

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA

CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

JOSÉ GUILHERME COMELLI ZORNOFF

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MECANISMOS FIXOS E MÓVEIS
PARA FIXAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2017

JOSÉ GUILHERME COMELLI ZORNOFF

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MECANISMOS FIXOS E MÓVEIS
PARA FIXAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS**

Monografia do Projeto de Pesquisa apresentada à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso - Tcc2 do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para aprovação na disciplina.

Orientador: Prof. Dr. Silvestre Labiak Jr.

CURITIBA

2017

TERMO DE ENCAMINHAMENTO

Venho, por meio deste termo, encaminhar para apresentação a Proposta do Projeto de Pesquisa “Análise comparativa entre os mecanismos fixos e móveis para fixação de painéis fotovoltaicos”, realizada pelo aluno José Guilherme Comelli Zornoff, como requisito parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Silvestre Labiak Jr.
UTFPR - Damec

Curitiba, 26 de Junho de 2017.

TERMO DE APROVAÇÃO

Por meio deste termo, aprovamos a monografia do Projeto de Pesquisa “Análise comparativa entre os mecanismos fixos e móveis para fixação de painéis fotovoltaicos”, realizada pelo aluno José Guilherme Comelli Zornoff, como requisito parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – Tcc2, do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Prof. Dr. Silvestre Labiak Jr.
Departamento, Acadêmico de Mecânica - UTFPR
Orientador

Prof. PhD. Eloy Fassi Casagrande Jr.
Departamento, Acadêmico de Construção Civil - UTFPR
Avaliador

Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior
Departamento, Acadêmico de Eletrotécnica - UTFPR
Avaliador

Curitiba, 26 de Junho de 2017.

RESUMO

COMELLI ZORNOFF, José Guilherme. ANÁLISE COMPRATIVA ENTRE OS MECANISMOS FIXOS E MÓVEIS PARA FIXAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS. 77 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento Acadêmico de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba 2017.

O trabalho trata da estruturação de um quadro comparativo entre os tipos de estruturas de fixação a serem usadas como suporte para os painéis fotovoltaicos, com objetivo de identificar diferentes aspectos existentes entre as tecnologias, como vantagens, desvantagens, componentes, materiais, manutenção e impacto ambiental. Entre as justificativas que se embasam para a execução desse projeto, pode-se destacar as questões relacionadas a geração de energia limpa através dos painéis fotovoltaicos, por intermédio dos conceitos de engenharia mecânica relacionados as estruturas de fixação dos módulos, para realizar tal tarefa. A metodologia empregada nesse trabalho envolve uma revisão bibliográfica do tipo exploratória, com o intuito de fazer um levantamento dos tipos de sistemas de fixação existentes, bem como das características de cada um, com intuito de elaborar um quadro comparativo de tecnologias aplicadas ao tema.

Palavras-chave: Painéis Fotovoltaicos, suporte de painéis fotovoltaicos, estruturas metálicas, comparação entre estruturas.

ABSTRACT

COMELLI ZORNOFF, José Guilherme. COMPARATIVE ANALYSIS BETWEEN FIXED AND MOVABLE MECHANISMS FOR FIXING OF PHOTOVOLTAIC PANELS. 77 f. Course Completion Work – Academic Department of Mechanical Engineering, Federal University of Technology. Curitiba 2017.

The work deals with the structuring of a comparative framework between the types of fastening structures to be used as support for photovoltaic panels, in order to identify different aspects between technologies such as advantages, disadvantages, components, materials, maintenance and environmental impact. Among the justifications for the execution of this project, we can highlight the issues related to the generation of clean energy through the photovoltaic panels, through the mechanical engineering concepts related to the fixation structures of the modules, to accomplish this task. The methodology used in this work involves a bibliographic review of the exploratory type, with the purpose of making a survey of the types of existing fixation systems, as well as the characteristics of each one, with the purpose of elaborating a comparative table of technologies applied to the theme.

Keywords: Photovoltaic panels, support of photovoltaic panels, metallic structures, comparison of structures.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Divisão da radiação solar	21
Figura 2. Mapa de irradiância.....	23
Figura 3. Estrutura Standoff	31
Figura 4. Parafuso tipo J	32
Figura 5. Tipos de Perfis	33
Figura 6. Braçadeira.....	34
Figura 7. Grampo Central.....	34
Figura 8. Standoff.....	35
Figura 9. Montagem Rack.....	36
Figura 10. Estrutura Rack com Pernas de Elevação.....	37
Figura 11. Pernas Fixas e Móveis.....	37
Figura 12. Estrutura BIPV.....	38
Figura 13. Montagem Direta.....	40
Figura 14. Estrutura Rack	41
Figura 15. Rack com Um e Dois Pontos de Fixação	42
Figura 16. Rack.....	43
Figura 17. Poste	44
Figura 18. Estrutura do tipo Poste.....	45
Figura 19. Rastreador Passivo	47
Figura 20. Seguidor Bifacial Auxiliar.....	48
Figura 21. Seguidor Eletro-Óptico	49
Figura 22. Seguidor Polar	50

Figura 23. Seguidor Azimutal	50
Figura 24. Seguidor Horizontal	51
Figura 25. Seguidor de Dois Eixos	52
Figura 26. Atuador Linear	53
Figura 27. Rastreador de Dois Eixos em Montagem	54
Figura 28. Seguidor de Dois Eixos com Painel	54
Figura 29. Ciclo de Vida das Estruturas	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Custos de instalação	14
Tabela 2. Eficiência dos Módulos.....	26
Tabela 3. Custos BIPV	39

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Caracterização do Problema	11
1.2	Objetivos	11
1.2.1	Objetivo Geral	11
1.2.2	Objetivos Específicos	11
1.3	Justificativa	12
2	Metodologia	15
2.1	Descrição da Metodologia	15
2.1.1	Escolha do tema	15
2.1.2	Levantamento bibliográfico preliminar	16
2.1.3	Formulação do problema	17
2.1.4	Elaboração do plano provisório de assunto	17
2.1.5	Busca das fontes	18
2.1.6	Redação do texto	18
3	Fundamentação Teórica	20
3.1	Energia Solar	20
3.2	Energia fotovoltaica	23
3.3	Tipos de células fotovoltaicas	25
3.4	Fatores que alteram o desempenho dos painéis fotovoltaicos	27
3.4.1	Calor	27
3.4.2	Sombreamento	28
3.4.3	Poeira	28
3.4.4	Ângulo de incidência do Sol	29
3.5	Dispositivos de fixação:	30
3.5.1	Estruturas para a sustentação de módulos em telhados	31
3.5.2	Estruturas de fixação para o solo	40
3.5.3	Rastreadores solares	45
3.6	Esforços mecânicos	55
3.7	Impacto ambiental gerado pelas estruturas de fixação:	55
3.8	Manutenção	56
4	Resultados	58
5	Considerações finais	68
	REFERÊNCIAS	70

1 INTRODUÇÃO

A partir da década de 70, quando ocorreu a crise do petróleo, ficou clara a necessidade da busca de novas fontes energéticas, uma vez que havia uma sujeição aos combustíveis fósseis (TREVELIN, 2014). Esse momento é considerado um fator de importância para o início das aplicações da energia fotovoltaica, uma vez que até mesmo algumas empresas de petróleo começaram a investir na nova tecnologia, que com o passar dos anos atingiu números mais significativos com relação a participação na matriz energética mundial, juntamente com o avanço da tecnologia (PINHO e GALDINO, 2014).

Além de ser uma alternativa aos combustíveis fósseis na geração de energia, a energia fotovoltaica apresenta diversas características vantajosas que favorecem a sua implementação, como o baixo impacto ambiental gerado, de maneira silenciosa, com uma matriz renovável, a aplicabilidade em centros urbanos, reduzindo o congestionamento gerado na forma convencional de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica (URBANETZ, 2010).

O Brasil atualmente, conta com a energia originada a partir das usinas hidroelétricas como principal meio de gerar eletricidade, sendo que essa fonte possui um valor baixo no que diz respeito ao custo de produção, porém com um amplo impacto ambiental, em função das áreas necessárias para os reservatórios. Os demais constituintes da matriz energética brasileira, em menor porção, são as usinas térmicas, que possuem o grau de poluição associado ao tipo do combustível que é queimado, as usinas nucleares, que podem tornar-se muito perigosa no caso de um acidente e as usinas eólicas (URBANETZ, 2010).

Em países mais desenvolvidos, como por exemplo a Alemanha, a tecnologia solar já representa uma grande fonte energética, tendo uma participação de 20% entre as fontes presentes, chegando ao ponto de que no ano de 2014, 74% da energia produzida no país era produzida a partir de fontes renováveis (REDAÇÃO BRASIL ALEMANHA, 2014). Já o Brasil, apesar de reunir uma das melhores condições mundiais para gerar energia elétrica através da radiação solar apresenta valores de 0,02% de participação de mercado da mesma. A expectativa, porém, é de que para os próximos anos ocorra um grande aumento da energia solar como matriz energética

no Brasil, sendo esperado que para o ano de 2024, ela represente 4% de participação na potência elétrica do país (PORTAL BRASIL, 2016).

1.1 Caracterização do Problema

Durante a pesquisa referente a painéis fotovoltaicos, foi identificado o número escasso de estudos que tratam a respeito especificamente das estruturas de suporte que fazem parte da composição de um sistema fotovoltaico. Dessa forma, foi realizado um estudo, sobre as diferentes estruturas, bem como seus aspectos operacionais, sobre uma análise do ponto de vista da engenharia mecânica, levando em conta questões estruturais, de composição das estruturas, ambientais e as condições ideais para o funcionamento correto dos painéis.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O trabalho tem como objetivo, estruturar um quadro comparativo organizado, no qual será possível diferenciar as estruturas de fixação existentes de painéis fotovoltaicos, levando em conta, além dos tipos existentes, a sua composição e materiais, vantagens, desvantagens, tipo de manutenção e impacto ambiental gerado.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Compreender os principais aspectos da geração de energia elétrica através do efeito fotovoltaico;
- Funcionamento do painel fotovoltaico;
- Analisar os sistemas de fixação dos painéis fotovoltaicos;
- Definir vantagens e desvantagens, bem como outros pontos de interesse dos sistemas de fixação dos painéis fotovoltaicos;

- Estruturar um quadro dinâmico dos sistemas de fixação estudados, bem como seus pontos de interesse, com o intuito de retratar os diferentes aspectos existentes entre eles.

1.3 Justificativa

O incremento da energia fotovoltaica no Brasil, passa pela proposta de contribuição do país junto a UNFCCC, Secretariado da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, aonde pretende-se reduzir as emissões de gases do efeito estufa, em 37% até de 2025 e em 43% até 2030, tendo como referência o ano de 2005. Essas ações fazem parte da meta de temperatura 2°C, originada no Acordo de Paris, que consiste em conter o aquecimento global abaixo dessa temperatura, para tal objetivo, uma das medidas tomadas que se refere ao setor energético, consiste em alcançar uma participação de 45% na matriz brasileira até 2030 (REPÚBLICA FEDERATIVA do BRASIL, 2015).

No ano de 2016, a agência de setor financeiro Bloomberg, através da sua área voltada para energia, a Bloomberg *New Energy Finance* (BNEF), lançou um relatório denominado de *New Energy Outlook 2016*, no qual é prevista uma diversificação na matriz energética brasileira nos próximos anos. Nesse novo cenário, a energia hidrelétrica terá uma queda na participação, representando 29% da geração total, enquanto as energias eólica e solar juntas, representarão o valor de 43% do total da energia elétrica produzida. Os motivos para que essa tendência se concretize estão relacionados aos reajustes sistemáticos na conta de energia elétrica, bem como as graves secas que assolaram o país nos anos de 2014 e 2015, e mostraram que o Brasil possui uma matriz energética ultrapassada e que necessita de diversificação (BLOOMBERG, 2016).

A partir do ano de 2012, foi estabelecida a resolução normativa nº482, através da ANEEL, na qual estabelece-se um sistema de compensação de energia, aonde a eletricidade gerada pelo consumidor é cedida gratuitamente para a distribuidora, para que posteriormente ocorra um abatimento na conta de luz, fazendo com que a mesma tenha seu valor reduzido (ANEEL- AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2012). No ano de 2015, essa resolução recebeu uma atualização, a resolução

normativa nº687, fazendo com que fosse reduzida a burocracia vigente no processo de registro do sistema solar pelas companhias de energia, reduzindo o tempo limite de 82 para 34 dias para fosse feita a conexão pela distribuidora (ANEEL- AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2015).

Outra medida tomada pelo governo com intuito de incentivar o uso dos módulos fotovoltaicos, foi a proposta seguida pela aprovação pelo senado, de um projeto que permite a compra e instalação de equipamentos voltados para a geração de energia elétrica em residência, através de um saque no FGTS. As únicas restrições para que ocorra essa retirada, são a necessidade de que o beneficiário possua 3 anos de carteira assinada, além do que o imóvel que irá receber os equipamentos em questão, precisam estar no nome do mesmo (SENADO FEDERAL, 2016).

Além de todos esses fatores citados, que estão ligados mais fortemente a questões econômicas, existem os fatores ambientais para o emprego de células fotovoltaicas, uma vez que as mesmas são totalmente isentas de emissões, inclusive durante o processo de produção de energia. Deve ser considerado o processo de reciclagem, ainda não disponível em larga escala, que é aplicado aos módulos, na reutilização do silício, tanto no fim da vida útil do mesmo, aproximadamente 30 anos, bem como para perdas durante o processo produtivo. Além do silício, os demais componentes podem ser reaproveitados, como o vidro, EVA e alumínio, esse tipo de estratégia vem sendo empregada por diversos países (ABINEE, 2012).

Um estudo específico a respeito das estruturas de fixação, possui relevância em detrimento as diversas medidas apresentadas anteriormente, que tem como intuito um aumento da participação da geração de energia solar, acarretando um crescimento na demanda de painéis fotovoltaicos e dos demais sistemas periféricos que fazem parte de sua composição, além do valor expressivo representado pelas estruturas de fixação em comparação ao sistema como um todo, como pode ser visto na tabela a seguir (ABINEE, 2012).

APLICAÇÃO	Residencial	Comercial	Usina
CAPACIDADE (kW)	3	30	30.000
CUSTO DOS MÓDULOS E INVERSORES (R\$)	11.605	116.047	116.047.414
CUSTO DE CABOS E PROTEÇÕES (R\$)	2.250	18.000	13.100.000
CUSTO DO SISTEMA FIXAÇÃO (R\$)	3.750	24.000	14.000.000
DEMAIS CUSTOS (CONEXÃO, PROJETO ETC.) (R\$)	3.750	30.000	18.000.000
TOTAL (R\$)	21.359	188.047	161.147.414
TOTAL (R\$/W)	7,12	6,27	5,37

**Tabela 1. Custos de instalação
(ABINEE, 2012)**

Na tabela exibida, foram calculados os custos para uma aplicação residencial, comercial e para usina solar, onde a participação dos sistemas de fixação, atingiram valores superiores a 15% do custo total em aplicações residenciais, mostrando assim grande relevância no que diz respeito a aspectos econômicos (ABINEE, 2012).

