

UNIVERSIDADE POLITÉCNICA
A POLITÉCNICA
INSTITUTO SUPERIOR UNIVERSITÁRIO DE TETE - ISUTE

Proposta de Sistema Fotovoltaico de Geração de energia eléctrica para ISUTE-
2º Semestre - 2022

Augusto Bito Carlos

Tete
2024

Augusto Bito Carlos

Proposta de Sistema Fotovoltaico de Geração de energia eléctrica para ISUTE-
2º Semestre - 2022

Monografia apresentada à Universidade
Politécnica - Apolitécnica, Instituto Superior
Politécnico de Tete como requisito parcial
para obtenção do grau de Licenciatura em
Engenharia Eléctrica.

Tutor: Lic. Ajofre Francisco Companhia

Tete

2024

Tutor: Lic. Ajofre Francico Companhia

Parecer do Tutor:

Eu, Ajofre Companhia, engenheiro mecatrónico, graduado pela Universidade Zambeze, docente a tempo parcial nesta instituição de ensino e supervisor do candidato ao grau de licenciatura em Engenharia Eléctrica, **Augusto Bito Carlos**.

A presente Monografia resulta de uma pesquisa teórica e de campo realizada pelo candidato, com o tema: Proposta de Sistema Fotovoltaico de Geração de energia eléctrica para ISUTE-2ºSemestre - 2022. Este projecto constitui um material de extrema importância e um desafio tendo em conta o potencial energético solar de cidade de Tete e concretamente no Instituto Superior e Universitário de Tete permitindo assim o uso de energia limpa para alimentação da carga eléctrica existente, aliviando a rede local e economizando recursos financeiros para outros fins.

O candidato cumpriu integralmente com os procedimentos teóricos, práticos e metodológicos em busca de uma compressão científica do problema a ser estudado o que lhe deu a possibilidade, a partir dos resultados primordiais, apresentar o seu ponto de vista teórico, prático e recomendar estratégias e propostas de intervenção.

Por isso, na qualidade de tutor, aprovo esta monografia à Universidade Politécnica, como elemento principal para a culminação do curso de licenciatura em Engenharia Eléctrica.

Tete, aos 25 de Março de 2024

O Tutor

Lic. Ajofre Francisco Companhia

Dedicatória

*Dedico este trabalho a minha
família de quem tanto me orgulho
e quem devo muito a sabedoria,
por me ter mostrado a realidade
da vida e ensinado que a melhor
maneira de passar pelos
obstáculos da vida é ser humilde
e persistente no que acredito ser
certo no dia-a-dia.*

.

Agradecimentos

Aqui vão os meus profundos agradecimentos, em primeiro lugar a Deus pela saúde que me deu, coragem e força para a realização do presente trabalho, aos meus pais Bito Carlos Afonso Augusto e Ermenegilda Abílio Geraldo, pelo carinho e paciência, compreensão, coragem durante os anos de formação.

Especialmente agradeço ao meu tutor Eng^o. Ajofre Companhia, pela prontidão, autonomia e segurança, orientação prestada durante o período da produção do presente trabalho, agradecimento este que é extensivo aos colegas do ISUTE.

Há todo corpo docente da ISUTE, pela compreensão, carinho, apoio e paciência que fizeram durante esta longa caminhada e a todos aqueles que não fiz menção, que de forma directa ou indirectamente deram o seu apoio no sucesso do presente trabalho.

Epígrafe

"Cada sonho que você deixa para trás é um pedaço do seu futuro que deixa de existir"

Steve Jobs

Resumo

O presente projeto de monografia aborda a temática da geração de energia elétrica por meio de um Sistema Fotovoltaico para o Instituto Superior de Universitário de Tete (ISUTE). A escolha desse tema foi motivada pela crescente demanda de energia elétrica do ISUTE, que resulta em altas faturas de energia e aumenta os custos operacionais da instituição. Surge, então, a ideia de propor a instalação de uma Central Fotovoltaica para reduzir essas despesas energéticas. O objectivo é propor a instalação e conexão de um sistema solar fotovoltaico, considerando custos com base em tecnologias disponíveis no mercado e a viabilidade econômica desse sistema. Os objectivos do trabalho incluem o desenvolvimento de uma proposta de Central Fotovoltaica para o ISUTE a partir de levantamento das cargas e dados necessários para o dimensionamento da central, o próprio dimensionamento da Central Fotovoltaica e a demonstração da viabilidade econômica do sistema fotovoltaico. As hipóteses do estudo buscam comprovar que a instalação da Central Fotovoltaica reduzirá as faturas de consumo energético do ISUTE e contribuirá para a realocação dos recursos financeiros visando a melhoria da qualidade de ensino. O problema de pesquisa reside na crescente demanda por energia elétrica no ISUTE, resultando em altos custos e faturas elevadas. A pergunta central é se a instalação de uma Central Fotovoltaica pode ser uma solução sustentável para reduzir essas despesas de consumo energético. A metodologia adotada é qualitativa e quantitativa, voltada para o dimensionamento da central fotovoltaica. Trata-se de uma pesquisa aplicada, que visa a fornecer conhecimentos práticos para solucionar problemas específicos relacionados à geração de energia solar. O capítulo de conclusão destaca que a instalação de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica é viável para o ISUTE, devido às condições ambientais favoráveis na região. A proposta contribuirá para a redução das despesas energéticas, possibilitando a realocação de recursos financeiros para a melhoria da qualidade de ensino. Os cálculos sugerem que o sistema gerará uma quantidade significativa de energia, reduzindo as compras de energia da rede pública e com um período de retorno de capital favorável.

Palavras-Chave: energia solar, energia eléctrica, sistemas fotovoltaicos.

Abstract

This monograph project addresses the issue of generating electrical energy through a Photovoltaic System for the Instituto Superior de Universitário de Tete (ISUTE). The choice of this theme was motivated by ISUTE's growing demand for electricity, which results in high energy bills and increases the institution's operating costs. The idea then arises of proposing the installation of a Photovoltaic Plant to reduce these energy expenses. The objective is to propose the installation and connection of a photovoltaic solar system, considering costs based on technologies available on the market and the economic viability of this system. The objectives of the work include the development of a proposal for a Photovoltaic Plant for ISUTE based on surveying the loads and data necessary for sizing the plant, the sizing of the Photovoltaic Plant itself and demonstrating the economic viability of the photovoltaic system. The study's hypotheses seek to prove that the installation of the Photovoltaic Plant will reduce ISUTE's energy consumption bills and contribute to the reallocation of financial resources aimed at improving the quality of education. The research problem lies in the growing demand for electrical energy in ISUTE, resulting in high costs and high bills. The central question is whether installing a Photovoltaic Plant can be a sustainable solution to reduce these energy consumption expenses. The methodology adopted is qualitative and quantitative, aimed at sizing the photovoltaic plant. This is applied research, which aims to provide practical knowledge to solve specific problems related to solar energy generation. The concluding chapter highlights that the installation of a photovoltaic system connected to the electrical grid is viable for ISUTE, due to the favorable environmental conditions in the region. The proposal will contribute to reducing energy expenses, enabling the reallocation of financial resources to improve the quality of education. Calculations suggest that the system will generate a significant amount of energy, reducing energy purchases from the public grid and with a favorable capital payback period.

Keywords: solar energy, electrical energy, photovoltaic systems.

Lista de Figuras

Figura 1: Espectro das ondas electromagnéticas.....	20
Figura 2: Exemplo de radiação directa, radiação difusa e radiação reflectida.	22
Figura 3: Representação dos tipos de radiações solares.....	22
Figura 4:Piranômetro.....	23
Figura 5:Declinação solar em função das estações do ano	24
Figura 6: Variação da declinação solar ao longo do ano.....	25
Figura 7: Representação gráfica da altura solar e do ângulo de azimute.	26
Figura 8: Caminhos distintos que a radiação solar percorre para atravessar a atmosfera.....	27
Figura 9: Difusão de elétrons na junção P-N.	30
Figura 10: Tipos de Sistemas Fotovoltaicos.	32
Figura 11: Sistema híbrido eólico fotovoltaico.	33
Figura 12: Sistema de bombeamento fotovoltaico.....	34
Figura 13: Componentes básicos dum Sistema Fotovoltaico.....	35
Figura 14: Relação entre Célula, Modulo e Painel Fotovoltaico.	36
Figura 15: Fluxograma dos procedimentos	48
Figura 16:Inversor escolhido.....	55
Figura 17: Modulo fotovoltaico escolhido	56
Figura 18: Representação esquemática do painel fotovoltaico em cada par ou <i>String</i>	57

Lista de Tabelas

Tabela 1: Bandas proibidas Eg de semicondutores à temperatura de 300K.	29
Tabela 2: Eficiência dos diferentes tipos de células fotovoltaicas.	36
Tabela 3: Exemplo de Módulos Fotovoltaicos disponíveis no mercado.	37
Tabela 4: Tensões nominais e Voc de módulos Standard.	38
Tabela 5: Condições de teste e operação dos módulos fotovoltaicos.	40
Tabela 6: Exemplo de inversores disponíveis no mercado.	43
Tabela 7: Ilustracao de levantamento de carga	44
Tabela 8: Potencia instantanea do Inversor	45
Tabela 9: Potência Instalada no Bloco I e II	49
Tabela 10: Potência Instalada no Bloco II	49
Tabela 11: Dados climáticos.	50
Tabela 12: Relação de Substituição de lâmpada fluorescente de 18W	52
Tabela 13: Tabela 5:Relação de Substituição de lâmpada fluorescente de 32W	52
Tabela 14: Potência Instalada no Bloco I e II	53
Tabela 15: Potência Instalada no Bloco II	53
Tabela 16: Características do inversor 80KW	54
Tabela 17: Características dos Módulos RSM150-8-500M da RISEN.....	56
Tabela 18: Cálculo mensal da energia produzida por meio do sistema de 15kWp com módulos fotovoltaicos	59
Tabela 19: Dados de carga consumo da estação	60
Tabela 20: Custo Aproximado do Sistema Fotovoltaico	61

Lista de Gráficos

Gráfico 1: Gráfico das Horas de Sol Pico.	27
Gráfico 2: Estrutura de Bandas de energia em semicondutores	29
Gráfico 3: Relação da potência em função da tensão numa Célula fotovoltaica de silício cristalino sob condições padrão de ensaio.....	39
Gráfico 4: Curva $V \times I$ que dita factor de forma.	40
Gráfico 5: Variação de V_{oc} e I_{sc} em função da Irradiância.	41
Gráfico 6: Variação da tensão e corrente de um módulo em função da temperatura.	41
Gráfico 7: Curvas I-V de duas células fotovoltaicas conectadas (a) em série e (b) em paralelo.	42

Lista de Apêndices

Apêndice I: Termo de Consentimento	66
Apêndice II: Questionário	67

Lista de siglas

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AC – Corrente alternada

BT- Baixa Tensão

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito

DC – Corrente contínua

EDM- Electricidade de Moçambique EP

FUNAE - Fundo Nacional de Actividades Energéticas

GTES – Grupo de Trabalho de Energia Solar

IEA - Internacinal Energy Agency

IEC -International Electrotechnical Commission

ISUTE - Instituto Superior de Universitário de Tete

ISUTE- Instituto Superior Universitário de Tete

MT – Média Tensão

PRS - Período de retorno simples

PT – Posto(s) de Transformação

QGBT – Quadro Geral de Baixa Tensão

SFI –Sistema Fotovoltaico Isolado

WRDC - World Radiation Data Center

Lista de abreviaturas

Lic. – Licenciado;

Eng. – Engenheiro

Sumário

Capítulo I.....	17
1. Introdução.....	17
1.1. Objectivos do Trabalho	18
Objectivo geral:.....	18
1.1.1. Objectivos específicos:.....	18
1.2. Hipóteses	18
1.3. Problema de investigação	18
1.4. Caracterização do Ambiente de Estudo	19
1.4.1. Área de actuação (limitação do tema)	19
Capítulo II	20
2. Revisão da Literatura	20
2.1. Recurso Solar	20
2.2. Radiação Solar.....	20
2.2.1. Radiação Solar ao Nível do Solo.....	21
2.2.2. Classificação da Radiação Solar	21
2.2.3. Instrumentos de medição da radiação solar.....	22
2.2. Geometria da Terra e do Sol	24
2.2.1. Massa de Ar (AM).....	26
2.2.2. Horas de Sol Pico	27
2.3. Energia Solar Fotovoltaica	28
2.3.1. Efeito fotovoltaico.....	28
2.3.1.1. Historial do efeito fotovoltaico	28
2.3.1.2. Princípios de Funcionamento	29
2.3.2. Vantagens e Desvantagens da Energia Solar Fotovoltaica	30
2.4. Sistemas Fotovoltaicos	31
2.4.1. Classificação dos Sistemas Fotovoltaicos	31
2.4.2. Princípios de funcionamento dum Sistemas fotovoltaico <i>On grid</i>	34
2.5. Componentes do sistema fotovoltaico <i>On grid</i>	34
2.5.1. Células / Modulo / Painel Fotovoltaico	35
2.5.1.1. Tipos de células fotovoltaicas	36
2.5.1.2. Características dos Módulos Fotovoltaicos.....	37

2.5.1.3. Condições de Teste e Operação	40
2.5.1.4 Associação de Módulos Fotovoltaicos	42
2.5.2. Inversor.....	43
2.6. Dimensionamento de um Sistema Fotovoltaico Ongrid	43
2.6.1. Características do Sistema Fotovoltaico.	44
2.6.3. Painel Fotovoltaico.....	45
Capítulo III	47
3. Metodologia	47
3.1. Tipo de investigação.....	47
3.2. Participantes	47
3.3. Instrumentos	47
3.4. Procedimentos	47
Capítulo IV	49
4. Apresentação de Dados	49
4.1. Apresentação dos participantes do estudo.....	49
4.2. Potência instalada nos blocos I e II	49
Capítulo V	52
5. Análise de Dados.....	52
5.1. Proposta de Melhora do Sistema de Iluminação do Campus do ISUTE.....	52
5.1. Dimensionamento do Sistemas Fotovoltaico para ISUTE.....	54
5.1.1. Características do sistema fotovoltaico	54
5.1.3. Painel fotovoltaica.....	55
5.2.2. Cálculo de Energia economizada	59
5.2.3. Gastos de instalação	60
5.2.4. Tempo de retorno do investimento.....	61
Capítulo VI.....	63
6. Conclusão e Recomendações	63
6.1. Conclusões	63
6.2. Recomendações	63
Referências	64
Anexos.....	68

Capítulo I

1. Introdução

O presente projecto de monografia tem como tema “Proposta de Sistema Fotovoltaico de Geração de energia eléctrica para ISUTE-2º Semestre – 2022. A escolha deste tema está aliada em uma crescente demanda de consumo de energia eléctrica por parte do ISUTE o que contribui para elevadas facturas de energia e conseqüentemente aumenta o custo de funcionamento da instituição em estudo. Neste contexto surgiu a ideia, “Que tal propor um Central Fotovoltaica de Geração de energia eléctrica para ISUTE, para reduzir as faturas de consumo energético desta instituição de ensino?” Entretanto acarreta um investimento no início que será viabilizado ao longo tempo de forma sustentável e nesta pesquisa pretende-se fazer o estudo exaustivo dessa ordem de ideia. Quanto a metodologia essa pesquisa contará numa primeira fase com a pesquisa bibliográfica onde serão consultados diversos manuais que versam sobre Centrais Eléctricas e numa forma específica as centrais fotovoltaicas. Pois numa segunda fase será feito o estudo do campo onde serão feitos os estudos no local. Com essa pesquisa espera-se propor uma solução de instalação e conexão com a rede de um sistema solar fotovoltaico, com previsão de custos com base em tecnologias disponíveis no mercado, assim como viabilidade econômica desse sistema, com base na estimativa eléctrica do sistema, a qual é calculada a partir da radiação solar do local que será implementado o sistema fotovoltaico. O trabalho estará dividido em 6 capítulos, onde no 1º Capítulo: Será apresentado a caracterização do ambiente de Estudo, exposição dos objectivos e hipóteses do trabalho; no 2º Capítulo: fundamentos teóricos relacionados detalhadamente com sistema solar fotovoltaico; no 3º Capítulo: Será dita a Metodologia utilizada na pesquisa; no 4º Capítulo: Apresenta-se os dados colectados durante a pesquisa; no 5º Capítulo: far-se-á a análise de dados e resultados obtidos e no 6º Capítulo: São apresentadas as principais conclusões e recomendações relativas ao trabalho desenvolvido.

