

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM
ENGENHARIA ELÉTRICA - ELETRÔNICA

LUCAS ANDREY DOS SANTOS

**ANÁLISE DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA
SUPRIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA EM UMA ESCOLA
MUNICIPAL INDIGENA NA ZONA RIBEIRINHA EM PLENA
REGIÃO AMAZÔNICA**

MANAUS
2022

LUCAS ANDREY DOS SANTOS

**ANÁLISE DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA
SUPRIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA EM UMA ESCOLA
MUNICIPAL INDIGENA NA ZONA RIBEIRINHA EM PLENA
REGIÃO AMAZÔNICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito final para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica Eletrônica pela Faculdade de Tecnologia da Universidade Federal do Amazonas.

Orientador: Prof. Dr. Renan Landau Paiva de Medeiros

MANAUS

2022

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S237a Santos, Lucas Andrey dos
Análise de um sistema fotovoltaico para suprimento de energia elétrica em uma escola municipal indígena na zona ribeirinha em plena região amazônica / Lucas Andrey dos Santos . 2022
96 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Renan Landau Paiva de Medeiros
TCC de Graduação (Engenharia Elétrica - Eletrônica) -
Universidade Federal do Amazonas.

1. Sistema fotovoltaico. 2. Energia elétrica. 3. Viabilidade técnico-financeira. 4. Energia solar. I. Medeiros, Renan Landau Paiva de. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

LUCAS ANDREY DOS SANTOS

**ANÁLISE DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA
SUPRIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA EM UMA ESCOLA
MUNICIPAL INDIGENA NA ZONA RIBEIRINHA EM PLENA
REGIÃO AMAZÔNICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito final para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica Eletrônica pela Faculdade de Tecnologia da Universidade Federal do Amazonas.

Manaus, 29 de Abril de 2022.

Prof. Dr. Renan Landau Paiva de Medeiros
Orientador

Prof. Dr. Florindo Antonio de Carvalho Ayres Junior
Membro da Banca

Prof. MSc. Rafael da Silva Mendonça
Membro da Banca

MANAUS

2022

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado graça da vida, por ter me dado esperança de dias melhores, por me dar sabedoria para enfrentar os desafios diários;

A minha mãe, Maria Aparecida, por sempre me incentivar, cobrar, por me dar amor e carinho, sempre acreditar em mim e dedico esse trabalho a ela também por toda garra, força;

A meus tios Neves e Evandro, por todos os ensinamentos, pelas lições, por toda ajuda nessa longa trajetória até aqui;

A minha namorada e futura esposa Jhébica, por todo incentivo, pela paciência, por todo amor e carinho dado;

Ao meu orientador, por todas as orientações passadas até a conclusão deste trabalho, pela paciência e a todos os ensinamentos;

Aos meus amigos, por todo incentivo e por acreditarem em mim;

À UFAM, por fornecer a estrutura adequada para me fazer chegar até aqui;

À SEMED, ao Departamento de Engenharia, ao Geoprocessamento/SEMED por proporcionarem diversos ensinamentos para minha graduação, experiências e bons momentos.

RESUMO

No Brasil a crise energética é uma característica séria em termos de preservação do meio ambiente e de uso da utilização de energia não renováveis e com isso a preocupação do Brasil em diversificar a matriz energética, observando como principal composição de geração de energia elétrica. A utilização de sistemas fotovoltaicos é de grande incidência e de grande potencial no país, que é considerado um território que possui abundância em radiação solar. Este trabalho é importante diante da problemática de escassez de energia elétrica mediante aos problemas de logística e enfrentamento de burocracias em relação as comunidades indígenas ribeirinhas dentro de um contexto histórico e cultural. O trabalho é um estudo de caso, realizando uma análise específica de viabilidade técnico-econômica da implantação de um sistema voltaico na Escola Municipal Kanata T-Ykua de nível fundamental, localizado na Comunidade Indígena Três Unidos, na zona ribeirinha do Rio Negro na cidade de Manaus/AM. Este projeto por sua vez, tem como objetivo suprir a demanda de energia elétrica da escola supracitada. Os resultados foram proveitosos e positivos em relação ao custo-benefício e seu tempo de retorno em anos de vida útil de um sistema fotovoltaico, que além de recuperar o investimento inicial em 8 anos após a sua implantação e com o custo de vida das placas solares de 25 anos, gerando um crédito de energia para secretaria de educação que demanda a escola.

Palavras-Chave: Sistemas Fotovoltaicos, Energia Elétrica, Energia Solar.

ABSTRACT

It is evident in Brazil that the energy crisis is a serious feature in terms of preserving the environment and the use of non-renewable energy and with that Brazil's concern to diversify the energy matrix, observing as the main composition of electric energy generation. The use of photovoltaic systems is of great incidence and great potential in the country, which is considered a territory of abundance in solar radiation. This Course Completion Work (TCC) is being important in the face of the problem and the universe of electric energy that is considered scarce due to the problems of logistics and facing bureaucracy in relation to the riverside indigenous communities within a historical and cultural context. The work is a case study and a specific analysis of the technical-economic feasibility of the implementation of a voltage system at the elementary level Kanata T-Ykua Municipal School, located in the Três Unidos Indigenous Community, in the riverside area of Rio Negro in the city of Manaus/AM.E with the objective of supplying the electric energy demand of the aforementioned school. The results were beneficial and positive in terms of cost-effectiveness and its payback time in years of useful life of a photovoltaic system that, in addition to recovering the initial investment in 8 years after its implementation and with the lifetime cost of solar panels of 25 years, generating an energy credit for the education department that the school demands.

Keywords: Photovoltaic Systems, Electric Energy, Solar Energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Planimetria georreferenciada da escola.....	19
Figura 2: Localização aérea feita por drone da escola.....	20
Figura 3: Radiação solar.....	22
Figura 4: Linha do zênite e ângulo zenital	23
Figura 5: Linha do zênite e ângulo zenital	24
Figura 6: Linhas paralelas dividem o globo terrestre em zonas tropicais e temperadas	25
Figura 7: Características da radiação solar para as massas de ar AM0, AM1 e AM1,5	26
Figura 8: Energia solar captada ao longo do ano com diferentes inclinações.....	27
Figura 9: O ângulo azimutal é o ângulo de incidência dos raios solares em relação ao norte geográfico	27
Figura 10: A posição do sol é definida pelos ângulos azimutal, zenital e da altura solar	28
Figura 11: A radiação global é a soma das radiações direta e difusa	29
Figura 12: Perfil da irradiância solar ao longo de um dia	30
Figura 13: Grandeza de insolação	31
Figura 14: Mapa de insolação do território brasileira.....	32
Figura 15: Componentes de um módulo fotovoltaico	34
Figura 16: Conexões elétricas em série das células fotovoltaicas de um módulo.....	35
Figura 17: A altura da haste de suporte do módulo determina o ângulo de inclinação.....	39
Figura 18: Postes de iluminação autônomos alimentados por módulos fotovoltaicos	40
Figura 19: Módulo fotovoltaico e seus componentes.....	41
Figura 20: Modos de conexões dos bancos de baterias.....	42
Figura 21: Aspecto de uma bateria estacionária de chumbo ácido com eletrólito líquido.....	44
Figura 22: Aspecto de uma bateria de chumbo ácido com eletrólito em gel.....	45
Figura 23: Bateria AGM de ciclo profundo	46
Figura 24: Controlador de carga para sistema fotovoltaico.....	48
Figura 25: Modo de utilização de um controlador de carga.....	50
Figura 26: Estrutura de um controlador de carga com chave série	51
Figura 27: Estrutura de um controlador de carga com chave paralela	52
Figura 28: Controlador de carga eletrônico PWM	53
Figura 29: Circuito eletrônico básico do inversor CC-CA	54

Figura 30: Funcionamento do inversor CC-CA	55
Figura 31: Conexões elétricas do inversor CC-CA	56
Figura 32: Funcionamento do inversor PWM de onda senoidal pura	60
Figura 33: Inversores de onda senoidal pura para sistemas fotovoltaicos autônomos	60
Figura 34: Inversores de onda senoidal pura com recurso de operação interativa com a rede	61
Figura 35: Inversor interativo com a rede efetuando o carregamento da bateria na presença da conexão com a rede elétrica.....	61
Figura 36: Inversor interativo com a rede efetuando o carregamento da bateria sem a presença da conexão com a rede elétrica.....	62
Figura 37: Módulos de 120 células	63
Figura 38: Organização de um sistema fotovoltaico autônomo para a alimentação de consumidores em corrente alternada	64
Figura 39: Sistema fotovoltaico para alimentação de cargas em corrente contínua.....	65
Figura 40: Bomba para poço	66
Figura 41: Inversores de onda senoidal pura para sistemas fotovoltaicos autônomos de alta potência da linha Sunny Island	67
Figura 42: Sistema de alimentação autônomo para residência.....	67
Figura 43: Sistema de alimentação autônomo híbrido para residência	68
Figura 44: Sistema de alimentação autônomo híbrido para residência com dois inversores Sunny Island em paralelo.....	68
Figura 45: Sistema de alimentação autônomo híbrido para residência com inversores Sunny Island em ligação trifásica	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comparação da eficiência das diversas tecnologias de células fotovoltaicas	37
Tabela 2: Correção do ângulo de inclinação do módulo fotovoltaico	38
Tabela 3: Principais características de uma bateria estacionária de chumbo ácido.....	48
Tabela 4: Resumo dos indicadores econômicos	74
Tabela 5: Planilha de dimensionamento de levantamento de cargas.....	81
Tabela 6: Grau de inclinação módulo solar	82
Tabela 7: Dados de entrada	82
Tabela 8: Método da insolação e método da corrente máxima do módulo	83
Tabela 9: Dimensionamento do banco de Baterias	84
Tabela 10: Dimensionamento da quantidade de Módulos Solares.....	84
Tabela 11: Dimensionamento do Controlador de Carga e Inversor	85
Tabela 12: Orçamento	88
Tabela 14: Resultados de Viabilidade	89
Tabela 13: Análise do tempo de retorno do investimento	90

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Curva característica de uma placa solar	36
Gráfico 2: Exemplo de vida útil de bateria.....	47
Gráfico 3: Operação do módulo fotovoltaico com e sem recurso de um controlador MPPT ..	53
Gráfico 4: Forma de Onda na saída inversor.....	55
Gráfico 5: Onda senoidal pura e modificada	59
Gráfico 6: Tempo de Payback	91

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABNT - Associação Brasileira de Normas técnicas

AM - Air Mass

°C - Celsius

CA - Corrente Alternada

CC – Corrente Contínua

CNU = Custos uniformes

Cos - Cosseno

DET- Departamento de Engenharia e Transporte

H = Hora

Hz - Hertz

ICS - Ponto de corrente de curto-circuito

IL - Índice de Lucratividade

I - Corrente Elétrica

M - Metro

M²= Metro quadrado

MPPT- Maximum Power Point Tracking

NiCd - Níquel-Cádmio

NiMH - Níquel-metal-Hidreto

NOCT - Temperatura normal de operação da célula

Pmp - Ponto de máxima potência

PWM- Controlador de carga eletrônico

STC- Condição padrão de teste

T₁, T₂, T₃, T₄ - Transistores

Taxa Interna de Retorno -TIR

Tempo de Retorno de Investimento – *Payback*

Valor presente Líquido-VPL

Vmp - Tensão de máxima potência

VOC - Ponto de tensão de circuito aberto

VRLA

V-Volt

W-Watts

Θ - Teta

γ_s - Altura do ângulo solar

Sumário

1. INTRODUÇÃO	18
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO.....	18
1.2 OBJETIVO GERAL	19
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
1.4 METODOLOGIA	19
1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	20
2. CONCEITOS DE ENERGIA SOLAR	22
2.1 INTRODUÇÃO	22
2.2 MASSAS DE AR.....	23
2.3 MOVIMENTAÇÃO RELATIVA DO SOL.....	26
2.3.1 <i>Estações do ano</i>	26
2.3.2 <i>Ângulo azimutal</i>	27
2.3.3 <i>Altura solar</i>	28
2.4 TIPOS DE RADIAÇÃO SOLAR.....	28
2.5 UNIDADES DE MEDIDA EM ENERGIA SOLAR	30
2.5.1 <i>Irradiância</i>	30
2.5.2 <i>Insolação</i>	31
2.6 EFEITO FOTOVOLTAICO.....	32
2.7 CONCLUSÃO	33
3. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	34
3.1. INTRODUÇÃO	34
3.2. CURVAS CARACTERÍSTICAS DE CORRENTE, TENSÃO E POTÊNCIA	35
3.3. CARACTERÍSTICAS DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS COMERCIAIS	36
3.4. TECNOLOGIAS UTILIZADAS NO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	37
3.5. REGRAS BÁSICAS PARA AUXILIAR A ORIENTAÇÃO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	38
3.6. CONCLUSÃO	39

4. DESENVOLVIMENTOS DE PROJETOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ISOLADOS	40
4.1. INTRODUÇÃO	40
4.2. COMPONENTES DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÔNOMO.....	41
4.3. BATERIAS	42
4.3.1. Banco de baterias	42
4.3.2. Tipos de baterias.....	43
4.3.2.1. Bateria de chumbo ácido estacionária com eletrólito líquido	43
4.3.2.2. Bateria de chumbo ácido com eletrólito em gel	45
4.3.2.3. Baterias de NiCd e NiMH.....	45
4.3.2.4. Bateria AGM	46
4.3.3. Baterias de ciclo profundo.....	46
4.3.4. Vida útil da bateria	46
4.3.5. Características das baterias estacionárias de chumbo ácido	47
4.4. CONTROLADOR DE CARGA	48
4.4.1. Funções do controlador de carga.....	49
4.4.1.1. Proteção de sobrecarga	49
4.4.1.2. Proteção de descarga excessiva	49
4.4.1.3. Gerenciamento de carga de bateria	49
4.4.1.4. Estágio de carregamento pesado	49
4.4.1.5. Estágio de absorção	49
4.4.1.6. Estágio de flutuação	50
4.4.2. Modo de utilização do controlador de carga	50
4.4.3. Principais tipos de controladores de carga.....	51
4.4.3.1. Convencionais	51
4.4.3.2. Controlador com chave série	51
4.4.3.3. Controlador com chave paralela.....	52

4.4.3.4.	<i>Controlador eletrônico com PWM</i>	52
4.4.3.5.	<i>Controlador eletrônico com PWM e MPPT</i>	53
4.5.	INVERSOR	54
4.6.	PRINCÍPIO DO FUNCIONAMENTO	54
4.6.1.	<i>Modo de conexão</i>	56
4.6.2.	<i>Características principais dos inversores</i>	56
4.6.2.1.	<i>Potência nominal</i>	57
4.6.2.2.	<i>Potência máxima</i>	57
4.6.2.3.	<i>Tensão de entrada CC</i>	57
4.6.2.4.	<i>Tensão de saída CA</i>	57
4.6.2.5.	<i>Frequência de saída</i>	57
4.6.2.6.	<i>Regulação de tensão</i>	58
4.6.2.7.	<i>Eficiência</i>	58
4.6.2.8.	<i>Forma de onda de saída</i>	58
4.6.2.9.	<i>Distorção harmônica</i>	58
4.6.2.10.	<i>Proteção de curto-circuito</i>	58
4.6.2.11.	<i>Proteção de reversão de polaridade</i>	58
4.6.3.	<i>Tipos de inversores</i>	59
4.6.3.1.	<i>Inversores de onda quadrada e de onda senoidal modificada</i>	59
4.6.3.2.	<i>Inversor PWM de onda senoidal pura</i>	59
4.6.3.3.	<i>Inversores interativos com a rede</i>	60
4.7.	MÓDULOS FOTOVOLTAICOS PARA SISTEMAS AUTÔNOMOS	62
5.	ORGANIZAÇÃO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÔNOMO	64
5.1.	SISTEMAS PARA ALIMENTAÇÃO DE CONSUMIDORES EM CORRENTE ALTERNADA	64
5.2.	SISTEMAS PARA ALIMENTAÇÃO DE CONSUMIDORES EM CORRENTE CONTÍNUA	65
5.3.	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÔNOMOS DE GRANDE PORTE	66

5.4. CÁLCULO DE ENERGIA PRODUZIDA PELOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	
69	
5.4.1. Método da insolação.....	69
5.4.1.1. Levantamento das características do módulo	69
5.4.1.2. Método da corrente máxima do módulo.....	70
5.5. DIMENSIONAMENTO DO BANCO DE BATERIAS	71
5.5.1. Número de baterias em série	71
5.5.2. Número de baterias em paralelo	72
5.6. LEVANTAMENTO DO CONSUMO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÔNOMO.....	73
5.7. ANÁLISE ECONÔMICA	74
5.7.1. Valor presente líquido-VPL.....	75
5.7.2. Índice de Lucratividade - IL	76
5.7.3. Taxa Interna de Retorno -TIR.....	76
5.7.4. Tempo de Retorno de Investimento - <i>PAYBACK</i>	76
5.8. CONCLUSÃO	77
3 METODOLOGIA	78
5.9. INTRODUÇÃO	78
5.10. CONCLUSÃO	79
6. ANÁLISE DOS RESULTADOS	81
8.1 INTRODUÇÃO	81
8.2 PRIMEIRO PASSO	81
8.3 SEGUNDO PASSO	82
8.4 TERCEIRO PASSO	82
8.5 QUARTO PASSO	85
8.6 CONCLUSÃO	91
7. CONCLUSÃO	93
8. REFERÊNCIAS.....	94

9.	ANEXOS.....	96
-----------	--------------------	-----------

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Nos dias atuais o consumo de energia elétrica vem aumentando consideravelmente em termos absolutos para a sociedade, com a clareza de sua importância e necessidade para vida ao longo dos anos.

A importância da energia elétrica está em evidência notória em termos de organização da vida humana e da vida dos países em um processo de crescimento de valor da fonte de energia. A sua essencialidade social requer a energia elétrica em termos integrais, mas a sua importância tão pouco divulgada na preciosidade de seus fatos históricos e os interesses políticos e econômicos que abandonaram o setor elétrico brasileiro a uma atual configuração de abandono.

Para isso é importante a promoção de reconhecimento de determinadas fontes de energia para o abastecimento de um país, estado e/ou cidade, assim como, os princípios físicos de cada uma das usinas geradoras de energia e fazer uma análise em efeitos de custos, de benéficos e sua importância para quem adquire, no caso o consumidor final. Ressalta-se que a apresentação de formas de geração de energias alternativas para a finalidade de diminuição do consumo excessivo de energia elétrica em residências, comércios, repartições públicas entre outros.

O ambiente a ser consumido pode estar imerso, pois este setor gera múltiplas indagações e pode estimular de maneira aprofundada o tipo de comportamento de todos os setores relevantes para a sociedade brasileira.

Em alguns países momentaneamente, despertaram e recentemente a procura de geração de energia renovável, podemos citar como exemplo a energia eólica e a energia solar, portanto ainda há interesse em diversificar tais praticidades em escala planetária.

Ressaltasse que há grandes interesses econômicos desses países, pois os dogmas institucionais e os profissionais da área, funcionam como paradigmas à mudança, com isso devemos pensar e até mesmo refletir sobre o consumo em alta demanda e sem necessidade para determinados setores público ou particulares em demasia, visando um interesse de nível mundial para perspectivas distintas e divergentes.

Este trabalho tem como objetivo analisar uma viabilidade econômica de energia solar fotovoltaica para a Escola Municipal Kanata T-Ykua de nível fundamental, localizado na Comunidade Indígena Três Unidos, na zona ribeirinha do Rio Negro na cidade de Manaus/AM.

1.2 OBJETIVO GERAL

Analisar a viabilidade de implantação de um sistema fotovoltaico de energia solar para suprir a demanda de uma escola municipal indígena ribeirinha em plena região Amazônica.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar o levantamento o quantitativo de cargas existentes na escola municipal indígena ribeirinha;
- Dimensionar um sistema fotovoltaico aplicando em um estudo de caso de uma escola municipal indígena ribeirinha;
- Avaliar a viabilidade técnico financeira do sistema fotovoltaico em uma escola municipal indígena ribeirinha.

1.4 METODOLOGIA

O trabalho tem por base teórica a aplicação da metodologia científica e experimental de acordo com as tendências e interesses de uma comunidade escolar indígena ribeirinha no estado do Amazonas, com isso pode-se analisar o fenômeno estudado e sua influência direta e indireta no objeto de estudo relacionado ao impacto envolvente de mudanças na área de estudo. A Figura 1 apresenta uma imagem georreferenciada da escola que será objeto de estudo deste trabalho.

Figura 1: Planimetria georreferenciada da escola.



Fonte: DET/SEMED/AM, (2022).

Para a respectiva pesquisa em questão, o objeto analisado será a análise de um sistema fotovoltaico para suprimento de energia elétrica em uma escola municipal indígena na zona ribeirinha em plena região Amazônica.

Figura 2: Localização aérea feita por drone da escola



Fonte: GEOPROCESSAMENTO/DET/SEMED/AM, (2022).

O presente Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) dar-se-á na escola municipal Kanata T-Ykua de nível fundamental, localizado na comunidade indígena Três Unidos, na zona ribeirinha do Rio Negro no estado do Amazonas-Brasil, onde não possui energia convencional, ou seja, o bom funcionamento da mesma é realizado por gerador, cujo combustível é por óleo diesel.

A escola está situada em uma zona de difícil acesso por transporte terrestre e com isso, as dificuldades aumentam conforme a necessidade da comunidade em obter energia de qualidade e contínua. Esta comunidade sobrevive praticamente de caça e pesca, pois devido a sua geografia, a logística dar-se-á somente por transporte fluvial e com dia e horário a serem definidos pelos proprietários das lanchas ou embarcações que realizam a locomoção (transporte fluvial) das pessoas que ali habitam, trabalham e se locomovem da comunidade para outras comunidades e para a capital amazonense.

1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

A estrutura do trabalho de conclusão de curso é composta por oito capítulos.

O capítulo um apresenta a Introdução do trabalho, onde são abordados: Contextualização, Objetivo Geral, Objetivos Específicos, Metodologia e Conclusão.

O capítulo dois apresenta o Conceito de energia solar, Introdução do capítulo, Massas de ar, Movimentação relativa do sol, Tipos de radiação solar, unidade de medida em energia solar, Efeito fotovoltaico e Conclusão do capítulo.

O capítulo três consiste nos módulos fotovoltaicos, Introdução do capítulo, Curvas características de corrente, tensão e potência, Características dos módulos fotovoltaicos comerciais, Tecnologias fotovoltaicas, Regras básicas para a orientação de módulos fotovoltaicos e Conclusão do capítulo.

