



FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
LICENCIATURA EM ENGENHARIA MECÂNICA

TRABALHO DE LICENCIATURA

**IMPLEMENTAÇÃO DE UMA BANCADA LABORATORIAL DE SISTEMA
FOTOVOLTAICO COM MONITORAMENTO REMOTO**

Autor: Chimbutane, Juvêncio Acácio

Supervisor: Prof. Doutor. Engº. Fabião Manuel Alfredo Cumbe

Co-Supervisor: Prof. Doutor. Engº. Jorge Olívio Penicela Nhambiu

Maputo, Dezembro de 2024



FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
LICENCIATURA EM ENGENHARIA MECÂNICA

Dissertação submetida ao Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane, como requisito para obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Mecânica

**IMPLEMENTAÇÃO DE UMA BANCADA LABORATORIAL DE SISTEMA
FOTOVOLTAICO COM MONITORAMENTO REMOTO**

Autor: Chimbutane, Juvêncio Acácio

Supervisor: Prof. Doutor. Eng^o. Fabião Manuel Alfredo Cumbe

Co-Supervisor: Prof. Doutor. Eng^o. Jorge Olívio Penicela Nhambiu

Maputo, Dezembro de 2024

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, Juvêncio Acácio Chimbutane, declaro, sob compromisso de honra, que o presente trabalho de licenciatura intitulado **"IMPLEMENTAÇÃO DE UMA BANCADA LABORATORIAL DE SISTEMA FOTOVOLTAICO COM MONITORAMENTO REMOTO"** é fruto do meu próprio esforço. As ideias, citações e contribuições de outros autores e fontes que foram utilizadas estão devidamente referenciadas conforme as normas vigentes. Comprometo-me, assim, com a integridade e a veracidade do conteúdo apresentado neste trabalho.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho de licenciatura à família Chimbutane, que me criou com os valores e qualidades que hoje possuo. Dedico a cada membro desta família, tanto os presentes quanto os que já partiram, por serem os pilares que sustentam meu carácter e minha jornada. Que este trabalho acenda a chama da busca incessante pelo conhecimento em todos os membros da família Chimbutane, servindo como inspiração e reflexo do que somos. Minhas vitórias são, em essência, um reflexo da grandeza da família Chimbutane.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por manter viva em mim a chama da ambição e o desejo de me tornar uma pessoa melhor a cada dia.

Agradeço à minha mãe, Mónica Raimundo Cumbe, e ao meu pai, Acácio Salvador Chimbutane, por moldarem a minha personalidade e sempre valorizarem a importância dos estudos. Que enfrentaram inúmeras adversidades para garantir que eu e meus irmãos tivéssemos a oportunidade de frequentar a escola.

Ao meu irmão, Grácio Chimbutane, por ser um guia e exemplo constante, e às minhas irmãs, Elina Chimbutane e Rélia Chimbutane.

Ao meu tio, Feliciano Chimbutane, pelo suporte e ajuda nos momentos difíceis. Apesar de não estar ligado à engenharia, sempre foi uma referência fundamental na minha trajetória académica, acendendo a chama do conhecimento em mim, desde a infância.

Ao meu supervisor, Prof. Doutor. Eng. Fabião Cumbe, pela inspiração constante durante do curso, suporte, paciência e dedicação na orientação deste trabalho.

Ao meu co-supervisor, Prof. Doutor. Eng. Jorge Nhambiu, pelas valiosas dicas e ajuda no desenvolvimento inicial do projecto.

Ao meu grande amigo, Marcelo Albuquerque, com quem compartilhei a sala de aulas e sonhos desde o ensino secundário até ao ensino superior.

Ao meu amigo, Edson Raso, por suas dicas e sugestões valiosas desde o início do curso de Engenharia Mecânica.

Aos meus colegas e amigos, Zacarias Pacheco, Jorge Durão, Hugo Chea, Micas Sarmiento e Ladino Zunguze, com quem aprendi tanto no âmbito académico quanto pessoal.

Aos colegas e amigos aqui não mencionados, saibam que ocupam um lugar importante em minha vida académica e pessoal.

E aos meus irmãos da Comunidade São José Allamano da Matola C, onde encontrei refúgio, renovação e partilha da fé cristã durante todos momentos felizes e tristes da minha vida, académica e espiritual.

EPÍGRAFE

“Aquele que trabalha duro pode superar um gênio. Mas, de nada adianta o trabalho duro se você não confia em você mesmo.”

-Rock Lee

RESUMO

Este trabalho tem como objectivo principal o estudo de técnicas de monitoramento para sistemas fotovoltaicos, com ênfase na análise em tempo real das variáveis eléctricas de um sistema fotovoltaico. Para tal, foi desenvolvido um protótipo que integra sensores de corrente e tensão (tanto em corrente contínua quanto em alternada) em um sistema fotovoltaico, cujos dados são enviados para o *Firebase Realtime Database* através de uma plataforma baseada na Internet das Coisas (IoT). A aquisição e transmissão dos dados são realizadas por um Arduino Mega com o módulo Esp8266 integrado, permitindo o monitoramento remoto e a visualização das medições em gráficos dinâmicos numa plataforma *web*. Além de contribuir para o avanço na área das energias renováveis, o protótipo também tem uma finalidade didática, sendo aplicável em ambientes acadêmicos como ferramenta de estudo e experimentação de sistemas fotovoltaicos. O sistema incorpora um controlador MPPT para a optimização da conversão de energia, destacando-se pela acessibilidade e utilidade no ensino e pesquisa sobre energias renováveis.

Palavras-chave: Bancada Laboratorial, Sistema Fotovoltaico, Monitoramento Remoto, Internet das Coisas, Firebase, Realtime Database.

ABSTRACT

The main objective of this work is to study monitoring techniques for photovoltaic systems, with an emphasis on real-time analysis of the electrical variables of a photovoltaic system. To achieve this, a prototype was developed that integrates current and voltage sensors (both direct and alternating current) into a photovoltaic system, with data being sent to Firebase Realtime Database through an Internet of Things (IoT) platform. Data transmission and acquisition are handled by an Arduino Mega with an integrated Esp8266 module, enabling remote monitoring and the visualization of measurements in dynamic charts on a web platform. In addition to contributing to advancements in the field of renewable energy, the prototype also serves an educational purpose, being applicable in academic environments as a tool for the study and experimentation of photovoltaic systems. The system includes an MPPT controller for optimizing energy conversion, standing out for its accessibility and usefulness in the teaching and research of renewable energy systems.

Keywords: Laboratory Bench, Photovoltaic System, Remote Monitoring, Internet of Things, Firebase, Realtime Database.

ÍNDICE GERAL

DECLARAÇÃO DE HONRA.....	i
DEDICATÓRIA.....	ii
AGRADECIMENTOS	iii
EPÍGRAFE	iv
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
ÍNDICE DE TABELAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xiv
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xv
1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Introdução	17
1.2 Objectivos	19
1.1.1 Objectivo Geral	19
1.1.2 Objectivos Específicos.....	20
1.1.3 Metodologia	20
2 ESTUDO DO ESTADO DA ARTE.....	20
2.1 Energia Solar	22
2.1.1 Energia Solar em Moçambique.....	22
2.1.2 Energia Solar Fotovoltaica.....	25
2.1.3 Componentes Básicos de um Sistema Fotovoltaico	35
2.1.4 Tipos de Sistema Fotovoltaicos	43
3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	46
3.1 Metodologia De Dimensionamento Do Sistema Fotovoltaico	46

3.2 Escolha Dos Componentes Do Sistema Fotovoltaico	46
3.2.1 Determinação da energia diária a fornecer aos consumos (wh)	47
3.2.2 Estimativa do factor de perdas	47
3.2.3 Determinação da potência do Painei FV	48
3.2.4 Número de módulos por fileira.....	50
3.2.5 Capacidade da bateria de acumuladores	51
3.2.6 Selecção do regulador de carga.....	51
3.2.7 Selecção do inversor	52
4 SISTEMA DE MONITORAMENTO	54
4.1 Monitoramento Remoto.....	54
4.2 Benefícios do Monitoramento Remoto de Sistemas Fotovoltaicos	55
4.3 Tipos de Sistemas de Monitoramento de Sistemas Fotovoltaicos	56
4.3.1 Monitoramento solar integrado ao equipamento.....	56
4.3.2 Monitoramento solar por instaladores.....	56
4.3.3 Monitoramento de energia residencial de terceiros	57
4.4 Metodologia do Sistema de Monitoramento Proposto	57
4.5 Componentes do Sistema de Monitoramento Proposto.....	58
4.6 Esquema De Monitoramento	61
4.7 Plataforma de Monitoramento Remoto da Bancada	62
5 ARQUITECTURA MECÂNICA DA BANCADA.....	66
5.1 Material e Dimensões	66
5.2 Estrutura Base	66
5.3 Suporte Para Painei Fotovoltaico Com Mecanismo De Rotação	66
5.4 Divisórias De Compartimentos De Equipamentos	67
5.5 Integração Com Componentes Electrónicos.....	67

5.6 Pintura E Acabamento	67
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	69
6.1 Posicionamento Da Bancada Para Testes.....	69
6.1.1 Orientação Do Painel Fotovoltaico	69
6.1.2 Inclinação Do Painel Fotovoltaico.....	69
6.2 Gráficos de Leituras Feitas	70
6.3 Corrente, Tensão e Potência da Saída do Painel	72
6.4 Corrente, Tensão e Potência da Saída do Controlador	72
6.5 Impacto das Condições Ambientais.....	72
6.6 Teste da Bateria.....	73
6.7 Precisão do Sistema de Monitoramento	73
7 CUSTOS DO PROJECTO	74
8 CONCLUSÃO	77
9 RECOMENDAÇÕES.....	79
9.1 Sugestões Para Trabalhos Futuros	79
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
ANEXOS	a
Anexo I. Tabelas De Valores Colectados Durante os Ensaios	a
Anexo II. Parâmetros de Soldadura da Estrutura da Bancada	i
Anexo III. Desenhos da Estrutura Metálica da Bancada	j
Anexo IV. Processo Prático da Concepção da Bancada	k
Anexo V. Tabelas do Global Monitoring Laboratory.....	o
Anexo VI. Códigos e Scripts de Programação	p

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Evolução da Produção de Energia Eléctrica	23
Tabela 2. Tabela comparativa de eficiência das células e módulos fotovoltaicos	28
Tabela 3. Equipamentos utilizados e necessidade de consumo	47
Tabela 4. Propriedades do módulos FV de 100W.....	50
Tabela 5. Especificações do Arduino Mega2560 com Esp8266 integrado.....	59
Tabela 6. Especificações do sensor de tensão DC 0-25V	60
Tabela 7. Especificações do Sensor de Corrente ACS712 30A.....	61
Tabela 8. Especificações do sensor ZMPT101B.....	61
Tabela 9. Tabela de Custos do Projecto	76
Tabela 10. Valores lidos durante o ensaio de conversão e carregamento da bateria.....	h
Tabela 11. Valores lidos durante o ensaio de demanda energética.....	h

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.Comparação dos níveis de radiação solar entre Moçambique e diferentes regiões globais	22
Figura 2. Potencial de Projectos solares FV	24
Figura 3. Difusão dos Electrões na junção P-N.....	25
Figura 4. Células fotovoltaicas de Silício (primeira geração): a) Monocristalino (m-Si) e b) Policristalino (p-Si)	26
Figura 5. Células fotovoltaicas de filmes finos (segunda geração): a) Amorfo (a-Si), b) Disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e c) Telureto de cádmio (CdTe).....	27
Figura 6. Representação da curva $I \times V$ da junção p-n da célula fotovoltaica	29
Figura 7. Curva característica corrente-tensão de uma célula de silício no escuro e iluminada.....	30
Figura 8. Curva $I \times V$, Verde, e curva de potência ($P \times V$), vermelha, de uma célula ou módulo fotovoltaico	31
Figura 9. Curva característica $I \times V$ de uma célula fotovoltaica de silício cristalino para irradiâncias variadas, com a mesma temperatura de 25oC	33
Figura 10. Curva característica $P \times V$ de uma módulo fotovoltaico com células de silício cristalino para irradiâncias variadas, com a mesma temperatura de 25oC	34
Figura 11. Curva característica $I \times V$ de uma célula fotovoltaica de silício cristalino para temperaturas variadas, com a mesma irradiância de 1000 W/m ²	35
Figura 12. Curva característica $P \times V$ de uma módulo fotovoltaico com células de silício cristalino para temperaturas variadas, com a mesma irradiância de 1000 W/m ²	35
Figura 13. Módulo Fotovoltaico de 380W, Monocristalino	36
Figura 14. Progressão da célula para o módulo e deste para o painel fotovoltaico	37
Figura 15. Curvas $I \times V$ para um módulo de 220 Wp, 2 módulos idênticos associados em série e 2 módulos idênticos associados em série	38
Figura 16. Curvas $I \times V$ para um módulo de 220 Wp, 2 módulos idênticos associados em paralelo e 2 módulos idênticos associados em paralelo	39
Figura 17. Modos de conexão do banco de baterias	42
Figura 18. Representação esquemática de um sistema FV complexo incluindo baterias, condicionadores de energia e cargas tanto DC quanto AC.....	43

Figura 19. Representação esquemática de um sistema FV conectado à rede eléctrica.	44
Figura 20. Representação esquemática de um sistema híbrido de FV que tem um gerador a diesel como alternativa eléctrica	45
Figura 21. Esquema do sistema fotovoltaico proposto	53
Figura 22. Representação das etapas na comunicação IoT de um sistema fotovoltaico	57
Figura 23. Arduino Mega2560 com Esp8266 integrado	59
Figura 24. Sensor de tensão DC 0-25V	60
Figura 25. Sensor de Corrente ACS712 30A	60
Figura 26. Sensor de Tensão AC 0-250V ZMPT101B	61
Figura 27. Esquema de conexões dos sensores de corrente e tensão no sistema fotovoltaico	62
Figura 28. Página principal da Plataforma de Monitoramento	64
Figura 29. Página de Monitoramento do Sistema Fotovoltaico	64
Figura 30. Secção de Monitoramento da Saída do PAINEL/Entrada do Controlador de Carga	65
Figura 31. Secção de Monitoramento da Saída do Controlador/Entrada da Bateria	65
Figura 32. Secção de Monitoramento da Saída da Bateria/Entrada do Inversor	65
Figura 33. Monitoramento da Saída do Inversor/Cargas	65
Figura 34. Representação da arquitectura mecânica da bancada, em três dimensões	68
Figura 35. Gráficos de Correntes na Saída do Gerador, com o multímetro e como sistema e monitoramento	70
Figura 36. Gráficos de Tensões na Saída do Gerador, com o multímetro e como sistema e monitoramento	70
Figura 37. Gráficos de Corrente na Saída do controlador , com o multímetro e como sistema e monitoramento	70
Figura 38. Gráficos de Potência na Saída do Controlador, com o multímetro e como sistema e monitoramento	71
Figura 39. Gráficos de Tensões na Saída do Controlador, com o multímetro e como sistema e monitoramento	71

Figura 40. Gráficos de Potências na Saída do Controlador, com o multímetro e como sistema e monitoramento	71
Figura 41. Representação da estrutura metálica da bancada, em três dimensões.....	j
Figura 42. Representação da estrutura-base metálica da bancada, em três dimensões. j	
Figura 43. Representação da estrutura de suporte do painel, em três dimensões	j
Figura 44. Ferramentas de corte e tubos metálicos sendo cortados.....	k
Figura 45. Processo de soldadura de tubos metálicos, seguido pela aplicação da pintura na estrutura	l
Figura 46. Estrutura com módulos fotovoltaicos sendo montados em diferentes níveis da bancada	l
Figura 47. Instalação de sensores e cabos conectando os componentes do sistema de monitoramento	m
Figura 48. Realização da programação dos sensores na bancada	n
Figura 49. Bancada posicionada para os ensaios.....	n

LISTA DE ABREVIATURAS

Aler - Associação Lusófona de Energias Renováveis

Amer - Associação Moçambicana e Energias Renováveis

API - *Application Programming Interface*

BOS - *Balance System*

CA - Corrente Alternada

CC - Corrente Contínua

CPV - *Concentrated Photovoltaics*

DSSC - *Dye-Sensitized Solar Cell*

EDM - Electricidade de Moçambique

EHS - *Equivalent Hours of Sun*

FUNAE - Fundo de Energia

FV - Fotovoltaico

HCB - Hidroeléctrica de Cahora Bassa

IDE - *Integrated Development Environment*

IoT - *Internet of Things*

MPPT - *Maximum Power Point Tracker*

OPV - *Organic Photovoltaics*

PAYG - *Pay As You Go*

PES - Plano Económico e Social

SSC - Sistemas Solares Caseiros

SMAW - *Manual Metal Arc Welding*

STC - *Standard Test Conditions*

USB - *Universal Serial Bus*

VAC - *Volts Alternated Current*

VDC - *Volts Direct Current*

WiFi - *Wireless Fidelity*

LISTA DE SÍMBOLOS

A - Área de Célula [m^2]

AM - Massa de Ar

As – Arsénio

FF - Factor de Forma

$C_{(Ah)}$ - Capacidade da Bateria de Acumuladores [Ah]

G - Irradiância Solar Incidente $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

I - Corrente Medida no Multímetro [A]

$I_{max\ DC}$ - Corrente Máxima DC [A]

I_{mp} - Corrente de Máxima Potência [A]

I_{sc} - *Short Circuit Current* [A]

I_{scstc} - Corrente de Curto-Circuito do Módulo STC [A]

I_{SM} - Corrente Medida no Sistema de Monitoramento [A]

I_T - Corrente Total à Saída do Painel Fotovoltaico [A]

K_D - Profundidade de Descarga Máxima de Segurança [%]

$LiBs$ - Íon de Lítio

$LiPo$ - Polímero de Lítio

$NiCd$ - Níquel-Cádmio

$NiMH$ - Hidreto Metálico de Níquel

N_d - Número de Dias de Autonomia da Bateria

N_S - Número de Módulos Por Fileira

P - Fósforo

P - Potência Calculada com Leituras do Multímetro $[W]$

P_{FV} - Potência do Painei Fotovoltaico $[W]$

P_i - Potência de Carga Dimensionada $[W]$

P_{inv} - Potência Mínima Requerida Para o Inversor $[W]$

P_{mp} - Máxima Potência $[W]$

P_{SM} - Potência Medida no Sistema de Monitoramento $[W]$

t_i - Tempo de Uso da Carga Dimensionada $[h]$

U - Tensão Nominal da Bateria $[V]$

V - Tensão Medida no Multímetro $[V]$

V_{bat} - Tensão da Bateria $[V]$

V_{max} - Tensão Máxima do Painei Fotovoltaico $[V]$

V_{mp} -Tensão de Máxima Potência $[V]$

V_{oc} - Tensão de Circuito Aberto $[V]$

V_{SM} - Tensão Medida no Sistema de Monitoramento $[V]$

W_D - Total de Energia Diária Consumida $[Wh/dia]$

η - Eficiência do Sistema FV

η_{cabo} - Rendimento de Cablagem

$\eta_{reg+inv}$ - Rendimento de Regulador de Carga e Inversor

η_{sist} - Rendimento do Sistema

1 INTRODUÇÃO

1.1 Introdução

A demanda global por energia cresce exponencialmente, impulsionada pelo desenvolvimento industrial e pela crescente urbanização. No entanto, a dependência contínua de combustíveis fósseis levanta sérias preocupações ambientais, como as mudanças climáticas e a exaustão de recursos naturais. Como resposta a esse desafio, o uso de energias renováveis surge como uma solução sustentável e estratégica, com destaque para países como Moçambique, que possui um vasto potencial para o desenvolvimento de fontes energéticas limpas.