1.1. Objectivos do Trabalho

Objectivo geral:

- Desenvolver uma proposta de Central Fotovoltaica de Geração de energia eléctrica para ISUTE;

1.1.1. Objectivos específicos:

- Fazer levantamentos das cargas e outros dados necessários para dimensionamento da central;
- Dimensionar a Central Fotovoltaica de Geração de energia eléctrica.
- Apresentar o desenho do projecto da central;
- Demonstrar a viabilidade económica do sistema fotovoltaico.

1.2. Hipóteses

Com essa pesquisa e com a problemática apresentada pretende-se provar que:

H1: A Proposta de instalação Central Fotovoltaica de Geração de energia eléctrica para ISUTE será viável para reduzir as faturas de consumo energético desta instituição de ensino e contribuirá na realocação dos recursos financeiros para melhoria de qualidade de ensino.

H0: A instalação dum central eléctrica fotovoltaica no ISUTE não será viável para reduzir as faturas de consumo energético desta instituição de ensino e não contribuirá na realocação dos recursos financeiros para melhoria de qualidade de ensino.

1.3. Problema de investigação

Actualmente verifica-se crescente demanda na solicitação de energia eléctrica por parte do ISUTE, devido ao aumento das cargas dentro do instituto o que acarreta maior consumo e elevada faturas. Com intuito de apresentar uma proposta de redução de faturas de consumo da energia de concessionaria e reduzir a dependência desta, é formulada a seguinte pergunta de partida:

“Será sustentável a instalação de uma Central Fotovoltaica de Geração de energia eléctrica para ISUTE, para reduzir as faturas de consumo energético desta instituição de ensino?”

1.4. Caracterização do Ambiente de Estudo

O Instituto Superior Universitário de Tete – ISUTE, é uma unidade orgânica estrutural da Universidade Politécnica, designada A'Politecnica, localizada na província do mesmo nome.

Inaugurada em Outubro do ano de 2012, o ISUTE, tem como objectivos em seu percurso:

- Ministar ensino de e com qualidade;
- Aperfeiçoar os docentes e profissionais qualificados através da frequência de cursos de pós-graduação, especialização, mestrado e doutoramento nas diferentes áreas de saber;
- Criar e desenvolver actividades de pesquisa que ajudem no aperfeiçoamento e incentivem o desenvolvimento de habilidades profissionais e teórico – práticas;
- Promover uma gestão universitária com humanismo, rigor e profissionalismo para melhor servir os usuários da instituição;
- Desenvolver cursos de extensão universitária;
- Zelar pela boa interacção da instituição com a comunidade.

O Campus do Instituto Superior Universitário de Tete, localiza-se a 3km da estrada nacional nº 07. A instituição dispõe-se de dois blocos, com vários compartimentos com funções diversificadas, como é o caso das salas de aulas, laboratórios, WCs, escritórios, armazéns, auditórios, dos quais demanda energia eléctrica para o seu funcionamento.

1.4.1. Área de actuação (limitação do tema)

O presente trabalho dedica-se a projecção de Sistema Fotovoltaico de Geração de energia eléctrica para o bloco 1 e 2 do **Campus do Instituto Superior Universitário de Tete**, e caso seja considerado executado a presente proposta, de forma análoga pode-se prosseguir para os demais projectos futuros.

Capítulo II

2. Revisão da Literatura

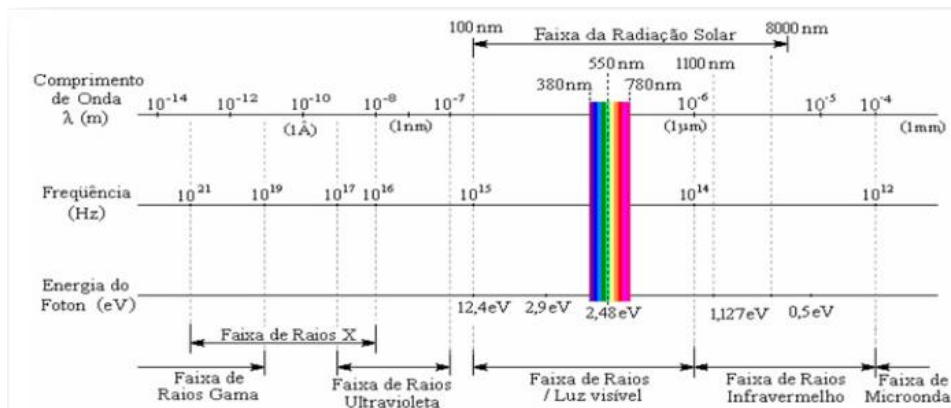
2.1. Recurso Solar

Abordando a cerca do recurso solar na terra Ovelha (2017: 6) afirma que:

A energia solar interceptada pelo planeta anualmente é cerca de cinco mil vezes superior à soma de todas as outras energias (energia nuclear terrestre, geotermal, gravitacional, etc), por tanto, o sol representa a fonte permanente de energia mais abundante no planeta. Da energia solar extraterrestre – sob a forma de radiação – apenas um terço corresponde ao total da radiação solar terrestre, sendo que dessa porção 70% incide nos oceanos. No entanto, os restantes 30% que incidem em solo terrestre correspondem a uma quantidade de energia.

De acordo com a Blue Sol “a energia solar é produzida pelas reacções¹ nucleares que acontecem no interior do sol a grandes profundidades, liberando assim energia que viaja do interior do sol até a sua fotosfera, e daí se irradia em todas as direcções” (Blue Sol, 2014: 20) A radiação solar é radiação electromagnética que tem distribuição espectral conforme a figura abaixo:

Figura 1: Espectro das ondas electromagnéticas.



Fonte: Blue Sol 2014: 21

2.2. Radiação Solar

Ovelha (2017: 32) define a radiação solar como “uma forma de transferência de energia proveniente do sol e que se propaga pela terra na forma de ondas electromagnéticas”.

¹ Em uma dessas reacções os átomos de hidrogénio se combinam formando átomos de hélio, e liberam energia.

2.1.1. Radiação Solar ao Nível do Solo

De acordo com Blue Sol (2014: 22-23):

A intensidade da radiação solar que chega à Terra é em torno de 1,3 kW/m² acima da atmosfera. A quantidade de Radiação que chega ao chão, no plano horizontal depende não só da localização geográfica, mas também das condições atmosféricas, assim como do período (estação) do ano. A atmosfera terrestre age como um filtro, que bloqueia uma parte dessa energia. Quanto mais espessa for a camada atmosférica a ser vencida, menor será a Irradiância solar ao nível do solo. A camada atmosférica será mais ou menos espessa, de acordo com a elevação do sol, no momento da medição. Devido a esses factores, a máxima Irradiância que chega à superfície terrestre é em torno de 1.000 W/m². (Blue Sol: 22-23)

2.1.2. Classificação da Radiação Solar

De acordo com Alves (2016: 30), a radiação solar divide-se em seguintes classes:

a) Radiação Directa

Parcela da radiação solar que incide sobre a superfície terrestre sem sofrer interferência de nenhum obstáculo, ou seja, sem sofrer desvios. É a radiação utilizada em sistemas solares de concentração. (Alves, 2016: 31)

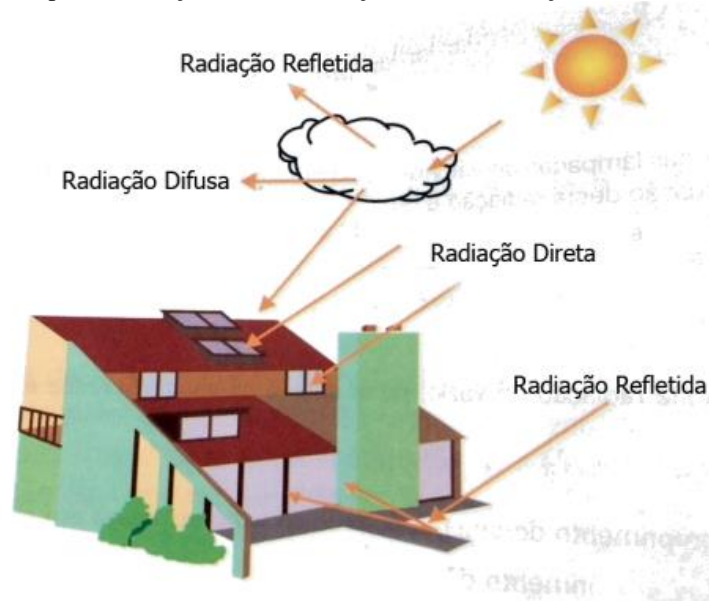
b) Radiação Difusa

Trata-se da parcela da radiação solar que incide na superfície da terra após sofrer desvios na atmosfera e nas nuvens. Caracterizada por chegar à superfície terrestre em diversas direcções (direcções aleatórias). Os sistemas solares não concentradores utilizam a radiação directa e a radiação difusa. (Alves, 2016: 31)

c) Radiação Devido ao Albedo

Considerando-se que a superfície receptora está inclinada, uma parcela da radiação será reflectida no solo e incidirá sobre a face receptora, esta parcela de radiação recebe a designação de radiação devido ao albedo. (Alves, 2016: 32)

Figura 2: Exemplo de radiação directa, radiação difusa e radiação reflectida.

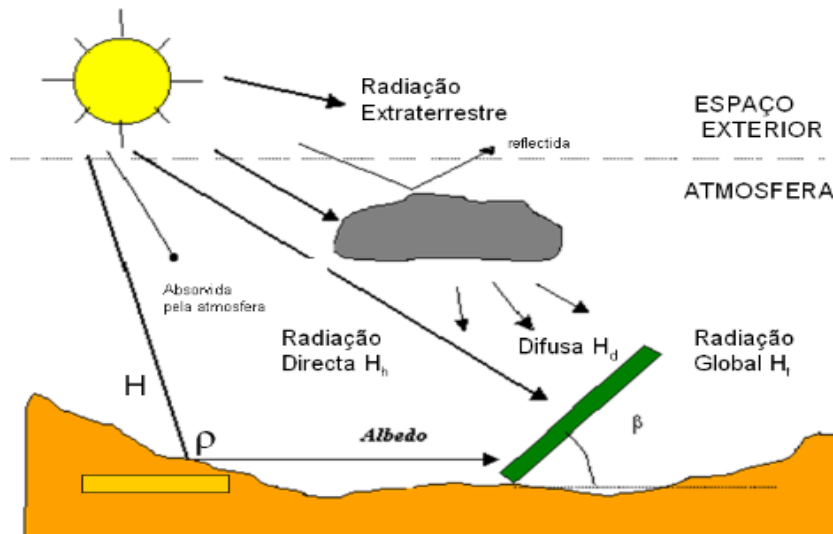


Fonte: (Alves 2016: 30)

d) Radiação Global

Também pode ser designada de radiação total e corresponde a soma das radiações directa e difusa.

Figura 3: Representação dos tipos de radiações solares.



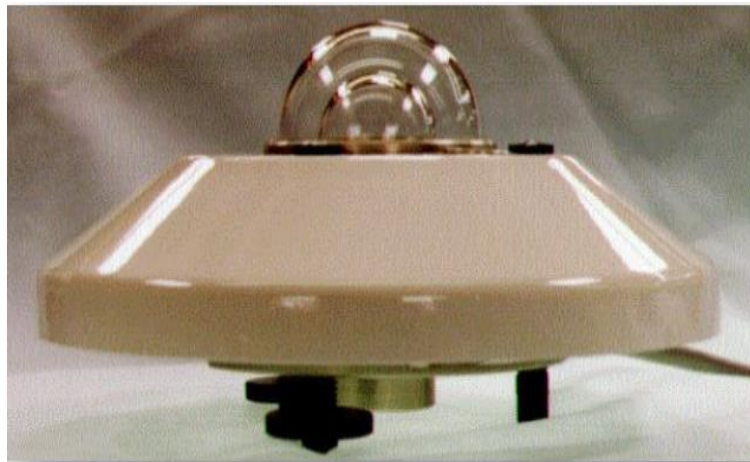
Fonte: (Alves 2016: 31)

2.1.3. Instrumentos de medição da radiação solar

Segundo Fadigas (1993: 162) existem vários instrumentos de medição da radiação solar podendo-se destacar:

- a) **Heliógrafo** – Este instrumento tem por objectivo medir a duração da insolação, ou seja, o período de tempo em que a radiação solar supera um dado valor de referência. O heliógrafo opera a partir da focalização da radiação solar sobre uma carta que, como resultado da exposição, é enegrecida. O comprimento desta região mede o chamado número de horas de brilho de Sol. (Fadigas, 1993)
- b) **Piranômetros** – São instrumentos que medem a radiação total, ou seja, a radiação que vem de todas as direcções no hemisfério. Destacam-se os piranômetros fotovoltaicos e termoeléctricos. (Fadigas, 1993)

Figura 4:Piranômetro



Fonte: (Blue Sol, 2014)

- c) **Piroheliômetros** – É um instrumento utilizado para medir a radiação directa. Ele se caracteriza por possuir uma pequena abertura de forma a “ver” apenas o disco solar e a região vizinha, denominada circunsolar. (Fadigas, 1993)
- d) **Actinógrafos** – São utilizados para medição da radiação total ou sua componente difusa, possuindo o sensor e registador na mesma unidade. Consiste essencialmente em um receptor com três tiras metálicas, a central de cor preta e as laterais brancas. As tiras brancas estão fixadas e a preta está livre em uma extremidade, e irão se curvar, quando iluminadas, em consequência dos diferentes coeficientes de dilatação dos metais que as compõem. (Fadigas, 1993)

2.2. Geometria da Terra e do Sol

Fadigas (2006: 26) afirma que “a quantidade de radiação solar interceptada pela terra varia ao longo do ano, uma vez que a distância entre a terra e o sol varia ao longo do ano, sendo essa distância média sol-terra cerca de 1.496×10^{11} m.”