O capítulo quatro consiste em Desenvolvimento de projetos de sistema fotovoltaicos isolados, Introdução do capítulo, Componentes de um sistema fotovoltaico autônomo, baterias, banco de baterias, Tipos de baterias, baterias de ciclo profundo, vida útil da bateria, Características da baterias estacionárias de chumbo ácido, controlador de carga, Funções de controlador de carga, Modo de utilização de controlador de carga, principais tipos de controlador de cargas, Inversor, princípio de funcionamento, Modo de conexão, características principais de inversores, Tipos de inversores e Módulos fotovoltaicos para sistemas autônomos.

O capítulo cinco consiste na organização dos sistemas fotovoltaicos autônomos, Sistemas para alimentação de consumidores em corrente alternada, Sistema para alimentação de consumidores de corrente contínua, sistemas de baterias, Sistemas fotovoltaicos autônomos de grande porte, cálculo de energia produzida pelos módulos fotovoltaicos, dimensionamento do banco de baterias, levantamento do consumo do sistema fotovoltaico autônomo, Análise econômica e Conclusão do capítulo.

O capítulo seis consiste na Metodologia do Trabalho, onde são apresentadas as etapas para o dimensionamento do sistema fotovoltaico.

O capítulo sete consiste na Análise de Resultados, onde os passos mostrados no capítulo seis juntos com a viabilidade do sistema projeto.

O capítulo oito consiste na Conclusão deste trabalho.

E por fim, o capítulo nove apresenta as Referências Bibliográficas

2. CONCEITOS DE ENERGIA SOLAR

2.1 INTRODUÇÃO

Ao tratar a energia solar como uma energia obtida do sol, ela chega na superfície da terra como ondas eletromagnéticas diretamente ou difusamente. No sol e no estado de fusão atômica que é responsável pela liberação dessa energia.

Segundo Villalva (2015, pg.37) “a energia do sol é transmitida para o nosso planeta através do espaço na forma de radiação eletromagnética. Esta radiação é constituída de ondas eletromagnéticas que possuem diferentes frequências e comprimentos de onda diferentes”.

O conjunto de todas as frequências de ondas eletromagnéticas emitidas pelo sol constitui o espectro da radiação solar. Neste, é transportada toda a energia que pode ser captada na forma de calor ou luz. A Figura 3, ilustra a transmissão da radiação solar até a terra, podemos verificar que é transmitida através de ondas.

Figura 3: Radiação solar



Fonte: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/energia-solar>

Diversos elementos quando em contato com o os raios solares apresentam reações químicas, físicas, biológicas diferentes. (VILLALVA,2015)

O processo de conversão de energia ocorre quando a radiação solar atinge uma matéria que tem como uma de suas propriedades absorver essa energia na forma de ondas eletromagnéticas e transformar em energia cinética.

Nos tópicos seguintes serão apresentados conceitos importantes para a compreensão deste fenômeno.

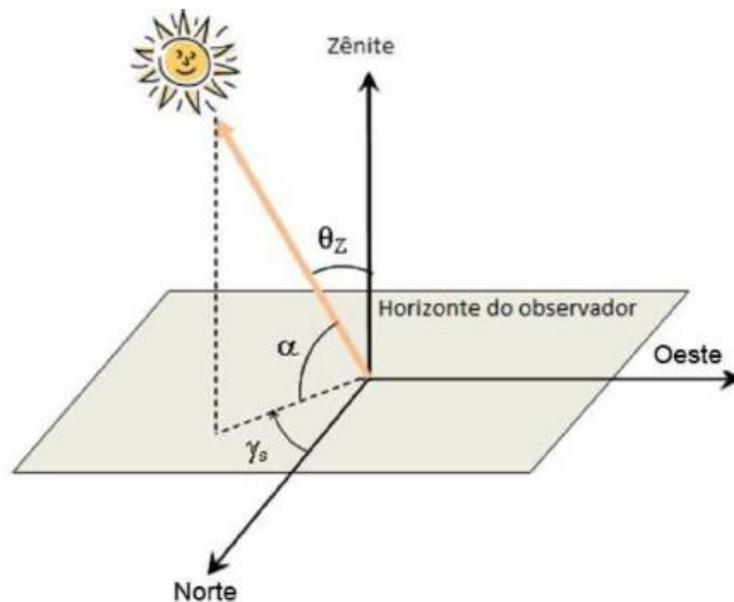
2.2 MASSAS DE AR

Até que chegue até a superfície terrestre, a radiação solar passa por diversos processos de transformações e perdas ao atravessar a atmosfera, pois interagem com os elementos suspensos no ar como a poeira e água.

As massas de ar diferenciam-se nas mais diversas regiões do planeta, essa diferença se dá pelos elementos suspensos no ar como água e poeira, densidade e ângulos de incidência dos raios solares. (EDUARDO, 2019)

A energia do espectro de radiação solar depende ainda de diversos outros fatores, como localização geográfica, hora do dia, dia do ano, das condições climáticas, da altitude, entre outros. A Figura 4 ilustra o conceito de zênite e ângulo zenital.

Figura 4: Linha do zênite e ângulo zenital



Fonte: CRESESB (2014, p.73).

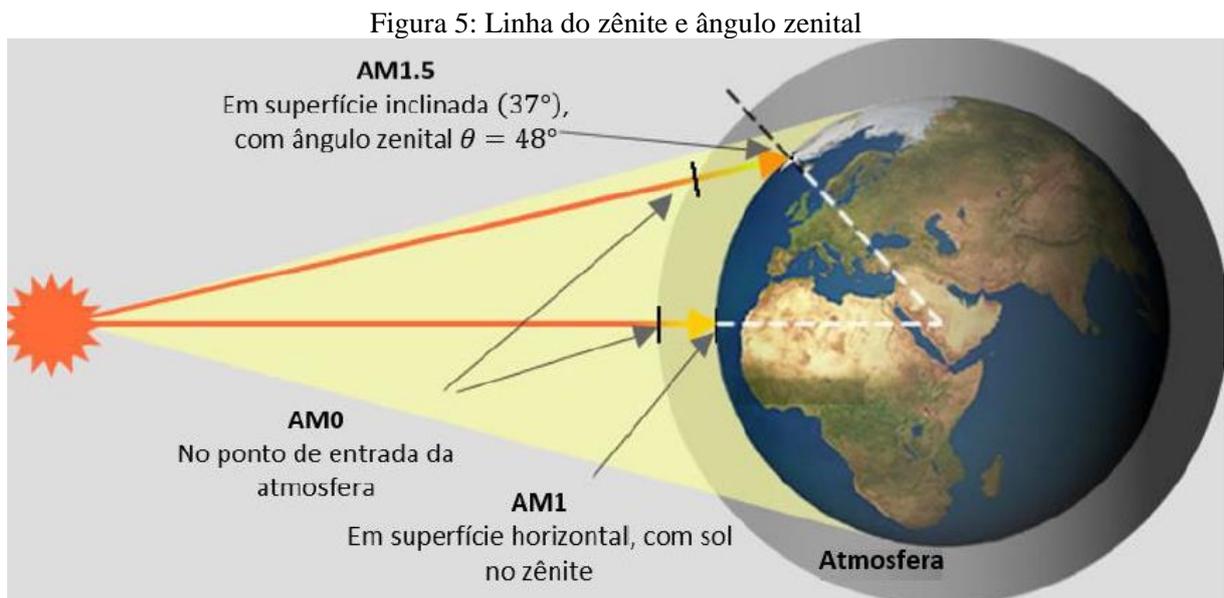
A massa de ar é internacionalmente definida pela sigla *AM* (do inglês *Air Mass*).

Segundo Pinho e Galdino (2014), a massa de ar pode ser interpretada também como o comprimento relativo que a radiação solar direta percorre até atingir a superfície terrestre. A massa de ar pode ser calculada conforme apresenta a seguinte relação.

$$AM = \frac{1}{\cos\theta_z} \quad (2.1)$$

Esta equação considera o modelo de aproximação da superfície terrestre plana. Logo, para ângulos zenitais maiores, os efeitos da curvatura da terra devem ser considerados. Analisando a ilustração contida na Figura 2, quando o zênite se encontra exatamente acima do observador, o ângulo zenital do sol é zero. Portanto, a massa de ar AM é 1,0. Nestas condições, o coeficiente é denominado como sendo $AM1$. A radiação solar sofre diferentes efeitos ao cruzar a atmosfera em cada região do planeta.

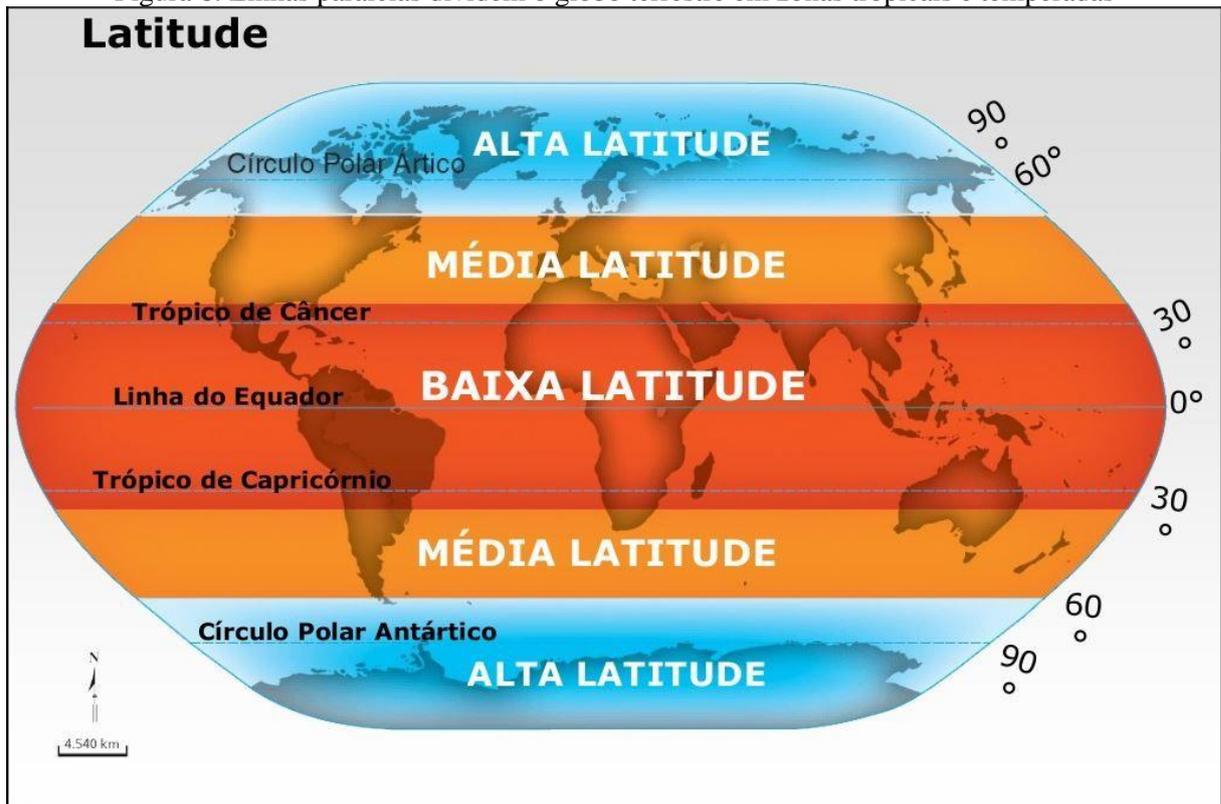
Segundo (Villalva, 2015), um ângulo maior corresponde a uma camada de ar mais espessa, portanto uma influência maior da atmosfera sobre a radiação solar. A Figura 5 ilustra como a atmosfera, através da massa de ar, influencia o trajeto dos raios solares em algumas regiões no mundo.



Fonte: <http://www.greenrhinoenergy.com/solar/radiation/spectra.php>.

A Figura 6 ilustra as diferentes zonas climáticas existentes na Terra.

Figura 6: Linhas paralelas dividem o globo terrestre em zonas tropicais e temperadas



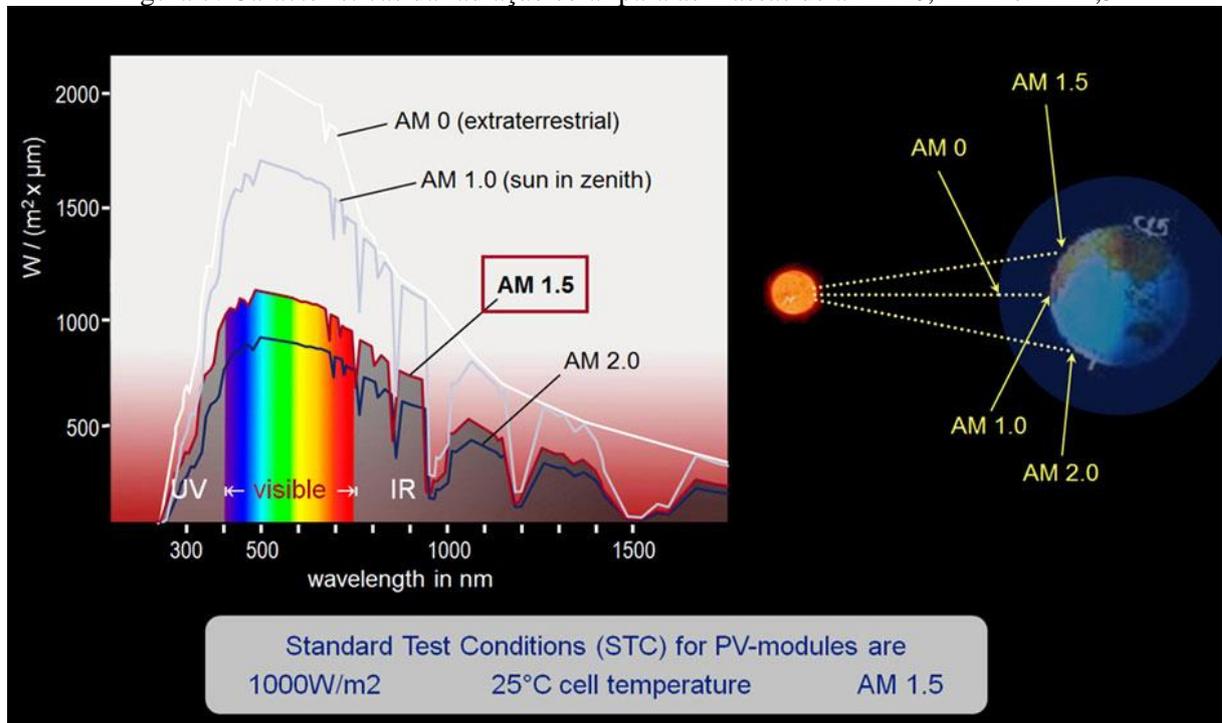
Fonte: <https://br.pinterest.com/pin/381117187208490944/>.

Em cada região do planeta a radiação solar sofre efeitos diferentes ao cruzar a atmosfera. A distribuição espectral $AM_{1,5}$ corresponde ao comportamento médio da radiação solar ao longo de um ano em países temperados do hemisfério norte, por isso não é comum verificar a existência de muitos sistemas instalados, pois quantidade de raios solares nessa região é baixa. Esses países são aqueles localizados entre os trópicos de câncer e o círculo Ártico. (VILLALVA, 2015).

Já a distribuição espectral AM_1 corresponde a radiação em locais situados em zonas equatoriais e tropicais do globo terrestre. Nesta região, os raios solares incidem com ângulos azimutais menores e por isso ficam sujeitos a massas de ar reduzidas. Por motivo, as zonas tropicais são mais quentes e iluminadas do que as zonas temperadas. Devido à origem e ao desenvolvimento dos sistemas fotovoltaicos ter sido em países predominantemente situados entre os trópicos de câncer e o círculo Ártico, como nos Estados Unidos e na Europa, a massa de ar $AM_{1,5}$, e sua respectiva distribuição espectral de energia, tornou-se o padrão para estudo e análise de sistemas fotovoltaicos, sendo utilizada globalmente como referência no âmbito acadêmico e comercial, através de catálogos de fabricantes. Apesar disto, o perfil característico médio da radiação solar em uma determinada localidade pode ser obtido experimentalmente.

A Figura 7 mostra a distribuição $AM_{1,5}$, obtida para o ângulo zenital $\theta Z = 48,5^\circ$. No mesmo gráfico apresenta-se a distribuição AM_0 , que corresponde à radiação solar no espaço extraterrestre, sem a influência da atmosfera.

Figura 7: Características da radiação solar para as massas de ar AM_0 , AM_1 e $AM_{1,5}$



Fonte: <https://www.portalsolar.com.br/tudo-sobre-a-eficiencia-do-painel-solar.html>.

2.3 MOVIMENTAÇÃO RELATIVA DO SOL

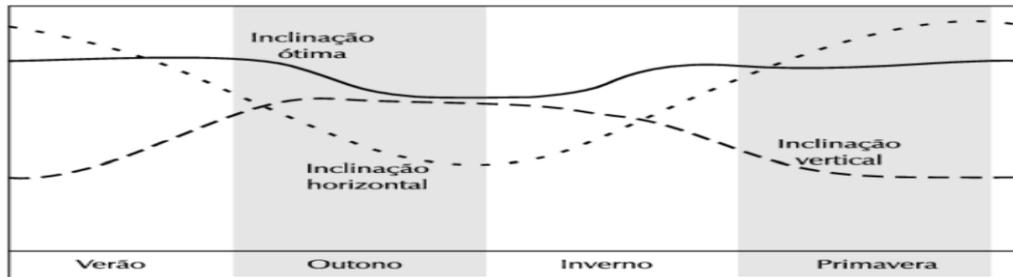
A quantidade de energia solar recebida depende, dentre os principais fatores, da massa de ar percorrida pelos raios solares e pelo tempo em que estes estão disponíveis durante um dia.

Segundo Bedaque (2016), ocorre que a maioria das pessoas vive em cidades e perdeu o costume de obter informações diretamente da observação dos fenômenos naturais. Por este motivo, é essencial conhecer como essa energia é recebida em cada região do planeta.

2.3.1 Estações do ano

O eixo de rotação da terra possui uma inclinação de cerca de $23,5^\circ$ em relação ao eixo de translação da terra, conforme mostrado na Figura 8.

Figura 8: Energia solar captada ao longo do ano com diferentes inclinações



Fonte: Villalva (2015).

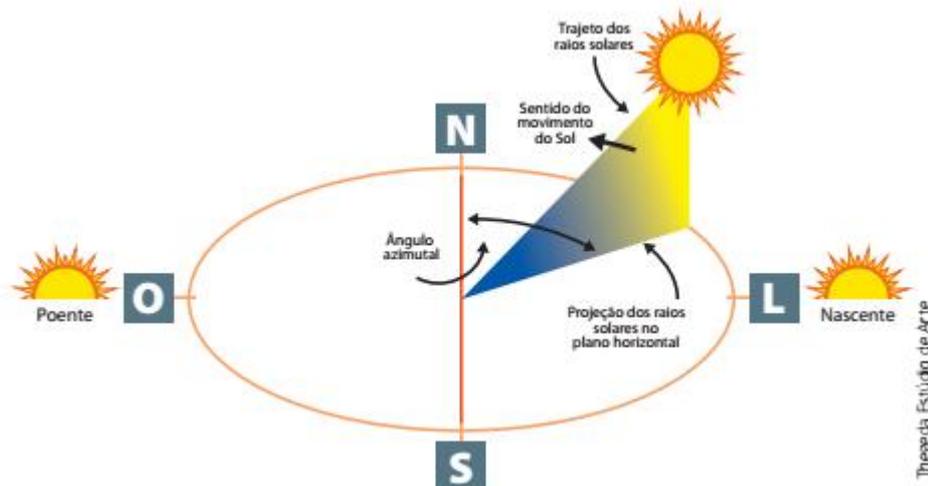
Esta inclinação acarreta a aproximação ou no afastamento dos hemisférios do planeta em relação ao sol, a cada dia do ano, originando desta forma as estações do ano.

Os efeitos desta inclinação sobre as estações do ano são poucos sentidos nas proximidades da linha do equador, mas à medida que se toma distância desta referência, os dias tornam-se mais longos no verão e mais curtos no inverno.

2.3.2 Ângulo azimutal

Outro conceito fundamental para compreender a movimentação relativa do sol, ao longo do dia, é o ângulo azimutal, θ_a . O azimutal é o ângulo formado entre a projeção dos raios solares com relação ao norte geográfico, conforme é ilustrado na Figura 9. O ângulo azimutal constitui um pilar para uma das regras básicas de posicionamento de painéis fotovoltaicos.

Figura 9: O ângulo azimutal é o ângulo de incidência dos raios solares em relação ao norte geográfico

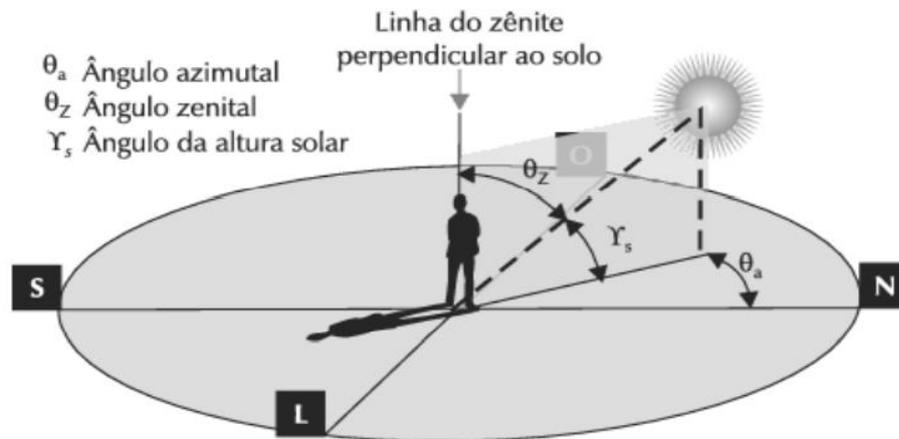


Fonte: <https://institutosolar.com/dimensionamento-de-sistemas-fotovoltaicos/>

2.3.3 Altura solar

O ângulo de inclinação da trajetória do sol com o plano horizontal recebe o nome de ângulo da altura solar, γ_s . A Figura 10 esquematiza as referências de angulação mais importantes ao se tratar de radiação solar.

Figura 10: A posição do sol é definida pelos ângulos azimutal, zenital e da altura solar



Fonte: Villalva (2015).

O valor do ângulo da altura solar γ_s depende da localização geográfica do observador e do ângulo da declinação solar.

Os observadores próximos da linha do equador enxergam alturas solares maiores, enquanto os observadores mais próximos dos polos terrestres enxergam alturas menores, mesmo durante o verão.