2 METODOLOGIA

2.1 Descrição da Metodologia

A metodologia para a realização do projeto elaborado, tem como principal aspecto, uma pesquisa do tipo exploratória (GIL, 2002), onde deseja-se adquirir familiaridade com o assunto, que é a comparação entre os tipos de estrutura de fixação de painéis fotovoltaicos existentes. A estratégia utilizada para realizar esse tipo de pesquisa, baseia-se no levantamento de material bibliográfico (GIL, 2002), visto que foi necessário um embasamento geral do tema para que então fossem obtidas informações mais específicas que permitissem a elaboração da tabela comparativa, a qual será o resultado e objetivo final do trabalho (GIL, 2002; LAKATOS e MARCONI, 2003).

Para isso, foram estabelecidas as seguintes fases referentes a pesquisa bibliográfica, encontradas na literatura especializada na área metodológica, que foram atribuídos como roteiro para a realização dessa pesquisa. Em ordem, as etapas listadas a seguir, que serão descritas uma a uma na sequência (GIL, 2002; LAKATOS e MARCONI, 2003).

- a) Escolha do tema;
- b) Levantamento bibliográfico preliminar;
- c) Formulação do problema;
- d) Elaboração do plano provisório do assunto;
- e) Busca das fontes;
- f) Leitura do material;
- g) Organização lógica do assunto;
- h) Redação do texto;

2.1.1 Escolha do tema

A escolha do tema para esse projeto, foi realizada devido a inclinações sobre um assunto de interesse, que é a geração de energia solar através de sistemas fotovoltaicos. O interesse sobre o assunto, surgiu devido ao crescimento que se encontra a área, bem como os fatores positivos presentes na tecnologia mostrados a

seguir, bem como a possibilidade de utilizar com ênfase na engenharia mecânica os problemas presentes no tema.

- a) baixo impacto ambiental;
- b) energia renovável e silenciosa;
- c) diversidade de local de aplicabilidade.

A partir dessa ideia foram definidos os desafios em relacionar os conhecimentos adquiridos no curso de engenharia mecânica, vinculados ao tema proposto, limitando assim a extensão do trabalho e tornando-o compatível com o tempo de execução e a capacidade de resolução dos problemas a serem propostos (GIL, 2002; LAKATOS e MARCONI, 2003).

2.1.2 Levantamento bibliográfico preliminar

Uma vez definido o tema, passou-se para etapa de realizar um levantamento bibliográfico preliminar, que pode ser definido como um estudo prévio, que tem como objetivo o maior entendimento e familiaridade com o assunto relacionado ao tema, afim de delimitar a área de estudo, e então definir o problema a ser estudado (GIL, 2002; LAKATOS e MARCONI, 2003).

O referencial utilizado nesse levantamento baseia-se em fontes primárias e secundárias, onde as primárias consistem em textos confeccionados diretamente por um autor, e expostos através de artigos, livros e periódicos entre outros. Por sua vez, as fontes secundárias, são produzidas por um segundo autor, porém levando em conta, e assim referenciando um primeiro autor citado nas fontes primárias, sendo que esse tipo de material pode ser encontrado em artigos de revisão, periódicos e catálogos entre outros (PERNA, 2011).

Nessa etapa foi importante a leitura de referenciais tais como: livros sobre energia fotovoltaica, artigos, teses e catálogos, além de uma entrevista orientadora, realizada na empresa Gceng Engenharia, que atua na implementação de sistemas fotovoltaicos, possibilitando uma abordagem exploratória, que auxiliou na agregação de conhecimento relativo ao tema.

2.1.3 Formulação do problema

Após o processo de levantamento bibliográfico preliminar, que culminou numa etapa de leitura e compreensão do tema, numa forma mais profunda, foi possível verificar a existência de um problema, e propor sua formulação como estudo a ser viabilizado no projeto.

Foi possível constatar, que nos mais variados trabalhos analisados, não há uma análise comparativa entre os diversos tipos de estruturas de fixação de painéis fotovoltaicos fixos e móveis existentes, em uma abordagem que leva em consideração as propriedades mecânicas dos elementos de fixação, portanto foi esse o problema proposto a ser estudado.

A validade da solução do problema, foi verificada a partir da resposta de alguns questionamentos importantes, como por exemplo se o problema possui relevância para que seja solucionado, se os conhecimentos adquiridos ao longo do curso de engenharia mecânica são suficientes para a solução do mesmo, se há material suficiente a ser pesquisado afim de encontrar as respostas necessárias para a resolução do problema, e finalmente se há clareza na formulação do mesmo.

As respostas resultantes dessas perguntas, mostraram que havia validade no problema proposto, com percepção da relevância ao tema, acúmulo de conhecimentos adquiridos ao longo do curso suficientes e referencial teórico que possibilite a resolução do problema proposto.

Vale ressaltar, que a validação do tema e do problema de pesquisa, deu-se através da participação ativa da banca de especialistas participante do processo de avaliação do TCC1.

2.1.4 Elaboração do plano provisório de assunto

Em vista da proposta estabelecida, foi segmentado, através de tópicos, um plano para a organização dos itens que envolvem o estudo do problema, que é composto de introdução, desenvolvimento e uma conclusão. Esse esquema inicialmente projetado, levou em consideração o modelo de TCC proposto pelo corpo docente responsável pela matéria na universidade.

Os subitens que compõem as partes de desenvolvimento e introdução propostos inicialmente, sofreram modificações ao longo do desenvolvimento do projeto, uma vez que o aprofundamento no tema, originou novas abordagens vistas como necessárias para o estudo do problema proposto.

A segmentação inicial do trabalho, teve a seguinte formatação:

- a) Introdução
 - i. Contexto do tema
 - ii. Caracterização do problema
 - iii. Objetivos
 - iv. Justificativa
- b) Fundamentação Teórica
- c) Metodologia
- d) Considerações Finais

2.1.5 Busca das fontes

Para que fossem preenchidos os tópicos prescritos na etapa de organização do trabalho, foi necessário o incremento de referências bibliográficas, embora que as fontes encontradas na etapa de estudo preliminar tenham sido importantes, e compuseram o corpo da pesquisa.

O incremento citado, foi necessário visto que para determinados tópicos mais específicos, era importante a utilização de referências mais aprofundadas sobre o assunto, e essas por sua vez, foram encontradas principalmente em artigos e teses, através de ferramentas como os periódicos da CAPES e o portal de pesquisas acadêmicas do Google.

2.1.6 Redação do texto

Uma vez possuindo todo o material bibliográfico necessário para que o trabalho fosse redigido, bem como a organização em capítulos do mesmo, foi realizada a redação do texto que compõem a pesquisa.

É importante citar, que esse processo de redação tinha como fim, divulgar e explicar os dados que iriam compor a tabela comparativa, que nada mais é do que

uma versão mais simplificada e dinâmica dos pontos mais pertinentes existentes na pesquisa para a resolução do problema proposto.

Uma vez redigido o texto, ao qual atribuiu-se a sequência metodológica descrita nesse capítulo, foi possível organizar as informações em formato de quadro, levando em conta diversos aspectos, os quais serão apresentadas no capítulo referente aos resultados obtidos, encontradas por sua vez no capítulo subsequente que mostra o referencial teórico encontrado.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Energia Solar

No sol ocorre uma reação química denominada fusão termonuclear, na qual átomos de hidrogênio se fundem formando o elemento hélio, na proporção de 600 milhões de toneladas por segundo, liberando uma grande quantidade energia (OLIVEIRA e SARAIVA, 2013). Pesquisas estipularam que o tempo de duração das reservas de hidrogênio do sol, é suficiente para alimentar as suas reações nucleares por um período aproximado de 5 bilhões de anos (PINHO e GALDINO, 2014).

A radiação gerada através dessa reação chega até o planeta, tornando-se a maior fonte energética do mesmo, interferindo em processos físicos, bio-físicos, biológicos além dos climáticos (SENTELHAS e ANGELOCCI, 2009). É importante citar, que o termo radiação solar, é um termo genérico, uma vez que essa energia pode ser quantificada em termos de potência, recebendo então o nome de irradiância solar, ou em termos de energia por área, recebendo então o nome de irradiação solar (PINHO e GALDINO, 2014).

Da quantidade total de luz irradiada pelo sol, 30% são perdidos para o espaço por meio da reflexão e do espalhamento, 4% são refletidos pela própria superfície terrestre, enquanto os outros 51% são absorvidos pela superfície, como demonstrado na figura a seguir (MESSENGER e VENTRE, 2005).

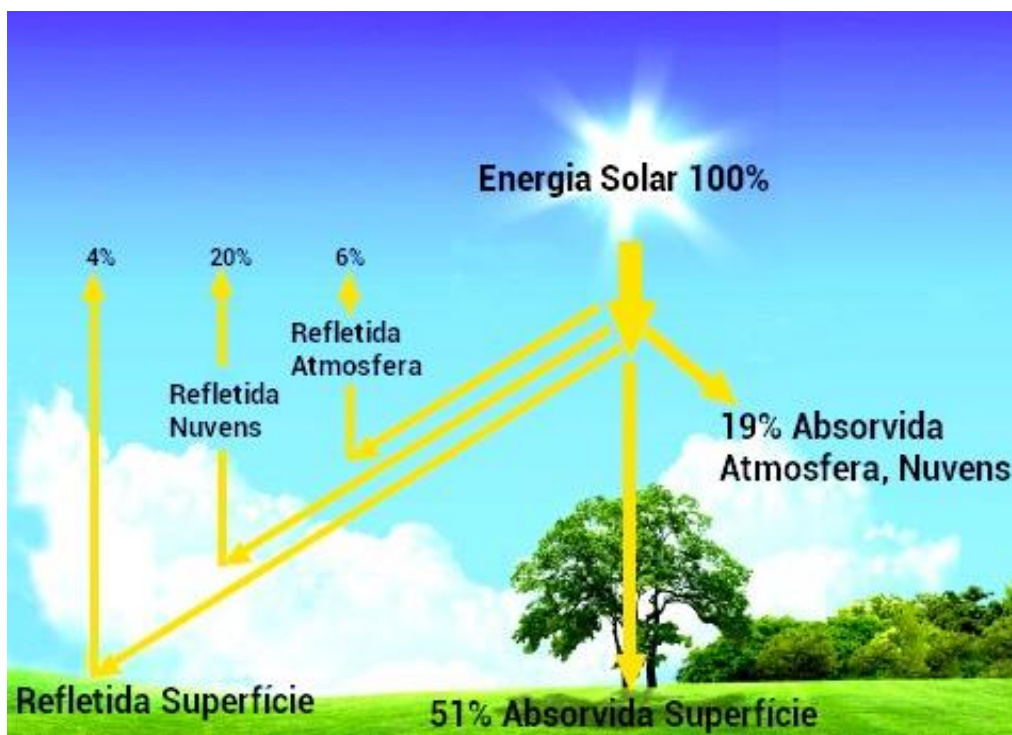


Figura 1. Divisão da radiação solar

Disponível em <<https://www.electronica-pt.com/energia-solar>> Acesso em Março de 2017

Devido ao fato da Terra realizar uma trajetória elíptica ao redor do Sol, em conjunto com a inclinação do eixo terrestre em relação ao plano normal dessa trajetória, de $23,45^\circ$, tem-se como consequência uma variação da duração dos dias ao longo do ano, bem como uma variação no ângulo de incidência dos raios solares, em função da localidade do ponto na Terra (MOUSAZADEH *et al.*, 2009; PINHO e GALDINO, 2014).

Um fator que é interessante de ser mencionado para que se possa tomar uma dimensão da quantidade de energia fornecida pelo Sol para a Terra, é o seguinte, segundo um cálculo estimado em uma média anual de propagação dos raios solares sobre o topo da atmosfera, foi alcançado um valor de irradiância, de 1367 W/m^2 , tomando por base o raio da Terra como sendo 6371 km, pode-se concluir que a potência total fornecida pelo Sol para a atmosfera, é de 174000 terawatts, sendo que o consumo mundial energético no ano de 2011 foi de 143000 terawatt hora, ou seja, em duas horas a Terra recebe a quantidade total de energia consumida em um ano (PINHO e GALDINO, 2014).

Outro fator determinante para a mudança de incidência da radiação é a variação do ângulo de incidência dos raios solares, o chamado ângulo zenital, que varia de acordo com a latitude, horário do dia e estação do ano local, de forma que os locais mais próximos a linha do equador são os que mais recebem irradiação (SENTELHAS e ANGELOCCI, 2009). A radiação recebida por uma superfície, divide-se em uma componente direta e uma componente difusa, a direta é aquela que provém diretamente do Sol, e produz sombras com nitidez, já a difusa, atinge a superfície após o espalhamento na atmosfera terrestre, e contém raios de luz, que provém de todas as direções. No caso de haver uma inclinação da superfície receptora, pode-se acrescentar uma terceira varável na radiação, denominada de albedo, que nada mais é do que o reflexo da luz gerado pelo próprio ambiente (PINHO e GALDINO, 2014).

Uma última consideração que pode ser feita, é de que antes de atingir a superfície, a espessura da camada atmosférica influencia as propriedades da radiação, que está diretamente ligada a fatores como a distância entre o Sol e a Terra, o ângulo zenital solar, além das condições meteorológicas e atmosféricas (PINHO e GALDINO, 2014).

Para que um projeto de sistema fotovoltaico se torne viável, é importante que a localização aonde ele será instalado alcance valores mínimos de irradiação que variam entre 3 a 4 kWh/(m².dia), que são valores encontrados com êxito para localidades entre os trópicos. Como pode ser visto no mapa de irradiância a seguir, o Brasil possui um potencial de geração de energia solar superior a países europeus, que desfrutam da utilização de fontes de conversão fotovoltaica de uma forma muito mais expressiva (PINHO e GALDINO, 2014).