Figura 5: Declinação solar em função das estações do ano



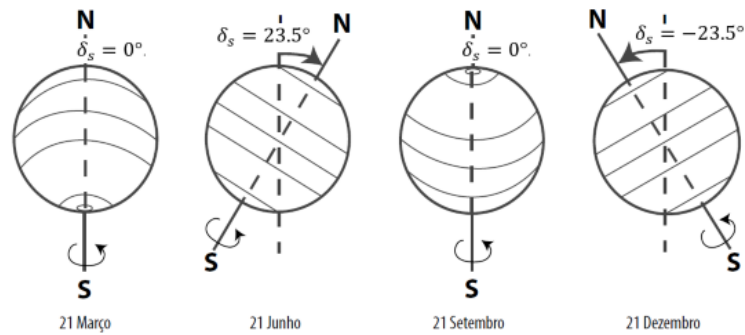
Fonte: (Blue Sol 2014: 22)

Dada esta variabilidade, de forma a calcular correctamente a radiação solar incidente em qualquer superfície, torna-se necessário definir a localização exacta do sol relativamente a essa mesma superfície. (Fadigas, 2016: 26)

Sabemos que o sol nasce no leste e se põe no oeste, elevando no céu. Assim sendo, Fadigas (2006: 27) afirma que:

Essa elevação é maior ou menor de acordo com à época do ano. A terra se move em uma órbita elíptica em torno do sol e o eixo de rotação da Terra forma um ângulo de $23,5^\circ$ com a normal ao plano da elipse da órbita da Terra. Esse ângulo é o responsável pela duração do dia e da noite nas distintas estações do ano, e também é o responsável pela variação da elevação do sol no horizonte à mesma hora, ao longo do ano. A posição angular do sol ao meio dia solar, em relação ao equador é chamada de Declinação Solar (δ). A declinação varia de acordo com o dia do ano, com valores entre: $-23,45^\circ = \delta = 23,45^\circ$, sendo positivo ao Norte e negativo ao Sul.

Figura 6: Variação da declinação solar ao longo do ano.



Fonte: Fadigas (2006: 27)

A declinação corresponde, assim, ao valor associado à latitude a qual a radiação solar incide directamente segundo um eixo vertical ao meio dia solar para certo dia. (Fadigas, 2006: 27)

$$\delta_s(^{\circ}) = 23.45^{\circ} \sin \left[\frac{360 \times (284 + n)}{365} \right]$$

Onde: n corresponde ao dia do ano, começando em $n = 1$ (1 de Janeiro) e acabando em 365.

De acordo com Alves (2016: 65) ‘a posição aparente do sol pode ser descrita por dois ângulos: a altitude² α solar e o azimute³ as solar’. Por convenção, o ângulo azimute assume valores negativos a este da direcção Sul e valores positivos a oeste, ou seja: $as = 0$, em sul e varia entre os valores -90° e $+90^{\circ}$ entre este e oeste, respectivamente. (Alves, 2016) Os principais ângulos são listados abaixo:

- a) Ângulo Solar ou elevação⁴ [γS];
- b) Ângulo zenital [θZ]: Resulta da operação⁵: $\theta Z = 90^{\circ} - \gamma S$
- c) Ângulo azimutal do sol⁶ [aS].

² É o ângulo entre uma linha colinear com os raios solares e o plano horizontal.

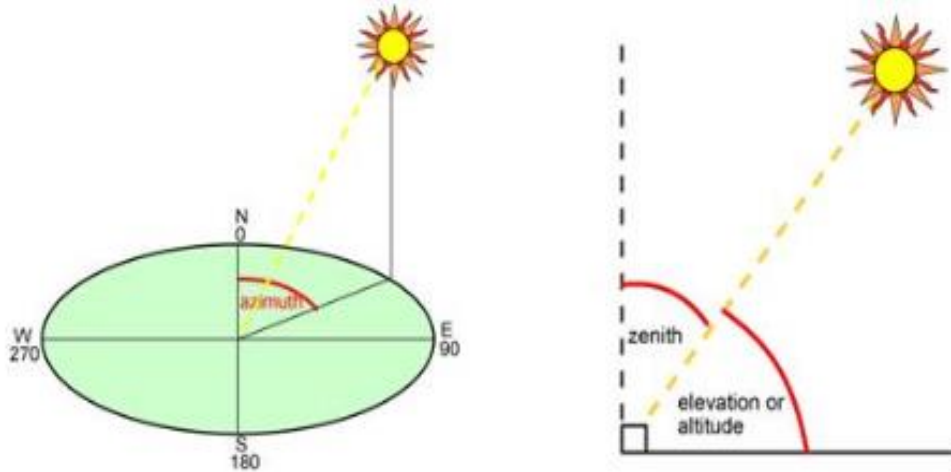
³ É o ângulo entre a direcção Sul e a projecção da linha Sol-Terra sobre a horizontal.

⁴ Trata-se do ângulo formado entre o raio solar e a projecção do mesmo sobre o plano vertical.

⁵ Como consequência da expressão anterior, na altura solar de 90° teremos $\theta Z = 0$ e afirma-se que o sol esta no zênite.

⁶ Trata-se do ângulo (medido no sentido horário) entre o norte geográfico do planeta terra e a projecção do raio solar sobre o plano horizontal.

Figura 7: Representação gráfica da altura solar e do ângulo de azimute.



Fonte: (Alves, 2016)

2.2.1. Massa de Ar (AM)

O termo derivado da sigla em inglês: *Air Mass* (massa de ar), Alves (2016: 34) afirma que “possibilita um referencial para comparação do comportamento do espectro de radiação solar quando o mesmo percorre caminhos distintos ao atravessar a atmosfera. Influencia directamente na caracterização da intensidade e na composição espectral da radiação solar, sendo definida como”:

$$AM = \frac{1}{\sin \gamma_s}$$

Onde:

AM: Massa de Ar;

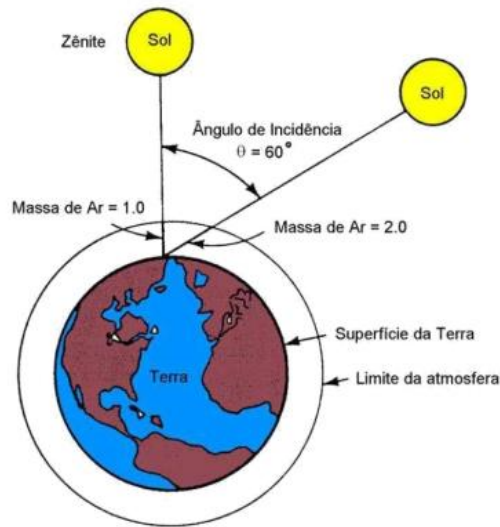
γ_s : Altura solar ou Elevação.

Convenções:

a) AM 0 (AM=0): Massa de ar zero. Correspondente ao espectro de radiação solar no topo da atmosfera;

b) AM 1 (AM=1): Correspondente ao sol posicionado de modo perpendicular à superfície da terra.

Figura 8: Caminhos distintos que a radiação solar percorre para atravessar a atmosfera.



Fonte: Alves (2016)

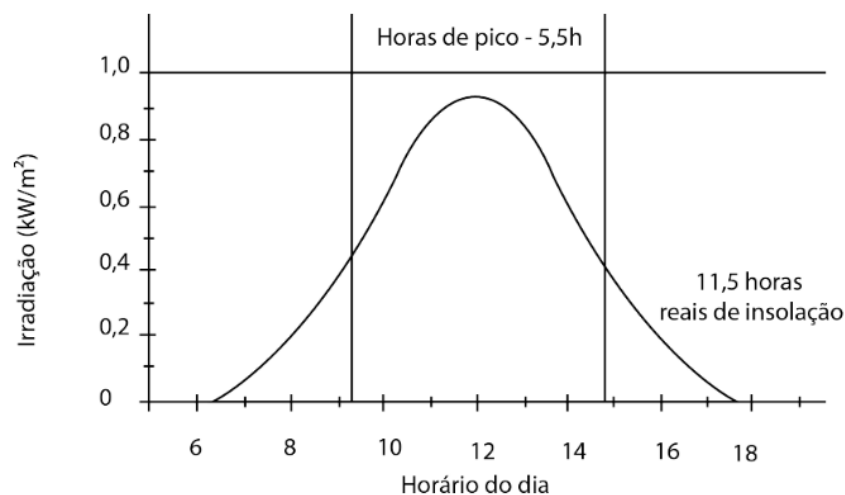
2.2.2. Horas de Sol Pico

Ruther (2006: 67) afirma que:

A radiação solar varia durante o dia e tem sua maior intensidade ao meio-dia-solar. À partir do momento em que o sol aparece no horizonte até o ocaso, a radiação solar vai do mínimo ao máximo (ao meio-dia-solar), e de volta ao mínimo, porem as nuvens influenciam a Irradiância Directa, fazendo com que mesmo ao meio-dia-solar possamos captar menos energia que no começo da manhã ou final da tarde.

O gráfico a seguir mostra a variação da Irradiância solar em um dia médio, pode-se observar as horas do dia em que a Irradiância é próxima ou igual a 1000 W/m^2 .

Gráfico 1: Gráfico das Horas de Sol Pico.



Fonte: Ruther (2006: 67)

De acordo com Ruther (2006: 67) “esse valor é de extrema importância para o cálculo de sistemas fotovoltaicos, pois é nessas horas que um painel fotovoltaico estará gerando o seu máximo durante o dia. As horas de sol pico estão compreendidas entre duas a três horas antes e depois do meio-dia-solar.”

2.3. Energia Solar Fotovoltaica

2.3.1. Efeito fotovoltaico

O GTES (2014: 50) afirma que ‘o efeito fotovoltaico consiste no aparecimento de uma diferença de potencial (ddp) nos extremos de um semicondutor, quando esse absorve a luz visível’.

2.3.1.1. Historial do efeito fotovoltaico

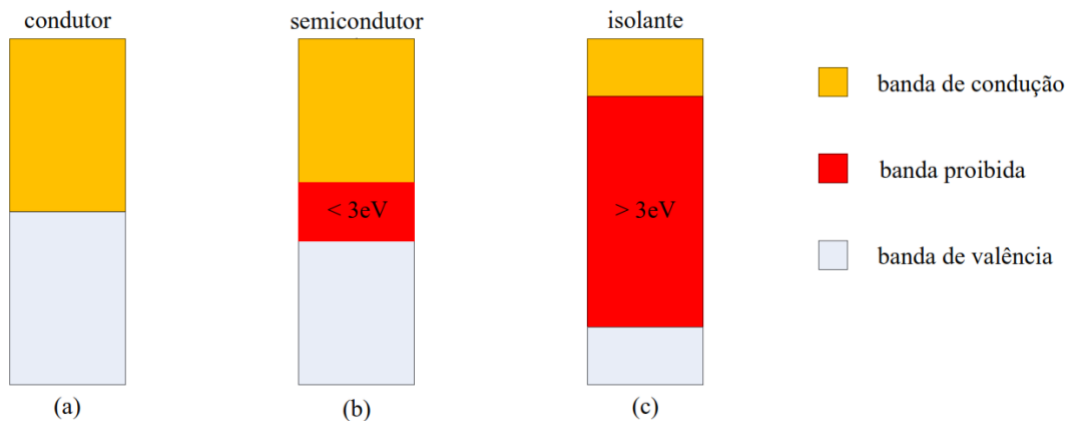
Segue o historial do efeito fotovoltaico, segundo Braga (2008: 15):

O conhecimento do efeito fotovoltaico remonta ao século XIX, quando em 1839 Becquerel demonstrou a possibilidade de conversão da radiação luminosa em energia eléctrica mediante a incidência de luz em um eléctrodo mergulhado em uma solução de electrólito. Esse mesmo efeito é observado num sólido, o selénio, em 1877 por Adams e Day na Inglaterra. Em 1883 aparece a primeira célula solar produzida com selénio, com eficiência de conversão de aproximadamente 1%. Já neste século, na década de 30, os trabalhos de diversos pioneiros da física do estado sólido, como Lange, Grondahl e Schottkl, apresentaram importantes contribuições para se obter uma clara compreensão do efeito fotovoltaico em junção do estado sólido. Em 1941, Ohl obtém a primeira fotocélula de silício monocristalino. No ano de 1949, Billing e Plessnar medem a eficiência de fotocélulas de silício cristalino, ao mesmo tempo em que a teoria da junção P-N de Shockely é divulgada. É, porém, apenas em 1954 que surge a fotocélula de silício com as características semelhantes às encontradas hoje com eficiência de 6%. O ano de 1958 marca o início, com grande sucesso, da utilização de fotocélulas nos programas espaciais, sendo este o principal uso das células solares até o final da década de 70. Grande impulso foi dado à utilização terrestre da geração fotovoltaica a partir da crise mundial de energia em 1973/1974. A partir do fim da década de 70, o uso terrestre supera o uso espacial, sendo que esta diferença tem aumentado grandemente. Este uso crescente vem sendo acompanhado por inovações que permitem o aumento da eficiência de conversão de energia das fotocélulas, bem como uma significativa redução de seus custos. O problema da eficiência de conversão e custo de material, e ainda o grande conhecimento adquirido pela teoria física das células têm impulsionado a pesquisa de células solares produzidas com materiais diferentes do silício monocristalino. Atualmente são estudados e mesmo utilizados o silício policristalino e amorfo, o arseneto de gálio e o sulfeto de cádmio, dentre outros. No entanto, o conhecimento da tecnologia que emprega o silício, em particular o monocristal e a abundância da matéria-prima que lhe dá origem, tem sido as razões mais importantes que tornaram o silício o material predominante no processo de desenvolvimento tecnológico. (Braga, 2008: 15)

2.3.1.2. Princípios de Funcionamento

De acordo com GTES (2014: 104) “existem na natureza materiais classificados como semicondutores⁷, que se caracterizam por possuir uma camada de valência totalmente preenchida por electrons e uma banda de conducao “Vazia” (sem electrons) na temperatura de zero absoluto (0 k)”.

Gráfico 2: Estrutura de Bandas de energia em semicondutores



Fonte: GTES (2014: 105)

A tabela que segue, ilustra diversos materiais semicondutores, seu grupo na tabela periódica e suas bandas proibidas E_g à temperatura de 300K.

Tabela 1: Bandas proibidas E_g de semicondutores à temperatura de 300K.

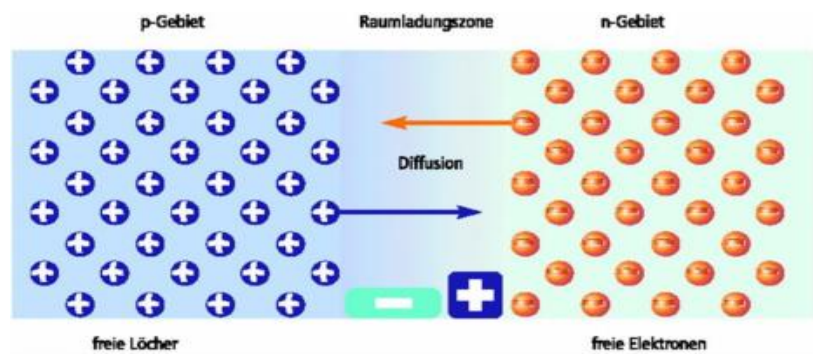
Material	Grupo	E_g (eV)	Material	Grupo	E_g (eV)
Si	elemento	1,12	GaP	III-V	2,26
Ge	elemento	0,66	CdS	II-IV	2,42
GaAs	III-V	1,43	PbS	II-IV	0,35
InSb	III-V	0,18	PbTe	II-IV	0,30
InP	III-V	1,35	CdTe	II-IV	1,45

Fonte: GTES (2014: 105)

Se combinarmos as duas impurezas no mesmo cristal intrínseco de silício, formamos uma Junção P-N. Na área de contacto da junção, os elétrões livres do semicondutor Tipo-N fluem para os buracos do semicondutor Tipo-P até que se forme um campo eléctrico que impede o fluxo permanente de elétrões. (Blue Sol, 2014: 26)

⁷ Um semicondutor comporta-se como um isolador a 0 k / 0° C

Figura 9: Difusão de elétrons na junção P-N.