De acordo com [Aler e Amer, 2021](#), o Atlas das Energias Renováveis de Moçambique, publicado pelo FUNAE (Fundo de Energia) em 2014, o país possui um potencial total de 23 026 GW em energias renováveis. A fonte solar é a mais abundante, representando 23 000 GW, seguida pelas fontes hídricas (19 GW), eólicas (5 GW), biomassa (2 GW) e geotermia (0.1 GW). Esse potencial evidencia Moçambique como um dos países mais promissores para o desenvolvimento de projectos de energia solar e outras energias limpas, sendo uma prioridade estratégica para garantir a sustentabilidade do sector energético.

Actualmente, a energia eléctrica proveniente de fontes hídricas domina a matriz energética do país, representando 79% da capacidade instalada, embora apenas 38% dessa energia esteja disponível para consumo nacional. Com os avanços em investimentos, prevê-se que até 2030 a capacidade instalada de electricidade em Moçambique suba de 2 780 MW para 6 001 MW, aumentando a taxa de electrificação de 38% para 71% ([Aler e Amer, 2021](#)). Contudo, o aproveitamento pleno do vasto potencial de energias renováveis ainda exige inovações tecnológicas e práticas que promovam o uso eficiente dessas fontes.

Nesse contexto, os sistemas fotovoltaicos têm se destacado como uma alternativa viável para o suprimento de energia eléctrica em diversas partes do mundo, incluindo regiões isoladas e com pouca infraestrutura eléctrica, como ocorre em partes de Moçambique. Além disso, o monitoramento remoto de sistemas fotovoltaicos tem se

tornado uma ferramenta indispensável para garantir a optimização do desempenho desses sistemas. Ao permitir o acompanhamento em tempo real de variáveis como tensão, corrente e potência, o monitoramento remoto assegura maior confiabilidade na geração de energia e facilita a manutenção preventiva.

O presente trabalho propõe a implementação de uma bancada laboratorial de sistema fotovoltaico com monitoramento remoto, construída especificamente para uso na **Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane**. A bancada utiliza um microcontrolador Arduino Mega com módulo Esp8266 integrado, que permite a comunicação sem fio com sensores instalados no sistema fotovoltaico. Através de uma plataforma online desenvolvida, os dados capturados pelos sensores são armazenados em uma base de dados na nuvem, utilizando o *Firebase*, uma solução robusta para aplicações de Internet das Coisas (IoT). Esse sistema possibilita a visualização e análise dos dados de forma dinâmica e em tempo real.

Além do foco na aplicação prática de monitoramento de sistemas fotovoltaicos, esta bancada laboratorial tem grande valor académico. Ela foi projectada para ser uma ferramenta didáctica, permitindo que os estudantes de engenharia possam aplicar conceitos teóricos na prática. O ambiente controlado da bancada possibilita aos alunos experimentar e aprender sobre geração de energia solar, controle remoto de sistemas e análise de dados em tempo real. Como resultado, a bancada oferece um suporte significativo para o ensino de energias renováveis e tecnologias IoT, promovendo o aprendizado experimental e a formação de engenheiros capacitados para actuar em sectores estratégicos de energias sustentáveis.

A adopção de tecnologias IoT no monitoramento de sistemas fotovoltaicos em Moçambique também pode acelerar a expansão da electrificação em áreas remotas, permitindo que os sistemas sejam monitorados à distância, reduzindo a necessidade de intervenções físicas frequentes e melhorando o controle sobre os sistemas fotovoltaicos.

Dessa forma, o presente estudo busca responder à seguinte questão de pesquisa: **Como implementar uma bancada de sistema fotovoltaico com monitoramento remoto eficiente, integrando tecnologias IoT, e optimizar seu desempenho no contexto de Moçambique?**

O trabalho está organizado da seguinte forma:

No capítulo 1 é apresentada a introdução do trabalho, compreendendo os objectivos e a metodologia usada no projecto.

No capítulo 2 é apresentado o estado da arte sobre sistemas fotovoltaicos, cobrindo os princípios de funcionamento, tecnologias envolvidas e o papel das energias renováveis.

O capítulo 3 descreve o dimensionamento do sistema fotovoltaico proposto para o monitoramento, abordando os cálculos técnicos necessários para garantir o funcionamento eficiente da bancada, incluindo a selecção de painéis, controladores, inversores e baterias.

O capítulo 4 explica o sistema de monitoramento remoto proposto, detalhando os sensores utilizados, a integração do microcontrolador e a comunicação IoT para a colecta de dados em tempo real.

No capítulo 5 foca-se na arquitectura da bancada construída, explicando o *layout* físico e a configuração dos componentes da bancada laboratorial.

O capítulo 6 apresenta os testes e discussões realizados sobre o desempenho da bancada, incluindo os resultados dos testes de carregamento e descarregamento da bateria e as leituras dos sensores.

No capítulo 7, estão detalhados os custos envolvidos na concepção da bancada.

O capítulo 8 apresenta as conclusões do trabalho desenvolvido e as implicações práticas.

O capítulo 9 traz as recomendações e sugestões para futuros estudos, como a incorporação de seguidores solares e novos sensores, com o objectivo de melhorar ainda mais a eficiência e o potencial académico da bancada.

1.2 Objectivos

1.1.1 Objectivo Geral

- Desenvolver um sistema de monitoramento remoto que facilite o acesso e acompanhamento contínuo do desempenho operacional do sistema fotovoltaico durante o seu funcionamento.

1.1.2 Objectivos Específicos

- Seleccionar e dimensionar os componentes básicos adequados para o sistema fotovoltaico proposto para monitoramento;
- Seleccionar e integrar sensores adequados para medir variáveis do sistema fotovoltaico;
- Desenvolver uma plataforma de monitoramento para exibir os valores obtidos dos sensores;
- Construir um protótipo com monitoramento remoto do sistema fotovoltaico;
- Realizar testes de desempenho do sistema fotovoltaico e do sistema de monitoramento;
- Analisar e discutir os resultados obtidos.

1.1.3 Metodologia

A metodologia deste trabalho foi estruturada para alcançar os objectivos específicos delineados e garantir a implementação completa e rigorosa da bancada fotovoltaica com monitoramento remoto. Cada etapa descrita abaixo corresponde directamente a um dos objectivos específicos.

- **Seleção e Dimensionamento dos Componentes do Sistema Fotovoltaico:** Para atender ao primeiro objectivo, a selecção e o dimensionamento dos componentes básicos foi feito com base no balanço energético dos componentes do sistema segundo um roteiro predeterminado na literatura. Esse embasamento teórico orientou a escolha e dimensionamento dos painéis solares, controladores, inversores e baterias, assegurando que os componentes estivessem em conformidade com os requisitos de funcionamento e eficiência energética do projecto.
- **Seleção e Integração dos Sensores para Medição das Variáveis do Sistema Fotovoltaico:** Em linha com o segundo objectivo, a selecção e integração dos sensores para medir variáveis como corrente, tensão e potência foram realizadas com base em manuais de Arduino e em informações técnicas obtidas na internet.
- **Desenvolvimento de uma Plataforma de Monitoramento para Exibir os Valores Obtidos:** Para cumprir o terceiro objectivo, foi desenvolvida uma

plataforma de monitoramento usando o *Visual Studio* em conjunto com as linguagens *HTML*, *CSS* e *JavaScript* e a biblioteca *Chart.js* para a criação de gráficos dinâmicos.

- **Construção do Protótipo do Sistema Fotovoltaico com Monitoramento Remoto:** Em concordância com o quarto objectivo, o protótipo foi projectado no *AutoCAD* para definir o *layout* físico dos componentes.
- **Testes de Desempenho do Sistema Fotovoltaico e do Sistema de Monitoramento:** Atendendo ao quinto objectivo, os testes de desempenho foram divididos em duas fases: carregamento e descarregamento do banco de armazenamento. As leituras de corrente, tensão e potência foram feitas usando um multímetro, e os resultados foram comparados com os dados colectados pela plataforma de monitoramento remoto, verificando a precisão e confiabilidade do sistema.
- **Análise e Discussão dos Resultados Obtidos:** De acordo com o sexto objectivo, os dados obtidos durante os testes foram analisados e discutidos, comparando as medições do multímetro com as leituras da plataforma de monitoramento. Essa análise permitiu avaliar o desempenho do sistema e identificar potenciais melhorias para a precisão e eficiência do protótipo.

2 ESTUDO DO ESTADO DA ARTE

2.1 Energia Solar

É uma forma de energia renovável que aproveita a luz do sol para gerar electricidade ou calor. A energia solar, proveniente do sol, é aproveitada utilizando diversas tecnologias, como células fotovoltaicas e sistemas térmicos solares. As células fotovoltaicas convertem directamente a luz solar em electricidade, enquanto os sistemas térmicos solares captam o calor do sol para o aquecimento de fluidos e ambientes (Pinho e Galdino, 2014; Aneel, 2005).

2.1.1 Energia Solar em Moçambique

A energia solar possui um vasto potencial em Moçambique. A irradiação global no país varia entre 1 785 e 2 206 kWh/m²/ano. Esse recurso é particularmente abundante e consistente em várias regiões, com destaque para as províncias de Tete, Niassa, Nampula, Cabo Delgado e Zambézia (Funae, 2013; Aler, 2017).

A radiação global em plano horizontal é elevada quando comparada com bons locais na Europa e Ásia, sendo bastante próxima de alguns dos melhores locais do mundo, como a África do Sul e a Califórnia, como se pode verificar na Figura 1 (Gueifão et al., 2013).

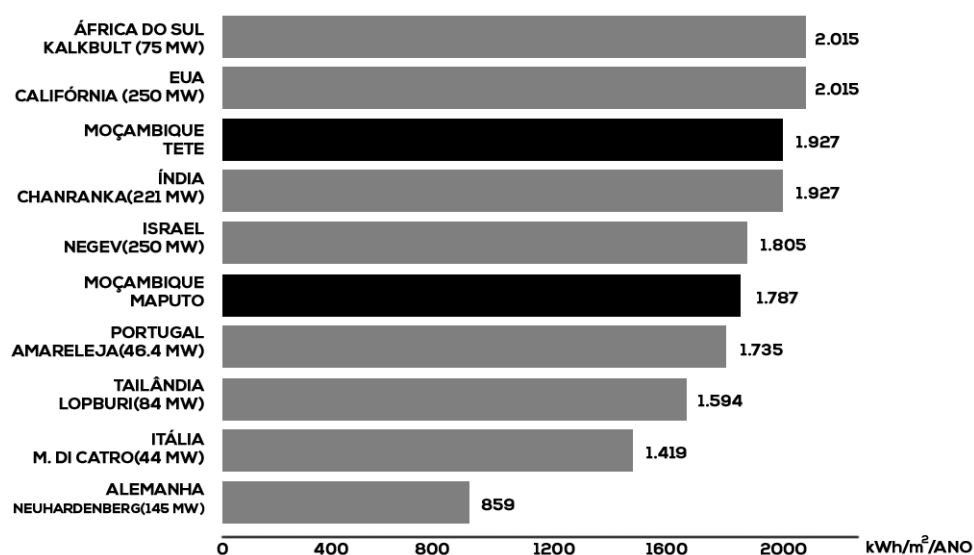


FIGURA 1. COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS DE RADIAÇÃO SOLAR ENTRE MOÇAMBIQUE E DIFERENTES REGIÕES GLOBAIS. [FONTE: ADAPTADO DE GUEIFÃO ET AL., 2013]

Nos últimos anos, o mercado solar tem se expandido gradualmente em Moçambique, ganhando expressão desde 2009. Agências de cooperação internacional, o Governo, por meio do FUNAE, e o sector privado têm colaborado em projectos e iniciativas para impulsionar o desenvolvimento deste sector. Além de diversos projectos de pequena escala, Moçambique implementou duas centrais solares em regiões centrais e do norte, por meio de consórcios de parcerias público-privadas com a EDM (Energia de Moçambique). Desde 2013, o país conta ainda com uma fábrica de montagem de módulos solares (Aler, 2017).

As oportunidades para o crescimento do mercado solar são vastas, incluindo sistemas solares caseiros através de esquemas PAYG (*Pay-As-You-Go*), centrais solares FV (Fotovoltaico) e projectos de autoconsumo, aguardando a implementação de legislação adequada para sua efetivação (Aler, 2017).

O PES (Plano Económico e Social) de 2023 projectou um aumento significativo na produção de energia eléctrica por fonte solar, com uma estimativa de crescimento de 288% para o ano de 2024, de 71 777 MWh para 278 519 MWh, conforme ilustrado na Tabela 1:

Designação	Plano 2023 (MWh)	Projecção 2024 (MWh)	Taxa de Crescimento (%)
Solar	71 777	278 519	288
Cuamba	0	-	0
Mocuba	69,286	73 067	5
Muembe	588	513	-13
Mecula	419	364	-13
Metoro	426	426	0
Mecufi	-	57,800	0
Tetariane	15 350	33 578	119
Dondo	-	56 213	0
Lichinga	-	55 145	0
Outras centrais solares	634	1 024	62

TABELA 1. EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉCTRICA. [FONTE: ADAPTADO DE PES, 2023]

Segundo [Aler e Amer, 2021](#), o mercado de SSC (Sistemas Solares Caseiros) em Moçambique era incipiente no passado, com a distribuição de sistemas pelo FUNAE e venda de alguns equipamentos no mercado informal, de qualidade variável e sem garantias ou instalação assegurada. Desde 2017, operadores privados começaram a comercializar SSC em um esquema PAYG, já tendo vendido mais de 70 000 sistemas, até 2021. No entanto, esse valor está muito aquém do potencial de mercado estimado de 824 000 habitações, o qual poderia ser dobrado com a adoção de uma política fiscal favorável aos sistemas solares caseiros.

O recurso solar oferece inúmeras possibilidades, tanto para ligação à rede como para projectos de electrificação rural. Com o objectivo de ligação à rede, sem recurso a baterias, foram identificados e estudados 189 locais com área suficiente para a instalação de 2.7 GW de energia solar fotovoltaica na proximidade de subestações existentes. Para cada subestação e com base na respetiva potência de curto-circuito, foram seleccionados os melhores projectos, num total superior a 599 MW. Estes projectos prioritários estão maioritariamente concentrados nas províncias de Maputo, Tete, Zambézia e Manica, todavia as províncias de Maputo e Tete são as que apresentam maior potencial para projectos solares ligados à rede, essencialmente devido à robustez das infraestruturas de transporte, conforme ilustrado na [Figura 2](#) ([Gueifão et al., 2013](#); [Aler, 2017](#)).

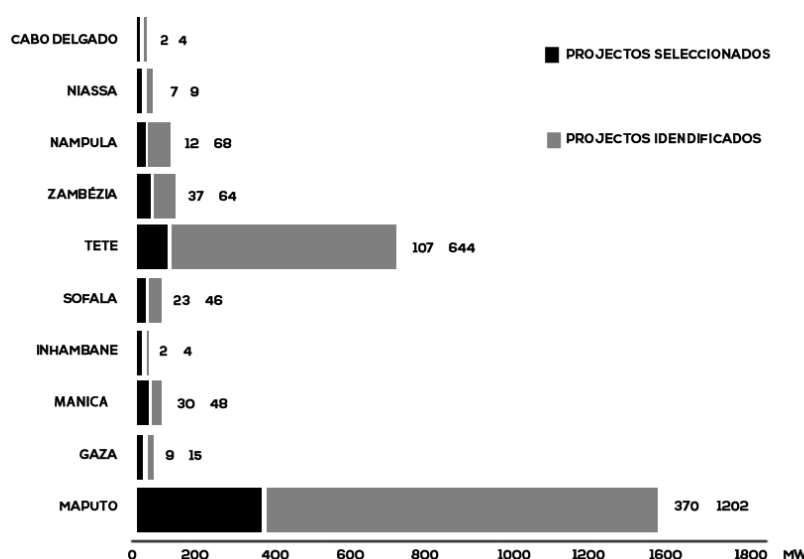


FIGURA 2. POTENCIAL DE PROJECTOS SOLARES FV. [FONTE: ADAPTADO DE [GUEIFÃO ET AL., 2013](#)]

2.1.2 Energia Solar Fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica é a energia obtida através da conversão directa da luz em electricidade, conhecida como Efeito Fotovoltaico, sendo a célula fotovoltaica, um dispositivo fabricado com material semicondutor, a unidade fundamental desse processo de conversão (Pinho e Galdino, 2014).

2.1.2.1 Células fotovoltaicas

Células fotovoltaicas utilizam o efeito fotovoltaico para converter a radiação solar em energia eléctrica. Existem vários tipos de células fotovoltaicas, porém a mais comumente utilizada é feita de silício, ao qual são adicionadas substâncias dopantes, criando um campo eléctrico interno adequado para o estabelecimento do efeito fotovoltaico (Tiggemann, 2015; Oliveira, 2023).

O silício possui quatro electrões de valência, e quando misturado com átomos de As(Elemento químico “Arsénio”) ou P(Elemento químico “Fósforo”), que possui 5 electrões na camada de valência, um desses electrões fica livre, permitindo que, com pouca energia térmica, esses electrões se movam para a banda de condução. Quando a junção P-N é exposta à luz solar, os fótons com energia maior que o *gap* liberam mais lacunas - electrões livres que geram uma corrente eléctrica no local da junção. A mudança dos electrões e lacunas de uma camada para outra origina um campo eléctrico e cria uma barreira de potencial entre as duas camadas. Os electrões e lacunas permanecem presos atrás dessa barreira quando a célula fotovoltaica não está iluminada. Este fluxo pode ser observado na Figura 3 (Oliveira, 2023; Villalva e Gazoli, 2012).



FIGURA 3. DIFUSÃO DOS ELECTRÕES NA JUNCTÃO P-N. [FONTE: OLIVEIRA, 2023]

As células fotovoltaicas comumente usadas em uso doméstico, que estão disponíveis no mercado são: monocristalinos, policristalinos e de filme fino (amorfo). As

principais tecnologias aplicadas na produção de células e módulos fotovoltaicos são classificadas em três gerações.

A primeira geração é dividida em duas cadeias produtivas: Silício monocristalino (m-Si) e Silício policristalino (p-Si), que representam mais de 85% do mercado, por serem consideradas tecnologias consolidadas e confiáveis, e por possuírem a melhor eficiência comercialmente disponível (Pinho e Galdino, 2014). Devido à distinção de pureza do silício na estrutura, as células de silício monocristalinas possuem uma eficiência na faixa de 13 a 18%, valor 2% maior que nas células policristalinas, porém requer um processo de fabricação mais rigoroso resultando em aumento do custo dessa tecnologia (Pontes, 2021). As células de silício policristalino são construídas a partir de um processo de fundição do silício em estado bruto e depois resfriado, ocorrendo a formação de inúmeros cristais que serrados em blocos, dão origem às células, e são compostos por pequenos múltiplos cristais de silício (Pontes, 2021; Kang, 2021).

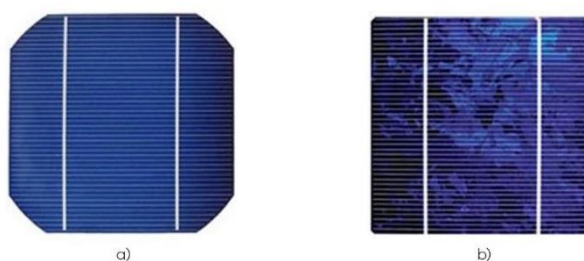


FIGURA 4. CÉLULAS FOTOVOLTAICAS DE SILÍCIO (PRIMEIRA GERAÇÃO): A) MONOCRISTALINO (M-Si) E B) POLICRISTALINO (P-Si).