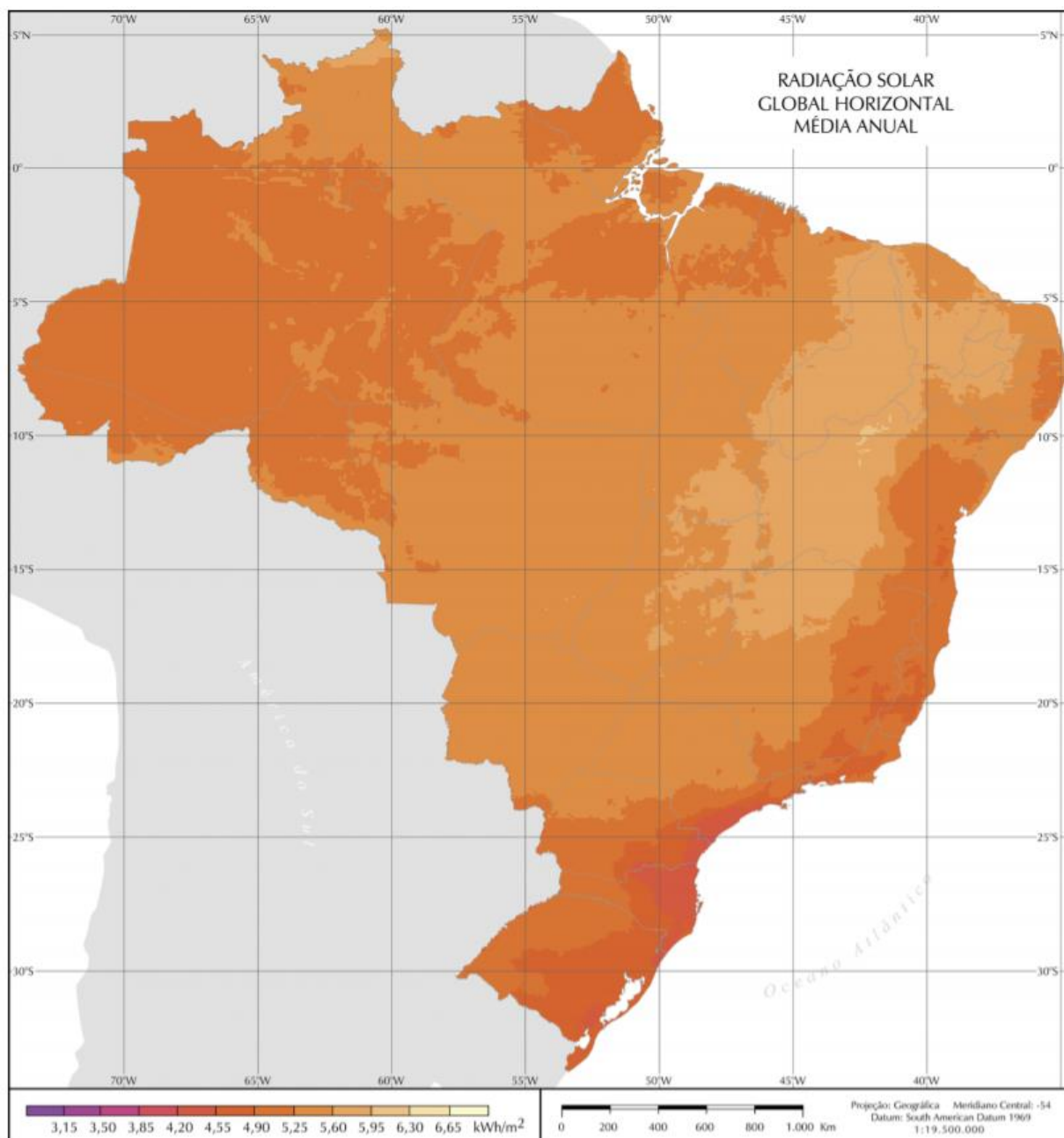


Figura 2. Mapa de radiação

Disponível em

<http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil_solar_atlas_R1.pdf> Acesso em
Julho de 2017

3.2 Energia fotovoltaica

A origem da energia fotovoltaica, se dá a partir do fenômeno fotovoltaico, descoberto no ano de 1839 pelo físico Alexandre-Edmond Becquerel, que ao incidir

luz em uma estrutura semicondutora, presenciou a surgimento de uma diferença de potencial elétrico na mesma (PINHO e GALDINO, 2014).

O emprego dos módulos solares, ganhou grande relevância, a partir do ano de 1958, quando a passou a ser empregado no sistema espacial, sendo esta sua principal função até a metade da década de 1970, quando ocorreu a crise mundial de energia, fazendo com que ele passasse a ser utilizado também em meios terrestres (PINHO e GALDINO, 2014).

Diante dos diversos materiais semicondutores existentes, o que apresenta principal relevância em relação a aplicação, é o silício, sendo que no ano de 2011, ele foi responsável por 87,9% da produção mundial de energia solar, isso deve-se muito a sua abundância, uma vez que ele é o segundo componente químico mais abundante da Terra. Em módulos solares, o silício pode variar sua estrutura química, apresentando-se de modo amorfo, policristalino e monocristalino (PINHO e GALDINO, 2014).

Além dos painéis dos tipos inorgânicos existentes, existem também os dos tipos orgânicos, que apesar de apresentar vantagens perante aos demais tipos, ainda estão em fase inicial de testes, e por isso não possuem produção em larga escala (WENHAM, 2007).

O princípio de funcionamento dos painéis fotovoltaicos, se dá através do efeito gerado nos materiais chamados semicondutores, grupo esse de matérias que envolvem vários elementos como, silício e carbono por exemplo além de compostos que são binários, ternários e quaternários. Esse efeito ocorre quando elétrons de uma camada de valência migram para uma outra camada livre, que se dá através da incidência de fótons sobre esses elétrons, sendo assim ocorre a geração de um campo elétrico e por consequência a criação de uma corrente elétrica que pode ser utilizada em aparelhos (NASCIMENTO, 2004; PINHO & GALDINO, 2014).

É vital que as camadas livres e preenchidas com elétrons estejam intercaladas, para que ocorra um fluxo, afim de gerar corrente elétrica, também é importante que exista a inclusão de um segundo elemento em determinada concentração, procedimento esse denominado dopagem, que geralmente é composto por materiais como fósforo e boro, aonde a dopagem com fósforo resulta em um material com

elétrons livres, ou seja, de carga negativa, silício tipo n, e a com boro resulta em um material com falta de elétrons, ou carregado positivamente, silício tipo p, e que muda de forma substancial as propriedades elétricas do material (DEMO, 2004; PINHO e GALDINO, 2014).

Os sistemas fotovoltaicos, podem ser do tipo conectado à rede elétrica ou sistemas isolados, aonde sistemas isolados geralmente são empregados em localizações mais remotas, como nas áreas rurais por exemplo, enquanto os sistemas conectados à rede elétrica atuam como um complemento da energia fornecida pelo sistema elétrico já conectado (MESSENGER e VENTRE, 2005; PINHO e GALDINO, 2014).

Existem diferenças, entre as duas modalidades de sistemas fotovoltaicos existentes, no que se refere aos componentes periféricos que atuam em conjunto ao módulo, uma vez que os sistemas isolados, necessitam de algum tipo de armazenamento, que geralmente é realizado por baterias e controladores de carga, enquanto inversores e estruturas de fixação são compartilhadas por ambos os tipos de sistemas (MESSENGER e VENTRE, 2005; PINHO e GALDINO, 2014).

3.3 Tipos de células fotovoltaicas

O painel fotovoltaico é o principal componente no processo de conversão da luz em energia elétrica, sendo que ao longo do tempo essa tecnologia passou por diversos processos de evolução, que podem ser segmentados em três períodos, onde, a primeira a geração destaca-se pela produção do silício nas formas monocristalina e policristalina, que representam a maior parte do mercado, com mais de 85% de participação, muito dessa alta representatividade deve-se a confiabilidade da tecnologia e a eficiência gerada por ela (PINHO e GALDINO, 2014).

A segunda geração dos painéis, também chamada de filmes finos, é composta por silício amorfo, disseleneto de cobre e índio ou cobre, índio e gálio além dos módulos de telureto de cádmio, sendo que essa geração ainda tem uma baixa participação no mercado em função de sua baixa eficiência, em comparação a primeira geração, bem como problemas como tempo de vida útil, disponibilidade de materiais e em alguns casos até mesmo a toxicidade (PINHO e GALDINO, 2014).

A terceira geração, que ainda está em fase de testes, é composta pelas células fotovoltaicas para concentração, CPV, células sensibilizadas por corantes, DSSC, e também as células orgânicas ou poliméricas, chamadas de OPV, que embora tenham demonstrado um potencial significativo para a produção de módulos, ainda não possuem um preço competitivo para demonstrar sua escolha frente aos demais concorrentes já estabelecidos (PINHO e GALDINO, 2014).

O custo dos módulos fotovoltaicos é o maior empecilho para o crescimento da energia fotovoltaica como uma fonte com maior participação na matriz energética brasileira, apesar de que o avanço tecnológico tem barateado e tornado mais competitivo o seu uso, uma vez que ao longo do tempo, a eficiência dos módulos tem aumentado significativamente, como pode ser visto no quadro abaixo, onde estão dispostas tecnologias existentes, bem como a eficiência de cada uma (PINHO e GALDINO, 2014).

Tecnologia		Eficiência (%)
Silício	Monocristalino	25,0 ± 0,5
	Policristalino	20,4 ± 0,5
	Filmes finos transferidos ⁴	20,1 ± 0,4
Compostos III A-VA (ou 13-15)	GaAs (filme fino)	28,8 ± 0,9
	GaAs (policristalino)	18,4 ± 0,5
	InP (monocristalino)	22,1 ± 0,7
Calcogênios Compostos II B-VI A (ou 12-16)	CIGS (CuIn _x Ga _(1-x) Se ₂) (filme fino)	19,6 ± 0,6
	CdTe (filme fino)	18,3 ± 0,5
Silício amorfo / nanocristalino	Amorfo (a-Si) (filme fino)	10,1 ± 0,3
	Nanocristalino (nc-Si)	10,1 ± 0,2
Células Sensibilizadas por Corantes (DSSC)		11,9 ± 0,4
Células Orgânicas (filme fino)		10,7 ± 0,3
Multijunção	InGaP/GaAs/InGaAs	37,7± 1,2
	a-Si/nc-Si/nc-Si (filme fino)	13,4± 0,4

Tabela 2. Eficiência das Células
(PINHO e GALDINO, 2014)

O Brasil é um país que conta com disponibilidade do mineral silício, e é um dos líderes mundiais da sua obtenção no modo metalúrgico do mesmo, que como dito anteriormente é matéria prima utilizada na produção de painéis fotovoltaicos, porém o país não dispõe do restante da cadeia de purificação do material para que seja atingido o nível necessário para sua aplicação como células fotovoltaicas e em componentes eletrônicos (ABINEE, 2012).

A explicação para a falta de presença de industriais do ramo da purificação do silício, tem relação com o alto custo de energia elétrica praticado no país, uma vez que esse processo demanda de grande quantidade de energia, e em novas soluções que vem sendo pesquisadas na indústria com o intuito de reduzir o consumo energético, perde-se o grau eletrônico do silício, restringindo sua aplicação para fins solares (ABINEE, 2012).

3.4 Fatores que alteram o desempenho dos painéis fotovoltaicos

A quantidade total gerada de energia em um painel fotovoltaico, sofre perdas devido a fatores externos, que devem ser levadas em consideração e por consequência resultam na modificação do design do conjunto que compõem o sistema. A seguir, estão mostrados alguns desses fatores, bem como seus efeitos e forma de contorna-los (KING *et al.*, 2002).

3.4.1 Calor

A performance do módulo, sofre influência da temperatura, uma vez que com o aumento da mesma, existem comportamentos distintos da voltagem e da corrente que estão sendo geradas, enquanto a primeira decai com o crescimento da intensidade do calor, a segunda geralmente sofre um aumento que é quase insignificante, fazendo assim com que haja uma queda na eficiência do módulo (KING *et al.*, 2002; PINHO e GALDINO, 2014).

A temperatura de operação, está ligada a diversos fatores, como o design do módulo, o sistema de fixação em que ele se encontra montado, o nível de irradiância, a temperatura ambiente e a velocidade bem como a direção do vento. Com base em um estudo matemático, envolvendo potência, corrente e tensão, para um painel de

silício monocristalino, constatou-se que o aumento de um grau de temperatura, faz com que haja uma queda de 0,5% na potência (PINHO e GALDINO, 2014).

3.4.2 Sombreamento

A energia elétrica produzida por um painel fotovoltaico, é dependente do local onde ele se encontra, sendo que há uma grande variação de efetividade na geração de energia em função do efeito produzido pela sombra (ADINOYI e SAID, 2013; PINHO e GALDINO, 2014).

Pelo fato dos módulos possuírem células associadas em série, numa situação de falta de radiação incidida por uma parte que seja de uma célula, haverá uma limitação da corrente de todo o conjunto, podendo propagar-se para módulos que estejam conectados em série ao sistema, o que irá gerar uma queda de potência (ADINOYI e SAID, 2013; PINHO e GALDINO, 2014).

Ainda que o efeito negativo da queda de potência, o sombreamento pode causar até mesmo danos permanentes ao módulo que não está recebendo a luz, através de um efeito chamado de ponto quente, ou também denominado de hotspot, que pode ocasionar a fusão dos polímeros internos contidos no painel e a ruptura do seu vidro (ADINOYI e SAID, 2013; PINHO e GALDINO, 2014).

3.4.3 Poeira

A poeira pode ser incluída no grupo de fatores que pode originar uma queda de rendimento dos módulos fotovoltaicos, podendo atingir valores consideráveis, em determinadas regiões em há condições propícias para o seu acúmulo em demasia (ADINOYI e SAID, 2013).

O acúmulo de poeira, diminui a transmitância da camada de vidro no painel fotovoltaico, fazendo com que ocorra um decaimento da quantidade de irradiância que atinge as células. Transmitância por sua vez, que é a fração de luz incidente que atravessa um determinado material, um fenômeno diretamente ligado a capacidade dos materiais em absorver a radiação (ADINOYI e SAID, 2013).

Apesar de contar com uma certa escassez de estudos relacionados ao acúmulo de poeira, sabe-se que os fatores determinantes para resultar no seu acúmulo são, a inclinação em que se encontra o painel, a orientação e direção do vento dominante presente na região aonde ocorrerá a instalação, o período de exposição a essas condições, além das circunstâncias climáticas existentes (ADINOYI e SAID, 2013).

Numa região onde existem condições muito propícias para o acúmulo de poeira, como por exemplo clima muito seco com baixa precipitação, aliado a presença massiva de areia no solo, foi registrada uma queda de energia do módulo de 60 %, sendo que a inclinação do mesmo no local era de 30°. A medida que é recomendada para contornar o problema, é a manutenção e limpeza dos módulos periodicamente, sendo que em épocas de chuva, essa limpeza não é necessária (ADINOYI e SAID, 2013).

3.4.4 Ângulo de incidência do Sol

Esse efeito está diretamente relacionado com a componente direta de irradiação solar, uma vez que a resposta dos módulos para a radiação difusa, é independente da sua orientação (PATEL, 2006).