Fonte: Blue Sol (2014: 26).

Se a Junção P-N for exposta à radiação solar, os fótons com energia superior ao *gap* (E_g) liberam mais buracos-elétrons livres que criam uma corrente eléctrica na área da junção. (Blue Sol, 2014: 29)

2.3.2. Vantagens e Desvantagens da Energia Solar Fotovoltaica

De acordo com a Blue Sol (2014: 12) são incontestáveis as vantagens da energia solar fotovoltaica:

- A matéria-prima (Sol) é inesgotável;
- Não há emissão de poluentes durante a geração da electricidade;
- Os sistemas podem ser instalados em qualquer localidade até nos locais inóspitos⁸ que tenham radiação solar suficiente.

Infelizmente a energia solar fotovoltaica tem suas deficiências:

- A densidade (o luxo de potencial que chega à superfície terrestre) é pequeno⁹ ($<1\text{kW/m}^2$), se comparado às fontes fósseis.
- A energia solar disponível em uma localidade varia¹⁰ sazonalmente, além de ser afectada pelas condições climatológicas.
- Os equipamentos de captação e conversão requerem investimentos financeiros iniciais mais elevados¹¹ que os sistemas convencionais.

⁸ Espaço, desertos, selvas, regiões remotas, etc

⁹ O baixo luxo de potencial solar requer grande área captadora, para obter maiores potências.

¹⁰ A variabilidade da Irradiação Solar implica no uso de sistemas de armazenamento, que são, em geral, pouco eficientes.

¹¹ O alto investimento inicial, leva a considerar a viabilidade económica de um projecto, tendo em conta sua vida útil e todas as vantagens da utilização dessa forma de energia.

2.4. Sistemas Fotovoltaicos

CASTRO (2008: 21) define sistema fotovoltaico como “uma fonte de potência eléctrica na qual as células fotovoltaicas transformam a Radiação Solar directamente em energia eléctrica”.

2.4.1. Classificação dos Sistemas Fotovoltaicos

Segundo Blue Sol (2014: 14) “os sistemas fotovoltaicos são classificados de acordo com a forma como é feita a geração ou entrega da energia eléctrica, assim sendo, os sistemas fotovoltaicos classificam-se em Sistemas Isolados e Sistemas conectados à rede (*On-Grid*)”:

a) Sistemas Isolados

Um Sistema Fotovoltaico Isolado é aquele que não tem contacto com a rede de distribuição de electricidade das concessionárias. Os sistemas isolados podem ser classificados em Híbridos ou Autónomos (Puros). Os sistemas autónomos podem ser com, ou sem armazenamento eléctrico. (Blue Sol, 2014: 14-15)

b) Sistemas Conectados à Rede (On-Grid)

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede fornecem energia para as redes de distribuição. Esses sistemas, também chamados de *on-grid*¹², geralmente não utilizam sistemas de armazenamento de energia, e por isso são mais eficientes que os sistemas autónomos, além de, geralmente, serem mais baratos. (Blue Sol, 2014: 17)

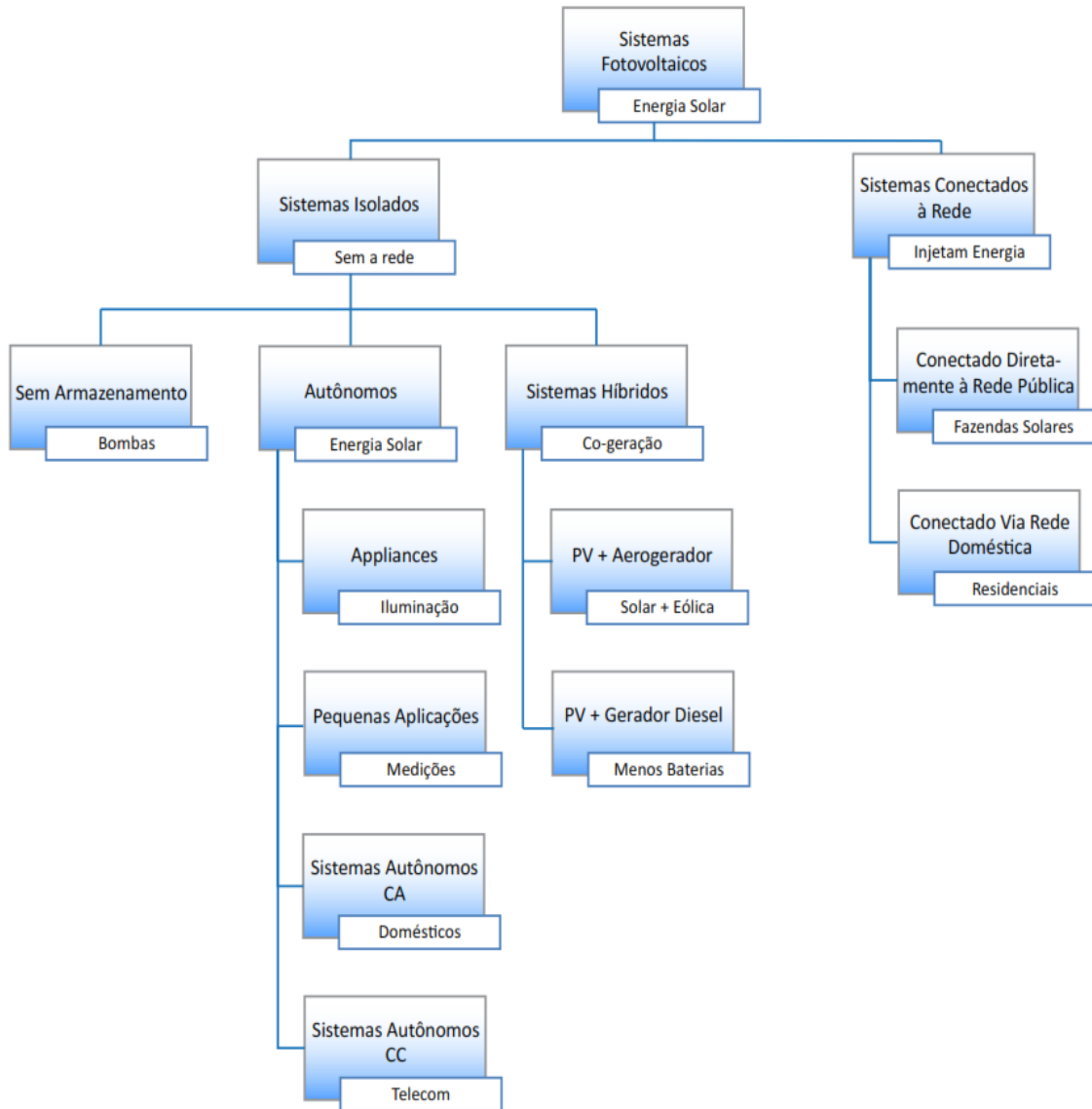
c) Sistemas Autónomos (Puros)

Um sistema fotovoltaico puro é aquele que não possui outra forma de geração de electricidade. Devido ao facto de o sistema só gerar electricidade nas horas de sol, os sistemas autónomos são dotados de acumuladores que armazenam a energia para os períodos sem sol, o que acontece todas as noites, e também nos períodos chuvosos ou nublados. Os acumuladores são dimensionados de acordo à autonomia que o sistema deve ter, e essa varia de acordo às condições climatológicas da localidade onde será implantado o sistema fotovoltaico. (Blue Sol, 2014: 15)

¹² Os sistemas *On-Grid* dependem de regulamentação e legislação favorável, pois usam a rede de distribuição das concessionárias para o escoamento da energia gerada.

O fluxograma a seguir ilustra detalhadamente de uma forma geral a classificação de sistemas fotovoltaicos.

Figura 10: Tipos de Sistemas Fotovoltaicos.



Fonte: Blue Sol (2014: 14)

d) Sistemas Híbridos

Um sistema fotovoltaico híbrido trabalha em conjunto com outro sistema de geração eléctrica, que pode ser um aerogerador (no caso de um sistema híbrido solar-eólico), um moto-gerador a combustível líquido (ex.: diesel), ou qualquer outro sistema de geração eléctrica. Um sistema híbrido pode ou não possuir sistema de armazenamento de energia.

Quando possui, geralmente o sistema de armazenamento tem autonomia menor ou igual a um dia. (Blue Sol, 2014: 15)

Figura 11: Sistema híbrido eólico fotovoltaico.



Fonte: Blue Sol (2014: 15)

e) Sistemas Autónomos Sem Armazenamento

São sistemas que funcionam somente durante as horas de sol. Temos como exemplo os sistemas de bombeamento de água. As características das bombas são calculadas levando em consideração a necessidade água e o potencial Solar da localidade. O painel fotovoltaico é dimensionado para fornecer potencial para a bomba. Apesar de, geralmente, não utilizarem sistemas de armazenamento eléctrico, o armazenamento energético é feito na forma de água no reservatório. (Blue Sol, 2014: 15)

Figura 12: Sistema de bombeamento fotovoltaico.



Fonte: Blue Sol (2014: 16)

2.4.2. Princípios de funcionamento dum Sistemas fotovoltaico *On grid*

Os módulos fotovoltaicos são formados por células de materiais semicondutores que absorvem a energia contida nos fótons presentes na radiação luminosa, quebrando-se as ligações químicas entre as moléculas presentes na sua estrutura e liberando cargas eléctricas para realização de trabalho (Zilles, Macêdo, Galhardo, Oliveira, 2016).

A energia produzida pelos módulos em corrente contínua é enviada ao inversor, ligado ao quadro geral de distribuição eléctrica ou padrão de entrada da edificação, realizando a conversão em corrente alternada para utilização das cargas existentes e o excedente da geração será enviado a rede eléctrica da concessionaria, gerando-se energia armazenada para utilização durante à noite.

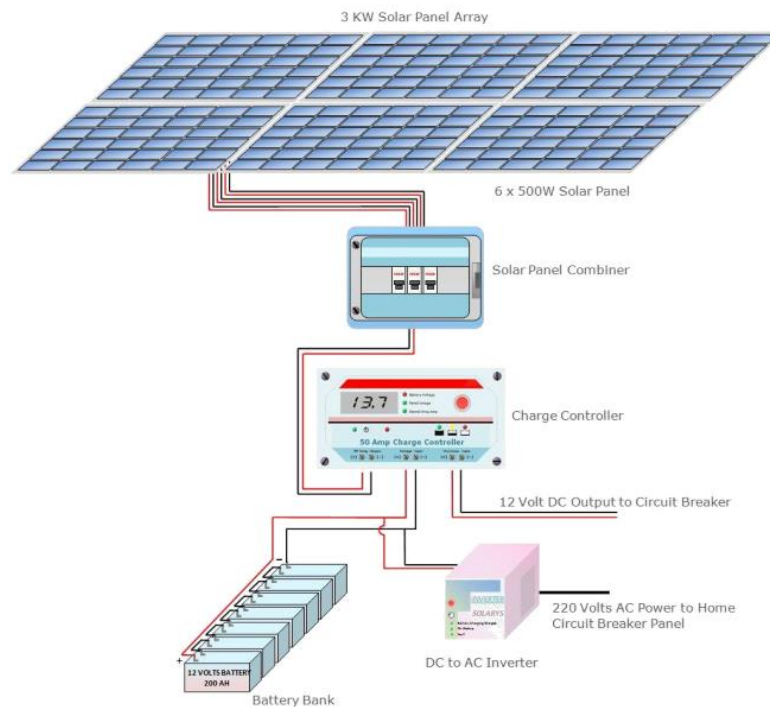
2.5. Componentes do sistema fotovoltaico *On grid*

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas, um sistema fotovoltaico é basicamente composto por: Módulo¹³/Painel¹⁴ Fotovoltaico, Inversor DC/AC e contador birrecional. (ABNT, 2004)

¹³ É o conjunto de células fotovoltaicas

¹⁴ É o conjunto de módulos fotovoltaicos

Figura 13: Componentes básicos dum Sistema Fotovoltaico.



Fonte: Alves (2016: 68)

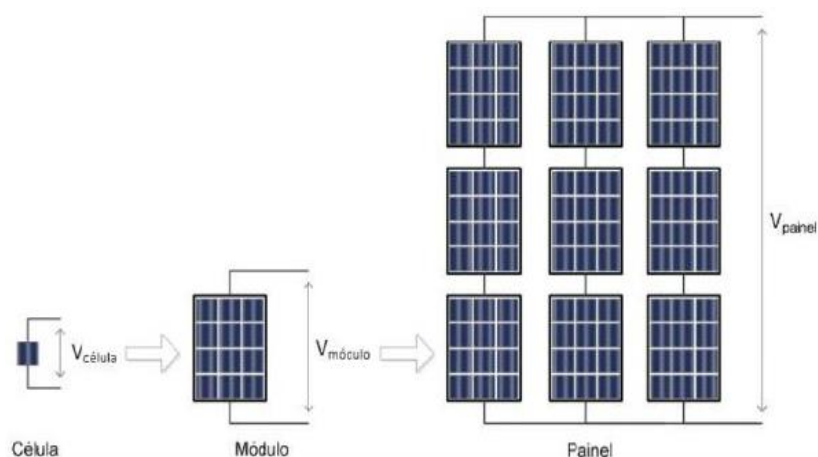
2.5.1. Células / Modulo / PaineL Fotovoltaico

Alves (2016: 46) afirma que “uma célula fotovoltaica é a unidade básica de um sistema fotovoltaico, é a componente responsável pela conversão directa da radiação solar em electricidade”.

Para fazer entender a relação entre célula, modulo e paineL fotovoltaico, Alves (2016: 46) afirma o seguinte:

Como uma única célula não é suficiente para gerar potências eléctricas elevadas, os fabricantes associam várias células, e as encapsulam para protecção, formando assim um Módulo Fotovoltaico, que por sua vez são associados entre si (paralelo/série) para atingir os níveis de potência desejada formando assim um PaineL Fotovoltaico.

Figura 14: Relação entre Célula, Módulo e Painel Fotovoltaico.



Fonte: Alves (2016: 46)

2.5.1.1. Tipos de células fotovoltaicas

Segundo Blue Sol (2014: 32) “existem 7 tipos de células fotovoltaicas que são: Telureto de Cádmio (CdTe), Disseleneto de Cobre e Índio (CIS), Silício Amorfo (a-Si), Células de Película Fina, Silício Policristalino, Silício Monocristalino, Silício Cristalizado”. A tabela a seguir, ilustra a relação da eficiência das células fotovoltaicas acima mencionadas.