[FONTE: ADAPTADO PELO AUTOR, DE ENERGIAS RENOVABLES INFO]

A segunda geração, comercialmente denominada de filmes finos, é dividida em três cadeias produtivas: Silício amorfo (a-Si), disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e telureto de cádmio (CdTe). Esta geração apresenta menor eficiência do que a primeira e tem uma modesta participação no mercado, competindo com a tecnologia c-Si3. Existem dificuldades associadas à disponibilidade dos materiais, vida útil, rendimento das células e, no caso do cádmio, sua toxicidade, que retardam a sua utilização em maior escala (Pinho e Galdino, 2014). O silício amorfo (sem forma) não possui uma estrutura cristalina, mas sim uma rede irregular. Por isso se formam ligações livres que absorvem hidrogênio até a saturação. Portanto a grande desvantagem das células de a-Si é a sua baixa eficiência, que diminui nos primeiros 6 a 12 meses de funcionamento, devida à

degradação provocada pela luz, pelo chamado Efeito Staebler-Wronski, até atingir um valor estável ([Bluesol, 2016](#)).

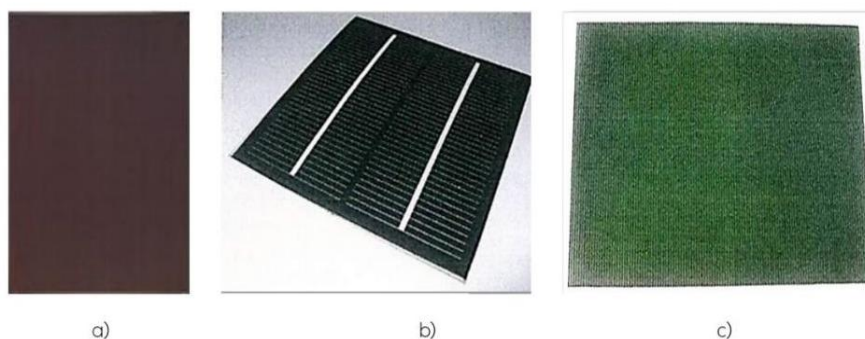


FIGURA 5. CÉLULAS FOTOVOLTAICAS DE FILMES FINOS (SEGUNDA GERAÇÃO): A) AMORFO (A-Si), B) DISSELENETO DE COBRE, ÍNDIO E GÁLIO (CIGS) E C) TELURETO DE CÁDMIO (CDTE). [FONTE: ADAPTADO PELO AUTOR, DE [ENERGIAS RENOVÁVEIS INFO E BLUESOL, 2016](#)]

A terceira geração, ainda em fase de Pesquisa e Desenvolvimento, testes e produção em pequena escala, é dividida em três cadeias produtivas: células multijunção e célula fotovoltaica para concentração (CPV), células sensibilizadas por corante (DSSC) e células orgânicas ou poliméricas (OPV). A tecnologia CPV, por exemplo, demonstrou ter potencial para produção de módulos com altas eficiências, embora o seu custo ainda não seja competitivo com as tecnologias que atualmente dominam o mercado ([Pinho e Galdino, 2014](#)).

Portanto existem diferentes células fotovoltaicas que foram desenvolvidas, diferindo em sua composição mas também em suas eficiências, o que significa que uma associação de células fotovoltaicas (módulo fotovoltaico) terá também eficiências condizentes com as células, conforme ilustrado na [Tabela 2](#).

Material	Eficiência da célula	Eficiência do Módulo
Silício Monocristalino	25.6% $\pm$ 0.5	22.9% $\pm$ 0.6
Silício Multicristalino	20.8% $\pm$ 0.6	18.6% $\pm$ 0.4
Silício Amorfo (no estado estável)	13.4% $\pm$ 0.4	12.2% $\pm$ 0.3
Disseleneto de Cobre, Índio e Gálio	20.5% $\pm$ 0.6	17.5% $\pm$ 0.5

Telureto de Cádmio	21.0% $\pm$ 0.4	17.5% $\pm$ 0.7
--------------------	-----------------	-----------------

TABELA 2. TABELA COMPARATIVA DE EFICIÊNCIA DAS CÉLULAS E MÓDULOS FOTOVOLTAICOS. [FONTE: GREEN ET AL., 2014]

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DAS CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

A célula fotovoltaica é um dispositivo gerador de electricidade com características peculiares que a diferem das tradicionais fontes de energia. O dimensionamento de sistemas fotovoltaicos, sejam eles autônomos ou conectados à rede eléctrica, depende do conhecimento dessas características por parte do projectista, para que o sistema tenha uma operação confiável, além de possibilitar o seu comissionamento e a detecção de possíveis erros (Zilles *et al.*, 2012).

Conforme já assinalado, o efeito fotovoltaico ocorre quando a célula é exposta à radiação solar e o aproveitamento desse efeito é consolidado por meio do campo eléctrico da junção p-n e de um circuito eléctrico externo. Se a célula não estiver conectada a nenhuma carga, aparecerá em seus terminais, quando iluminada, uma tensão chamada de tensão de circuito aberto (V_{oc}). Por outro lado, se a célula estiver conectada a uma carga, haverá circulação de corrente no circuito formado entre a carga e a célula. Assim, é possível representar a célula a partir de seus parâmetros eléctricos de saída (tensão e corrente) em função de factores que influenciam na entrada (irradiância e temperatura da célula) (Zilles *et al.*, 2012).

As características eléctricas mais importantes de um módulo fotovoltaico, assim como em qualquer gerador eléctrico, são a potência nominal, a tensão e a corrente. O valor da máxima potência de um módulo sob as condições STC (*Standard Test Conditions*) é fornecido pelo fabricante como informação de placa. As condições padrão de teste (ou condições de referência) são definidas para os valores de 1000W/m² de irradiância, 25°C de temperatura de célula e AM = 1.5 para a massa de ar.

A máxima potência (P_{mp}) de um módulo fotovoltaico, dada em watt-pico (W_p), é atingida quando se obtém a corrente de máxima potência (I_{mp}) e a tensão de máxima potência (V_{mp}). Outros parâmetros de suma importância são a corrente de curto-circuito (I_{sc}), obtida da aferição da corrente do módulo quando o mesmo está em curto-circuito,

e a tensão de circuito aberto (V_{oc} - *open circuit voltage*), obtida da aferição da tensão do módulo quando o mesmo não apresenta carga (Zilles *et al.*, 2012).

Curvas Características De Corrente, Tensão E Potência

Segundo Zilles *et al.*, 2012, a junção p-n do semiconductor pode ser representada como um díodo, cuja curva característica é mostrada na Figura 6. Nota-se que, no primeiro quadrante, quase não há fluxo de corrente para níveis de tensão baixos, mas que, a partir de certo valor, a corrente cresce rapidamente. Já no terceiro quadrante, que mostra o comportamento reversamente polarizado da junção, o fluxo de corrente é bloqueado até certo valor de tensão, a partir do qual há a destruição do componente, tornando-o condutivo.

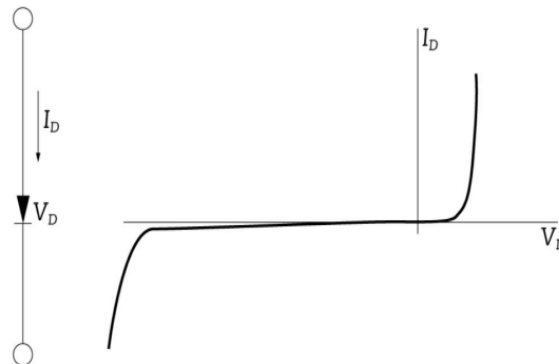


FIGURA 6. REPRESENTAÇÃO DA CURVA $I \times V$ DA JUNÇÃO P-N DA CÉLULA FOTOVOLTAICA. [FONTE: ZILLES ET AL., 2012]

A curva $I \times V$ da célula fotovoltaica é obtida por meio da superposição da corrente fotogerada com a curva do díodo, levando em conta apenas o primeiro quadrante da Figura 7. No escuro, a célula tem as mesmas características elétricas de um díodo não polarizado, e uma pequena corrente flui pela junção quando a célula está conectada a uma carga (como por exemplo uma bateria). À medida que a célula é iluminada, a sua curva se desloca para o quarto quadrante (quadrante da geração), pelo fato de o sentido da corrente agora ser o inverso do caso anterior. Quanto maior a intensidade da radiação solar, maior o deslocamento da curva. Convencionalmente, a curva da célula iluminada é espelhada no eixo da tensão. A Figura 7 mostra os esboços da curva $I \times V$ nas situações descritas anteriormente, assim como os circuitos equivalentes para cada uma,

detalhando a polaridade da tensão e o sentido da corrente para cada caso (Zilles *et al.*, 2012).

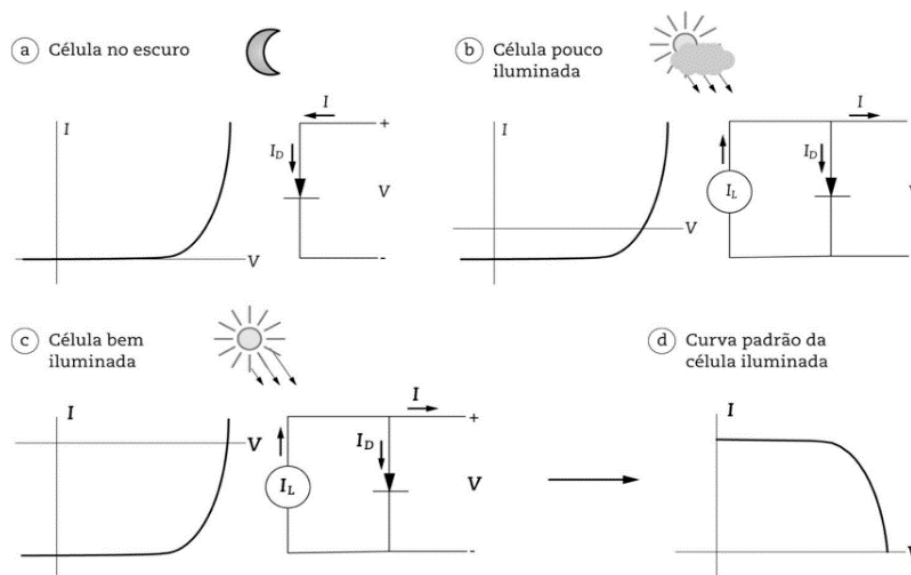


FIGURA 7. CURVA CARACTERÍSTICA CORRENTE-TENSÃO DE UMA CÉLULA DE SILÍCIO NO ESCURO E ILUMINADA. [FONTE: ZILLES ET AL., 2012]

Segundo Zilles *et al.*, 2012, para um profissional na área de sistemas fotovoltaicos, a parte útil da curva $I \times V$ é a que produz energia eléctrica. Com relação à Figura 7, percebe-se que isso não ocorre no ponto de tensão de circuito aberto ($0, V_{oc}$) e nem no ponto de curto-circuito ($I_{sc}, 0$). Nesses pontos não se produz nenhuma energia, uma vez que a potência instantânea obtida a partir do produto entre corrente e tensão é igual a zero.

Na Figura 8 apresenta-se a curva $I \times V$ típica de uma célula fotovoltaica Si (Silício). Deve-se observar que, apesar de ser normalmente apresentada no primeiro quadrante, onde, conforme explicado, a corrente tem sentido inverso (é negativa) (Pinho e Galdino, 2014).

A partir dos dados da curva $I \times V$, pode-se determinar a curva da potência em função da tensão, denominada curva $P \times V$, conforme a curva da Figura 8, onde se destaca o ponto de máxima potência (P_{mp}), como sendo aquele no qual a sua derivada em relação à tensão é nula ($\frac{dP}{dV} = 0$) (Pinho e Galdino, 2014).

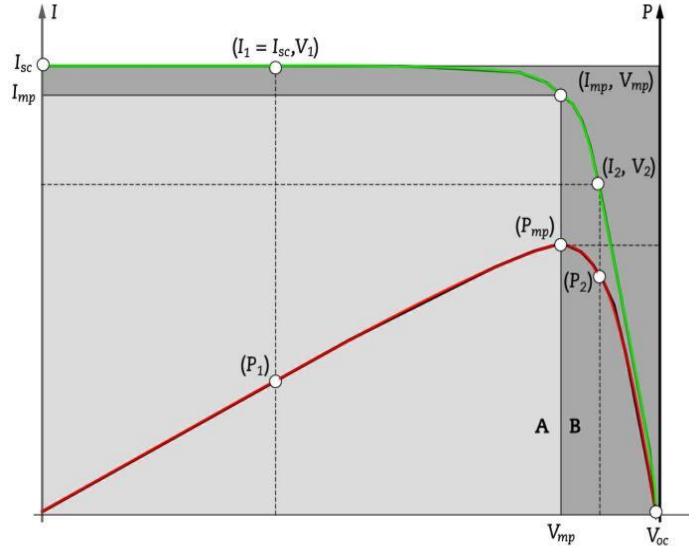


FIGURA 8. CURVA IxV, VERDE, E CURVA DE POTÊNCIA (PxV), VERMELHA, DE UMA CÉLULA OU MÓDULO FOTOVOLTAICO. [FONTE: ZILLES ET AL., 2012]

A curva característica corrente versus tensão é definida como a representação dos valores da corrente de saída de um conversor fotovoltaico em função da tensão, para condições preestabelecidas de temperatura e radiação. A partir da curva IxV, determinada sob as condições padrão de teste (STC), de uma célula ou módulo fotovoltaico, obtêm-se os principais parâmetros que determinam sua qualidade e desempenho, entre eles I_{sc} , V_{oc} , V_{mp} , I_{mp} e P_{mp} (Zilles et al., 2012).

Tensão de circuito aberto, (V_{oc}), Equação 1: é a tensão formada quando não há carga conectada à célula e é a tensão máxima que uma célula fotovoltaica pode produzir. Para células de silício monocristalino, esse valor fica na faixa de 0,5V - 0,7V, enquanto as de silício amorfo ficam em torno de 0,6V - 0,9V (Zilles et al., 2012; Pinho e Galdino, 2014; Tiggemann, 2015).

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

Corrente de curto-circuito, I_{sc} : medida do fluxo de portadores de corrente quando os terminais da célula estão no mesmo nível de referência, ou seja, curto-circuitados. Pode ser (Zilles et al., 2012; Pinho e Galdino, 2014; Tiggemann, 2015).

Ponto de máxima potência, P_{mp} : ponto da curva (I_{mp} , V_{mp}) onde ocorre a máxima transferência de potência da célula para a carga, e se localiza no “joelho” da curva I –

V. A [Figura 9](#) mostra uma curva $I \times V$ genérica e a curva de potência ($P \times V$) para o mesmo nível de irradiação. Esta última é traçada fazendo-se a multiplicação ponto a ponto dos valores de tensão e corrente equivalentes à curva $I \times V$.

Factor de forma, FF, Equação 2: Segundo [Zilles et al., 2012](#) essa figura de mérito define o quão próximo a curva $I \times V$ está da idealidade, ou seja, do rectângulo formado com vértices em I_{sc} e V_{oc} . Valores típicos do FF são de 0,6 a 0,85 para células monocristalinas e de 0,5 a 0,7 para as de silício amorfo. Matematicamente, esse factor é dado pela [Equação 2](#):

$$FF = \frac{I_{mp} \times V_{mp}}{I_{sc} \times V_{oc}} \quad (2)$$

Eficiência, η , Equação 3: é um parâmetro que define quão efectivo é o processo de conversão de energia solar em energia eléctrica. Representa a relação entre a potência eléctrica produzida pela célula fotovoltaica e a potência da energia solar incidente e pode ser definida com a [Equação 3](#) ([Pinho e Galdino, 2014](#)):

$$\eta = \frac{I_{sc} \times V_{oc} \times FF}{A \times G} \times 100\% = \frac{P_{mp}}{A \times G} \times 100\% \quad (3)$$

EFEITOS DOS FACTORES METEOROLÓGICOS

Diferente de outras tecnologias, os sistemas fotovoltaicos raramente operam em condições nominais de funcionamento. O seu desempenho, depende da temperatura de operação das células, da radiação solar incidente e sua distribuição espectral, inclusive em condições de irradiância de até 1 sol (ou 1 X), que corresponde a 1000W/m^2 , o que implica a utilização de dispositivos ópticos (lentes ou espelhos) para obtenção de níveis de irradiância superiores aos naturais, por conseguinte a eficiência das células fotovoltaicas pode aumentar, se a temperatura for controlada ([Tiggemann, 2015](#); [Pinho e Galdino, 2014](#)).

Efeito da Radiação Solar Nos Módulos Fotovoltaicos

O valor da energia que atravessa a célula é praticamente proporcional à variação da radiação solar ao longo do dia. Quando a radiação solar diminui, a produção de energia eléctrica também diminui (Tiggemann, 2015).

A corrente máxima que o módulo pode fornecer varia proporcionalmente à irradiância. Com pouca luz a corrente fornecida pelo módulo é muito pequena e sua capacidade de gerar energia é severamente reduzida (Villalva e Gazoli, 2012).

Conforme ilustrado na Figura 9, a irradiância Solar incidente afecta a curva IxV de uma célula de silício, mantida na temperatura de 25°C. A corrente eléctrica gerada por uma célula fotovoltaica aumenta linearmente com o aumento da irradiância solar incidente, enquanto que a tensão no ponto de máxima potência V_{mp} , e de circuito aberto V_{oc} , permanece relativamente constante com as variações da radiação solar. A tensão de circuito aberto sofre uma variação mais acentuada quando a radiação solar é muito baixa e V_{oc} decresce rapidamente até zero, na condição de total escuridão (Pinho e Galdino, 2014; Tiggemann, 2015).

A I_{sc} de uma célula (e de um módulo) pode ser relacionada à irradiância incidente pela Equação 4.

$$I_{sc} = I_{sc_{stc}} \times \frac{G}{1000} \quad (4)$$

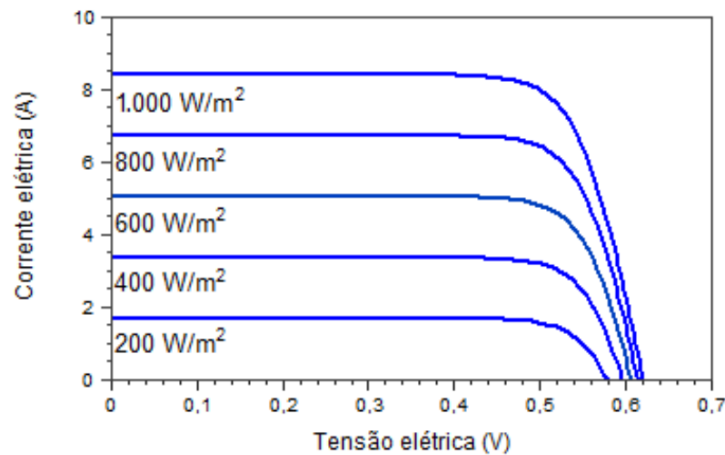


FIGURA 9. CURVA CARACTERÍSTICA I x V DE UMA CÉLULA FOTOVOLTAICA DE SILÍCIO CRISTALINO PARA IRRADIÂNCIAS VARIADAS, COM A MESMA TEMPERATURA DE 25°C. [FONTE: PINHO E GALDINO, 2014]

Na [Figura 10](#) é apresentada a curva característica da potência em relação à tensão de um módulo fotovoltaico para a variação de irradiância incidente, considerando uma temperatura de módulo constante de 25°C.

