Além disso, existem algumas unidades específicas responsáveis pelo controle da carga. Um sistema isolado pode se apresentar como um sistema separado da rede principal de energia elétrica, onde a geração de energia é utilizada para um único meio de consumo, ou pode compor uma microrrede, sendo a geração de energia destinada para um grupo determinado de consumidores (OLIVEIRA, 2017).

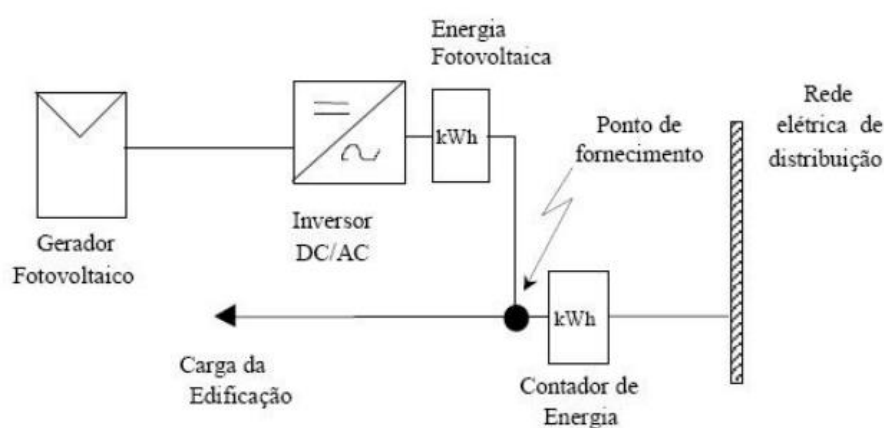
Os sistemas *off-grid* podem ser aplicados em diversas localidades, preferencialmente, aquelas com pouca disponibilidade de rede elétrica, devido esse sistema não depender da rede elétrica convencional (VILLALVA E GAZOLI, 2012).

De acordo com Schuch (2010), esses sistemas isolados à rede podem ser usados no funcionamento da rede pública de energia da seguinte forma: “Um painel fotovoltaico será responsável por carregar as baterias durante o período diurno, através de um conversor de correntes, permitindo que a noite estas baterias forneçam energia para os equipamentos” (SCHUCH, 2010, p.18).

2.5 SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE (*ON-GRID*)

Os sistemas *on-grid* são aqueles que funcionam junto a rede elétrica de distribuição de energia. Este sistema tem seu modo de operação baseado na geração de energia a partir da transformação de CC em CA a partir da energia elétrica de um painel fotovoltaico, sendo posteriormente injetada na rede elétrica. Essa conversão se dá a partir do uso do inversor. Vale salientar que o inversor é um equipamento comum tanto para os sistemas fotovoltaicos conectados à rede (*On-grid*) como aqueles que não são (*Off-grid*) (PEREIRA E OLIVEIRA, 2013). A Figura 11 ilustra de forma simplificada um esquema de sistema *on-grid*, sendo seus dois principais equipamentos o gerador fotovoltaico e o inversor conectado à rede elétrica..

Figura 11 – Representação de sistema fotovoltaico conectado à rede.



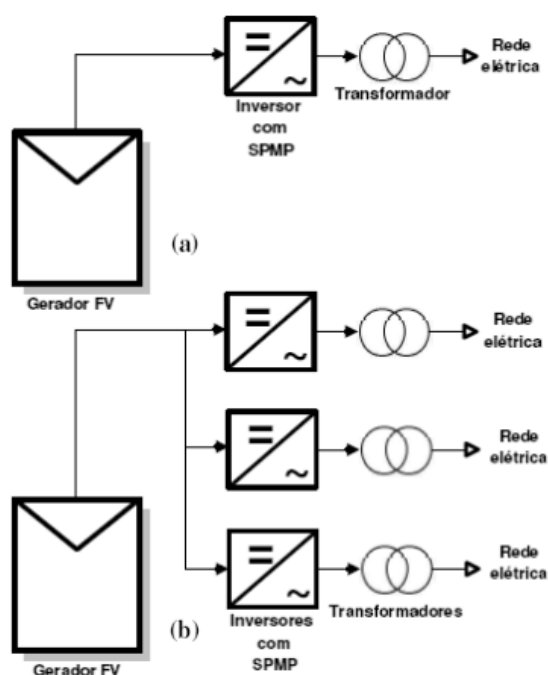
Fonte: Zilles, 2008a.

O sistema fotovoltaico conectado à rede (*on-grid*) funciona baseado em sua conexão com a rede de distribuição. Nesse sistema, a energia produzida em excesso e que não é

consumida é repassada para a rede de transmissão, sendo convertida em créditos de energia para a mesma residência ou departamento (BOSO, 2015).

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede apresentam duas configurações distintas: os sistemas fotovoltaicos centralizados e os distribuídos (MAYCOCK, 1981; RÜTHER, 1999; MARKVART, 2000; RÜTHER et al., 2005). Nos sistemas fotovoltaicos centralizados, uma grande central fotovoltaica fornece potência para a rede elétrica através de inversores e transformadores, conforme a Figura 12. O uso dos inversores comutados pela rede para evitar a operação isolada, sendo, em geral, equipamentos com Seguidor de Ponto de Máxima Potência (SPMP) (CÂMARA, 2011).

Figura 12: Configuração com um ou mais inversores



Fonte: Markvart (1994)

As grandes centrais fotovoltaicas possuem a desvantagem de estarem afastadas dos grandes centros de consumo pois seu tamanho ocupa grandes áreas, necessitando de um sistema de transmissão e distribuição até seu ponto de consumo (RÜTHER et al., 2005).

No caso dos sistemas fotovoltaicos distribuídos, estes são instalados de forma integrada à edificação, sendo no telhado ou na fachada de um prédio, como ilustrado na Figura 13. Assim, a geração de energia elétrica está junto ao ponto de consumo (MAYCOCK, 1981; RÜTHER, 1999; MARKVART, 2000; RÜTHER et al., 2005).

Figura 13: Sistema fotovoltaico distribuído conectado à rede elétrica.



Fonte: IEA-PVPS, 2006.

Dentre as vantagens desse sistema, pode-se destacar a sua utilização em meio urbano, por ocupar menores áreas, estando mais próximo ao ponto de consumo, evitando perdas da energia elétrica por transmissão e distribuição, como ocorre nas grandes centrais fotovoltaicas (FRAINDEIRAICH & LYRA, 1995; RÜTHER et al., 2005).

Nas instalações residenciais conectadas à rede, é usado tanto energia fotogerada como energia convencional. Nesse tipo de instalação, não há necessidade de bateria, pois nos dias com consumo elétrico maior que a energia produzida pelas placas fotovoltaicas, ou seja, ao amanhecer, durante a noite e dia com baixa radiação solar, a rede fornece a energia necessária para o funcionamento adequado da residência. Em caso contrário, quando a produção excede o consumo, a energia excedente é injetado na rede de distribuição (CÂMARA, 2011).

2.5.1 Métodos de instalação

Ao optar-se pela instalação de um sistema *on-grid* é de suma importância a escolha de um local com boa incidência de radiação solar durante a maior parte do dia, sem sombras provenientes de árvores, parede ou de estruturas adjacentes. Preferencialmente, deve ser voltado para o norte e com as placas na mesma inclinação que a latitude do local (JÚNIOR, 2005).

Quanto a estrutura do suporte, as placas fotovoltaicas devem ser projetadas de modo a facilitar a instalação, sua manutenção, bem como de forma a não prejudicar a estética do seu local de instalação. Recomenda-se que seja instalada o mais próximo do ponto de conexão para diminuir o comprimento dos cabos elétricos que farão a condução da energia elétrica (JÚNIOR, 2005).

Quanto aos cabos que farão a condução de energia, é necessário utilizar os que limitem a queda de tensão, e para a maior segurança da instalação precisam ser unipolares, com duplo isolamento, estar separado por polos e em eletrodos diferentes, possuir caixas de passagem e de conexão e um isolamento que suporte temperaturas elevadas (LORENZO E ZILLES, 1994).

Os módulos fotovoltaicos podem ser conectados de duas formas: em série e em paralelo, como mostra a Figura 14.

Figura 14: Sistema fotovoltaico conectado em serie ou paralelo.



Fonte: IEA-PVPS, 2006.

Na ligação em série, a corrente total do conjunto é igual a corrente de cada módulo e a tensão é a soma da tensão de cada um. Na ligação em paralelo, a corrente total do conjunto é igual a soma das correntes de cada módulo e a tensão do conjunto é igual a tensão de cada um dos módulos do conjunto. Deve-se atentar para não ultrapassar a máxima tensão de circuito aberto do inversor (LORENZO E ZILLES, 1994).