Tabela 2: Eficiência dos diferentes tipos de células fotovoltaicas.

Material	Eficiência em Laboratório	Eficiência em produção	Eficiência em produção em série
Silício Mono	24,7%	18%	14%
Silício Poly	19,8%	15%	13%
Silício Amorfo	13%	10,5%	7,5%
CIS, CIGS	18,8%	14%	10%
CdTe	16,4%	10%	9%

Fonte: Blue Sol (2014: 37)

De acordo com ABNT (2004) ‘uma célula fotovoltaica de silício cristalizado produz uma tensão de aproximadamente 0,46 a 0,56 volts e uma corrente aproximadamente 30mA/cm².’

De acordo com Blue Sol (2014: 40):

As células comerciais geram em torno de 1 A, 2,5 A, 3A, 5 A e 7 A. Para alcançar as potências comerciais, os fabricantes de módulos fotovoltaicos conectam células fotovoltaicas entre si, geralmente em série, em um processo de conexão

que é feito soldando os terminais da parte frontal de uma célula à parte traseira da seguinte, e assim por diante. Para construir um módulo de tensão nominal em 12 volts, serão conectadas entre 30 e 40 células (geralmente 33, 36 ou 40).

2.5.1.2. Características dos Módulos Fotovoltaicos

A tabela que segue apresenta as características dos módulos de silício cristalizado, pois são os mais utilizados actualmente.

Tabela 3: Exemplo de Módulos Fotovoltaicos disponíveis no mercado.

Módulo Fotovoltaico de Silício Cristalino					
Marca	Modelo	Potência Nominal	Produção de Energia		
		Wp	Wh/dia	Wh/dia/Wp	kWh/mês/Wp
Solar Word	SW 140	140	280	2	60
	SW 235	235	470	2	60
Tenometal	SV-240D20	240	480	2	60
Yingli Solar	YL240P 29b	240	480	2	60
Kyocera	KD245GH-4FB2	245	490	2	60
Bosch	M60	250	500	2	60

Fonte: Electrobras (2016: 27)

- **Características Físicas e Mecânicas**

De acordo com Electrobras (2016: 27) “os módulos fotovoltaicos comerciais têm forma quadrada ou rectangular, a espessura sem a moldura não ultrapassa 4cm. As dimensões e o peso dos módulos variam de acordo ao fabricante e à potência-pico, mas seguem padrões gerais seguidos por todos”.

- **Características Eléctricas**

Seguem as características eléctricas a considerar na especificação de módulos fotovoltaicos de acordo com ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR-11876:

- Tensão Nominal:** é a tensão padrão para a qual o módulo foi desenvolvido para trabalhar. A quantidade das células fotovoltaicas determina esse parâmetro, segundo a tabela abaixo:

Tabela 4: Tensões nominais e Voc de módulos Standard.

Número de Células	Tensão Nominal	Tensão em Circuito Aberto (Voc)
18 células	6 volts	9, 2 volts
36 células	12 volts	17,4 volts
72 células	24 volts	40,15 volts

Blue Sol (2014: 44)

- b) Tensão de Máxima Potência (V_{MP}):** É a tensão máxima que o módulo gerará, em seu ponto de máxima potência, sob as condições padrão de teste. (GTES, 2014: 120)
- c) Tensão em Circuito Aberto (V_{oc}):** É a tensão entre os terminais de uma célula fotovoltaica quando não há corrente elétrica circulando e é a máxima tensão que uma célula pode produzir. Pode ser medida directamente com um voltímetro nos terminais do módulo. (GTES, 2014: 119) E é dado pela seguinte equação:

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \cdot \ln \left(\frac{I_L}{I_0} + 1 \right)$$

Onde:

I_0 - Corrente de Excitação (A)

I_L - Corrente Elétrica Fotogerada (A)

T - Temperatura (K)

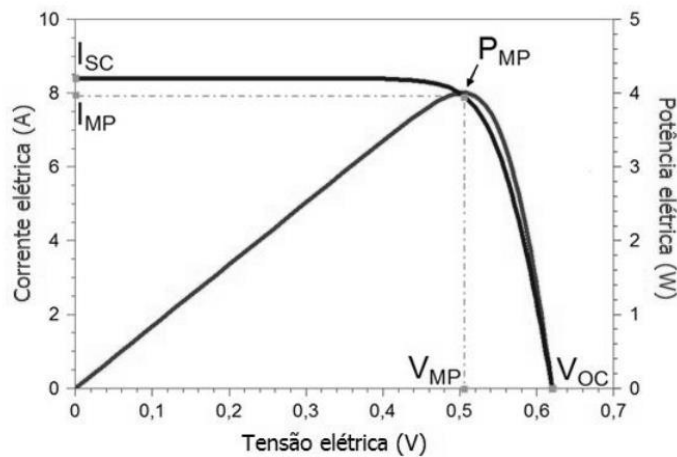
q - Carga do Eletron ($1,6 \times 10^{-19}$ C)

k - constante de Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K)

- d) Corrente em Máxima Potência (I_{MP}):** Corrente máxima que um módulo fotovoltaico pode fornecer a uma carga, em condições padrão de teste. (GTES, 2014: 119)
- e) Corrente de Curto-Circuito (I_{sc}):** Corrente máxima que o módulo fotovoltaico fornece, quando seus terminais estão em curto-circuito, sob as condições padrão de teste. Diferente das baterias e outras fontes de energia, podemos medir a corrente em curto-circuito de um módulo fotovoltaico. A corrente em curto-circuito, geralmente é 5% superior à corrente máxima. (GTES, 2014: 120)

f) **Potência Máxima:** a corrente eléctrica gerada por um módulo varia de zero ao **I_{sc}**, enquanto a tensão entre os terminais varia de zero até o **V_{oc}** sob diferentes condições de Irradiância e temperatura. Como a potência é o produto da tensão pela corrente, essa só será a máxima para uma única combinação de tensão e corrente. Um módulo fotovoltaico estará fornecendo a máxima potência, quando o circuito externo possuir uma resistência tal, que determine os valores máximos de tensão e corrente e, portanto o seu produto será o máximo. Existem aparelhos que conseguem alcançar o ponto de máxima potência (MPP Maximum Power Point) em diversas condições de irradiância e temperatura. (GTES, 2014: 120)

Gráfico 3: Relação da potência em função da tensão numa Célula fotovoltaica de silício cristalino sob condições padrão de ensaio.



Fonte: GTES (2014: 120)

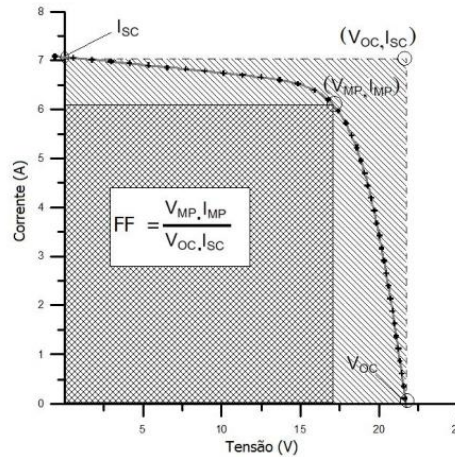
g) **Eficiência (η):** É o parâmetro que define quão efectivo e o processo de conversão de energia solar em energia eléctrica. Representa a relação entre a potência eléctrica produzida pela célula fotovoltaica e a potência da energia solar incidente e pode ser definida como segue (GTES, 2014: 120):

$$\eta = \frac{I_{sc} \cdot V_{oc} \cdot FF}{A \cdot G} \cdot 100\% = \frac{P_{MP}}{A \cdot G} \cdot 100\%$$

h) **Factor de Forma (Preenchimento):** É um conceito teórico que mede a forma da curva definida pelas variáveis I e V na seguinte equação (Blue Sol, 2014: 46):

$$FF = \frac{I_{mpp} * V_{mpp}}{I_{sc} * V_{oc}} = \frac{P_{max}}{I_{sc} * V_{oc}}$$

Gráfico 4: Curva V x I que dita factor de forma.



Fonte: Blue Sol (2014: 46)

2.5.1.3. Condições de Teste e Operação

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas:

Para os testes de performance e rotulagem dos módulos fotovoltaicos, é utilizado um padrão de irradiância, massa de ar e temperatura”. Esse padrão, chamado de Condições Padrão de Teste (STC – *Standard Test Conditions*) é conseguido em laboratório através do simulador solar. Em situações práticas, não temos as mesmas condições para o trabalho dos módulos fotovoltaicos. (ABNT, 2004) Veja abaixo os valores comparativos em três condições:

Tabela 5: Condições de teste e operação dos módulos fotovoltaicos.

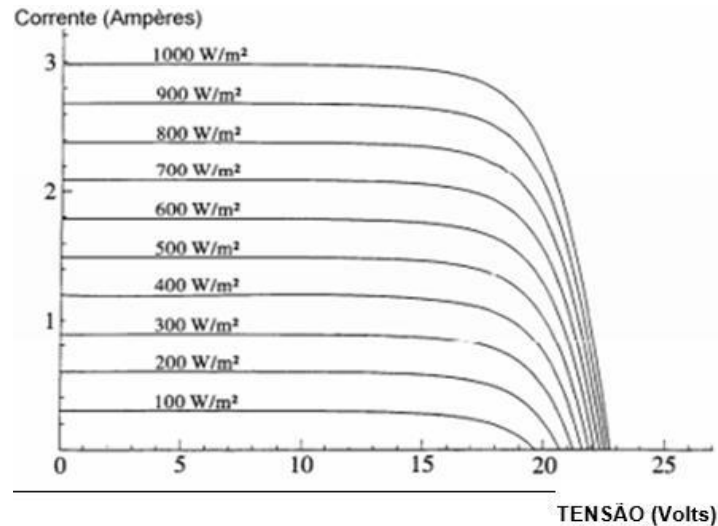
Parâmetros	STC	NON-STC	G-NOCT
Irradiância (G)	1.000 W/m ²	800 W/m ²	200 W/m ²
Massa de Ar (AM)	1,5	2	2
Temperatura da célula	25°C	45°C	45
Temperatura do ar	0°C	20°C	20°C

Fonte: ABNT (2010)

Todos os módulos comerciais têm em suas fichas de dados os resultados dos testes em *STC*. É recomendado aos fabricantes, pela norma DIN EM 50380, que os fabricantes acrescentem as informações dos testes em Condições Normais de Operação, inclusive em baixas irradiâncias, como mostrado na tabela acima. A grande importância disso está no facto de a potência máxima de um módulo comercial ser diferente da nominal quando este está recebendo Irradiâncias menores, ou quando suas células estão submetidas a temperaturas diferentes de

25°C. Abaixo a variação de tensão em circuito aberto e corrente de curto-circuito de acordo à Irradiância. (ABNT, 2004)

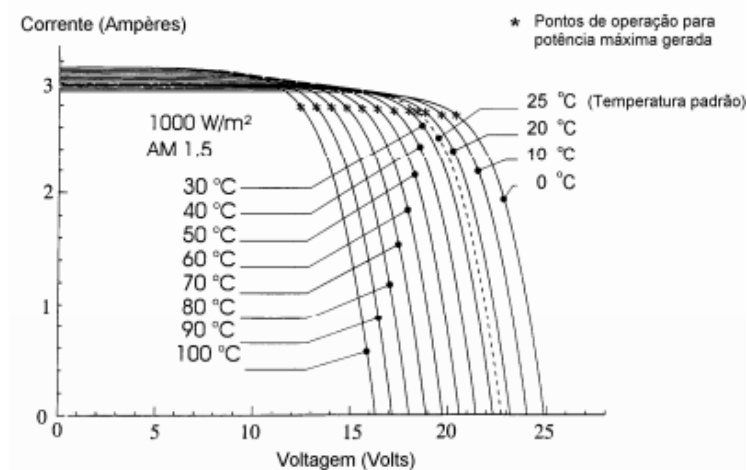
Gráfico 5: Variação de Voc e Isc em função da Irradiância.



Fonte: Fadigas (2006: 35)

Segundo o gráfico acima, podemos ver que a tensão varia menos que a corrente. Isto porque um fóton (com energia suficiente) energiza um elétron. Com maior irradiância, maior a quantidade de fótons, e maior a corrente eléctrica gerada. As variações de temperatura também influenciam o desempenho das células fotovoltaicas. Com o aumento da temperatura, a tensão de circuito aberto cai e a corrente de curto-circuito aumenta. (ABNT, 2010)

Gráfico 6: Variação da tensão e corrente de um módulo em função da temperatura.



Fonte: Fadigas (2006: 37)

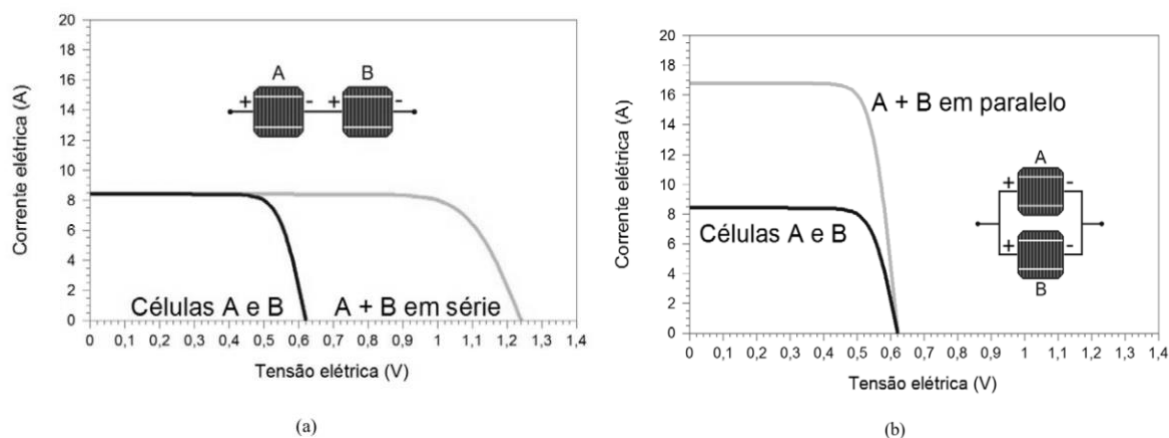
A queda de tensão é maior que o incremento de corrente, portanto o aumento da temperatura reduz significativamente a potência dos módulos. A temperatura das células fotovoltaicas não é a mesma do ambiente, pois as células sofrem um aumento de temperatura ao receber a radiação solar, por conta do efeito fotovoltaico. A diferença de temperatura varia de acordo com às características construtivas da célula (a-Si, p-Si, m-Si, etc.) e do módulo. (Blue Sol, 2014: 48)

2.5.1.4 Associação de Módulos Fotovoltaicos

De acordo com Blue Sol (2014: 49) “dificilmente um único módulo fotovoltaico será suficiente para constituir o painel fotovoltaico¹⁵ de um sistema fotovoltaico”. Na associação em série a tensão do painel será a soma das tensões individuais de cada módulo e a corrente será a média das correntes de cada módulo, por isso não é aconselhável a associação de módulos de capacidades distintas. (Blue Sol, 2014: 49)

Já na associação em paralelo teremos o aumento directo da corrente que será, no painel, a soma das correntes individuais de cada módulo. A tensão será a média das tensões geradas. (Blue Sol, 2014: 49)

Gráfico 7: Curvas I-V de duas células fotovoltaicas conectadas (a) em série e (b) em paralelo.