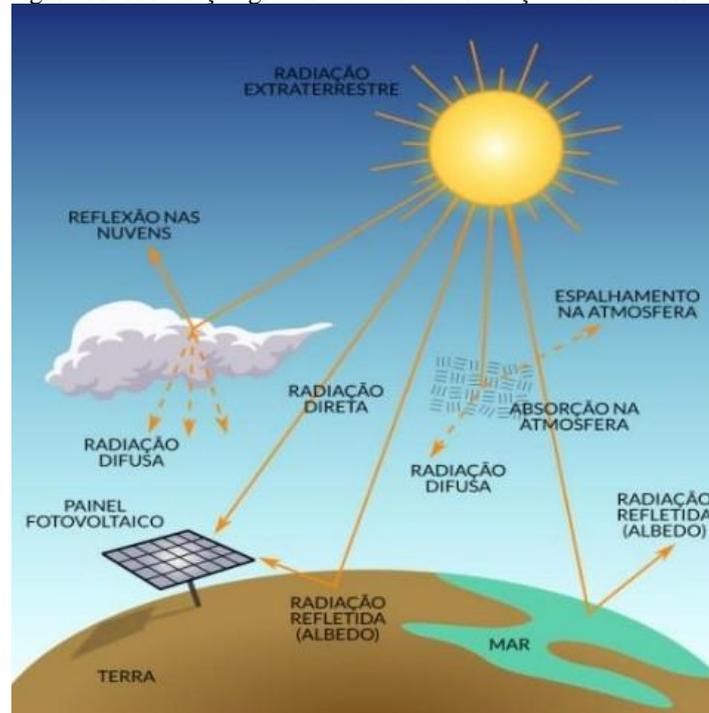
2.4 TIPOS DE RADIAÇÃO SOLAR

A radiação solar que chega ao solo do planeta sofre a influência dos objetos com os quais interage como a atmosfera, como moléculas de ar, vapor, poeira e nuvens, antes de poder ser captada por células e módulos fotovoltaicos.

A radiação proveniente do sol, ate chegar a atmosfera terrestre, vem em linha reta, põem ao ultrapassá-la, os raios diminuem sua intensidade e uma pequena parte segue diretamente para o solo e a outra passa por diversos obstáculos, como massas de ar, a própria atmosfera, arvores

entre outros elementos que podem interferir no caminho. Esses raios que conseguem chegar até a superfície, são ditos como radiação direta e os que tem interferência são chamados de radiação difusa. A Figura 11 apresenta exemplifica os dois tipos de radiação. (SILVA REGO, SORRENTINO, 2020).

Figura 11: A radiação global é a soma das radiações direta e difusa



Fonte: <https://institutosolar.com/dimensionamento-de-sistemas-fotovoltaicos/>

Segundo Villalva (2015), a radiação direta pode ser medida com um instrumento chamado pireliômetro. A radiação direta é correspondente aos raios solares que incidem sobre o plano horizontal, através de uma reta traçada, a partir do sol e com uma inclinação que depende do ângulo zenital. Já a radiação difusa corresponde aos raios solares que chegam indiretamente ao plano, sendo resultado da difração na atmosfera e da reflexão da luz ao interagir com os objetos como poeira, nuvens, entre outros.

Em um dia totalmente sem nuvens, pelo menos 20% da radiação que atinge a superfície terrestre é difusa. Entretanto, em um dia totalmente nublado, não há radiação direta, portanto, 100% da radiação é difusa. O dimensionamento de um sistema fotovoltaico que visa o melhor aproveitamento da radiação solar global, visa também maximizar a captação da radiação direta, uma vez que a radiação difusa possui comportamento mais difícil de prever em relação à anterior, devido à sua natureza aleatória e irregular.

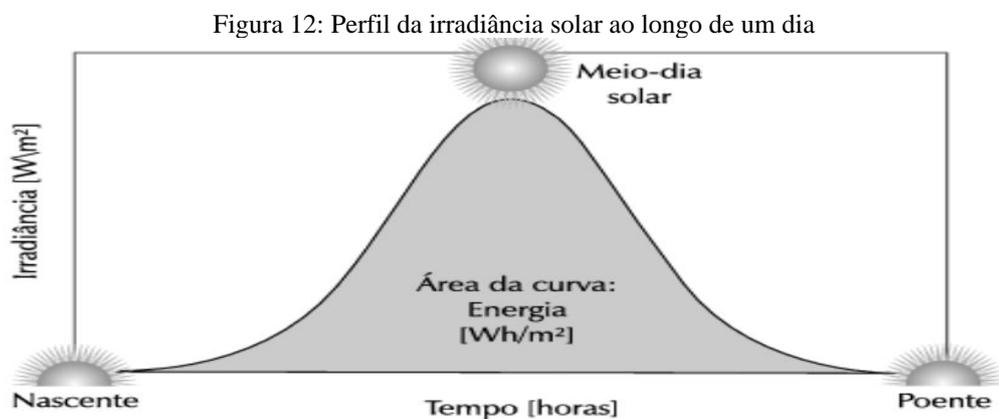
2.5 UNIDADES DE MEDIDA EM ENERGIA SOLAR

Nesta seção, serão apresentadas as unidades de medida das grandezas mais importantes, quando se trata de energia solar.

2.5.1 Irradiância

Segundo Korquevicz (2017), a irradiância é a grandeza utilizada para quantificar a radiação solar e é uma unidade de potência por área, sendo expressa na unidade de W/m^2 .

A irradiância, é uma grandeza empregada para quantificar a radiação solar através de uma unidade de potência por unidade de área, sendo expressa na unidade de W/m^2 . A partir da utilização de um sensor para medir a irradiância a cada intervalo de tempo, é possível calcular a quantidade de energia recebida do sol por unidade de área naquele dia, semana, mês ou até mesmo ano. A Figura 12 apresenta a irradiância solar ao longo de um dia. Em cada instante de tempo é realizada uma medida. Fazendo-se a integração dos valores de irradiância ao longo do tempo, ou seja, calculando-se a área embaixo da curva, obtém-se o valor da energia recebida do sol durante o dia por unidade de área, denominada insolação.



Fonte: Villalva (2015).

Ao estudar a energia solar e sistemas fotovoltaicos, torna-se muito comum realizar a quantificação da energia proveniente do sol, por dia. No espaço extraterrestre, antes de atravessar a atmosfera do planeta, a irradiância, por exemplo, alcança valores na ordem de $1353 W/m^2$, enquanto na superfície terrestre, a irradiância da luz solar alcança valores médios de $1000 W/m^2$. Portanto, da mesma maneira que a massa de ar $AM1,5$, o valor de irradiância de $1000 W/m^2$ é adotado como padrão na indústria fotovoltaica para a especificação e avaliação

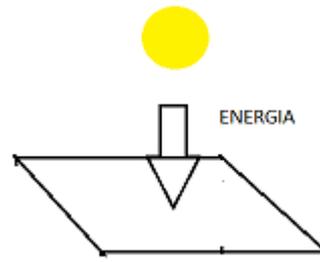
de células e módulos fotovoltaicos, sendo mencionado na grande maioria dos catálogos de fabricantes de dispositivos fotovoltaicos. Ao realizar esta padronização é possível avaliar, especificar e comparar as eficiências das células e módulos fotovoltaicos de diversos fabricantes, baseado em uma condição padrão de radiação solar.

2.5.2 Insolação

A insolação é a grandeza que mensura a quantidade de energia entregue pelo sol em uma determinada área ao longo de um determinado tempo. Sua unidade é $W \cdot h/m^2$ (watt-hora por metro quadrado).

Segundo Villalva (2015) A insolação é a grandeza utilizada para expressar a energia solar que incide sobre uma determinada área de superfície plana ao longo de um determinado intervalo de tempo. Em outras palavras, esta grandeza expressa a densidade de energia solar entregue por unidade de área. A Figura 13 ilustra a definição da grandeza de insolação.

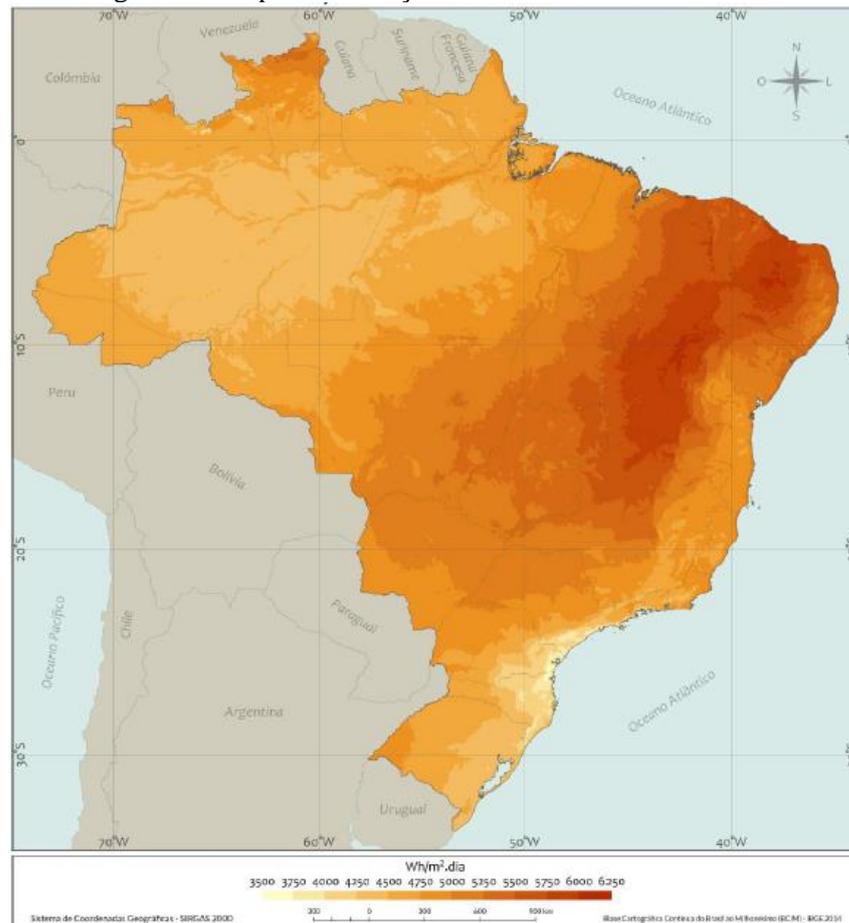
Figura 13: Grandeza de insolação



Fonte: Próprio autor (2022), Adaptado Villalva (2015)

Os dados de insolação de determinada região são essenciais durante o processo de dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos. São disponibilizados publicamente e podem ser encontrados em forma de tabelas, mapas solarimétricos e ferramentas computacionais. A Figura 14 traz um mapa solarimétrico do Brasil.

Figura 14: Mapa de insolação do território brasileira



Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017).

2.6 EFEITO FOTOVOLTAICO

Ao incidirem sobre determinados materiais, as ondas eletromagnéticas além de transmitir calor, podem também alterar as propriedades elétricas de determinado material. Alguns destes efeitos são o efeito fotoelétrico e o efeito fotovoltaico. Nesta seção abordaremos este último.

Segundo Santos (2013), a esse agrupamento dá-se o nome de painel fotovoltaico, que é formado por placa solar, controlador de carga, baterias e inversor.

O efeito fotovoltaico, fenômeno base dos sistemas de energia solar fotovoltaica para a produção de eletricidade, consiste na transformação da energia de radiação eletromagnética do sol em energia elétrica.

Uma célula fotovoltaica é formada por materiais semicondutores dopados positivamente (P) e negativamente (N) e com dois eletrodos conectados a um material condutor. Ao sobrepor os materiais semicondutores, os elétrons em excesso mais próximos da junção da camada N

migram para a camada P, ocupando as lacunas mais próximas desta camada, gerando um campo elétrico na junção P-N.

Por ser constituída de material fino, a luz pode penetrar no material N e descarregar sua energia aos elétrons em excesso que estão fora da camada de depleção. Conforme os fótons vão incidindo sobre a superfície, os elétrons em excesso vão ganhando energia e se movimentam até que possam vencer totalmente esta barreira de potencial. Uma pequena parte destes elétrons ocupam as lacunas, enquanto a maior parte fica livre para constituir uma corrente elétrica. Os eletrodos coletam então os elétrons livres e os transportam de volta à camada N quando o circuito é fechado, gerando, desta forma, a corrente elétrica. Entretanto, ainda segundo o autor, mesmo na ausência de corrente elétrica, percebe-se uma tensão elétrica de aproximadamente 0,6 V entre os dois lados da célula, causada pelo campo elétrico da barreira de potencial.

2.7 CONCLUSÃO

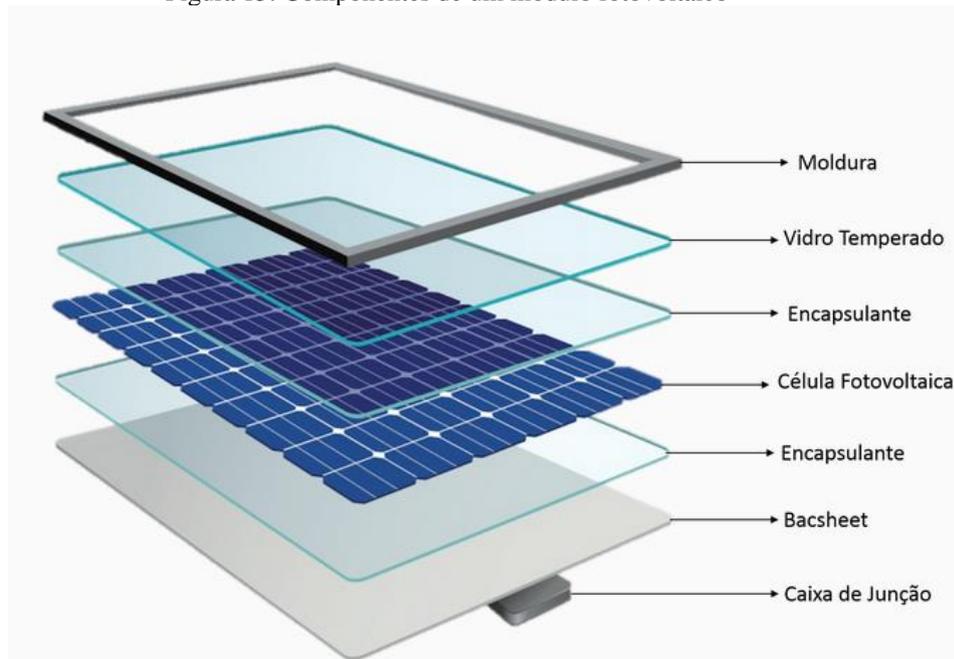
O respectivo capítulo apresentou características e fundamentos de energia solar e seus conceitos para serem estudados, analisados e impostos de acordo com o tipo de sistema a ser implantado em determinados padrões de acordo com a ABNT.

3. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

3.1. INTRODUÇÃO

No capítulo anterior, foi apresentado o princípio de funcionamento dos módulos fotovoltaicos, que é o princípio fotovoltaico. Entretanto, um módulo fotovoltaico só é constituído quando um conjunto de células fotovoltaicas são conectadas eletricamente e montadas sobre uma estrutura rígida. A Figura 15 ilustra os componentes típicos de um módulo solar fotovoltaico. As células e suas conexões elétricas são prensadas dentro de lâminas plásticas, de modo que cada módulo possua uma lâmina de vidro em seu topo. Em sua parte traseira, o módulo contém uma caixa de conexões elétricas que permitem a rápida conexão de módulos em série através de conectores padronizados.

Figura 15: Componentes de um módulo fotovoltaico

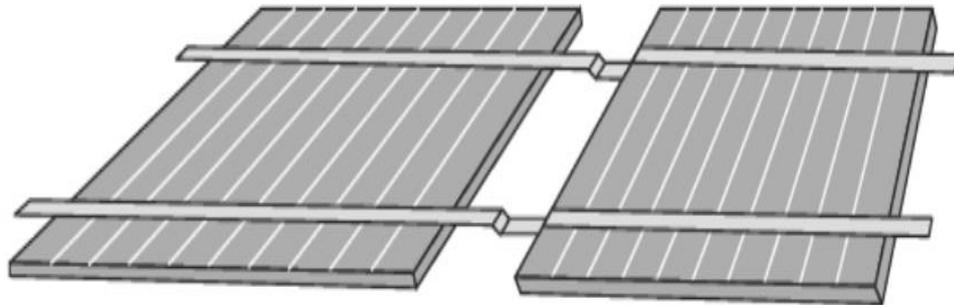


Fonte: <http://blog.minhacasasolar.com.br/como-e-feito-um-painel-solar/>

Pela necessidade de produzir tensões maiores, as células são conectadas em série. A Figura 15 ilustra o arranjo de conexão de células fotovoltaicas em série. Nesta conexão, ligam-se os terminais superiores de uma célula ao terminal inferior de outra célula, até que se forme um arranjo que forneça a tensão de saída desejada.

No t3pico a seguir ser3o apresentadas algumas das informa33es disponibilizadas em folhas de dados e cat3logos comerciais de fabricantes.

Figura 16: Conex3es el3tricas em s3rie das c3lulas fotovoltaicas de um m3dulo



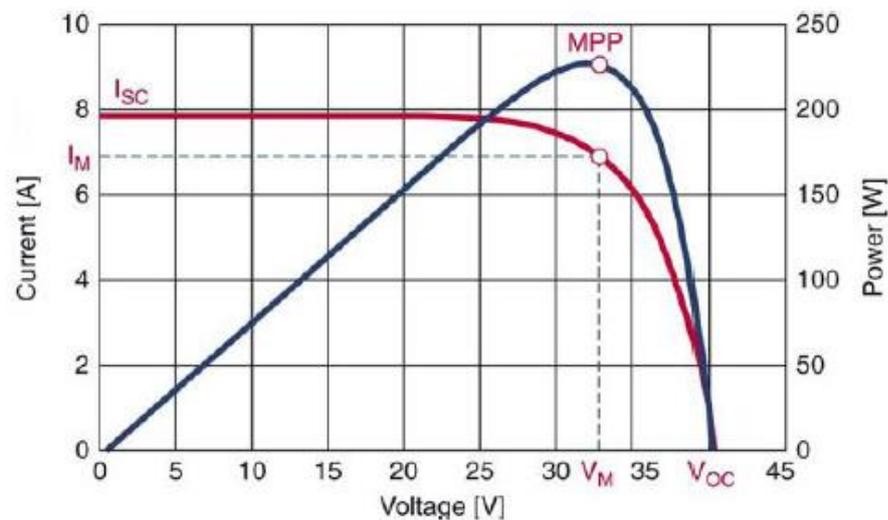
Fonte: Villalva (2015).

3.2. CURVAS CARACTERÍSTICAS DE CORRENTE, TENS3O E POT3NCIA

A corrente el3trica produzida por um m3dulo fotovoltaico depende de sua 3rea de exposi33o, uma vez que depende diretamente da quantidade de radia33o recebida pela c3lula. Logo, quanto maior for sua 3rea, maior ser3 a capta33o de radia33o e, portanto, maior a corrente el3trica fornecida.

Um m3dulo fotovoltaico n3o se comporta como uma fonte el3trica convencional, devido a n3o apresentar uma tens3o de saída constante em seus polos, como a de uma bateria el3trica. A tens3o e a corrente nos terminais de um m3dulo fotovoltaico, dependem da carga que est3 conectada a seus terminais. Todos os m3dulos fotovoltaicos possuem uma característica semelhante. Para cada curva I–V existe uma curva P–V correspondente, conforme mostrado na Figura 17.

Gráfico 1: Curva característica de uma placa solar



Fonte: Carneiro (2018).

Observando a Figura 17, há de se destacar a presença de três pontos de destaque nas curvas características de um módulo fotovoltaico: ponto de corrente de curto-circuito I_{SC} , ponto de máxima potência P_{mp} e o ponto de tensão de circuito aberto V_{OC} . A corrente de curto-circuito I_{SC} é aquela que surge quando se curto-circuitar os terminais de saída do módulo. Neste caso, como não há tensão elétrica, a corrente é maximizada, e depende da intensidade de irradiação que sobre o módulo incide. Já a tensão de circuito aberto V_{OC} é a tensão produzida quando seus terminais estão abertos, ou seja, quando não existe carga conectada ao módulo. Essa é a máxima tensão que o módulo pode fornecer.

Para cada módulo fotovoltaico, há também um único ponto nas curvas I-V e P-V que corresponde à situação na qual o módulo fornece a potência máxima. Nele, há dois pontos notáveis associados que produzem esta condição: A corrente de máxima potência I_{mp} e a tensão de máxima potência V_{mp} . Esta deve ser a condição ideal de funcionamento do módulo, pois nesta situação a produção de energia é maximizada. Há de se ressaltar que os módulos fotovoltaicos possuem a característica de não operar em nenhum valor fora dessas curvas.

3.3. CARACTERÍSTICAS DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS COMERCIAIS

A folha de dados de um painel fotovoltaico contém as informações que serão necessárias para realizar a sua correta utilização. A mesma traz informações das características elétricas e físicas, sendo mensuradas em laboratório, normalmente a partir de duas condições distintas de

testes aos quais os painéis fotovoltaicos são submetidos: a condição padrão de teste (STC), assim como a condição de temperatura normal de operação da célula (NOCT). Segundo (VILLALVA, 2015), a condição padrão de teste (STC) considera a irradiância solar de 1000 W/m² e a temperatura de 25 °C da célula solar. Essa condição é produzida em laboratório, dentro de uma câmara climática que possui um sistema preciso de controle e medição de iluminação e de temperatura. A folha de dados do módulo fotovoltaico também fornece a tabela de características elétricas na condição de NOCT. Tal condição é obtida para a temperatura da célula de 48,4 °C e taxa de radiação solar de 800 W/m². Esta condição produz resultados mais próximos do funcionamento real do módulo fotovoltaico, estimando com maior precisão a quantidade de energia a ser realmente produzida após sua instalação.

3.4. TECNOLOGIAS UTILIZADAS NO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O processo de fabricação de células fotovoltaicas é diversificado, possuindo diferentes tecnologias, bem como diversos materiais empregados, que implicam a obtenção de células e módulos com eficiências maiores ou menores. A Tabela 1 traz uma comparação entre algumas das tecnologias fotovoltaicas existentes, mostrando que as células e os módulos de silício mono e policristalino, com a exceção das células híbridas, são os que apresentam as maiores eficiências de conversão, tanto nas experiências em laboratório como nos produtos comercialmente disponíveis.