Como os inversores são aparelhos de pequeno porte, e não contém partes móveis, podem ser instalados na parte interna da residência sem que isso cause prejuízos maiores, a não ser estéticos. Entretanto, o sistema de ventilação apresenta certo nível de ruído. A instalação em local não ventilado pode resultar no sobreaquecimento do ambiente e do próprio inversor (CAAMAÑO, 1998).

Em caso de telhados compostos de telha de barro, determinadas telhas são retiradas para parafusar os suportes e criar uma base de fixação. Já nos casos de telhado compostos de telha de metal, o suporte é fixado na própria telha, sem que haja furos ou deterioração. Vale salientar

o cuidado em possíveis correções necessárias na disposição dos painéis fotovoltaicos a fim de evitar redução de geração de energia devido ao sombreamento (PORTAL SOLAR, 2020).

Após a fixação dos suportes, são instalados os painéis fotovoltaicos e realizadas suas conexões em série. A partir de então, é instalado o *string box*, o equipamento que faz a proteção da parte CC do sistema. Os *strings boxes* são instalados de forma adjacente ao inversor, fixadas em espaço de fácil acesso para futuras manutenções (SOUSA, 2018).

2.6 ANÁLISE ECONÔMICA DA ENERGIA FOTOVOLTAICA

A análise econômica de um projeto fotovoltaico permite averiguar a viabilidade ou não de instalação desse sistema. Para melhor análise econômica são considerados alguns pontos como: elaboração do projeto, compra, montagem, instalação das placas e a conexão com a rede elétrica (JÚNIOR, 2005).

A importância de uma boa análise financeira para verificar a viabilidade da instalação do projeto é bem descrita por Cássio Borrás Santos e Ildo Luís Sauer (1998, p.29):

Em muitos casos, tecnologias mais eficientes requerem um alto custo de investimento. Torna-se necessária, então, uma metodologia que permita a avaliação financeira dos custos efetivos do investimento adicional. O custo efetivo depende da quantia adicional de investimento, da vida útil do investimento, da quantidade de energia economizada e de um fator que forneça o valor futuro de um investimento feito no presente.

Para avaliar o real custo-benefício da energia fotovoltaica é preciso ter conhecimento sobre os gastos com os materiais, instalação e manutenção. Os módulos fotovoltaicos e os inversores são os equipamentos responsáveis pela maior parte do orçamento investido, corresponde a cerca de 80% do valor total. Nesse sentido, é válido verificar os preços desses equipamentos em diferentes fabricantes para um projeto mais vantajoso (PORTAL ENERGIA, 2004).

Outro fator importante a ser considerado são as diferenças regionais existentes no Brasil, em especial no tocante aos recursos naturais, principalmente na região Nordeste, a qual é a mais abundante em termos de radiação solar. As grandes disparidades entre as regiões do país levam a alguns locais serem mais fáceis e outros mais difíceis no que tange ao acesso dessas áreas para a instalação dos sistemas, o frete de equipamentos e a não entrega dos materiais em certas localidades, influenciando diretamente no custo da instalação e do projeto final (BOSO, 2015).

Mesmo que uma residência gere sua própria energia elétrica, ela ainda terá de pagar uma taxa para a concessionária de energia local referente a disponibilização do serviço ofertado durante 24 horas por dia e 7 dias por semana. O valor do custo de disponibilidade é assentado

pela ANEEL levando em consideração seus gastos de manutenção e o tipo de ligação, sendo mostrado na Tabela 1 (SOUZA & JÚNIOR, 2018).

Tabela 1: Custo de disponibilidade de acordo com o tipo de ligação

TIPO DE LIGAÇÃO	CUSTO DE DISPONIBILIDADE
Monofásico	30 kWh/mês
Bifásico	50 kWh/mês
Trifásico	100 kWh/mês

Fonte: ANEEL (2020)

Dessa forma, o sistema fotovoltaico deve ser dimensionado para produzir aquilo que se é consumido na residência, visto que essa tarifa deverá ser paga de qualquer forma. Nesse sentido, o sistema deverá gerar o consumo médio anual subtraído do custo de disponibilidade, como mostrado na fórmula a seguir (SOUZA & JÚNIOR, 2018).

$$\text{Geração ideal de energia} = \text{CMA} - \text{CD} \quad (\text{I})$$

sendo o CMA o consumo médio anual e o CD o custo de disponibilidade.

Além dos fatores supracitados, na análise financeira de um projeto como esse, inclui-se também o tempo destinado para instalação. Para uma proposta bem fundamentada, é preciso uma visita local eficiente em busca de possíveis eventualidades que venham acontecer (PORTAL ENERGIA, 2004).

3 ETAPAS PARA INSTALAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

3.1 INFORMAÇÕES AO CLIENTE

Para que a instalação de um sistema fotovoltaico ocorra de maneira adequada e satisfatória, é necessário, primeiramente, que o engenheiro eletricitista e demais membros da equipe colham o máximo de informações com o potencial cliente. A apresentação do orçamento do projeto, por sua vez, é sem dúvida uma das principais etapas para a futura instalação do sistema de captação solar, sendo necessário que o engenheiro demonstre todos os benefícios da implantação deste tipo de sistema energético no contexto residencial (PEREIRA, 2010).

Durante as conversas com o cliente, é indispensável, acima de tudo, garantir as expectativas desse. Dessa forma, é fundamental que no contato inicial o vendedor oriente seu cliente a tomar a decisão correta mediante suas pretensões (MATAVELLI, 2013).

Conhecer os aspectos técnicos sobre a instalação de um sistema fotovoltaico é imprescindível, no entanto, apenas isso não é suficiente. Discutir sobre questões relativas à energia solar, trazendo questões referentes a estrutura, função, dimensão e instalação aliados a conhecimentos sobre custos, globalização da energia solar e subsídios, mostram-se decisivos para que o cliente contrate o serviço (PROCEL, 2014).

O objetivo geral é conquistar o cliente por meio do diálogo e bom domínio sobre o assunto, sendo necessário que o engenheiro demonstre os benefícios da utilização da energia solar de forma clara e simples, para que até os menos esclarecidos consigam entender (MACÊDO, 2007).

É necessário elencar os benefícios quanto a economia, uma vez que a partir da instalação do sistema fotovoltaico, a diminuição na conta de energia é instantânea, podendo chegar a uma redução de até 100% do consumo. A sustentabilidade é outro benefício que deve ser elencado ao cliente, visto que a energia solar possui uma origem inesgotável e que não polui, promovendo a redução de gases poluentes na atmosfera como o dióxido de carbono (CO₂) em virtude de substituir outras fontes poluentes (SOUSA & FRANCO, 2018).

A Previsibilidade e independência é outro benefício que deve ser repassado ao cliente, uma vez que o sistema fotovoltaico funciona como uma compra antecipada de energia, permitindo previsibilidade no custo, independente da variação dos preços da energia elétrica do país. Por fim, é necessário informar ao contratante sobre a manutenção mínima, pois no sistema solar não existem partes dinâmicas, se restringindo à uma simples verificação de conectores e funcionalidade dos equipamentos, onde a limpeza constante dos painéis é fundamental, sendo que a própria água da chuva já se encarrega desta tarefa (PROCEL, 2014).

Resolução A Resolução Normativa nº 687/15, que altera a Resolução Normativa nº 482/12 da ANNEL, tornou mais fácil e inteligente a produção própria de energia a partir de fontes renováveis. Com a resolução 482, passou-se a ser obrigatório o sistema de compensação de créditos por parte das concessionárias de energia. Todo o excedente de energia renovável gerado pelo consumidor é injetado na rede elétrica e devolvido ao mesmo em crédito de energia. Com isso, a rede elétrica tem como função o armazenamento de energia gerada pelos consumidores. É importante que o engenheiro esteja sempre alerta e se atualizando quando as resoluções normativas para que seu trabalho seja executado nos parâmetros legais e sem riscos.

Na tabela a seguir, temos algumas das principais questões discutidas durante a instalação de um sistema fotovoltaico residencial.

Tabela 2 – Principais questões e dúvidas dos clientes.

Qual é a diferença entre um módulo fotovoltaico e um coletor solar?
Como funciona uma célula solar?
Quanta eletricidade vai produzir o meu sistema por ano?
O que acontece à minha unidade geradora quando não está sol?
Quanta energia produz o meu sistema quando o céu está encoberto?
Onde é utilizada a energia gerada?
O meu telhado é apropriado para um sistema como este?
O que acontece se os módulos ficarem sujos?
Vale a pena ter um sistema de “seguimento” solar?
Preciso de uma licença para a construção?
Quanto vai custar o sistema, incluindo a instalação?
Quais são os subsídios disponíveis?
O sistema precisa de manutenção?
Qual é o tempo de vida útil do sistema?