Fonte: GTES (2014: 124)

¹⁵ Um painel fotovoltaico é um conjunto de módulos fotovoltaicos electricamente ligados entre si, que fornecem determinado potencial, e geralmente estarão ligados a um dispositivo de condicionamento de potência e/ou controle.

2.5.2. Inversor

Ovelha (2017: 26) afirma que:

Inversor é o dispositivo utilizado para converter o sinal elétrico DC proveniente do gerador fotovoltaico (painel fotovoltaico / banco de baterias) num sinal AC sendo que, numa fase posterior, ajusta o sinal para a frequência e nível de tensão da carga ou rede à qual está ligado. Ao longo do dia, o seu funcionamento ótimo varia com as flutuações de energia solar e a temperatura do módulo. Os inversores inteligentes, incluem componentes eletrônicos de controle que reajustam continuamente o equipamento para funcionar no seu ponto mais favorável – *Maximum Power Point Tracking* (MPPT). Para além disso, contêm equipamentos de segurança que automaticamente desligam o sistema em casos de irregularidades na rede ou no gerador solar. (Ovelha, 2017: 26)

Tabela 6: Exemplo de inversores disponíveis no mercado.

Inversor 48 Vcc/220 Vca - 60 Hz - Senoidal Pura				
Marca	Modelo	Nominal	Contínua	Curta Duração
		W	W	VA
SMA	Sunny Island - 5048	5.000	5.000	12.000
Schneider	XW4548 240 60	4.500	4.500	9.000
	XW6048 240 60	6.000	6.000	12.000
Outback	FX2348WT	2.300	2.300	5.750
	VFX3048W	3.000	3.000	5.750
Steca	XTH 6000	5.000	5.000	15.000

Fonte: Electrobras (2016: 35)

2.6. Dimensionamento de um Sistema Fotovoltaico Ongrid

De acordo com Blue Sol (2014: 98) “o dimensionamento de um Sistema Fotovoltaico Autônomo, consiste em definir todos os componentes do sistema seguindo uma lógica de raciocínio no cálculo de cada componente”:

1. Características do Sistema Fotovoltaico { Demanda Diária Média
Potência do Inversor

2. Painel Fotovoltaico { Disponibilidade Solar
Potencial Solar no Plano do Painel Fotovoltaica
Cálculo e configuração de elementos

Blue Sol (2014: 98) afirma que “existem vários métodos de dimensionar um sistema fotovoltaico, porem o método de cálculo apresentado aqui só deve ser utilizado para sistemas fotovoltaicos autônomos que utilizem módulos fotovoltaicos para sistemas autônomos (módulos Standard) de 36 ou 72 células”.

2.6.1. Características do Sistema Fotovoltaico.

a) Demanda diária média

O primeiro passo é a análise dos consumos, onde verifica-se a potência e o tempo de uso de cada aparelho consumidor de energia eléctrica. (Blue Sol, 2014: 99) Por exemplo:

Tabela 7: Ilustracao de levantamento de carga

Qt	Descrição	Potência (Wh)	Tempo de uso (h)	Consumo Diário (Wh/Dia)
2	Lâmpadas na sala (fluorescente)	9 W	4 h	72 Wh/dia
1	Lâmpada na cozinha (fluorescente)	9 W	6 h	54 Wh/dia
3	Lâmpadas do quartos (fluorescente)	9 W	3 h	81 Wh/dia
1	Tv + Antena parabólica	120 W	5 h	600 Wh/dia
	Subtotal			807 Wh/dia

Fonte: Blue Sol (2014: 100)

A partir da ilustração acima, nota-se que multiplica-se a potência (Wh) do aparelho pelo tempo (h) de uso e pela respectiva quantidade (Qt) dos aparelhos, e assim obtêm-se o seu consumo eléctrico em Watts hora por dia (Wh/dia). Soma-se o consumo de todos os aparelhos e teremos o potencial eléctrico que o sistema fotovoltaico deverá fornecer às cargas (Subtotal). Blue Sol (2014: 100) afirma que ‘esse é o primeiro dado, e um dos mais importantes, para a concepção de um sistema fotovoltaico’.

b) Potência do Inversor

De acordo com Blue Sol (2014: 100) “Nesta etapa, procura-se saber a potência instantânea que o inversor deverá controlar, somando a potência dos aparelhos que serão ligados simultaneamente”. Seguindo o exemplo da tabela anterior, teremos:

Tabela 8: Potencia instantanea do Inversor

Qt	Descrição	Potência (Wh)
2	Lâmpadas na sala (fluorescente)	9 W
1	Lâmpada na cozinha (fluorescente)	9 W
3	Lâmpadas nos quartos (fluorescentes)	9 W
1	Tv + antena parabólica	120W
	Total	174 W

Fonte: Blue Sol (2014: 100)

Ainda sobre a potencia instantanea do que o inversor deve controlar Blue Sol (2014: 100) afirma que:

Os Inversores de corrente, têm sua máxima eficiência ao trabalho na faixa entre 50% e 70% da sua capacidade máxima, deve-se prever uma folga ao dimensionar o inversor. Na base dessa folga procura-se na lista de produtos o inversor correspondente e deve-se considerar um novo valor para a energia elétrica a ser gerada diariamente pelo sistema fotovoltaico (ED), que leve em conta o autoconsumo e a eficiência do inversor dividindo o valor encontrado anteriormente de energia (E) pelo valor da eficiência do inversor (η) em decimal.

$$ED = \frac{E}{\eta} \text{ (Wh/dia)}$$

Blue Sol (2014: 101) afirma que “o valor médio do Rendimento Global (R) de um sistema fotovoltaico autónomo é de 89% que é calculado mediante os fatores de perdas possíveis que envolvem desde a perda por conversão eletroquímica nas baterias até um factor de mau uso”.

Blue Sol (2014: 101) realça que “é relevante ter em conta o valor de tensão da parte corrente contínua (CC) do Inversor (V_i) e a autonomia ao nível da insolação local (N)”.

2.6.3. Painel Fotovoltaico

No dimensionamento do painel fotovoltaico Blue Sol (2014: 105) afirma que é importante relacionar o painel fotovoltaico e o(s) controlador(es) de carga a utilizar, de modo que:

Controladores com MPPT (*Seguidor do Ponto de Máxima Potência*) por possuírem um conversor DC/DC entre o painel fotovoltaico e o banco de baterias, conseguem aproveitar melhor a irradiância encontrando sempre o ponto de máxima potência (por isso o nome) e fornecem uma tensão constante com corrente variável, extraindo potências aplicáveis mesmo em situações de radiação abaixo do umbral. Controladores sem MPPT desperdiçam parte da energia solar nas primeiras e últimas horas do dia, bem como em períodos de baixa insolação. Como não se adaptam às condições de irradiância e temperatura

(como fazem os *MPPT's*) as irradiância abaixo do umbral não são suficientes para activar seus circuitos (no caso dos controladores mais sofisticados) ou vencer a barreira imposta pelos díodos internos de proteção, fazendo com que a energia convertida pelos módulos não seja aplicada às baterias. Além disso, a forma de actuação dos inversores menos sofisticados, que não sua grande maioria é do tipo série, provoca uma grande perda em relação à potência pico do painel fotovoltaico. Quando planeja-se um painel fotovoltaico para sistemas autônomos que possua um controlador de carga com *MPPT* considera-se a Energia que o Painel deve gerar (E_p) como sendo igual à Energia Real (ER) [$E_p = ER$]. Se o projeto não possuir um controlador de carga com *MPPT* devemos considerar que a Energia que o Painel deve Gerar (E_p) deve ser 90% superior que a Energia Real (ER) para compensar essas perdas (e outras) no controlador. (Blue Sol 2014: 105)

2.6.3.1. Cálculo e Configuração de elementos:

De acordo com Blue Sol (2014: 108) “nesta etapa do dimensionamento do sistema fotovoltaico autónomo, procura-se saber quantos módulos e qual a configuração será adequada ao painel solar do sistema fotovoltaico”.

É sempre importante considerar as características dos módulos para a construção do painel tais como tipo ou marca de potência pico (W_p), tensão nominal de trabalho (V_m), tensão em máxima potência (V_{mpp}), corrente em máxima potência (I_{mpp}), tensão em circuito aberto (V_{oc}) e corrente de curto-circuito (I_{sc}). (Blue Sol 2014: 109)

Blue Sol (2014: 109) afirma que “para alcançar a tensão de trabalho, associa-se os módulos em série¹⁶ e em paralelo. As equações a seguir são usadas para calcular a quantidade dos módulos em série (m_s) e módulos em paralelo respectivamente:

$$m_s = \frac{V_i}{V_m}$$

$$m_p = \frac{\frac{E_p}{V_i}}{0,9 \times I_{mp} \times HSP}$$

O número total de módulos (N_m) será o produto de módulos em série e módulos em paralelo:

$$N_m = m_s \times m_p$$

¹⁶ Módulos em série recebem o nome de Fileiras

Capítulo III

3. Metodologia

3.1. Tipo de investigação

- **Abordagem:** É uma pesquisa qual-quantitativo pois esta virada ao dimensionamento de uma central fotovoltaica, o que implica analisar a qualidade da energia a ser fornecida pela central pois consequentemente o número dos painéis solares que serão necessários (Quantidade).
- **Natureza:** É uma pesquisa aplicada pois tem por objectivo gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigido à solução de problemas específicos. Envolve verdades e interesses locais.
- **Objectivos:** Estudo de caso que procura estudar profunda e exaustivamente um ou poucos objetos, de modo que permita seu amplo e detalhado conhecimento.

3.2. Participantes

Os participantes envolvidos no Estudo do projecto do Sistema Fotovoltaico de Geração de energia eléctrica para ISUTE são membros da direcção e Funcionários do ISUTE;

3.3. Instrumentos

Os instrumentos a serem usados para a coleta de dados no presente projecto será:

- **Observação** - é um instrumento de colecta de dados que faz uso dos sentidos para obter determinados aspectos da realidade investigada; consiste em ver, ouvir e examinar fatos ou fenómenos que deseja investigar
- **Entrevistas** - técnica de obtenção de informações instantâneas realizada face a face ou por telefone, em que o investigador formula perguntas para conseguir dados para seu problema.
- **Câmara fotográfica** é o instrumento mais indicado para mostrar as imagens reais da realidade tratada.

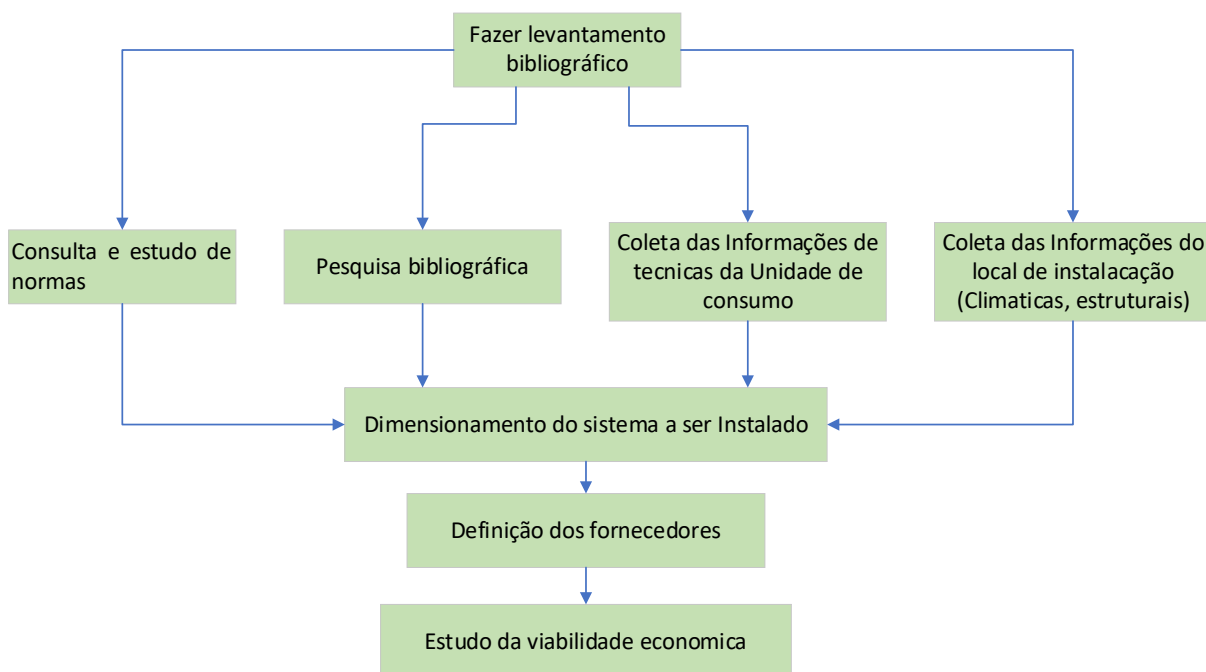
3.4. Procedimentos

Esta pesquisa recorreu primeiramente a Pesquisa Bibliográfica, que segundo Fonseca (2002). “é feita a partir do levantamento de referências teóricas já analisadas, e publicadas por meios

escritos e eletrônicos, como livros, artigos científicos, páginas de web sites” (Fonseca, 2002, p. 32). Depois numa segunda fase recorreu-se a Pesquisa do Campo em que segundo Fonseca “caracteriza-se pelas investigações em que, além da pesquisa bibliográfica e/ou documental, se realiza colecta de dados junto a pessoas, com o recurso de diferentes tipos de pesquisa (pesquisa ex-post-facto, pesquisa-ação, pesquisa participante, etc.)” (Fonseca, 2002). Importa especificar que o autor desta monografia é estudante desta instituição de ensino, facto que torna esta pesquisa a passar pelo procedimento da pesquisa participante pois este tipo de pesquisa “caracteriza-se pelo envolvimento e identificação do pesquisador com as pessoas investigadas” (Fonseca, 2002).

Os procedimentos a serem usados no presente projecto são resumidos no fluxograma.

Figura 15: Fluxograma dos procedimentos



Fonte: Autor

Capítulo IV

4. Apresentação de Dados

4.1. Apresentação dos participantes do estudo

Tabela 9: Funcionários de HCB que participaram na pesquisa

Nome de Participante	Gênero	Idade	Função
Arsenio Cardoso	M	55	Coordenador do ISUTE
Albertino Baulane	M	34	Técnico electricista
Oswaldo Carlos Bito	M	21	Estudante

Fonte: Carlos (2023)

4.2. Potência instalada nos blocos I e II

As tabelas 09 e 10 são apresentadas as cargas instaladas, suas respectivas potências e o seu tempo de uso.

