

FACULDADE INDEPENDENTE DO NORDESTE - FAINOR
ENGENHARIA ELÉTRICA

SUZANE MACHADO PIRES CAIRES

ESTUDO SOBRE POSICIONAMENTO DE PLACAS FOTOVOLTAICAS

VITÓRIA DA CONQUISTA - BA
DEZEMBRO – 2014

SUZANE MACHADO PIRES CAIRES

ESTUDO SOBRE POSICIONAMENTO DE PLACAS FOTOVOLTAICAS

Monografia apresentada a Faculdade Independente do Nordeste, Curso de Engenharia Elétrica, como requisito parcial para a obtenção do grau de Engenharia Eletricista com ênfase em Eletrônica.

ORIENTADOR PROF. Ms. IGOR PRADO

VITÓRIA DA CONQUISTA - BA
DEZEMBRO – 2014

C136e Caires, Suzane Machado Pires

Estudo sobre posicionamento das placas fotovoltaicas. /
Suzane Machado Pires Caires. _ _ Vitória da Conquista,
2014.

67f.

Artigo (Graduação em Engenharia elétrica) Faculdade
Independente do Nordeste - FAINOR

Orientador (a): Msc. Igor Ferreira do Prado

Funcionamento 2. Irradiação 3. Painéis fotovoltaicos I. Título.

CDD: 621.3

SUZANE MACHADO PIRES CAIRES

ESTUDO SOBRE POSICIONAMENTO DE PLACAS FOTOVOLTAICAS

Monografia apresentada como requisito parcial para conclusão do Curso de Engenharia Elétrica da Faculdade Independente do Nordeste - FAINOR, localizada no município de Vitória da Conquista – BA, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovado em: 13 /12 / 2014

BANCA EXAMINADORA

Msc. Igor Prado (Orientador)
FAINOR

Esp. Marlon Caires Pamponet
FAINOR

Cléia dos Santos Libarino
IFBA

VITÓRIA DA CONQUISTA - BA
DEZEMBRO – 2014

Dedico este trabalho aos meus pais Cleber e Dione, ao meu irmão Igor e a todos os meus familiares e amigos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus por conceder o dom da vida e não desamparar em nenhum momento. Nashoras de tristeza, angústia e desequilíbrio, ele sempre está presente para manter a fortaleza interior.

Aos meus pais pelos ensinamentos, as cobranças e não terem permitido que eu desistisse de trilhar os caminhos em busca da elevação acadêmica e pessoal. Todo o carinho e esforços que dedicaram a vida inteira foi e continuará sendo essencial para firmar meu caráter e tornar-me uma pessoa melhor.

Ao meu irmão pelo companheirismo na morada aqui em Vitória da Conquista, fazendo recuperar um pouco do lar que residia em Brumado.

Aos professores que contribuíram de maneira positiva em todos esses anos da vida acadêmica, em especial a: Natália Lima de Oliveira, Danilo, Miguel, Chico, Mariana, Aparecido, Takiya, Cléia Libarino, Iggor Lincoln e tantos outros.

Ao orientador Igor por dirimir todas as dúvidas existentes para a execução desse projeto.

Aos funcionários da sala de apoio, em especial: Amanda e Priscila.

Aos meus familiares, em especial a: Tio Cal (*In memorian*) pelo apoio. Tios Tõe's, Tia Vânia, Tio Weber, Tia Lau, Tia Mone e os primos Cathy, None e Thamyly por terem tornado mais fácil a mudança de rotina, de casa, de vida ao sair de Brumado e vir para Vitória da Conquista. E a Nina, pela companhia e carinho.

Aos vizinhos que tornam a rua tão divertida e sempre me deram carona quando necessário, em especial: Lilinha, Dai, Lívia e tantos outros.

Aos colegas de curso e aos amigos, em especial a Natália, que depois de professora tornou-se uma amiga presente em todos os momentos, que me apoiou nessa etapa tão complicada da graduação de domingo a domingo sem queixar dos horários que eu precisava de orientação, incentivando na produção dessa monografia, leu e releu, apontando onde deveria ocorrer mudanças e parabenizando as partes que julgava terem sido bem escritas. Nati, você é demais, muito obrigada!

A colega, amiga, diretora, Suzala pelas conversas descontraídas e leves, apoiando na escrita desse trabalho e parabenizando pelas conquistas.

Por fim, externo os meus agradecimentos a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a concretização deste trabalho.

*“Eu temo o dia que a tecnologia ultrapasse nossa interação humana. É o mundo terá uma geração de idiotas”.
(Albert Einstein)*

“Prometemos, nos despedirmos sem dizer Adeus jamais!” (Roberto Gomez Bolaños, Chaves).

RESUMO

O presente trabalho aborda um estudo sobre alguns métodos de otimização do rendimento da geração solar fotovoltaica, explicando também o funcionamento e as principais características, evidenciando as suas vantagens e desvantagens. O principal objetivo desse estudo foi analisar os aspectos que influenciam na geração da energia elétrica através da fotovoltaica, analisando e identificando o aspecto construtivo quanto ao tipo utilizado (Monocristalinas e Policristalinas). A metodologia foi de caráter exploratória, evidenciando os trabalhos existentes relacionados ao tema para depois confrontá-los com o estudo de caso realizado, onde foi necessário efetuar os cálculos de posicionamento das placas de acordo as coordenadas geográficas da cidade objeto de estudo, através do uso do software SunData, para obter com exatidão o ângulo ideal para a instalação dos painéis fotovoltaicos do determinado local a fim de captar maior incidência de irradiação solar.

Palavras-chave: Funcionamento. Irradiação Solar. Painéis Fotovoltaicos. Posicionamento. Software SunData.

ABSTRACT

This paper reports a study of some optimization methods yield of solar photovoltaic generation, also explaining the operation and main characteristics, showing their advantages and disadvantages. The main objective of this study was to analyze the factors influencing the generation of electricity through the photovoltaic, analyzing and identifying the constructive aspect as to the type used (Monocrystalline and polycrystalline). The methodology was an exploratory character, showing the existing work related to the theme and then confront them with the case study, where it was necessary to make the positioning calculations of the plates according the geographical coordinates of the city studied, through the use SunData the software, for exactly the ideal angle for the installation of photovoltaic panels particular location to capture a higher incidence of solar radiation.

Keywords: Operation. Photovoltaic panels. Positioning. Solar irradiation. SunData software.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplos de Ligação por Junção	25
Figura 2 – Gráfico de Potências instaladas de Células Fotovoltaicas no mundo (MW)	26
Figura 3 – Gráfico de Oferta interna de Energia Elétrica por Fonte – 2012	27
Figura 4 – Configuração da Célula Fotovoltaica.....	28
Figura 5 – Esquema elétrico da planta alimentando uma carga Z	29
Figura 6 – Células monocristalinas	30
Figura 7 – Células policristalinas.....	31
Figura 8 – Associação em Série.....	32
Figura 9 – Associação em Paralelo.....	33
Figura 10 – Configuração básica de um sistema fotovoltaico	34
Figura 11 – Diagrama de sistemas fotovoltaicos em função da carga utilizada	35
Figura 12 – Exemplo de sistema híbrido	36
Figura 13 – Sistema conectado à rede.....	37
Figura 14 – Sistema fotovoltaico ligado à rede elétrica	37
Figura 15 – Curva Característica I x V	40
Figura 16 – Efeito da variação da intensidade de radiação.....	41
Figura 17 – Efeito da temperatura.....	42
Figura 18 – Curva Característica I x V do módulo durante um dia.....	43
Figura 19 – Potência entregue pelo painel durante o dia	44
Figura 20 – Curva característica I x V (corrente I_{sc} e tensão V_{oc})	45
Figura 21 – Curva típica de potência x tensão	45
Figura 22 – Parâmetros de potência máxima.....	46
Figura 23 – Aumento proporcional da intensidade de corrente em relação à radiação solar incidente sobre a célula solar para uma dada temperatura ambiente constante	47
Figura 24 – Efeito produzido pela temperatura na célula solar	47
Figura 25 – Variação da corrente de carga da bateria	48
Figura 26 – Relação entre potência gerada e potência demandada.....	49
Figura 27 – Fator de espaçamento	50
Figura 28 – Distância mínima entre o módulo e barreiras para a luz solar	51

Figura 29 – Coordenada Geográfica	59
Figura 30 – Localidades Próximas	59
Figura 31 – Irradiação Solar no Plano Horizontal para Localidades Próximas.....	60
Figura 32 – Irradiação Solar no plano horizontal – Vitória da Conquista.....	61
Figura 33 – Cálculo no Plano Inclinado.....	61
Figura 34 – Irradiação Solar no Plano Inclinado – Vitória da Conquista	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Maiores potências instaladas em células fotovoltaicas por país	27
Tabela 2 – Rendimento das diferentes tecnologias.....	32
Tabela 3 – Ângulo de inclinação x Latitude	52
Tabela 4 – Coordenadas geográficas da cidade em estudo	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

BEN – Balanço Energético Nacional

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Contínua

DDP – Diferença de Potencial

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

FV – Fotovoltaica

GD – Geração Distribuída

IDEA – Instituto para Diversificação da Energia

INEE – Instituto Nacional de Eficiência Energética

MME – Ministério de Minas e Energia

MPPT – Maximum Power Point Tracker

MWp – MegaWattpeak

PCH – Pequenas Centrais Hidrelétricas

PIB – Produto Interno Bruto

PNE – Plano Nacional de Energia

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA	17
1.2 QUESTÃO DE PESQUISA.....	17
1.2.1 Questão Central	17
1.2.2 Questões Secundárias	17
1.3 OBJETIVO GERAL	18
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
1.5 HIPÓTESE	18
1.6 JUSTIFICATIVA	18
2 ESTADO DA ARTE	19
3 REFERENCIAL TEÓRICO	21
3.1 GERAÇÕES DISTRIBUÍDAS	21
3.2 FONTE DE ENERGIA RENOVÁVEL	21
3.2.2 Fonte de Energia Renovável no Brasil	22
3.2.3 Principais Tipos de Fontes Renováveis.....	23
3.3 ENERGIA FOTOVOLTAICA.....	25
3.3.1 Energia Fotovoltaica no Brasil.....	27
3.4 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS	28
3.4.1 Células Monocristalinas.....	30
3.4.2 Células Policristalinas.....	31
3.4.3 Conexão das Células	32
3.4.4 Associação em Série.....	33
3.4.5 Associação em Paralelo	33
3.5 CLASSIFICAÇÃO DO SISTEMA.....	34
3.5.1 Sistemas Isolados	35
3.5.2 Sistemas Híbridos	36
3.5.3 Sistemas Interligados à Rede.....	37
3.6 PLACAS ESTÁTICAS X PLACAS NÃO – ESTÁTICAS	38
3.6.1 Tracking.....	39
3.7 CURVAS CARACTERÍSTICAS DAS CÉLULAS FOTOVOLTAICAS	40
3.7.1 Curva de Corrente x Tensão (Curva I – V)	40
3.7.2 Efeitos de fatores ambientais acerca da característica de saída do dispositivo	41
3.7.2.1 Efeito da intensidade de radiação solar.....	41
3.7.2.2 Efeito da Temperatura.....	42
3.7.2.3 Potência máxima de saída durante o dia	43
3.7.3 Curvas características de corrente x tensão e relacionadas a potência x tensão	45
3.7.4 Fatores que afetam as características elétricas dos módulos	47
3.7.5 Interação entre o painel e as baterias	49
3.8 LOCALIZAÇÃO E ORIENTAÇÃO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS	50
3.9 RENDIMENTO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS	53

4. METODOLOGIA	54
5. ESTUDO DE CASO	55
5.1 DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICOS.....	55
5.1.2 Componentes básicos de um sistema fotovoltaico.....	56
5.1.2.1 Bateria	56
5.1.2.2 Controladores de Carga	57
5.1.2.3 Inversores.....	57
5.2 ESTUDO DIRECIONADO A UM MUNICÍPIO LOCALIZADO NA BAHIA	58
6. CONCLUSÃO	63
6.1 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	63
REFERÊNCIAS	65

1 INTRODUÇÃO

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

O cenário energético no Brasil está em constante mudança, cada vez são utilizadas mais opções de fontes de energia. A mais comum é a energia elétrica que é gerada nas usinas hidrelétricas, sendo a maior parte vinda da usina hidrelétrica de ITAIPU – fornece cerca de 17% da energia consumida no Brasil – (ITAIPU, 2010) cuja potência instalada é de 14.000 MW (megawatts) e está localizada no estado do Paraná.

Segundo o balanço energético nacional disponibilizado anualmente pelo MME, o consumo de energia aumentou mais que o PIB.

Diante do cenário crítico ocorrido no ano de 2001, o tão falado “apagão”, surgiu a necessidade de buscar diversas maneiras de reter o consumo acelerado de energia elétrica, bem como de melhorar o aproveitamento quanto à geração da mesma, fazendo com que a população reflita sobre o assunto.

Eficiência energética tem conceito de reduzir o desperdício e as perdas de energia sem reduzir o fornecimento da mesma. Com isso, torna-se necessário buscar outras formas de evitar o desperdício de energia e também de eventuais fontes alternativas, já que apenas a hidráulica não consegue manter o consumo elevado de energia nos países, sendo que a água é um recurso natural renovável apenas se for usada de maneira refreada.

1.2 QUESTÃO DE PESQUISA

1.2.1 Questão Central

O posicionamento da placa solar influencia para a geração de energia elétrica?

1.2.2 Questões secundárias

A eficiência de placas solares estão relacionadas ao material utilizado?

- Células Monocristalinas
- Células Policristalinas

1.3 OBJETIVO GERAL

- Análise e aspectos que influenciam na geração de energia elétrica por meio da fotovoltaica.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar o posicionamento
- Analisar a temperatura
- Identificar o aspecto construtivo (monocristalino ou policristalino)

1.5 HIPÓTESE

Estudar o funcionamento das células fotovoltaicas, e a partir deste, analisar as especificações da mesma e aplicar na cidade de Vitória da Conquista – Bahia.

1.6 JUSTIFICATIVA

A escolha da temática para este estudo se deve ao fato da situação energética em que o país se encontra. Pensando numa provável solução que seria aproveitar o máximo possível da captação dos raios solares por meio das placas fotovoltaicas para transformar essa energia solar em energia elétrica. Para uma melhor captação e aproveitamento da elevada predominância dos dias ensolarados no país, mais precisamente na região nordeste, cidade de Vitória da Conquista – Bahia, pensou-se em realizar um estudo para posicionar essas placas fotovoltaicas ao longo do dia, deixando-a inclinada para o melhor ângulo em que se possa captar a incidência dos raios solares. Utilizando as coordenadas geográficas para maior precisão quanto ao ângulo necessário para os painéis ficarem dispostos.

2 ESTADO DA ARTE

Com a ascensão progressiva do consumo de energia elétrica no Brasil associado ao elevado custo de manutenção e construção de novas usinas geradoras de energia e também a preocupação com a escassez da principal fonte renovável geradora de energia (usinas hidrelétricas), ocasionou a necessidade de pesquisar novas fontes para a captação de energia, sendo as renováveis as melhores fontes, tais como energia solar, eólica, biomassa, entre outras.

Esta pesquisa buscou realizar uma análise da energia solar (fotovoltaica) por existir em grande abundância a incidência solar ao longo do dia em várias cidades do país. A realização desse estudo analisa uma maneira de melhor captação dessa energia solar a partir de melhores tecnologias aplicadas no funcionamento dos painéis fotovoltaicos. Os principais estudos são:

- Cresesb (2006): O trabalho deste autor faz uma breve introdução à energia solar, mostra os equipamentos necessários para a medição, os tipos de células e suas vantagens, abordando as características, os componentes de um sistema fotovoltaico e exemplos de utilização desses sistemas, bem como o bombeamento para irrigação, a conjunção de energias e outros fatores importantes acerca do estudo da energia fotovoltaica.