Tabela 1: Comparação da eficiência das diversas tecnologias de células fotovoltaicas

Material da célula fotovoltaica	Eficiência da célula em laboratório	Eficiência da célula comercial	Eficiência dos módulos comerciais
Silício monocristalino	24,7%	18%	14%
Silício policristalino	19,8%	15%	13%
Silício cristalino de filme fino	19,2%	9,5%	7,9%
Silício amorfo	13%	10,5%	7,5%
Silício micromorfo	12%	10,7%	9,1%
Célula solar híbrida	20,1%	17,3%	15,2%
CIS, CIGS	18,8%	14%	10%
Telureto de cádmio	16,4%	10%	9%

Dados: Fraunhofer /SE, Universidade de Stuttgart, 26th IEEE PVSC, NREL, UNSW, folhas de dados de vários fabricantes. Adaptada de "Energia fotovoltaica - Manual sobre tecnologias, projecto e instalação", Portugal, 2004.

3.5. REGRAS BÁSICAS PARA AUXILIAR A ORIENTAÇÃO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Os raios solares que incidem sobre a superfície terrestre dependem da posição do sol no céu. Como se sabe, a posição varia ao longo do dia e do ano, sendo determinada pelos ângulos azimutal e zenital e pela altura solar. Nesta seção serão apresentadas duas regras básicas para otimizar a captação de energia solar em um módulo fotovoltaico a partir de seu posicionamento e orientação (VILLALVA, 2015).

Regra 1: Sempre que possível, orientar o módulo com sua face voltada para o norte geográfico.

Regra 2: Ajustar o ângulo de inclinação do módulo com relação ao solo em função da latitude do local. Os ângulos de correção para cada local podem ser encontrados na Tabela 2.

Tabela 2: Correção do ângulo de inclinação do módulo fotovoltaico

Latitude geográfica do local	Ângulo de inclinação recomendado
0° a 10°	$\alpha = 10^\circ$
11° a 20°	$\alpha = \text{latitude}$
21° a 30°	$\alpha = \text{latitude} + 5^\circ$
31° a 40°	$\alpha = \text{latitude} + 10^\circ$
41° ou mais	$\alpha = \text{latitude} + 15^\circ$

Fonte: Próprio autor, (2022) Adaptado de (VILLALVA, 2015).

A cidade de Manaus, por exemplo, localiza-se em um ângulo de latitude de 03°S. Portanto, de acordo com a Tabela 2, os módulos fotovoltaicos devem ser instalados na cidade com $\alpha = 10^\circ$. A Figura 17 ilustra o posicionamento e orientação de uma instalação ideal de um módulo fotovoltaico, seguindo as regras básicas pontuadas anteriormente.

Figura 17: A altura da haste de suporte do módulo determina o ângulo de inclinação



Fonte: <https://solarview.com.br/espacamento-entre-modulos-fotovoltaicos/>

3.6. CONCLUSÃO

O capítulo apresentou dados mais detalhados sobre os módulos fotovoltaicos, dentre eles a eficiência, técnicas construtivas e orientação geográfica dos módulos, a fim de se obter uma melhor captação dos raios solares. Todos esses detalhes servirão como base para o desenvolvimento deste trabalho.

4. DESENVOLVIMENTOS DE PROJETOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ISOLADOS

4.1. INTRODUÇÃO

As Aplicações dos sistemas fotovoltaicos autônomos, ou seja, os sistemas fotovoltaicos também são conhecidos como sistemas isolados, cujo emprego é destinado a locais que não são atendidos por energia elétrica e podendo abastecer residências nas mais diversas situações em zonas rurais, ribeirinhas e de difícil acesso de uma empresa em fornecimento de energia.

Segundo Villalva (2015), “Os sistemas fotovoltaicos autônomos, também chamados sistemas isolados, são empregados em locais não atendidos por uma rede elétrica.”

Isso mostra que ainda é muito precário os sistemas de energia elétrica no Brasil, deixando de abranger diversas comunidades dentro de um mesmo território. Os sistemas autônomos são utilizados para os mais diversos usos de precisão, necessidade e aplicações e também podemos considerar que a abrangência ainda não satisfaz a todos e com isso deixando de atender muitos locais e comunidades que dependem da energia elétrica.

Segundo Villalva (2015), muitos lugares do Brasil não são atendidos por rede elétrica. Isso demonstra que locais como ilhas e comunidades na Amazônia legal optem por um sistema fotovoltaico que vá suprir a necessidade do local, pois além de ser um sistema ecológico com mínima manutenção e sem a necessidade de uso de combustível. De acordo com a Figura 18, demonstra a eficiência de um sistema fotovoltaico em comunidades isoladas.

Figura 18: Postes de iluminação autônomos alimentados por módulos fotovoltaicos



Fonte: Villalva (2015).

4.2. COMPONENTES DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÔNOMO

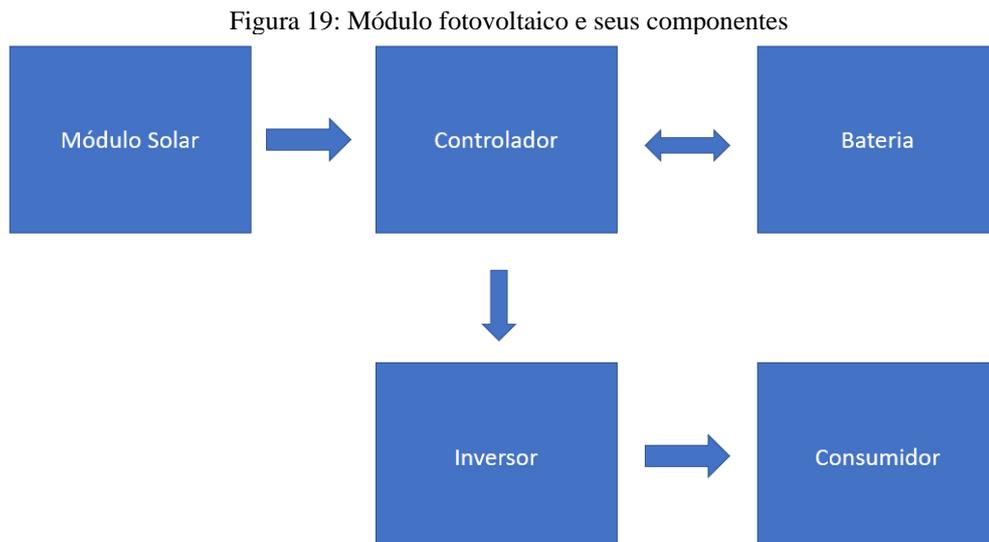
O sistema fotovoltaico autônomo geralmente é composto por uma única placa fotovoltaica ou um conjunto de placas fotovoltaicas, além de um controlador de cargas, uma bateria. A sua aplicação dar-se-á com um inversor de tensão contínua para tensão alternada.

Segundo Villalva (2015), os módulos fotovoltaicos produzem energia na forma de corrente e tensão contínuas e para algumas aplicações é necessário converter essa energia em tensão e corrente alternadas através do inversor.

Isso demonstra o quanto é eficaz os modelos fotovoltaicos em sua produção de energia e sua conversão. Nas aplicações que precisam de baterias, é obrigatório o uso de um controlador de cargas, cujo emprego é um carregador de bateria especificamente para as devidas aplicações de energia fotovoltaica.

Segundo Villalva (2015), o controlador de carga é usado para regular a carga da bateria e prolongar sua vida útil, protegendo-a de sobrecargas ou descargas excessivas.

Dependendo de alguns modelos de controladores, muitos deles têm a função de elevar ao máximo a produção de energia do painel fotovoltaico ou painéis fotovoltaicos através de um recurso indispensável que é conhecido como MPPT (*Maximum Power Point Tracking*). A figura acordo com a Figura 19, temos o módulo fotovoltaico e seus componentes.



Fonte: Próprio autor, (2022) Adaptado de (VILLALVA, 2015).

4.3. BATERIAS

Em sistemas autônomos para a geração de energia nem sempre dar-se-á com a aleatoriedade da radiação solar ao longo de horários, tais como, as horas, os minutos e os segundos. Logo com a presença de uma bateria nessa característica é necessário e suficiente a proporcionalidade de um fornecimento constante de energia ao consumidor e evitar o desperdício de energia gerada quando ao consumo de baixa qualidade e com isso, permitindo seu armazenamento para o uso posteriormente. No ato de pouco ou nenhuma radiação e no momento noturno e de dia nublado e com um volume alto de chuva.

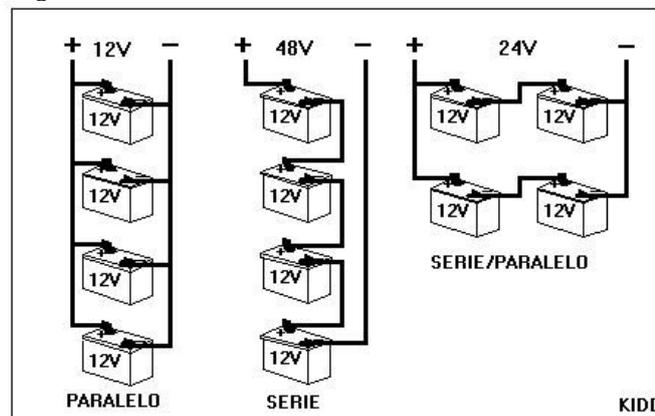
Segundo Villalva (2015), a bateria funciona como um acoplador entre o módulo e o restante do sistema, impondo ao módulo fotovoltaico uma tensão de trabalho constante. Na maior parte dos sistemas fotovoltaicos autônomos é imprescindível a presença de uma bateria ou um banco de baterias para a estabilização da tensão fornecida aos equipamentos ou ao inversor eletrônico, devido a não constância de tensão de saída do módulo fotovoltaico.

4.3.1. Banco de baterias

O agrupamento de baterias pode ser classificado em série ou em paralelo para a sua formação de banco de dados.

Segundo Villalva (2015), a associação em série permite obter tensões maiores e a associação em paralelo permite acumular mais energia ou fornecer mais corrente elétrica com a mesma tensão. Conforme apresentado na Figura 20, tem-se os modos de conexões de baterias para a devida constituição de bancos de baterias.

Figura 20: Modos de conexões dos bancos de baterias



Na conexão em série a tensão do banco de baterias é a soma das tensões de cada bateria do conjunto de baterias e conseqüentemente é a mesma que fornece para uma única bateria, pois a conexão em série é justamente para a utilização para a proporcionalidade de tensões maiores.

Segundo Villalva (2015), as baterias encontradas no mercado têm tensões de 12V, 24V e 48V. Um banco de 48V e 100Ah, por exemplo, pode ser constituído de uma única bateria de 48V e 100Ah ou por quatro baterias de 12V e 100Ah ligadas em série. Na conexão em paralelo as baterias, cuja tensão é a mesma tensão de uma bateria individual e suas respectivas correntes são somadas, pois o objetivo é proporcionar capacidades bem maiores de corrente e mantendo-se a tensão em um nível baixo para consumo.

Para aumentar simultaneamente a tensão e a capacidade de corrente e de armazenamento de carga nos bancos, pode-se realizar ao mesmo tempo a conexão de baterias em série e paralelo, que também é conhecida como sistema misto. (VILLALVA, 2015)

Essa conexão objetiva um conjunto de dados em série e em paralelo e suas funcionalidades respectivas de armazenamento de cargas para o consumo em nível baixo.

As baterias são agregadas em série para obter tensões maiores e posteriormente se acrescentam conjuntos em paralelo para proporcionar maior corrente de saída e elevar a capacidade de armazenamento de carga. (VILLALVA, 2015)

4.3.2. Tipos de baterias

Com a variedade de baterias no mercado, podemos caracterizar de acordo com as suas especificidades e utilizações típicas e técnicas. Podemos citar as baterias elétricas, chumbo ácido líquido, chumbo ácido em gel que podem ser seladas ou não, bateria de níquel e outras.”

Segundo Villalva (2015)” Existem muitos tipos de baterias elétricas, sendo as baterias de chumbo ácido as mais conhecidas e utilizadas. As baterias de chumbo podem ser de ácido líquido ou em gel e podem ser seladas ou abertas.

4.3.2.1. Bateria de chumbo ácido estacionária com eletrólito líquido

Bastante considerado no mercado pelo seu custo reduzido e pelo emprego nos sistemas fotovoltaicos autônomos, se assemelha ao de uma bateria automotiva e ressalta-se que há diferenças técnicas por parte de seu funcionamento.

Segundo Villalva (2015), nas aplicações fotovoltaicas não se recomenda o uso de baterias automotivas convencionais. Pois nas aplicações fotovoltaicas não se recomenda o uso convencional de baterias automotivas, logo utiliza-se baterias estacionárias. Abaixo temos um exemplo de bateria de chumbo ácido.

Figura 21: Aspecto de uma bateria estacionária de chumbo ácido com eletrólito líquido



Fonte: Villalva (2015).

A bateria de chumbo ácido automotiva não se adequa em aplicações que necessitam do uso de corrente elétrica por vários períodos prolongados, pois a bateria automotiva de acordo com o seu projeto em oferecer grande quantidade de intensidade de corrente elétrica por um curto espaço de tempo e como consequência sofre graves descargas rápidas durante o acionamento do motor de arranque veicular.

Com o tempo de partida de um veículo automotivo tem seu desempenho pequeno em relação ao seu tempo funcional, após o descarregamento quando ligado o automóvel, a mesma é recarregada em pleno funcionamento do motor, ressalta-se que a bateria descarrega em torno de 20% durante a sua aplicabilidade funcional e sendo necessário para o bom funcionamento.

A bateria de chumbo ácido de eletrólito é construída de placas de chumbo mergulhadas em uma solução ácida e sua energia está inserida e dela retirada através de reações químicas do conjunto de chumbo e ácido. A bateria estacionária foi desenvolvida para aplicações fotovoltaicas e outros tipos de sistemas e bateria estacionária possui uma taxa de autodescarga menos do que uma bateria automotiva convencional. Uma bateria automotiva tem duas características principais, como segue:

- 1) *Corrente de partida a frio*: Corrente que a bateria pode produzir durante trinta segundos.
- 2) *Capacidade de reserva*: Durante um tempo a bateria pode fornecer uma certa corrente.

Em geral, a bateria estacionária tem mais capacidade de reserva do que uma bateria automotiva e é projetada para trabalhar imóvel. A bateria automotiva necessita de movimento natural em seu funcionamento.

4.3.2.2. *Bateria de chumbo ácido com eletrólito em gel*

A bateria de chumbo ácido em gel, na verdade é um melhoramento da bateria de chumbo ácido com eletrólito líquido, conforme apresentado na Figura 22.

Figura 22: Aspecto de uma bateria de chumbo ácido com eletrólito em gel



Fonte: Villalva (2015).

A bateria de gel é equipada com uma válvula de segurança que cuja função é permitir a liberação de gases quando há ocorrência de sobrecargas e esse tipo de bateria requer um controlador de carga de acordo com as suas características.

4.3.2.3. *Baterias de NiCd e NiMH*

As baterias de *NiCd* (Níquel-Cádmio) e *NiMH* (Níquel-metal-Hidreto) têm um elevado custo financeiro do que as baterias de chumbo ácido líquidas ou de gel. Suas características são de um baixo coeficiente de autodescarga e as mesmas não são empregadas em sistemas.

4.3.2.4. Bateria AGM

A bateria AGM é um tipo específico de modo avançado de bateria VRLA que tem como características análogas de baterias ácidas VRLA de gel, cuja vantagem é a permissão dos ciclos de descarga mais profundos do que os usuais.

Figura 23: Bateria AGM de ciclo profundo



Fonte: Villalva (2015).

4.3.3. Baterias de ciclo profundo

Essas baterias são projetadas para suportar um número maior de ciclos de carga e descarga e com o modo de descarregar mais do que as baterias convencionais, temos como exemplo as baterias de chumbo ácido estacionária, enquanto as baterias automotivas não podem ter mais do que 20% de descarga, as estacionárias de ciclo profundo podem 50% a 80% sem perder a sua capacidade de carga.

Existem baterias que se desenvolvem mais profundas do que as de chumbo ácido estacionárias de eletrólito líquido e temos como exemplos as baterias de nomenclaturas VRLA, NiCD e NiMH. Cujas podem descarregar até 90% sem perda de generalidade de sua vida útil.

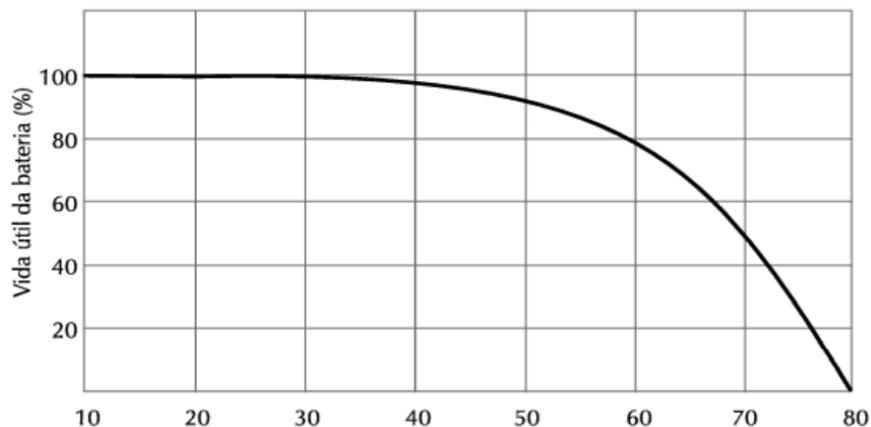
4.3.4. Vida útil da bateria

É determinada pelo número de ciclos de realização de carga e descarga a vida útil de uma bateria, em cada ciclo de uma carga e descarga de uma bateria o material das placas metálicas é realizado por transferência aos seus respectivos terminais. A vida útil de uma bateria também

é reduzida pelo seu tempo de vida útil e tem relação direta com a temperatura de operação ou de armazenamento. Nas baterias de chumbo ácido o fim de sua vida pode estar em torno de 80% de sua capacidade nominal e tem perda permanente de 20% de capacidade de carga.

A manutenção é essencial para o aumento de vida útil da bateria de chumbo ácido, pois utilizando o processo de flutuação. A Figura 25 mostra um gráfico relacionando o tempo de vida de uma bateria estacionária de chumbo ácido em função da temperatura de utilização.

Gráfico 2: Exemplo de vida útil de bateria



Fonte: Villalva (2015).

O Gráfico 2 mostra a relação do tempo de vida de uma bateria estacionária de chumbo ácido em função da temperatura de utilização, caso a bateria for descarregada moderadamente, logo terá uma vida útil maior.

4.3.5. Características das baterias estacionárias de chumbo ácido

A capacidade de carga de uma bateria depende da capacidade de carga, tensão de flutuação, tensão de carga e do coeficiente de compensação de temperatura. A Tabela 3 mostra as principais características de uma bateria estacionária de chumbo ácido.

Tabela 3: Principais características de uma bateria estacionária de chumbo ácido

Capacidade de carga	
Tempo de carga	Capacidade em 25°C
10 h oras	200Ah
20 horas	220Ah
100 horas	240Ah
Tensão de flutuação	
13,2 V a 13,8 V (em 25° C)	
Tensão de carga	
14,4V a 15,5 V (em 25° C)	
Coefficiente de compensação de temperatura	
"-0,033 V/°C"	

Fonte: Próprio Autor (2022), adaptado de (VILLALVA, 2015).

A Tabela 3 apresenta a faixa de valores de tensão que a bateria deve apresentar quando se encontra no estado de flutuação, cujo estado sinaliza em que situação a bateria encontra-se no estado de flutuação. A flutuação é um estágio de manutenção de carga proporcionado pelo controlador de carga, esse dispositivo é indispensável no sistema fotovoltaico autônomo.

4.4. CONTROLADOR DE CARGA

Nos sistemas fotovoltaicos com as devidas baterias, devem ter com emprego um controlador ou regulador de carga. Segundo Villalva (2015), o controlador de carga é o dispositivo que faz a correta conexão entre o painel fotovoltaico e a bateria, evitando que a bateria seja sobrecarregada ou descarregada excessivamente.

Figura 24: Controlador de carga para sistema fotovoltaico



Fonte: <https://minhacasasolar.fbtsstatic.net/img/p/controlador-de-carga-20a-12v-24v-pwm-sun21-ccs-p2024-79379/265727.jpg?w=400&h=400&v=no-change&q=ignore>

4.4.1. *Funções do controlador de carga*

4.4.1.1. *Proteção de sobrecarga*

Uma das principais funções importantes do controlador de carga é o impedimento que a bateria seja sobrecarregada.

Segundo Villalva (2015),” Nas baterias de chumbo ácido estacionárias verifica-se a situação de carga completa quando a bateria atinge tensão entre 14,4 V e 15,5.”

4.4.1.2. *Proteção de descarga excessiva*

Também pode ser chamada de função de desconexão com baixa tensão. Segundo Villalva (2015), esse nível tipicamente ocorre quando a tensão da bateria está próxima de 10,5 V na bateria de chumbo ácido estacionária.

4.4.1.3. *Gerenciamento de carga de bateria*

Muitos dos controladores de carga têm a capacidade de gerenciamento de carregamento da bateria em prol do respeito de seu perfil natural. Segundo Villalva (2015), esse recurso é oferecido apenas pelos controladores de carga mais sofisticados, que possuem algoritmos de carga com múltiplos estágios.

4.4.1.4. *Estágio de carregamento pesado*

Segundo Villalva (2015), a tensão da bateria inicialmente é baixa, considerando que se encontra completamente descarregada, e vai aumentando conforme a carga é realizada. Em seu primeiro estágio a corrente é levada ao seu máximo, mas dentro de um limite de corrente e é levada ao extremo pelo controlador de carga.

4.4.1.5. *Estágio de absorção*

Quando a bateria atinge um determinado nível, a bateria já está praticamente carregada. Segundo Villalva (2015), nesse momento a bateria já está praticamente carregada, mas é

possível ainda realizar um carregamento lento para que sua carga chegue a 100% de sua capacidade.

4.4.1.6. *Estágio de flutuação*

Ao final do estágio de absorção, a corrente da bateria atinge uma intensidade de valor mínimo. Segundo Villalva (2015), a tensão da bateria inicialmente é baixa, considerando que se encontra completamente descarregada, e vai aumentando conforme a carga é realizada.

4.4.2. *Modo de utilização do controlador de carga*

Com a ausência do controlador de cargas, as baterias são danificadas e tem seu tempo de vida reduzido. Segundo Villalva (2015), o módulo ou conjunto de módulos fotovoltaicos é conectado aos terminais localizados à esquerda, respeitando-se as polaridades positiva e negativa. O módulo fotovoltaico nunca deve ser conectado diretamente à bateria.

Os controladores de carga comerciais possuem três conjuntos de terminais de acordo com a Figura 25.