Tabela 10: Potência Instalada no Bloco I

Descrição	Qtd	Potencia Unitária (W)	Potencia total (W)	Tempo de Uso (h)	Consumo Diário (Wh/Dia)
Lâmpadas LED de 18W	260	40	10400	7	72800
Tomada de uso geral	100	100	10000	8	8000
Tomada de uso específico (Ar Condicionado de 12BTU)	44	1100	48,400	12	580,800
Total			68,800		661,600

Fonte: Carlos (2023)

Tabela 11: Potência Instalada no Bloco II

Descrição	Qtd	Potencia Unitária (W)	Potencia total (W)	Tempo de Uso (h)	Consumo Diário (Wh/Dia)
Lâmpadas LED de 10W	676	20	13520	7	94640
Tomada de uso geral	90	100	9000	8	72000

Tomada de uso específico (Ar Condicionado de 18BTU)	14	3670	51380	12	616560
Tomada de uso específico (Ar Condicionado de 24BTU)	6	4350	26100	12	313200
Total			100,000		1,096,400

Fonte: Carlos (2023)

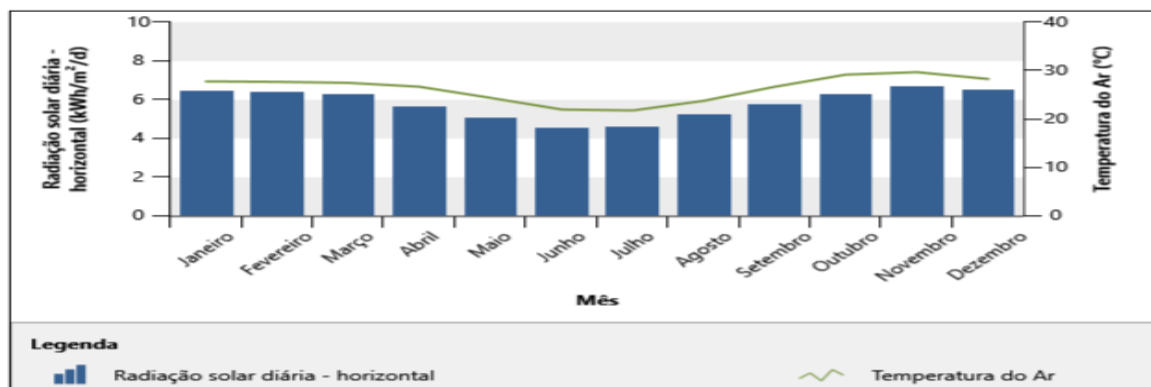
O somando da potência total e o consumo diário dos dois blocos terremos 168,8KW e 1,76MWh/dia.

A seguir estão apresentados os dados necessários para projectar o sistema:

Tabela 12: Dados climáticos.

	Unidade	Localização dos dados climáticos	Local das instalações
Nome		Moçambique - Tete	Moçambique
Latitude	°N	-16.2	-16.2
Longitude	°E	33.6	33.6
Zona climática		1A - Muito quente - Úmido	1A - Muito quente - Úmido
Elevação	m	123	123

Dados climáticos



Mês	Temperatura do Ar °C	Humidade relativa %	Precipitação mm	Radiação solar diária - horizontal kWh/m²/d	Pressão Atmosférica kPa	Velocidade do Vento m/s	Temperatura do Solo °C	Graus-dia para aquecimento °C-d	Refrigeração graus-dias °C-d
Janeiro	27.8	72.3%	229.34	6.46	99.3	3.3	26.0	0	552
Fevereiro	27.7	71.2%	160.37	6.43	99.3	3.2	25.9	0	496
Março	27.5	67.9%	111.98	6.27	99.5	3.3	26.0	0	543
Abril	26.7	58.7%	27.37	5.67	99.7	3.2	25.8	0	501
Maio	24.4	50.9%	8.45	5.07	100.0	3.2	24.5	0	446
Junho	22.0	50.7%	6.68	4.55	100.3	3.4	22.9	0	360
Julho	21.8	48.2%	9.05	4.61	100.3	3.6	23.4	0	366
Agosto	23.8	42.5%	5.08	5.27	100.1	3.9	26.3	0	428
Setembro	26.7	38.2%	6.60	5.79	99.8	4.4	30.3	0	501
Outubro	29.2	43.8%	10.27	6.27	99.6	4.6	31.7	0	595
Novembro	29.7	54.7%	72.13	6.70	99.4	4.4	30.2	0	591
Dezembro	28.3	69.7%	188.54	6.55	99.3	3.7	26.8	0	567
Anual	26.3	55.7%	835.86	5.80	99.7	3.7	26.6	0	5,945

Fonte: Carlos (2023)



Capítulo V

5. Análise de Dados

5.1. Proposta de Melhora do Sistema de Iluminação do Campus do ISUTE

O sistema proposto visa substituir as lâmpadas tubulares fluorescente do campus por lâmpadas tubular LED. Uma lâmpada fluorescente de 16W adicionado 4W da sua armadura tem-se um total de cada lâmpada 20W, estas serão substituídas por Master LED de 10W Como mostra a figura abaixo com a sua vantagem.

Tabela 13: Relação de Substituição de lâmpada fluorescente de 18W

	Tradicional	LED
		
	Fluorescente T8,T10 e T12	MASTER LEDtube
Potência	16W (T8) e 20W (T10/T12)	10W
Vida mediana	15.000h (16W) e 7.500h (20W)	40.000h
Temperatura de cor	4.000K ou 6.500K	4.000K ou 6.500K
Tensões disponíveis	Uso com reator	100-240V (multitensão)
Fluxo luminoso	1.070lm (16W) e 1.100lm (20W)	825lm
Base	G13	G13
Abertura de fecho		140°
Dimerizável	Sim	Não
Economia de energia		38% (16W) e 50% (20W) de economia
Aumento de vida		Dura 1,7 (16W) e 4,3 (20W) vezes mais

Philips (2022)

Uma lâmpada fluorescente de 32W adicionado 8W de seu reator tem-se um total de cada lâmpada 40W, estas serão substituídas por Master LED de 10W estas não necessitam de reator como mostra a figura abaixo com a sua vantagem.

Tabela 14: Tabela 5:Relação de Substituição de lâmpada fluorescente de 32W

Potência	32W (T8) e 40W (T10/T12)	19W
Vida mediana	15.000h (32W) e 7.500h (40W)	40.000h
Temperatura de cor	4.000K ou 6.500K	4.000K ou 6.500K
Tensões disponíveis	Uso com reator	100-240V (multitensão)
Fluxo luminoso	2.350lm (32W) e 2.600lm (40W)	1.650lm
Base	G13	G13
Abertura de fecho		140°
Dimerizável	Sim	Não
Economia de energia		41% (32W) e 53% (40W) de economia
Aumento de vida		Dura 1,7 (32W) e 4,3 (40W) vezes mais

Philips (2022)

Com a proposta de substituição das lâmpadas existentes por algumas de baixo consumo e alta eficiência teremos actualização das tabelas de cargas que podem ser vistas nas tabelas 16 e 17.

Tabela 15: Potência Instalada no Bloco I

Descrição	Qtd	Potencia Unitária (W)	Potencia total (W)	Tempo de Uso (h)	Consumo Diário (Wh/Dia)
Lâmpadas LED de 18W	260	18	4680	7	32760
Tomada de uso geral	100	100	10000	8	8000
Tomada de uso específico (Ar Condicionado de 12BTU)	44	1100	48,400	12	580,800
Total			63080		621560

Fonte: Carlos (2023)

Tabela 16: Potência Instalada no Bloco II

Descrição	Qtd	Potencia Unitária (W)	Potencia total (W)	Tempo de Uso (h)	Consumo Diário (Wh/Dia)
Lâmpadas LED de 10W	676	10	6760	7	47320
Tomada de uso geral	90	100	9000	8	72000
Tomada de uso específico (Ar Condicionado de 18BTU)	14	3670	51380	12	616560
Tomada de uso específico (Ar Condicionado de 24BTU)	6	4350	26100	12	313200
Total			93240		1049080

Fonte: Carlos (2023)

O somando da potência total actualizada e o consumo diário dos dois blocos teremos 156.32KW e 1,67MWh/dia.

Considerando o coeficiente de simultaneidade de 0.34 conforme as Regras Técnicas de Instalações Eléctricas de Baixa Tensão teremos a potência total dos dois blocos de 53.15KW e o consumo médio diário 0.57MWh/dia.

5.1. Dimensionamento do Sistemas Fotovoltaico para ISUTE

Neste capítulo faremos a análise dos dados recolhidos para esta pesquisa dimensionando o SFA para alimentar os blocos I e II do ISUTE. O dimensionamento consiste em determinar todos componentes do sistema desde geração até ao consumo.

5.1.1. Características do sistema fotovoltaico

a) Demanda média diária

De acordo com o levantamento de dados ilustrado no capítulo anterior nas tabelas 11 e 12, o sistema fotovoltaico em condições ideais deverá fornecer às cargas o potencial eléctrico de 53.15KW e o consumo médio diário 0.57MWh/dia.

b) Potência do inversor

Todos os aparelhos eléctricos instalados no ISUTE são de uso comum e funcionam em corrente alternada (CA) em 220 Volts a uma frequência de 50Hz. Portanto deverão ser conectados às baterias por intermédio de um Inversor de Corrente com saída em tensão e frequência correspondente.

Considerando a faixa de intervalo de maior eficiência do inversor, teremos:

- Com utilização de 80% da sua capacidade: $\frac{53.15KW}{0,7} \approx 75.93KW$ com folga de 30%
- Com utilização de 50% da sua capacidade: $\frac{53.15KW}{0,5} = 106.3KW$ com folga de 50%

Portanto, deve se escolher um inversor com potência entre 75.93KW e 106.3KW, com saída para 220-380V/50Hz, podemos escolher somar dois Inversores de 80KW do fabricante Canadian Solar com as seguintes características principais de cada inversor:

Tabela 17: Características do inversor 80KW

Máxima Potência Contínua	112,5 KW
Tensão de Saída CA	230/380 Volt
Número de MPPT (CC)	12
Tensão de Entrada MPPT (CC)	180 - 1000V
Eficiência Máxima	99%
Frequência	50/60Hz
Formato de onda	Sinodal modificado

Fonte: Adaptado do Canadian Solar (2023)

Figura 16: Inversor escolhido



Fonte: Canadian Solar (2023)

Tendo em consideração a eficiência máxima do inversor acima citado, o valor de energia a ser gerada pelos sistemas serão calculados pela equação 1:

$$ED = \frac{E}{\eta} = \frac{0.57 \text{ MWh/dia}}{0.99} \approx 0.576 \text{ MWh/dia}$$

O valor mostrado acima é o que deve chegar até os terminais dos inversores, em corrente alternada, e que será convertido em corrente contínua para a alimentação das cargas calculadas anteriormente.

5.1.3. Painel fotovoltaica

a) Disponibilidade solar

Analisando no que diz respeito a disponibilidade solar no PAM, verifica-se que é uma região com bom aproveitamento solar, pois analisando a partir do atlas da radiação solar do nosso país (ilustrado na tabela 13 do capítulo 4) podemos observar que a província de Tete é uma das províncias mais irradiadas do país, contendo esta na maioria da sua extensão uma radiação superior a 2000 KWh/m²/ano. Por sua vez a cidade de Tete segundo o atlas de radiação solar de Moçambique e fazendo analogias a partir do mapa podemos notar que o é um dos distritos com as melhores irradiações sendo a sua média varia entre 2025-2125 KWh/m²/ano, importa relembrar que de acordo com software RetScreen a radiação média anual é 5.80 KWh/m²/dia.

b) Cálculo e configuração de elementos

Para construir o painel fotovoltaico deste projecto utilizaremos módulos fotovoltaicos AS-M660-500W da marca Alicosolar. Esses módulos têm as seguintes características:

Tabela 18: Características dos Módulos RSM150-8-500M da RISEN

Potência máxima (pmax)	500W
Tolerância da saída	± 5%
Tensão de circuito aberto (voc)	51.00 V
Corrente de curto-circuito (isc)	12.50 A
Tensão máxima de potência (vmp)	42.45 V
Corrente de potência máxima (imp)	11.80 A
Eficiência da célula	20.30%
Número de células	150ces

Fonte: Adaptado do RISEN (2023)

Figura 17: Modulo fotovoltaico escolhido



Fonte: RISEN (2023)

A Potência média necessária que o painel deverá gerar é:

$$P_{CC} = \frac{ED/I_R}{R} = \frac{0.576/5.8}{0.89} = 0.112MW = 112KW_P$$

A quantidade total dos módulos fotovoltaicos e sua associação será:

$$Nm_{B1} = \frac{P_{CC}}{P_m} = \frac{112000}{500} = 224 \text{ módulos}$$

Como um inversor de 80KW com um total de 12 pares de entradas de MPPT, cada par será alimentado por 19 módulos em série

Para alcançar a tensão de trabalho de cada MPPT, associaremos módulos em série e em paralelo para estabilizar a corrente necessária.

Dados técnicos:

1. Tensão de Circuito aberto (V_{oc}) = 51.00V e Tensão máx. de ent. = 1000 V

$V_{oc(ent)} = 19 \times 51.00 = 969 \text{ V} < V_{max}$, não ultrapassou o limite de entrada, portanto:

2. Tensão de máxima = 42.45 V V e $V_{mpp} = 685 \text{ a } 850 \text{ V}$

$V_{mpp} = 19 \times 42.45 = 806.55 \text{ V}$, está dentro do V_{mpp} do inversor escolhido

3. Potência da Placa = 265W e Máxima Pot. por MPPT = 17000W

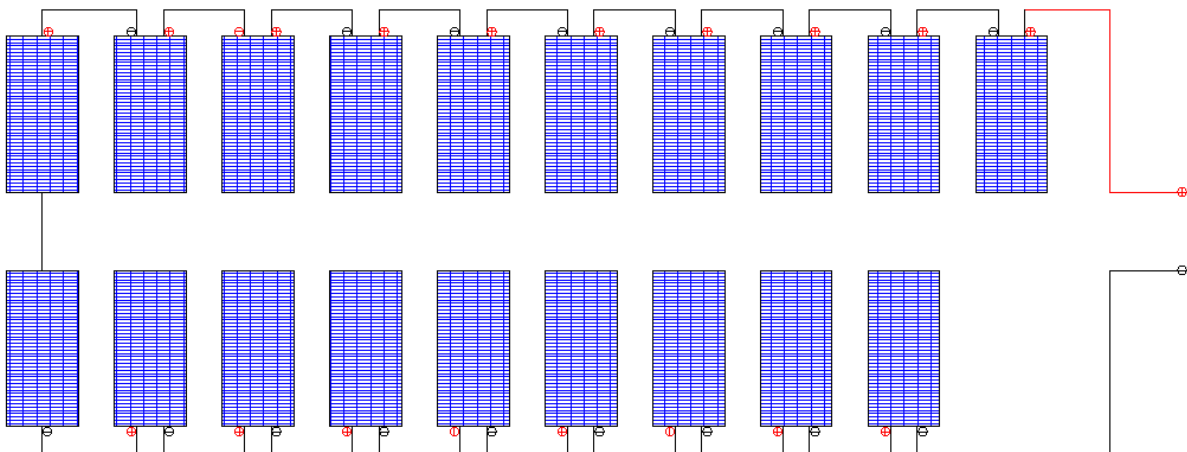
$P_{MPPT} = 19 \times 500 = 9500\text{W}$, não trapassou a Potência máxima de entrada em cada MPPT

4. Corrente de curto circuito (I_{sc}) = 12.50A e Corrente máxima por string (CC) = 13 A

String 1 (MPPT1) $I_{sc} = 12.50\text{A} < 13 \text{ A}$, logo está dentro do parâmetro do inversor

Portanto, o painel fotovoltaico será composto por 228 módulos fotovoltaicos RSM150-8-500M da marca RISEN, inclinados em 24° e orientado para o Norte geográfico, em Tete e serão associados em 19 módulos por par.