- Freitas (2008): Este autor fez uma breve descrição e análise dos principais componentes usuais nos sistemas fotovoltaicos, dando ênfase aos sistemas autônomos e ligados à rede. Efetuou um dimensionamento dos dois tipos de sistemas fotovoltaicos. Depois de definir uma metodologia, desenvolveu uma aplicação computacional para os dois estudos de caso relacionados aos tipos de sistemas mencionados.

- Filipe (2012): Este apresentou um projeto de conversor CC-CA usando um microinversor para conversão de dois níveis de tensão que constituem os sistemas fotovoltaicos ligados à rede. Depois de realizar o estudo acerca do controle da tensão contínua e da forma de onda da corrente alternada, ele desenvolveu uma simulação do funcionamento do conversor afim de criar um protótipo do microinversor para validar os conceitos aplicados na pesquisa e no modo de funcionamento.

Independente do pesquisador escolhido, todos abordam a necessidade de otimizar o funcionamento dos painéis fotovoltaicos a fim de captar melhor as incidências solares. Diante da atual situação energética, o custo das placas solares está diminuindo aos poucos, a fim de tornar as fontes renováveis alternativas serem mais usuais.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 GERAÇÕES DISTRIBUÍDAS

Segundo INEE (2004), a geração distribuída ou simplesmente GD é uma expressão usada para denominar a geração elétrica executada junto ou próxima dos consumidores independente da potência, tecnologia e fonte de energia. As tecnologias empregadas na GD tem avançado a fim de incluir potências cada vez menores. As energias inclusas na GD são: Co-geradores; Geradores a partir da biomassa; Painéis fotovoltaicos; Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCH's.

A geração elétrica junto do consumidor era essencial quando a energia industrial era praticamente toda gerada localmente. Só então a partir da década de 40 esse cenário começou a mudar, pois a geração de energia elétrica em centrais de grande porte ficou mais barata, resultando a redução do interesse dos consumidores pela GD, conseqüentemente o desenvolvimento tecnológico que incentivava esse tipo de geração também parou.

A partir da década de 90 quando as crises do petróleo influenciaram este panorama, que foi revelada a importância, por exemplo, da economia obtida no uso de co-geração. Por fim a reforma do setor elétrico brasileiro permitiu a competição do serviço de energia, conseqüentemente gerando concorrência e estimulando os potenciais elétricos existentes a custos competitivos.

A partir de todo o cenário descrito, o INEE (2004) trabalha constantemente na busca de melhorias do mercado que dificultam o desenvolvimento desta forma de geração elétrica, pois assim com a GD torna-se possível obter maior eficiência energética.

3.2 FONTE DE ENERGIA RENOVÁVEL

A fonte de energia renovável como o próprio nome sugere, é uma energia proveniente de recursos naturais que são capazes de regenerar, considerados inesgotáveis, ao contrário das energias não renováveis, como o petróleo e o carvão mineral.

Para a obtenção de energia limpa são utilizados alguns recursos naturais, tais como:

➤ A energia solar que provém do sol, a eólica que é retirada do vento, a hidráulica dos rios e correntes de água doce, a biomassa que vem da matéria orgânica, entre outras.

Além dessas fontes de energia existem também combustíveis renováveis que são provenientes de matéria prima renovável como a mamona e o girassol utilizados na fabricação de biodiesel e outros óleos vegetais que vem da cana-de-açúcar sendo utilizada para a fabricação do álcool.

Segundo o IDEA 2007, a geração de eletricidade vem de aproximadamente 42,3% de fontes renováveis.

E com a necessidade de aumentar a capacidade energética, a tendência é que cada vez mais países invistam em energias alternativas. Em 2010 os cinco países que mais investiram foram: Espanha, Portugal, China, Índia e Alemanha.

3.2.2 Fonte De Energia Renovável No Brasil

O Brasil possui hoje em dia a matriz energética mais renovável do mundo. Atualmente ele utiliza 45% de fontes renováveis em sua matriz, pretendendo elevar esse número para 47% conforme o PNE 2030, enquanto 14% é o patamar utilizado pelos países desenvolvidos.

Apesar de o Brasil ter o potencial hidrelétrico maior do mundo, ele segue em parceria com outras nações, buscando o desenvolvimento das usinas hidrelétricas em regiões de fronteira e de novas fontes energéticas renováveis e limpas, como a eólica, a biomassa e a solar.

Por ser uma excelente alternativa aos combustíveis fósseis, o etanol é um investimento brasileiro que está trazendo ótimos resultados. Muito menos poluente que o diesel e a gasolina e mais econômico que eles, o etanol é um fator real que coloca o Brasil na frente das soluções energéticas não poluentes do mundo. O consumo nacional de etanol em veículos leves superou o da gasolina no ano de 2008, sendo um marco que deve ser destacado.

Em se tratando de energia renovável no Brasil e o seu potencial em relação a essas fontes, as palavras do Ministro de Minas e Energia do Brasil, o Senhor Edison Lobão (2008), são elucidadoras:

O Brasil dispõe de recursos naturais abundantes, grande potencial energético, tecnologia e *expertise* comprovada para ampliar suas fontes renováveis de energia. É chegada a hora de buscar meios de reverter toda essa riqueza em benefício de todos (LOBÃO, 2008, p.2).

Utilizando de maneira correta, os recursos naturais encontrados em abundância no Brasil e com enorme potência energética, podem ser utilizados em maior proporção para suprir a demanda energética necessária para o funcionamento de todos os equipamentos elétricos.

3.2.3 Principais Tipos De Fontes Renováveis

Atualmente existem diversos tipos de fontes de energias renováveis. Dos vários tipos existentes, as mais comuns são:

- Biomassa: Todo recurso renovável que é retirado da matéria orgânica, animal ou vegetal, tendo objetivo principal a produção de energia. A biomassa é uma forma indireta de aproveitamento da luz solar, pois ocorre a conversão da radiação solar em energia química por meio da fotossíntese (base dos processos biológicos de todos os seres vivos).
- Eólica: Energia produzida a partir da força dos ventos. É gerada por meio de aerogeradores, onde a força do vento é captada por hélices ligadas a uma turbina que aciona um gerador elétrico. Esses ventos precisam ser intensos para conseguir mover essas hélices.
- PCH: É uma Pequena Central Hidrelétrica, que por ser de pequeno porte, sua capacidade instalada deve ser superior a 1 MW e inferior a 30 MW, além da área do reservatório ser inferior a 3 Km². Esse tipo de usina resulta em menores impactos ambientais e se prestam a geração descentralizada. É implantada principalmente em rios (pequeno ou médio porte) que possuam desníveis significativos durante seu percurso, gerando potência hidráulica suficiente para movimentar as turbinas.
- Solar: Provém da captação das incidências de radiações solares, sendo aproveitada de maneira térmica (aquecimento de água) e fotovoltaica (geração de energia elétrica). É considerada uma alternativa energética muito

promissora para enfrentar os desafios da oferta de energia com menores impactos ao meio ambiente. O diferencial dessa energia é sem completamente limpa, pois depende apenas da incidência dos raios emitidos pelo Sol, e toda a sua conversão é feita de maneira limpa.

Afim de atingir o objetivo da pesquisa que é sobre a energia fotovoltaica e sendo ela uma derivação da solar, esta fonte renovável que será a relatada.

A energia solar provém dos raios solares, ela chega a Terra nas formas térmica e luminosas. É uma fonte renovável limpa e que existe em abundância. De acordo com um estudo realizado pelo EPE2007, sua irradiação por ano na superfície terrestre é suficiente para suprir milhares de vezes o consumo anual de energia do mundo.

Essa radiação não atinge a crosta terrestre de maneira uniforme, pois depende de alguns fatores como a latitude, a estação do ano e de condições atmosféricas como umidade relativa do ar e nebulosidade.

Ao entrar em contato com a atmosfera terrestre, uma grande parte da energia solar assume a forma de luz visível de raios ultravioleta e de raios infravermelhos. Quando ocorre a captação dessa luz para transformá-la em energia térmica ou elétrica, depende de quais os equipamentos utilizados para determinar qual o tipo de energia obtida.

Para transformar em calor, ou seja, na energia térmica deverá ser utilizada uma superfície escura para a captação dessa energia. Os equipamentos utilizados para a produção dessa energia são os coletores e os concentradores, pois às vezes é necessário concentrar a radiação em apenas um ponto que é o que ocorre na secagem de grãos e produção de vapor já que requerem temperaturas mais elevadas.

Caso queira transformar em eletricidade, deverá utilizar células fotovoltaicas (painéis fotovoltaicos). Nesse sistema, a transformação da radiação solar em energia elétrica é feita diretamente.

3.3 ENERGI A FOTOVOLTAICA

A energia fotovoltaica é considerada uma das mais fascinantes tecnologias no campo da energia. Esta tecnologia foi iniciada há vários anos, obtendo maior destaque na década de 1950 devido a sua utilização em um programa espacial norte-americano (HINRICHS; KLEINBACK, 2002, p.309). Destes dias até hoje, a radiação solar tem se tornado um meio alternativo de geração de energia.

Para a transformação da radiação solar em eletricidade, é necessário utilizar painéis fotovoltaicos que são constituídos de um material semicondutor – o silício geralmente – para que, quando for estimulado pela radiação, permita o fluxo eletrônico (partículas positivas e negativas).

De acordo com um estudo realizado pelo PNE 2030 (BEN, 2013), todas as células fotovoltaicas são constituídas por pelo menos duas camadas de semicondutores, onde uma é positivamente carregada e a outra negativamente carregada, produzindo uma junção eletrônica.

Essa condução dos semicondutores possui três tipos de ligações semicondutoras: por junção, por pontas e por difusão. A que ocorre nas células fotovoltaicas é a ligação por junção eletrônica que é o contato das superfícies de dois ou mais semicondutores resultando a circulação das cargas elétricas.

O material dessas células não pode ser feito apenas de silício, pois não produziria corrente elétrica, já que para existir corrente elétrica deve haver um campo elétrico, isto é, um ddp (diferença de potencial) entre as duas extremidades da célula. Essas substâncias adicionadas são ditas dopantes¹.

As camadas tipo p e tipo n são respectivamente as cargas positivas e negativas relacionadas ao silício puro. Geralmente é utilizado o elemento Boro que é da família dos semimetais da tabela periódica para criar a camada tipo p. E o Fósforo que é da família dos outros não metais da tabela periódica é utilizado para compor a camada do tipo n.

Um átomo de boro possui quatro ligações covalentes com quatro átomos de silício, porém ele só possui três elétrons na camada de valência, ficando assim uma lacuna, que se comporta como uma carga positiva, já que toda vez que um elétron

¹ Dopantes: é uma impureza que adicionada em pequenas quantidades a uma substância pura altera as propriedades desta substância.

de um elemento vizinho a preenche, outra lacuna será criada. A proporção de átomos de Boro para os de Silício é geralmente de um para dez milhões. (FREITAS, 2008, P.19)

Ainda segundo Freitas(2008, P.19), o fósforo é o elemento usado na criação da camada tipo n. Esse elemento possui cinco átomos na camada de valência, fazendo então quatro ligações covalentes.

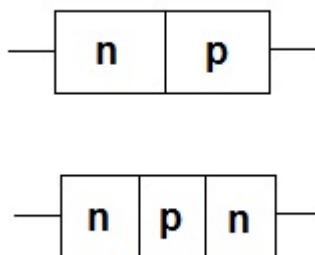


Figura 1 – Exemplos de ligação por junção.

Fonte: SCHMIDT, 1979.

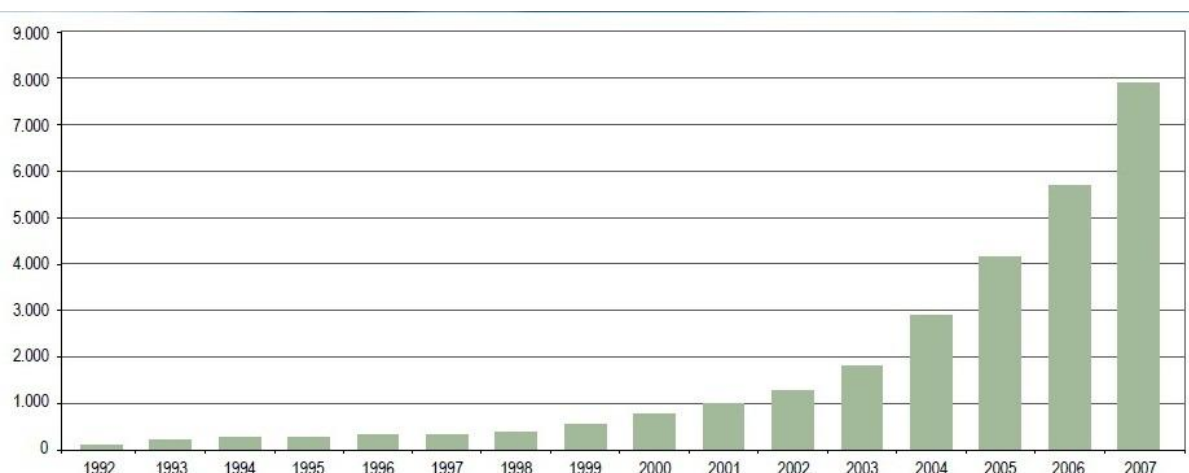
A Figura 1 mostra dois exemplos de ligação por junção, representados pelas letras “p” e “n” que são materiais semicondutores.

Quanto maior a intensidade de luz, maior será o fluxo de energia. Com essa afirmação pode entender que em dias nublados o sistema não conseguirá captar essa energia, mas o sistema fotovoltaico não precisa do sol brilhando para poder funcionar, pois ele também consegue gerar eletricidade nos dias em que as nuvens prevaleçam.

Segundo Atlas (2008, p.82), embora seja abundante a energia solar ainda é pouco expressiva na matriz mundial, o mesmo ocorre com outras fontes renováveis. Apesar disso, ela teve um aumento de mais de 2000% entre os anos de 1996 e 2006.

A Figura 2 mostra um gráfico da evolução da potência solar instalada no mundo nos anos de 1992 a 2007 para a produção de eletricidade. E em seguida a tabela 1 mostra a participação alusiva a cada país.

Figura 2: Gráfico de Potências instaladas de Células Fotovoltaicas no mundo (MW).



Fonte: IEA (2007, *apud* ATLAS de Energia Elétrica do Brasil, 2008, p.83)

Tabela 1 – Maiores potências instaladas em células fotovoltaicas por país

	País	Potência (MW)	% em relação ao total
1º	Alemanha	3.862,0	49,3
2º	Japão	1.918,9	24,5
3º	Estados Unidos	830,5	10,6
4º	Espanha	655,0	8,4
5º	Itália	120,2	1,5
	Outros países	454,4	5,7
	Total	7.841,0	100

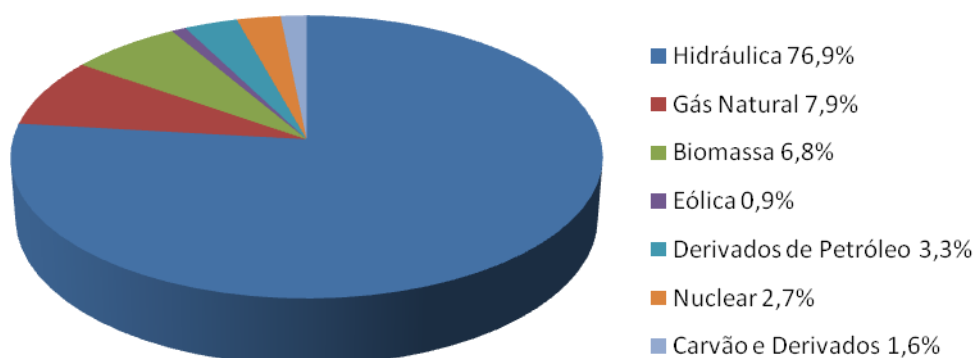
Fonte: IEA(2007, *apud* ATLAS de Energia Elétrica do Brasil, 2008, p.83)

Como pode ser observada na Tabela 1, a Alemanha é a maior produtora da energia solar. Somando as porcentagens da Alemanha, Japão, Estados Unidos e Espanha, conforme o gráfico, no ano de 2007 esses países juntos concentraram mais de 80% da capacidade mundial. Esses países tem em comum os fortes programas de diversificação e simultânea limpeza na matriz energética local.