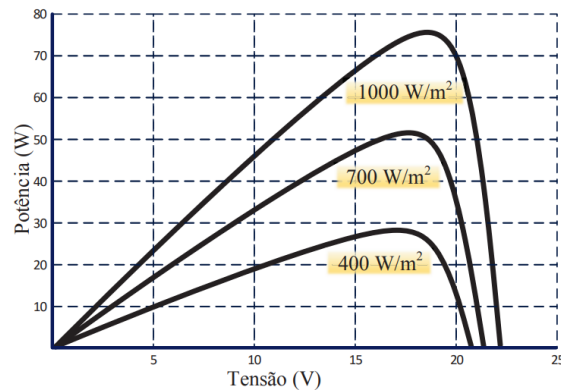


FIGURA 10. CURVA CARACTERÍSTICA P x V DE UMA MÓDULO FOTOVOLTAICO COM CÉLULAS DE SILÍCIO CRISTALINO PARA IRRADIÂNCIAS VARIADAS, COM A MESMA TEMPERATURA DE 25°C. [FONTE: [TIGGEMANN, 2015](#)]

Efeito da Temperatura Nos Módulos Fotovoltaicos

As variações da irradiância solar incidente e da temperatura ambiente afetam a temperatura de operação das células fotovoltaicas que compõem os módulos fotovoltaicos. A [Figura 11](#) mostra curvas $I \times V$ para diversas temperaturas da célula fotovoltaica, com irradiância de 1000 W/m². O aumento da irradiância incidente e/ou da temperatura ambiente produz um aumento de temperatura da célula e, consequentemente, tende a reduzir a sua eficiência. Isto se deve ao facto de que a tensão da célula diminui significativamente com o aumento da temperatura, enquanto que sua corrente sofre uma elevação muito pequena, quase desprezível. Em uma célula de silício cristalino, um aumento de 100°C na temperatura produz uma variação da ordem de -0.2V (-30%) em V_{oc} e de +0.2% em I_{sc} . Determinados módulos fotovoltaicos de filmes finos apresentam uma menor influência da temperatura na potência de pico, embora também sofram redução no seu desempenho ([Pinho e Galdino, 2014](#)). Portanto, em temperaturas mais baixas as tensões são maiores e em temperaturas mais altas, as tensões são menores ([Villalva e Gazoli, 2012](#)).

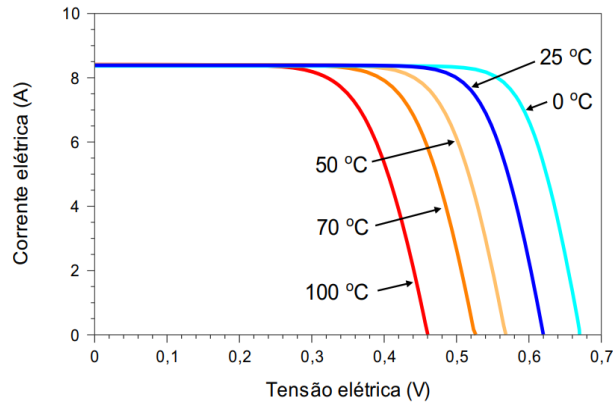


FIGURA 11. CURVA CARACTERÍSTICA I x V DE UMA CÉLULA FOTOVOLTAICA DE SILÍCIO CRISTALINO PARA TEMPERATURAS VARIADAS, COM A MESMA IRRADIÂNCIA DE 1000 W/M². [FONTE: PINHO E GALDINO, 2014]

Na Figura 12 é apresentada a curva característica da potência em relação à tensão de um módulo fotovoltaico para a variação de temperatura, considerando uma irradiância de 1000 W/m².

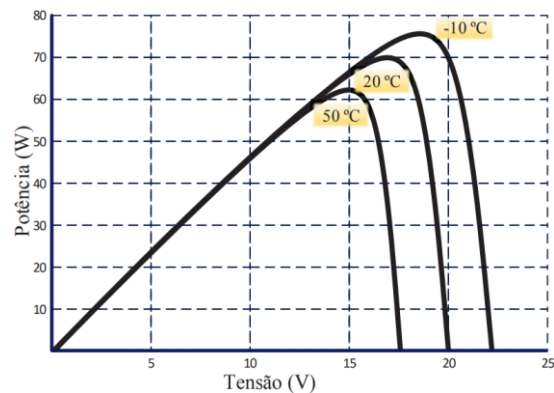


FIGURA 12. CURVA CARACTERÍSTICA P x V DE UMA MÓDULO FOTOVOLTAICO COM CÉLULAS DE SILÍCIO CRISTALINO PARA TEMPERATURAS VARIADAS, COM A MESMA IRRADIÂNCIA DE 1000 W/M². [FONTE: TIGGEMANN, 2015]

2.1.3 Componentes Básicos de um Sistema Fotovoltaico

Os **módulos fotovoltaicos** são o coração do sistema e são geralmente chamados de geradores fotovoltaicos. É necessário também ter estruturas de montagem às quais os módulos FV são fixados e direccionados para o sol. Para sistemas FV que precisam operar à noite ou durante períodos de mau tempo, é necessário o armazenamento de energia, sendo necessárias baterias para o armazenamento de electricidade. A saída de um módulo FV depende da intensidade da luz solar e da temperatura da célula, portanto, são necessários componentes que condicionem a saída de corrente contínua e a entreguem para as baterias, rede e/ou carga para um

funcionamento suave do sistema FV. Esses componentes são referidos como **controladores de carga**. Para aplicações que exigem corrente alternada, os **inversores CC/CA** são implementados em sistemas FV. Esses componentes adicionais formam parte de um sistema FV chamado de BOS. Finalmente, os electrodomésticos, como rádio ou TV, luzes e equipamentos alimentados pelo sistema solar FV são chamados de **carga eléctrica** (Zeman, 2016).

2.1.3.1 Módulos fotovoltaicos

Um módulo fotovoltaico resulta de uma associação de células fotovoltaicas, que quando conectados, formam um módulo fotovoltaico, como ilustrado na figura abaixo.

A célula solar é a unidade básica de um sistema FV. Uma célula solar individual produz corrente contínua e potência tipicamente entre 1 e 2 W, dificilmente suficiente para alimentar a maioria das aplicações. Por exemplo, no caso de células solares de silício cristalino com uma área típica de $10 \times 10 \text{ cm}^2$, uma potência de saída é tipicamente em torno de 1,5 W_p, com $V_{oc} \approx 0,6 \text{ V}$ e $I_{sc} \approx 3,5 \text{ A}$. Para uso real, as células solares são interconectadas em combinações série/paralelo para formar um módulo FV (Zeman, 2016).



FIGURA 13. MÓDULO FOTOVOLTAICO DE 380W, MONOCRISTALINO. [FONTE: TRIAL, 2020]

É muito importante usar os termos correctos para descrever os geradores fotovoltaicos: célula, módulo e painel fotovoltaico. A Figura 14 ilustra como a capacidade de energia é construída desde o nível da célula até o nível do painel. Os sistemas de energia fotovoltaica são comumente montados configurando os módulos fotovoltaicos em série e/ou em paralelo (Xiao, 2017).

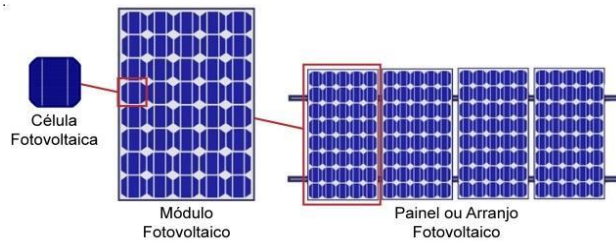


FIGURA 14. PROGRESSÃO DA CÉLULA PARA O MÓDULO E DESTE PARA O PAINEL FOTOVOLTAICO. [FONTE: ELECTRÓNICA, 2020]

ASSOCIAÇÃO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Os módulos podem ser conectados em ligações em **série** e/ou **paralelo**, dependendo da corrente e tensão desejadas, para formar painéis fotovoltaicos com potência elevada.

Módulos Fotovoltaicos Conectados Em Série

Segundo [Pinho e Galdino, 2014](#), conexão em série é feita do terminal positivo de um módulo ao terminal negativo de outro, e assim por diante. Quando a ligação de módulos é série, as tensões são somadas e a corrente (para módulos iguais) não é afetada, e para isso são usadas a [Equação 5](#) e a [Equação 6](#).

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n \quad (5)$$

$$I = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n \quad (6)$$

O efeito da conexão em série de módulos está ilustrado na [Figura 15](#), através da curva característica $I \times V$. Neste exemplo, cada módulo de 220 W_p tem $I_{sc}=6.9A$ e $V_{oc}=43.4V$. O conjunto resultante de 4 módulos em série tem potência de 880 W_p, $I_{sc}=6.9A$ e $V_{oc}=173.6V$ ([Pinho e Galdino, 2014](#)).

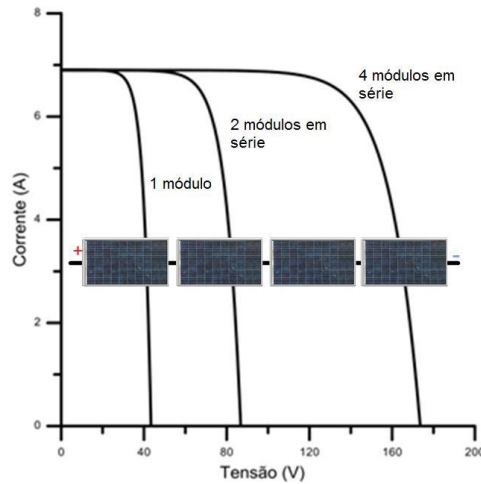


FIGURA 15. CURVAS IxV PARA UM MÓDULO DE 220 Wp, 2 MÓDULOS IDÊNTICOS ASSOCIADOS EM SÉRIE E 2 MÓDULOS IDÊNTICOS ASSOCIADOS EM SÉRIE. [FONTE: ALONSO, 2016]

Uma vez realizada a conexão série, as correntes que fluem por cada módulo são sempre iguais entre si, mas para que a corrente não seja afectada em relação à corrente de um módulo individual, consideram-se módulos idênticos sob mesmas condições de radiação e temperatura. Caso haja uma dispersão de características eléctricas ou um sombreamento parcial, a corrente do conjunto conectado em série é limitada pelo módulo com menor corrente individual (Pinho e Galdino, 2014).

Módulos Fotovoltaicos Conectados Em Paralelo

Segundo Pinho e Galdino, 2014, a conexão em paralelo é feita unindo-se os terminais positivos de todos os módulos entre si e procedendo-se da mesma forma com os negativos. Quando a ligação de módulos é série, as tensões são somadas e a corrente (para módulos iguais) não é afetada. Veja a Equação 7 e a Equação 8.

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n \quad (7)$$

$$V = V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_n \quad (8)$$

O efeito da conexão em paralelo de módulos está ilustrado na Figura 16, através da curva característica IxV. Neste exemplo, cada módulo de 220 W_p tem I_{sc}=6.9A e V_{oc}=43.4V. O conjunto resultante de 4 módulos em paralelo tem potência de 880 W_p, I_{sc}=27.6A e V_{oc}=43.4V (Pinho e Galdino, 2014).

adequar à temperatura local. No entanto, alguns reguladores de sistemas fotovoltaicos utilizam um rastreador do ponto de potência máxima (MPPT- *Maximum Power Point Tracker*), que permite automaticamente que os módulos fotovoltaicos operem na voltagem que produz a máxima saída de energia. Tais reguladores empregam um conversor electrónico DC-DC para manter sua saída na voltagem do sistema requerida. O benefício de usar um MPPT depende da aplicação e deve ser ponderado em relação ao seu custo adicional e riscos de confiabilidade. Para muitas aplicações, pode ser igualmente ou mais eficaz em termos de custo operar o sistema em uma voltagem fixa (Zeman, 2016).

2.1.3.3 Inversor

Segundo Tiggemann, 2015, os módulos fotovoltaicos podem ser conectados directamente em cargas de corrente contínua (CC), como motores, lâmpadas, etc. Entretanto, os equipamentos que utilizam uma fonte CC são limitados no mercado. Com isso, os sistemas fotovoltaicos necessitam de um sistema de conversão para transformar a energia CC para energia em corrente alternada (CA), de forma eficiente e com qualidade. Assim, o sistema fotovoltaico pode suprir de energia eléctrica, a maioria dos aparelhos electrónicos disponibilizados no mercado.

Inversores de onda quadrada: Os inversores de onda quadrada são um tipo simples de inversor usado para converter energia de corrente contínua (DC) em corrente alternada (AC). Eles são chamados de "onda quadrada" devido à forma de onda do sinal AC que produzem, que é uma aproximação de uma onda quadrada.

Os inversores de onda quadrada são geralmente utilizados em aplicações de baixa potência ou em situações onde a qualidade da energia não é uma preocupação crítica, como em sistemas de alimentação de emergência ou em aplicações de baixo custo.

Inversores de onda quadrada modificada: Os inversores de onda quadrada modificada são uma variação dos inversores de onda quadrada que tentam melhorar a qualidade da energia AC produzida em comparação com a onda quadrada tradicional. Esses inversores alteram a forma de onda básica da onda quadrada, adicionando pulsos curtos de voltagem zero entre as transições de polaridade.

A principal vantagem dos inversores de onda quadrada modificada em relação aos inversores de onda quadrada tradicionais é que eles produzem uma forma de onda mais suavizada, que se assemelha mais a uma onda senoidal. Isso reduz a quantidade de distorção harmônica e melhora a compatibilidade com equipamentos electrónicos sensíveis, aumentando a eficiência em algumas aplicações.

Inversores de onda senoidal: Os inversores de onda senoidal são dispositivos que convertem corrente contínua (DC) em corrente alternada (AC), produzindo uma forma de onda senoidal na saída. A forma de onda senoidal é a mesma que a fornecida pela rede eléctrica convencional, o que a torna ideal para alimentar uma ampla gama de dispositivos electrónicos.

2.1.3.4. Banco de armazenamento de energia

Em sistemas fotovoltaicos isolados da rede eléctrica, devido às alterações climáticas (radiação solar e temperatura), utilizam-se as células fotovoltaicas como fonte primária, portanto requerem um sistema armazenador de energia para suprir as necessidades em momentos em que a geração é nula ou insuficiente (à noite ou em dias chuvosos ou nublados, com baixos níveis de irradiância solar). Assim, parte da energia solar convertida em energia eléctrica pelos módulos fotovoltaicos durante o dia é armazenada para ser usada em outros momentos para atender a demanda ([Tiggemann, 2015](#), [Pinho e Galdino, 2014](#)).

As baterias podem ser agrupadas em série ou em paralelo para formar bancos de baterias. A associação em série permite obter tensões maiores e a associação em paralelo permite acumular mais energia ou fornecer mais corrente eléctrica com a mesma tensão ([Villalva e Gazoli 2012](#)). A [Figura 17](#) ilustra os modos de conexão de baterias.

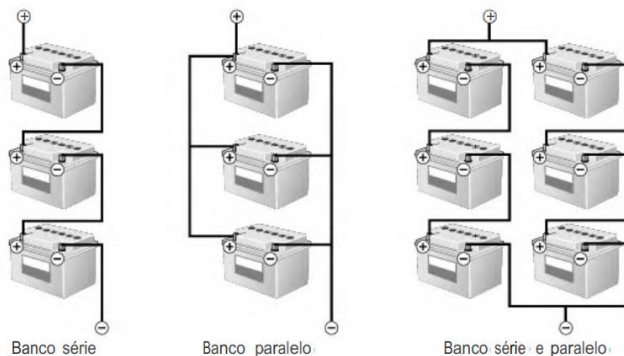


FIGURA 17. MODOS DE CONEXÃO DO BANCO DE BATERIAS. [FONTE: VILLALVA E GAZOLI, 2012]

2.1.3.4.1 Baterías

As baterias de chumbo-ácido são a tecnologia mais antiga e madura disponível. A bateria de chumbo-ácido mais comumente disponível é a bateria de carro, mas estas são projectadas principalmente para fornecer uma corrente alta por curtos períodos para iniciar motores, e não são adequadas para ciclos de descarga profunda experimentados por baterias em sistemas de FV. As baterias de carro às vezes são usadas para pequenos sistemas de FV porque são baratas, mas sua vida operacional em aplicações de FV provavelmente será curta (Zeman, 2016).

Outros exemplos são baterias de NiMH e baterias de NiCd). As baterias NiMH têm uma alta densidade de energia, que é comparável à das baterias de íon de lítio (discutidas abaixo). No entanto, as baterias NiMH sofrem de uma alta taxa de auto-descarga. Por outro lado, as baterias NiCd têm uma densidade de energia muito menor do que as baterias de íon de lítio. Além disso, devido à toxicidade do cádmio, as baterias NiCd são amplamente proibidas na União Europeia para uso do consumidor. Adicionalmente, as baterias NiCd sofrem do que é chamado de efeito de memória: as baterias perdem sua capacidade de energia utilizável se forem repetidamente carregadas após serem apenas parcialmente descarregadas. Essas desvantagens tornam as baterias NiMH e NiCd candidatas inadequadas para sistemas de armazenamento de FV (Smets *et al.*, 2016).

As baterias de LIBs e as baterias de polímero de íon de lítio, frequentemente referidas como baterias de LiPo, têm sido amplamente investigadas nos últimos anos. Sua alta densidade de energia já as tornou a tecnologia favorita para aplicações de

armazenamento leve, por exemplo, em telefones celulares. No entanto, essas tecnologias ainda sofrem com altos custos, baixa maturidade e com cada vez mais aplicações surgindo, incluindo armazenamento em escala de utilidade, precauções de segurança devem ser sempre tomadas, pois a alta densidade de energia é vantajosa, mas potencialmente perigosa (Smets *et al.*, 2016; Xiao, 2017).

2.1.4 Tipos de Sistema Fotovoltaicos

Zeman, 2016 descreve que os sistemas fotovoltaicos podem ser muito simples, apenas um módulo fotovoltaico e uma carga, como no fornecimento direto de energia para um motor de bomba d'água, ou mais complexos, como em um sistema para alimentar uma casa. Enquanto uma bomba d'água pode precisar operar apenas quando o sol brilha, o sistema da casa precisará operar dia e noite. Dependendo da configuração do sistema, podemos distinguir três tipos principais de sistemas fotovoltaicos: autônomos ou isolados, conectados à rede e híbridos.

2.1.4.1 Sistemas fotovoltaicos isolados (*off-grid systems*)

Os sistemas isolados, dependem apenas da energia fotovoltaica. Esses sistemas podem ter a opção de serem projectados apenas para corrente contínua, para uma mistura de cargas CC e CA, ou apenas para cargas CA. Alguns sistemas autônomos terão armazenamento de bateria e outros não, podem também consistir apenas de módulos fotovoltaicos e uma carga ou podem incluir baterias para armazenamento de energia, como se pode ver na Figura 18 (Zeman, 2016; Messenger e Abtahi, 2017).