Figura 18: Representação esquemática do painel fotovoltaico em cada par ou *String*



Fonte: Carlos (2023)

O painel fotovoltaico gerará um potencial energético variável, de acordo à Irradiação Solar incidente. Em meses de maior irradiação, o potencial será maior, as baterias serão carregadas mais rapidamente, e o excedente de energia pode ser inserida na rede para posterior solicitação.

5.2. Análise económica

5.2.1. Cálculo de estimativa de energia a ser produzida pelos painéis

Sabe-se que Cidade de Tete está na latitude (S) 16,2° e longitude (E) 33,6° e que possui uma irradiação diária solar média nos últimos 4 anos dada na tabela 6, para superfícies horizontais em kWh/m²/dia. É importante ressaltar a aleatoriedade da radiação solar (Lorenzo, 2004), por mais que se obtenha dados sobre o comportamento da radiação, não se pode assegurar a repetição desse comportamento no futuro, tendo em conta a influência de factores como mudanças climáticas, aumento de emissão de gases poluentes.

Deve-se ter em conta que a média anual de irradiação no plano inclinado é superior à do plano horizontal pois a inclinação dos módulos em um angulo igual ao da latitude do local de instalação proporciona uma maior produção de energia para sistemas conectados à rede eléctrica de distribuição. Para os nossos cálculos usaremos os valores do plano horizontal obtendo assim os valores mínimos possíveis de produção.

A energia passível de ser produzida, medida em kWh, foi calculada utilizando-se a equação a seguir.

$$Eg = P \times HSP \times \eta_{cc/ca}$$

Onde:

Eg – Energia produzida pelo gerador fotovoltaico, em kWh.

HSP – número de Horas de Sol Pleno em média diária a uma intensidade de 1000W/m²; é equivalente a energia total diário incidente sobre a superfície do gerador em kWh/m², dado em horas.

$\eta_{cc/ca}$ – Rendimento do inversor de corrente continua para corrente alterna.

Na tabela a seguir são apresentados os valores que se estima obter com essa instalação fotovoltaica.

Tabela 19: Cálculo mensal da energia produzida por meio do sistema de 15kWp com módulos fotovoltaicos

Mês	Dias	Potência instalada (kWp)	Irradiação solar (kWh/m²)	Rendimento do inversor 90%	Energia mensal produzida (kWh)
Janeiro	31	112	6.46	0.99	22204.8288
Fevereiro	28	112	6.43	0.99	19962.8352
Março	31	112	6.27	0.99	21551.7456
Abril	30	112	5.67	0.99	18860.688
Mai	31	112	5.07	0.99	17427.0096
Junho	30	112	4.55	0.99	15135.12
Julho	31	112	4.61	0.99	15845.8608
Agosto	31	112	5.27	0.99	18114.4656
Setembro	30	112	5.79	0.99	19259.856
Outubro	31	112	6.27	0.99	21551.7456
Novembro	30	112	6.7	0.99	22286.88
Dezembro	31	112	6.55	0.99	22514.184
Total					234715.2192

Fonte: Carlos (2023)

Com base nesses cálculos, o sistema fotovoltaico irá produzir anualmente 234715.22kWh. A partir dos dados da tabela acima pode se afirmar que a produção diária média anual é de 643.05kWh/dia. Esse valor é conhecido como a produtividade diária do sistema.

5.2.2. Cálculo de Energia economizada

Como a alimentação eléctrica, convencional é feita em baixa tensão trifásica, a tarifa que é empregada é a geral e o tarifário não é fixo como apresenta a tabela 21, portanto a energia economizada durante um ano será calculada somando os três tarifários representadas na tabela a seguir:

Tabela 20: Dados de carga consumo da estação

Meses	Energia produzida pelo SFV (kWh)	Tarifa 1 (8,24Mtn/KWh)
Janeiro	22204.8288	106139.08
Fevereiro	19962.8352	95422.352
Março	21551.7456	103017.34
Abril	18860.688	90154.089
Maiο	17427.0096	83301.106
Junho	15135.12	72345.874
Julho	15845.8608	75743.215
Agosto	18114.4656	86587.146
Setembro	19259.856	92062.112
Outubro	21551.7456	103017.34
Novembro	22286.88	106531.29
Dezembro	22514.184	107617.8
Total	234715.2192	1121938.7

Fonte: Carlos (2023)

Assim o valor total anualmente economizado (Valor eco(Mtn)) durante um ano será:

Valor eco(Mt)= 1121938.7Mt

5.2.3. Gastos de instalação

A parte da construção civil, deve-se apenas ampliar o alpendre já existente.

A mão de obra será reduzida porque também tem a possibilidade de usar-se o pessoal qualificado pertencente a empresa.

Tabela 21: Custo Aproximado do Sistema Fotovoltaico

Custos do Sistema Fotovoltaico Conectado a Rede			
Descrição dos componentes	Quantidade	P. Unit	Valor Total
Painéis solares	224	19,305.00	4,324,320.00
Inversor	1	491,991.40	491,991.40
Contador bidimensional	1	50,000.00	50,000.00
Outros materiais eléctricos ¹	1	545,000.00	545,000.00
Estrutura de alumínio	1	345,000.00	345,000.00
Mão-de-obra	4	30,000.00	120,000.00
Total			5,876,311.40

Fonte: Carlos (2023)

¹Incluem parafusos, porcas, braçadeiras, cabos, fios, terminais, fusíveis, disjuntores, descarregadores, etc.

5.2.4. Tempo de retorno do investimento

Para o presente trabalho, a análise económica estará centrada apenas no cálculo do período de retorno simples (PRS) que mede o prazo necessário para recuperar o investimento realizado, resultando da relação entre o investimento inicial em eficiência energética e as económicas de energia obtidas a cada ano e é dada por:

$$PRS = \frac{\textit{investimento inicial (Mtn)}}{\textit{economias por ano (Mtn)}} = \textit{retorno do investimento (em anos)}$$

O valor do PRS será:

$$PRS = \frac{5,876,311.40}{1,121,938.7} = 5.3 \textit{ anos}$$

Com esse resultado vê-se que o investimento feito no sistema fotovoltaico paga-se durante a vida útil prevista para o sistema que é de 30 anos, apesar do cálculo não considerar o valor do dinheiro no tempo, ou seja, o custo do capital.

Aplicando o sistema fotovoltaico conectado à rede eléctrica com vista a alimentar os blocos I e II tendo em conta que a radiação solar diária que foi aplicada para os cálculos é a horizontal

que é de 5,8kWh/m²/dia e não a radiação inclinada conforme a latitude do local que para os SFCR oferecem maior ganho, espera-se que os painéis solares montados produzam 234715.22kWh, de energia eléctrica anual, reduzindo assim a compra de energia da rede publica em cerca de 1,121,938.70Mt, por ano sem incluir o imposto sobre o valor acrescentado (IVA) que corresponde a 17% de 62% do valor do consumo de energia.

No que tange ao investimento do capital inicial que é de 5,876,311.40, analisando o período de retorno simples espera-se que o retorno de capital seja em 5,3 anos, favorecendo deste modo a montagem desse sistema visto que a vida útil é muito maior que o tempo de retorno do capital.

Capítulo VI

6. Conclusão e Recomendações

6.1. Conclusões

Diante do problema de crescente demanda por energia elétrica no ISUTE, que resulta em faturas elevadas e custos operacionais aumentados, este estudo buscou investigar a viabilidade da instalação de um Sistema Fotovoltaico para reduzir essas despesas energéticas. Com base nos objectivos específicos e geral propostos, assim como na hipótese alternativa H1, podemos chegar a conclusões importantes.

O objectivo geral deste trabalho era desenvolver uma proposta de Central Fotovoltaica para o ISUTE, e os objectivos específicos incluíram levantar as cargas e dados necessários para o dimensionamento da central, dimensionar a Central Fotovoltaica e demonstrar sua viabilidade econômica. Com base em nossa análise, podemos concluir que esses objectivos foram alcançados com sucesso.

A hipótese alternativa (H1) formulada neste estudo sugere que a instalação de uma Central Fotovoltaica será viável para reduzir as faturas de consumo energético do ISUTE e contribuirá para a realocação dos recursos financeiros visando à melhoria da qualidade de ensino. Após análise dos dados e cálculos, podemos afirmar que essa hipótese foi confirmada. A instalação de um sistema fotovoltaico é uma solução sustentável que reduzirá significativamente os custos de energia da instituição, liberando recursos para investimento em qualidade de ensino.

Portanto, com base na pesquisa realizada, é possível concluir que a proposta de instalação de uma Central Fotovoltaica de Geração de Energia Elétrica no ISUTE é não apenas viável do ponto de vista técnico e econômico, mas também representa uma solução promissora para a redução das despesas de energia elétrica da instituição e o redirecionamento desses recursos para melhorar a qualidade do ensino. Este estudo destaca a importância das energias renováveis e sua aplicação prática em instituições educacionais, contribuindo para um ambiente mais sustentável e eficiente.

6.2. Recomendações

Recomenda-se o estudo ou redimensionamento de sistemas similares para os blocos III e laboratórios de mecânica e edifício do lar dos estudantes porque a proposta actual não é capaz de suportar estas cargas.

Referências

- [1] ABNT. (2004). Instalações Eléctricas de Baixa Tensão. Rio de Janeiro.
- [2] Alves, D. L. (2016). Geração Solar Fotovoltaica: Conceitos Básicos. Brasília.
- [3] Blue Sol. (2014). Os sistemas de energia solar fotovoltaica. In R. d. Souza, Os sistemas de energia solar fotovoltaica (p. 20). São Paulo: Luiz Rafael Passar.
- [4] Braga, R. P. (2008). Energia Solar Fotovoltaico: Fundamentos e Aplicação . Rio de Janeiro RJ-Brasil 2008 .
- [5] Carneiro, J. (2009). Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos. Campus de Azurém: Guimarães.
- [6] CASTRO, R. M. (2008). Introdução à Energia Fotovoltaica. Lisboa.
- [7] CERAGIOLI, P. C. (1997). Manual de Energia Solar Fotovoltaica.
- [8] Duffie, J. A. (1991). Solar Engineering Of Thermal Process. N.Y: 2nd Ed., Wiley.
- [9] Electrobras. (2016). Energia Solar Aplicada aos Centros Comunitários de Produção . Rio de Janeiro: Copyright .
- [10] Fadigas, E. A. (1993). Dimensionamento de fontes fotovoltaicas e eólicas com base no índice de perda de suprimento e sua aplicação para atendimento à localidades isoladas. São Paulo: Escola Politécnica.
- [11] Fadigas, E. A. (2006). Energia Solar Fotovoltaica : Fundamentos, Conversão e Viabilidade técnico-econômica. Sao Paulo: GEPEA.
- [12] FONSECA, J. J. (2002). Metodologia da pesquisa científica. Fortaleza: UEC APOSTILA.
- [13] GREENPRO. (2004). Energia Fotovoltaica: Manual sobre tecnologias, Projcto e Instalacao.
- [14] GTES. (2014). Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. (Edição Revistada e Actualizada ed.). Rio de Janeiro: CEPEL-CRESESB.
- [15] J.CHAPMAN, S. (2013). Fundamentos de máquinas elétricas. Porto alegre: Amgh.
- [16] Moraes, Caio (2020). Sistemas Fotovoltaicos, Tecnologias. Disponível em: <https://eletronicadepotencia.com/celula-fotovoltaica/> Consultado em 10-04-2022.
- [17] NASCIMENTO, C. (2004). Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica. Lavras – Minas Gerais: UFLA.
- [18] Ovelha, R. M. (2017). Projeto, Dimensionamento e Instalação de Solução Fotovoltaica em moradia offgride. Lisboa.

- [19] Pinho, J. T., & Pinho, J. T. (2014). Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro: CEPEL – CRESESB.
- [20] Ribeiro, R. P. (2016). Estudo de caso: Dimensionamento de um sistema fotovoltaico residencial. Araxá.: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG.
- [21] Ruther, R. e. (2006). Atlas Brasileiro de Energia Solar. São José dos Campos: INPE.
- [22] Siqueira, A. F. (2016). Estudo De Implantação De Um Sistema Fotovoltaico Conectado A Rede (Sfvc) Na Câmara Municipal De São José Dos Pinhais. Curitiba.
- [23] Souza, R. d. (2014). Os Sistemas de energia solar fotovoltaica. Ribeirão Preto - SP: Blue Sol Energia Solar.
- [24] Trivinos, A. N. (1987). Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação. São Paulo: Atlas.
- [25] Zilles, R., Macêdo, W. N., Galhardo, M. A., & Oliveira, S. H. (2016). Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede. São Paulo: Oficina de textos.

Apêndice I: Termo de Consentimento

Você está sendo convidado(a) para participar, como voluntário(a), em uma pesquisa científica, sobre “Proposta de Sistema Fotovoltaico de Geração de energia eléctrica para ISUTE-2º Semestre - 2022”

Após ser esclarecido (a) sobre as informações a seguir, no caso de aceitar fazer parte do estudo, ao final deste documento irá responder um questionário. Em caso de recusa você não será penalizado (a) de forma alguma. Em caso de dúvida você pode procurar a direção do ISUTE pelo número: +258822813003

INFORMAÇÕES DA PESQUISA:

Esta pesquisa tem como tema: “Proposta de Sistema Fotovoltaico de Geração de energia eléctrica para ISUTE-2º Semestre - 2022”

Orientador do trabalho: Lic. Ajofre Francisco Companhia

Telefone para contacto: 86/847670111

Pesquisador/ Estudante: Augusto Bito Carlos

Telefone para contacto: 849485480

O trabalho tem como objectivo: Desenvolver uma Proposta de Central Fotovoltaica de Geração de energia eléctrica para ISUTE; a pesquisa será efectuada através de observação directa, visita de campo usando as técnicas e instrumentos para a coleta de dados. O pesquisador, se compromete em não divulgar informações dadas pelos entrevistados que retirarem o consentimento do questionário em todo o decorrer da pesquisa; que nesse caso, o entrevistado poderá retirar o consentimento a qualquer tempo durante o período supracitado, e, quando a informação for mantida, será sob sigilo total do entrevistado.

Caso aceite participar, responda o questionário a seguir:

Apêndice II: Questionário

Desenvolvimento de um Proposta de Central Fotovoltaica de Geração de energia eléctrica para ISUTE

Identificação:

Nome Completo:

_____ Profissão: _____

Área ocupada na Instituição:

Data da entrevista: ____/____/____

Questões:

1 – Qual é consumo médio mensal de energia eléctrica?

2 – Qual é potência total solicitada para suprir a demanda de energia?

3 – Qual é potência total do bloco 1 e 2?

4 – Qual é a sua opinião na ideia de implementar um sistema solar *On grid* para alimentar cargas do bloco 1 e 2?

5 – Na sua óptica o sistema deve ser projectado para cargas leves (lâmpadas e computadores) ou todas as cargas incluindo ar condicionados?

6 Qual(ais) é/são a(s) hora(s) de pico(s) de consumos?

Anexos