3.3.1 Energia Fotovoltaica No Brasil

A geração da energia fotovoltaica no Brasil ainda se encontra na etapa inicial. A geração da energia elétrica no país ainda se deve a extraída das usinas hidrelétricas que segundo o relatório final do BEN 2013 representa 76,9% da energia gerada no país. A Figura 3 apresenta um gráfico de distribuição interna de energia elétrica.

Figura 2: Gráfico de Oferta interna de Energia Elétrica por Fonte - 2012



Fonte: BEN 2013 (Adaptado)

Como pode ser observada na Figura 2, a energia solar não aparece como fonte significativa de energia², devido ainda aos elevados custos dos equipamentos, embora já possua usina solar no país.

Entrou em funcionamento no mês de Agosto de 2014 a maior usina solar do país, na cidade de Tubarão – SC, com capacidade máxima de 3 MWp, poderá abastecer até 2,5 mil residências por ano. O custo estimado da implantação dessa usina foi em torno de R\$30 milhões de reais, sendo um projeto de parceria da ANEEL com a UFSC.

² Até a finalização do relatório do balanço energético nacional de 2013. Ainda está em andamento o de 2014, portanto não se sabe se a solar entrará em evidência.

3.4 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

As células FV são constituídas de um material semiconductor (silício). Esse dispositivo é fundamental para a conversão da radiação solar em eletricidade. As principais tecnologias usadas na produção dessas células são o silício monocristalino (m-Si), o silício policristalino (p-Si), o silício amorfo (a-Si). As duas primeiras supracitadas são as que representam maior porcentagem do mercado, por serem consideradas consolidadas e confiáveis, já que possuem a melhor eficiência comercial disponível atualmente.

A Figura 4 mostra a ilustração do funcionamento da junção dos átomos “p” e “n”, quando a luz é emitida, o fóton que atinge os elétrons é capaz de romper a ligação com os elétrons fazendo com que ocorra a passagem da corrente elétrica (FREITAS, 2008, P.19)

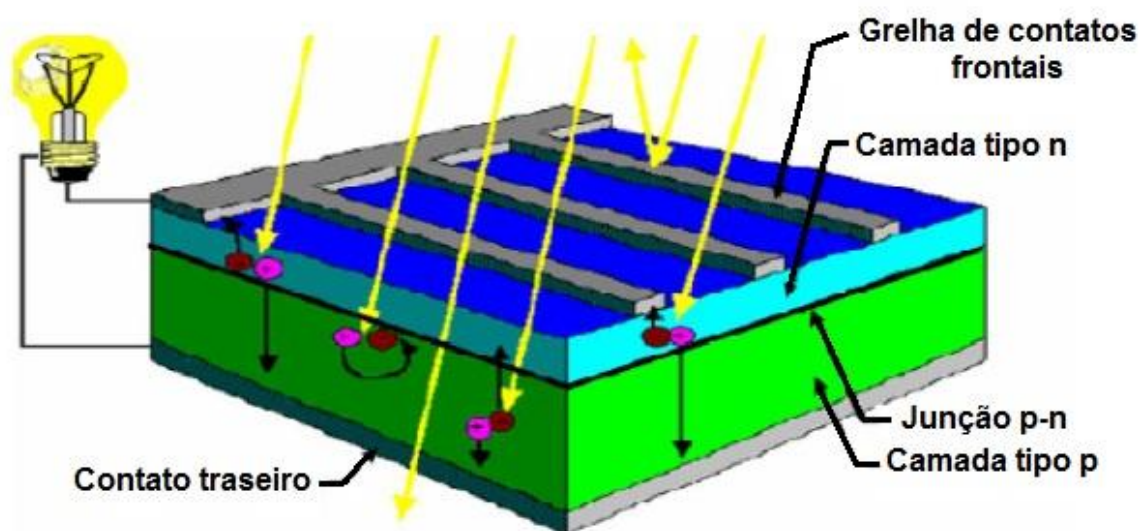
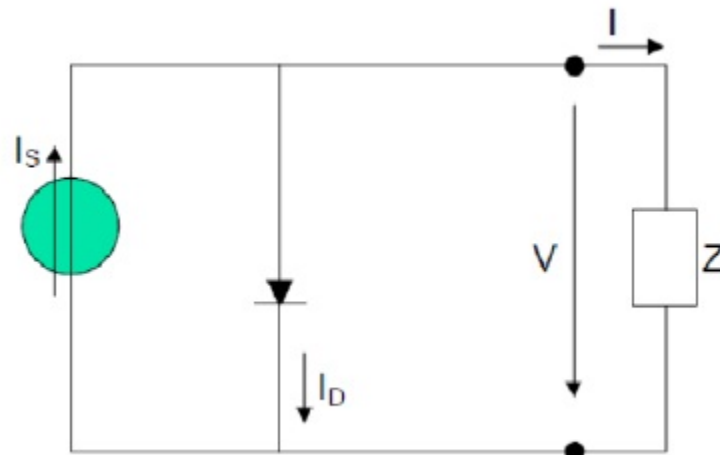


Figura 4: Configuração da Célula Fotovoltaica

Fonte: FREITAS 2008

Fazendo uma breve análise da Figura 4, é possível perceber que a placa solar possui funcionamento similar a uma fonte de corrente, também pode deduzir que há a configuração semelhante a de um diodo. O modelo de um circuito elétrico equivalente simplificado da célula fotovoltaica pode ser representado na Figura 5.

Figura 5: Esquema elétrico da planta alimentando uma carga Z



Fonte: FREITAS 2008

I_s é a fonte de corrente elétrica que é gerada pela radiação luminosa; O funcionamento da junção $p-n$ se deve a corrente interna representada por I_D que é a corrente que atravessa o diodo, dependendo da tensão V nos terminais da célula.

A equação 1 é usada para calcular a corrente I_D que atravessa o diodo:

$$I_D = I \left(e^{\frac{V}{mV_T}} - 1 \right) \text{ (eq. 1)}$$

onde:

I é a corrente inversa máxima de saturação do diodo;

V é a tensão aos terminais da célula;

m é o fator de idealidade do diodo (diodo ideal: $m = 1$; diodo real: $m > 1$);

V_T é designado por potencial térmico;

T é a temperatura absoluta da célula em K (Kelvin, onde $0^\circ\text{C} = 273,16^\circ\text{K}$);

Conforme a lei dos “nós”³ podemos obter a corrente I através da equação 2.

$$I = I_s - Id = I_s - I(e^{\frac{V}{mVT}} - 1) \text{ (eq. 2)}$$

3.4.1 Células Monocristalinas

Segundo Cresesb(2006, P.14), para funcionar como célula fotovoltaica, este silício necessita de outros instrumentos semicondutores e com um maior grau de pureza, por isso normalmente o silício é fundido com uma quantidade mínima de dopante, no caso o boro que é do tipo p .

Quanto à relevância do estudo da célula monocristalina, Solarterra (2008, p. 4) afirma que:

Estas células obtêm-se a partir de barras cilíndricas de silício monocristalino produzidas em fornos especiais. As células são obtidas por corte das barras em forma de pastilhas finas (0,4 – 0,5 mm de espessura). A sua eficiência na conversão de luz solar em eletricidade é superior a 12%.

O material mais utilizado na composição das células fotovoltaicas é o silício monocristalino, pois ele atinge aproximadamente 60% do mercado. Porém seu custo é elevado e necessita de um período extenso para retorno do investimento. A utilização de apenas um cristal resulta na uniformidade da estrutura molecular, além de ser ideal para potenciar o efeito fotovoltaico.(FREITAS, 2008, P.25).

Na Figura 6 pode ser observado uma célula monocristalina.



Figura 6: Células monocristalinas

Fonte: FREITAS 2008

³ Lei dos “nós”: é a primeira lei de Kirchhoff que é bastante usada em circuitos elétricos, sendo nó um ponto onde três ou mais condutores são ligados.

3.4.2 Células Policristalinas

Esse tipo de célula é mais barata que a do tipo monocristalina, pois exige um processo menos rigoroso para preparação das células. Porém, a eficiência é um pouco baixa em comparação as células compostas por silício monocristalino.(CRESESB, 2006, P.15).

Há relevância do estudo das células policristalinas em todos os seus aspectos.

Estas células são produzidas a partir de blocos de silício obtidos por fusão de silício puro em moldes especiais. Uma vez nos moldes, o silício arrefece⁴ lentamente e solidifica-se. Neste processo, os átomos não se organizam num único cristal. Forma-se uma estrutura policristalina com superfícies de separação entre os cristais. Sua eficiência na conversão de luz solar em eletricidade é ligeiramente menor do que nas de silício monocristalino (SOLARTERRA, 2008, p.5).

Segundo Freitas (2008, P.35), estas células possuem características semelhantes às células monocristalinas, embora sejam compostas por vários cristais pequenos, cuja espessura é comparada a de um fio de cabelo humano. A estrutura molecular sofre descontinuidades que acabam dificultando o movimento dos elétrons, resultando numa redução da potência de saída. Esse tipo de silício possui uma quota aproximadamente de 30% de mercado, o que faz aumentar a produção, já que o processo de fabricação custa menos que o do silício. Na Figura 7 pode ser visto um tipo de célula policristalina.

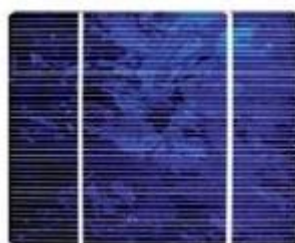


Figura 7: Células policristalinas

Fonte: FREITAS 2008

Na Tabela 2, é possível observar os rendimentos típicos e teóricos obtidos em cada uma destas células.

⁴Arrefece: Causar o esfriamento de; fazer com que fique frio;

Tabela 2 – Rendimento das diferentes tecnologias

Material da Célula Solar	Eficiência da Célula
Silício Monocristalino	11 – 16%
Silício Policristalino	10 – 14%

Fonte: FREITAS, 2008 (Adaptado)

3.4.3 Conexão Das Células

A fim de aumentar a obtenção de potência, é essencial que várias células solares sejam conectadas para a formação de um painel com maior capacidade de captação da incidência solar, para isso é necessário que conecte as células em série para em seguida conectá-las em paralelo, com isso então obterá a corrente e tensão desejadas.

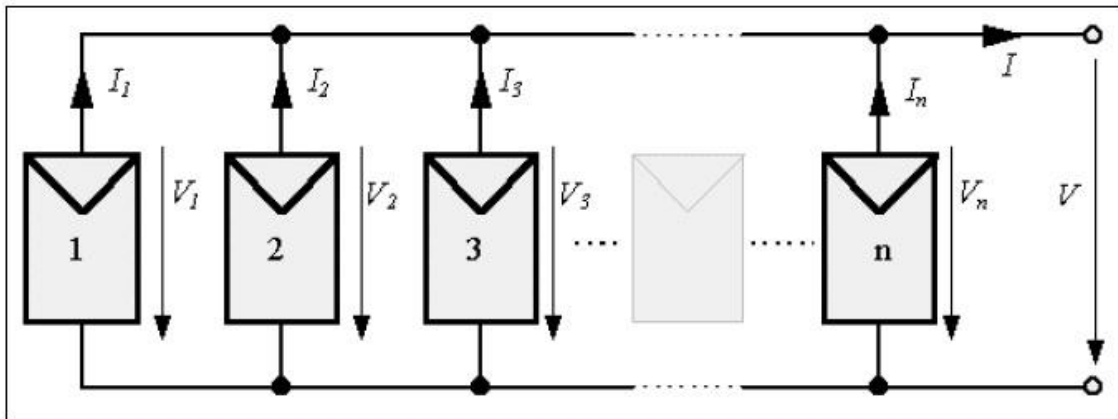
3.4.4 Associação Em Série

Este tipo de conexão é o mais comum quando se trata das células fotovoltaicas, pois ele consiste no agrupamento de maior número de células em série, onde é somada a tensão de cada célula. A ligação é feita de modo em que a ponta positiva de uma placa é ligada a ponta negativa de outra, e assim sucessivamente até encontrar a tensão desejada. Na Figura 8, tem a demonstração desse tipo de associação.

Figura 8: Associação em Série

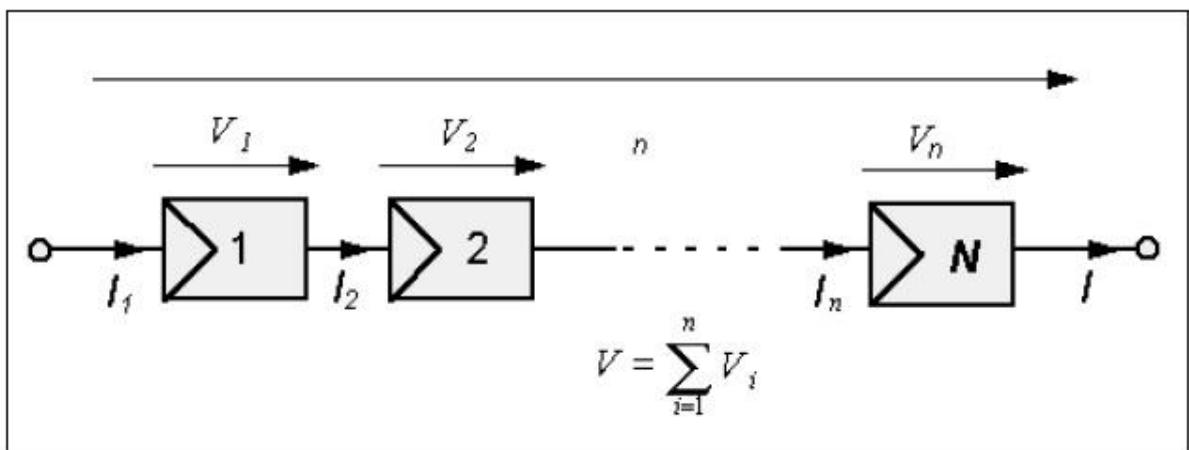
Fonte: CRESESB, 2006

3.4.5 Associação Em Paralelo



Neste tipo de associação o que ocorre é a interligação de todos os terminais, positivo com positivo e negativo com negativo, onde as correntes de cada módulo são somadas e a tensão não altera. Na Figura 9 é possível observar uma simulação desse tipo de associação.

Figura 9: Associação em Paralelo



Fonte: CRESESB, 2006

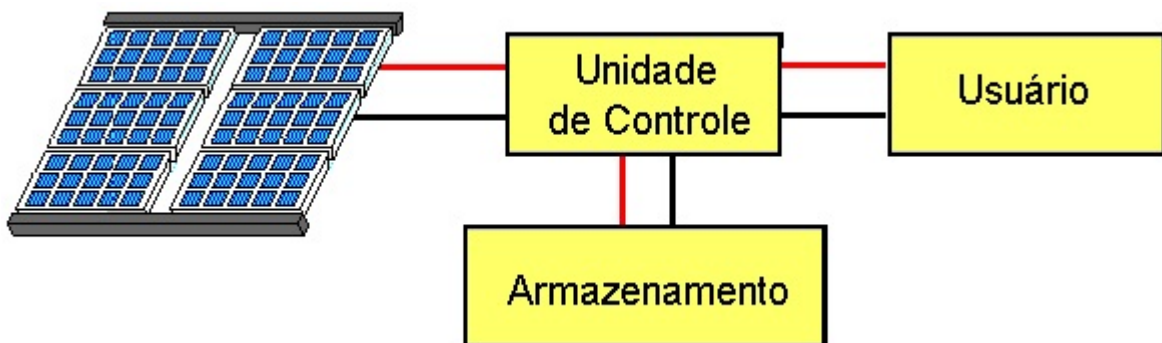
Na maioria das vezes na construção dos módulos, ocorre primeiro a associação das células em série, a fim de obter um maior nível de tensão, para em seguida associar em paralelo para aumentar o nível de corrente.