A corrente de saída do módulo fotovoltaico é dada pela seguinte fórmula:

$$I = I_0 \cos \theta$$

Onde, I_0 representa a corrente gerada para uma componente normal ao feixe de luz, θ é o ângulo que existe entre a componente normal e a linha do feixe de luz que incide no momento (PATEL, 2006).

Sendo assim, ângulos de incidência de até 50°, fazem com que haja uma boa eficiência energética, acima disso, há uma perda significativa, fazendo com que acima de 85°, o módulo não gere potência (PATEL, 2006).

Nos módulos que estão acoplados a rastreadores de dois eixos, não existe esse tipo de perda, enquanto para módulos orientados verticalmente foram constatadas perdas na ordem de 4%, e as montagens mais tradicionais, que são orientadas de

acordo com a latitude local, foram constatadas perdas da ordem de 1% (KING *et al.*, 2002; PATEL, 2006).

Em módulos construídos em placas planas, o reflexo da luz produzido pelo vidro que cobre o painel, tem grande relevância para ângulos de incidência acima dos 60°, que faz com que menos luz solar alcance as células presentes no interior do módulo, fazendo com que haja perdas que são insignificantes, porém podem tomar maiores proporções de acordo com a orientação utilizada (KING *et al.*, 2002; PATEL, 2006).

3.5 Dispositivos de fixação:

As estruturas as quais os módulos encontram-se fixos, tem como principal objetivo, mantê-los estáveis, além de que, ela deve possibilitar a ventilação necessária para que o sistema trabalhe em uma temperatura adequada, uma vez que temperaturas elevadas causam perdas na eficiência energética do sistema. Outro fator que deve ser levado em conta, é o distanciamento necessário entre os painéis, especificado pelo fabricante, que deve ser respeitado, afim de preservá-los de possíveis danos causados pela dilatação (PINHO e GALDINO, 2014).

Em suma, os suportes devem adaptar-se, ao terreno, ou à edificação na qual serão montados, à estratégia concebida de inclinação e orientação, as características físicas e elétricas dos módulos além até mesmo de levar em conta os fatores estéticos e a aparência. Sem contar que devem estar aterrados, e manufaturados com materiais que possuem pouca suscetibilidade a corrosão, especialmente para casos de ambientes mais severos, resistência aos raios ultravioleta, e possuir o tempo de vida compatível com o dos módulos (PINHO e GALDINO, 2014).

Os painéis solares podem ser classificados de acordo com o seu tipo de fixação, além do local que se encontram montados, que podem ser encontradas tanto no telhado como no chão, sendo que a configuração elétrica requerida e a área de instalação disponível irão ditar o tipo de estrutura que deve ser utilizada (BARKASZI e DUNLOP, 2001).

3.5.1 Estruturas para a sustentação de módulos em telhados

Os módulos montados em telhados, tem como vantagem o fato de aproveitar uma área inutilizada, além de que a elevação torna limitado o acesso, fazendo com que os painéis estejam em segurança e a altura em que estão localizados ainda contribui contra sombreamento, porém em relação aos sistemas montados no chão, podem ocorrer problemas relacionados a infiltração, uma vez que se não houver um selamento correto do telhado durante a instalação, pode ocorrer esse tipo de avaria. Eles são comumente aplicados em 4 tipos, que são: *standoff*, *rack*, *direta* e *integrada* (MESSENGER e VENTRE, 2005).

3.5.1.1 Estrutura Standoff

As estruturas desse tipo, que são as mais frequentemente utilizadas, apresentam painéis montados sobre os telhados de forma paralela a eles, como apresentado na figura 3 a seguir, sendo que esse tipo de sistema apresenta melhores resultados em construções com o teto inclinado, auxiliando assim em um melhor posicionamento com relação a incidência solar, além de contribuir no não acúmulo de poeira e outros tipos de dejetos que atrapalham a conversão de energia por parte dos módulos (MESSENGER e VENTRE, 2005).



Figura 3. Estrutura Standoff

Disponível em <<http://ecgllp.com/files/5814/0200/1304/10-Mechanical-Integration.pdf>>
Acesso em Abril 2017

A distância na qual a estrutura encontra-se do telhado é fator determinante para o resfriamento passivo dos painéis, sendo que usualmente a distância mínima recomendada é de 8 cm, e certos mostraram que quando a distância entre o telhado e o módulo dobra, há um acréscimo de 50% no resfriamento (BARKASZI e DUNLOP, 2001). Porém o fluxo de ar pode variar o tipo de estrutura requerida em função da velocidade dos ventos, uma vez que ele pode ser fixado apenas com sistemas de parafusos que adentram o teto, mas em ocasiões em que há incidência de ventos fortes são demandados estruturas de fixação mais resistentes, como os parafusos do tipo J por exemplo, mostrado na figura abaixo (MESSENGER e VENTRE, 2005).

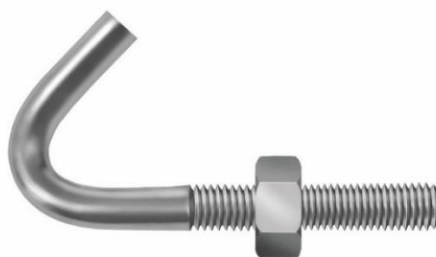


Figura 4. Parafuso tipo J

Disponível em < <http://www.ciser.com.br/produto/27418401>> Acesso em Abril 2017

Esse tipo de aplicação, utiliza vigas de perfil extrudado, que serão responsáveis por receber os painéis fotovoltaicos, fabricadas em alumínio da série 6000, geralmente o 6061 e o 6063, em função da sua alta resistência estrutural, no que se refere ao suporte do peso recebido dos módulos, bem como as cargas proporcionadas pelos ventos. Dependendo dos requisitos do projeto, podem haver mudanças no perfil que será utilizado, como por exemplo no seu desenho, como na figura 5 mostrada a seguir, retiradas do catálogo de um fabricante, além do tipo de acabamento final que ele recebe, como por exemplo anodização e nas suas dimensões (IRONRIDGE, 2017).



Figura 5. Tipos de Perfis
(IRONRIDGE, 2017)

Nos perfis extrudados, há uma espécie de rebaixo que tem como objetivo, receber os grampos de fixação, responsáveis por intermediar a conexão entre os painéis e os perfis (IRONRIDGE, 2017). Existem diferentes tipos de grampos, que por sua vez se incumbem de realizar funções diferenciadas no sistema, listados a seguir:

I. Grampo final ou Braçadeira:

Tem a função de proteger e oferecer fixação aos módulos usando a parte metálica superior, sendo que podem ser fabricados em alumínio do tipo 5000 e 6000, sua aparência é ilustrada na figura 6 (IRONRIDGE, 2017).



Figura 6. Braçadeira
(IRONRIDGE, 2017)

II. Grampo Central:

Esse tipo de grampo, exibido na figura 7, fornece proteção aos painéis, sendo que são utilizados em situações em que há vários módulos colocados lado a lado, sendo utilizado para essas ocasiões o alumínio do tipo 5000. É importante ressaltar que para ocasiões em que módulo são instalados em sequência, deve ser considerada uma distância entre os mesmos (IRONRIDGE, 2017).



Figura 7. Grampo Central
(IRONRIDGE, 2017)

A montagem *standoff* ainda conta com outros aparatos, como os *standoffs*, ilustrados na figura 8, que são as estruturas responsáveis pela elevação das barras extrudadas, que geralmente também são produzidos em alumínio da série 6000, com exceção da sua base, que é em alumínio da série 5000, uma vez que esse apresenta uma maior resistência, necessária para seu emprego como base de todo o sistema (IRONRIDGE, 2017).



Figura 8. Standoff
(IRONRIDGE, 2017)

Um último elemento que pode ser reportado, são os parafusos que fixam o conjunto ao telhado, sendo que eles devem ser resistentes a corrosão, bem como os demais aparatos estruturais de fixação. A utilização em conjunto de parafusos padrão, estruturas de suporte em aço, e o contato direto entre metais de tipos diferentes são fatores que aceleram a corrosão, sendo assim os parafusos recomendados são os inoxidáveis dos tipos 316 e 403 (BARKASZI e DUNLOP, 2001; IRONRIDGE, 2017).

Pode se destacar como vantagens desse sistema estrutural, o fato dele ser menos suscetível a situações de sombreamento devido a sua localização, a maior segurança em relação ao contato externo, que inclui animais, objetos e pessoas, a simplicidade do suporte e que o bloqueio gerado pela estrutura para a incidência dos raios de sol sobre a cobertura diminuiu a temperatura do telhado, propiciando um clima mais ameno nos ambientes internos. Em contrapartida, a dificuldade de instalação e manutenção, com acréscimo dos riscos oferecidos para trabalhos em altura e a limitação do tamanho do sistema aplicado devido a limitações estruturais da cobertura, agem como pontos negativos desse tipo de suporte (PINHO e GALDINO, 2014).

3.5.1.2 Estrutura Rack

A montagem do tipo *rack*, ocorre sob as coberturas, formando uma determinada inclinação a relação as mesmas, como mostrado na figura 9 a seguir. Esse tipo de montagem tem melhor aplicação para telhados sem ou com pouca inclinação (MESSENGER e VENTRE, 2005).



Figura 9. Montagem Rack

Disponível em <<http://ecgllp.com/files/5814/0200/1304/10-Mechanical-Integration.pdf>>
Acesso em Abril 2017

Uma vez que são submetidos a esforços mecânicos maiores que os do tipo *standoff*, eles devem estar fixos a construção onde se encontrarão instalados ou devem possuir um lastro, que pode ser feito em concreto por exemplo, além do que os reforços estruturais maiores requeridos farão com que seu custo final também seja mais elevado. Em contrapartida para uma mesma área, eles apresentarão uma maior eficiência energética por estarem melhor orientados e por possuírem uma temperatura média de funcionamento inferior (MESSENGER e VENTRE, 2005).

Como age de forma análoga ao sistema *standoff*, o *rack* possui basicamente as mesmas vantagens e desvantagens que o mesmo, porém com o acréscimo da vantagem de quem possui melhores condições de ajustar a carga térmica interna, em decorrência de sua maior abertura, além da desvantagem em relação a maior robustez requerida, já citada, que elevará o custo final e tornará a instalação um pouco mais complicada (MESSENGER e VENTRE, 2005; PINHO e GALDINO, 2014).

Os elementos que irão compor a parte estrutural, e o seu tipo de montagem, são determinados pelos fabricantes das estruturas, e por isso podem ser tomadas diversas abordagens. No caso do sistema *rack* descrito, foi tomado como base, a estrutura oferecida pelo fabricante Ironridge, o mesmo que foi levado em consideração na estrutura *standoff*, portanto a montagem de ambas ocorre de maneira muito parecida, apenas com acréscimo de pernas de elevação (IRONRIDGE, 2017).

As pernas de elevação, podem ser do tipo ajustável ou não, que se encontram fixadas nas partes frontal e traseira dos painéis, como mostrado na figura 10.

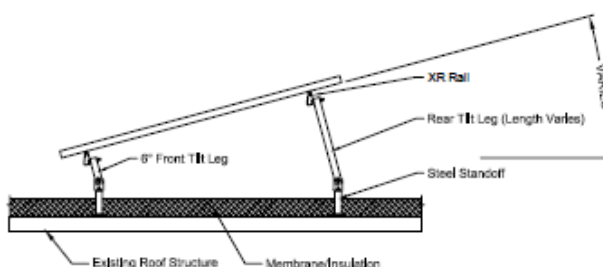


Figura 10. Estrutura Rack com Pernas de Elevação
(IRONRIDGE, 2017)

Tanto os sistemas com pernas ajustáveis, bem como os com pernas fixas, ambos exemplificados na figura 11, são compostos pelos mesmos materiais, sendo que as pernas em si são fabricadas em alumínio da série 6000, e as os suportes que serão responsáveis pela ligação delas com as demais estruturas serão compostos em alumínio da série 5000 (IRONRIDGE, 2017).



Figura 11. Pernas Fixas e Móveis
(IRONRIDGE, 2017)

3.5.1.3 Estrutura Integrada

Nos últimos 30 anos, principalmente em países europeus e nos Estados Unidos, houveram grandes esforços, para que fossem desenvolvidos sistemas totalmente integradas as construções, porém apesar desses esforços, eles têm uma representatividade muito baixa, cerca de 1% das instalações nos Estados Unidos em 2009, em relação a outros sistemas, como o *rack*, por exemplo. Esse tipo de estrutura, é descrito como um produto multifuncional, uma vez que engloba as características de atuar como um material de construção que gera energia elétrica (JAMES *et al.*, 2011).

Os sistemas integrados as construções, também conhecidos como BIPV (*building-integrated photovoltaics*), substituem o telhado convencional pelos painéis, acrescentando a ele uma característica arquitetônica, como pode ser visto na figura 12, característica essa que não é levada em conta nos demais sistemas de montagem. No entanto as tolerâncias necessárias são mais justas do que as utilizadas nas montagens *standoff* e *rack* (MESSENGER e VENTRE, 2005).



Figura 12. Estrutura BIPV

Disponível em < <https://lumensolar.wordpress.com/tag/atlantis-energy-systems/>>
Acesso em Março de 2017

Apesar da tecnologia estar em fase inicial de disseminação de mercado nos países de primeiro mundo, fazendo com que o custo ainda seja um obstáculo em relação aos outros sistemas, ela possui diversos pontos positivos que podem ser destacados, como a eliminação da estrutura que abriga os painéis solares, a possibilidade de um melhor aproveitamento de área das construções além do fato de provocar uma menor intervenção nas construções, em contrapartida ela também possui uma área inativa, ou seja, aquelas que não estão convertendo o sol em eletricidade, maior do que as outras formas convencionais, além de uma eficiência menor, 13,8% contra 14,5% comparando com o sistema *rack*, que se deve por exemplo a uma menor capacidade de refrigeração (JAMES *et al.*, 2011).

Segue abaixo a tabela, na qual estão mostrados os custos em dólares, por material do telhado, em relação a área, em m², e a potência geradas em watts, com os preços estipulados para os Estados Unidos (JAMES *et al.*, 2011).

Material do Telhado	\$/m ²	\$/W
Madeira	\$51,13	\$0,37
Concreto	\$57,86	\$0,42
Metal	\$101,45	\$0,74
Cerâmica	\$116,52	\$0,85

Tabela 3. Custos BIPV
(JAMES *et al.*, 2011)

3.5.1.4 Montagem Direta

Nesse tipo de montagem, os painéis são fixados diretamente na cobertura, como mostrada na figura 13, deixando o espaço entre o módulo e o telhado muito pequeno. Para esse tipo de aplicação, a temperatura de operação se tornará muito elevada, portanto materiais de película fina, os quais possuem uma menor sensibilidade com relação ao calor, se mostram mais adequados. Alguns materiais, como telhas fotovoltaicas, podem classificar-se, tanto quanto sistemas de montagem direta, quanto montagem integrada (MESSENGER e VENTRE, 2005).