Figura 25: Modo de utilização de um controlador de carga



Fonte: <https://pt.solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/peças/instalac--es-independentes/encargos-regulatorios>.

A bateria em conjunto com o módulo fotovoltaico, tem o fornecimento de tensão e corrente para a alimentação de um inversor ou mesmo de aparelhos que podem ser alimentados de modo direto em tensão contínua.

Segundo Villalva (2015), os controladores de carga são encontrados no mercado com capacidades de corrente que variam entre 10 A e 60 A. Controladores com correntes muito elevadas, acima de 60 A, são incomuns.

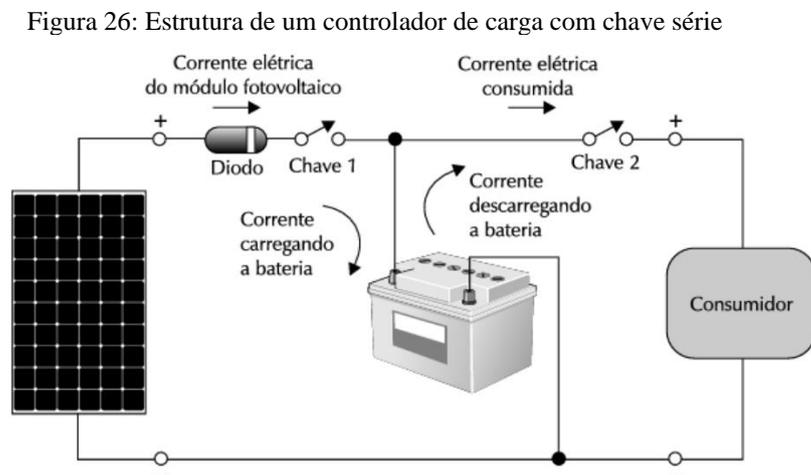
4.4.3. Principais tipos de controladores de carga

4.4.3.1. Convencionais

Sendo a mais simples entre os tipos e em sua maior parte encontrados nos sistemas fotovoltaicos. São dispositivos de baixo custo que possuem basicamente duas funções: desconectar o módulo fotovoltaico quando a bateria está completamente carregada e desconectar o consumidor quando a bateria atinge um nível de carga muito baixo, impedindo assim a descarga excessiva (VILLALVA, 2015). Os convencionais possuem duas chaves que são ligadas e desligadas em modo operante e de acordo com a necessidade de uso.

4.4.3.2. Controlador com chave série

O uso é de maneira simples e seu funcionamento de um controlador de carga tipicamente em série. De acordo com a Figura 26, mostra a estrutura de um controlador de carga com chave série.



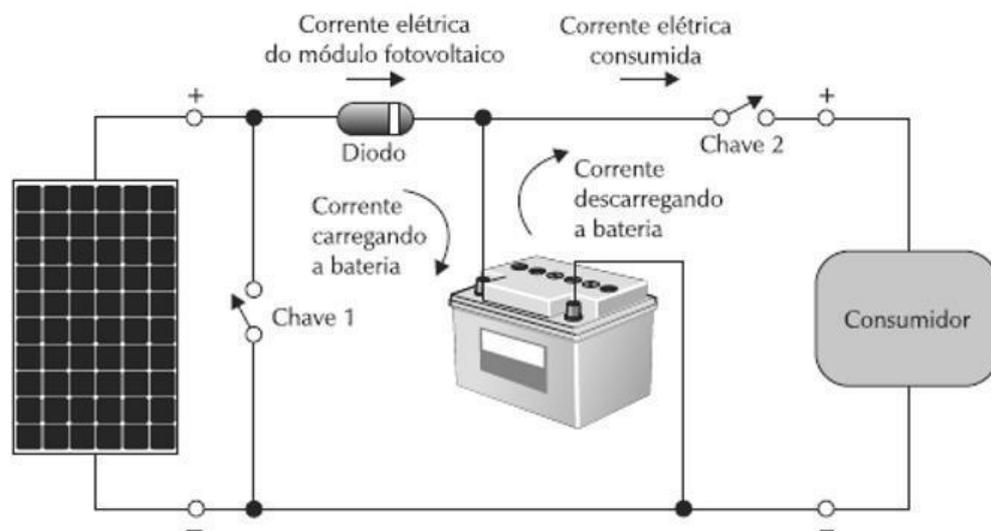
Fonte: Villalva (2015).

Segundo Villalva (2015), dentro do controlador existem duas chaves eletrônicas, que podem ser um relé eletromecânico ou um transistor eletrônico. Empregam transistores eletrônicos e com isso existe uma proporcionalidade de maior duração e confiabilidade em seu funcionamento.

4.4.3.3. Controlador com chave paralela

Seu funcionamento tem semelhança com o controlador de chave série, pois a diferença dar-se-á entre os dois tipos de controladores é a devida posição da chave que conecta ou não com o módulo fotovoltaico. De acordo com a Figura 27, mostra a estrutura de um controlador de carga com chave paralela.

Figura 27: Estrutura de um controlador de carga com chave paralela



Fonte: Villalva (2015).

4.4.3.4. Controlador eletrônico com PWM

São equipamentos mais atualizados em termos de tecnologia do que os anteriores. Segundo Villalva (2015), no lugar de chaves ou relés que somente abrem ou fecham, existem transistores e circuitos eletrônicos que fazem o controle preciso das correntes de carga da bateria através da abertura e do fechamento das chaves.

Esse tipo de controlador possui um microprocessador em seu circuito de controles e são empregados na realização de carregamento de bateria através de algoritmos. De acordo com a Figura 28 mostra um controlador de carga eletrônico PWM.

Figura 28: Controlador de carga eletrônico PWM



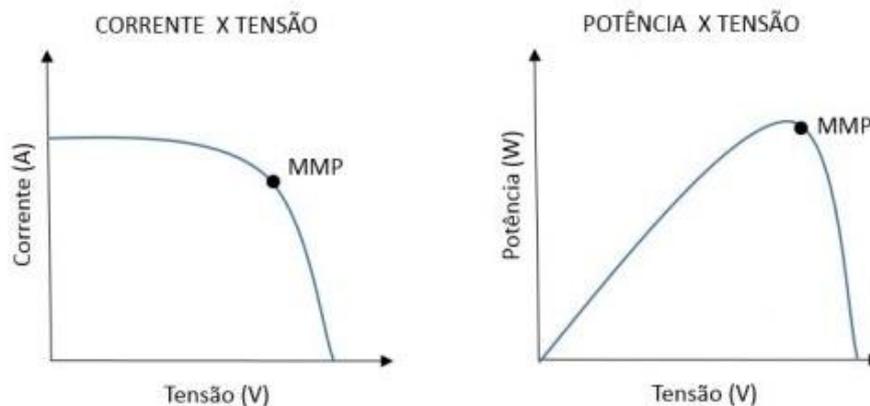
Fonte: <https://www.neosolar.com.br/loja/controlador-carga-pwm-10a-12-24v-epever-landstar-ls1024e.html>

4.4.3.5. Controlador eletrônico com PWM e MPPT

Sendo os mais sofisticados e conseqüentemente com custo elevado no mercado, possuem circuitos eletrônicos de chaveamento PWM, com a possibilidade de otimizar o processo de carregamento da bateria.

De acordo com o gráfico 3 é mostrado a operação do módulo fotovoltaico com e sem recurso de um controlador MPPT.

Gráfico 3: Operação do módulo fotovoltaico com e sem recurso de um controlador MPPT



Fonte: <https://energes.com.br/inversor-solar/>

4.5. INVERSOR

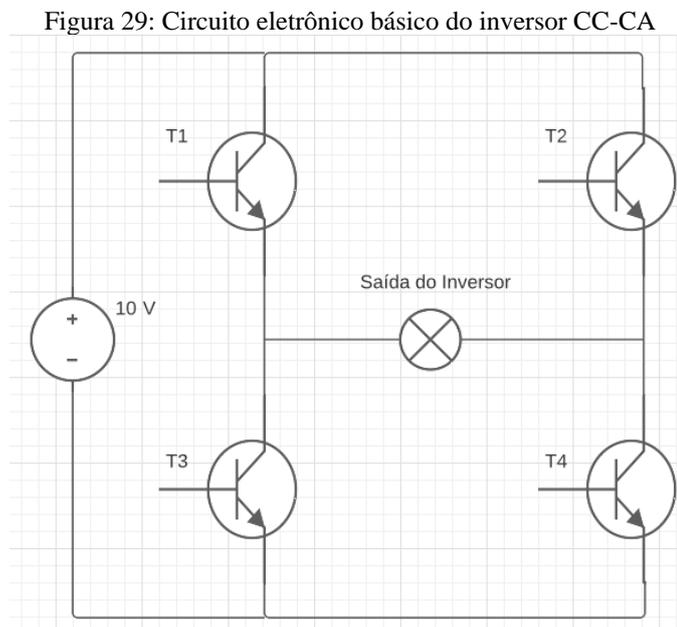
O equipamento eletrônico inversor, converte a eletricidade de tensão e corrente contínua em tensão e correntes alternadas e sua necessidade nos sistemas fotovoltaicos para alimentação de correntes.

Segundo Villalva (2015), a maior parte dos aparelhos eletrodomésticos que conhecemos é construída para trabalhar com a rede elétrica de tensão alternada disponível em nossas residências (tensão de 127 V ou 220 V, por exemplo, e frequência de 60 Hz).

Essa alimentação condiz com aparelhos que possuem o sistema fotovoltaico autônomo com o inversor CC-CA.

4.6. PRINCÍPIO DO FUNCIONAMENTO

Seu princípio de funcionamento baseia-se em um circuito eletrônico. Segundo Villalva (2015), os transistores são chaves eletrônicas que interrompem ou permitem a circulação da corrente elétrica de acordo com seu estado ligado ou desligado. De acordo com a Figura 29, mostra o funcionamento do circuito eletrônico básico do inversor CC-CA.

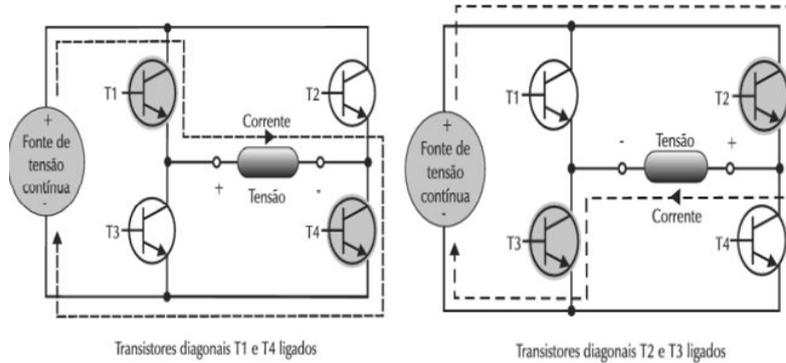


Fonte: Autor Próprio (2022), adaptado de (Villalva 2015).

Segundo Villalva (2015), quatro transistores, denominados T1, T2, T3 e T4, são abertos ou fechados para transferir a tensão e a corrente elétricas da fonte de tensão contínua para os

terminais de saída do inversor. De acordo com a Figura 30, os quatro transistores, T1, T2, T3 e T4 e seus respectivos acionamentos.

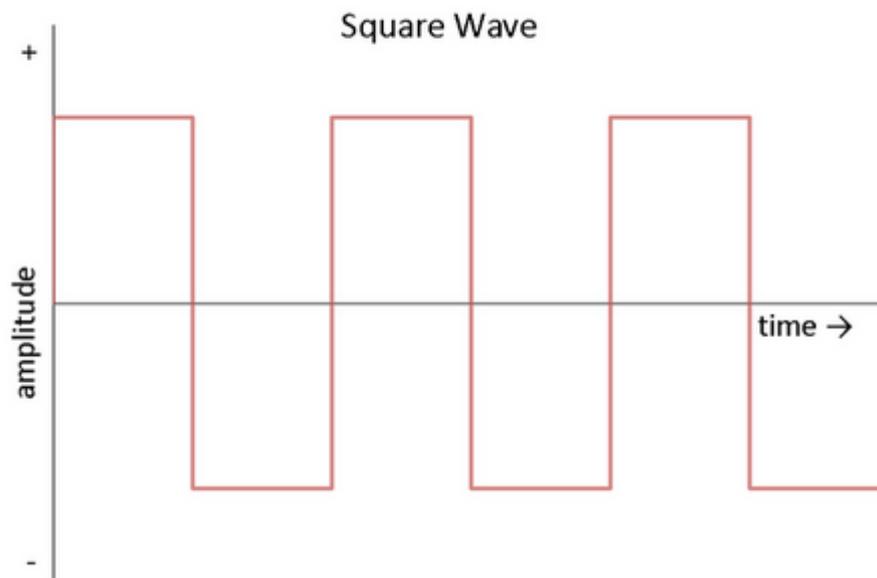
Figura 30: Funcionamento do inversor CC-CA



Fonte: Villalva (2015).

Acionando alternadamente os transistores em diagonal e com frequência fixa, temos como resultados a onda quadrada de tensão alternada, de acordo com o Gráfico 4.

Gráfico 4: Forma de Onda na saída inversor

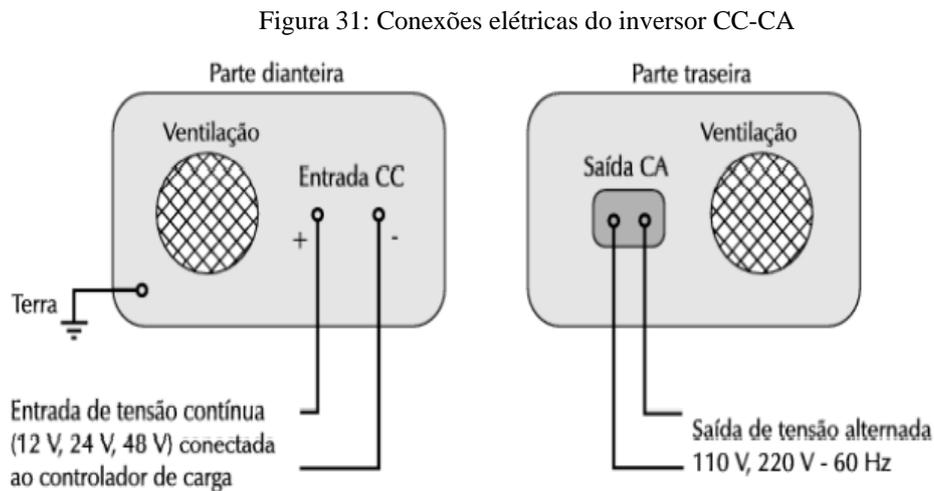


Fonte: <https://www.electricalibrary.com/2019/10/13/como-funciona-o-inversor-de-frequecia/>

4.6.1. Modo de conexão

Todo inversor possui uma entrada de corrente contínua e uma corrente de corrente alternada. Segundo Villalva (2015), os terminais de entrada CC são conectados ao controlador de carga e recebem níveis de tensão de 12 V, 24 V ou 48 V, conforme o tipo do inversor.

Isso faz com que os terminais forneçam tensão alternada de valores compatíveis com cada rede elétrica. De acordo com a Figura 31 de conexões elétricas do inversor CC-CA.



Fonte: Villalva (2015).

4.6.2. Características principais dos inversores

Um inversor de corrente contínua e corrente alternada em exclusividade ao sistema fotovoltaico autônomo possui em termos gerais especificidades e características de Potência nominal, Potência máxima, Tensão de entrada CC, Tensão de saída CA, Frequência de saída, Regulação de tensão, Eficiência, Forma de onda de saída, Distorção harmônica, Proteção de curto-circuito e Proteção de reversão de polaridade.

De acordo com Villalva (2015) pode-se classificar as seguintes características principais.

4.6.2.1. *Potência nominal*

É a potência que o inversor pode fornecer em operação normal. A potência do inversor deve ser escolhida de acordo com as potências dos equipamentos elétricos que serão alimentados por ele.

4.6.2.2. *Potência máxima*

É a potência que o inversor pode fornecer em situações de sobrecarga durante um curto intervalo de tempo. Alguns inversores têm a capacidade de fornecer, durante alguns segundos, uma potência superior à sua potência nominal.

4.6.2.3. *Tensão de entrada CC*

É a tensão nominal de entrada do inversor. Exemplos de tensões são 12 V, 24 V e 48 V. Estes valores são padronizados na indústria. São os mesmos valores com os quais são especificados os controladores de carga e as baterias.

4.6.2.4. *Tensão de saída CA*

É a tensão que o inversor fornece na saída em corrente alternada. Inversores podem ser projetados para fornecer uma tensão de saída de valor fixo ou ajustável com uma chave seletora.

4.6.2.5. *Frequência de saída*

É a frequência da tensão de saída em corrente alternada fornecida pelo inversor. No Brasil os inversores devem fornecer tensão alternada na frequência de 60 Hz, pois esta é a frequência do sistema elétrico nacional. Em alguns países são comercializados inversores de 50 Hz.

4.6.2.6. *Regulação de tensão*

É a variação relativa (em porcentagem) da tensão de saída do inversor quando um consumidor está ligado à sua saída de tensão alternada.

4.6.2.7. *Eficiência*

É a relação entre a potência de saída e a potência de entrada do inversor. Uma alta eficiência (o mais próximo possível de 100%) é desejável em todos os equipamentos eletrônicos.

4.6.2.8. *Forma de onda de saída*

É o tipo de tensão alternada que o inversor produz. Inversores de três tipos são encontrados no mercado, sendo de onda senoidal pura, onda senoidal modificada e de onda quadrada.

4.6.2.9. *Distorção harmônica*

É um parâmetro que mede a pureza da tensão alternada fornecida pelo inversor.

4.6.2.10. *Proteção de curto-circuito*

Se o inversor tiver essa proteção, significa que seus terminais de saída podem ser colocados em curto-circuito sem causar danos ao equipamento.

4.6.2.11. *Proteção de reversão de polaridade*

A conexão elétrica aos terminais CC de entrada do inversor deve respeitar as polaridades positiva e negativa da tensão.

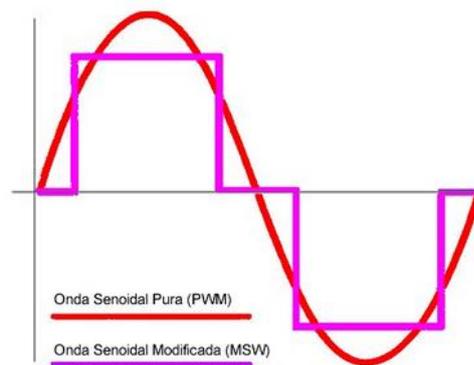
4.6.3. Tipos de inversores

4.6.3.1. Inversores de onda quadrada e de onda senoidal modificada

Esses tipos de inversores modificam aparelhos que cuja produção de tensões de saída com o modelo de ondas semi-quadradas, ressalta se que estes inversores são de onda senoidal Segundo Villalva (2015), as ondas semi quadradas possuem menos distorção harmônica do que as ondas totalmente quadradas, entretanto ambas são muito distorcidas quando comparadas com uma onda senoidal pura.

Isso condiz com uma onda senoidal modificada e de acordo com o tipo de inversor específico. De acordo com o Gráfico 5, de ondas senoidal pura, modificada.

Gráfico 5: Onda senoidal pura e modificada



Fonte: <https://www.electricalibrary.com/2019/10/13/como-funciona-o-inversor-de-frequecia/>.

4.6.3.2. Inversor PWM de onda senoidal pura

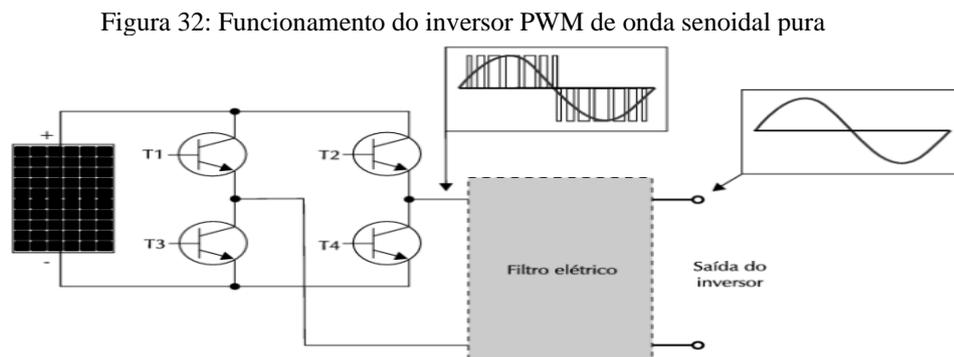
São aparelhos que produzem tensões no formato de ondas senoidais quase perfeitas, ressalta se que há uma baixa distorção harmônica nesses inversores.

Segundo Villalva (2015)'' São equipamentos ideais para alimentar todos os tipos de consumidores com elevada confiabilidade e excelente qualidade de energia.

Esses tipos de inversores funcionam pelo princípio da modulação de largura de pulsos, com isso, produzindo ondas de alta frequência.

Segundo Villalva (2015)'' O padrão de pulsos de PWM na saída do inversor possui um conteúdo senoidal fundamental (na frequência de 60 Hz) adicionado a um conteúdo harmônico de alta frequência.

De acordo com a Figura 32, temos o funcionamento do inversor PWM de onda senoidal pura para sistemas fotovoltaicos autônomos e a Figura 37 mostra alguns exemplos de inversores.



Fonte: Villalva (2015).

Figura 33: Inversores de onda senoidal pura para sistemas fotovoltaicos autônomos



Fonte: <https://www.portal-energia.com/como-escolher-o-melhor-inversor-para-o-sistema-solar-da-minha-casa/>

4.6.3.3. Inversores interativos com a rede

Esses tipos de inversores incorporam diversos tipos de funções adicionais de controlador de carga e trabalham de uma maneira bastante interacional com a rede.

São inversores empregados em sistemas de alimentação de emergência para aplicações não autônomas, como uma residência que já possui rede elétrica, mas deseja ter garantia de disponibilidade de eletricidade em caso de queda de energia elétrica, ou sistemas híbridos que empregam várias fontes de energia além da solar fotovoltaica (VILLALVA, 2015).

Inversores bastantes usuais em funcionamento, garantia e emprego em sistemas de alimentação. A Figura 34 mostra esse tipo de inversor de onda senoidal pura com recurso de operação interativa com a rede.