3.5 CLASSIFICAÇÃO DO SISTEMA

Os sistemas fotovoltaicos podem ser aplicados de duas maneiras, sendo elas CC ou CA. Na utilização em modo CC, os painéis podem ser ligados diretamente à carga, sendo possível haver a necessidade de usar adaptadores de tensão, a fim de elevar, reduzir ou converter a tensão para o modo CA. Em qualquer um dos dois casos, é necessário transformar toda energia solar para energia elétrica de uma maneira eficiente. (FILIPE, 2012, P.5)

Conforme Cresesb (2006, P.21), a classificação do sistema fotovoltaico pode ser distribuída em três categorias distintas, são elas: sistemas isolados, híbridos e interligados à rede. Esses sistemas executam uma configuração básica, que é a maneira que o sistema irá se comportar, devendo existir uma unidade de controle de potência e uma unidade de armazenamento, sendo elas interligadas ao usuário e ao painel fotovoltaico, como pode ser analisado na Figura 10, que mostra a configuração básica de um sistema fotovoltaico.

Figura 10: Configuração básica de um sistema fotovoltaico



Fonte: CRESESB, 2006

3.5.1 Sistemas Isolados

Sistemas isolados ou sistemas autônomos são projetados para alimentar um aglomerado de cargas dispensando a necessidade de ter a presença de uma rede elétrica durante o ano como um todo. Para este tipo de sistema, em geral, faz-se necessário o uso de algum equipamento para armazenamento de energia. As

baterias são as mais usadas para esse armazenamento, quando se deseja utilizar equipamentos elétricos ou para o armazenamento na forma de energia gravitacional⁵ para o bombeamento de água para tanques em sistemas de abastecimento. Existem sistemas isolados que não precisam do armazenamento de energia, como exemplo no processo de irrigação, onde a água bombeada é imediatamente consumida, ou armazenadas em reservatórios.

Para Filipe(2012, P.6), os sistemas isolados podem ser divididos em grupos separados pelo tipo de carga e se precisa armazenar ou não a energia. As configurações podem ser caracterizadas em quatro grupos, como mostra a seguir:

- Carga CA com armazenamento
- Carga CA sem armazenamento
- Carga CC com armazenamento
- Carga CC sem armazenamento

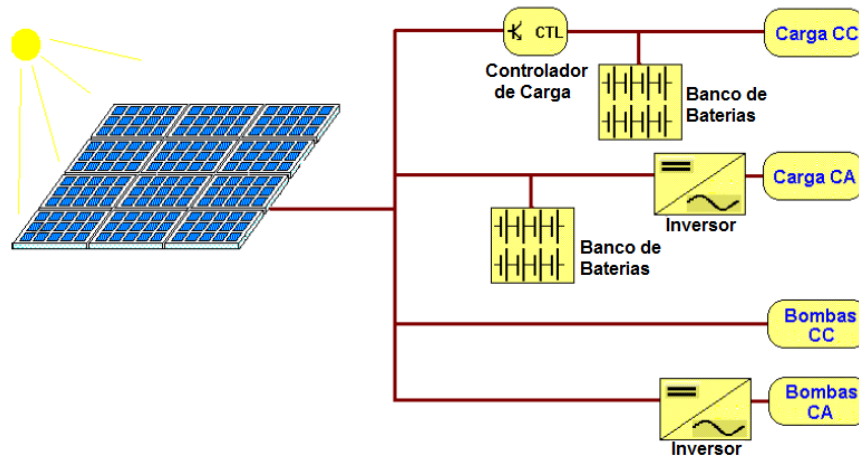
De acordo com Cresesb (2006, P.21), é necessário usar um dispositivo para o controle da carga e descarga na bateria para os sistemas que necessitam de armazenamento de energia em baterias. Esse dispositivo é usado quando os sistemas são pequenos e os aparelhos usados são de baixa tensão e corrente contínua (CC).

Já para a situação em que a alimentação dos equipamentos necessitam de corrente alternada (CA), Cresesb(2006, P.21) informa que nesse caso é necessário usar um inversor, que geralmente adiciona um seguidor de ponto de máxima potência fundamental para a otimização da potência final produzida. Esse sistema é usado quando é necessário um maior conforto na utilização de eletrodomésticos convencionais.

Na Figura 11 é demonstrado o funcionamento do sistema isolado ou autônomo onde exemplifica as duas configurações usadas, sendo elas de corrente contínua (CC) e corrente alternada (CA).

Figura 11: Diagrama de sistemas fotovoltaicos em função da carga utilizada

⁵ É a energia associada a gravidade (campo gravitacional), sendo produzida pelo campo magnético terrestre.



Fonte: CRESESB, 2006

3.5.2 Sistemas Híbridos

São os sistemas que usam diversas fontes para originar a energia elétrica, essas fontes de energia são renováveis e não renováveis usadas em conjunto, como por exemplo: energia fotovoltaica, eólica, gerador movido à diesel, entre outros.

Essas fontes funcionam de acordo a necessidade, ou seja, podem operar simultaneamente ou em períodos distintos, não sendo necessário que todas gerem energia elétrica ao mesmo tempo.

Para um bom funcionamento desse sistema, é necessário que haja um dispositivo para controlar todas as fontes a fim de atingir máxima eficiência na energia entregue ao usuário.

Na Figura 12 é exemplificado uma unidade de controle fazendo a interligação dessas fontes, o armazenamento e a distribuição da energia ao usuário.

Figura 12: Exemplo de sistema híbrido



Fonte: CRESESB, 2006

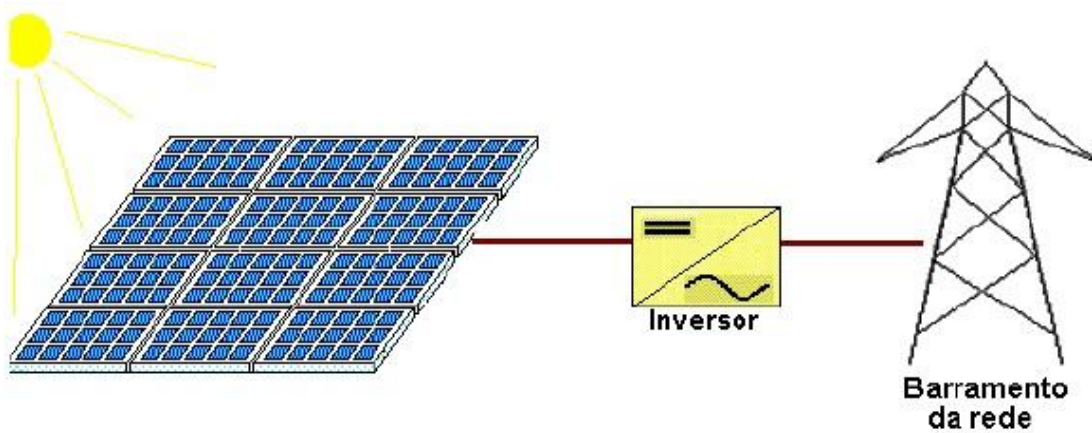
Esse sistema é no geral empregado para atender um vasto número de usuários. Ele necessita de um inversor para conseguir trabalhar com as cargas de corrente contínua.

3.5.3 Sistemas Interligados à Rede

Para um bom funcionamento desse sistema é necessário utilizar um enorme número de painéis fotovoltaicos. Esse sistema não faz armazenamento de energia, pois toda a energia gerada é conectada ao inversor de corrente e posteriormente ao barramento da rede, por isso o nome interligados à rede, já que toda a geração é entregue diretamente na rede.

Um esquema dessa rede é representado na Figura 13.

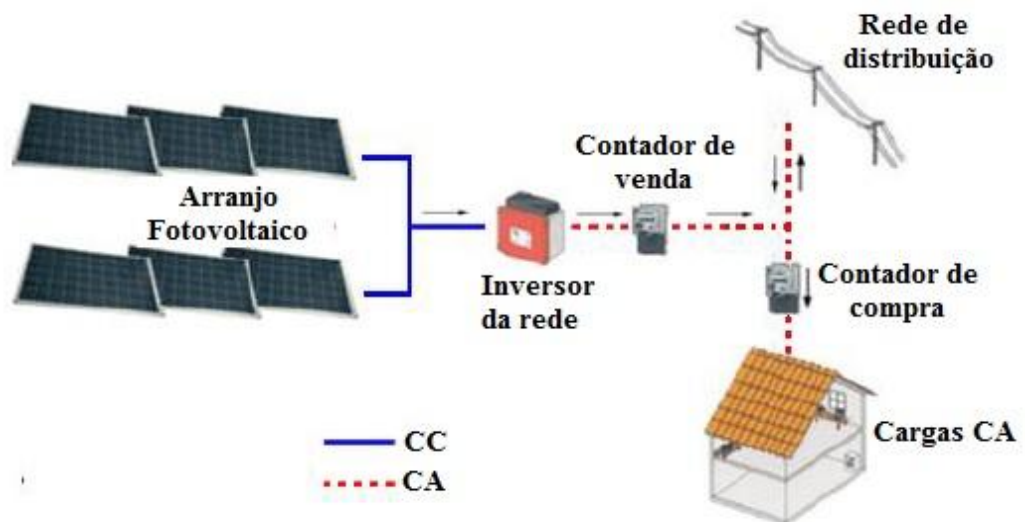
Figura 13: Sistema conectado à rede



Fonte: CRESESB, 2006

Na Figura 14 temos um esquema mais detalhado sobre o sistema conectado à rede, onde mostra os painéis fotovoltaicos que são ligados à corrente CC e em seguida passa pelo inversor de rede para usar corrente CA, onde passa por um contador da concessionária, depois pela rede de distribuição para assim ir para o contador residencial onde será ligado nas cargas CA da casa do consumidor final.

Figura 14: Sistema fotovoltaico ligado à rede elétrica



Fonte: FILIPE, 2012

3.6 PLACAS ESTÁTICAS X PLACAS NÃO – ESTÁTICAS

Ao instalar placas fotovoltaicas, é essencial que antes seja analisada qual a melhor posição para fixá-las, pois seu rendimento depende exatamente do ângulo de incidência das radiações solares.

Além da maneira fixa, existe a possibilidade de usar um sistema móvel para melhorar a eficiência dessas células. Este sistema é o MPPT (Maximum Power Point Tracker) ou simplesmente seguidor do ponto de máxima potência.

A melhor forma de captação dos raios solares é sempre deixar as células fotovoltaicas posicionadas perpendicularmente a esses raios. O uso do MPPT é para maximizar a potência de saída do conjunto de placas fotovoltaicas, não obstante a temperatura, condições de irradiação e características elétricas da carga. (BARBOSA; ARINS, 2014).

Segundo Loeblein et al. (2013) o planeta Terra se move por um plano fixo ao redor do Sol, e que sua órbita é uma elipse onde o Sol fica situado em um dos lados. O plano elíptico é conhecido como o plano fixo que comporta a órbita terrestre.

De acordo Kreider e Kreith(1981, *apud* LOEBLEIN et al., 2013) as estações do ano existem por causa do movimento de translação da Terra, bem como a inclinação do eixo de rotação da Terra perpendicular ao plano elíptico, sendo 23,45° o valor máximo do ângulo. Então, conclui-se que o acompanhamento da posição do Sol exige dois eixos, um para acompanhar o movimento diário de rotação enquanto o outro acompanha o movimento anual de translação.

3.6.1 Tracking

A posição da superfície plana que indica se ela será ou não mais eficiente na captação da energia solar, pois para ser eficiente é necessário que sua posição seja relacionada à incidência dos raios solares. Como o Sol se move ao longo do dia e do ano, para uma melhor captação dessas incidências solares, é importante que a placa fotovoltaica acompanhe esses movimentos.

O equipamento necessário para realizar a movimentação das placas para o acompanhamento das incidências solares é conhecido por Tracker. E seus movimentos dependem não apenas da hora do dia e da época do ano como também da sua localização exata, dada por ângulos. (DUFFIE e BECKMAN, 2006 *apud* LOEBLEIN et al., 2013).

Tracking é o nome do movimento que a placa faz para seguir o Sol. Com este movimento é possível que a eficiência do coletor das incidências solares seja maior. Como todos os pontos positivos e negativos de cada sistema, a instalação deste método de acompanhamento do movimento relativo do Sol aumenta os ganhos de energia, porém também aumenta consideravelmente os custos de instalação e manutenção do mesmo. Nos projetos de engenharia, o aumento do ganho de eficiência de coletores solares móveis é considerado importante porque depende da localização geográfica do local (particularmente pela latitude). (LOEBLEIN et al., 2013).

Loeblein et al. (2013) relatou um estudo onde foram medidas as temperaturas médias da água através do uso de placas fixas e móveis expostas à radiação solar ao longo de um dia. O resultado do estudo constatou que as temperaturas do tanque de água que continha a placa móvel foram superiores ao da placa fixa durante a maior parte do tempo de medição, e somente por volta das 14h que a temperatura média das duas placas foi semelhante porque neste horário ambas estavam com aproximadamente o mesmo ângulo azimutal.

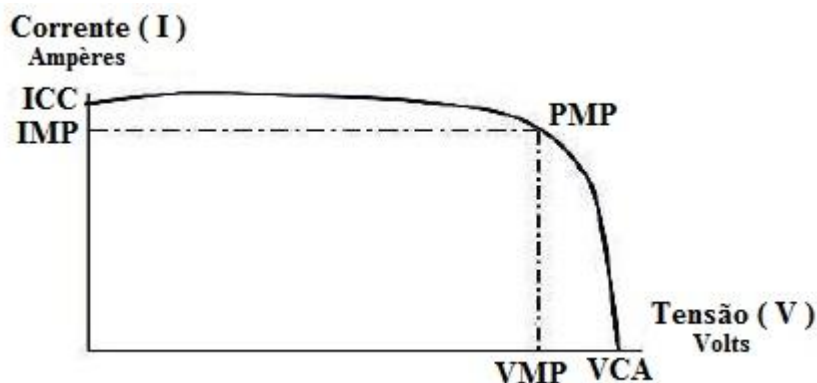
3.7 CURVAS CARACTERÍSTICAS DAS CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

3.7.1 Curva de Corrente x Tensão (Curva I – V)

A curva corrente *versus* tensão é a típica representação que caracteriza a saída de um dispositivo fotovoltaico, como a célula, o módulo ou o sistema. A corrente de saída mantém-se aproximadamente constante dentro da amplitude de tensão de funcionamento, e, conseqüentemente pode-se afirmar que o dispositivo deve ser considerado uma fonte de corrente constante neste âmbito, como pode ser observado na Figura 15. (GUZZO, 2008; SOLARTERRA, 2008).

A corrente e a tensão operadas pelo dispositivo fotovoltaica são determinadas pela radiação solar incidente em consonância com a temperatura ambiente e pelas características da carga conectada ao mesmo.

Figura 15: Curva Característica I x V



Fonte: SOLARTERRA, 2008

Os valores da curva característica exemplificada na figura 15 são:

- **Corrente de curto-circuito (ICC):** Máxima corrente que um dispositivo pode alcançar sob condições determinadas de radiação e temperatura, sendo correlacionadas a tensão e potência nulas.
- **Tensão de circuito aberto (VCA):** Máxima tensão que um dispositivo pode alcançar sob condições determinadas de radiação e temperatura, sendo correlacionadas a tensão e potência nulas.
- **Potência de Pico (IMP):** É o valor máximo da potência que o dispositivo pode atingir. É relacionado ao ponto da curva onde $V \times I$ é máximo.
- **Corrente a máxima potência (IMP):** Corrente que atribui potência máxima ao dispositivo sob determinadas condições de radiação e temperatura. Sendo utilizada como corrente nominal do dispositivo.
- **Tensão a máxima potência (VMP):** Tensão que atribui potência máxima ao dispositivo sob determinadas condições de radiação e temperatura. Sendo utilizada como tensão nominal do dispositivo.