Uma vantagem que pode ser acrescentada, é de que os sistemas de montagem direta, podem incrementar a troca de calor entre o telhado e ambiente interno,

tornando-se assim uma fonte térmica interessante para locais que possuem clima frios, em contrapartida, o mesmo efeito pode ser inconveniente para locais de clima quente (BARKASZI e DUNLOP, 2001).

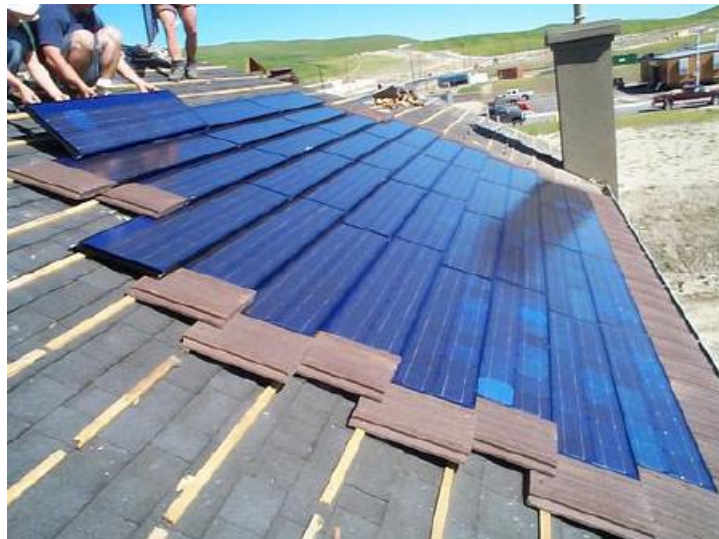


Figura 13. Montagem Direta

Disponível em <<http://ecgllp.com/files/5814/0200/1304/10-Mechanical-Integration.pdf>>
Acesso em Abril de 2017

3.5.2 Estruturas de fixação para o solo

Nessa configuração, os painéis encontram-se fixos ao solo, e são usados principalmente para sistemas que requisitam de um maior porte, sendo que nesse tipo de montagem, propicia-se um melhor ajuste da orientação e uma maior flexibilidade do que os sistemas montados em telhados além do que possuem um acesso mais seguro para instalação e manutenção (PINHO e GALDINO, 2014).

Encontram-se montados com o intuito de resistir a forças ascendentes originadas pelos ventos, que por outro lado possibilitam uma boa refrigeração ao sistema, uma vez a corrente de ar, circula tanto pela parte superior quanto na inferior dos módulos. Esses sistemas, podem ser classificados como: *rack e postes* (MESSENGER e VENTRE, 2005).

3.5.2.1 Estrutura Rack

Estruturas do tipo *rack*, como pode ser visto na figura 14, são amplamente utilizadas em sistemas que se encontram no solo, sendo que tanto para painéis pequenos, quanto para os de maior tamanho, são utilizados conjuntos estruturais simples, como ângulos, bem como é possível o emprego de materiais de fácil acesso, como tubos metálicos (MESSENGER e VENTRE, 2005).



Figura 14. Estrutura Rack

Disponível em <<http://ecgllp.com/files/5814/0200/1304/10-Mechanical-Integration.pdf>>
Acesso em Abril de 2017

Como vantagens desse tipo de sistema, pode-se destacar a facilidade de instalação, manutenção, a robustez estrutural, bem como, como citado anteriormente, a capacidade de englobar os diferentes tamanhos de painéis existentes. Em contrapartida, o fato de ser propício a áreas de sombreamento e mais sujeito ao acúmulo de poeira, e ao contato externo, de animais, pessoas e objetos atuam como aspectos negativos da estrutura, que podem ser contornados pela elevação o isolamento, através de cercas por exemplo, das mesmas (PINHO e GALDINO, 2014).

Com base nos catálogos dos fabricantes pesquisados, foram encontradas estruturas do tipo *rack*, onde o sistema encontra-se permanentemente em um determinado ângulo, e outros onde é possível realizar alterações nessas características. Uma vez feita essa subdivisão, as estruturas ainda podem dividir-se nos tipos com um ou dois pontos de fixação junto ao solo, em função a carga que será suportada, como mostra a figura 15 (EVEREST SOLAR SYSTEMS, 2017).



Figura 15. Rack com Um e Dois Pontos de Fixação
(NUEVOSOL, 2017)

De modo geral, a estrutura desse tipo tem um princípio de funcionamento parecido com a estrutura *rack* fixa ao telhado no que diz respeito a sua composição, uma vez que possuem perfis de alumínio do tipo 6063, com trilhos para receber os grampos que se incumbiram de realizar a ligação do painel e a estrutura (K2 SYSTEMS, 2017).

Os grampos que compõem a montagem da estrutura são os do tipo centrais, fabricados em aço inoxidável do tipo 4301, que irão fixar os painéis ao meio da estrutura e os grampos do tipo finais ou braçadeiras, que tem a função de estabilizar o módulo, fabricados em alumínio (K2 SYSTEMS, 2017).

O *rack*, ou a estrutura que irá suportar os perfis em conjunto com os módulos junto ao chão, representado na figura 16, é fabricado em aço doce do tipo galvanizado, acrescentando assim a resistência e robustez requeridas para uma estrutura de maior porte. Ainda deve ser mencionado que o *rack* encontra-se fixo diretamente ao solo através de uma fundação ou até mesmo com o auxílio de concreto para que seja conferida um maior grau de fixação (EVEREST SOLAR SYSTEMS, 2017).

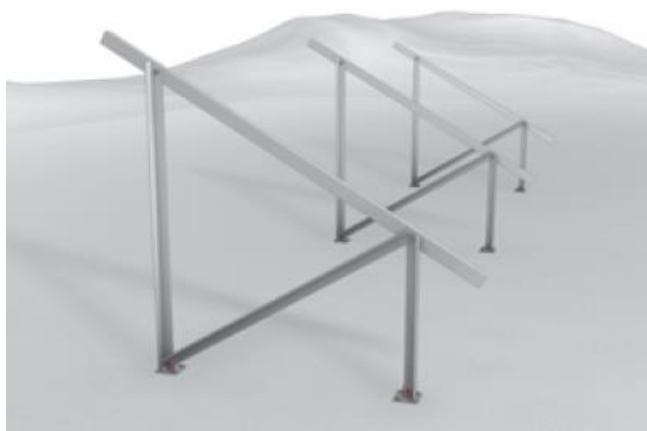


Figura 16. Rack
(K2 SYSTEMS, 2017)

3.5.2.2 Montagem em Postes

Se o sistema fotovoltaico a ser instalado consiste de um conjunto pequeno de painéis, ele pode ser montado sobre postes, que podem ser instalados em sistemas de iluminação pública, contanto que estejam devidamente escorados para resistir a situações de fortes ventos (MESSENGER e VENTRE, 2005).

Esse tipo de sistema de montagem, também pode receber uma aplicação residencial, como mostrado na figura 17, especificamente para casos em que o telhado não suporta a instalação do painel, ou não recebe radiação solar suficiente, dessa forma um módulo fotovoltaico pode ser montado sobre um poste, e este colocado ao lado do imóvel em questão. Suportes como esse tem como vantagens a leveza, facilidade de instalação, simplicidade, que atua de forma direta no custo final de gastos com material, além de ser adaptável as diversas formas de construção encontradas no Brasil, como por exemplo no caso da instalação retratada na imagem 17, já como desvantagens, pode-se citar a menor robustez da estrutura, a maior dificuldade de manutenção e a limitação para sistemas de menor porte (PINHO e GALDINO, 2014).



Figura 17. Poste
(PINHO e GALDINO, 2014)

A fixação nesses sistemas se dá através de um conjunto abraçadeira/batente, comprimindo a parede na qual o suporte encontra-se preso, que contribui com uma outra vantagem do sistema, que é a possibilidade de ajusta-lo ao longo do ano, através de uma simples rotação do mesmo, com o intuito de maximizar a produção de energia, que pode apresentar ganhos expressivos para instalações localizadas próximas a linha do Equador (PINHO e GALDINO, 2014).

As estruturas do tipo postes são compostas por um poste, fabricadas em aço quente galvanizado do tipo Q235, uma viga principal e vigas complementares colocadas de forma perpendicular à principal, além de uma barra ajustável que permite a regulação da inclinação do sistema e acessórios periféricos que permitem a fixação do painel, sendo que essas demais estruturas são feitas em alumínio galvanizado (XIAMEN GRACE SOLAR TECHNOLOGY, 2017).

A figura 18 possui todos os componentes descritos acima, sendo que *pole* se refere ao poste, *beam* a viga principal, *purlin* as vigas complementares, *adjustable bar* a barra ajustável e por fim *accessories* aos dispositivos de fixação, é importante citar que a quantidade de vigas presentes pode sofrer mudanças em função do porte da instalação (XIAMEN GRACE SOLAR TECHNOLOGY, 2017).



Figura 18. Estrutura do tipo Poste
(XIAMEN GRACE SOLAR TECHNOLOGY, 2017)

3.5.3 Rastreadores solares

Rastreadores solares, não são dispositivos essenciais para o funcionamento de um módulo solar, porém a sua presença pode melhorar a performance no ganho de energia pelos painéis, em contrapartida a sua instalação pode originar problemas como aumento do custo, confiabilidade, manutenção e consumo de energia. Um rastreador ideal, teria que permitir que a célula apontasse para o sol de forma perpendicular à radiação, corrigindo as mudanças de posição do sol que ocorrem ao longo do dia, da sua mudança de latitude, que ocorre com a alteração das estações do ano, bem como as alterações no ângulo azimutal (MOUSAZADEH *et al.*, 2009).

Os rastreadores estão divididos em basicamente dois grupos: os do tipo passivo e os do tipo ativo, que são separados entre os de um e dois eixos. Essas duas modalidades diferentes em conjunto com sistemas de rotação dos painéis podem apresentar eficiências entre 15% e 35% na produção energética (TREVELIN, 2014).

3.5.3.1 Rastreadores passivos

Esse tipo de rastreador, utiliza a transferência de massa entre as extremidades do módulo, para que ocorra uma rotação, sendo que essa transferência se dá pela existência de um fluido de duas fases, tipicamente o clorofluorcarbono (CFC), ou o Freon. Quando o painel está em paralelo com o sol, as duas extremidades encontram-se em equilíbrio, assim que ele se move, uma das extremidades recebe o calor, fazendo com que o fluido se expanda e torna-se um líquido, fazendo com que o rastreador mova-se de um lado para o outro em decorrência do deslocamento da massa do fluido (OLIVEIRA, 2007; MESSENGER e VENTRE, 2005; CATARIUS e CHRISTINER, 2010).

Os rastreadores desse tipo possuem uma montagem mais simples, e de baixo custo de manutenção, uma vez que não utilizam sistemas eletrônicos para sua movimentação, restringindo-se apenas a componentes mecânicos, como rolamentos, porém tem o ganho limitado, cerca de 23% de incremento da eficiência, pois apenas baseiam-se na trajetória diária do sol a partir de seu ponto de nascimento, o que lhe causa uma restrição para dias em que há variação do tempo de luminosidade em detrimento da variação das estações do ano, ou seja, para ocasiões em que os dias são mais longos que as noites, além do que possuem uma resposta lenta, sendo que em condições de baixas temperaturas eles podem sequer funcionar, fazendo com que eles não possuam uma grande aceitação no mercado (CLIFFORD e EASTWOOD, 2004; MOUSAZADEH *et al.*, 2009).

Esses sistemas em geral, são produzidos em alumínio da série 6000 tratados termicamente, que devido ao fato de possuir em sua composição silício e magnésio, são muito resistentes a corrosão, dispensando até mesmo uma pintura, e possuem uma resistência para ventos de até 145 km/h (ZOMEWORKS CORPORATION, 2017).

Os rastreadores passivos são compostos por dois cilindros, fabricados geralmente em aço inoxidável, preenchidas pelo fluido responsável pelo deslocamento do conjunto e um cano responsável pela conexão de ambos. Em relação a parte estrutural, fabricada em alumínio 6000 como dito anteriormente, ela é composta por uma estrutura de fixação do painel, um poste, que é fabricado em aço galvanizado, além de elementos responsáveis pela rotação, que consistem em rolamentos e mancais (NARENDRASINH *et al.*, 2015).

Na figura 19, está representado um rastreador do tipo passivo.

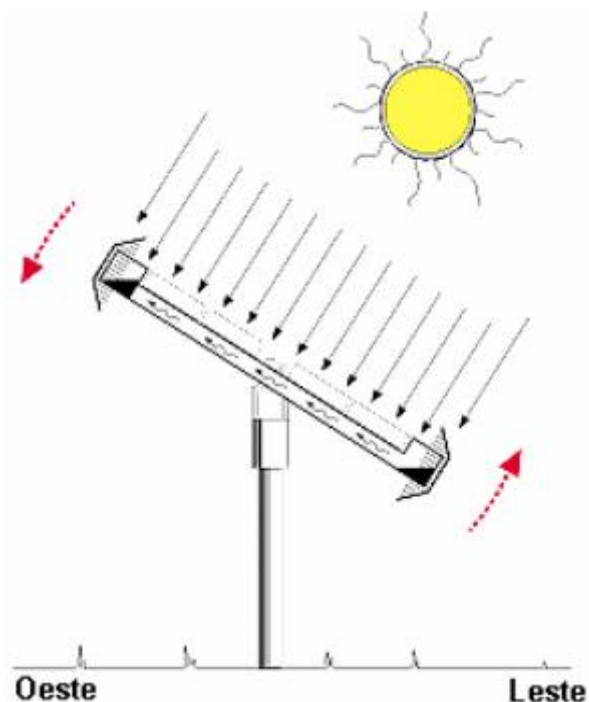


Figura 19. Rastreador Passivo
(OLIVEIRA, 2007)

3.5.3.2 Rastreadores ativos

Rastreadores ativos utilizam mecanismos de acionamento como motores elétricos e engrenagens, para apontar o conjunto na direção do sol, sendo que esse movimento é controlado por uma unidade eletrônica ou por sensores que respondem ao posicionamento solar (MESSENGER e VENTRE, 2005).

Como listado anteriormente, os rastreadores ativos dividem-se em dois grupos, os de um e dois eixos, porém existem três formas distintas que são mais comumente usadas para orientar o rastreador em função do sol, que são o sistema auxiliar bifacial, o sistema eletro-óptico e o do tipo microprocessador, ou sistema de computador (CATARIUS e CHRISTINER, 2010).