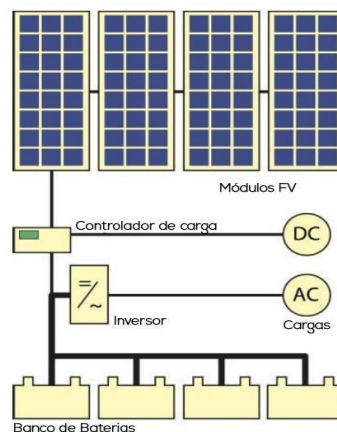


FIGURA 18. REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE UM SISTEMA FV COMPLEXO INCLUINDO BATERIAS, CONDICIONADORES DE ENERGIA E CARGAS TANTO DC QUANTO AC. [FONTE: ADAPTADO DE, SMETS ET AL., 2016]

2.1.4.2 Sistemas fotovoltaicos conectados à rede (*on-grid systems*)

O sistema fotovoltaico conectado à rede eléctrica opera em paralelo com a rede de electricidade. Diferentemente do sistema isolado, o sistema conectado é empregado em locais já atendidos por energia eléctrica. O objetivo do sistema fotovoltaico conectado à rede é gerar electricidade para o consumo local, podendo reduzir ou eliminar o consumo da rede pública ou mesmo gerar excedente de energia. Em alguns países os consumidores são incentivados a produzir excedente de energia e são remunerados pela electricidade que exportam. Residências e empresas que possuem sistemas fotovoltaicos conectados à rede e produzem energia excedente deixam de ser consumidores e tornam-se produtores de electricidade (Villalva e Gazoli, 2012). Veja-se a Figura 19.

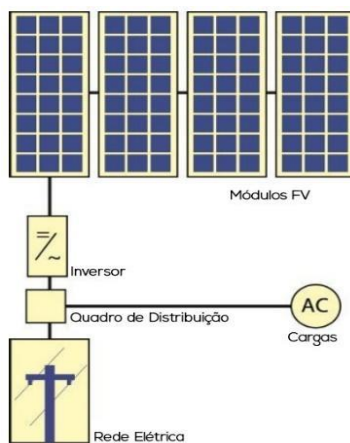


FIGURA 19. REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE UM SISTEMA FV CONECTADO À REDE ELÉCTRICA. [FONTE: ADAPTADO DE, SMETS ET AL, 2016]

2.1.4.3 Sistemas fotovoltaicos híbridos (*hybrid systems*)

Sistemas híbridos consistem em uma combinação de módulos fotovoltaicos e meios complementares de geração de electricidade, como um gerador a diesel, gás ou eólico. Esquemáticamente, um sistema híbrido é mostrado na Figura 20. Para otimizar as operações dos dois geradores, os sistemas híbridos geralmente requerem controles mais sofisticados do que os sistemas fotovoltaicos autônomos. Por exemplo, no caso de sistemas FV/diesel, o motor a diesel deve ser iniciado quando a bateria atinge um determinado nível de descarga e interrompido novamente quando a bateria atinge um estado de carga adequado (Zeman, 2016).

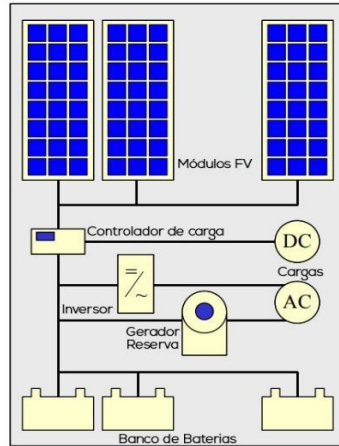


FIGURA 20. REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE UM SISTEMA HÍBRIDO DE FV QUE TEM UM GERADOR A DIESEL COMO ALTERNATIVA ELÉCTRICA. [FONTE: ADAPTADO DE, [ZEMAN, 2016](#)]

3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Neste capítulo será apresentado o dimensionamento de um sistema fotovoltaico experimental, que será monitorado em tempo real. Serão dimensionados e apresentados os componentes do sistema fotovoltaico e por conseguinte a escolha dos componentes para os sistema de monitoramento remoto do mesmo.

O sistema fotovoltaico a ser dimensionado será posteriormente submetido a monitoramento. Portanto, é crucial que seu dimensionamento seja realizado de maneira adequada para evitar futuros problemas de desempenho ou despesas desnecessárias, tanto para os componentes do sistema fotovoltaico quanto para os componentes do sistema de monitoramento.

3.1 Metodologia De Dimensionamento Do Sistema Fotovoltaico

O dimensionamento dos sistema fotovoltaico será feito com base nos consumos, procedendo com os respectivos cálculos a escolha do Painel fotovoltaico, do banco de armazenamento, do controlador de carga e do inversor de corrente, com o auxílio da Aula 24: Energia Solar Activa Sistemas Fotovoltaicos da disciplina de Sistemas Energéticos, leccionada na Universidade Eduardo Mondlane.

3.2 Escolha Dos Componentes Do Sistema Fotovoltaico

[Nhambiu, 2023](#) propõe uma estimativa aproximada do dimensionamento de um conjunto fotovoltaico e baterias, dentre as quais se consideram os seguintes passos para o dimensionamento do sistema fotovoltaico do presente projecto:

1. Determinação Da Energia Diária A Fornecer Aos Consumos (Wh);
2. Estimativa Do Factor De Perdas;
3. Determinação Da Potência Do Painel FV;
4. Número De Módulos Por Fileira;
5. Capacidade Da Bateria De Acumuladores;
6. Selecção Do Regulador De Carga;
7. Selecção Do Inversor.

3.2.1 Determinação da energia diária a fornecer aos consumos (wh)

Segundo [Nhambiu, 2023](#), a quantidade total de energia que é necessário prever para garantir a alimentação diária de todos os equipamentos, corresponde ao somatório das energias parciais consumidas pelos diferentes equipamentos utilizados.

O sistema proposto para a realização do monitoramento será totalmente hipotético, isto é, apenas para fins experimentais e não para uso contínuo ou residencial. Portanto, as cargas ou consumidores a serem considerados serão escolhidas de forma aleatória, com vista a representar cargas reais.

O presente sistema fotovoltaico terá como consumidores os equipamentos ilustrados na [Tabela 3](#), onde será também calculada a necessidade de consumo diário.

Equipamentos	Número	Horas de uso/dia	Potência (W)	Energia diária (Wh/d)
Lâmpadas	4	5	15	$4 \times 5 \times 15 = 300$
Carregador de telemóvel	2	5	25	$2 \times 5 \times 25 = 250$
Laptop	1	1	60	$1 \times 1 \times 60 = 60$
Totais			100	610

TABELA 3. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS E NECESSIDADE DE CONSUMO. [FONTE: AUTOR 2024]

Onde o total de energia diária consumida, W_D é calculada através da [Equação 9](#):

$$W_D = \sum_{i=1}^n P_i \times t_i \text{ [Wh/dia]} \quad (9)$$

$$W_D = 4 \times 5 \times 15 + 2 \times 5 \times 25 + 1 \times 1 \times 60 = 610 \text{ Wh/dia}$$

3.2.2 Estimativa do factor de perdas

A capacidade que um Painel fotovoltaico tem de alimentar as diversas cargas, está sujeita a algumas perdas inerentes ao sistema. Entre estas, aquelas que têm maior expressão são as que se referem às perdas nas cablagens e as perdas no inversor e regulador de carga ([Nhambiu, 2023](#)):

Rendimento (Cablagens): $\eta_{cabo} = 0.97$

Rendimento (Regulador + Inversor): $\eta_{reg+inv} = 0.85$

Rendimento total do sistema η_{sist} :

$$\eta_{sist} = \eta_{cabo} \times \eta_{reg+inv} \quad (10)$$

$$\eta_{sist} = 0.97 \times 0.85 = 0.82$$

3.2.3 Determinação da potência do Pannel FV

O Pannel FV deverá ter uma potência (P_{FV}) que garanta a satisfação das necessidades de consumo diário de energia. Portanto, o dimensionamento deste pannel deve ser feito de maneira a atender às necessidades de consumo até mesmo em dias desfavoráveis, ou seja, quando o número de horas de sol equivalentes à radiação padrão de 1000 W/m^2 é menor. Neste sentido, [Carneiro, 2009](#) sugere que a potência do pannel FV seja calculada de acordo com a [Equação 11](#):

$$P_{FV} = \frac{W_D}{\eta_{sist} \times EHS} [W] \quad (11)$$

Determinar a irradiação solar em horas equivalentes de sol diário (EHS- *Equivalent Hours of Sun*)

Segundo [Zeman, 2016](#), a potência que um módulo fotovoltaico entrega depende de vários fatores, como padrões climáticos locais, mudanças sazonais e instalação dos módulos. A potência produzida no inverno é muito menor que a média anual e nos meses de verão a potência gerada pode ser maior que a média. Em linguagem fotovoltaica, 1 sol equivalente significa a irradiância solar de 1000 W/m^2 . Esse valor corresponde ao padrão no qual o desempenho das células e módulos solares é determinado. Os parâmetros nominais dos módulos são determinados em uma irradiância solar de 1 sol.

Sendo que 1 sol é equivalente à $1000 \text{ W/m}^2 = 1 \text{ kW/m}^2$, que é o parâmetro de teste dos módulos fotovoltaicos, e a irradiação em Moçambique segundo [Gueifão et al., 2013](#) varia de 1785 e 2206 kWh/m^2 por ano, usando o valor mínimo de 1785 kWh/m^2 , então as horas equivalentes de sol diário são obtidas por:

$$EHS = \frac{1\,785\text{ kWh/m}^2/\text{por ano}}{1\text{ kW/m}^2}$$

$$EHS = 1\,785\text{ horas de sol no ano}$$

Portanto, um ano tendo 365 dias, significa que:

$$EHS = \frac{1\,785\text{ horas}}{365\text{ dias}}$$

$$EHS = 4.89\text{h/dia}$$

O número de horas de pico de sol (*EHS*) é considerado inferior ao calculado, como sendo o pior dos casos, que seria com horas de sol abaixo do calculado, sendo assim consideradas 4 horas por dia.

$$EHS = 4\text{ h/dia}$$

Portanto, calculando a potência do painel FV através da Equação 11, tendo em conta a demanda de 610 *Wh/dia* e número de horas de pico de sol de 4 *h/dia*, determina-se de acordo:

$$P_{FV} = \frac{610}{0.82 \times 4}$$

$$P_{FV} = 185.97\text{ W}$$

Para efeitos de precaução, escolhe-se um painel de potência acima da calculada, de 200W.

[Zeman, 2016](#), afirma que a disposição ótima dos módulos (painel solar) é aquela que fornecerá a corrente total do conjunto solar com o menor número possível de módulos.

Portanto, escolhem-se módulos de 100W, o que significa que serão 2 módulos FV de 100W conectados, cujas propriedades são apresentadas na Tabela 3:

Marca Daywatt24-Módulo Solar Policristalino			
Potência (W)	100	Peso (Kg)	9
Variação da potência	±3%	Dimensões (mm)	1000x670x30

<i>Corrente em máxima potência, I_{mp} (A)</i>	5.34	<i>Temperatura nominal de funcionamento das células</i>	$47 \pm 2^{\circ}C$
<i>Tensão em máxima potência, V_{mp} (V)</i>	18.78	<i>Vida útil</i>	+25 anos
<i>Corrente de curto circuito, I_{sc} (A)</i>	5.71	<i>Temperatura de funcionamento</i>	$-40^{\circ}C$ à $+85^{\circ}C$
<i>Tensão de curto circuito, V_{oc} (V)</i>	22.64	<i>Tensão máxima do sistema (VDC)</i>	1000

TABELA 4. PROPRIEDADES DO MÓDULOS FV DE 100W. [FONTE: AUTOR 2024]

3.2.4 Número de módulos por fileira

De forma geral, é recomendado que a tensão de funcionamento do sistema aumente com o aumento da carga diária consumida. Para cargas pequenas (até $2kWh$ diários) pode utilizar-se 12V como valor de VDC (*Volts Direct Current*- Volts de Corrente Contínua) (Nhambiu, 2023).

Portanto, tendo se previsto cargas de $610 Wh = 0.610 kWh$ por dia, toma-se a tensão de 12V.

Segue-se que para associação de módulos fotovoltaicos, pelas características de 12V do sistema proposto, o ideal é um painel ligado em paralelo, tendo em conta que a bancada, pelas características e funcionamento não se irá exigir tensões elevadas, e que componentes como reguladores de carga e baterias, são comuns no mercado nacional com 12V.

O número de módulos por fileira é calculado através da seguinte expressão:

$$N_s > \frac{V_{bat}}{V_{max}} \quad (12)$$

$$N_s > \frac{12V}{17.4} = 0.69$$

$$N_s \approx 1$$

Portanto o número de módulos por fileira será de 1 módulo FV de 100W.

3.2.5 Capacidade da bateria de acumuladores

As baterias representam uma via pela qual é possível efectuar o armazenamento de energia, já que são capazes de transformar directamente a energia eléctrica em energia potencial química e posteriormente converter, directamente, a energia potencial química em energia eléctrica. Contudo, em situações reais a eficiência da bateria nunca atinge 100%, e a profundidade de descarga máxima de segurança é normalmente de 65%.

Por outro lado, o número de dias, N_d cuja probabilidade de uma bateria ser utilizada de modo a substituir totalmente o painel FV, corresponde normalmente a 3 ou 4 dias de céu encoberto ou de chuva. Deste modo, o cálculo da capacidade de uma bateria real, $C_{(Ah)}$ é efectuado através da Equação 13 (Nhambiu, 2023).

$$C_{(Ah)} = \frac{W_D \times N_d}{U \times \eta_{Bat} \times K_D} [Ah] \quad (13)$$

Considerando o presente projecto, sendo uma bancada de testes e não de uso contínuo residencial, o número de dias de substituição do painel fotovoltaico, por parte do banco de baterias, para aspectos económicos que poderão ser acarretados pelo banco de baterias com a autonomia de acima de 3 dias, será considerado 24 horas, ou seja, um dia de autonomia.

$$C_{(Ah)} = \frac{610 \times 1}{12 \times 0.8 \times 0.65}$$

$$C_{(Ah)} = 97.76 \text{ Ah}$$

Portanto escolhe-se um banco de armazenamento de 100 Ah, para o presente projecto.

3.2.6 Selecção do regulador de carga

A selecção do regulador de carga MPPT é prevista para cumprir o seu valor de corrente máxima DC, $I_{max \text{ DC}}$. Por isso deverá ser limitada pela corrente total, I_T à saída do painel fotovoltaico (Nhambiu, 2023):

$$I_{max \text{ DC}} > I_T \quad (14)$$

Para fins económicos, escolhe-se um controlador com uma voltagem máxima admissível de 24V. Portanto, para o presente sistema FV prevê-se ligação em paralelo dos módulos FV, de modo a garantir que a voltagem do painel não ultrapasse o regulador de carga. Assim sendo, as correntes dos módulos FV serão somadas, como se pode verificar abaixo:

$$I_{max\ DC} > 5.34 + 5.34$$

$$I_{max\ DC} > 10.68\ A$$

Portanto, escolhe-se um controlador de carga de 20A.

3.2.7 Selecção do inversor

Na eventualidade de os aparelhos (cargas) a alimentar funcionarem em corrente alternada, o inversor deve ser escolhido de modo a garantir a potência máxima simultânea (soma das potências de cada aparelho), $\sum P_i$ dos equipamentos utilizados. Neste sentido, a potência mínima requerida para o inversor, P_{inv} é calculada de acordo com a seguinte condição (Nhambiu, 2023):

$$P_{inv} > \sum P_i \quad (15)$$

$$P_{inv} > 100W$$

Portanto, um inversor de 500W seria apropriado para o determinado sistema fotovoltaico, segundo o mercado nacional, por não apresentar muitas opções de potência inferiores à 500W e acima de 100W.

O esquema do sistema fotovoltaico proposto é apresentado na [Figura 21](#).

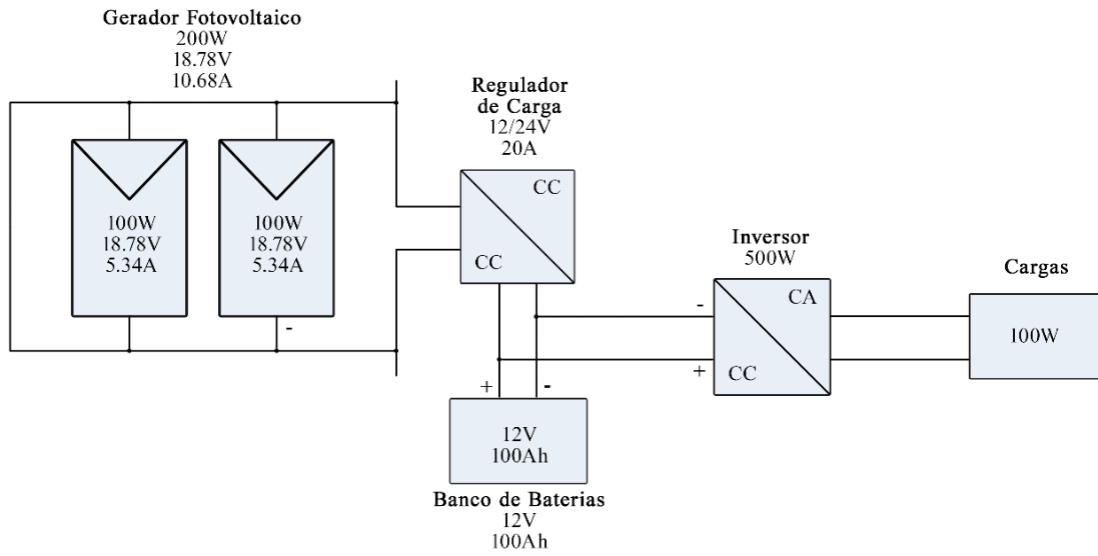


FIGURA 21. ESQUEMA DO SISTEMA FOTOVOLTAICO PROPOSTO. [FONTE: AUTOR 2024]

4 SISTEMA DE MONITORAMENTO

No presente capítulo, será abordado o desenvolvimento do sistema de monitoramento do sistema fotovoltaico experimental. Compreendendo a escolha dos sensores e dispositivos de aquisição de dados, bem como a integração desses componentes em uma plataforma que permita a visualização e o armazenamento das informações. Além disso, será discutida a escolha do protocolo de comunicação necessária para garantir a transmissão confiável dos dados.

4.1 Monitoramento Remoto

Sob aspecto de engenharia mecânica, o monitoramento remoto refere-se ao uso de tecnologias de comunicação e sensores para acompanhar, analisar e controlar equipamentos, sistemas mecânicos e processos industriais à distância. Essa prática permite que engenheiros e técnicos obtenham dados em tempo real sobre o desempenho e o estado de máquinas, sistemas de produção, ou estruturas mecânicas, sem a necessidade de estar fisicamente presentes no local ([Tiggemann, 2015](#)).

As informações podem ser visualizadas por meio de um portal *web* dedicado ou aplicativo móvel. A maioria dos sistemas de monitoramento apresenta os dados finais em gráficos de barras, gráficos lineares ou outras formas de visualização de dados, mostrando as taxas de produção de energia para cada módulo fotovoltaico, a produção diária de energia solar, tendências históricas e informações sobre o uso de energia ([Tamara, 2024](#)).

Além do monitoramento em tempo real, ainda segundo [Tamara, 2024](#), muitos sistemas notificam proativamente sobre quaisquer problemas no sistema solar, desde falhas no sistema até a diminuição da produção de energia. Esses alertas ajudam a resolver problemas rapidamente, reduzindo o tempo de inatividade do sistema. Alguns sistemas até fornecem alertas meteorológicos para dias de baixa luminosidade ou tempestades iminentes. Essas funcionalidades permitem que se tenha melhores respostas para emergências, e que se garanta que a energia solar é armazenada de forma eficiente para uso posterior.

4.2 Benefícios do Monitoramento Remoto de Sistemas Fotovoltaicos

Segundo [Messenger e Abtahi, 2017](#) monitoramento remoto é uma prática fundamental para garantir o desempenho, a eficiência e a longevidade de sistemas fotovoltaicos. A seguir estão alguns benefícios pelas quais o monitoramento remoto é crucial:

Maximização da Produção de Energia: Permitindo a supervisão contínua da produção de energia, assegurando que os módulos fotovoltaicos operem em sua capacidade máxima. Quedas na produção podem ser rapidamente identificadas e corrigidas, evitando perdas significativas de energia.