3.7.2 EFEITOS DE FATORES AMBIENTAIS ACERCA DA CARACTERÍSTICA DE SAÍDA DO DISPOSITIVO

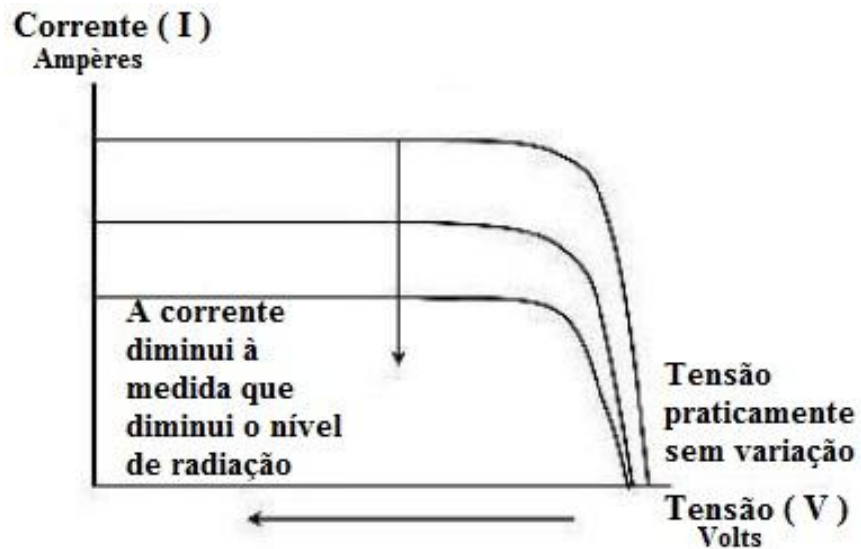
3.7.2.1 Efeito da intensidade de radiação solar

A corrente varia na saída para qualquer valor de tensão quando ocorre uma mudança na intensidade de radiação. Essa variação da corrente é diretamente proporcional à radiação, e mesmo com essas mudanças, a tensão mantém-se

praticamente constante.

Na Figura 16, nota-se claramente essa variação da corrente de acordo a alteração da intensidade da radiação solar, ficando apenas a tensão praticamente constante.

Figura 16: Efeito da variação da intensidade de radiação



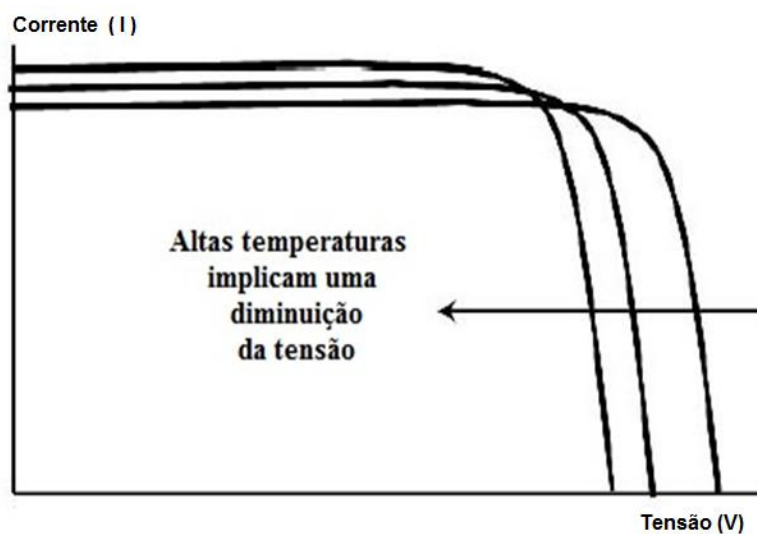
Fonte: SOLARTERRA, 2008

3.7.2.2 Efeito da Temperatura

A redução de tensão de forma diretamente proporcional é o principal efeito provocado pelo aumento da temperatura do módulo.

Um disfarçado aumento de corrente para valores baixos de tensão é o efeito secundário existente na caracterização da curva característica situada pela influência do efeito da temperatura.

Figura 17: Efeito da temperatura



Fonte: SOLARTERRA, 2008

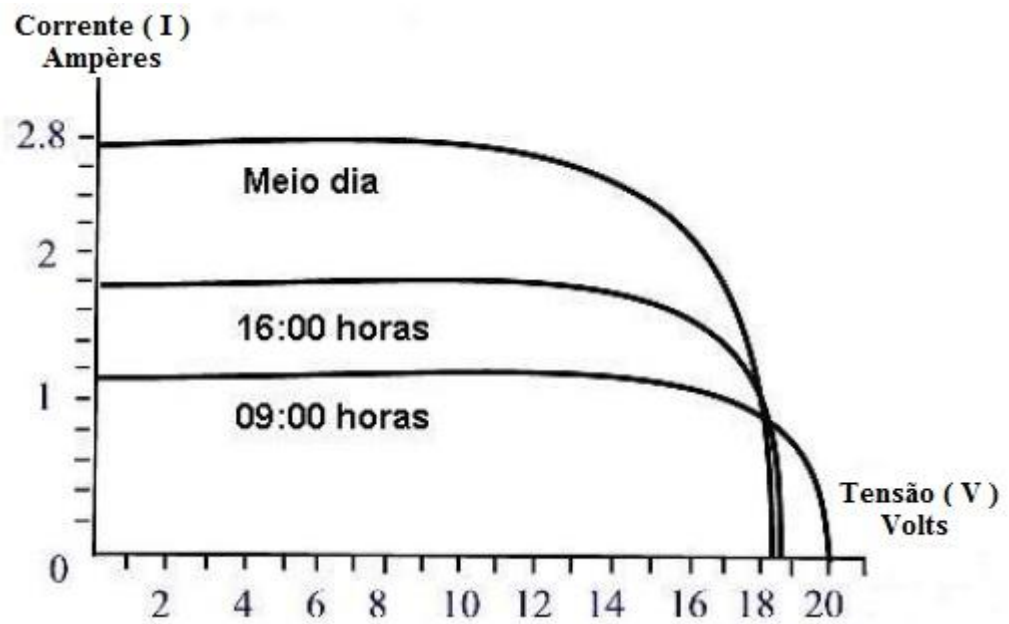
É essencial que em locais com temperaturas elevadas, sejam utilizados os módulos que possuam maior quantidade de células ligadas em série com o propósito que as mesmas tenham tensão de saída suficiente para carregar as baterias.

A Figura 17 mostra essa representação em forma de gráfico da curva característica.

3.7.2.3 Potência máxima de saída durante o dia

Como foi observado anteriormente, a característica I-V do módulo varia de acordo as condições ambientais (intensidade de radiação, temperatura). Então a partir disso haverá uma família de curvas I-V que exemplificará as características de saída do módulo durante um dia numa determinada época do ano, como pode ser observado na Figura 18.

Figura 18: Curva Característica IxV do módulo durante um dia



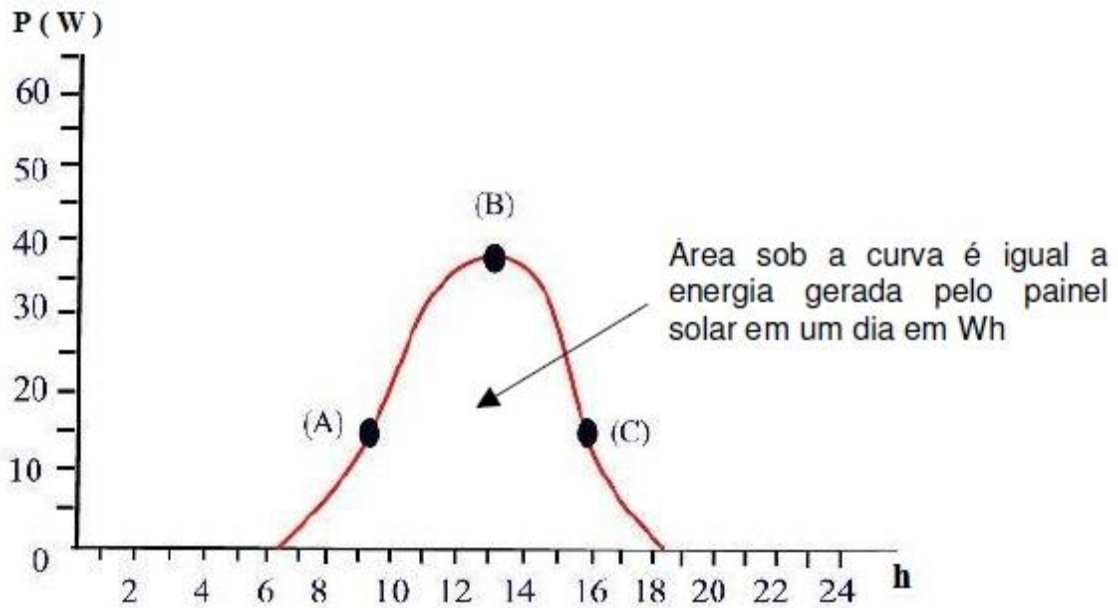
Fonte: SOLARTERRA, 2008

Na Figura 18 é mostrado praticamente o mesmo fato que ocorre na curva característica de radiação solar, pois a corrente é menor durante a menor incidência solar, enquanto a tensão mostra-se praticamente constante ao longo do dia.

A quantidade de energia que o módulo é capaz de entregar ao longo do dia está representado pela área compreendida sob a curva da Figura 18 e é medida em Watts.hora/dia (Wh/dia). Constata-se que não é possível falar de um valor constante de energia entregue pelo módulo em Watts hora, por que este valor varia conforme a hora do dia. Então, com isso o ideal é trabalhar com os valores da quantidade de energia diária entregue. (Wh/dia).

Na Figura 19, tem-se a forma de uma curva de potência máxima de um módulo em função da hora do dia.

Figura 19: Potência entregue pelo painel durante o dia



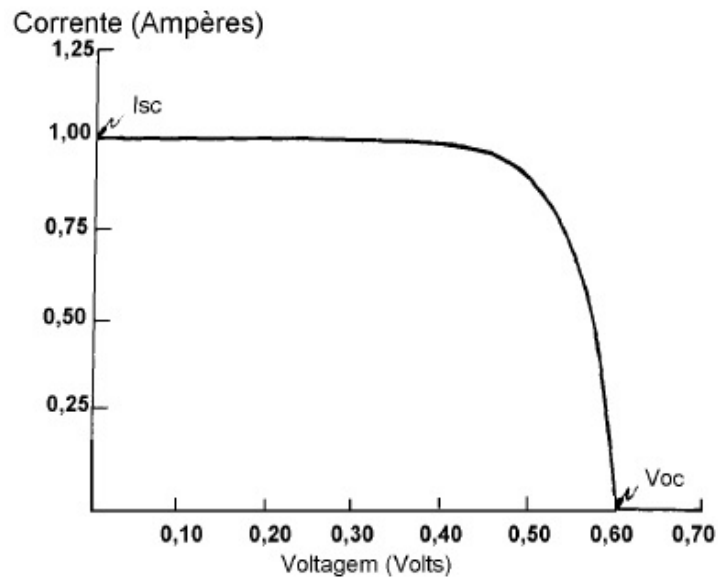
Fonte: SOLARTERRA, 2008

3.7.3 Curvas características de corrente x tensão e relacionadas a potência x tensão

Segundo Cresesb (2006, p. 19) a condição considerada padrão para se obter as curvas características dos módulos fotovoltaicos é definida pela radiação de $1000\text{W}/\text{m}^2$ – radiação recebida na superfície terrestre em dia claro, ao meio dia – e temperatura de 25°C na célula (a eficiência da célula é reduzida com o aumento da temperatura).

Nas Figuras 20, 21 e 22 abaixo é possível observar a curva característica $I \times V$, a curva típica da potência x tensão e os parâmetros de potência máxima, respectivamente.

Figura 20: Curva característica $I \times V$ (corrente I_{sc} e tensão V_{oc})

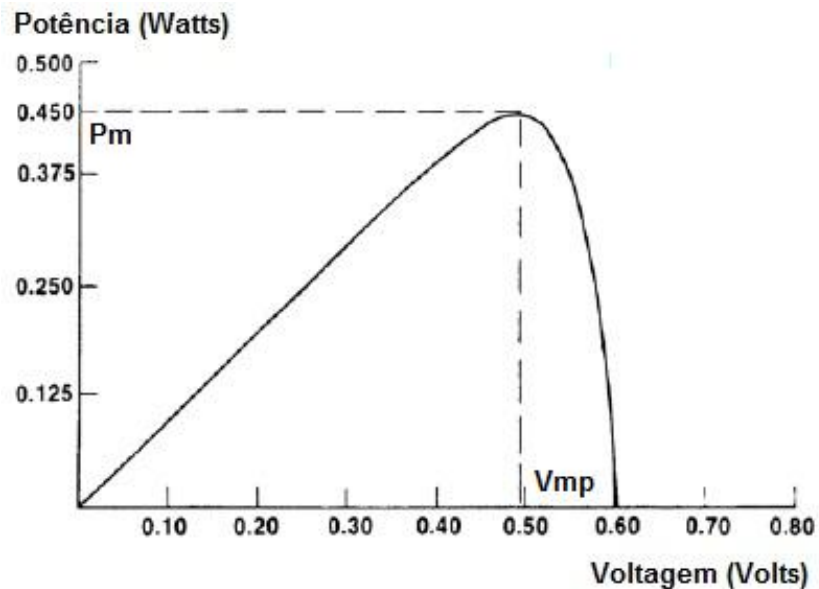


Fonte: CRESESB, 2006

Onde:

- Voc = Voltagem de Circuito Aberto
- Isc = Corrente de Curto Circuito

Figura 21: Curva típica de potência x tensão

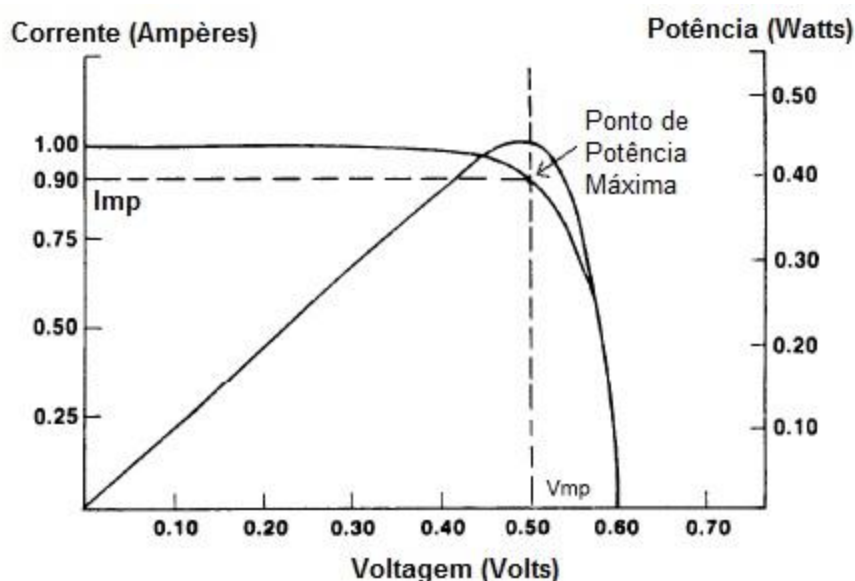


Fonte: CRESESB, 2006

Onde:

- Pm = Potência Máxima
- Vmp = Voltagem de Potência Máxima

Figura 22: Parâmetros de potência máxima



Fonte: CRESESB, 2006

Onde:

- I_{mp} = Corrente de Potência Máxima.