O sistema auxiliar bifacial, exemplificado na figura logo abaixo, é o mais simples que existe, sendo que, uma célula auxiliar bifacial, que tem função de agir como uma célula sensorial, encontra-se fixa no eixo de rotação, de forma perpendicular ao painel fotovoltaico principal, responsável pela captação de energia. A célula sensorial está

diretamente conectada a um motor elétrico de corrente contínua, sendo que quando o sol se move, a luz que incide sobre o sensor gera potência suficiente para que o motor seja acionado e o conjunto seja rotacionado (CATARIUS e CHRISTINER, 2010).



Figura 20. Seguidor Bifacial Auxiliar
(CATARIUS e CHRISTINER, 2010)

O sistema eletro-óptico também pode ser considerado um sistema relativamente simples, sendo que duas células fotovoltaicas são utilizadas como sensores para movimentação do sistema. Entre as duas células citadas, há um divisor que deve estar há uma determinada inclinação em relação à radiação solar, θ , como pode ser visto na figura 21, sendo que de acordo com o lado que recebe mais excitação, um sistema composto por resistores, capacitores, amplificadores, portas lógicas, díodos e transistores cria um circuito, que por sua vez alimenta um motor e muda a posição do painel de forma que ele fique perpendicular à incidência solar (CATARIUS e CHRISTINER, 2010).

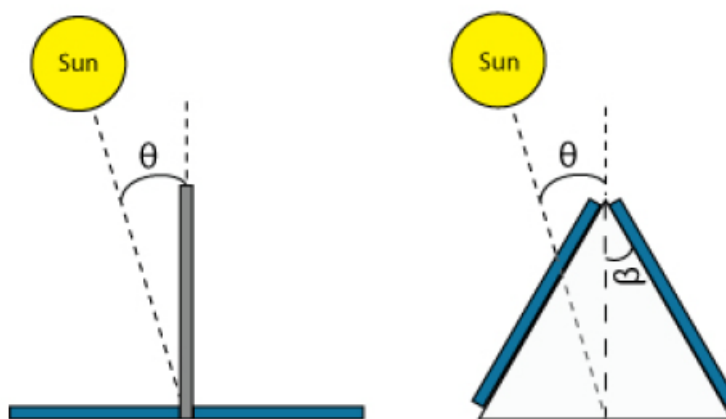


Figura 21. Seguidor Eletro-Óptico
(CATARIUS e CHRISTINER, 2010)

Por fim, os microprocessadores, diferentemente dos sistemas citados anteriormente, utilizam um algoritmo para determinar a posição do sol ao invés de sensores, sendo que em algumas vezes, quando utilizam os sensores, eles apenas têm função reduzir o erro ou calibrar o sistema. Existem vários modos de abordar o emprego dos algoritmos e microprocessadores, sendo que essa diversidade de formas, faz com que melhore o posicionamento do painel e sendo assim, que aumente os ganhos de produção de energia (CATARIUS e CHRISTINER, 2010).

3.5.3.3 Seguidor de um eixo

Esse tipo de seguidor, é considerado mais simples e apresenta um menor consumo de energia para manter seus sistemas periféricos em funcionamento, movimentando-se em apenas uma direção. Ele funciona através do acompanhamento da trajetória do sol ao longo do dia, podendo fazê-lo tanto no sentido leste-oeste quanto no norte-sul (MOUSAZADEH *et al.*, 2009; VIEIRA, 2014).

A escolha pelo deslocamento no sentido leste-oeste é a mais usual, pois é o movimento de maior variação solar, porém em regiões de altas latitudes, próximas aos polos, torna-se mais pertinente a alteração para o deslocamento norte-sul, uma vez que a variação diária é menor (MOUSAZADEH *et al.*, 2009; TREVELIN, 2014).

Nos seguidores de um eixo, podem ser encontrados três tipos distintos de estratégias para realizar o rastreamento solar, que por sua vez, irão refletir diretamente no tipo de estrutura (VIEIRA, 2014).

a) Seguidor Polar

Esse tipo de seguidor encontra-se inclinado no mesmo ângulo de inclinação da latitude local, enquanto o seu plano rotaciona no sentido norte-sul, assim como mostrado na figura 22 (VIEIRA, 2014).

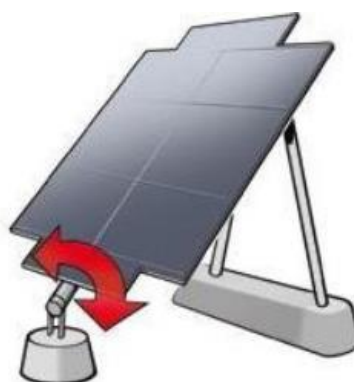


Figura 22. Seguidor Polar
(VIEIRA, 2014)

b) Seguidor Azimutal

Nos seguidores do tipo azimutal, a movimentação ocorre no sentido leste-oeste em relação ao eixo vertical, como mostrado na figura 23, sendo que ajuste da inclinação dos painéis é realizado manualmente ao longo do ano (VIEIRA, 2014).

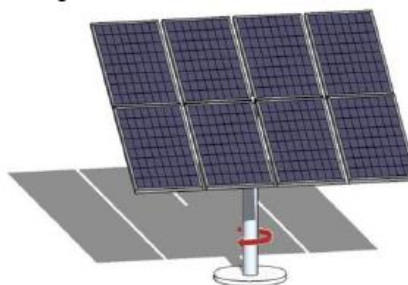


Figura 23. Seguidor Azimutal
(VIEIRA, 2014)

c) Seguidor Horizontal

Esse tipo de rastreador, pode possuir a orientação do tipo norte-sul ou leste-oeste, de acordo com a localidade e a sua configuração, sendo que o plano de rotação é o da horizontal, como mostrado na figura 24 (VIEIRA, 2014).

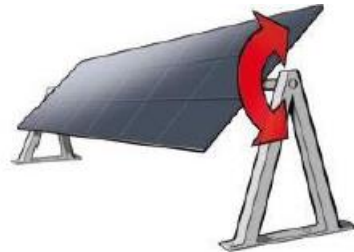


Figura 24. Seguidor Horizontal
(VIEIRA, 2014)

Os sistemas de um eixo, possuem um motor atuador linear e um controlador, citados de forma mais específica mais à frente, na parte relacionada a seguidores de dois eixos, além de barras compostas em aço de alta resistência e alumínio galvanizado, que irão compor os perfis extrudados presentes na sustentação dos módulos e a fixação do sistema junto ao chão (SAT CONTROL, 2017).

3.5.3.4 Seguidor de dois eixos

Os seguidores de dois eixos, como pode ser visto na figura 25, fazem o acompanhamento do sol, através de dois movimentos distintos, possibilitando assim que ele faça um ajuste mais preciso com relação ao posicionamento solar, possibilitando que o sistema sempre se encontre apontado para o sol, indecentemente do horário e do local aonde o aparato encontra-se instalado, aumentando assim a sua eficiência e por consequência sua geração de energia. Em contrapartida, esse aumento de precisão e eficiência, também culmina numa maior complexidade do equipamento, refletindo diretamente num aumento de consumo energético por parte do sistema, bem como no seu custo final, além de que é necessária uma maior área por parte desse sistema, uma vez que ele pode causar sombras nos sistemas adjacentes (BAYOD-RÚJULA *et al.*, 2011).

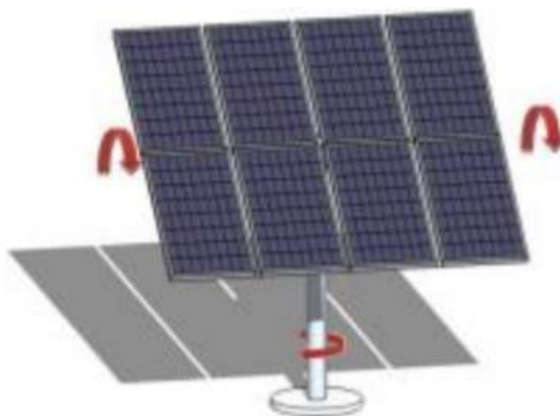


Figura 25. Seguidor de Dois Eixos
(VIEIRA, 2014)

Os sistemas de dois eixos realizam o deslocamento por meio de dois motores atuadores lineares, que possuem precisão variável, diretamente relacionada ao custo do equipamento, podendo ser encontrados valores entre 2 e 0,1 grau por exemplo, sendo que ao longo do dia ele faz um acompanhamento do tipo leste-oeste, retornando à noite automaticamente para posição leste, para que assim inicie-se um novo ciclo. Os conjuntos mais antigos realizavam essa operação com um auxílio de uma bateria, algo que se tornou dispensável com as tecnologias mais modernas, uma vez que eles conseguem aproveitar-se da baixa luminosidade do crepúsculo ou até mesmo do amanhecer para realizar tal manobra (PATEL, 2006).

As estruturas desse tipo, tem como componente fundamental os atuadores, que como dito anteriormente são do tipo linear, e que devem possuir determinadas propriedades para realizar as tarefas as quais eles se incumbem de forma adequada, tal qual como resistência a choques mecânicos, vibração, variações climáticas e ser à prova d'água. Existem diferentes tipos de atuadores para diferentes tamanhos de montagem, sendo que a carga que irão deslocar, o tamanho do curso que possuem, a velocidade ao qual se descolam são fatores que os distinguem, segue a figura 26 de um dos tipos (LINAK, 2013).



Figura 26. Atuador Linear
(LINAК, 2013)

Outro componente importante dos rastreadores é o controle, que irá ordenar o movimento a ser realizado pelo atuador, podendo se basear em formas distintas de orientação para isso, como citado anteriormente, podendo ser dos tipos auxiliar eletro-óptico, bifacial ou microprocessador (VIEIRA, 2014).

No que diz respeito a parte estrutural, os rastreadores são compostos em aço alta resistência e alumínio galvanizado, como se mostrou usual em outras estruturas devido à resistência a esforços mecânicos e a corrosão presente nesses materiais (SAT CONTROL, 2017).

O sistema encontra-se geralmente com uma fundação de concreto, na qual está fixa a estrutura principal que consiste em um tipo de poste, que recebe elementos móveis interligados através de rolamentos e mancais, que por intermédio dos atuadores se incumbem de realizar os movimentos, além de barras principais responsáveis pela sustentação dos painéis, mostrado na figura 27 (SAT CONTROL, 2017).

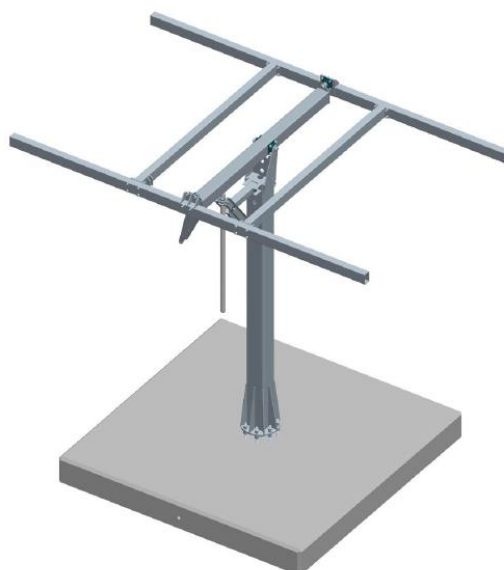


Figura 27. Rastreador de Dois Eixos em Montagem
(SAT CONTROL, 2011)

Acima, são encontradas barras de perfis extrudados, fabricados em alumínio, dispostos perpendicularmente que, em conjunto com os sistemas de fixação, possuem a função estrutural de sustentar os painéis, como pode ser observado na figura 28 abaixo (SAT CONTROL, 2011).

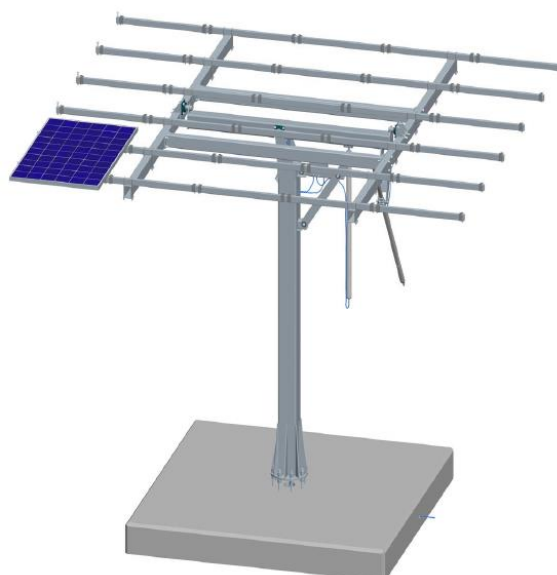


Figura 28. Seguidor de Dois Eixos com Painel
(SAT CONTROL, 2011)

3.6 Esforços mecânicos

Os ventos agem sobre os módulos, exigindo deles uma maior força estrutural no que diz respeito a parte dos dispositivos de fixação ao qual eles encontram, uma vez que os painéis atuam como um obstáculo para o fluxo de ar, fazendo que se originem áreas de turbulência, responsáveis por uma criação de movimentos no mesmo. A criação de duas zonas com pressões distintas, acima e abaixo do módulo, devido ao maior acúmulo de ar na parte inferior, originando uma maior pressão em relação a parte superior, causa uma oscilação nos painéis (ASSMUS *et al.*, 2009).

Os ventos são os geradores das maiores cargas mecânicas existentes sobre os painéis e estruturas fotovoltaicas, sendo que devem ser considerados os piores cenários para executar o projeto do sistema de montagem. Existem modelos matemáticos que levam em conta uma velocidade de ventos considerada crítica, com o intuito de dimensionar um fator de segurança mínimo estrutural para o sistema, por exemplo a *American Society of Civil Engineers*, ASCE, criou os procedimentos de dimensionamento estrutural levando em conta estruturas do tipo *standoff*, e uma velocidade de vento considerada como mais alta nos Estados Unidos, de 150 mph, de modo que foram encontrados um limite de pressão de 55 libras por pés quadrados, lb.psf (MESSENGER e VENTRE, 2005).

Além da carga mecânica gerada pelos ventos, devem ser considerados a carga estática gerada pela massa do conjunto, dimensionada na média de 5 lb.psf, cargas vivas geradas durante a manutenção do sistema, na ordem de 3 lb.psf. Além do mais, são considerados a neve e eventos sísmicos em localidades propensas a esses eventos (JIM DUNLOP SOLAR, 2012; MESSENGER e VENTRE, 2005).

3.7 Impacto ambiental gerado pelas estruturas de fixação:

Embora as estruturas de fixação tenham uma pequena representatividade nos sistemas fotovoltaicos em relação principalmente aos módulos, o crescente declínio dos custos e do impacto ambiental dos mesmos ao longo tempo, mostra que no futuro o impacto gerado pelas estruturas periféricas que compõem o sistema fotovoltaico, também chamadas de *Balance-of-System*, BOS, serão relevantes (ALSEMA *et al.*, 2006).