Fonte: Autor (2021)

3.2 VISITA TÉCNICA E ANÁLISE PRÉVIA DA INSTALAÇÃO

O planejamento de um sistema fotovoltaico depende de várias etapas, indo desde a entrevista ao cliente a apresentação do orçamento final. Nesse sentido, é muito importante que o engenheiro conheça bem o local onde o sistema será instalado, afinal, a visita ao local irá permitir uma avaliação prévia sobre as condições do ambiente que irão ser importantes na decisão da instalação ou não deste tipo de tecnologia em uma determinada residência (ATHANASIA, 2010).

Um dos primeiros passos é verificar se a residência em questão possui ambiente apropriado para a colocação de um sistema fotovoltaico. Essa investigação inicial é de extrema importância para evitar erros no planejamento e na instalação (ALVARENGA, 2011). Além disso, é necessário realizar uma entrevista com o potencial cliente para obter as seguintes informações: (1) Nome do cliente; (2) Telefone; (3) Perfil (Residencial ou empresarial); (4) E-mail; (5) Endereço; (6) Cidade; (7) Estado; (8) Concessionária de energia; (9) Tipo de rede; (10) CPF; e (11) Local de instalação.

Antes que o projeto propriamente dito se inicie, é necessário que o cliente esteja a par das alternativas disponíveis levando em consideração os custos e o funcionamento do sistema. Durante a visita ao local e na fase de registro de dados, é importante deixar claro as seguintes questões:

- Disponibilidade de superfícies de telhado, fachada e/ou superfícies disponíveis na área circundante;
- Orientação estrutural e inclinação disponíveis para posicionamento do sistema;
- Forma do telhado, características estruturais e subestruturais e tipo de telhado;
- Sombreamento;
- Aberturas no telhado, onde se incluem telhas para ventilação e chaminés;
- Avaliar os locais para potencial instalação do gerador, inversor e demais aparelhagem eletrônica;
- Averiguar o comprimento dos cabos e implantação da rede elétrica;
- Realizar o balanço entre a produção energética e a capacidade fotovoltaica a ser instalada;
- Avaliação do investimento.

Durante a visita ao local, o engenheiro precisa estar pronto para analisar detalhadamente a residência. Para isso, é necessário, de acordo com Braga (2008) que este esteja acompanhado de uma série de documentos e equipamentos, como:

- 1) Ficha de registros de dados sobre a residência: esta ficha contém o tipo de sistema a ser instalado, informações pessoais do cliente, local de instalação e o tipo de rede;
- 2) Material de informação sobre a tecnologia fotovoltaica:
 - a. Informação geral;
 - b. Folhetos dos fornecedores dos equipamentos, com a descrição dos produtos em causa;
 - c. Fotografias de sistemas fotovoltaicos já existentes;
 - d. O presente manual será também de grande utilidade para o cliente.
- 3) Bússola;
- 4) Transferidor de fio-de-prumo para calcular inclinações (Figura 15);
- 5) Régua desdobrável;
- 6) Fita métrica;
- 7) Lanterna de bolso;
- 8) Calorímetro ou mapa de trajetória solar numa transparência;
- 9) Câmera de filmar ou uma máquina fotográfica.

3.3 NBR 16690/2019

Esta Norma estabelece os requisitos de projeto das instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos, incluindo disposições sobre os condutores, dispositivos de proteção elétrica, dispositivos de manobra, aterramento e equipotencialização do arranjo fotovoltaico. O escopo desta Norma inclui todas as partes do arranjo fotovoltaico até, mas não incluindo, os dispositivos de armazenamento de energia, as unidades de condicionamento de potência ou as cargas. Uma exceção é a de que disposições relativas a unidades de condicionamento de potência e/ou a baterias são abordadas apenas onde a segurança das instalações do arranjo fotovoltaico está envolvida. A interligação de pequenas unidades de condicionamento de potência em corrente contínua para conexão a um ou dois módulos fotovoltaicos também está incluída no escopo desta Norma (ABNT, 2019)

O objetivo desta Norma é especificar os requisitos de segurança que surgem das características particulares dos sistemas fotovoltaicos. Sistemas em corrente contínua, e arranjos fotovoltaicos em particular, trazem riscos além daqueles originados de sistemas de potência convencionais em corrente alternada, incluindo a capacidade de produzir e sustentar arcos elétricos com correntes que não sejam maiores do que as correntes de operação normais.

Em sistemas fotovoltaicos conectados à rede, os requisitos de segurança descritos nesta Norma são, contudo, criticamente dependentes da conformidade dos inversores associados ao arranjo fotovoltaico com os requisitos da IEC 62109-1 e da IEC 62109-2. Esta Norma não se aplica aos arranjos fotovoltaicos menores que 100 Wp (nas STC) ou com tensão de circuito aberto menor que 35 V_{cc} ou maior que 1 500 V_{cc} (nas STC) (ABNT, 2019).

A norma ABNT NBR 16690 estabelece os requisitos de projeto das instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos, incluindo disposições sobre os condutores, dispositivos de proteção elétrica, dispositivos de manobra, aterramento e equipotencialização do arranjo fotovoltaico. O escopo da norma inclui todas as partes do arranjo fotovoltaico até, mas não incluindo, os dispositivos de armazenamento de energia, as unidades de condicionamento de potência ou as cargas (ABNT, 2019).

Uma exceção é a de que disposições relativas a unidades de condicionamento de potência e/ou a baterias são abordadas apenas onde a segurança das instalações do arranjo fotovoltaico está envolvida (ABNT, 2019).

A interligação de pequenas unidades de condicionamento de potência em corrente contínua para conexão a um ou dois módulos fotovoltaicos também está incluída no escopo desta norma. Neste ponto, convém deixar claro o conceito de arranjo fotovoltaico. Outro esclarecimento importante: embora o título da norma seja ‘Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos – Requisitos de projeto’, a mesma deve ser utilizada também nas etapas de instalação e manutenção. Isto porque ela apresenta requisitos que devem ser considerados no projeto, mas que precisam ser aplicados na instalação (ABNT, 2019).

Além do mais, o capítulo 7 do documento refere-se à ‘Verificação final’, pela qual a obra, após sua conclusão, é avaliada e comparada com as prescrições da norma. Por fim, o capítulo 8 trata da ‘Manutenção’ da instalação fotovoltaica. Concluindo, a norma ABNT NBR 16690 é mais ampla e completa do que sugere seu título, não havendo, neste momento, previsão de serem elaboradas outras normas complementares especificamente sobre energia fotovoltaica.

3.4 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O dimensionamento dos projetos fotovoltaicos depende de certas variáveis como a área disponível para sua instalação, a inclinação, a localização geográfica, as especificações técnicas dos equipamentos e do edifício e o valor do investimento. A área disponível para instalação e o valor do investimento são fatores decisivos para a potência que se deseja obter. Após o

conhecimento desses dois fatores, é possível se ter conhecimento de um dimensionamento apropriado (FREITAS, 2008).

Para dimensionar corretamente sistema fotovoltaico, é de suma importância analisar as condições do local a ser instalado, como a inclinação. Hoje em dia, é possível ter acesso à essa informação em fontes de pesquisa com o intuito de obter dados de diversas regiões do Brasil com relação à sua incidência solar. A fonte mais amplamente usada e gratuita para esse fim é a CRESESB – Centro de Referência para as Energia Solar e Energia Eólica de Salvo Brito – onde se encontram dados sobre a radiação solar nos mais diversos municípios brasileiros, sendo que essas informações são gratuitas e estão disponível em página WEB (SOUSA & FRANCO, 2018).

A CRESESB disponibiliza dados como o histórico de irradiação da localidade, além das médias mensais e anuais de insolação. Essas informações são de grande importância na instalação do sistema fotovoltaico na medida em que permite analisar a quantidade de painéis solares necessários para a quantidade proposta de energia a ser gerada (SOUSA & FRANCO, 2018).

Durante a visita ao local, colhendo-se os dados de nível de irradiação, inclinação, área disponível, sombreamento e comprimento dos cabos, a área mais propícia à instalação é escolhida. A partir disso, os módulos fotovoltaicos são escolhidos de acordo com o tipo de material, podendo ser mono ou policristalino (Figura 16) e o tipo de módulo, podendo ser *standard* com ou sem armação, semitransparente ou telha (PORTAL ENERGIA, 2004).