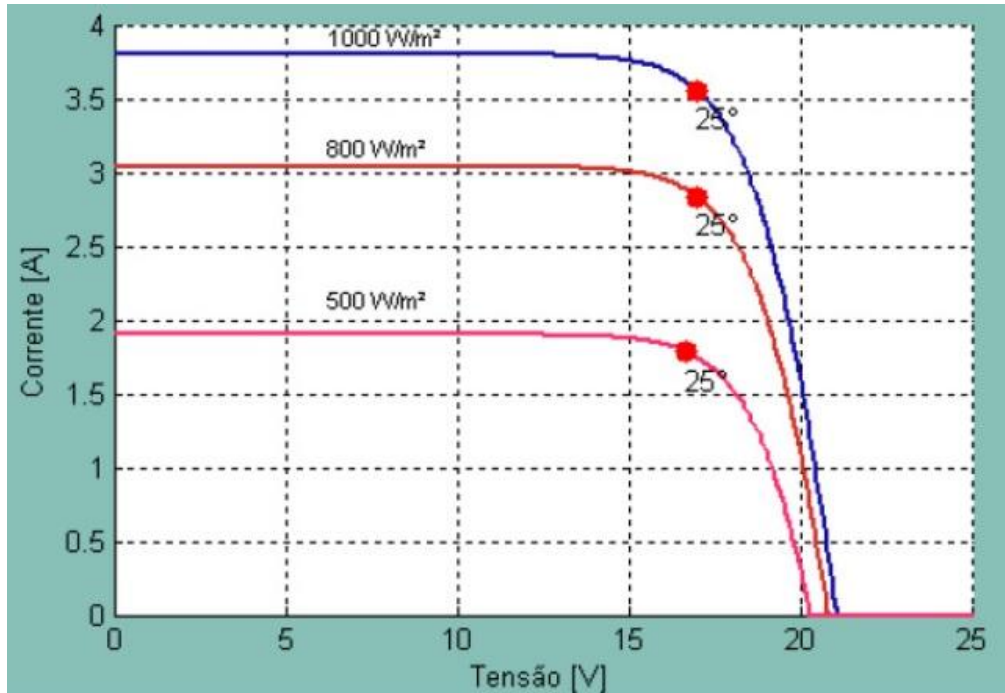
3.7.4 Fatores que afetam as características elétricas dos módulos

A intensidade luminosa e a temperatura das células são os principais fatores que influenciam nas características elétricas de um painel fotovoltaico. A corrente gerada nos módulos aumenta linearmente com o aumento da intensidade luminosa de acordo a ilustração da Figura 23, enquanto o aumento da temperatura na célula faz com que a eficiência do módulo caia abaixando assim os pontos de operação para potência máxima gerada, conforme ilustrado através da Figura 24.

De acordo Castañeda (2011, p.44), este comportamento se deve ao fato dos fótons da radiação solar transferirem sua energia diretamente aos elétrons sem nenhuma etapa térmica intermediária, já que no efeito fotovoltaico não são todos os fótons que atingem a superfície do painel solar.

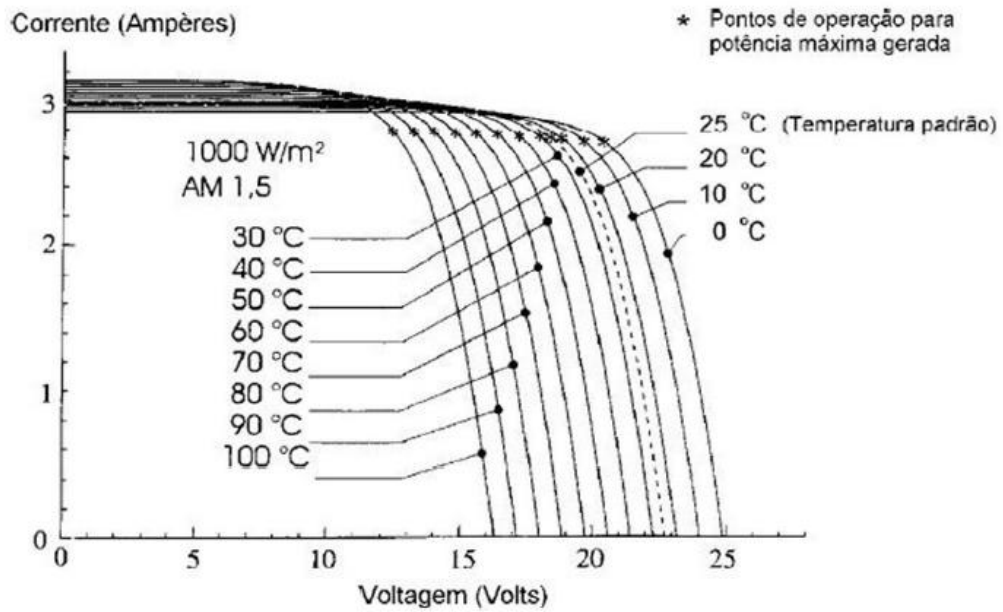
Figura 23: Aumento proporcional da intensidade de corrente em relação à radiação solar incidente sobre a célula solar para uma dada temperatura

ambiente constante.



Fonte: CASTAÑEDA, 2011

Figura 24: Efeito produzido pela temperatura na célula solar



Fonte: CRESESB, 2006

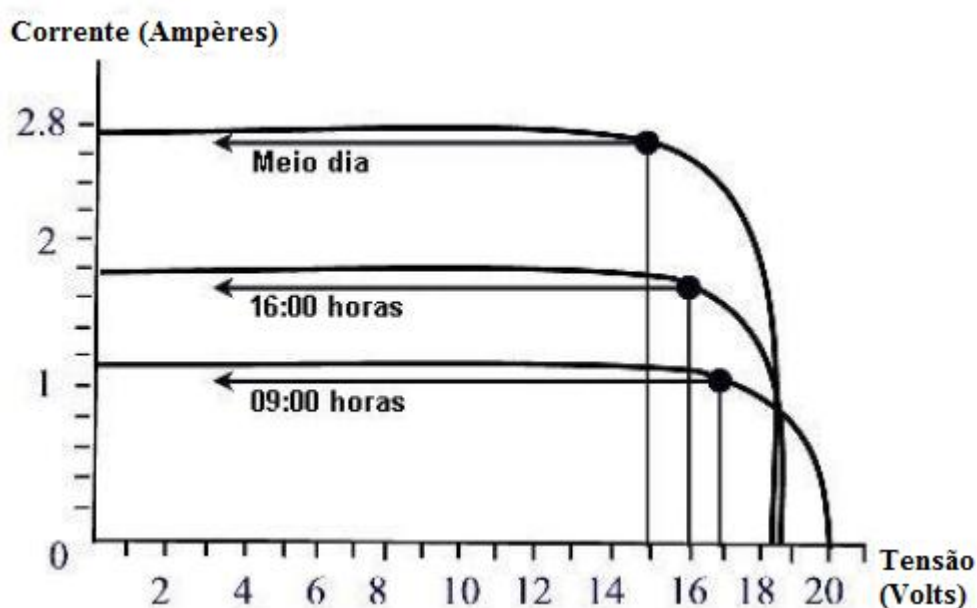
3.7.5 Interação entre o painel e as baterias

Uma bateria tem uma tensão dependente do seu estado de carga, da temperatura, do tempo de uso, do regime de carga e descarga, etc. Esta tensão é imposta a todos os elementos ligados à ela, incluindo o módulo fotovoltaico.

Conforme Solarterra (2008, P.15) pensar que um módulo solar com uma tensão máxima de saída de 20 volts elevará uma bateria de 12 volts para 20 volts e a danificará, é um pensamento bastante incorreto, pois quem determina o ponto de funcionamento do módulo é a bateria e não o contrário disso, além de que a bateria consegue variar sua amplitude de tensão entre 12 e 14 volts.

É concedido que a saída do módulo fotovoltaico seja influenciada pelas variações de radiação e de temperatura ao longo do dia, então isto se traduzirá numa corrente variável entrando na bateria, como mostrado na Figura 25.

Figura 25: Variação da corrente de carga da bateria



Fonte: SOLARTERRA, 2008

Usualmente o banco de baterias e os módulos fotovoltaicos trabalham associados para alimentar as cargas. Durante à noite, a energia solicitada pela carga é fornecida pelo banco de baterias, enquanto durante o dia os módulos geram energia, porém se a corrente fornecida por eles for menor que a exigida pela carga, a bateria contribui para suprir a demanda.

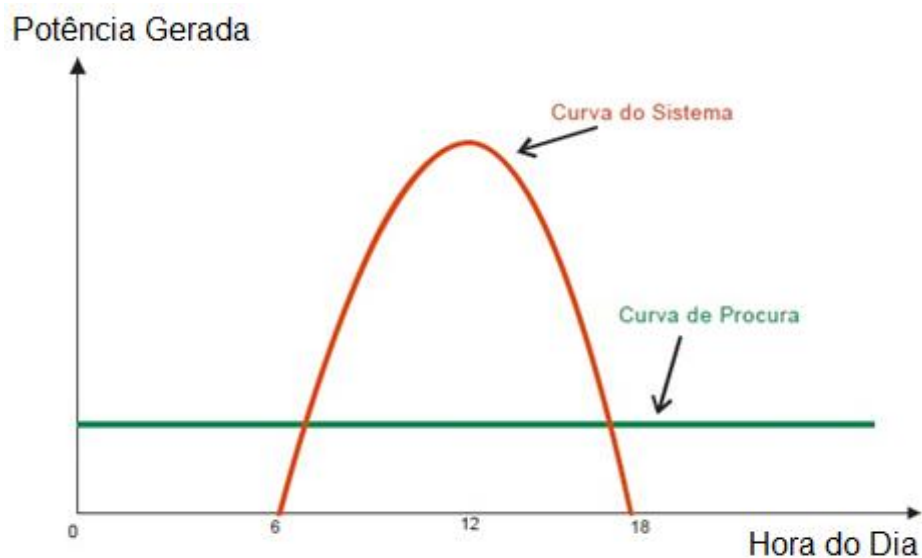
Em um determinado horário da manhã, a energia gerada pelos módulos fotovoltaicos supera a energia procurada, então os módulos além de atender a carga

exigida, o excesso será armazenado na bateria para recarregá-la, recuperando a sua descarga da noite anterior.

Por fim, durante a tarde a corrente gerada diminui e caso haja alguma diferença em relação a demanda, a bateria se encarrega de suprir o que faltar, já que durante a noite a produção é nula e todo o consumo vem da bateria.

Na Figura 26, tem este processo exemplificado, onde a curva de procura é a demanda exigida e a curva do sistema é a geração de energia pelos módulos fotovoltaicos.

Figura 26: Relação entre potência gerada e potência demandada



Fonte: GUZZO, 2008

3.8 Localização e Orientação dos painéis fotovoltaicos

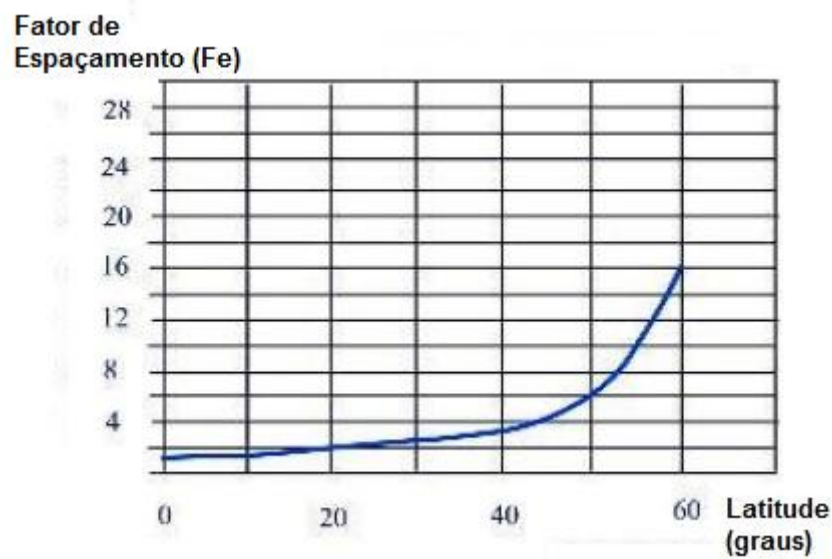
Para uma instalação eficaz, é importante optar pela melhor localização existente para os módulos fotovoltaicos. Essa localização deve reunir duas condições para ser favorável:

- Estar o mais próximo possível das baterias (a fim de minimizar a bitola do cabo).
- Possuir condições favoráveis para recepção solar, como não ficar posicionado em local onde qualquer objeto possa projetar sombra

sobre os módulos no período de melhor radiação (normalmente das 9 às 17 horas).

De acordo o gráfico representado na Figura 27, o fator de espaçamento varia com a latitude, para isso foi necessário calcular a distância mínima (em metros) que um objeto pode estar dos módulos para evitar a projeção de sombras mesmo durante o inverno.

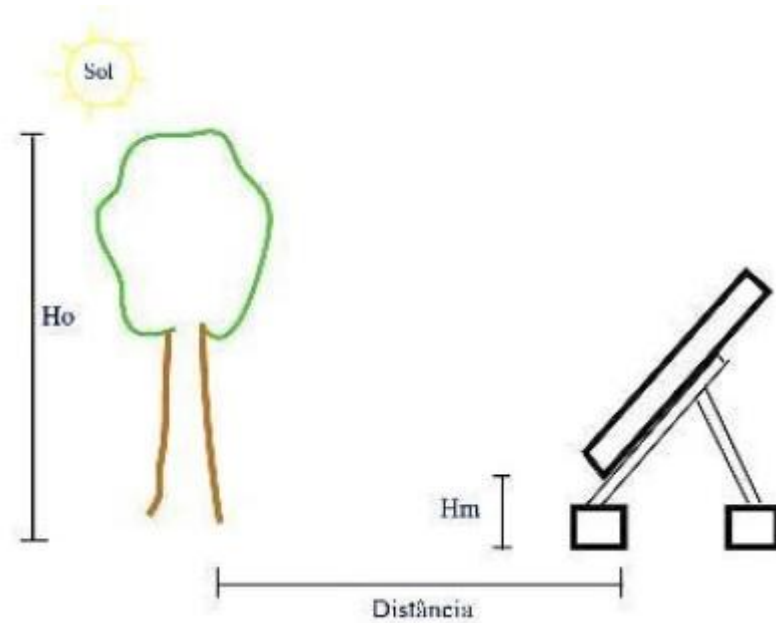
Figura 27: Fator de espaçamento



Fonte: SOLARTERRA, 2008

De acordo a latitude do local representado pela Figura 27, o fator de espaçamento foi obtido. Para o cálculo da distância mínima entre o objeto e o módulo está representado na Figura 28.

Figura 28: Distância mínima entre o módulo e barreiras para a luz solar



Fonte: SOLARTERRA, 2008

De acordo Solarterra (2008, P.37), para efetuar o cálculo da distância mostrada na Figura 28, utiliza a seguinte equação.

$$\text{Distância} = Fe * (Ho - Hm) \quad (\text{eq.3})$$

Onde:

Fe = Fator de espaçamento (obtido na Figura 25)

Ho = Altura da barreira

Hm = Altura em que o módulo está instalado (em relação ao nível do solo).

A orientação dos módulos deve ser feita de modo que sua parte frontal fique no sentido do Norte geográfico⁶. Para exatidão nessa orientação, é indispensável o uso de uma bússola que esteja corretamente calibrada. É importante atentar que a bússola indica o Norte Magnético, que é diferente do Norte Geográfico devido a declinação magnética, porém para a instalação do equipamento pode-se adotar o Norte Geográfico sem muito erro. (GUZZO; SOLARTERRA, 2008)

A fim de se obter um melhor aproveitamento da radiação solar incidente, os módulos devem ser inclinados em relação ao plano horizontal num ângulo variante conforme a latitude da instalação. É recomendado os ângulos indicados na Tabela 3.

⁶Ou no Sul geográfico quando for no Hemisfério Norte.