Os valores retratados referentes ao impacto ambiental, seguem a análise do ciclo de vida do material, e levam em referência componentes produzidos pelos fabricantes Phonix, Schletter, Springerville e Schweizer existentes no Estados Unidos e na Alemanha, diferenciando-se em relação a aplicação no chão ou no telhado (ALSEMA *et al.*, 2006).

Para os sistemas de pequena escala de produção, fixos aos telhados, distinguem-se em montagem sobre os mesmos, que são ao dos tipos *standoff* e *rack*, e montagem direta no telhado, BIPV, distinção essa retratada na figura 29 a seguir como *on-roof* e *in-roof* respectivamente, enquanto os sistemas no chão, *on-ground*, restringe-se aos elementos fixos (ALSEMA *et al.*, 2006)

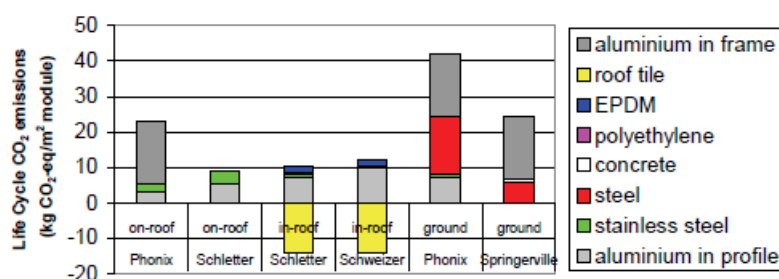


Figura 29. Ciclo de Vida das Estruturas
(ALSEMA *et al.*, 2006)

Pela figura 29 mostrada, é possível notar que os sistemas integrados ao telhado, compostos por telhas cerâmicas, possuem um impacto negativo sobre o ambiente, além disso a diferença retratada entre o impacto nas estruturas do fabricante Phonix e Springerville deve-se a um maior uso de concreto na base da segunda, gerando um menor impacto. Por fim o menor impacto gerado por sistemas fixos ao telhado em relação aos fixos ao chão, devem-se pela menor robustez do primeiro e por consequência um menor uso de materiais, influenciando diretamente a emissão de carbono ao longo do ciclo de vida (ALSEMA *et al.*, 2006).

3.8 Manutenção

De certa forma, a manutenção envolvendo os sistemas montados de forma fixa, é muito pequena ou inexistente, sendo que problemas surgem ocasionalmente apenas, e geralmente envolvem a parte elétrica do módulo. Dessa forma é importante

que a estrutura possua uma inclinação que facilita o acesso a sua parte inferior, além até mesmo de sistemas que permitam a remoção de apenas um painel, e não o seu conjunto (BARKASZI e DUNLOP, 2001).

No demais, é importante a remoção de poeira e outras impurezas que possam impedir o pleno funcionamento dos módulos, através de uma simples limpeza, sendo que esse procedimento pode ser dispensado em função da precipitação e da inclinação presente na localidade onde os painéis encontram-se instalados (ADINOYI e SAID, 2013). Nos sistemas móveis, a manutenção ainda abrange a lubrificação periódica além da limpeza já descrita (ARRAY TECHNOLOGIES, 2017).

Com a apresentação do conteúdo a respeito da manutenção, encerra-se a apresentação de todas as referências bibliográficas úteis para a realização dessa pesquisa, mostradas nesse capítulo, sendo então expostos subsequentemente os resultados obtidos no trabalho.

4 RESULTADOS

Com base nos dados obtidos com o referencial teórico levantado e posteriormente redigido na fundamentação teórica do projeto, foi constituída a tabela comparativa expondo diferentes aspectos diferenciais entre as estruturas.

A abordagem estudada, visou a comparação entre estruturas fixas e móveis, com inclusão de todos os sistemas pertences a esses grupos, através das vantagens e desvantagens apresentadas nos mesmo, componentes existentes em cada estrutura, bem como os materiais que os compõem, além da manutenção requerida em cada uma e o impacto ambiental gerado.

Devido ao tamanho alcançado na tabela, tornando incompatível a sua apresentação de maneira completa dentro do projeto, ela foi segmentada para poder oferecer uma melhor apresentação.

A segmentação proposta foi realizada em 6 quadros distintos:

1. Quadro com as vantagens e desvantagens das estruturas fixas;
2. Quadro com as vantagens e desvantagens das estruturas móveis;
3. Quadro com os componentes e materiais das estruturas fixas;
4. Quadro com os componentes e materiais das estruturas móveis;
5. Quadro com a manutenção e impacto ambiental das estruturas fixas;
6. Quadro com a manutenção e impacto ambiental das estruturas móveis;

Além da tabela segmentada apresentada, também foi elaborado uma outra tabela, que atua como um programa computacional e possui todos os dados aqui descritos de forma unificada. Na tabela descrita, há um layout inicial, no qual o usuário poderá selecionar individualmente um tipo estrutura, e receberá como resposta todas as características aqui retratadas das mesmas (vantagens, desvantagens, componentes, materiais, manutenção e impacto ambiental).

1. Quadro com as vantagens e desvantagens das estruturas fixas

Local de Fixação	Tipos de estrutura	Vantagens	Desvantagens
Telhado	Standoff	<p>Menos susceptível ao sombreamento;</p> <p>Segura contra o contato de elementos externos;</p> <p>Simplicidade de montagem;</p> <p>Auxilia na diminuição da temperatura da edificação;</p> <p>A inclinação auxilia a evitar o acúmulo de poeira e outras partículas;</p>	<p>Maior dificuldade de manutenção devido à pouca distância entre os painéis e o telhado;</p> <p>Riscos envolvendo trabalho em altura;</p> <p>Restrição da quantidade de módulos instalados em relação área do telhado;</p> <p>Pode acarretar problemas de vedação no interior da edificação;</p> <p>Fica suscetível a inclinação do telhado;</p>
	Rack	<p>Menos susceptível ao sombreamento;</p> <p>Segura contra o contato de elementos externos;</p> <p>Auxilia na diminuição da temperatura da edificação;</p> <p>A inclinação auxilia a evitar o acúmulo de poeira e outras partículas;</p> <p>Possui boa temperatura de operação devido a melhor incidência de ventos;</p> <p>Adaptável a uma grande gama de telhados em função da inclinação;</p> <p>Existem sistemas com perna ajustável, o que permite um ajuste em relação as estações do ano, aumentando a eficiência;</p> <p>Facilidade na manutenção devido a angulação de abertura que possui;</p>	<p>Riscos envolvendo trabalho em altura;</p> <p>Restrição da quantidade de módulos instalados em relação área do telhado;</p> <p>Pode acarretar problemas de vedação no interior da edificação;</p> <p>Maior robustez, que influencia num maior uso de materiais e por consequência no preço final;</p> <p>Instalação mais trabalhosa devido a maior robustez;</p>

Continuação:

Local de Fixação	Tipos de estrutura	Vantagens	Desvantagens
Telhado	Integrada	<p>É um produto multifuncional por unir características de um material de construção que gera energia elétrica;</p> <p>Faz um melhor aproveitamento das áreas de construção;</p> <p>Provoca uma menor intervenção nas construções;</p> <p>Agrega uma característica arquitetônica a edificação;</p> <p>Segura contra o contato de elementos externos;</p> <p>Dispensa o uso de estruturas;</p>	<p>Alto custo de produção;</p> <p>Área inativa, que não converte a radiação em energia, maior que outras tecnologias;</p> <p>Baixo nível de refrigeração dos módulos;</p> <p>Eficiência energética inferior que os demais sistemas;</p> <p>Alta carga térmica pode acarretar aquecimento da edificação;</p> <p>Restrição da energia gerada em função da área do telhado;</p> <p>Suscetível ao sombreamento gerado pelo próprio telhado;</p> <p>Fica suscetível a inclinação do telhado;</p>
	Direta	<p>Segura contra o contato de elementos externos;</p> <p>Provoca uma menor intervenção nas construções;</p> <p>Dispensa o uso de estruturas;</p>	<p>Possui temperatura de operação elevada, que reduz a sua eficiência;</p> <p>Fica suscetível a inclinação do telhado;</p> <p>Restrição da energia gerada em função da área do telhado;</p> <p>Alta carga térmica pode acarretar aquecimento da edificação;</p> <p>Suscetível ao sombreamento gerado pelo próprio telhado;</p>
Chão	Rack	<p>Facilidade de instalação;</p> <p>Facilidade de manutenção;</p> <p>Robustez estrutural;</p> <p>Pode receber sistemas dos mais variados portes;</p>	<p>Suscetível ao sombreamento;</p> <p>Ficam mais expostos a agentes externos como pessoas e animais que podem danificar o sistema;</p> <p>Suscetível ao acúmulo de poeira;</p>

Continuação

Local de Fixação	Tipos de estrutura	Vantagens	Desvantagens
Chão	Poste	<p>Segura contra o contato de elementos externos;</p> <p>Pode ser usada em casos onde o telhado não possui rigidez estrutural suficiente para suportar os módulos;</p> <p>Possuem leveza, facilidade de instalação e simplicidade;</p> <p>Adaptável a um grande número de tipos de construção;</p> <p>Dependendo do tipo de estrutura, pode-se ajustá-lo ao longo do ano;</p> <p>Bom nível de refrigeração dos módulos;</p>	<p>Menor robustez estrutural;</p> <p>Menor facilidade de manutenção;</p> <p>Limitação referente ao porte do sistema;</p>

2. Quadro com as vantagens e desvantagens das estruturas móveis

Tipo de rastreador	Número de eixos	Vantagens	Desvantagens
Passivo	1	<p>Aumento da eficiência em relação aos sistemas fixos;</p> <p>Tipo de montagem simples se comparado a outros rastreadores;</p> <p>Baixo custo de manutenção;</p>	<p>Limitação referente ao porte do sistema;</p> <p>Ganho limitado em função de basear-se apenas na trajetória diária do sol;</p> <p>Resposta lenta;</p> <p>Problemas para funcionamento em situações de baixas temperaturas;</p> <p>Baixa aceitação no mercado</p>

Continuação

Tipo de rastreador	Número de eixos	Vantagens	Desvantagens
Ativo	1	<p>É o tipo de rastreador ativo mais simples;</p> <p>Mantem os sistemas periféricos em funcionamento com pouco consumo de energia;</p> <p>Apresenta um aumento de eficiência;</p> <p>Possuem diversas abordagens de estratégias de rastreamento;</p> <p>Pode ser realizado um ajuste na angulação que permite uma melhor eficiência ao longo do ano;</p>	<p>Equipamento de custo maior;</p> <p>Maior dificuldade de instalação devido a sua complexidade;</p> <p>Manutenção mais complicada;</p> <p>Maior área requerida para instalação, uma vez que pode causar sombreamento nos sistemas adjacentes;</p>
	2	<p>Devido ao seu tipo de construção faz o melhor acompanhamento do sol;</p> <p>Possui um aumento da eficiência maior que outros sistemas;</p>	<p>Possui grande complexidade de instalação;</p> <p>Maior complexidade na manutenção;</p> <p>Maior área requerida para instalação, uma vez que pode causar sombreamento nos sistemas adjacentes;</p> <p>Maior consumo energético para manter os sistemas periféricos em funcionamento;</p> <p>Alto custo da estrutura;</p>

3. Quadro com os componentes e materiais das estruturas fixas

Local de Fixação	Tipos de estrutura	Componentes	Materiais/Acabamento
Telhado	Standoff	<p>Vigas em perfil extrudado;</p> <p>Grampo final ou Braçadeira;</p> <p>Grampo Central;</p> <p>Standoff;</p> <p>Parafusos de fixação;</p>	<p>Alumínio 6061 e 6063, podendo receber anodização;</p> <p>Alumínio das séries 5000 ou 6000;</p> <p>Alumínio da série 5000;</p> <p>Alumínio da série 6000 e base em alumínio da série 5000;</p> <p>Em aço inoxidável dos tipos 316 e 403;</p>

Continuação:

Local de Fixação	Tipos de estrutura	Componentes	Materiais/Acabamento
Telhado	Rack	Vigas em perfil extrudado; Grampo final ou Braçadeira; Grampo Central; Standoff; Parafusos de fixação; Pernas de elevação, ajustáveis ou não ajustáveis;	Alumínio 6061 e 6063, podendo receber anodização; Alumínio das séries 5000 ou 6000; Alumínio da série 5000; Alumínio da série 6000 e base em alumínio da série 5000; Em aço inoxidável dos tipos 316 e 403; Alumínio da série 6000, com partes responsáveis pela ligação da estrutura em alumínio 5000;
	Integrada	Telha composta por célula fotovoltaica	Madeira Concreto Metal Cerâmica
	Direta	Montagem direta do painel no telhado;	Predominantemente filmes finos;
Chão	Rack	Vigas em perfil de extrudado; Grampos centrais; Rack; Acessórios de fixação;	Alumínio do tipo 6063; Aço inoxidável do tipo 4301; Aço doce galvanizado; Aço inoxidável;
	Poste	Poste; Viga principal; Vigas complementares perpendiculares; Barra ajustável para regulagem da inclinação; Acessórios de fixação;	Aço quente galvanizado do tipo Q235; Alumínio galvanizado; Alumínio galvanizado; Alumínio galvanizado; Alumínio galvanizado;

4. Quadro com os componentes e materiais das estruturas móveis

Tipo de rastreador	Número de eixos	Componentes	Materiais/Acabamento
Passivo	1	Estrutura de fixação do módulo; Poste; Cilindros de armazenamento; Líquido responsável pela movimentação; Rolamentos e mancais; Acessórios de fixação;	Alumínio da série 6000; Aço galvanizado; Freon ou CFC; Aço inoxidável;
Ativo	1	Perfis extrudados para fixação dos módulos; Sistema de barras ou postes responsáveis pela fixação junto a base do elemento no local onde será fixado; Sistema de fixação; Rolamentos e mancais; Controladores; Atuador linear;	Alumínio galvanizado; Aço de alta resistência; Aço inoxidável; Auxiliar bifacial ou eletro-óptico ou microprocessador;
	2	Perfis extrudados para fixação dos módulos; Sistema de barras ou postes responsáveis pela fixação junto a base do elemento no local onde será fixado; Sistema de fixação; Rolamentos e mancais; Controladores; Dois atuadores lineares;	Alumínio Galvanizado; Aço de alta resistência; Aço inoxidável; Auxiliar bifacial ou eletro-óptico ou microprocessador;

5. Quadro com a manutenção e impacto ambiental das estruturas fixas

Local de Fixação	Tipos de estrutura	Manutenção	Impacto Ambiental (kg CO ₂ -eq/m ²)
Telhado	Standoff	Limpeza periódica em função das condições climáticas;	9 a 23
	Rack	Limpeza periódica em função das condições climáticas;	9 a 23
	Integrada	Limpeza periódica em função das condições climáticas;	-13
	Direta	Limpeza periódica em função das condições climáticas;	-
Chão	Rack	Limpeza periódica em função das condições climáticas;	25 a 42
	Poste	Limpeza periódica em função das condições climáticas;	25 a 42

6. Quadro com a manutenção e impacto ambiental das estruturas móveis

Na tabela segmentada a seguir, não constam os dados a respeito do impacto ambiental gerado em sistemas móveis, uma vez que os mesmos não foram encontrados no referencial pesquisado.