Figura 16 – Módulos fotovoltaico mono e policristalinos



Fonte: MPPT SOLAR (2016)

Para a seleção do número de módulos é necessário calcular a potência do painel dividido pela potência do módulo, de acordo com a equação (II):

$$\text{N}^\circ \text{ de módulos} = \frac{\text{Potência do painel}}{\text{Potência do módulo}} \quad (\text{II})$$

A pouco tempo atrás, o mais utilizado nas instalações do sistema fotovoltaico era o inversor central, todavia, os sistemas mais atuais com potências medianas, de alguns kW não possuem um inversor central. Ao invés disso, nos sistemas fotovoltaicos de potência média, são instalados vários inversores de menores potências, chamados como inversores de fileiras de módulos. O uso dessa configuração de inversor facilita a instalação, além de reduzir os custos (CARNEIRO, 2009).

Ademais, cada equipamento usado em sua instalação possui um rendimento definido pelo fabricante, assim, deve-se considerar tanto o rendimento de cada equipamento utilizado como também as perdas que eles possuem. Com isso, é possível ter um bom entendimento sobre as perdas e calcular a quantidade de painéis e outros acessórios necessários para a quantidade de energia que se deseja produzir (SOUSA & FRANCO, 2018).

3.5 VIABILIDADE ECONÔMICA DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

A análise financeira nesse tipo de projeto é de extrema importância, na medida que este se torna um investimento. Como em todo investimento, é necessário entender o retorno financeiro, a viabilidade e os gastos a fim de saber a atratividade do projeto. Na análise financeira, alguns índices são adotados para averiguar e comparar valores, sendo imprescindíveis na decisão final do investimento. Alguns desses índices são: Valor Presente Líquido (VPL), *Payback* e Taxa Interna de Retorno (TIR) (SOUZA; FRANCO, 2018).

O VPL é o principal índice utilizado pelas instituições financeiras no cálculo dos indicadores de rentabilidade das atividades (DASSI et al., 2015). De acordo com Anacleto e Negrele (2015, p. 09, apud ROSS et al., 2007):

O Valor Presente Líquido é o principal índice utilizado pelas instituições financeiras no cálculo dos indicadores de rentabilidade das atividades, e pode ser compreendido como sendo a diferença entre receitas e custos atualizados a uma taxa de desconto pré-definida para efeito de comparação, sendo esta taxa denominada Taxa Mínima de Atratividade (TMA).

O *payback* representa um índice de retorno do investimento, ou seja, o tempo que leva até o dinheiro do investimento feito retorne ao cliente. Existe o *payback* simples e o descontado. O simples mostra o risco e a liquidez daquele investimento, mostrando o tempo de retorno do dinheiro. O descontado considera a inflação, ou seja, a variação de valor monetário que o dinheiro sofre ao decorrer do tempo (EICK, 2010).

O resultado do *payback* traz algumas informações sobre risco de investimento. Quanto menor o valor desse índice, menor o tempo para que o valor investido tenha um retorno e o risco será menor. Por outro lado, quanto maior o valor do *payback*, maior o período para que o investimento retorne e, consequentemente, maiores são os riscos (SOUZA; CLEMENTE, 2009).

A TIR analisa e compara as despesas no presente e os potenciais retornos futuros. Dessa forma, a TIR existe para analisar o potencial de um investimento, ou seja, o máximo de lucro que ele pode trazer (PILÃO; HUMMEL, 2003). Assim, a TIR nada mais é que uma taxa de retorno considerando o VPL igual a 0 (SOUZA; FRANCO, 2018).

Em seus estudos, Dalfovo et al (2019) afirma que o sistema fotovoltaico de energia se mostra mais vantajoso em casas onde o consumo de eletricidade é maior, além de que quem consome mais possui maior probabilidade de fazer um maior investimento. Nesse mesmo

estudo, o autor diz que o alto custo do projeto e a ausência de financiamentos impossibilita o uso de sistema fotovoltaico nas classes mais baixas da população.

3.6 INSTALAÇÃO

Para que um sistema fotovoltaico tenha resultados satisfatórios, não adianta apenas um adequado dimensionamento e equipamentos de qualidade, mas também uma boa gestão do projeto e uma boa instalação. A principal falha apontada para um mau sucesso desses sistemas fotovoltaicos é primordialmente a errônea instalação (CEPEL, 2014).

A instalação pode ser dividida em duas fases: pré-instalação e instalação propriamente dita. A pré-instalação, que antecede a instalação, inclui atividades de dimensionamento, escolha dos materiais que serão usados, escolha da configuração, além da determinação do tempo que será gasto. Já a instalação propriamente dita se trata da montagem das placas e dos materiais junto com os testes de funcionamento (PROGRAMA ALTENER, 2004).

Algumas recomendações são feitas pela CEPEL (2014) para a segurança do trabalho no tocante à instalação dos módulos fotovoltaicos, como: não usar joias ou adereços, usar equipamentos de proteção individual, impedir a radiação solar nos geradores, evitar contatos acidentais com o módulo e cercar o gerador caso se encontre em local de fácil acesso para evitar o contato deste com pessoas despreparadas.

Em sistemas residenciais, os módulos fotovoltaicos são instalados na maior parte das vezes no telhado, isso se a residência possuir estrutura física que resista aos equipamentos que serão montados. Caso contrário, se a estrutura física não permitir ou o telhado da casa não recebe radiação solar de maneira satisfatória, os módulos podem ser instalados em um poste, na parte superior (RÜTHER, 2004).

Quando a instalação se dá por um conjunto de braçadeiras, ela permite que o cliente ajuste a posição do módulo voltando-o para a radiação em determinadas épocas do ano, aumentando a geração de energia. Quando a instalação se dá no solo, seu objetivo é manter a posição do módulo de forma fixa, além de evitar qualquer dano que possa acontecer por ventos violentos, por exemplo. Cada tipo de instalação varia conforme a necessidade (CEPEL, 2014).

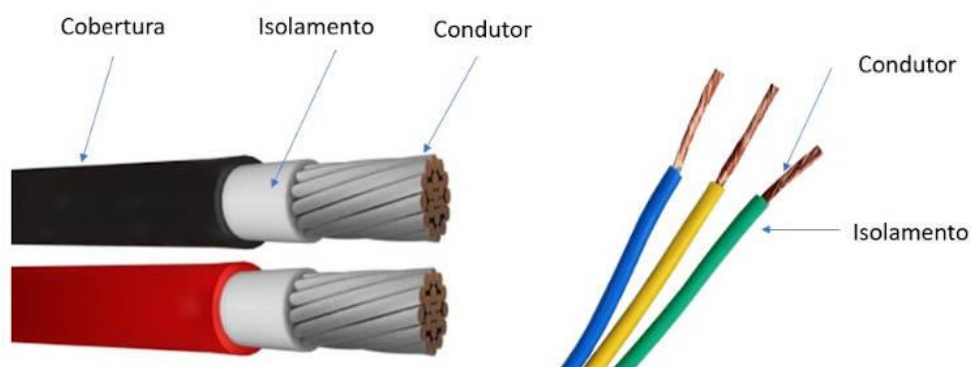
Os equipamentos como os inversores, usualmente são instalados nas paredes, em local com o mínimo de umidade, sem exposição solar, arejado e próximo ao módulo fotovoltaico, isso porque a umidade e o calor excessivo diminuem a vida útil dos aparelhos (ANEEL, 2016).

A avaliação dos dados do sistema fotovoltaico é feita de forma *on-line* por meio de programas de computadores. Quanto maior a complexidade que o sistema exigir, maior o custo dos armazenadores de dados. Nesse sentido, o tipo de programa a ser adotado vai depender da

necessidade de cada um, da quantidade de variáveis a serem monitoradas e analisar o custo-benefício dependendo dos fatores a serem monitorados (CEPEL, 2014).

Os equipamentos que compõe o sistema fotovoltaico, dentre eles os módulos, baterias e inversores devem ser conectados entre si por meio de cabos do tipo ideal como mostra a Figura 17. O tipo de cabo ideal dependerá do ambiente, levando em conta fatores como umidade e temperatura, bem como ao tipo de instalação, aérea ou subterrânea (CEPEL, 2014).

Figura 17 – Cabos elétricos no sistema fotovoltaico feitos de alumínio e cobre, respectivamente.



Fonte: LONGI SOLAR (2019)

Nas instalações, os cabos precisam ter sua polaridade bem identificada, o que pode ser feito através do uso de cores distintas, sendo vermelho para o condutor positivo e preta para o condutor negativo (ABNT, 2004).