Deteção Precoce de Problemas: Com o monitoramento remoto, falhas e anomalias, como sombreamento, sujeira nos módulos fotovoltaicos, ou falhas nos inversores, podem ser detectadas imediatamente. Isso permite que ações corretivas sejam tomadas antes que o problema cause uma perda significativa de eficiência ou exija reparos mais caros.

Manutenção Preventiva e Redução de Custos: Permitindo a implementação de programas de manutenção preventiva, onde as intervenções são feitas com base em dados reais do sistema. Isso reduz a necessidade de manutenção correctiva, prolonga a vida útil dos componentes e diminui os custos operacionais.

Optimização da Eficiência: Dados colectados remotamente podem ser usados para otimizar o desempenho do sistema, ajustando parâmetros de operação em resposta a mudanças nas condições ambientais ou no consumo de energia. Isso garante que o sistema funcione sempre na sua eficiência ideal.

Acesso Remoto e Facilidade de Gestão: Operadores e técnicos podem acessar o sistema de qualquer lugar, utilizando dispositivos móveis ou computadores, o que é particularmente útil para sistemas em locais remotos ou de grande escala. Isso simplifica a gestão do sistema e permite a resolução rápida de problemas.

Segurança e Confiabilidade: Ao garantir que o sistema esteja sempre operando dentro dos parâmetros especificados, o monitoramento remoto contribui para a

segurança operacional e a confiabilidade do sistema. Isso é particularmente importante em instalações críticas, onde a interrupção da energia pode ter consequências graves.

4.3 Tipos de Sistemas de Monitoramento de Sistemas Fotovoltaicos

Segundo [Tamara, 2024](#), existem três tipos principais de sistemas de monitoramento solar disponibilizados por fabricantes de equipamentos solares, instaladores profissionais e empresas de monitoramento terceirizadas.

4.3.1 Monitoramento solar integrado ao equipamento

Os fabricantes de equipamentos solares podem integrar sistemas de monitoramento em seus produtos, tanto nos painéis quanto no inversor, que converte a energia dos painéis para uso doméstico. Os sistemas de monitoramento baseados em inversores são os mais comuns, oferecendo dados fáceis de entender via site ou aplicativo. Eles rastreiam a produção de energia, o consumo básico e o desempenho do sistema. Empresas geralmente utilizam inversores de string ou microinversores, com os microinversores permitindo o monitoramento individual de cada painel. Muitos fabricantes incluem software de monitoramento, mas recursos avançados podem ter custo adicional.

4.3.2 Monitoramento solar por instaladores

Provenientes de empresas de instalação solar, que oferecem aplicativos de monitoramento junto com seus sistemas de energia. Esses aplicativos costumam aprimorar os dados fornecidos pelo monitoramento integrado do inversor, oferecendo insights sobre a produção diária, futuras contas de eletricidade e opções de pagamento online. Embora possam não ser tão detalhados quanto os sistemas de monitoramento a nível de módulo, eles ainda fornecem informações valiosas.

Além disso, alguns desses aplicativos se conectam diretamente ao suporte ao cliente, facilitando a resolução de problemas e o agendamento de manutenção. Podem também fornecer alertas meteorológicos locais para ajudar dias com pouca luz solar ou condições perigosas. Os dados geralmente são acessíveis através de um *website* dedicado ou de um aplicativo que pode ser acessado em telemóveis.

4.3.3 Monitoramento de energia residencial de terceiros

Os sistemas de monitoramento de energia de terceiros, oferecidos por empresas que não fabricam equipamentos solares nem fazem instalações, focam no consumo de energia de toda a casa, não apenas na energia solar. Eles usam sensores de corrente no painel eléctrico para rastrear o fluxo de energia, podendo monitorar electrodomésticos específicos ou integrar-se com dispositivos inteligentes para uma visão mais detalhada.

Além de mostrar o uso actual de energia, esses sistemas fornecem análises de custos, tendências, metas personalizáveis e alertas para picos de energia. Alguns até podem estimar emissões de gases de efeito estufa. Eles funcionam junto com o monitoramento solar existente e podem oferecer recursos específicos.

4.4 Metodologia do Sistema de Monitoramento Proposto

Para o presente projecto, propõe-se o monitoramento da corrente, tensão e potência da secção de saída do painel fotovoltaico, da secção de saída do controlador de carga e das secções de entrada e saída do inversor de corrente.

Para o sistema de monitoramento será usado o conhecimento de IoT, que é uma expansão da Internet actual que permite que objectos do dia-a-dia, de qualquer tipo, se conectem à rede global graças à sua capacidade computacional e de comunicação. Essa conexão possibilita, primeiramente, o controle remoto dos objectos e, em segundo lugar, permite que esses objectos sejam acessados como provedores de serviços. O presente projecto consistirá na comunicação entre a plataforma de controle e medição e uma página *web*, onde os valores medidos serão armazenados em uma base de dados e por conseguinte actualizados em uma página de monitoramento ([Santos, 2016](#)). Abaixo, na [Figura 22](#), é representado o acesso à informação de sensores implantados em um sistema fotovoltaico.

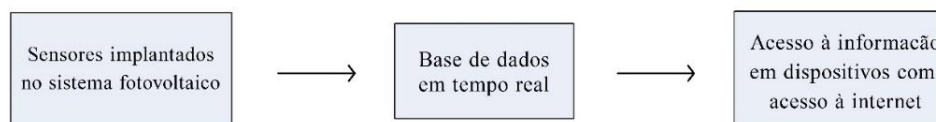


FIGURA 22. REPRESENTAÇÃO DAS ETAPAS NA COMUNICAÇÃO IOT DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO. [FONTE: AUTOR 2024]

4.5 Componentes do Sistema de Monitoramento Proposto

Em um sistema IoT, os sensores conectados ao Arduino colectam dados e os enviam para a internet através de uma conexão *WiFi*. Esses dados são transmitidos e armazenados em uma base de dados, que pode estar localizada na nuvem ou em um servidor local. A partir dessa base de dados, as informações podem ser acessadas para análise, visualização e acções subsequentes. Portanto, são escolhidos os seguintes equipamentos:

Arduino MEGA2560 com módulo ESP8266 integrado

Para as medições desses parâmetros será usada uma plataforma de controle Arduino Mega2560 com módulo Esp8266 integrado, para medição das correntes e tensões, contínuas e alternadas do sistema fotovoltaico proposto.

O Arduino Mega2560 é como uma plataforma electrónica que pode controlar dispositivos e colectar dados de sensores. É um pequeno computador programável, onde se pode programar para várias finalidades, como acender uma lâmpada, medir a temperatura, controlar motores, entre outras. O Esp8266 é um módulo *WiFi* integrado que permite que dispositivos se conectem à internet. Individualmente, o Esp8266 pode ser usado para conectar sensores e atuadores à internet, mas ele tem capacidades limitadas comparado ao Arduino Mega2560 ([Koyanagi, 2018](#)).

Quando combinam-se os dois (Arduino Mega2560 e Esp8266) em uma única placa, tem-se o Arduino Mega2560 com Esp8266 integrado. Isso significa que tem a potência e versatilidade do Arduino Mega2560, com a capacidade de se conectar à internet proporcionada pelo Esp8266 ([Koyanagi, 2018](#)). A plataforma de Arduino Mega2560 com o Esp8266 integrado é ilustrada na [Figura 23](#).

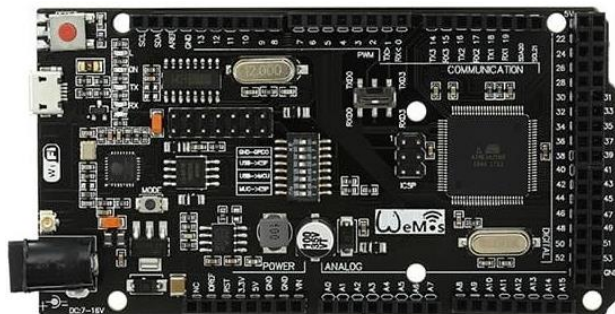


FIGURA 23. ARDUINO MEGA2560 COM ESP8266 INTEGRADO. [FONTE: [USINAINFO](#)]

As propriedades os Arduino Mega2560 com Esp8266 integrado são apresentadas na [Tabela 5](#):

Modelo	Arduino Mega Wifi Atmega2560
Entrada USB	5V (500mA máximo)
Microcontrolador	Atmega2560
Wifi IC	Esp8266
Conexão	Micro USB
Pinos Digitais	54
Pinos Analógicos	16
Temperatura de operação	-40°C - 125°C
Dimensões	101x53x13mm
Peso	34g

TABELA 5. ESPECIFICAÇÕES DO ARDUINO MEGA2560 COM ESP8266 INTEGRADO. [FONTE: ADAPTADO DO [USINAINFO](#)]

Sensor de tensão contínua

Pretendendo-se medir a tensão contínua na saída do painel, em que o máximo de tensão é de 18.76V, a configuração da bateria em 12V, o sensor para medição destas secções escolhido é de medição até 25V de tensão contínua. O sensor de tensão é ilustrado na [Figura 24](#) e as suas especificações são apresentadas na [Tabela 6](#).



FIGURE 24. SENSOR DE TENSÃO DC 0-25V. [FONTE: [USINAINFO](#)]

Tensão de entrada	0-25V
Tipo de sensor	Detector de tensão/ Voltímetro
Dimensões	28 × 14 × 12mm
Peso	2.8g

TABELA 6. ESPECIFICAÇÕES DO SENSOR DE TENSÃO DC 0-25V. [FONTE: ADAPTADO DE [USINAINFO](#)]

Sensor de corrente

Para medir a corrente contínua e alternada na saída do painel, em que o máximo de corrente será de 10.68A, o sensor para medição escolhido será de medição até 30A de corrente contínua ou alternada. O sensor de corrente é ilustrado na [Figura 25](#) e as suas especificações são apresentadas na [Tabela 7](#).



FIGURA 25. SENSOR DE CORRENTE ACS712 30A. [FONTE: [USINAINFO](#)]

Modelo	ACS712-30A
Tensão de alimentação	5V
Corrente máxima	30A
Tempo de resposta	5 μ s
Razão de saída	66mV/A
Dimensões	32x13x14mm
Peso	3.7g

TABELA 7. ESPECIFICAÇÕES DO SENSOR DE CORRENTE ACS712 30A. [FONTE: ADAPTADO DE [USINAINFO](#)]

Sensor de tensão alternada

Para medir a tensão na saída do inversor, que no seu funcionamento normal, a tensão de saída é de 220V, portanto o sensor para medição desta secção será de medição até 250V de tensão alternada.

O Sensor de Tensão alternada 0 a 250V ZMPT101B é um módulo de alta precisão que tem como finalidade detectar a existência de tensão alternada em um circuito ou fazer a medição do valor de tensão. Ilustrado na [Figura 26](#) e as propriedades do sensor ilustradas na [Tabela 8](#) ([Oliveira, 2019](#)).



FIGURA 26. SENSOR DE TENSÃO AC 0-250V ZMPT101B. [FONTE: [OLIVEIRA, 2019](#)]

Transformador	ZMPT101B
Tipo de sensor	Detector de tensão/ Voltímetro
Tensão de alimentação do módulo	5-30VDC
Tensão de entrada	0-250VAC
Corrente de entrada nominal	2mA
Corrente de saída nominal	2mA
Precisão de leitura	+/-1%
Temperatura de operação	-40°C - 70°C

TABELA 8. ESPECIFICAÇÕES DO SENSOR ZMPT101B. [FONTE: ADAPTADO DE [OLIVEIRA, 2019](#)]

4.6 Esquema De Monitoramento

Abaixo, na [Figura 27](#), está apresentado o esquema de conexão dos sensores escolhidos e a plataforma de controle.

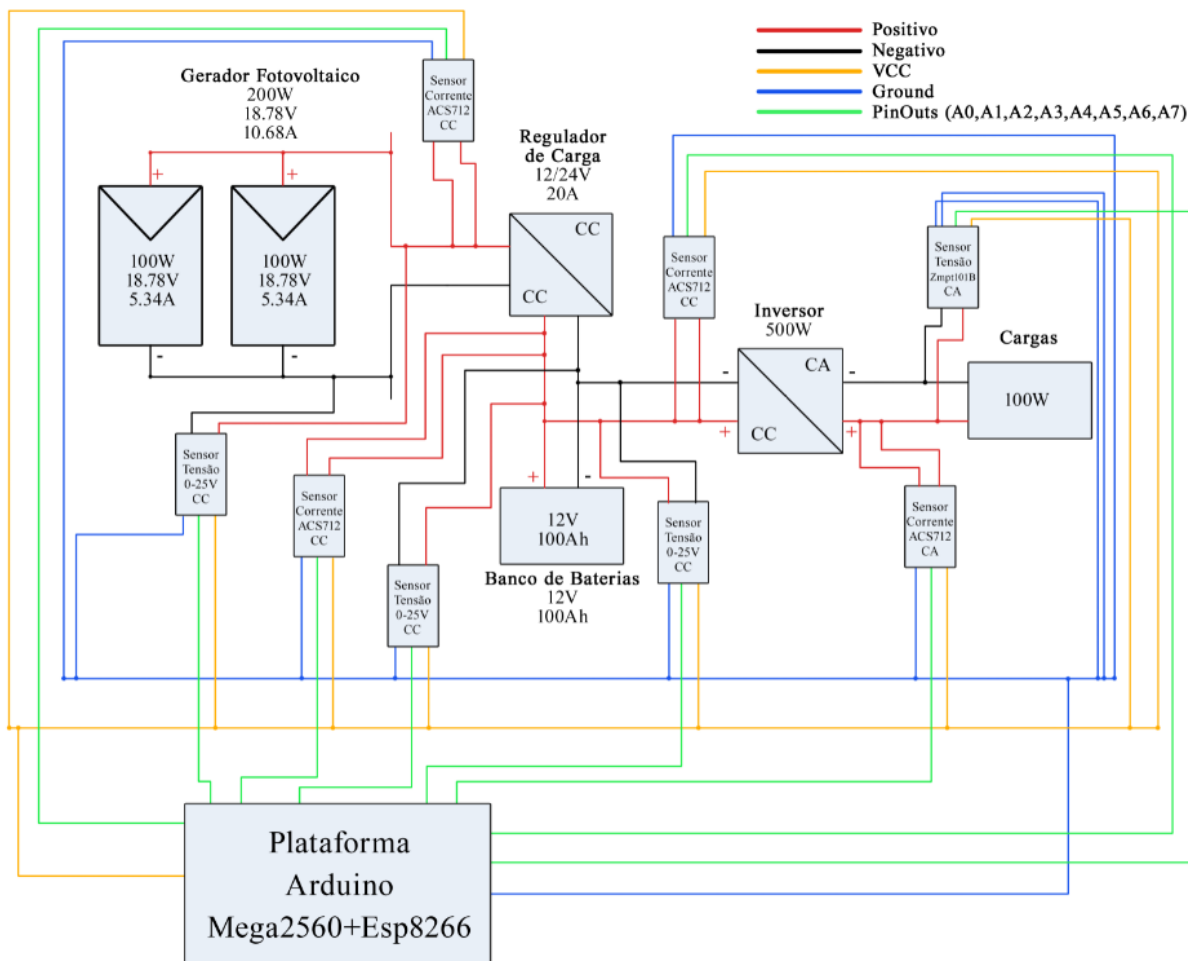


FIGURA 27. ESQUEMA DE CONEXÕES DOS SENSORES DE CORRENTE E TENSÃO NO SISTEMA FOTOVOLTAICO. [FONTE: AUTOR 2024]

4.7 Plataforma de Monitoramento Remoto da Bancada

Para o monitoramento dos sensores é necessário um computador para a programação dos sensores. E para a programação dos mesmos foi usado o Arduino IDE na sua versão 2.3.2, que é um *software* desenvolvido pela Arduino, para escrever e fazer o envio de códigos para as plataformas arduino compatíveis usando com linguagens de programação C++ (Barret, 2021).

A plataforma de monitoramento remoto da bancada foi desenvolvida com o objetivo de facilitar o acompanhamento em tempo real dos dados coletados por sensores conectados ao Arduino. Para que esses dados possam ser visualizados em uma página web, é necessária uma comunicação entre o Arduino e a plataforma web, o que exige o uso de uma base de dados.

Comunicação entre Arduino e página web

A comunicação entre o Arduino e a página *web* é realizada através do *Firebase: Realtime Database*, uma solução de banco de dados em tempo real oferecida pelo *Google*. O Arduino colecta dados dos sensores, como temperatura, umidade, pressão, entre outros, e envia esses dados para o *Firebase*. A escolha do *Firebase* se deve à sua capacidade de fornecer atualizações em tempo real, o que é essencial para o monitoramento contínuo.

Desenvolvimento da plataforma web

A plataforma web foi desenvolvida utilizando *HTML*, *CSS* e *JavaScript*, empregando o programa *Visual Studio Code* na versão 1.90.2. *HTML* e *CSS* foram utilizados para estruturar e estilizar a interface da plataforma, garantindo uma apresentação clara e intuitiva dos dados. O *JavaScript*, por sua vez, é responsável pela interação dinâmica entre o usuário e a plataforma, além de facilitar a comunicação com o *Firebase*.

Integração com o **FIREBASE: REALTIME DATABASE**

Para que os valores lidos pelos sensores sejam enviados para a página *web*, o *Firebase: Realtime Database* é configurado para receber os dados do Arduino. A integração é feita por meio de código *JavaScript* que se comunica com a API (*Application Programming Interface*) do *Firebase*, permitindo que as leituras dos sensores sejam atualizadas continuamente na plataforma *web*. Dessa forma, os usuários podem visualizar os dados em tempo real, sem a necessidade de recarregar a página.

Visualização dos dados

A visualização dos dados colectados é um componente crucial da plataforma de monitoramento remoto. Para ilustrar os valores lidos em gráficos de linha, foi utilizada a biblioteca *Chart.js*, uma ferramenta poderosa do *JavaScript* que permite a criação de gráficos dinâmicos e interativos. Com o *Chart.js*, os dados recebidos do *Firebase* são transformados em gráficos que facilitam a interpretação das informações pelos usuários.

A figura abaixo mostra a página principal da plataforma criada, que pode ser acessada através do link: <https://solarfeng.netlify.app/>. E para o acesso à página de

monitoramento basta clicar em “Monitoramento FV”, conforme ilustram as Figuras abaixo.