Tabela 3 – Ângulo de inclinação x Latitude

Latitude (Graus)	Ângulo de inclinação (Graus)
0 a 4	10
5 a 20	Latitude + 5
21 a 45	Latitude + 10
46 a 65	Latitude + 15
66 a 75	80

Fonte: SOLARTERRA, 2008 (Adaptado)

Os ângulos apresentados na Tabela 3 são apenas valores recomendados para uma situação urgente, pois para resultados com maior precisão é importante utilizar os ângulos fornecidos pelo programa *SunData*⁷.

Exemplo de ângulo de inclinação obtido através dos valores disponíveis na Tabela 3 de ângulo de inclinação x latitude. Suponhamos que uma determinada cidade está na latitude 13°, o ângulo de inclinação do módulo poderá ser de até 18°. Pequenas variações de ângulo não afetam significativamente o rendimento da instalação. Vale ressaltar que no hemisfério Sul as placas ficam voltadas para o Norte Geográfico, enquanto no hemisfério Norte elas ficam voltadas para o Sul Geográfico.

3.9 Rendimento dos Painéis Fotovoltaicos

Para saber o rendimento das células fotovoltaica é necessário representar a razão entre a potência elétrica máxima que pode ser obtida no ponto de potência máxima da curva I x V e a radiação solar incidente sobre sua superfície. Para Castañeda (2011, p. 43):

⁷Programa destinado ao cálculo da irradiação solar diária mensal em qualquer ponto do território nacional. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/sundata/>>.

O rendimento teórico máximo da conversão fotovoltaica para as células de silício da atmosfera terrestre é de aproximadamente 19%, à temperatura ambiente de 25°C, num dia claro ao meio dia. A intensidade da radiação solar máxima no solo ao nível do mar depende de vários fatores como a posição do Sol, hora do dia, estação do ano, inclinação da superfície, condição do tempo e espessura da camada atmosférica.

4 METODOLOGIA

Foi realizada uma pesquisa quanto aos objetivos de caráter exploratório envolvendo revisão da literatura sobre o tema proposto, análise dos aspectos construtivos das placas fotovoltaicas além de um estudo de caso de natureza exploratória aplicado em um município da Bahia.

Conforme Gil (2009, p. 41) esse tipo de pesquisa tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou constituindo hipóteses. Envolve levantamento bibliográfico, entrevistas com pessoas relacionadas ao tema e análise de exemplos que sejam mais fáceis de compreender. Embora a pesquisa exploratória seja bastante flexível, na maioria dos casos assume a forma de pesquisa bibliográfica ou de estudo de caso.

Para Yin (2001), o estudo de caso busca examinar um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto. Ainda conforme o autor, o estudo de caso é uma investigação empírica, onde os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos. O estudo de caso surge como um método válido na medida em que propicia ao pesquisador verificar “in loco” o seu problema de pesquisa.

Como resultado, foi afirmado que o posicionamento das placas fotovoltaicas é de suma importância para um melhor aproveitamento das incidências solares, tendo em vista o cumprimento de regras pré-definidas que abordam as coordenadas geográficas do local que pretende instalar esses painéis respeitando os limites de sombras prováveis de objetos próximos e também as variações de acordo as estações do ano assim como a temperatura.

5 ESTUDO DE CASO

Este estudo descreverá os métodos para implementar um sistema fotovoltaico, onde serão descritos os componentes básicos para um bom funcionamento desse sistema.

Quanto à relevância do estudo para implementar um sistema fotovoltaico é importante ressaltar as vantagens e desvantagens desse sistema:

As vantagens são: Gera energia mesmo em dias nublados; Gera energia de 12 volts (corrente contínua); Sistema modular levíssimo; simples instalação, com fácil manuseio e transporte, podendo ser ampliado conforme sua necessidade; Grande vida útil, acima de 25 anos; Compatível com qualquer bateria; funcionamento silencioso; Manutenção quase inexistente; Não possui partes móveis que possam se desgastar; Não produzem contaminação ambiental.

As desvantagens são: As células fotovoltaicas necessitam de tecnologia sofisticada para sua fabricação; Possuem custo de investimento elevado; O rendimento real de conversão de um módulo é reduzido (o limite teórico máximo numa célula de silício cristalino é cerca de 28%), face ao custo do investimento; Necessita de um armazenador de energia; Seu rendimento é dependente do índice de radiação, temperatura, quantidade de nuvens, dentre outros (LEVA et al., 2005).

5.1 DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICOS

Principais dados para dimensionar um sistema

Tensão nominal do sistema: é referido à tensão típica em que as cargas operam a conectar. Além disso, deve-se distinguir se a tensão referida é alternada⁸ ou contínua⁹.

Potência exigida pela carga: Cada carga exige uma potência e isso é um

⁸ Tensão alternada: é quando o valor e a polaridade se modificam ao longo do tempo. Exemplos: Senoidal, quadrada, triangular, pulsante, etc. A tensão senoidal é a fornecida nas fontes geradoras que alimentam as indústrias e residências.

⁹ Tensão contínua: é chamada de contínua ou constante quando o seu valor não se altera com o tempo. Exemplos: pilhas e baterias (geradores de tensão contínua).

dato essencial. Os equipamentos de comunicações requerem potências elevadas quando funcionam em transmissão, na maioria das vezes percebe-se que isso só ocorre durante alguns minutos por dia. Durante o restante do tempo, uma pequena potência de manutenção (stand by) é requerida. Deve ser levada em conta esta diferenciação no dimensionamento do sistema.

Horas de utilização das cargas – Perfil de Carga: Para saber a quantidade de Watts/horas requeridos pela carga ao fim de um dia é necessário multiplicar a potência por horas de utilização.

Localização geográfica do sistema (Latitude, Longitude e a altura em relação ao nível do mar do local da instalação): Esses dados são importantes a fim de conseguir determinar o ângulo de inclinação ideal para o módulo fotovoltaico e o nível de radiação (médio mensal) do local.

Autonomia prevista: Refere-se ao número de dias em que se prevê que diminuirá ou não haverá geração e que deverão ser contabilizados no dimensionamento das baterias de acumuladores.

5.1.2 Componentes básicos de um sistema fotovoltaico

5.1.2.1 Bateria

É a maneira de armazenamento de energia mais antiga e mais utilizada até os dias atuais. Compreende-se da reação química que converte energia química em energia elétrica de maneira contínua (CC). Ao longo do processo de energia, carregamento e descarregamento, existem algumas perdas devido às reações químicas, sob forma de calor.

No mercado existe uma enorme variedade de baterias com a mesma tensão e corrente, porém de tipos diferentes quanto ao funcionamento. Existe bateria selada e não selada. A selada não requer manutenção e sua vida útil pode chegar a quatro anos se houver os devidos cuidados. A não selada requer manutenção, o nível de água precisa ser verificado pelo menos uma vez por ano, devido ao processo de descarregamento onde a água é consumida. Sendo bem cuidada, este tipo de bateria também pode atingir uma vida útil de quatro anos.

É importante ressaltar que a vida útil de uma bateria é maior quando ela opera em temperaturas moderadas, pois em lugares onde a temperatura atinge

30°C existe uma corrosão diminuindo a sua vida útil.

Segundo Freitas (2008, p.39) a bateria mais utilizada para armazenamento da energia fotovoltaica é a do tipo chumbo-ácido, devido ao baixo custo e maior disponibilidade no mercado. A reação química gera 2V e existe uma ligação interna em série para gerar uma tensão de 12V e em alguns casos 24 ou 48V.

5.1.2.2 Controladores de Carga

São também conhecidos por reguladores de tensão ou gerenciadores de carga. Esses componentes são indispensáveis para um sistema fotovoltaico, pois permitem controlar o limite de carga que os módulos de baterias podem receber, a fim de evitar a sua queima por sobrecarga e conseqüentemente aumentando o ciclo de vida destes módulos.

Nos sistemas isolados que necessitam o armazenamento de energia em baterias, esse dispositivo tem a função principal de não deixar acontecer danos na bateria por sobrecarga ou descarga profunda. Esses controladores são utilizados em dispositivos de baixa tensão e corrente contínua (CC) (CRESESB, 2006).

Esses controladores operam para desconectar o sistema do painel fotovoltaico quando as baterias estão em absoluta carga e voltam a funcionar quando a bateria estiver com baixa carga, assim a vida útil do banco de baterias é elevado.

5.1.2.3 Inversores

A tensão produzida nos painéis fotovoltaicos durante a conversão da energia solar em elétrica é do tipo contínua, isto é um problema já que os equipamentos alimentados por este tipo de tensão são limitados. Os inversores são importantes para fazer a conversão da corrente contínua (CC) para a corrente alternada (CA) a fim de alimentar os aparelhos que só trabalham com este tipo de tensão.

O uso do inversor é para garantir o fornecimento de energia elétrica com qualidade para evitar degradação dos aparelhos ligados ao sistema. O dimensionamento do inversor deve ser feito de acordo a potência nominal, o fator de demanda e a característica de operação das diversas cargas.

Atualmente existem dois tipos de inversores no mercado, os que produzem

onda senoidal modificada e os que produzem onda senoidal pura. Para Guzzo (2008, p. 27):

O inversor de onda senoidal modificada pode suprir de forma satisfatória a maioria dos equipamentos e eletrodomésticos de uma residência. Tem um custo menor, porém, pode apresentar problemas com alguns tipos de equipamentos de precisão como impressora a laser, relógios digitais e carregadores de bateria para equipamentos sem fio. Já o inversor de onda senoidal pura é projetado para fornecer energia de qualidade igual ou superior àquela fornecida pela concessionária.

5.2 ESTUDO DIRECIONADO A UM MUNICÍPIO LOCALIZADO NA BAHIA

Afim de comprovar os estudos realizados no referencial teórico, foi analisada a melhor posição de instalação dos painéis fotovoltaicos no município de Vitória da Conquista – Bahia, a inclinação dos painéis fotovoltaicos a fim de obter maior precisão na captação das incidências solares, sendo necessário conhecer a latitude e a longitude do município em estudo.

Tabela 4 – Coordenadas Geográficas da cidade em estudo

Município	Vitória da Conquista
Estado	Bahia
Região	Nordeste
Latitude	14° 51' 58" S
Longitude	40° 50' 22" W
Altitude	923 m
Área	3216 Km ²

Fonte: Geografos¹⁰

A partir dos dados coletados na Tabela 4, o próximo passo é inserir a latitude e a longitude no *software SunData* fornecido pelo CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito, como mostrado na Figura 29.

¹⁰ Disponível em: <<http://www.geografos.com.br/cidades-bahia/vitoria-da-conquista.php>> Acesso em 29 nov.2014

Coordenada Geográfica

Latitude ° ' " ▾

Longitude ° ' "

Formato Numérico:

graus decimais (00.00°)

graus, minutos e segundos (00°00'00")

I. Os valores válidos de latitude devem estar na faixa de 12° Norte e 40° Sul e de longitude na faixa de 30° Oeste e 80° Oeste. Em caso de dúvida entre em contato conosco.

Figura 29: Coordenada Geográfica

Fonte: *SunData* – CRESESB, 2014

Após inserir os dados de latitude e longitude do município de Vitória da Conquista, o *software* mostra o resultado e duas localidades próximas. Como pode ser observado na Figura 30.

Localidades próximas

Latitude: 14,863889° S
Longitude: 40,839444° O

#	Estação	Município	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m ² .dia]													Média	Delta		
					Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out			Nov	Dez
<input checked="" type="checkbox"/>	Vitória da Conquista	Vitória da Conquista	BA	BRA	14,8°S	40,839444°O	7,1	5,25	4,81	5,50	4,33	4,03	3,44	3,94	5,03	4,56	4,78	5,03	5,28	4,67	2,06
<input type="checkbox"/>	Ituacu	Ituacu	BA	BRA	13,8°S	41,296666°O	128,3	5,00	4,78	5,44	4,50	4,03	3,47	4,14	5,11	4,69	5,33	5,67	5,47	4,80	2,20
<input type="checkbox"/>	Pedra Azul	Pedra Azul	MG	BRA	16°S	41,297222°O	135,7	4,94	5,53	5,50	4,47	4,14	3,47	4,03	4,97	4,64	4,89	4,83	5,56	4,75	2,09

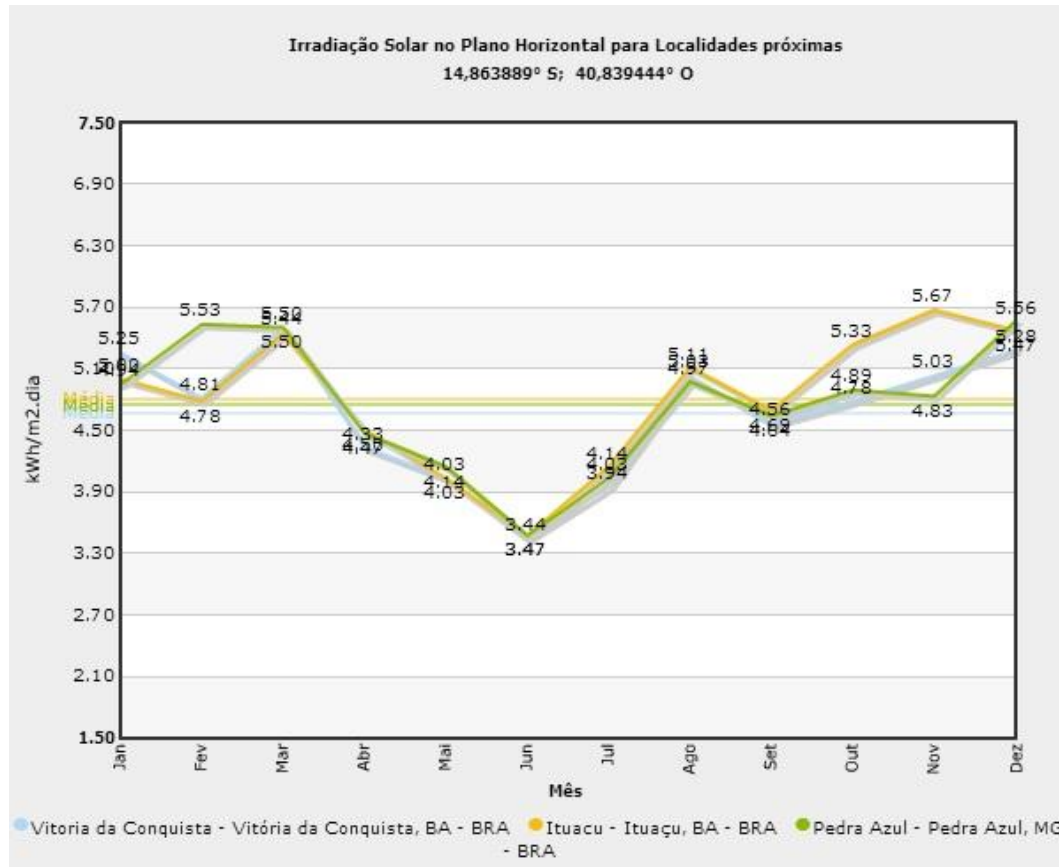
Marque as caixas de seleção para atualizar a visualização das curvas de radiação no gráfico.

Figura 30: Localidades Próximas

Fonte: *SunData* – CRESESB, 2014

Na Figura 30, é possível notar a irradiação solar diária média durante os doze meses do ano, sendo destacado em vermelho o valor do mês de Junho que é o período do inverno, onde as incidências solares diminuem em relação aos outros meses, também é possível notar que o valor do mês de Março está destacado na cor azul, é a época que as incidências atingem o maior valor (5,50 KWh / m².dia). Também é possível saber a média da irradiação diária anual e o Delta que é a diferença entre a máxima e a mínima.