Ademais, não se utiliza seção milimétrica menor que a indicada pelo fabricante do equipamento. A conexão entre cabos e equipamentos precisa ser apertada, pois um mau contato pode gerar perdas elétrica e superaquecimento, o que pode resultar em incêndios (ABNT, 2004).

3.7 HOMOLOGAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

A homologação de um sistema de energia solar é importante pois garante a segurança dos técnicos no momento de instalação do projeto fotovoltaico e dos consumidores que residirão (no caso da instalação em casas), ou trabalharão (no caso de estabelecimentos comerciais e indústrias), sob as placas solares. Tais regulamentos promovem o bem estar e

proteção, bem como as funcionalidades do sistema, que deverá operar entre 25 e 30 anos, devido à sua longa durabilidade (PORTAL SOLAR, 2020).

Além disso, por meio da homologação, toda a energia produzida, e que não for consumida, poderá ser revertida em créditos energéticos disponíveis pela concessionária, podendo ser utilizados em até 60 meses. Sendo assim, essa é uma ótima opção para o funcionamento em dias nublados, ou períodos noturnos, quando o sistema fotovoltaico não opera (MPPT SOLAR, 2020).

Hoje em dia, a homologação de energia pode ser realizada de forma simplificada e acessível. Veja como é feito o procedimento: Se solicita a conexão do sistema de energia solar previamente à concessionária de energia; Envia o projeto à concessionária para a análise; Feito isso, tem-se um prazo de 120 dias para realizar a instalação do seu sistema de energia solar e solicitar a vistoria para a distribuidora de energia; Neste passo, um técnico especializado deverá realizar a vistoria (quando solicitado) e um relatório que será encaminhado à concessionária para a regularização; Por fim, a concessionária fará uma nova vistoria técnica a fim de autorizar a ligação do sistema na qual o relógio é trocado por um medidor bidirecional (PORTAL SOLAR, 2020).

4 SIMULAÇÃO DE INSTALAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Neste capítulo, será discorrido a simulação de instalação de um sistema fotovoltaico residencial, indo desde a entrevista ao cliente e confecção da proposta até o dimensionamento e economia financeira proporcionada pelo projeto.

4.1 APRESENTAÇÃO DOS BENEFÍCIOS E ENTREVISTA AO CLEINTE

Para adesão do cliente ao serviço, é importante que o engenheiro eletricista, bem como a equipe em si, informe os principais benefícios da instalação do sistema fotovoltaico residencial ao contratante.

Em seguida, se deve colher os dados do cliente, conforme visualizado na Tabela 3. É de extrema importância realizar a visita ao local para coletar as informações referentes ao local de instalação e o tipo de rede.

Tabela 3 – Dados dos clientes.

DADOS DO CLIENTE	
Nome	Francilucia Rebouças de Queiroz
Telefone	(XX) XXXX-XXXX
Perfil	Residencial
E-mail	XXXX@gmail.com
Endereço	AV. Dr Antonio da Rocha Freitas,1238.
Cidade	Jaguaruana
Estado	Ceará (CE)
Concessionária	ENEL
Tipo de Rede	Monofásico
CPF/CNPJ	815.718.244-87
Local de instalação	Telhado

Fonte: Autor (2021)

4.2 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Jaguaruana é um município localizado no interior do Ceará, conhecida popularmente como Terra da Rede, possuindo cerca de 32 mil habitantes. A cidade fica localizada a 183 km de Fortaleza, a capital do estado, e se destaca na economia por sua produção de redes e cultivo de camarão em cativeiro, além da forte presença da indústria têxtil.

Para o dimensionamento do sistema fotovoltaico foi considerado o consumo de energia médio mensal da residência. Para o caso em estudo, o dimensionamento foi realizado para um consumo de 700 kWh/mês a pedido da unidade consumidora que pretende expandir sua demanda por energia nos próximos meses. Os dados para do consumo de energia mensal podem ser encontrados na fatura de energia, conforme Figura 18, bem como seu tipo de conexão com a rede que neste caso é monofásica e seu nível de tensão contratada é de 220 Volts na categoria residencial, que exige a necessidade de uma potência contratada conforme resolução da ENEL.

Figura 18 - Recorte da fatura de energia do cliente (ENEL)

DESCRIÇÃO DO FATURAMENTO										TRIBUTOS	BASE CALC (R\$)	ALÍQUOTA (%)	VALOR R\$	CONSUMO / kWh			
Itens de Fatura	Quant.	Preço unit (R\$)	Valor (R\$)	com tributos										MÊS/ANO	CONSUMO FATURADO (kWh)	DIAS	TIPO DE FATURAMENT
Consumo	516	0,81678	421,46							PIS/PASEP	376,95	0,2300	0,84	SET21	516,00	30	LID
Adicional Band. Vermelha	516	0,18390	94,89							COFINS	376,95	1,0400	3,91	AGO21	509,00	30	LID
CIP - ILUM PUB PREF MUNICIPAL			112,91							ICMS	516,35	27,00	139,40	JUL21	580,00	32	LID
Juros Moratórios			13,43											JUN21	523,00	30	LID
Multa			21,30											MAR21	535,00	29	LID
Subtotal Faturamento			516,35											ABR21	856,00	33	LID
Subtotal Outros			147,64											MAR21	783,00	28	LID
TOTAL			663,99											FEV21	737,00	30	LID
EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO E CONSUMO NO PERÍODO														JAN21	765,00	32	LID
Nº Medidor	P.Horário/Segmento	Data Leitura	Leitura	Data Leitura	Leitura	Fator Multiplicador	Consumo kWh	Nº Dias						DEZ20	628,00	30	LID
5572531-ELE-626	HFP	26.AGO	44330,0	24.SET	44848,0	1,0	516,0	30						NOV20	692,00	29	LID
														OUT20	770,00	32	LID
														SET20	755,00	30	LID
														Tipos Fat.: LID - Lido; MED - Média de consumo; MN - mínimo faturável			
										RESERVADO AO FISCO							

Fonte: Autor (2021)

Primeiramente, o consumo é definido na conta do cliente. Deve-se fazer a média anual de consumo e abater a taxa mínima: Monofásico = 30 kWh; Bifásico = 50 kWh; Trifásico = 100 kWh. Assim temos o valor mensal necessário. No caso do cliente estudado, a média anual

é de 618 kWh. Se levarmos em consideração que é um sistema monofásico, teremos uma geração necessária de 588 kWh.

Conforme norma da ENEL, o consumo mínimo para clientes residenciais monofásicos é de 30 kWh/mês, ou seja, mesmo que o sistema seja dimensionado e gere um montante superior a este valor, ocorrerá o pagamento do custo por disponibilidade. Com base nessas informações; A Tabela 4 mostra os valores de consumo estimado e real, já descontado o custo por disponibilidade da concessionária.

Tabela 4 – Consumo médio e consumo dimensionado

Parametros	Set/21	Ago/21	Jul/21	Jun/21	Mai/21	Abr/21	Mar/21	Fev/21	Jan/21	Dez/21	Nov/21	Out/21
Consumo de energia estimado (Kwh/mês)	588	588	588	588	588	588	588	588	588	588	588	588
Consumo real	616	509	580	523	529	856	783	737	765	628	692	770

Fonte: Autor (2021)

Com os dados em mãos, é necessário fazer o cálculo para saber a potência necessária, visando garantir que a energia gerada seja suficiente para atender o consumo de energia estimada. De acordo com o Portal Solar (2020) temos,

$$P_{fv} = \frac{C}{I_{rr}} \frac{1}{F}, \quad (3)$$

Sendo C a produção energética ao ano da residência, I_{rr} a incidência solar anual da cidade de Jaguaruana, F a eficiência máxima e P_{fv} a potência teórica do sistema. Sendo,

$$C = 588 \times 12 = 7056 \frac{kWh}{ano},$$

$$I_{rr} = 5,3 \text{ kWh/m}^2/\text{dia} \times 365 = 1934,5 \text{ kWh/m}^2/\text{ano} \text{ (Jaguaruana)} - \text{Os dados foram obtidos a partir do site da CRESESB.}$$

$$F = 85\% = 0,85. - \text{Dado obtido pelo portal solar (2020)}$$

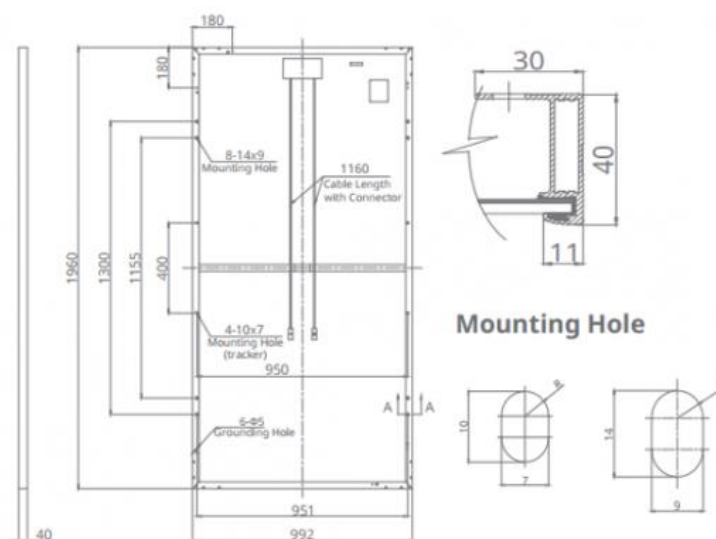
Portanto,

$$P_{fv} = \frac{7056}{1934,5} \frac{1}{0,85} = 4,29 \text{ kWp.}$$

Para o dimensionamento e a realização do projeto foi utilizado o *software* AutoCAD, criado e comercializado pela Autodesk e um *plug-in* para sistemas fotovoltaicos, o PVSuiteBR.