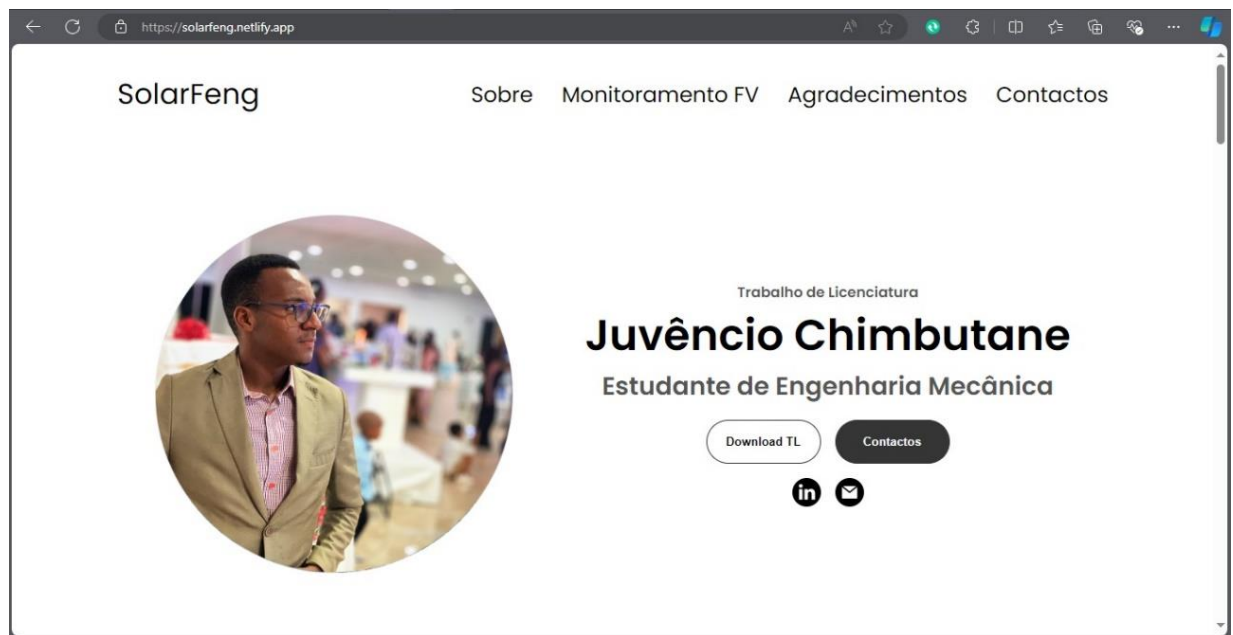


FIGURA 28. PÁGINA PRINCIPAL DA PLATAFORMA DE MONITORAMENTO. [FONTE: AUTOR 2024]



FIGURA 29. PÁGINA DE MONITORAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO. [AUTOR 2024]

Uma vez na página de monitoramento tem-se o acesso às leituras de corrente, tensão e potência, seguidos dos seus respectivos gráficos, das secções de Monitoramento da Saída do Painel/Entrada do Controlador de Carga, de Monitoramento

da Saída do Controlador/Entrada da Bateria, de Monitoramento da Saída da Bateria/Entrada do Inversor e de Monitoramento da Saída do Inversor/Cargas, conforme se pode verificar nas figuras abaixo.



FIGURA 30. SECÇÃO DE MONITORAMENTO DA SAÍDA DO PAINEL/ENTRADA DO CONTROLADOR DE CARGA. [FONTE: AUTOR 2024]



FIGURA 31. SECÇÃO DE MONITORAMENTO DA SAÍDA DO CONTROLADOR/ENTRADA DA BATERIA. [FONTE: AUTOR 2024]



FIGURA 32. SECÇÃO DE MONITORAMENTO DA SAÍDA DA BATERIA/ENTRADA DO INVERSOR. [FONTE: AUTOR 2024]

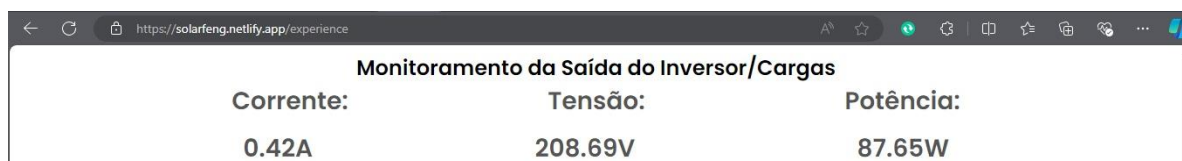


FIGURA 33. MONITORAMENTO DA SAÍDA DO INVERSOR/CARGAS. [FONTE: AUTOR 2024]

5 ARQUITECTURA MECÂNICA DA BANCADA

Neste capítulo, abordaremos a arquitectura mecânica da bancada laboratorial para o sistema fotovoltaico, focando em aspectos fundamentais como robustez, durabilidade, portabilidade e facilidade de montagem. A concepção da estrutura foi projectada para fornecer uma base sólida e estável que acomoda tanto o painel fotovoltaico quanto os componentes electrónicos do sistema. A bancada é projectada para ser facilmente transportada e montada em diversos locais de estudo, facilitando a experiência prática e educacional com sistemas fotovoltaicos.

5.1 Material e Dimensões

Os tubos estruturais quadrados de 30x30mm foram escolhidos devido à sua resistência mecânica e capacidade de suportar o peso dos painéis solares e outros equipamentos. Esses tubos são fabricados em aço carbono, oferecendo uma boa relação entre resistência e peso, além de serem económicos e amplamente disponíveis no mercado.

5.2 Estrutura Base

A estrutura base da bancada é formada por um conjunto de tubos soldados ou aparafusados, criando um quadro rectangular estável. Esta base suporta o peso dos painéis solares e dos componentes electrónicos, garantindo a estabilidade necessária para o funcionamento seguro e eficiente do sistema. A utilização de tubos quadrados facilita a conexão entre os diferentes elementos da estrutura, proporcionando uma montagem mais simples e rápida. A estrutura inclui rodízios com travas, permitindo que a bancada seja movida facilmente entre diferentes locais.

5.3 Suporte Para Painel Fotovoltaico Com Mecanismo De Rotação

O painel fotovoltaico será instalado em suportes inclinados, feitos de tubos estruturais quadrados de 30x30 mm, equipados com um mecanismo de rotação e fixação a um determinado ângulo. Esse mecanismo permite ajustar os painéis para o ângulo ideal de incidência solar, maximizando a captação de energia ao longo do dia e das diferentes estações do ano. A rotação será controlada manualmente, ajustando assim o painel em intervalos regulares para otimizar a captação de luz solar.

5.4 Divisórias De Compartimentos De Equipamentos

Os compartimentos para os componentes electrónicos, como controladores de carga, inversores e baterias, são divididos em níveis feitos de madeira prensada. A madeira prensada foi escolhida por sua capacidade de suportar o peso dos equipamentos e por ser um material de fácil obtenção e manuseio. Essas divisórias são fixadas à estrutura de tubos, através de parafusos e porcas, criando espaços organizados e seguros para a instalação dos componentes.

5.5 Integração Com Componentes Electrónicos

A estrutura mecânica também inclui suportes específicos para a instalação dos componentes electrónicos, como inversores e controladores de carga e baterias. Esses suportes de madeira prensada são posicionados de forma a facilitar a conexão dos cabos e a manutenção dos equipamentos, garantindo a funcionalidade e a segurança do sistema.

5.6 Pintura E Acabamento

Para proteger os tubos estruturais contra corrosão e aumentar a durabilidade da estrutura, é aplicada uma camada de pintura anticorrosiva. Além de proteger o material, essa pintura proporciona um acabamento estético agradável, integrando-se bem com o ambiente onde a bancada será instalada.

Abaixo, na [Figura 34](#), é apresentada a concepção, em três dimensões, da bancada de sistema fotovoltaico com monitoramento remoto.

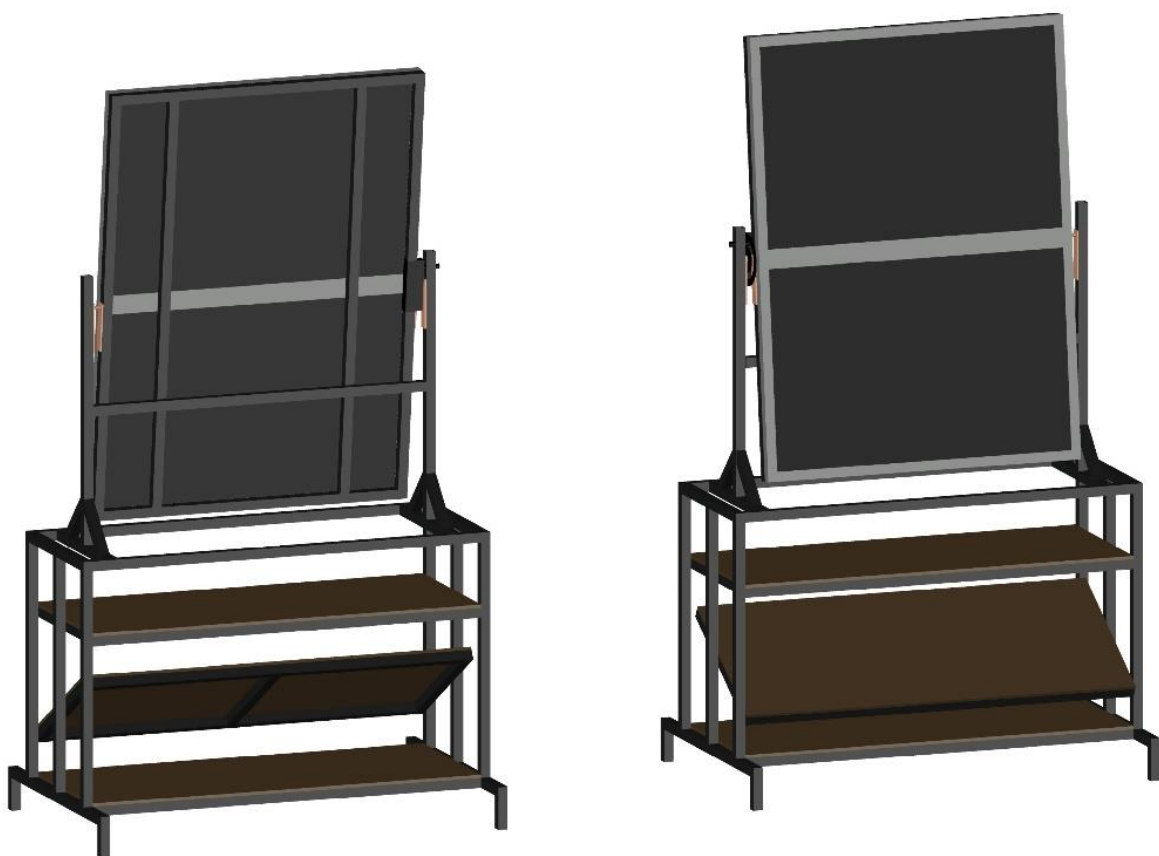


FIGURA 34. REPRESENTAÇÃO DA ARQUITECTURA MECÂNICA DA BANCADA, EM TRÊS DIMENSÕES. [FONTE: AUTOR 2024]

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, são apresentados e discutidos os resultados obtidos a partir de dois ensaios principais, realizados para avaliar o desempenho da bancada de sistema fotovoltaico e a demanda energética. O primeiro ensaio trata da capacidade de armazenamento de carga e o segundo ensaio avalia o suprimento da demanda energética, verificando se a bateria é suficiente para alimentar as cargas consideradas. Em ambos os ensaios, foram feitas leituras por meio de um multímetro e do sistema de monitoramento desenvolvido, e os dados obtidos foram posteriormente comparados para determinar a precisão do sistema.

6.1 Posicionamento Da Bancada Para Testes

Para maximizar o aproveitamento do painel fotovoltaico, é essencial considerar a localização geográfica do país e a trajetória do sol no céu ao longo do ano.

6.1.1 Orientação Do Painel Fotovoltaico

Moçambique está localizado no hemisfério sul. No hemisfério sul, os painéis fotovoltaicos devem ser voltados para o norte. Isso ocorre porque o sol passa pelo norte ao longo do dia, o que maximiza a exposição à luz solar ([Nhambiu, 2023](#)).

6.1.2 Inclinação Do Painel Fotovoltaico

O ângulo de inclinação ideal do painel FV pode ser ajustado em diferentes estações do ano, para isso utiliza-se a latitude da localização do sistema. O método consiste em duas fórmulas distintas, uma para o inverno e outra para o verão, que ajustam o ângulo de acordo com a variação sazonal da posição do sol ([Pace, 2023](#)).

Para o Inverno:

$$\hat{\text{Ângulo de Inverno}} = 0,9 \times \text{Latitude} + 29^{\circ} \quad (16)$$

Para o Verão:

$$\hat{\text{Ângulo de Verão}} = 0,9 \times \text{Latitude} - 23.5^{\circ} \quad (17)$$

Os ensaios feitos em setembro, que segundo [Global Monitoring Laboratory, 2024](#) ainda é Inverno e a latitude da província de Maputo sendo de 25.97° , segue que o ângulo do painel FV é calculado Usando a [Equação 16](#):

$$0.9 \times (25.97^\circ) + 29^\circ = 52.37^\circ$$

6.2 Gráficos de Leituras Feitas

Posicionada a bancada para os ensaios, os gráficos abaixo ilustram o comportamento do sistema durante os testes. São apresentados os valores de corrente, tensão e potência, medidos tanto pelo multímetro quanto pela plataforma de monitoramento, nos gráficos abaixo.

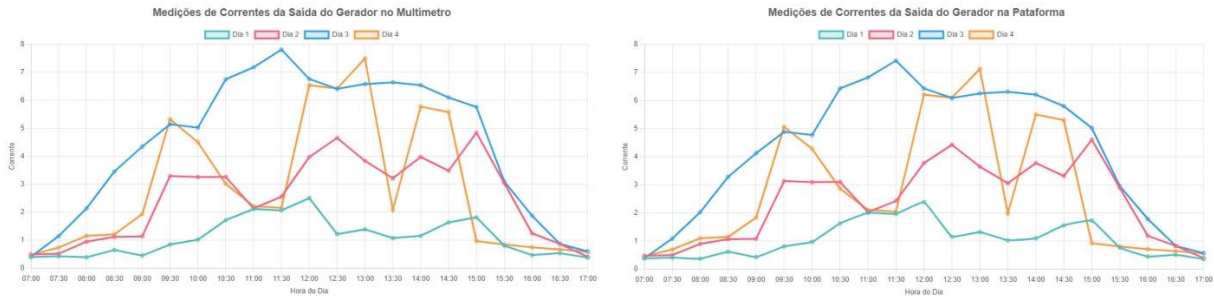


FIGURA 35. GRÁFICOS DE CORRENTES NA SAÍDA DO GERADOR, COM O MULTÍMETRO(À ESQUERDA) E COMO SISTEMA E MONITORAMENTO (À DIREITA). [FONTE: AUTOR 2024]

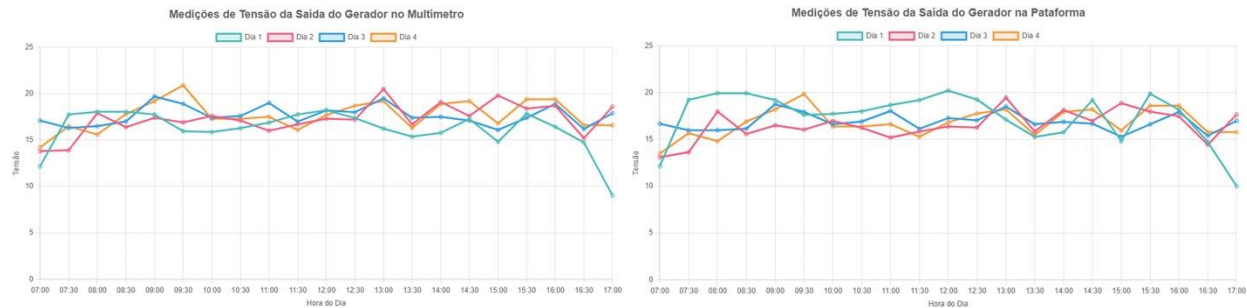


FIGURA 36. GRÁFICOS DE TENSÕES NA SAÍDA DO GERADOR, COM O MULTÍMETRO(À ESQUERDA) E COMO SISTEMA E MONITORAMENTO (À DIREITA). [FONTE: AUTOR 2024]

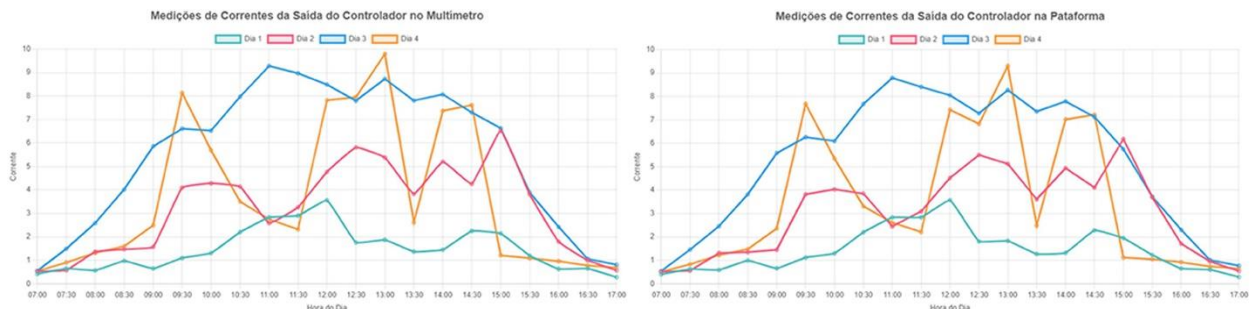


FIGURA 37. GRÁFICOS DE CORRENTE NA SAÍDA DO CONTROLADOR , COM O MULTÍMETRO(À ESQUERDA) E COMO SISTEMA E MONITORAMENTO (À DIREITA). [FONTE: AUTOR 2024]

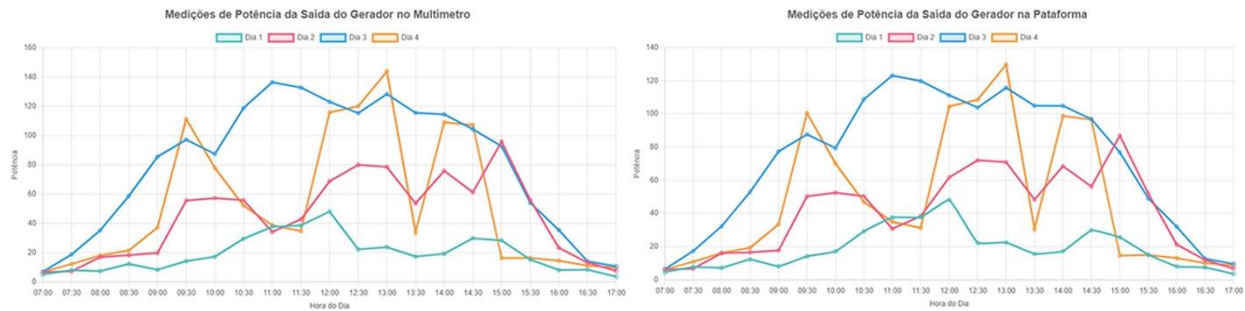


FIGURA 38. GRÁFICOS DE POTÊNCIA NA SAÍDA DO CONTROLADOR, COM O MULTÍMETRO(À ESQUERDA) E COMO SISTEMA E MONITORAMENTO (À DIREITA). [FONTE: AUTOR 2024]

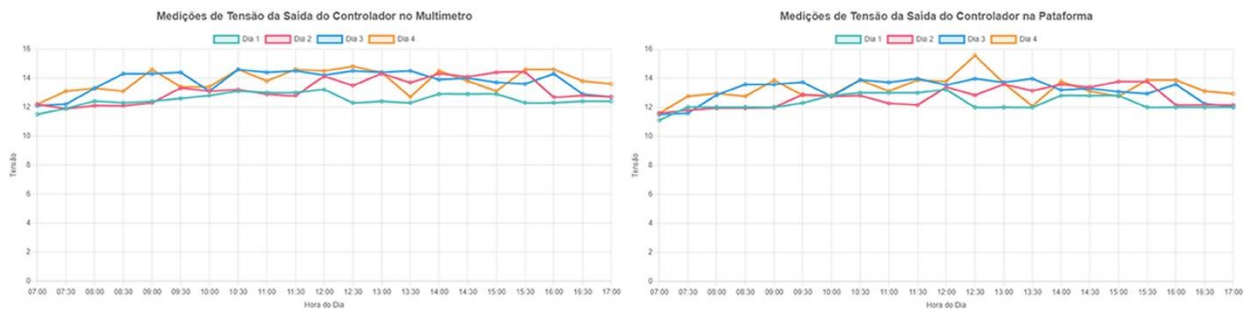


FIGURA 39. GRÁFICOS DE TENSÕES NA SAÍDA DO CONTROLADOR, COM O MULTÍMETRO(À ESQUERDA) E COMO SISTEMA E MONITORAMENTO (À DIREITA). [FONTE: AUTOR 2024]

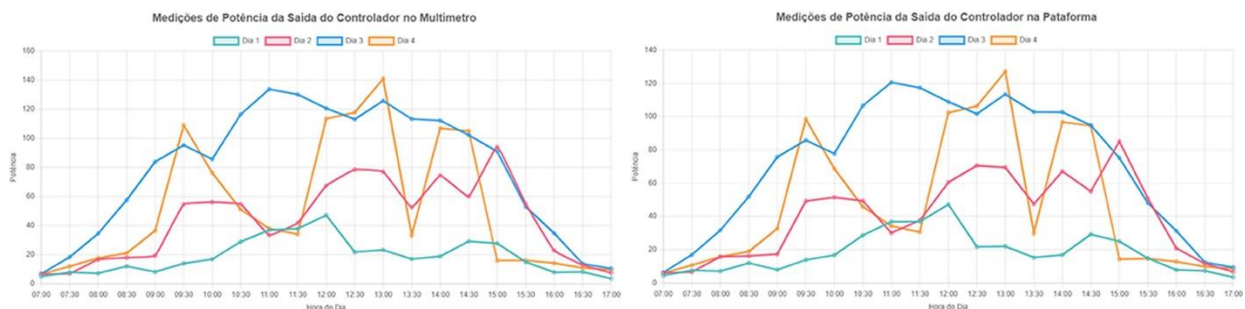


FIGURA 40. GRÁFICOS DE POTÊNCIAS NA SAÍDA DO CONTROLADOR, COM O MULTÍMETRO(À ESQUERDA) E COMO SISTEMA E MONITORAMENTO (À DIREITA). [FONTE: AUTOR 2024]

Os gráficos apresentados neste trabalho mostram a comparação entre os dados colectados com o multímetro e os resultados obtidos a partir do sistema de monitoramento desenvolvido. Os gráficos abrangem as medições de corrente, tensão e potência da saída do painel, bem como da saída do controlador. Cada gráfico contém múltiplas linhas representando as medições realizadas em diferentes dias de ensaio, totalizando 12 gráficos para uma análise abrangente.