Figura 34: Inversores de onda senoidal pura com recurso de operação interativa com a rede



Fonte: <https://canalsolar.com.br/inversores-off-grid-interativos-com-a-rede-para-aplicacoes-fotovoltaicas/>

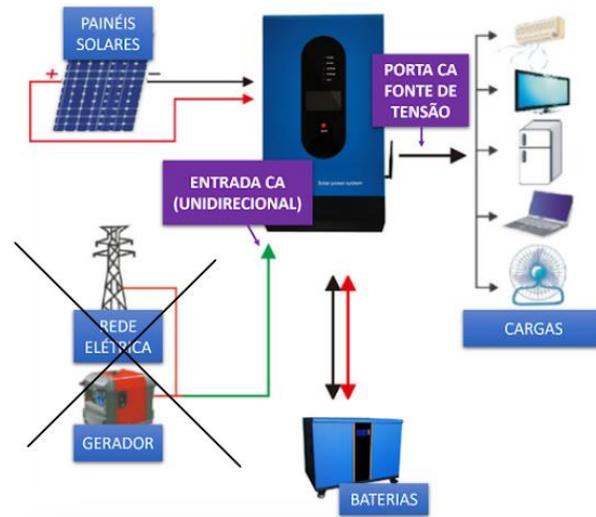
A seguir serão apresentadas as Figuras 35 e 36 que mostram os modos de interligação com outros elementos, com e sem a presença de energia da rede elétrica.

Figura 35: Inversor interativo com a rede efetuando o carregamento da bateria na presença da conexão com a rede elétrica



Fonte: <https://canalsolar.com.br/inversores-off-grid-interativos-com-a-rede-para-aplicacoes-fotovoltaicas/>

Figura 36: Inversor interativo com a rede efetuando o carregamento da bateria sem a presença da conexão com a rede elétrica



Fonte: Próprio Autor (2022), adaptado de <https://canalsolar.com.br/inversor-hibrido-x-inversor-off-grid/>

4.7. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS PARA SISTEMAS AUTÔNOMOS

Na maioria dos sistemas fotovoltaicos autônomos são operados em tensões de 12V, podemos incluir nesse rol de aparelhos, inversores, baterias e controladores de carga de acordo com a tensão mencionada.

Os módulos fotovoltaicos encontrados no mercado dividem-se em duas categorias de acordo com sua faixa de potência: módulos de 36 células, módulos de 60 células e 120 células. De acordo com a Figura 37, mostra os módulos de 120 células (VILLALVA 2015).

Figura 37: Módulos de 120 células



Fonte: Villalva (2015).

5. ORGANIZAÇÃO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÔNOMO

5.1. SISTEMAS PARA ALIMENTAÇÃO DE CONSUMIDORES EM CORRENTE ALTERNADA

Em um sistema fotovoltaico para a alimentação de consumidores em corrente alternada temos os respectivos componentes.:

Módulo ou conjunto de módulos fotovoltaicos;

Controlador de carga;

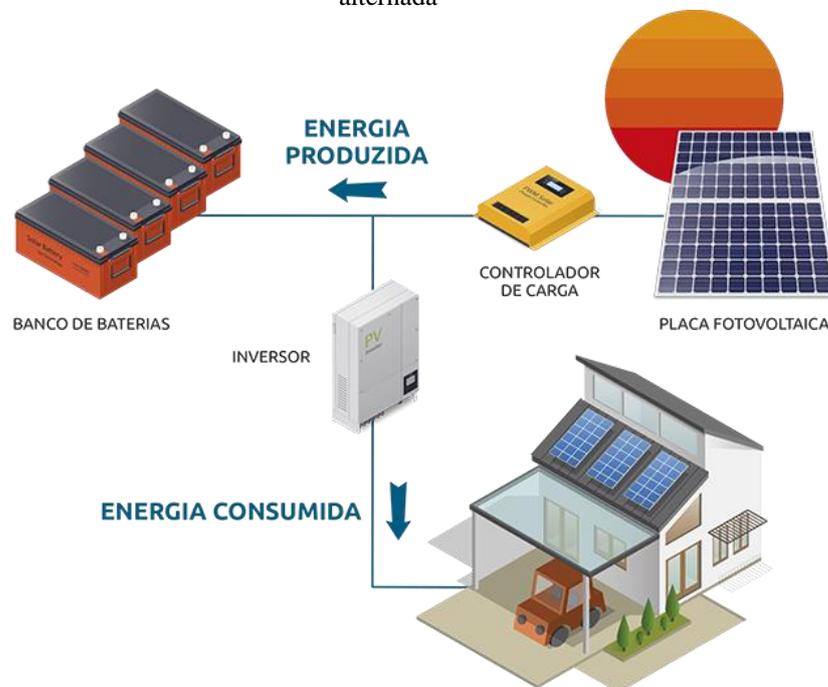
Bateria ou banco de baterias;

Inversor CC-CA;

Consumidores.

Em relação a sua organização, a figura 38 mostra uma configuração com os módulos e baterias em paralelo, mantendo uma tensão de 12V que alimenta o resto do sistema.

Figura 38: Organização de um sistema fotovoltaico autônomo para a alimentação de consumidores em corrente alternada

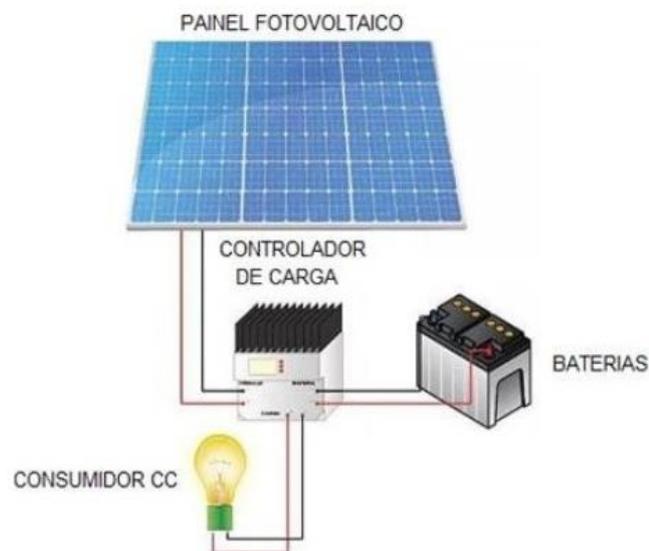


Fonte: <https://wolftechnology.com.br/produto/gerador-fotovoltaico-off-grid/>

5.2. SISTEMAS PARA ALIMENTAÇÃO DE CONSUMIDORES EM CORRENTE CONTÍNUA

Neste tipo de sistema não há necessidade do inversor, tendo em vista que o mesmo tem a função de converter a corrente, deste modo, na saída do controlador de carga já está disponível a tensão necessária para alimentar os equipamentos que funcionam em corrente contínua. A figura 39 mostra um sistema fotovoltaico para alimentação de cargas em corrente contínua e como foi mencionado anteriormente não há a presença do inversor.

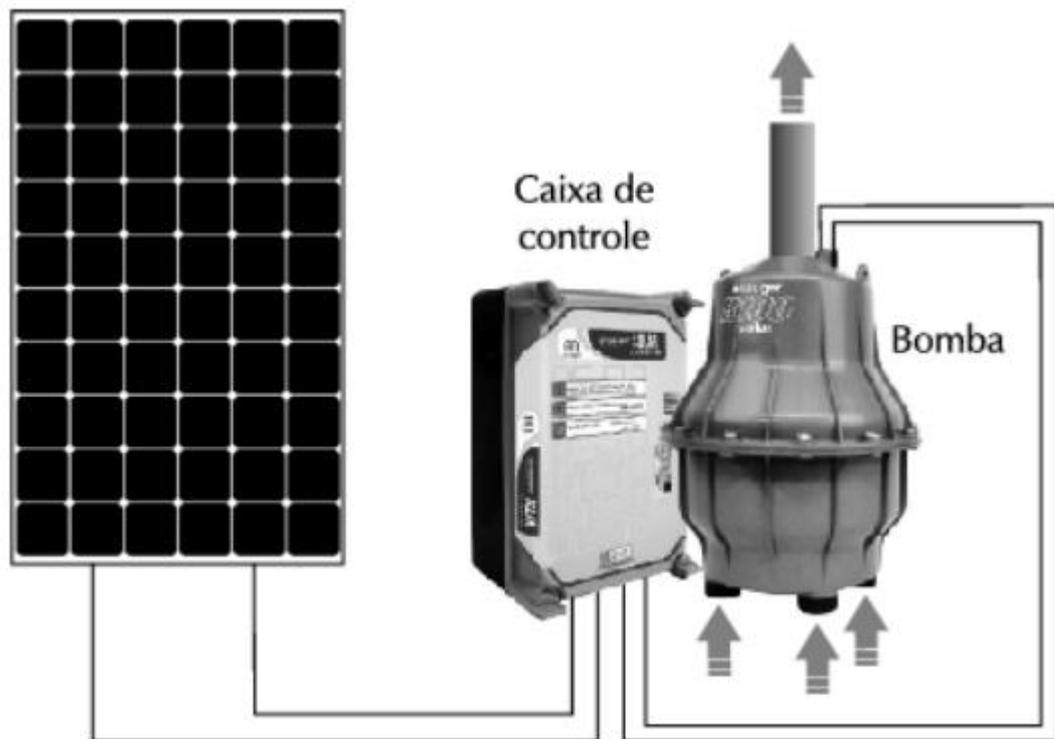
Figura 39: Sistema fotovoltaico para alimentação de cargas em corrente contínua



Fonte: <https://www.linkedin.com/pulse/conceito-e-principais-sistemas-priscilla-leviski-da-concei%C3%A7%C3%A3o/?originalSubdomain=pt>SISTEMAS AUTÔNOMOS SEM USO DE BATERIAS

Em algumas aplicações não há necessidade de armazenamento de energia através de baterias, pois toda energia produzida é usada diretamente em algum equipamento como mostrado na figura 40, onde temos um sistema de bombeamento de água com armazenagem.

Figura 40: Bomba para poço



Fonte: Villalva (2015).

5.3. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÔNOMOS DE GRANDE PORTE

Sistemas autônomos de grande porte podem possuir valores muito elevados de kW, sendo estes tipos de sistema aplicados onde a demanda é muito alta como por exemplo, condomínios de casas, fábricas entre outros. (VILLALVA, 2015).

De acordo com a Figura 41, temos inversores de onda senoidal pura para sistemas fotovoltaicos autônomos de alta potência da linha *Sunny Island*.

Figura 41: Inversores de onda senoidal pura para sistemas fotovoltaicos autônomos de alta potência da linha Sunny Island

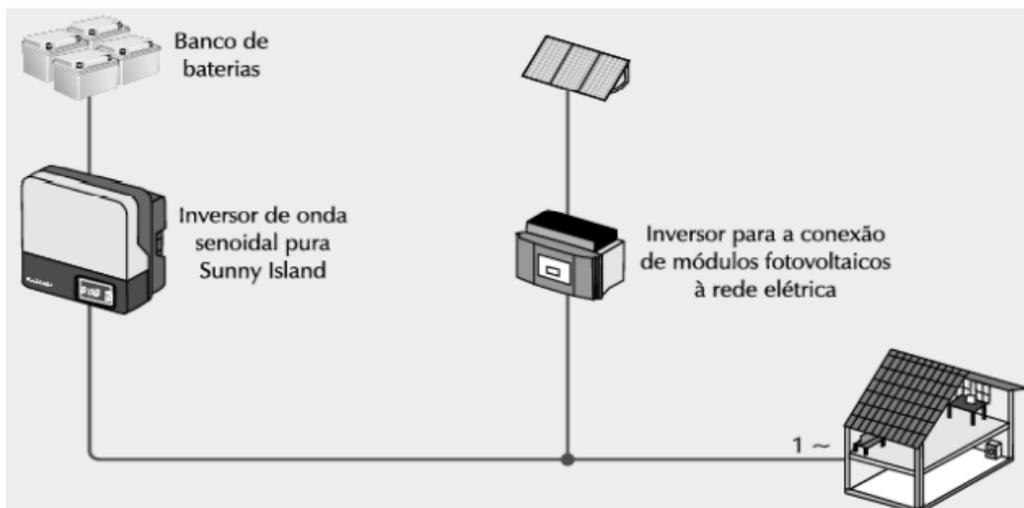


Fonte: Villalva (2015).

Segundo Villalva (2015), o inversor *Sunny Island* mostrado na Figura 41 é responsável pelo fornecimento de tensão de onda senoidal pura, constituindo uma rede elétrica autônoma para a residência.

A Figura 42, mostra um sistema composto por um inversor autônomo que se caracteriza em alimentar um imóvel do tipo residência a partir de um banco de baterias em elo com um inversor para a conexão de módulos fotovoltaicos à rede de distribuição elétrica.

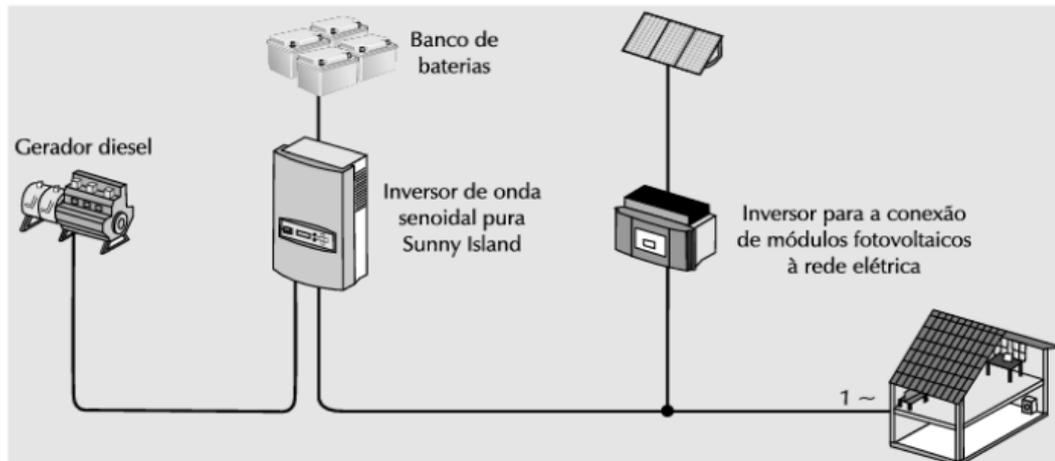
Figura 42: Sistema de alimentação autônomo para residência



Fonte: Villalva (2015).

Na Figura 43, mostra um sistema híbrido, ou seja, com duas fontes de energia.

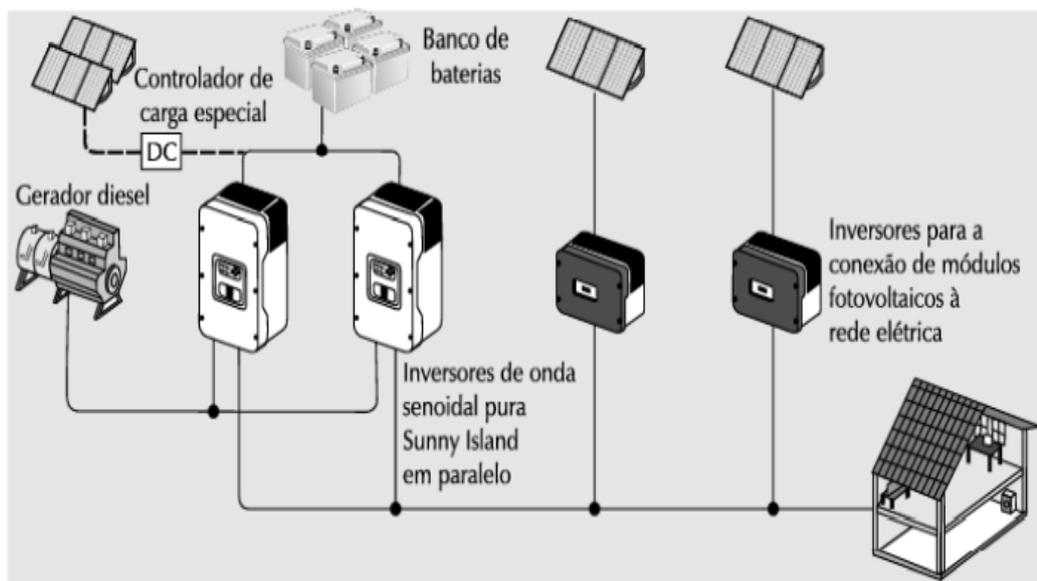
Figura 43: Sistema de alimentação autônomo híbrido para residência



Fonte: Villalva (2015).

Na Figura 44, mostra um sistema híbrido autônomo, ou seja, com módulos fotovoltaicos e gerador de diesel.

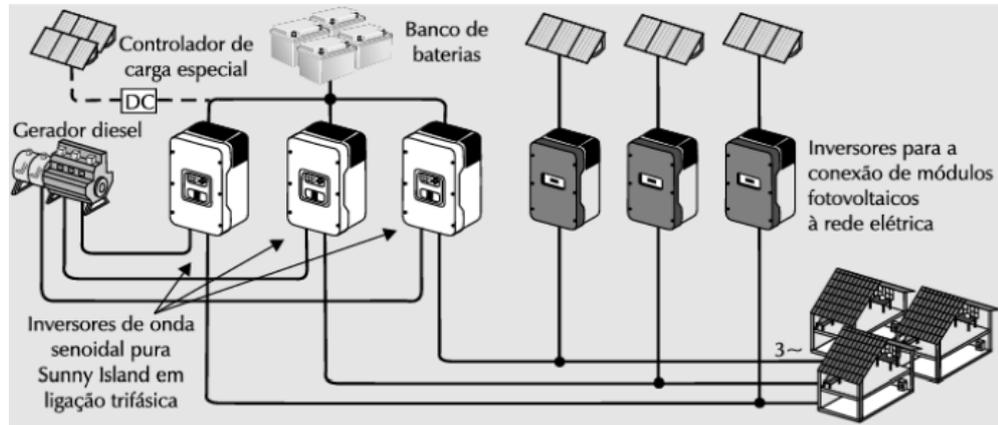
Figura 44: Sistema de alimentação autônomo híbrido para residência com dois inversores Sunny Island em paralelo



Fonte: Villalva (2015).

Na Figura 45, mostra um sistema híbrido autônomo com inversores *Sunny Island* formando uma rede elétrica trifásica.

Figura 45: Sistema de alimentação autônomo híbrido para residência com inversores Sunny Island em ligação trifásica



Fonte: Villalva (2015).

5.4. CÁLCULO DE ENERGIA PRODUZIDA PELOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

A importância desses módulos fotovoltaicos é determinar o quantitativo de energia produzida diariamente. Segundo Villalva (2015), para realizar o cálculo é necessário conhecer as condições de insolação do local e as características do módulo utilizado. Ressalta-se que para isso se pode utilizar métodos que exemplificam tal condição.

Dentre as características, tem-se os seguintes métodos: método da insolação e Levantamento das características do módulo.

5.4.1. Método da insolação

Como calcular a energia produzida pelo módulo fotovoltaico em informações sobre a respectiva carga solar em disponibilidade diária em seu local de instalação. Segundo Villalva (2015), o método da insolação para o cálculo da energia produzida pelo módulo fotovoltaico é válido quando se considera o uso de controladores de carga com o recurso do MPPT.

Esse método faz com que se determine valores diários do cálculo de energia produzida.

5.4.1.1. Levantamento das características do módulo

Caso a energia do referido módulo não for contabilizada pelo fabricante, pode-se considerar pelo próprio eleitor com base nos respectivos valores de potência em hora de pico.

Segundo Villalva (2015), as características do módulo fotovoltaico necessárias para o cálculo da energia produzida com base na insolação são as suas dimensões físicas (para o cálculo da área) e a sua eficiência.

Essa produção de energia e sua contabilização requer condições necessárias e suficientes para a sua precisão eficaz de produção e consumo. A energia produzida pelo referido módulo fotovoltaico pode ser calculada pela respectiva fórmula:

$$E_p = E_s \times A_M \times \mu_M \quad (5.1)$$

onde,

E_p = Energia produzida pelo módulo diariamente [Wh]

E_s = Insolação diária [Wh/m²/dia]

A_M = área da superfície do módulo [m²]

μ_M = Eficiência do módulo

5.4.1.2. Método da corrente máxima do módulo

Esse método considera-se que não há total aproveitamento máximo da energia solar, cujo sistema fotovoltaico não contém o recurso da MPPT. De acordo com Villalva (2015), o módulo fotovoltaico é então impossibilitado de operar em seu ponto de máxima potência e sua produção de eletricidade fica condicionada ao ponto de operação imposto pela tensão da bateria ou do banco de baterias do sistema.

O referido cálculo da energia produzida pelo módulo nesse método é feito pela respectiva fórmula:

$$E_p = P_M \times H_s \quad (5.2)$$

onde,

E_p = Energia produzida pelo módulo diariamente [Wh]

P_M = Potência do módulo[W]

H_S = Horas diárias de insolação[horas]

De modo que:

$$P_M = I_{SC} \times V_{BAT} \quad (5.3)$$

onde,

P_M = Potência do módulo[W]

I_{SC} = corrente de curto-circuito do módulo [A]

V_{BAT} = Tensão da bateria ou do banco de baterias[V]

Para calcular o número de módulos fotovoltaicos aplicamos a seguinte fórmula:

$$N_M = E_C \times E_P \quad (5.4)$$

Onde,

N_M = Número de módulos necessários

E_P = Energia produzida pelo módulo diariamente [Wh]

E_C = Energia diária consumida pelo sistema [Wh]

5.5. DIMENSIONAMENTO DO BANCO DE BATERIAS

Sua dimensão inicia a partir do valor da energia em armazenamento e dependendo da energia demandada pelos consumidores e da respectiva precisão de descarga das baterias.

Segundo Villalva (2015) "A energia consumida deve ser conhecida para cada sistema fotovoltaico específico.

Com isso podemos dimensionar um sistema fotovoltaico e determinar com precisão a energia disponível no sistema fotovoltaico em condições de demanda de consumo.

5.5.1. Número de baterias em série

O número de baterias em série pode ser determinado pela fórmula:

$$N_{BS} = V_{BANCO} / V_{VBAT} \quad (5.5)$$

onde,

N_{BS} = Número de baterias ligadas em série.

V_{BANCO} = Tensão do banco de baterias [V]

V_{VBAT} = Tensão da bateria utilizada [V]

A capacidade do banco de baterias é de-terminada pela fórmula:

$$C_{BANCO} = E_A / V_{BANCO} \quad (5.6)$$

onde,

C_{BANCO} = Capacidade de carga do banco de baterias em ampere-hora [Ah]

E_A = Energia armazenada no banco de baterias [Wh]

V_{BANCO} = Tensão do banco de baterias [V]

A energia armazenada é calculada pela fórmula:

$$E_A = E_C / P_D \quad (5.7)$$

onde,

E_A = Energia armazenada no banco de baterias [Wh]

E_C = Energia consumida [Wh]

P_D = Profundidade de descarga permitida (20%, 50%, 80% etc.)