Após o dimensionamento, é necessário determinar qual painel solar será utilizado. Neste trabalho optou-se por utilizar o painel solar fabricado pela Longi Solar, modelo CS6U-330P, com potência de 330 Wp. A escolha deste equipamento está atrelada a disponibilidade do fornecedor do *kit* gerador fotovoltaico adquirido. Vale ressaltar que este painel tem uma das melhores eficiências entre os disponíveis no mercado, o que garante o melhor aproveitamento na conversão de energia. Ele é fabricado com silício policristalino com rendimento de 16,97% e suas dimensões são mostrados na Figura 19.

Figura 19 – Dimensões do painel fotovoltaico



Fonte: LONGI SOLAR (2019)

As especificações técnicas, bem como a eficiência do painel solar são mostradas na Figura 20.

Figura 20 – Dados do painel solar

CS6U	315P	320P	325P	330P
Nominal Max. Power (Pmax)	315 W	320 W	325 W	330 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	36.6 V	36.8 V	37.0 V	37.2 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.61 A	8.69 A	8.78 A	8.88 A
Open Circuit Voltage (Voc)	45.1 V	45.3 V	45.5 V	45.6 V
Short Circuit Current (Isc)	9.18 A	9.26 A	9.34 A	9.45 A
Module Efficiency	16.20%	16.46%	16.72%	16.97%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C			
Max. System Voltage	1500 V (IEC) or 1500 V (UL)			
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)			
Max. Series Fuse Rating	15 A			
Application Classification	Class A			
Power Tolerance	0 ~ + 5 W			

Fonte: LONGI SOLAR (2019)

A potência nominal máxima, ou Pmax, é a potência máxima de geração do painel fotovoltaico. A tensão de máxima potência, Vmp, é o valor da tensão entregue quando a carga está em máxima potência, enquanto a tensão de circuito aberto, Voc, se refere ao valor de tensão máxima que o módulo solar entrega sob determinadas condições de temperatura correspondentes a uma circulação de corrente com valor nulo.

A partir da escolha do fabricante do painel, é feita a definição da quantidade de painéis fotovoltaicos necessárias para instalação. Deve-se levar em consideração o modelo do painel (Monocristalino x Policristalino) e a potência dos mesmo. Deve-se dividir a potência teórica do sistema (1º passo) pela nominal do painel:

$$Q_p = \frac{P_{fv}}{P_p}, \quad (4)$$

Sendo Q_p a quantidade de painéis e P_p a potência dos painéis.

Levando em consideração que o modulo escolhido tem 330 Wp, temos 0,330 kWp por painel. Portanto,

$$Q_p = \frac{4,29}{0,330} = 13 \text{ módulos.}$$

Assim, temos a potência gerada (P_{ge}) de:

$$P_{ge} = 13 (330) = 4,29 \text{ kWp.}$$

A última etapa do dimensionamento é a escolha do inversor fotovoltaico, feita com base na potência instalada do sistema. Para este projeto foi utilizado um inversor da fabricante NHS, modelo NHS SOLAR-5K-GDM1 que possui potência máxima de operação na entrada CC de 6,5 kW, como mostra a Figura 21.

Definido o inversor, deve-se observar a tensão do cliente, levando em consideração que a potência pode ser até 25% inferior que a potência dos painéis, devido a propriedade dos materiais. Pode ser utilizado mais de 1 inversor, desde que verificada a quantidade de pontos rastreador de potência máxima, MPPT, do inversor e limite de potência. Assim,

$$Potência\ AC = 4,29 (0,75) = 3,21\ kW\ (monofásico).$$

Figura 21 – Dados do inversor

MODELO	NHS SOLAR - 1K5 - GDM1	NHS SOLAR - 3K - GDM1	NHS SOLAR - 5K - GDM1
DADOS DE ENTRADA DC			
POTÊNCIA MÁXIMA DC (W)	1950	3900	6500
TENSÃO MÁXIMA DC (V)	450	500	580
FAIXA DE TENSÃO DO MPPT(V)	80-400	80-450	125-550
TENSÃO DE PARTIDA (V)	80	80	120
CORRENTE MÁXIMA DC (A)	10	18	11 por MPPT
PROTEÇÃO SOBRECORRENTE DC (A)	12.5	22.5	13.8/13.8
NÚMERO DE CONECTORES DC	1	1	2
NÚMERO DE MPPTs	1	1	2
CATEGORIA DE PROTEÇÃO DE SOBRETENSÃO DC	Categoria II		
CONECTOR DC	AMPHENOL H4/MC4/SUNCLIX (opcional)		
DADOS DE SAÍDA AC			
POTÊNCIA NOMINAL AC (VA)	1500	3000	5000
MÁXIMA POTÊNCIA AC (VA)	1500	3000	5000
CORRENTE MÁXIMA AC (A)	7.5	13.5	22.8
PROTEÇÃO SOBRECORRENTE AC (A)	11	20	35
PARÂMETROS NOMINAIS DA REDE	50/60Hz; 220/230VAC		
PARÂMETROS DE SAÍDA DO INVERSOR	45-55Hz/55-65Hz; 180-270VAC		
THDi	<3%		
FATOR DE POTÊNCIA	0.8 Capacitivo ~0.8 Indutivo		
CONEXÃO COM A REDE	Compatível com 1 ou 2 fases		

Fonte: NHS SOLAR (2020)

4.3 ANÁLISE FINANCEIRA E ECONOMIA DE ENERGIA

O custo total do investimento para a instalação do sistema fotovoltaico será composto pelo *kit* fotovoltaico, ou seja, módulos, inversor, cabos solares, sistema de proteção CC e as estruturas para sustentação dos módulos, além do frete até a cidade onde foi realizada a instalação, hospedagem, alimentação, materiais para aterramento do sistema, cabos e sistema de proteção CA. Tais custos deverão estar detalhados para o cliente como mostra o exemplo na Tabela 5.

Tabela 5 – Custos para instalação

CUSTOS	VALORES (R\$)
Kit fotovoltaico	14.646,70
Materiais para acabamentos	26,80
Proteção CA	135,80
Sistema de aterramento	73,60
Cabos	238,30
Mão de obra	7.000,00
Alimentação	300,00
Total	21.420,50

Fonte: Autor (2021)

É necessário deixar claro para o cliente a sua responsabilidade de disponibilizar local temporário para armazenamento dos equipamentos e materiais de obra. Caso haja, disponibilizar os projetos da construção existente (arquitetura, instalações elétricas, estrutura etc.), permitir livre acesso da equipe de instalação aos locais de realização dos trabalhos durante o horário das 08:00h às 18:00h, manter padrão de energia em conformidade à exigência da distribuidora local e ter fornecimento de energia elétrica para a equipe de instalação, assim como local apropriado para testes e montagem de estruturas e/ou equipamentos.

Se for apontado na visita técnica a necessidade de substituição de telhas, estas devem ser disponibilizadas pelo contratante/cliente. Para sistemas com monitoramento remoto, o cliente deverá garantir que o local de instalação dos inversores deverá receber o sinal de *internet* por *wi-fi* ou via cabo *ethernet*. Por fim, as condições da proposta e seus conteúdos, caso aceitas pelo cliente, deverão se transformar em elementos constituintes de um contrato de serviços, como VPL, que indica a diferença do valor presente das receitas menos o valor presente dos custos e *payback*, que mostra o tempo de retorno para o investimento feito.