Tipo de rastreador	Número de eixos	Manutenção	Impacto Ambiental (kg CO ₂ -eq/m ²)
Passivo	1	Limpeza periódica em função das condições climáticas; Lubrificação periódica;	-

Continuação:

Tipo de rastreador	Número de eixos	Manutenção	Impacto Ambiental (kg CO ₂ -eq/m ²)
Ativo	1	Limpeza periódica em função das condições climáticas; Lubrificação periódica;	-
	2	Limpeza periódica em função das condições climáticas; Lubrificação periódica;	-

Além dos resultados expostos nas tabelas segmentadas apresentadas, também foi construída uma tabela dinâmica utilizando como base o *software* Excel, sendo que todos os dados apresentados ao longo da pesquisa estão retratados na mesma de forma interativa, na qual o usuário pode selecionar o local de aplicação da estrutura, e visualizar suas principais características.

A imagem 30, mostrada a seguir, que tratasse do *print* de uma tela do programa, mostra o sistema dinâmico explicado acima, uma vez que existe um menu na parte superior esquerda do programa, na qual pode ser selecionado primeiramente o local onde ocorrerá a instalação, podendo variar entre chão e telhado. Na sequência, com base na opção de local de instalação, pode-se escolher o tipo da fixação desejada, podendo assim obter quatro opções para os sistemas fixos ao telhado, que são *standoff*, *rack*, direta e integrada, além de cinco opções para sistemas fixos ao chão, que são *rack*, poste, e ainda os rastreadores dos tipos passivo, de um eixo e de dois eixos.

As informações mostradas para o usuário do sistema, mostram primeiramente os componentes existentes nas estruturas, e os materiais correspondentes que os compõem, a seguir são exibidos o tipo de manutenção necessária para a estrutura selecionada, o impacto ambiental gerado, as vantagens e finalmente as desvantagens existentes.

Local de instalação

Fixação

Chão

Telhado

Direta

Integrada

Rack

Local de instalação

Fixação

Telhado

Rack

SISTEMA DINÂMICO PARA FIXAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Componentes	Materiais	Manutenção	Impacto ambiental	Vantagens	Desvantagens
1 - Vigas em perfil extrudado 2 - Grampo final ou Braçadeira 3 - Grampo Central 4 - Standoff 5 - Parafusos de fixação 6 - Pernas de elevação, ajustáveis ou não ajustáveis	1- Alumínio 6061 e 6063, podendo receber anodização 2- Alumínio das séries 5000 ou 6000 3- Alumínio da série 5000 4- Alumínio da série 6000 e base em alumínio da série 5000 5 - Em aço inoxidável dos tipos 316 e 403 6 - Alumínio da série 6000, com partes responsáveis pela ligação da estrutura em alumínio 5000	Limpeza periódica em função das condições climáticas	9 a 23	a) Menos susceptível ao sombreamento; b) Segura contra o contato de elementos externos; c) Auxilia na diminuição da temperatura da edificação; d) A inclinação auxilia a evitar o acúmulo de poeira e outras partículas; e) Possui boa temperatura de operação devido a melhor incidência de ventos; f) Adaptável a uma grande gama de telhados em função da inclinação; g) Existem sistemas com pernas ajustáveis, que permitem um ajuste em relação as estações do ano, aumentando a eficiência; h) Facilidade de manutenção devido a angulação de abertura que possui.	a) Riscos envolvendo trabalho em altura; b) Restrição da quantidade de módulos instalados em relação a área do telhado; c) Pode acarretar problemas de vedação no interior da edificação; d) Maior robustez, que influencia num maior uso de materiais e por consequência no preço final; e) Instalação mais trabalhosa devido a maior robustez.

Figura 30. Sistema Dinâmico

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho, teve como principal objetivo elaborar uma análise comparativa entre os diferentes sistemas de fixação de módulos fotovoltaicos sobre diferentes aspectos, utilizando para isso das práticas metodológicas apresentadas ao longo do desenvolvimento do mesmo.

Com o embasamento em referenciais teóricos, como livros e artigos, foi possível explicitar a importância da abordagem do tema, em vista ao seu papel importante no conjunto de montagem dos painéis fotovoltaicos, sobre o ponto de vista técnico e financeiro, bem como a importância da análise levando em conta os conhecimentos adquiridos ao longo do curso de engenharia mecânica.

No que diz respeito a formulação do quadro propriamente dito, uma vez com o auxílio do universo de referências levantado, foi possível elaborá-la levando em conta todas as estruturas listadas sobre 6 diferentes variáveis, que foram vantagens, desvantagens, componentes, materiais, manutenção e impacto ambiental.

Além do quadro apresentado no projeto, foi possível a confecção de um segundo modelo, que atua de forma dinâmica, utilizando como base de programação o software Excel. Modelo esse que possui todas as variáveis reportadas ao longo da pesquisa, porém que podem ser selecionadas singularmente a partir do usuário, dessa forma é possível atribuir o status de produto ao modelo construído, uma vez que ele possui a característica de ferramenta de consulta, ao exibir de forma simplificada diversas informações pertinentes a respeito das estruturas.

Como sugestão para futuros trabalhos, pode-se considerar um incremento do quadro gerado com novas variáveis, como preço final por exemplo, além de outras que levam em conta abordagens no ponto de vista de áreas relacionadas a engenharia elétrica. Além disso, poderia haver uma adição de conhecimentos ligados a arquitetura e ao design com o intuito de melhorar o layout das estruturas, mantendo suas características técnicas importantes, uma vez que as estruturas do tipo integrada conferem uma característica arquitetônica a edificação, porém com um custo elevado.

No que diz respeito ao trabalho propriamente dito, algumas características explicitadas na tabela, e que não foram encontradas na literatura pesquisada, poderiam ser pontos de melhora, como são os casos de alguns materiais que poderiam ser mostrados de forma mais específica, não relatando somente a série em que se encontram por exemplo, e os dados a respeito do impacto ambiental gerado em estruturas móveis.

De forma geral, mesmo que com os pontos de melhora mostrados anteriormente, pode-se dizer que o objetivo final do trabalho foi alcançado, uma vez que se gerou o resultado final, que é a tabela comparativa, que levando em conta o caráter pioneiro da abordagem retratada, foi possível confeccionar um modelo ao qual poderá receber melhoras em trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

- ABINEE. **Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira**, 2012.
- ADINOYI, M. J.; SAID, S. A. M. **Effect of Dust Accumulation on The Power Outputs of Solar Photovoltaic Modules**. *Renewable Energy*, 2013.
- ALSEMA, E. A.; HORST; E. W., BARCHLER, M.; FTHENAKIS, V. M. **A Cost and Environmental Impact Comparison of Grid-Connected Rooftop and Ground-Based PV Systems**. *21th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Dresden, Germany, 2006*.
- ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa N°482, de 17 de Abril de 2012**. *Climate Change 2013 - The Physical Science Basis*, 2012.
- ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa n° 687, de 24 de novembro de 2015**. *Aneel*, 2015.
- ARRAY TECHNOLOGIES. **DuraTrack DA**. Disponível em: <>. Acesso em: Abril de 2017.
- ASSMUS, M.; JACK, S.; KOEHL, M.; WEISS, K. **Dynamic Mechanical Loads On PV-Modules**. *24th European Photovoltaic Solar Energy Conference*, 2009.
- BARKASZI, S. F.; DUNLOP, J. P. **Discussion of Strategies for Mounting Photovoltaic Arrays on Rooftops Authors**. *Proceedings of Solar Forum 2001*, 2001.
- BAYOD-RÚJULA, Á. A.; LORENTE-LAFUENTE, A. M.; CIREZ-OTO, F. **Environmental Assessment of Grid Connected Photovoltaic Plants with 2-Axis Tracking Versus Fixed Modules Systems**. *Energy*, 2011.
- BLOOMBERG. **New Energy Outlook 2016**. Disponível em: <<https://www.bloomberg.com/company/new-energy-outlook/>>. Acesso em: Outubro de 2016.
- CATARIUS, A.; CHRISTINER, M. **Azimuth-Altitude Dual Axis Solar Tracker**. Worcester Polytechnic Institute, 2010.

- CLIFFORD, M. J.; EASTWOOD, D. **Design of a Novel Passive Solar Tracker**. *Solar Energy*, 2004.
- EVEREST SOLAR SYSTEMS. **Assembly Instructions Residential Solution Crossrail Ground Mount System**. Disponível em: <<http://everest-solarsystems.com/en-US/products/crossrail-ground-mount-system>>. Acesso em: Março de 2017.
- GALVÃO, T. F.; PEREIRA, M. G. **Revisões Sistemáticas da Literatura: Passos para sua Elaboração**. *Epidemiologia E Serviços de Saúde*, 2014.
- GIL, A. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa** (4º ed.). São Paulo: Editora Atlas S.A., 2002.
- IRONRIDGE. **Roof Mount System 2015**. Disponível em: <<http://www.ironridge.com/flat-roof-mounting/overview>>. Acesso em: Abril de 2017.
- JAMES, T.; GOODRICH, A.; WOODHOUSE, M.; MARGOLIS, R.; ONG, S. **Building-Integrated Photovoltaics (BIPV) in the Residential Sector: An Analysis of Installed Rooftop System Prices**. *U.S. Department of Energy*, (November), 2011.
- JIM DUNLOP SOLAR. **Mechanical Integration**. Disponível em: <<http://ecgllp.com/files/5814/0200/1304/10-Mechanical-Integration.pdf>>. Acesso em: Abril de 2017.
- K2 SYSTEMS. **Assembly Instructions Ground mounted system N-Rack screw-in foundation GB Table of Contents**. Disponível em: <<https://k2-systems.com/en/products/ground-mounted-systems>>. Acesso em: Abril de 2017.
- KING, D.; BOYSON, W.; KRATOCHVIL, J. **Analysis of Factors Influencing the Annual Energy Production of Photovoltaic Systems**. *Photovoltaic Specialists, IEEE Conference*, 2002.
- LAKATOS, E. M., MARCONI, M. de A. **Fundamentos de Metodologia Científica** (5º ed.). São Paulo: Editora Atlas S.A., 2003.
- LINAK. **Solar Tracking. Tracking Solar Concentrators**. Disponível em: <<https://www.linak.com/products/linear-actuators/>>. Acesso em: Abril de 2017.

- MESSENGER, R. A.; VENTRE, J. **Photovoltaic Systems Engineering** (2° ed.). Boca Raton: CRC Press LLC, 2005.
- MOUSAZADEH, H.; KEYHANI, A.; JAVADI, A.; MOBILI, H.; ABRINIA, K.; SHARIFI, A. **A Review of Principle and Sun-Tracking Methods for Maximizing Solar Systems Output**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2009.
- NASCIMENTO, C. A. **Princípio de Funcionamento da Célula Fotovoltaica**. Universidade Federal de Lavras, 2004.
- NUEVOSOL. **Infinite Possibilities, Definite Solutions**. Disponível em: <http://www.nuevosol.co.in/wp-content/uploads/2016/01/Product-Calalog-Final_18-jan-2016_RGB.pdf>. Acesso em: Abril de 2017.
- OLIVEIRA, C. A. A. **Desenvolvimento de um Protótipo de Rastreador Solar de Baixo Custo e Sem Baterias**. Universidade Federal de Pernambuco, 2007.
- OLIVEIRA, K. de S. F.; SARAIVA, M. de F. O. **Fusão Termo-Nuclear**. Disponível em: <<http://astro.if.ufrgs.br/estrelas/node10.htm>>. Acesso em: Outubro de 2016.
- PATEL, M. R. **Wind and Solar Power Systems**. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2006.
- PERNA, P. H. P. **Fontes de Informação Utilizadas nas Monografias de Graduação em Biblioteconomia da Faculdade de Ciência da Informação da Universidade de Brasília** Fontes de informação utilizadas nas monografias de graduação em Biblioteconomia da Faculdade de Ciência da In, 2011.
- PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia pra Sistemas Fotovoltaicos**. *Igarss 2014*. Rio de Janeiro: CEPEL - CRESESB, 2014.
- REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL. **Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada Para Consecução do Objetivo da Convenção-Quadro das Nações Unidas Sobre Mudança do Clima**. *Unfccc*, 2015.
- SAT CONTROL. **Manual for installation and usage of Solar Tracker 2-Axis ST44M3V15P**. Disponível em: <http://www.sat-control.net/pdf/trackers/Dual/Sat_Control_Dual_Axis_Tracker_15Panel.pdf>. Acesso em: Abril de 2017.
- SAT CONTROL. **Single-Axis SOLAR TRACKER for 4 panels ST40M2V4P**.

Disponível em: <http://www.sat-control.net/pdf/trackers/3%20single/Sat_Control_Single_Axis_Tracker_3Panel.pdf>. Acesso em: Abril de 2017.

SENADO FEDERAL. **Saque do FGTS para gerar energia em casa é aprovado pela Comissão de Infraestrutura.** Disponível em: <<http://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2016/02/24/saque-do-fgts-para-gerar-energia-em-casa-e-aprovado-pela-comissao-de-infraestrutura>>. Acesso em: Outubro de 2016.

SENTELHAS, P. C.; ANGELOCCI, L. R. **Radiação Solar Balanço de Energia.** Disponível em: <http://www.professormendoncaenf.com.br/ag_radiacaosolar_balancodeenergia.pdf>. Acesso em: Outubro de 2016.

TREVELIN, F. C. **Estudo Comparativo Entre Métodos de Rastreamento Solar Aplicados a Sistemas Fotovoltaicos,** Universidade de São Paulo, 2014.

URBANETZ JR., J. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Redes de Distribuição Urbanas: Influência na Qualidade de Energia Elétrica e Análise dos Parâmetros que Possam Afetar a Conectividade.** Universidade Federal de Santa Catarina, 2010.

VIEIRA, R. G. **Análise Comparativa do Desempenho Entre um Painel Solar Estático e Com Rastreamento no Município De Mossoró-RN.** Universidade Federal Rural do Semi-árido, 2014.

XIAMEN GRACE SOLAR TECHNOLOGY. **Grace solar.** Disponível em: <http://www.gracesolar.com/product_1.html>. Acesso em: Abril de 2017.

ZOMEWORKS CORPORATION. **Track Racks – Solar Trackers – Photovoltaic Racks.** Disponível em: <<http://www.zomeworks.com/photovoltaic-tracking-racks/>>. Acesso em: Abril de 2017.