5.5.2. Número de baterias em paralelo

Para o uso quantitativo de conjuntos de baterias em paralelo, devemos constituir o banco de capacidade. Segundo Villalva (2015), geralmente são escolhidas baterias com capacidade de ampere-hora (Ah) mais próxima possível da capacidade total do banco.

Essas escolhas dar-se-á pela precisão e emprego de cada tipo de equipamento a ser utilizado. O número de conjuntos paralelos é determinado pela fórmula:

$$N_{BP} = C_{BANCO} / C_{BAT} \quad (5.8)$$

onde,

N_{BP} = Número de conjuntos de baterias ligados em paralelo

C_{BANCO} = Capacidade de carga do banco de baterias em ampere-hora [Ah]

C_{BAT} = Capacidade de carga de cada bateria em ampere-hora [Ah]

5.6. LEVANTAMENTO DO CONSUMO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÔNOMO

Para realizar o levantamento do sistema fotovoltaico autônomo, realizasse primeiro o de energia elétrica.

Segundo Villalva (2015) "O cálculo da energia necessária para alimentar um aparelho elétrico ou eletrônico é feito pela potência do aparelho e pelo número de horas em que ele é utilizado.

Para isso devemos quantificar e caracterizar as especificações mínimas de aparelhos elétricos e seus respectivos consumos diários.

Em sistemas fotovoltaicos autônomos, normalmente estamos interessados em saber qual é a energia consumida pelo aparelho no período de um dia, pois queremos dimensionar os painéis fotovoltaicos e as baterias para possibilitar o uso diário des-ses aparelhos (VILLALVA, 2015). A energia elétrica consumida por um aparelho eletroeletrônico é calculada por:

$$E_c = P \times T \quad (5.8)$$

onde,

E_c = Energia consumida em Watts-hora [Wh]

P= Potência em watts [W]

T= Tempo de uso em horas [h].

5.7. ANÁLISE ECONÔMICA

A análise econômica proposta neste trabalho, requer parametrizar dados para obtenção de resultados satisfatórios em questão. Com o dimensionamento do sistema fotovoltaico, podemos analisar se a futura instalação será efetivamente econômica.

Segue abaixo os seguintes itens a serem analisados:

- a) Valor presente Líquido-VPL
- b) Índice de Lucratividade-IL
- c) Taxa Interna de Retorno -TIR
- d) Tempo de Retorno de Investimento - *Payback*

O Tabela 4 mostra respectivamente as vantagens e as desvantagens, de acordo com cada método analisado por cada um dos respectivos indicadores caracterizados.

Tabela 4: Resumo dos indicadores econômicos

Método	Vantagens	Desvantagens
VPL	Método simples, porém, criterioso, por considerar o valor temporal do dinheiro. Reconhecido como um dos melhores indicadores financeiros.	Pode apresentar resultados pouco satisfatórios com relação ao risco do projeto, principalmente se a TMA não for bem definida.
IL	Possibilidade de verificar quanto de lucro está sendo gerado a partir de determinado serviço	todas as entradas são remuneradas a partir da taxa utilizada no mês
TIR	Indica conjuntamente o retorno esperado e o risco de um projeto.	Soluções trabalhosas e não aplicáveis a todos os casos.

<i>Payback</i>	Indicador de risco de fácil interpretação	Não considera fluxo de caixa após o instante do retorno de investimento.
----------------	---	--

Fonte: Adaptado de (Pinho et al, 2008).

5.7.1. Valor presente líquido-VPL

$$V_{PL} = 1 + CNU + \sum_{j=1}^n VP_a \quad (5.9)$$

Onde,

V_{PL} = Valor Presente Líquido

CNU= Custos Não Uniformes

VP_a = Valor Presente Anual

Onde, VP_a é dado pela equação 5.10,

$$VP_a = a \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \quad (5.10)$$

Onde,

VP_a = Valor Presente Anual

Cuja variável “a” está correspondendo à anuidade, que são os valores do capital e podem variar ao longo do tempo. A equação 5.11 representa os custos uniformes (CNU) no presente,

$$CNU = \frac{Valor_1}{(1+i)^1} + \frac{Valor_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{Valor_n}{(1+i)^n} \quad (5.11)$$

Solucionando a equação, a conclusão que podemos obter é:

- Se o Valor Presente Líquido for maior que zero, ($VPL > 0$), então o negócio é atrativo;
- Se o Valor Presente Líquido for menor que zero ($VPL < 0$), então o negócio não é atrativo;

c) Se o Valor Presente Líquido for igual a zero (VPL=0), então o negócio é indiferente.

5.7.2. Índice de Lucratividade - IL

O Índice de lucratividade é um indicador percentual que relaciona o VPL com o capital investido. Na prática, o IL representa a remuneração percentual para cada unidade monetária investida. O cálculo do IL é feito desta maneira:

$$IL = \frac{\sum_{t=1}^T \frac{FC}{(1+i)^t}}{INV} \quad (5.12)$$

Onde,

IL – Índice de Lucratividade

FC – Fluxo de caixa

INV – Investimento Inicial

5.7.3. Taxa Interna de Retorno -TIR

De acordo com a definição o TIR é aquele que faz com que o VPL=0, conforme a equação (5.9).

$$0 = 1 + CNU + \sum_{j=1}^n \left(a \frac{(1+TIR)^{n-1}}{i(1+TIR)^n} \right) \quad (5.13)$$

Onde,

CNU – Custos Não Uniformes

Onde o valor dos custos não uniformes (CNU) é dado pela respectiva equação (5.11).

5.7.4. Tempo de Retorno de Investimento - *PAYBACK*

Em método financeiro que disponibiliza ao investidor o tempo estimado de retorno que o sistema irá proporcionar de benefício.

Dado a equação de como calcular o *payback*.

$$PAYBACK = K_{CLneg} + \left(\frac{|CLneg|}{CLpos+|CLneg|} \right) \quad (5.14)$$

Onde,

K_{CLneg} = período do último caixa livre negativo verificado;

CL_{neg} =valor do último caixa líquido negativo;

CL_{pos} =valor do primeiro caixa líquido positivo.

5.8. CONCLUSÃO

O capítulo apresentou todos os passos para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico, da escolha da placa até a análise de viabilidade. Dentre os vários assuntos abordados neste capítulo, podemos destacar o dimensionamento fotovoltaico, através do método apresentado por VILLALVA (2015)”. Temos também os passos para a escolha de cada um dos elementos do sistema, baterias, controlador de cargas, inversor e por fim os passos financeiros para verificar se é viável ou não a instalação. Todas essas etapas servirão como base para aplicação no próximo capítulo.

3 METODOLOGIA

5.9. INTRODUÇÃO

A base metodológica do trabalho dar-se-á no estudo de caso de uma comunidade escolar indígena ribeirinha na cidade de Manaus, logo pode-se analisar o fenômeno estudado e sua influência direta e indireta no objeto de estudo relacionado ao impacto envolvente de mudanças na área de estudo é proveniente de geração de energia sustentável como sustento energético da comunidade indígena escolar. O respectivo objeto do projeto será a análise de um sistema fotovoltaico para suprimento de energia elétrica em uma escola municipal indígena na zona ribeirinha em plena região Amazônica.

A escola municipal Kanata T-Ykua de nível fundamental, localizado na comunidade indígena Três Unidos, na zona ribeirinha do Rio Negro na cidade de Manaus/AM, onde a mesma não possui energia convencional, ou seja, o bom funcionamento da mesma é realizado por gerador, cujo combustível é por óleo diesel que vem transportado via fluvial e com isso gerando custos altos e relevantes em termos de custo e de benefício.

A escola está situada em uma zona de difícil acesso por transporte terrestre e com isso, as dificuldades aumentam conforme a necessidade da comunidade em obter energia de qualidade e contínua, como consequência dessa logística havendo diversos gargalos e dificuldades na obtenção de insumos oriundos da capital amazonense para a escola. Sua comunidade sobrevive praticamente de caça e pesca, pois devido a sua geografia, a logística dar-se-á somente por transporte fluvial e com dia e horário a serem definidos pelos proprietários das lanchas ou embarcações que realizam a locomoção (transporte fluvial) das pessoas que ali habitam, trabalham e se locomovem da comunidade para outras comunidades e para a capital amazonense, podendo haver ou não o transporte solicitado e agendado, devido ao tempo meteorológico e a escassez de passageiros em ir e vir na utilização do transporte.

Foi realizado o levantamento de consumo junto a Secretaria de Educação Municipal (SEMED/Manaus/AM), especificamente no setor de GEOPROCESSAMENTO/ ENGENHARIA objetivando saber qual o consumo de energia gerada é gasta na referida escola. O levantamento deu-se para quantificar e mensurar os condicionadores de ar, bomba d'água, ventiladores, exaustores e dentre outros, pois o objetivo foi mensurar o consumo de energia em geral do local pesquisado.

Pois cujo levantamento dar-se-á para analisar o consumo de energia e quanto de potência para que o conjunto de energia solar fotovoltaica (kW) a ser instalado irá fornecer para a escola e atender pelo menos o mínimo de energia gerada e consumida pela escola.

Após o levantamento e definido, o dimensionamento dos painéis fotovoltaicos, inversores, controladores de cargas, das baterias no sistema *off-grid* serão feitos dois métodos passo a passo cada uma delas e verificar a viabilidade de quanto tempo terei o retorno disso, ou seja, da viabilidade e analisarei dois passos importantes para tal definição. Sendo os seguintes passos: Verificar o quantitativo de consumo pelo gerador de energia da escola, seus respectivos insumos de combustível, logística de transporte fluvial desse combustível até a escola e a manutenção do gerador.

Considerando uma pesquisa de caráter aplicada e estudo de caso de abordagem hipotético-dedutiva com registros fotográficos.

O método utilizado corresponde a uma pesquisa observacional e de ação, onde o mesmo é o início de todas as pesquisas científicas, e elas fundamentam-se em procedimentos de natureza sensorial e é a busca de caráter deliberativo, levada a efeito com cautela e predeterminação, em contraste com as percepções do senso comum.

O tipo de pesquisa na abordagem dos problemas é quantitativo, na característica da pesquisa é transversal, no procedimento técnico pesquisa é uma pesquisa de campo e bibliográfica com fontes de: livros, revistas, artigos, dissertações e teses e no ponto de vista de seus objetivos é uma pesquisa descritiva, estudo de caso e exploratória.

5.10. CONCLUSÃO

Com a viabilidade imposta, apesar do sistema de energia ser caro e tem que possuir investimento inicial, só que o quantitativo de consumo pelo gerador de energia da escola, seus respectivos insumos de combustível, logística de transporte fluvial desse combustível até a escola e a manutenção do gerador são gastos mensais dentro de um orçamento composto de um contrato anual e até mesmo sujeito a aditivo por parte da empresa que presta serviço para a prefeitura de Manaus e especificamente a secretaria municipal de educação (SEMED) e com a implantação de energia solar dentro de um contexto custo *versus* benefício será verificado a sua importância de implantação da energia solar na referida escola. Dentro de uma viabilidade alguns parâmetros devem ser analisados, sendo o primeiro o tempo de retorno desse

investimento; o segundo é o *payback*, ou seja, verificar o lucro que terá após a implantação de energia solar na escola; o terceiro é verificar o tempo de pagamento desse projeto que dar-se-á em 8 anos.

6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

8.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados após os cálculos realizados de acordo com as fórmulas já apresentadas, os mesmos serão apresentados por meio de tabelas e textos para facilitar a interpretação. Serão também apresentados as especificações e dados iniciais, sendo algumas delas, quantidade de dias sem sol, nível de tensão do sistema, horas de insolação diária. Ainda serão apresentados dados de placa, neste caso para os módulos fotovoltaicos, o dimensionamento e a viabilidade do sistema projetado. Todo o dimensionamento será apresentado em passos. Foram considerados dois módulos com potências diferentes para efeitos comparativos.

8.2 PRIMEIRO PASSO

O Levantamento de cargas é composto pela soma das potências de todos os aparelhos que possui a escola, separa-se por itens tais como, iluminações internas e externas, tomadas de uso geral, tomadas específicas, climatização por ar-condicionado e climatização por ventiladores conforme a tabela 5.

Tabela 5: Planilha de dimensionamento de levantamento de cargas

Escola Comunidade 3 Unidos			
Levantamento de carga			
Itens	Potência Total Instalada[kW]	Horas de Uso/dia	Potência Total[kwh]
Iluminação Interna	3,43	9	30,85
Iluminação Externa	3,03	8	24,27
Tomadas de Uso Geral	13,50	4	54,00
Tomadas Específicas	8,15	2	16,30
Climatização Ar condicionado	29,40	8	235,20
Climatização Ventiladores	2,21	8	17,68
Total	59,72		378.304,00
		Valor necessário para dois dias	756.608,00

O resultado desse levantamento de cargas é de 378.000 kWh por dia para um funcionamento contínuo de 8h por dia.

Uma das necessidades do dimensionado é verificar a viabilidade para dois dias sem sol, ou seja, o conjunto de baterias deve armazenar energia suficiente para suprir essa falta de sol, logo multiplicamos esse nosso valor diário por 2 e resultando 756.000 kWh que é o valor a ser trabalhado para o dimensionamento.

8.3 SEGUNDO PASSO

Todos os parâmetros, fórmulas e cálculos, foram de acordo com o livro do Villalva (2015) que estão descritas nos capítulos anteriores

Tabela 6: Grau de inclinação módulo solar

Definição da Inclinação dos Módulos Fotovoltaicos	
Grau de inclinação Módulo Solar	10 Graus

Fonte: Próprio autor, 2022.

8.4 TERCEIRO PASSO

Após definidas as cargas e a orientação dos módulos solares, partimos para especificações do sistema conforme tabela 7, onde nos temos primeiramente dois módulos solares com tecnologias diferentes, conforme anexo I, posteriormente temos a insolação diária da região e a quantidade de horas disponíveis de sol, especificações para o conjunto de baterias, incluso em anexo dados do fabricante.

Tabela 7: Dados de entrada

Dados de Entrada			
1		Valores Para Módulo de 455W	Valores Para Módulo de 585W
2	Insolação Diária [Wh/m ² /dia]	4950	4950
3	Horas Diárias de Insolação [h]	5	5
4	Tensão da Bateria [V]	12	12
5	Tensão do Banco de Baterias [V]	48	48
6	Capacidade de Carga da Bateria [Ah]	234	234
7	Profundidade de Descarga [%]	80%	80%
Dados do Módulo Solar			
8	Potência de Pico do Módulo [W]	455	585
9	Tensão de Máxima Potência [V]	41,3	34,3
10	Corrente de Máxima Potência [A]	11,02	17,06
11	Tensão de Circuito - Aberto [V]	49,3	40,7

12	Corrente de Curto - Circuito [A]	11,66	18,32
13	Altura do Módulo [m]	2,108	2,17
14	Largura do Módulo [m]	1,048	1,30
15	Área do Módulo [m ²]	2,209	2,830
16	Eficiência do Módulo [%]	20,60%	20,70%

Fonte: Próprio autor, 2022.

a) Valores Padrões

Instalação de área- Quantitativo de irradiação temo em nossa região é de 4950m² /dia.

Horas diárias de insolação- 5h;

Tensão da bateria- 12v;

Tensão do banco de baterias- 48v;

Capacidade de carga da bateria- 234 A por h;

Profundidade de descarga- 80%.

Após definidas as especificações iniciais, partimos para o dimensionamento do sistema de fato conforme fórmulas apresentadas no capítulo 5. Foram montadas 4 tabelas para facilitar os cálculos e entendimento. Na tabela 8 é mostrado os dois métodos para obtenção da energia produzida pelo módulo solar. Na tabela 9, temos o dimensionamento das baterias, que é o mesmo para os módulos em análise, isso se justifica, pois para esse cálculo é somente considerado a carga a ser armazenada. Na tabela 10, temos o número de placas solares necessárias para atender a demanda da escola conforme demanda apresentada na tabela 5. Por fim na tabela 11, temos o dimensionamento dos dois últimos elementos do sistema, que são o controlador de carga e o inversor. O primeiro é dimensionado conforme a corrente produzida pelo conjunto fotovoltaico e o segundo é parametrizado conforme a potência instalada de placas solares. Nesta tabela podemos verificar que o inversor deve ser capaz de suportar 76.895kW e 77.200kW respectivamente, é possível verificar que esta potência é maior que a potencia da referida escola deste estudo, ou seja, o sistema atende a demanda.

Tabela 8: Método da insolação e método da corrente máxima do módulo

Dados de Saída		
1 - Método da Insolação - Energia produzida pelo Módulo Diariamente [Wh]		
	455W	585W

$E_p = E_s * A_m * \eta_m$ $E_p - \text{Energia Produzida}$ $E_s - \text{Insolação Diária [Wh/m}^2/\text{dia}$ $A_m - \text{Área da superfície do Módulo [m}^2]$ $\eta_m - \text{Eficiência do Módulo}$	2.252,70	2.899,88	Eq. 5.1
2 - Método da Corrente Máxima do Módulo - Energia produzida pelo Módulo Diariamente [Wh]			
$P_m = I_{sc} * V_{bat}$ $I_{sc} - \text{Corrente de Curto - Circuito do Módulo [A]}$ $V_{bat} - \text{Tensão da Bateria ou Banco de Baterias [V]}$	139,92	219,84	Eq. 5.3
$E_p = P_m * H_s$ $E_p - \text{Energia Produzida [Wh]}$ $P_m - \text{Potência do Módulo [W]}$ $H_s - \text{Horas Diárias de Insolação [h]}$	699,60	1.099,20	Eq. 5.2

Fonte: Próprio autor, 2022.

Tabela 9: Dimensionamento do banco de Baterias

Dimensionamento do Banco de Baterias			
$N_{bs} = V_{banco} / V_{bat}$ $N_{bs} - \text{Nº de baterias em Série - Nbs}$ $V_{banco} - \text{Tensão do Banco de Baterias [V]}$ $V_{bat} - \text{Tensão da Bateria utilizada [V]}$	4	4	Eq. 5.5
$E_a = E_c / P_d$ $E_a - \text{Energia Armazenada no Banco [Wh]}$ $E_c - \text{Energia Consumida [Wh]}$ $P_d - \text{Profundidade de Descarga [%]}$	945.760,00	945.760,00	Eq. 5.7
$C_{banco} = E_a / V_{banco}$ $C_{banco} - \text{Capacidade do Banco - Cbanco [Ah]}$	19.703,33	19.703,33	Eq. 5.6
$N_{bp} = C_{banco} / C_{bat}$ $N_{bp} - \text{Nº de baterias em Paralelo - Nbp}$ $C_{bat} - \text{Capacidade de Carga de cada Bateria [Ah]}$	85	85	Eq. 5.8
Quantidade Total de Baterias	340	340	

Fonte: Próprio autor, 2022.

Tabela 10: Dimensionamento da quantidade de Módulos Solares

Número de Módulos Fotovoltaicos
--

	455W	585W	
Método 1 $N = E_c / E_p$	169,00	132,00	Eq. 5.4
Método 2 $N = E_c / E_p$	541,00	345,00	

Fonte: Próprio autor, 2022.

Tabela 11: Dimensionamento do Controlador de Carga e Inversor

Controlador de Carga		
	455W	585W
Corrente Máxima Fornecida - Método 1	985,27	1.209,12
Corrente Máxima Fornecida - Método 2	3.154,03	3.160,20
Inversor		
Potência Total Instalada [W]	76.895,00	77.220,00
Energia total produzida diariamente [Wh]	380.707,13	382.783,94
Energia total armazenada na Bateria [Wh]	3.818.880,00	3.818.880,00

Fonte: Próprio autor, 2022

8.5 QUARTO PASSO

A seguir temos a explicação de cada linha da tabela para massificar o entendimento da mesma.

1º Método- Método da insolação

Pela fórmula diz que a energia produzida é igual a insolação diária vezes a área da superfície do módulo vezes o rendimento desse módulo. Para cada módulo temos a energia produzida pelo módulo diário.

Nos valores para o módulo de 455W, teremos 2.252,70 Wh de energia produzida pelo módulo diário. Nos valores para o módulo de 585W, teremos 2.899,88 Wh de energia produzida pelo módulo diário.

2º Método- Método da corrente máxima

Pela fórmula diz que a potência máxima é igual a corrente de curto-circuito do módulo vezes a tensão da bateria ou banco de baterias.

Nos valores para o módulo de 455W, teremos 139,92 Wh de energia produzida pelo módulo diário. Nos valores para o módulo de 585W, teremos 219,84 Wh de energia produzida pelo módulo diário.

Pela fórmula diz que a energia produzida é igual a potência do módulo vezes as horas diárias de insolação.

Nos valores para o módulo de 455W, teremos 699,60 Wh de energia produzida pelo módulo diário. Nos valores para o módulo de 585W, teremos 1.099,20 Wh de energia produzida pelo módulo diário.

a) Dimensionamento do banco de baterias

De acordo com o 1º passo, precisamos de 756.608,00 kWh de potência total para o funcionamento por dois dias de energia, temos baterias de 12V e a especificado que nosso banco de baterias deve possuir tensão de 48V, logo precisaremos de 4 baterias em série para fornecer essa tensão, sendo assim 4 baterias x 12V=48V, esse dimensionamento das baterias é igual para ambos os módulos.

Isso gera como consequência a energia armazenada no banco cuja fórmula é a energia armazenada é igual a energia consumida multiplicada pela profundidade de descarga nos respectivos valores para ambos os módulos de 945.760,00Wh.

A capacidade de energia que o banco consegue fornecer é de 19.703,33Ah.

Levando em consideração a capacidade do banco temos que serão necessárias 340 baterias organizadas em 85 fileiras com 4 baterias em série, logo fazendo um arranjo 85x4, com um total de 340 baterias.

Dimensionado as baterias, vamos calcular o número de módulos fotovoltaicos de acordo com a energia dos módulos.

Tanto para o Método 1 quanto para o 2 a fórmula para o número de módulos e o mesmo e o que diferencia a quantidade é a energia produzida através de cada método, deste modo temos que a quantidade de módulos fotovoltaicos é igual a Energia consumida dividido pela energia produzida.

Pelo método 1 temos que para o módulo de 455W, teremos 169,00 de número de módulos fotovoltaicos. Nos valores para o módulo de 585W, teremos 132,00 de número de módulos fotovoltaicos.

Sendo pelo método 2, para o módulo de 455W, teremos 541,00 de número de módulos fotovoltaicos. Nos valores para o módulo de 585W, teremos 345,00 de número de módulos fotovoltaicos.

Para o controlador de carga, devemos considerar a corrente fornecida por cada método levando em consideração a corrente de curto-circuito do módulo.