A análise econômica consiste em estimar os gastos do projeto na aquisição dos painéis solares, do inversor, bem como acessórios como cabos e disjuntores. Os gastos e custos serão calculados somando-se os valores dos equipamentos dimensionados para viabilizar a construção do projeto fotovoltaico. Com o valor dos custos, é possível se fazer o tempo de retorno do investimento pela seguinte equação:

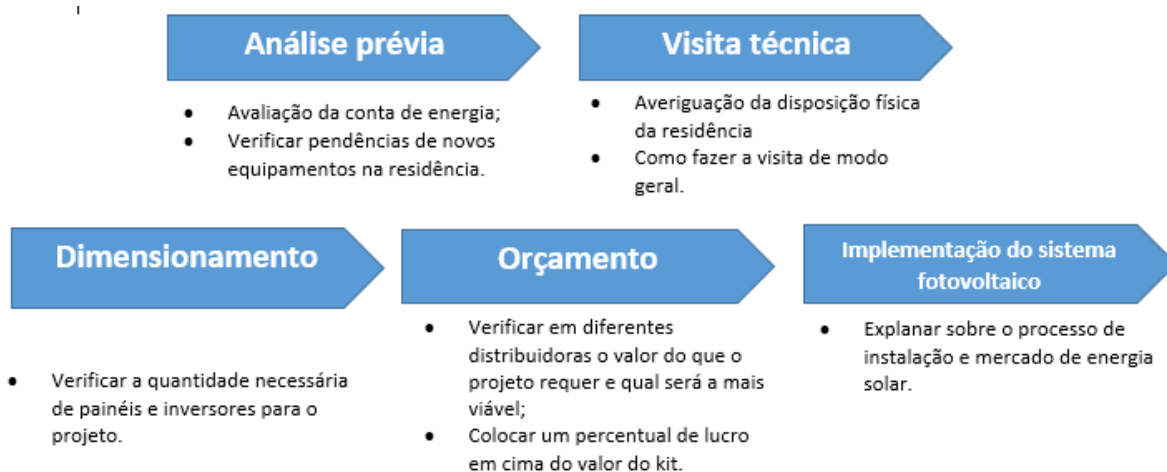
$$\text{Tempo de retorno} = \frac{\text{Valor do projeto}}{\text{Custo anual com energia elétrica}} \quad (5)$$

A partir desse cálculo, é possível ter conhecimento sobre a partir de quanto tempo de instalação o projeto fotovoltaico trará retorno econômico, compensando assim o investimento inicial que foi feito.

4.4 FLUXOGRAMA DO PROJETO

A instalação de um sistema fotovoltaico é um projeto que, se executado de forma correta por profissionais qualificados leva apenas alguns dias para ser terminada. De forma resumida, é necessário realizar a análise prévia do terreno que é feita antes da instalação dos painéis fotovoltaicos que compõem o sistema de geração de energia solar. Ela serve para examinar as condições de terreno nas quais o sistema será instalado. Depois, deve-se fazer a visita técnica para averiguar a disposição física da residência. Realizar o dimensionamento, ou seja, averiguar a quantidade ideal de painéis e inversores necessárias para o projeto. Fazer o orçamento, verificando em diferentes distribuidoras o valor do que o projeto de instalação requer e ver qual o melhor custo-benefício e realizar por fim a implementação do projeto. Essas etapas são ilustradas na Figura 22.

Figura 22 – Fluxograma do projeto proposto.



Fonte: Autoria Própria.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Energias limpas e renováveis são o futuro, sendo um fato que não se pode negar. Com o avanço da tecnologia, a sustentabilidade é um tema que vem ganhando grandes proporções. A utilização de energias não renováveis está gerando desastres naturais que se não evitados, podem ser irreparáveis, causando problemas financeiros, sociais e ambientais. Desse modo, o homem vem buscando alternativas mais sustentáveis, tendo como tripé fundamental a conservação do meio ambiente, financeiro e social.

A pesquisa em questão foi realizada a partir de uma revisão de bibliografia, onde houve a explanação sobre o desenvolvimento da energia fotovoltaica no Brasil, desenvolvimento das células solares, os sistemas *On-grid* e *off-grid*, bem como o contexto financeiro deste sistema no Brasil.

A importância do estudo se dá devido ao aumento das tarifas energéticas e diminuição dos custos para implantação de sistemas fotovoltaicos a níveis residências, além de o mercado de projetos e execução de sistemas fotovoltaicos vem ganhando destaque, surgindo assim a necessidade de apresentar as etapas para elaboração e execução desses projetos, partindo desde a entrevista com o cliente até a instalação do sistema gerador.

A energia solar é uma das fontes de energia disponível com maior potencial futuro, visto que se comparado a queima de combustíveis fósseis, que libera dióxido de carbono, o sistema fotovoltaico é uma energia limpa e renovável. Pode-se concluir, com os materiais analisados, que a energia solar permite ser gerada no ponto de utilização, sendo um sistema ideal no contexto brasileiro, devido à boa incidência solar.

Dessa forma, como demonstrado no estudo, a implantação desse sistema em residências familiares se mostra vantajoso economicamente ainda que seu investimento inicial seja consideravelmente alto, principalmente para famílias de baixa renda. Sendo a sua implantação justificada também pela incrível possibilidade de se gerar energia elétrica a partir de uma fonte inesgotável: o sol.

Pode-se concluir assim que para a efetivação da instalação do sistema fotovoltaico é necessário primeiramente a entrevista com o cliente, informando os benefícios da instalação do sistema fotovoltaico residencial ao contratante, e colher seus dados em seguida. Após isso, é feito um dimensionamento do consumo de energia da residência, determinando qual painel solar será utilizado e o inversor. E, por fim, uma análise econômica para calcular o custo total do investimento para a instalação.

REFERÊNCIAS

ABNT. Instalações elétricas de baixa tensão. **NBR 5410:2004**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2004.

ANEEL. **Relatório Evolução das Tarifas Residenciais**. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/relatorio-evolucao-tarifas-residenciais>. Acesso em: 05 Julho. 2021.

ALVARENGA, Carlos Alberto. **Energia Solar**. Lavras: UFLA / FAEPE, 2001.

ATHANASIA, A. L. The economics of photovoltaic stand-alone residential households: a case study for various European and Mediterranean locations. **Solar Energy & Solar Cells**, n.62, p.411-427, 2000.

BLUESOL. **Energia Solar: Como Funciona?** – O Efeito Fotovoltaico, disponível em <<http://www.blue-sol.com/energia-solar/energia-solar-como-funciona-o-efeito-fotovoltaico/>>, publicado em 23 de dezembro de 2011, último acesso em 04 de Julho de 2021.

BOCCATO, V. R. C. **Metodologia da pesquisa bibliográfica na área odontológica e o artigo científico como forma de comunicação**. Rev. Odontol. Univ. Cidade São Paulo, São Paulo, v. 18, n. 3, p. 265-274, 2006.

BOSO, A. C. M. R.; GABRIEL, C. P. C.; GABRIEL, F. ALMEIDA, L. R. A. Análise de custos dos sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid no brasil. **Revista Científica ANAP Brasil**, v. 8, n. 12, 2015.

BRAGA, Renata Pereira. **Energia solar fotovoltaica: fundamentos e aplicações**. Monografia, Graduação em Engenharia Elétrica UFRJ. Rio de Janeiro, 2008.

CAAMAÑO. E. M. **Edifícios fotovoltaicos conectados a la red eléctrica: Caracterización y análisis**. Madrid, 1998. 121 p. Tesis Doctoral – Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid, 1998.

CÂMARA, C. F. Sistemas Fotovoltaicos conectados à rede elétrica. **Universidade Federal de Lavras, UFLA, MG**, 2011.

DANTAS, S. G.; POMPERMAYER, F. M. **Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos no Brasil e possíveis efeitos no setor elétrico**. Texto para Discussão, 2018.

DASSI, J. A.; ZANIN, A.; BAGATINI, F. M.; TIBOLA, A.; BARRICHELO, R.; MOURA, G. D. Análise da Viabilidade Econômico-Financeira da Energia Solar Fotovoltaica em Uma Instituição de Ensino Superior do Sul do Brasil. **XXII Congresso Brasileiro de Custos**, Paraná, 2015.

DAZCAL, R.; MELLO, A. **Estudo da Implementação de um Sistema de Energia Solar Fotovoltaica em um edifício da Universidade Presbiteriana Mackenzie**. Abenge – Associação Brasileira de Educação de Engenharia. Fortaleza, 2008.13f.

EICK, G. Viabilidade Econômica e Financeira de Uma Pequena Central Hidrelétrica no Brasil. **Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis**, 2010.