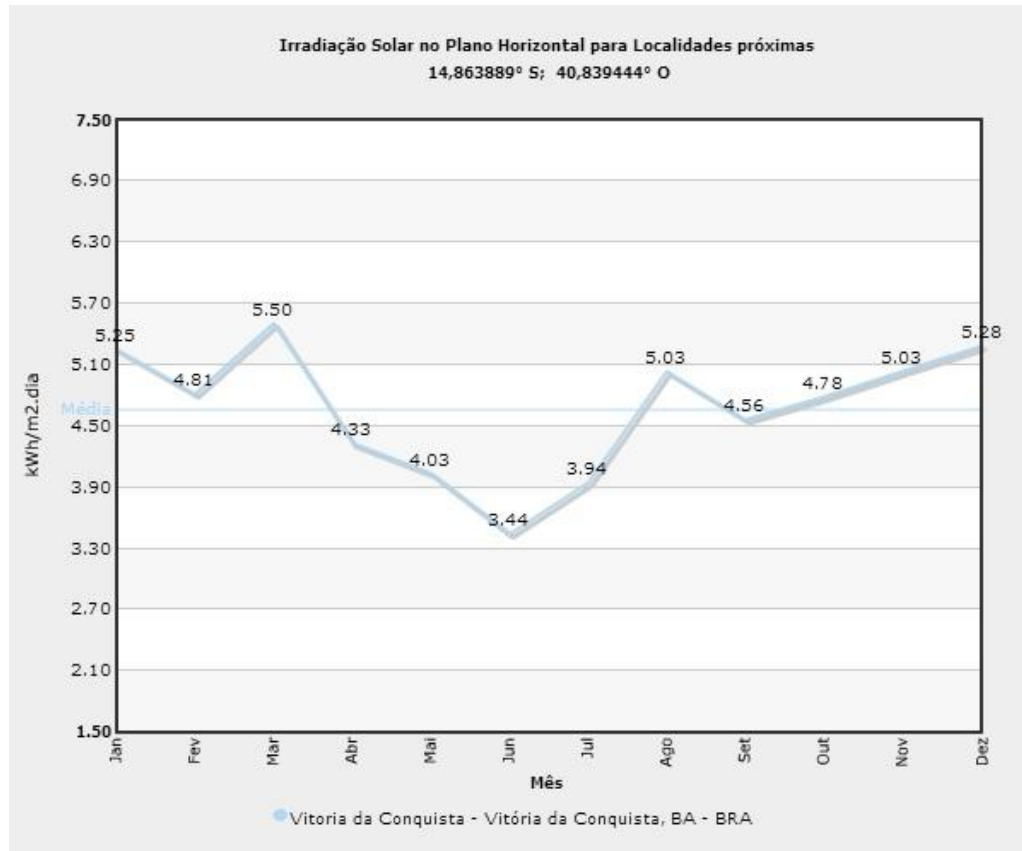
Figura 31: Irradiação Solar no Plano Horizontal para Localidades Próximas



Fonte: SunData – CRESESB, 2014

Na Figura 31, temos um gráfico de comparação das irradiações no plano horizontal de dois municípios próximos a Vitória da Conquista. Sendo Ituaçu na Bahia e Pedra Azul no estado de Minas Gerais. De acordo o gráfico as irradiações das três cidades são praticamente semelhantes no mês de Junho (varia de 3,44 em Vitória da Conquista e 3,47 KWh/m².dia nas outras duas cidades) e são distintas no mês de Novembro, onde Ituaçu possui irradiação de 5,67 KWh/m².dia, Vitória da Conquista 5,03 KWh/m².dia e Pedra Azul com 4,83 KWh/m².dia. Na Figura 32 é mostrado apenas as incidências do município de Vitória da Conquista.

Figura 32: Irradiação Solar no plano horizontal - Vitória da Conquista



Fonte: SunData – CRESESB, 2014

Figura 33: Cálculo no Plano Inclinado

Cálculo no Plano Inclinado

Estação: Vitoria da Conquista
Município: Vitória da Conquista, BA - BRA
Latitude: 14,8° S
Longitude: 40,839444° O
Distância do ponto de ref. (14,863889° S; 40,839444° O): 7,1 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	5,25	4,81	5,50	4,33	4,03	3,44	3,94	5,03	4,56	4,78	5,03	5,28	4,67	2,06
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	15° N	4,88	4,63	5,55	4,60	4,52	3,92	4,49	5,53	4,69	4,66	4,72	4,86	4,75	1,62
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	13° N	4,94	4,67	5,56	4,58	4,46	3,87	4,43	5,48	4,68	4,69	4,77	4,93	4,75	1,68
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	30° N	4,31	4,25	5,32	4,65	4,77	4,21	4,80	5,73	4,58	4,34	4,22	4,25	4,62	1,52

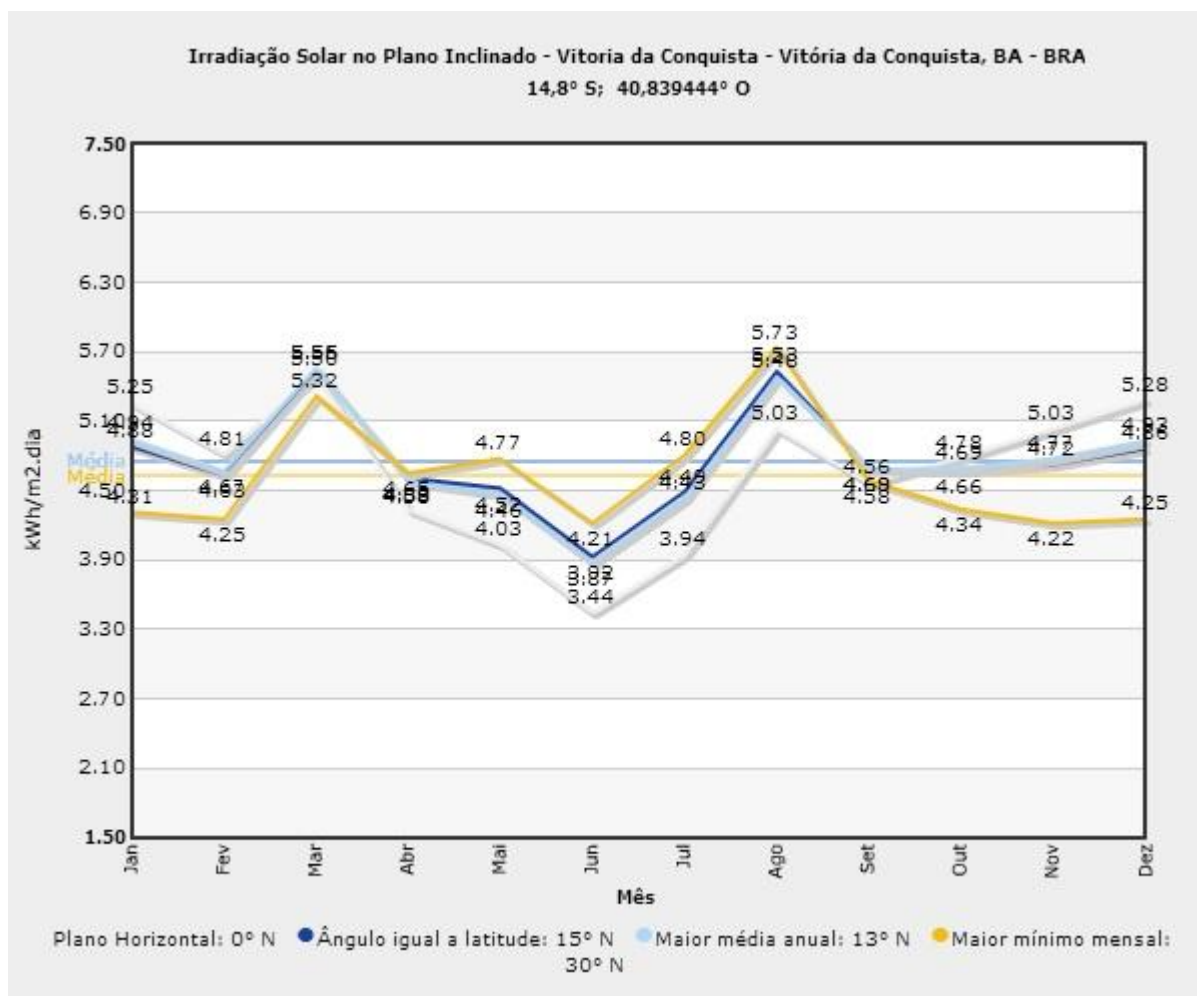
Marque as caixas de seleção para atualizar a visualização das curvas de radiação no gráfico.

Fonte: SunData – CRESESB, 2014

O cálculo no Plano Inclinado mostrado na Figura 33 é sugestão do ângulo

para a instalação dos painéis fotovoltaicos, sendo através desse cálculo encontrado um valor com exatidão, pois se fosse usar os valores referenciados na Tabela 3, a exatidão para Vitória da Conquista que possui Latitude aproximada de 15° N seria somado 5° então a inclinação seria de 20° , ao contrário do que mostra a Figura 28, que de acordo a maior média anual, a inclinação ideal seria 13° N que seria o caso de usar para aplicações de sistemas fotovoltaicos conectados à rede de distribuição no centro de distribuição de energia. Para situações onde o fornecimento contínuo de energia elétrica é crítico, utiliza o maior mínimo mensal que nesse caso a inclinação ideal seria 30° N, que é uma inclinação maior que a sugerida na Tabela 3.

Figura 34: Irradiação Solar no Plano Inclinado – Vitória da Conquista



Fonte: SunData – CRESESB, 2014

Na Figura 34 temos um gráfico que evidencia as diversas irradiações solares em cada situação proposta pelo cálculo no plano inclinado. Pelo gráfico podemos observar que as irradiações são próximas nas quatro situações durante os meses de Março, Abril, Junho, Agosto e Setembro, sendo nos meses de Março e Agosto as maiores irradiações e as menores no mês de Junho devido a estação Inverno.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O posicionamento das placas é importante para um melhor aproveitamento das incidências solares. Respeitando as coordenadas geográficas e o limite de sombras de prováveis objetos. Pelo software, para ligação a rede distribuição, convém utilizar o ângulo para maior média anual. Em situações onde o fornecimento de energia é crítico, é viável utilizar o ângulo para maior mínimo mensal. Avaliando a média anual em conjunto com o delta, nota-se que o melhor ângulo seria o igual a latitude (15°N).

6 CONCLUSÃO

Os questionamentos evidenciados nas questões primárias e secundárias juntamente com as hipóteses, justificativa e os objetivos foram respondidos através da revisão bibliográfica e confrontadas através do estudo de caso.

Conforme evidências no estudo, a energia solar fotovoltaica ainda não abrange grande parte das fontes de energia dos países devido ainda ao elevado custo dos painéis fotovoltaicos, mas espera-se que num futuro próximo esses valores sejam cada vez menores de acordo a “oferta e procura” do mesmo.

Em relação ao ajuste do posicionamento das células fotovoltaicas foi indicado que isso é fundamental para a captação das incidências solares em maior quantidade.

O estudo de caso realizado deduziu que de acordo o ângulo de inclinação dos painéis, sua irradiação incidida irá ou não variar dependendo do mês e do ano, sendo um resultado significativo e positivo nos meses pertencentes a estação Verão, sendo a época quando o Sol brilha mais forte e incide mais irradiação na superfície terrestre.

Notou-se que para a implementação de um sistema fotovoltaico obter êxito em suas captações solares, deverão seguir cálculos de posicionamento dos painéis, dimensionamentos de projeto de acordo cada necessidade a fim de baratear os custos com os equipamentos necessários para o funcionamento do sistema.

Por fim, com este estudo ficou comprovado que a energia solar é uma grande fonte energética para substituição parcial ou total da hidráulica, por ser uma fonte gratuita e inesgotável.

6.1 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Com o crescimento da eletrônica e as melhorias exercidas nas tecnologias empregadas nas pesquisas de utilização da energia fotovoltaica, é possível implementar um protótipo que envolva as melhores condições para o funcionamento do sistema fotovoltaico com maior êxito.

O pesquisador poderá aprimorar este trabalho com os seguintes parâmetros:

- Fazer uma comparação da cidade do estudo de caso com uma cidade que

possua características diferentes a fim de verificar os possíveis resultados para cada situação;

- Implementar protótipo usando microcontroladores;
- Projetar um sistema que além de seguir o movimento do sol, seja capaz de bloquear a operação ao final do dia a fim de obter maior eficiência energética;
- Acoplar ao sistema um módulo GSM para eventuais comunicações com celulares ou outros sistemas que utilizem redes móveis;
- Controlar remotamente pelo computador com o auxílio de softwares de controle como o Matlab.

REFERÊNCIAS

(ATLAS) **Atlas de energia elétrica do Brasil** / Agência Nacional de Energia Elétrica. 3. ed. – Brasília: Aneel, 2008.

(BEN). **Balanco Energético Nacional 2013: Ano base 2012** / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2013.

BARBOSA, C. J. D.; ARINS, A. W. **Sistema de Controle do Ponto de Máxima Potência em Células Fotovoltaicas**. In: Instituto Superior Tupy - UNISOCIESC, 2014. **Resumos**. Santa Catarina: 2014, p.6

CASTAÑEDA, C. E. F. **Desenvolvimento de um Rastreador Solar Passivo por Transferência de Massa**. Curitiba – PR, 2011.

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. **Energia Solar Princípios e Aplicações**, 2006. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf> Acesso em: 03 nov. 2014

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. **Potencial Energético Solar – SunData**, 2014. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/sundata/>> Acesso em: 24 nov.2014

(ECO DESENVOLVIMENTO). **Cinco países que mais investem em energia**. Disponível em: <<http://www.ecodesenvolvimento.org/noticias/conheca-cinco-paises-que-mais-investem-em-energia#ixzz3BBDzoFsz>>. Acesso em: 22 ago. 2014.

FILIPE, S. M. V., **Microinversor para Pannel Fotovoltaico**. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2012.

FREITAS, S. S. A., **Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos**. Instituto Politécnico de Bragança, Bragança Paulista, 2008.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4.ed. São Paulo: Atlas, 2009.

GUZZO, R. C. **Projeto Básico de um Sistema Fotovoltaico para Geração de Energia Elétrica**. Vitória – ES, 2008.

HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M.; Reis, L. N. **Energia e Meio Ambiente - 3ª Edição**. Cengage Learning, São Paulo. 2002

(INEE) Instituto Nacional de Eficiência Energética. **O que é Geração Distribuída**. Disponível em: <http://www.inee.org.br/forum_ger_distrib.asp>. Acesso em: 29 nov. 2014

(ITAIPU) HIDRELÉTRICA BINACIONAL DE ITAIPU. **Geração de energia em Itaipu**. Disponível em: <<https://www.itaipu.gov.br/energia/geracao>>. Acesso em: 02 jul.2014.

LEVA, F. F.; SALERNO, C. H.; CAMACHO, J. R.; GUIMARÃES, S. C., **Modelo de um Projeto de um Sistema Fotovoltaico**; Uberlândia. **Resumos**. Minas Gerais: 2005, p.10. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022004000200020&script=sci_arttext> Acesso em: 27 nov.2014

LOBÃO, Edison. **O Brasil e as fontes renováveis de energia**. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/Artigos/O_Brasil_e_as_fontes_renovveis_de_energia.pdf>. Acesso em: 19 ago. 2014.

LOEBLEIN, L. C.; GODOY, L. P.; LOVATO, A.; RODRIGUES, M. K., **Comparação da Eficiência de Placas Solares Térmicas em Diferentes Modos de Operação**; In: XIII SEPROSUL – Semana de Ingeniería de Producción Sudamericana, 13, 2013, Gramado. **Resumos**. Rio Grande do Sul: 2013, p.9

(MMA)Ministério do Meio Ambiente. **Energias Renováveis**. – Brasília, 2014

SCHMIDT, Walfredo. **Materiais elétricos: condutores e semicondutores**. São Paulo: Blucher, volume 1, 2ª Edição. 1979.

SOLARTERRA, **Energia Solar Fotovoltaica Guia Prático**, 2008. Disponível em: <<http://www.solarterra.com.br/pdf/curso-energia-solar-fotovoltaica.pdf>>. Acesso em: 12 set.2014

YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento em métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.