Pelo método 1, os valores para o módulo de 455W, teremos 985,27A. Para o módulo de 585W, teremos 1.209,12A.

Pelo método 2, os valores para o módulo de 455W, teremos 3.154,03 e para o módulo de 585W, teremos 3.160,20A.

Para o dimensionamento do inversor, devemos considerar a potência total instalada de placas.

Na potência total instalada em Watts, teremos pelo método 1, os valores para o módulo de 455W, teremos 76.895,00W de potência total instalada. Nos valores para o módulo de 585W, teremos 77.220,00W de potência total instalada.

Na energia total produzida diariamente, teremos pelo método 1, os valores para o módulo de 455W, teremos 380.707,13Wh de energia total produzida diariamente. Nos valores para o módulo de 585W, teremos 382.783,94Wh de energia total produzida diariamente.

A energia total armazenada na bateria pelos métodos 1 e 2 é a mesma, logo teremos 3.818.880,00Wh de energia total armazenada no conjunto de bateria.

Chegando aos respectivos valores, escolhe-se o método que se tem gasto menor e produção maior, logo o método 1 é o mais eficaz em relação ao custo benefício de um sistema de módulo fotovoltaico e o módulo escolhido é o de 585W, pois consigo produzir mais energia com um número inferior de placas, tendo em vista que a diferença de valores é mínima, pois o módulo de 455W custa R\$ 1.115,07 enquanto que o de 585W custa R\$ 465,00 e possui tecnologia Bifacial que pode aumentar sua eficiência para 24,8%, isto posto temos o seguinte resumo:

Módulo Escolhido: 585W

Número Total de Módulos: 132, organizados em uma matriz 33x4

Potência Total instalada dos módulos: 77.220W

Total de Baterias: 340 organizados em uma matriz 85x4.

Controlador de Carga: deve suportar 1.209,12A.

Inversor: Suportar no mínimo 77.200W

b) Orçamento

Tabela 12: Orçamento

Itens	Descrição	Quantidade	Preço	Total
1	Painel Solar 585W Bifacial Halfcell Canadian - CS7L 585MB AG	132,00	R\$ 1.580,07	R\$ 208.569,24
2	Bateria Estacionária Moura Solar 12MS234 (220Ah)	341	R\$ 1.580,07	R\$ 538.803,87
3	Inversor carregador Off Grid 8000W 48/220V MPPT 120A Growatt - SPF 8KT HVM	11	R\$ 12.944,67	R\$ 142.391,37
Valor Parcial de material				R\$ 889.764,48
Mão-de-obra		20%		R\$ 177.952,90
Total Orçado				R\$ 1.067.717,38

Fonte: Próprio autor, 2022.

Sendo os materiais necessários para realizar o projeto da escola: 132 módulos solares e sendo 4 em série e 33 em paralelo; 340 baterias e sendo 4 em série e 85 em paralelo e 11 inversores com controlador de carga.

De acordo com o orçamento descrito, no item 1 é descrito o painel solar 585W Bifacial *Halfcell* Canadian-CS7L 585MB AG com 132 quantidades de placas ao preço de R\$ 1.580,07 a unidade e chegando ao custo total parcial de R\$ 208.569,24.

De acordo com o orçamento descrito, no item 2 é descrito pela Bateria Estacionária Moura Solar 12MS234 (220Ah) com 341 quantidades de baterias ao preço de R\$ 1.580,07 a unidade e chegando ao custo total parcial de R\$ 537.223,80.

De acordo com o orçamento descrito, no item 3 é descrito pelo Inversor carregador *off grid* 8000W 48/220V MPPT 120^a Growatt-SPF 8KT HVM com 11 quantidades de inversores ao preço de R\$ 12.944,677 a unidade e chegando ao custo total parcial de R\$ 142.391,37.

Nota-se que na lista não consta o CONTROLADOR DE CARGA, pois o mesmo já está integrado ao Inversor Carregador, deste modo temos uma economia de espaço e dinheiro.

O valor parcial do material está em torno de R \$888.184,41.

O serviço de mão de obra ao percentual de 20% em torno de R \$177.638,29.

Sendo o total orçado no valor de R \$1.065.821,29.

c) Viabilidade

Após o dimensionamento do sistema é necessário verificar se é viável a instalação ou não do mesmo, para isso foram considerados importantes quando se fala em viabilidade, estes estão listados abaixo.

- 1) Taxa mínima de atratividade- Baseado em um fator, no caso da escolha é a taxa SELIC.
- 2) Valor presente líquido - Quanto o investimento está valendo hoje.
- 3) Taxa interna de retorno - Dado em porcentagem.
- 4) Índice de lucratividade – a cada 1 real gasto me diz quanto eu tenho de retorno.
- 5) *Payback* - É dado em anos, conforme a tabela abaixo.

Tabela 13: Resultados de Viabilidade

Índice	sigla	Valor
Taxa Mínima de Atratividade	TMA	11,75%
Valor Presente Líquido	VPL	R\$ 2.230.982,12
Taxa Interna de Retorno	TIR	13,06%
Índice de Lucratividade	IL	3,42
<i>Payback</i>	anos	7,30
ECONOMIA		R\$ 145.978,25

Fonte: Próprio autor, 2022.

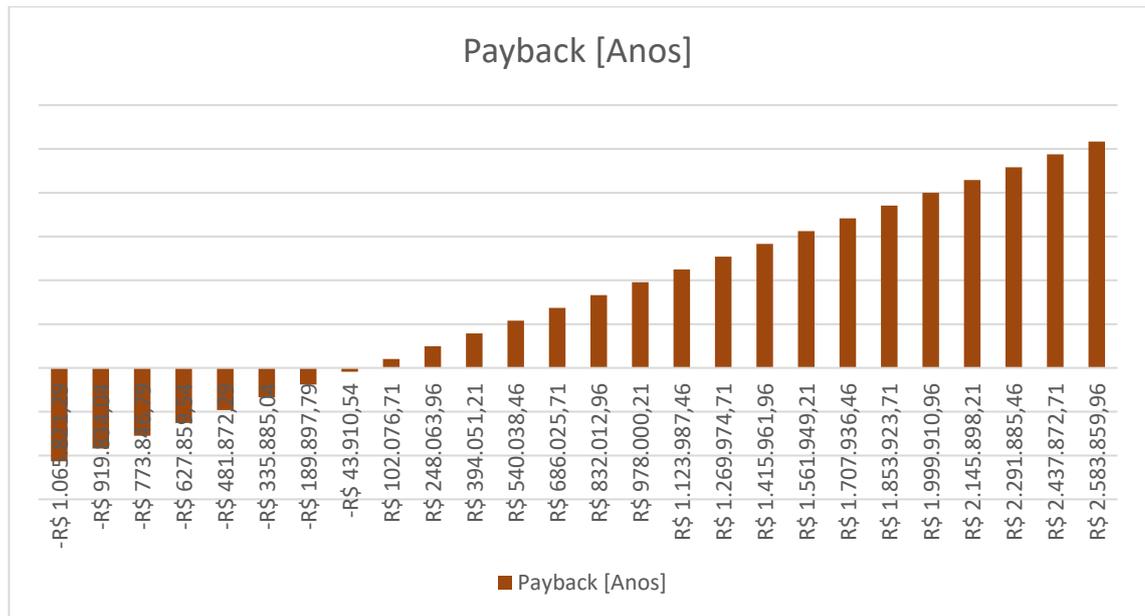
Abaixo na Tabela 13 temos a evolução ao longo do tempo para o investimento orçado, relacionando a economia e em quanto tempo ele trará retorno. No Gráfico 6, temos o panorama em formato gráfico do *PAYBACK*.

Tabela 14: Análise do tempo de retorno do investimento

Ano	Fluxo de Caixa	Economia	Payback [Anos]
0	-R\$ 1.067.717,38	0	-R\$ 1.067.717,38
1	R\$ 145.987,25	R\$ 145.987,25	-R\$ 921.730,13
2	R\$ 145.987,25	R\$ 145.987,25	-R\$ 775.742,88
3	R\$ 145.987,25	R\$ 145.987,25	-R\$ 629.755,63
4	R\$ 145.987,25	R\$ 145.987,25	-R\$ 483.768,38
5	R\$ 145.987,25	R\$ 145.987,25	-R\$ 337.781,13
6	R\$ 145.987,25	R\$ 145.987,25	-R\$ 191.793,88
7	R\$ 145.987,25	R\$ 145.987,25	-R\$ 45.806,63
8	R\$ 145.987,25	R\$ 145.987,25	R\$ 100.180,62
9	R\$ 145.987,25	R\$ 145.987,25	R\$ 246.167,87
10	R\$ 145.987,25	R\$ 145.987,25	R\$ 392.155,12
11	R\$ 145.987,25	R\$ 145.987,25	R\$ 538.142,37
12	R\$ 145.987,25	R\$ 145.987,25	R\$ 684.129,62
13	R\$ 145.987,25	R\$ 145.987,25	R\$ 830.116,87
14	R\$ 145.987,25	R\$ 145.987,25	R\$ 976.104,12
15	R\$ 145.987,25	R\$ 145.987,25	R\$ 1.122.091,37
16	R\$ 145.987,25	R\$ 145.987,25	R\$ 1.268.078,62
17	R\$ 145.987,25	R\$ 145.987,25	R\$ 1.414.065,87
18	R\$ 145.987,25	R\$ 145.987,25	R\$ 1.560.053,12
19	R\$ 145.987,25	R\$ 145.987,25	R\$ 1.706.040,37
20	R\$ 145.987,25	R\$ 145.987,25	R\$ 1.852.027,62
21	R\$ 145.987,25	R\$ 145.987,25	R\$ 1.998.014,87
22	R\$ 145.987,25	R\$ 145.987,25	R\$ 2.144.002,12
23	R\$ 145.987,25	R\$ 145.987,25	R\$ 2.289.989,37
24	R\$ 145.987,25	R\$ 145.987,25	R\$ 2.435.976,62
25	R\$ 145.987,25	R\$ 145.987,25	R\$ 2.581.963,87

Fonte: Próprio autor, 2022.

Gráfico 6: Tempo de Payback



Fonte: Próprio autor, 2022.

A taxa mínima de atratividade é baseada em um fator, no caso da escolha é a taxa SELIC (TMA) com 11,75%. O valor presente líquido (VPL) objetiva avaliar de quanto o investimento está valendo hoje sendo de R \$2.230.982,12. A taxa interna de retorno que é dada em porcentagem de 13,06%. O índice de lucratividade(IL) que para cada 1 real gasto diz quanto se tem de retorno, sendo este de 3,42 e o *Payback* que é dado em anos, conforme a tabela acima de 7,30 anos. O valor da economia que a referida escola terá por ano é de R \$145.987,25.

8.6 CONCLUSÃO

Após a conclusão deste capítulo pode-se verificar que o sistema projetado é viável em todos os seus aspectos, principalmente os financeiros onde teve-se um retorno em menos de 8 anos considerando as proporções deste projeto, sendo que as placas tem duração média de 25 anos.

Pelo resultado gerado podemos destacar também o impacto que o sistema terá na escola, pois não será necessário desmatar, uma área para colocar as placas solares, tendo em vista que a área de cobertura da escola é de aproximadamente 500 m² e o conjunto de módulos ocupa 373,56 m², ainda no aspecto ambiental devemos destacar as baterias, pois as mesmas após o término da vida útil deverão ser descartadas de maneira correta. Com o sistema implantado a

utilização de combustível fóssil não será mais necessária, ou seja, o diesel será descartado da escola, evitando assim o transporte pelos rios que geraria mais um gasto.

Quanto ao impacto social, podemos destacar que a escola servirá de modelo para outras instituições, escolas e até mesmo residências em comunidades isoladas, pois estará usando energia limpa e praticamente inesgotável.

Quanto ao impacto financeiro, o destaque vai para a economia, pois ainda que tenha um valor elevado no início, em menos de 8 anos o sistema já estará pago e então o valor que era gasto com combustível, manutenção e transporte do gerador já poderá ser usado em melhorias para a própria escola, melhorando o ambiente, a infraestrutura, conforto dos alunos entre outros aspectos.

7. CONCLUSÃO

O trabalho apresentado dimensiona um sistema fotovoltaico autônomo para suprir as necessidades de uma escola ribeirinha e indígena na cidade de Manaus, onde poderá ser implantado e de acordo com as respectivas necessidades de uma avaliação técnica, juntamente com uma avaliação econômica para a implantação do sistema avaliando o custo-benefício do sistema a longo prazo.

A metodologia usada para a implementação do projeto dar-se-á desde os conceitos básicos de localidade com uma visita técnica *in loco* e de uma árdua verificação de projetos existentes ou não da escola escolhida, de natureza arquitetônica de construção civil. Instalações elétricas e hidrossanitários que passam pelo processo de se dimensionar o referido sistema fotovoltaico e de caráter ético e social de normas, leis vigentes e de uma compreensão analítica técnica econômica e benéfica para o público frequente e transeuntes da escola indígena.

Na compreensão técnica analítica do sistema fotovoltaico, deu-se uma proposta do sistema dimensionado e mostrou-se uma eficiência capaz de suprir as necessidades do povoado, além de um custo-benefício no valor da economia que a referida escola terá por mês.

Na compreensão econômica do sistema fotovoltaico, considerando o alto custo do valor inicial da implantação e compra do sistema, vale destacar o custo-benefício que trará ao povo local em termos de consumo de energia elétrica reduzido no valor da economia que a referida escola terá por mês é de R\$ 145.987,25, em torno de 7,30 anos após a implantação do sistema fotovoltaico.

Na disposição de efetiva utilização do sistema fotovoltaico na escola de natureza ribeirinha na cidade de Manaus, e especificamente indígena, o referido projeto inovador trará contribuição para o desenvolvimento sustentável e contribuindo na geração de energia que poderá tornar-se convencional em locais isolados na região amazônica dentro de um contexto de alternativa para as futuras gerações do local.

8. REFERÊNCIAS

Copom | Agência Brasil (ebc.com.br) Acesso em 05 de abril de 2022.

ANDRADE, Pietra Isabele Ferreira de. **Análise da Distribuição Espacial e Temporal da Radiação Solar na Região Sul Litorânea e Serrana de Santa Catarina a partir de Estações Meteorológicas de Superfície.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá, Centro de Ciências, Tecnologias e Saúde, Departamento de Energia e Sustentabilidade. Araranguá, SC. 2020.

BEDAQUE, Paulo; BRETONES, Paulo Sergio. **Variação da posição de nascimento do Sol em função da latitude.** *Artigos Gerais • Rev. Bras. Ensino Fís.* 38 (3) • Set 2016 • <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2015-0023>

KORQUEVICZ, ANDREI GUERRA. **Estudo de caso para melhorias no dimensionamento de um sistema fotovoltaico visando maior produção de energia.** Especialização em energias renováveis- Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Departamento Acadêmico de Eletrotécnica. Curitiba, 2017.

SANTOS, Eduardo Lira. **Análise de Viabilidade técnico-econômica da implementação de um sistema fotovoltaico para suprimento de energia em uma escola em zona ribeirinha da cidade de Manaus.** 2019.

PINHO, João Tavares. GALDINO, Marco Antônio. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos.** Grupo de trabalho de energia solar- GTES. CEPTEL-DTE-CRESESB. Edição revisada e atualizada. Rio de Janeiro, março 2014.

SANTOS, Joseph Dias. **Análise do sistema fotovoltaico implementado no centro de aulas das engenharias.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação (EMC), Engenharia Elétrica. Goiânia, GO. 2019.

SANTOS, Juliane Barbosa dos. JABBOUR, Charbel José Chiappetta. **Adoção da energia solar fotovoltaica em hospitais: revisando a literatura e algumas experiências internacionais.** *Saúde Soc.* São Paulo, v.22, n.3, p.972-977, 2013.

VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações/** -- 1. ed. -- São Paulo: Érica, 2012. ISBN 978-85-365-0978-5.

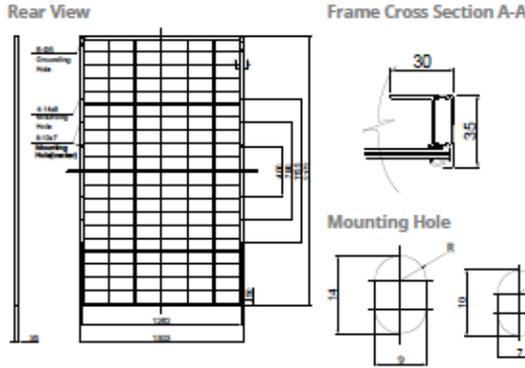
ABINEE - Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica. Condições de Atendimento ao Sistema Interligado Nacional – SIN Provimento de segurança energética em 2021. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/aprmmri.pdf>>. Acesso em: 25 de abril de 2022.

PEREIRA, Enio Bueno et al. Atlas Brasileiro de Energia Solar. 2017. Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/atlas-brasileiro-de-energia-solar-2a-edicao.html>>. Acesso em: 25 de abril. 2022.

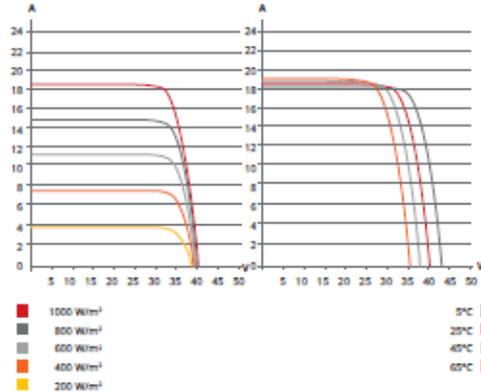
9. ANEXOS

Dados da Placa escolhida de 585W

ENGINEERING DRAWING (mm)



CS7L-580MB-AG / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC*

	Nominal Max. Power (Pmax)	Opt. Operating Voltage (Vmp)	Opt. Operating Current (Imp)	Open Circuit Voltage (Voc)	Short Circuit Current (Isc)	Module Efficiency
CS7L-575MB-AG	575 W	33.9 V	16.97 A	40.3 V	18.22 A	20.3%
Bifacial Gain**	5%	604 W	33.9 V	17.82 A	40.3 V	21.3%
	10%	633 W	33.9 V	18.68 A	40.3 V	22.4%
	20%	690 W	33.9 V	20.36 A	40.3 V	24.4%
CS7L-580MB-AG	580 W	34.1 V	17.02 A	40.5 V	18.27 A	20.5%
Bifacial Gain**	5%	609 W	34.1 V	17.87 A	40.5 V	21.5%
	10%	638 W	34.1 V	18.72 A	40.5 V	22.5%
	20%	696 W	34.1 V	20.42 A	40.5 V	24.6%
CS7L-585MB-AG	585 W	34.3 V	17.06 A	40.7 V	18.32 A	20.7%
Bifacial Gain**	5%	614 W	34.3 V	17.91 A	40.7 V	21.7%
	10%	644 W	34.3 V	18.78 A	40.7 V	22.8%
	20%	702 W	34.3 V	20.47 A	40.7 V	24.8%
CS7L-590MB-AG	590 W	34.5 V	17.11 A	40.9 V	18.37 A	20.8%
Bifacial Gain**	5%	620 W	34.5 V	17.98 A	40.9 V	21.9%
	10%	649 W	34.5 V	18.82 A	40.9 V	22.9%
	20%	708 W	34.5 V	20.53 A	40.9 V	25.0%
CS7L-595MB-AG	595 W	34.7 V	17.15 A	41.1 V	18.42 A	21.0%
Bifacial Gain**	5%	625 W	34.7 V	18.02 A	41.1 V	22.1%
	10%	655 W	34.7 V	18.88 A	41.1 V	23.1%
	20%	714 W	34.7 V	20.58 A	41.1 V	25.2%
CS7L-600MB-AG	600 W	34.9 V	17.20 A	41.3 V	18.47 A	21.2%
Bifacial Gain**	5%	630 W	34.9 V	18.06 A	41.3 V	22.3%
	10%	660 W	34.9 V	18.92 A	41.3 V	23.3%
	20%	720 W	34.9 V	20.64 A	41.3 V	25.4%

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.
 ** Bifacial Gain: The additional gain from the back side compared to the power of the front side at the standard test condition. It depends on mounting (structure, height, tilt angle etc.) and albedo of the ground.

ELECTRICAL DATA

Operating Temperature	-40°C ~ +85°C
Max. System Voltage	1500 V (IEC) or 1000 V (IEC)
Module Fire Performance	CLASS C (IEC61730)
Max. Series Fuse Rating	35 A
Application Classification	Class A
Power Tolerance	0 ~ +10 W
Power Bifaciality*	70 %

* Power Bifaciality = $\frac{P_{max_{back}}}{P_{max_{front}}}$ / $\frac{P_{max_{back}}}{P_{max_{front}}}$, both $P_{max_{back}}$ and $P_{max_{front}}$ are tested under STC, Bifaciality Tolerance: ± 5 %

* The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. CSI Solar Co., Ltd. reserves the right to make necessary adjustment to the information described herein at any time without further notice.
 Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

CSI Solar Co., Ltd.
 199 Lushan Road, SND, Suzhou, Jiangsu, China, 215129, www.csisolar.com, support@csisolar.com

ELECTRICAL DATA | NMOT*

	Nominal Max. Power (Pmax)	Opt. Operating Voltage (Vmp)	Opt. Operating Current (Imp)	Open Circuit Voltage (Voc)	Short Circuit Current (Isc)
CS7L-575MB-AG	431 W	31.8 V	13.56 A	38.1 V	14.68 A
CS7L-580MB-AG	435 W	32.0 V	13.60 A	38.3 V	14.73 A
CS7L-585MB-AG	439 W	32.2 V	13.64 A	38.5 V	14.77 A
CS7L-590MB-AG	442 W	32.3 V	13.70 A	38.7 V	14.80 A
CS7L-595MB-AG	446 W	32.5 V	13.73 A	38.8 V	14.85 A
CS7L-600MB-AG	450 W	32.7 V	13.77 A	39.0 V	14.88 A

* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m² spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Mono-crystalline
Cell Arrangement	120 [2 x (10 x 6)]
Dimensions	2172 x 1303 x 35 mm (85.5 x 51.3 x 1.38 in)
Weight	34.6 kg (76.3 lbs)
Front / Back Glass	2.0 mm heat strengthened glass
Frame	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP68, 3 diodes
Cable	4.0 mm² (IEC)
Cable Length (Including Connector)	460 mm (18.1 in) (+) / 340 mm (13.4 in) (-) or customized length*
Connector	T4 series or H4 UTX or MC4-EVO2
Per Pallet	31 pieces
Per Container (40' HQ)	527 pieces

* For detailed information, please contact your local Canadian Solar sales and technical representatives.

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.34 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.26 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	41 ± 3°C

PARTNER SECTION