FRAINDENRAICH, N.; LYRA, F. **Energia Solar: Fundamentos e Tecnologias de Conversão Heliotermoeletrica e Fotovoltaica**. p. 423 – 436. 1995.

FREITAS, Susana Sofia Alves. **Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos**. 2008. Tese de Doutorado. Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior de Tecnologia e de Gestão.

GEENBRAS, **Energia Solar e o Prêmio Nobel**. Disponível em:
<[http://greenbras.com/energia-fotovoltaica/energia-solar-e-o-premio Nobel - -deEinstein/](http://greenbras.com/energia-fotovoltaica/energia-solar-e-o-premio-Nobel--deEinstein/)>.
Acesso em: 01 julho de 2021.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

JOÃO TAVARES PINTO. Cresesb (org.). **Manual de Engenharia para sistemas fotovoltaicos**. 2014.

JÚNIOR, O. Sistemas fotovoltaicos conectados à rede: Estudo de caso-3 kWp instalados no estacionamento do IEE-USP. **Monografia. Sao Paulo**, 2005.

KYOCERA. Módulos Solares. Disponível em:
<<http://www.kyocerasolar.com.br/modulossolares.html>> Acesso em: 05 julho. 2021.

LIMA, Bruno G; HACK, Raysa R; AVENCA, Rebeca. B. **Comparação dos níveis de Irradiação apresentados por Diferentes Fontes de Dados no Estado do Paraná e Determinação do Potencial de Geração de Energia Elétrica por Fonte Fotovoltaica em Curitiba**. Curitiba: UTFPR – DIBIB, 2015.

LORENZO, E.; ZILLES, R. **El generador fotovoltaico**. In: LORENZO, Eduardo Org. *Electricidad solar: ingenieria de los sistemas fotovoltaicos*. Sevilla: Progensa, 1994.

MARKVART, T. **Solar Electricity**. 2nd ed. 1994 e 2000.

MAYCOCK, P. D. **Photovoltaics: Sunlight to Electricity in One Step**. Andover: Brick House. 222 p. 1981.

MACEDO, W. N. **Análise do fator de dimensionamento do inversor aplicado a sistemas fotovoltaicos conectados à rede**. São Paulo, Brasil: Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo. Brasil, 2006. 183 p.

MATAVELLI, A. C. ; **Energia solar**: geração de energia elétrica utilizando células fotovoltaicas. 2013. 34f. Monografia apresentada à Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo como requisito para obtenção do título de Engenheiro Químico.

MAYCOCK, P. D. **Photovoltaics: Sunlight to Electricity in One Step**. Andover: Brick House. 222 p. 1981.

MESSENGER, R.; VENTRE, J. **Photovoltaic Systems Engineering**. Boca Raton: CRC Press, 2010.

MINAYO, M. C. de S. O desafio da pesquisa social In: MINAYO, M. C. de S. **Pesquisa Social Teoria, método e criatividade**, Petrópolis, RJ: Vozes, 2009.

MINAYO, M. C. de S. **O desafio da pesquisa social**, Petrópolis, RJ: Vozes, 2009.

MPPT SOLA. **Construa seu sistema solar fotovoltaico**. 2015. Disponível em: <<http://www.mpptsolar.com/pt/home.html>>. Acesso em: 05 agostos 2021.

OLADE - **ORGANIZACIÓN LATINOAMERICANA DE ENERGÍA**. Curso de lá Generación Distribuida. SABA System. 2011. Disponível em: Acesso em 03 julho. 2021.

OLIVEIRA, J. V.; **Dimensionamento e Viabilidade Econômica para um Projeto de Microgeração**. 2017. 51f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) –Universidade de Fortaleza – UNIFOR, Fortaleza, 2017.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. (Abril de 2021). UNIDO destaca oportunidades de cooperação em energias renováveis entre Brasil e África. Acesso em: <https://brasil.un.org/pt-br/123759-unido-destaca-oportunidades-de-cooperacao-em-energias-renovaveis-entre-brasil-e-africa>. Acesso em: 05 de agosto de 2021.

PORTAL SOLAR (Março de 2020). ENERGIA FOTOVOLTAICA: MANUAL SOBRE TECNOLOGIAS, PROJECTO E INSTALAÇÃO. Fonte: Portal Solar: <https://www.portal-energia.com/downloads/guia-tecnico-manual-energia-fotovoltaica.pdf>. Aceso em: 05 de agosto de 2021.

PROGRAMA ALTENER. (2004). **Energia Fotovoltaica-Manual sobre tecnologias, projecto e instalação**. Europa: Comissão Europeia; Projeto GREENPRO.

PEREIRA, A. C.; **Geração de Energia para Condomínio Utilizando Sistema Fotovoltaico Autônomo – Estudo de Caso em Edifício Residencial com Seis Pavimentos**, 2010. 46f. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia UFMG

PEREIRA, F.; OLIVEIRA, M. **Curso técnico instalador de energia solar fotovoltaica**. Porto: Publindústria, 2011.

PINHO, J.; GALDINO, M. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014.

PRIEB, C. W. M. **Desenvolvimento de um Sistema de Ensaio de Módulos Fotovoltaicos**. 2002. 54f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

RÜTHER, R. (2004). **Edifícios Solares Fotovoltaicos – O Potencial da Geração Solar Fotovoltaica Integrada a Edificações Urbanas e Interligada à Rede Elétrica Pública no Brasil**. Florianópolis.

RÜTHER, R. **Panorama Atual da Utilização da Energia Solar Fotovoltaica e o Trabalho do LABSOLAR nesta Área**. 1999. 02 – 18p.

SANTOS, C. B.; SAUER, I. L. **Sumário metodológico do estudo de planejamento integrado de recursos para o sistema elétrico de Boa Vista – RR**. São Paulo, IEE-USP, 1998. I Cd Rom.

SANTOS, F. A; SOUZA, C. A; DALFIOR, V. A. O. Energia Solar: um estudo sobre a viabilidade econômica de instalação do sistema fotovoltaico em uma residência em Ipatinga-MG. **XIII SEGET- Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia**, RJ, 2013. Disponível em < <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos16/862456.pdf> > Acesso em: 05 de Jul 2021.

SCHMELA, M. **Global market outlook for solar power: 2016-2020**. Brussels: SolarPower Europe, 2016. Disponível em: http://www.solarpowereurope.org/fileadmin/user_upload/documents/Events/SolarPower_Webinar_Global_Market_Outlook.pdf.

SCHUCH, L. et al. Sistemas Autônomo de Iluminação Pública de Alta Eficiência Baseado em Energia Solar e Leds. **Eletrôn Potên**. Campinas, vol. 16, n. 1, p.17-27, fev. 2011

SOARES, G. F. (2010). **Comparação De Custos Entre Sistemas Fotovoltaicos Individuais E Minicentraís Fotovoltaicas Para Eletrificação Rural**. Belém: CEPEL.

SOUZA, C. P. D.; FRANCO, T. A. S. Projeto e instalação de um sistema fotovoltaico residencial conectado à rede de distribuição. **Universidade Federal do Paraná**. Curitiba, 2018.

TAVARES, Carlos Antônio Pereira. **Estudo comparativo de controladores Fuzzy aplicados a um sistema solar fotovoltaico**. 2009. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro – Faculdade de Engenharia

TIEPOLO, Gerson; Urbanetz, J.; Cancigliari. **INSERÇÃO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA NA MATRIZ ELÉTRICA DO ESTADO DO PARANÁ: ANÁLISE DO POTENCIAL PRODUTIVO**. **Revista Sodebras**, Vol. 8. Artigos publicados. Março, 2013.

TOYAMA Heizo, Alain; Neves, J. Natalino; Almeida, Geraldo, Nelson. **ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA DE ENERGIA PARA DIFERENTES REGIÕES NO ESTADO DO PARANÁ**. Curitiba: UTFPR – DIBIB, 2014.

URBANETZ, J.; CASAGRANDE, E. F.; TIEPOLO, G. “Análise do desempenho de dois anos de operação do sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica do Escritório Verde da UTFPR”, **V Congresso Brasileiro de Energia Solar – V CBENS**, Recife, 2014.

VERGARA, S. C. **Métodos de pesquisa em administração**. São Paulo: Atlas, 2005.

VERGARA, S, C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 16. ed. São Paulo: Atlas, 2016.

VILLAIVA, Marcelo Gardela; GAZOLI, Jonas Rafael. **Energia Fotovoltaica: conceito e aplicação sistema isolados e conectados à rede**. 2ª Edição Revisada e Atualizada, Editora Saraiva, 2017.

VILLALVA, M.; GAZOLI, J. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. São Paulo: Erica, 2012.