6.3 Corrente, Tensão e Potência da Saída do Pannel

Os gráficos de corrente, tensão e potência da saída do painel mostram um padrão consistente ao longo dos diferentes dias de ensaio. Observa-se que, apesar das variações diárias, os gráficos mostram uma semelhança notável entre os dados recolhidos com o multímetro e os resultados do sistema de monitoramento. Esta consistência sugere que o sistema de monitoramento desenvolvido é capaz de capturar de forma precisa as flutuações de corrente, tensão e potência, corroborando a eficácia do sistema em reflectir com precisão as condições reais do painel.

6.4 Corrente, Tensão e Potência da Saída do Controlador

De maneira semelhante, os gráficos da saída do controlador também mostram uma alta correspondência entre os dados do multímetro e o sistema de monitoramento. As variações observadas nos gráficos, como as oscilações, podem ser atribuídas às condições ambientais variáveis durante os ensaios. A presença de quatro linhas distintas para cada gráfico, correspondendo aos diferentes dias de ensaio, permite uma análise detalhada da performance do sistema em condições variadas.

6.5 Impacto das Condições Ambientais

Durante os ensaios, a temperatura ambiente variou significativamente entre 21°C e 35°C. Os gráficos demonstram que a temperatura tem um impacto perceptível nos parâmetros medidos. Especificamente, o aumento da temperatura parece estar correlacionado com variações nos valores medidos, como evidenciado por oscilações nos gráficos.

- **Primeiro Dia (21°C):** A temperatura mais baixa resultou em gráficos relativamente estáveis, com menos variações nas medições.
- **Segundo Dia (28°C):** O aumento da temperatura trouxe algumas variações adicionais, mas as medições ainda foram bastante consistentes.
- **Terceiro Dia (35°C):** O dia mais quente apresentou as maiores flutuações, possivelmente devido ao aumento da dissipação de calor e ao impacto térmico nos componentes electrónicos.

- **Quarto Dia (27°C):** Embora a temperatura tenha diminuído em comparação com o terceiro dia, as flutuações observadas ainda foram visíveis, embora menos pronunciadas.

Portanto, estas observações indicam que as condições climáticas, especialmente a temperatura, desempenham um papel significativo nas medições de corrente, tensão e potência.

6.6 Teste da Bateria

O teste da bateria revelou o impacto das diferentes cargas na tensão da bateria. Inicialmente com uma tensão de 12.9V, a bateria após os testes foi descarregada até uma tensão de 11.6V, conforme mostrado na Tabela 11.

Estas variações reflectem o impacto das cargas na capacidade da bateria e confirmam que cargas maiores provocam uma redução mais acentuada na tensão. Isso é esperado, pois cargas mais pesadas exigem mais energia da bateria, resultando em uma maior diminuição da tensão. É importante destacar que a diminuição acentuada da tensão da bateria pode estar associada à sua qualidade.

6.7 Precisão do Sistema de Monitoramento

Usando o *software* MATLAB para analisar os dados, a precisão do sistema de monitoramento foi calculada em 5.30%. Esta precisão demonstra que o sistema é bastante confiável, com uma margem de erro relativamente pequena. A precisão alta sugere que o sistema de monitoramento desenvolvido é eficaz na captura dos parâmetros medidos e na reflexão das condições reais do sistema, validando a abordagem adotada neste trabalho.

A precisão de 5.30% foi alcançada após ajustes necessários no sistema de monitoramento ao longo dos dias de ensaio. Durante o processo, foi observado que, devido a variações nas condições ambientais e ao comportamento das medições em diferentes situações, o sistema exigiu pequenas correcções para garantir maior consistência nos dados colectados. Esses ajustes foram essenciais para alinhar as leituras do sistema com as do multímetro, assegurando que o monitoramento refletisse com mais precisão as condições reais do sistema fotovoltaico.

7 CUSTOS DO PROJECTO

Este capítulo tem como objectivo detalhar os custos associados à implementação da bancada laboratorial de sistema fotovoltaico com monitoramento remoto. A análise financeira abrange os principais componentes envolvidos no projecto, classificados em três categorias principais: Estrutura da Bancada, Sistema Fotovoltaico e Sistema de Monitoramento.

Na [Tabela 11](#), são detalhados os custos de cada componente, seguidos do subtotal geral. Adicionalmente, foram consideradas contingências de 10% para cobrir eventuais imprevistos. O valor total global do projecto foi calculado em 57 539.90 Mt, reflectindo o montante necessário para a construção e implementação completa da bancada.

Componente/Dispositivo	Descrição	Custo Unitário (MT)	Qtd.	Valor de Compra (MT)
Estrutura da Bancada				
Tubo Estrutural	Secção: 30x30 mm Espessura: 1 mm Comprimento: 5 700mm	350.00	7	2 450.00
Madeira Prensada	Largura: 500 mm Comprimento: 1 240 mm Espessura: 17 mm	750.00	3	2 250.00
Máquinas de Soldadura e Pintura	Aluguer: 2 semanas	4 000.00	-	4 000.00
Parafusos	Diâmetro: 6 mm Comprimento: 50 mm	-	40	467.00
Anilhas	Diâmetro: 6 mm	-	40	123.00
Porcas	Diâmetro: 6 mm	-	40	264.00
Mão-de-obra	-	2 000.00		2 000.00

Parafuso	Diâmetro: 10 mm Comprimento: 60 mm	-	1	53.00
Porcas	Diâmetro: 10 mm	-	3	30.00
Dobradiça Pivotante	Ângulo: 360 graus	800.00	1	800.00
Tinta de Óleo	DQ Black	500.00	1l	500.00
Diluyente	-	250	1l	250.00
Sistema Fotovoltaico				
Módulos Fotovoltaicos	Potência: 100W	2 100.00	2	4 200.00
Controlador de Carga	Tensão: 12/24 V Corrente: 20 A	4 400.00	1	4 400.00
Bateria	Tensão: 12V Energia: 100Ah	8 900.00	1	8 900.00
Inversor de Corrente	Potência: 500W	5 600.00	1	5 600.00
Cabo Fotovoltaico Vermelho	Diâmetro: 4 mm	197.30	6	1 182.00
Cabo Fotovoltaico Preto	Diâmetro: 4 mm	95.00	6	570.00
Conector Dupla Entrada Macho e Saída Fêmea	Referência: MC4590T- N2	197.00	2	394.00
Conector Fotovoltaico	Referência: MC4	240.00	2	480.00
Extensão	Comprimento: 2 000 mm	490.00	1	490.00
Abraçadeiras	Abraçadeiras: 7 mm	100.00	1	100.00
Barra de Junção	Tipo: Barra (Nylon)	50.00	3	150.00
Bocal	Tipo: Tecto	190.00	4	760.00
Lâmpada	Potência:15W	135.00	4	540.00
Interruptor	Tipo: Duplo	100.00	2	200.00
Parafuso	Tipo: MDF	3.00	12	36.00
Cabo de instalação de cargas	Diâmetro: 1.5 mm Comprimento: 2 000 mm	30.00	4	120.00

Sistema de Monitoramento				
Plataforma Arduino	Mega2560+Esp8266	2,600.00	1	2,600.00
Sensor de Corrente	ACS712-30A	350.00	4	1,400.00
Sensor de Tensão CC	0-25 V	250.00	3	750.00
Sensor de Tensão CA	ZMPT101B	560.00	1	560.00
Protoboard	Tipo: 830 pontos	390.00	1	390.00
Cabo UTP	Comprimento: 2 000 mm	200	2	400.00
Jumper	Comprimento: 40 cm Tipo: MF	700.00	2	1 400.00
Custos de Importação dos Equipamentos de Monitoramento				3 500.00
Subtotal				52 309.00
Contigências 10%				5 230.90
Total Goba				57 539.90 Mt

TABELA 9. TABELA DE CUSTOS DO PROJECTO. [FONTE: AUTOR 2024]

8 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objectivo geral facilitar o acesso ao monitoramento do funcionamento de um sistema fotovoltaico de forma remota, oferecendo uma solução prática e eficiente para a supervisão de corrente, tensão e potência. Para alcançar este objectivo, foram realizadas diversas etapas, desde a selecção dos componentes e sensores adequados até ao desenvolvimento de uma plataforma de monitoramento.

Para o sistema fotovoltaico, foram seleccionados e dimensionados componentes essenciais, incluindo um painel fotovoltaico de 200W, um controlador de carga de 20A, uma bateria de 100Ah e um inversor de 500W. Para a aquisição de dados, os sensores escolhidos foram o ACS712 (20A) para corrente, um sensor de tensão contínua (25V) e um sensor de tensão alternada ZMPT101b (250V), e a plataforma de microcontrole foi usando o Arduino Mega2560 com ESP8266 integrado, todos ajustados fornecendo leituras precisas e consistentes, fundamentais do sistema de monitoramento.

A plataforma desenvolvida foi hospedada no site <https://solarfeng.netlify.app/>, permitindo o acompanhamento em tempo real e acesso remoto a dados de corrente, tensão e potência. Testes de carga e descarga da bateria foram realizados das 7:00 às 17:00, com registros a cada 30 minutos sob condições climáticas variadas. Durante os testes de demanda energética, utilizando tanto um multímetro quanto a plataforma de monitoramento, a bateria foi descarregada de 12.9V para 11.6V, confirmando a capacidade de carregamento e o funcionamento eficiente do sistema de armazenamento.

A precisão do sistema foi avaliada comparando as leituras colectadas pelo multímetro com as da plataforma de monitoramento, utilizando o *software* MATLAB para análise estatística. Com uma precisão de 5.37%, foi confirmada a consistência entre ambos os métodos de medição, validando a confiabilidade do sistema desenvolvido. Observou-se um atraso de 3 a 5 segundos nas leituras transmitidas pela plataforma, variando conforme a qualidade da conexão de *internet*. Este intervalo de atraso é aceitável para o propósito do sistema, garantindo um monitoramento eficiente e prático em tempo real para o usuário.

Além disso, a estrutura da bancada manteve-se estável em todos os ensaios e durante o transporte, sem sinais de ferrugem ou desgaste, comprovando sua durabilidade e adequação ao ambiente de teste. O sistema completo, incluindo a estrutura metálica, teve um custo total de 57 539.90 Mt, representando um investimento acessível e robusto para uso prolongado e exposições típicas de sistemas fotovoltaicos em ambientes de teste.

9 RECOMENDAÇÕES

Ao considerar a implementação do sistema de monitoramento fotovoltaico em um ambiente industrial, recomenda-se o uso de materiais e componentes industriais de alta robustez e fiabilidade, em vez de materiais de prototipagem, como o Arduino e sensores mais sensíveis a influências ambientais externas. A utilização de equipamentos industriais, como controladores lógicos programáveis (PLCs) e sensores industriais certificados, garantirá maior durabilidade, precisão e resistência às condições adversas típicas de ambientes industriais, assegurando a fiabilidade do sistema ao longo do tempo.

9.1 Sugestões Para Trabalhos Futuros

- **Monitoramento de Sistemas Híbridos:** Sugere-se que, em uma extensão do presente trabalho de licenciatura, seja desenvolvido um sistema de monitoramento que integre a energia fotovoltaica com outras fontes de energia renovável, como a energia eólica. Essa integração permitirá explorar a otimização e complementaridade de diferentes fontes energéticas, proporcionando uma fonte de energia mais contínua e eficiente. Tal abordagem é especialmente relevante para contextos em que as condições ambientais variam ao longo do dia e das estações, permitindo uma exploração mais ampla da viabilidade e estabilidade de sistemas híbridos no contexto acadêmico e prático;
- **Desenvolvimento de Um Sistema de Rastreamento Solar:** Como sugestão para expandir o presente trabalho de licenciatura, propõe-se o desenvolvimento de um sistema de rastreamento solar que ajuste a posição dos módulos fotovoltaicos ao longo do dia com base na intensidade da radiação solar. A integração desse rastreamento à plataforma *web* de monitoramento remoto possibilitaria o controle à distância da orientação dos painéis, maximizando a eficiência da conversão energética e proporcionando uma experiência mais completa de monitoramento e controle do sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aler. 2017 - *Energias Renováveis em Moçambique: Relatório Nacional do Ponto de situação*. Maputo.

Aler e Amer. 2021 - *Resumo Renováveis em Moçambique 2021*. get.invest.

Alonso, R. H. 2016 - *Posicionamento Eficiente de Módulos Fotovoltaicos em Plantas Solares no Ambiente Urbano*. São Paulo, p. 68-69.

Barret, S. 2021 - *Arduino III: Internet of Things*, Wyoming, Morgan & Claypool p. 20-30.

Bluesol. 2016 - *Os Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica: Livro Digital de Introdução aos Sistemas Solares*. São Paulo.

Carneiro, J. 2009 - *Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos (Sistemas Ligados À Rede e Sistemas Autônomos)*. Minho, Universidade do Minho, p. 34.

Carvalho et al. 2022 - *O Uso da Biomassa Como Fonte de Energia Renovável*. p. 2-3.

Cunha, E. et al. 2019 - *Aspectos Históricos da Energia Eólica no Brasil e no Mundo*. Revista Brasileira de Energias Renováveis, p. 689-697

Eletronica, 2020 - Disponível em: https://eletronicadepotencia.com/celula-fotovoltaica/#google_vignette, acessado em 07 de Abril de 2024

Energías Renovables. 2014 - Tipos de Paneles Fotovoltaicos, Disponível em <https://www.energiasrenovablesinfo.com/solar/tipos-paneles-fotovoltaicos/>, acessado em 16 de Março de 2024.

Fortes, A. et al. 2020 - *Energias Renováveis em Moçambique: Disponibilidade, Geração, Uso e Tendências Futuras*. Revista Brasileira Multidisciplinar, p. 10-23.

Funae. 2018 - *Altas: Energias Renováveis em Moçambique*. Maputo.

Goldemberg, J. e Lucon, O. 2007 - *Energias Renováveis: Um Futuro Sustentável*. Revista Usp (Universidade de São Paulo), p. 6-15.

Gueifão, C. et al. 2013 - *Atlas das Energias Renováveis de Moçambique: Recursos e Projectos para Produção*. 1 ed., Maputo: Moçambique, Gesto-Energia, S.A.

Kang, H. 2021 - *Crystalline Silicon Vs. Amorphous Silicon: The Significance of Structural Differences in Photovoltaic Applications*. p. 2-3.

Koyanagi, F. 2018 - *Arduino Mega 2560 With Wifi Built-in-Esp8266*, Disponível em: <https://www.instructables.com/Arduino-MEGA-2560-With-WiFi-Built-in-ESP8266/>, acessado em 07 de Junho de 2024.

Messenger, R. e Abtahi, A. 2017 - *Photovoltaic Systems Engineering*. 4 ed., Boca Raton, Taylor & Francis Group, p. 347-348.

Nhambiu, J. 2023 - *Sistemas Energéticos (Aula 24: Energia Solar Activa Sistemas Fotovoltaicos)*. Maputo, Universidade Eduardo Mondlane, p. 12-46.

Oliveira, J. R. 2023 - *Energía Solar Fotovoltaica. Revista Ibero- Americana de Humanidades, Ciências e Educação- Rease*. p. 2675 – 3375.

Oliveira, E. 2019 - *Sensor De Tensão Ac 0 A 250v Voltímetro Zmpt101b*, Disponível em: <https://blogmasterwalkershop.com.br/arduino/como-usar-com-arduino-sensor-de-tensao-ac-0-a-250v-voltimetro-zmpt101b>, acessado em 07 de Junho de 2024.

Pace, B. 2023 - Disponível em: <https://greencoast.org/solar-panel-angle-by-zip-code/>, acessado em 19 de Agosto de 2024.

Pinho, J., e Galdino, M. 2014 - *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. Cepel-Cresesb.

Tiggemann, H. 2015 - *Sistema de Monitoramento Remoto e Controle de Microrrede Híbrida Isolada*. São Leopoldo.

Green, M. A. et al. 2014 - *Solar Cell Efficiency Tables. Progress in Photovoltaic: Research and Applications*. Wiley Library.

Pontes, W. M. 2021 - *Implantação De Estação Solarimétrica e De Sistema Supervisório Com Scadabr E Plataforma IoT em Usina Fotovoltaica*. Unilab-Ce, Fortaleza.

República De Moçambique - 2023, *Plano Económico e Social e Orçamento do Estado para 2024*.

Santos, B et al. 2016 - *Internet das Coisas: da Teoria à Prática*. Belo Horizonte, Universidade Federal De Minas Gerais (UFMG), p. 2-3.

Smets, A et al. 2016 - *Solar Energy: The Physics and Engineering of Photovoltaic Conversion, Technologies and Systems*. Cambridge, Uit Cambridge Ltd, p. 347-348.

Tamara, J. 2024 - Disponível em: <https://www.thisoldhouse.com/solar-alternative-energy/reviews/solar-monitoring-systems>, acessado em 19 de Agosto de 2024.

Trial - 2020, Disponível em: <https://trialeletricos.com.br/produtos/modulo-fotovoltaico-380w-monocristalino/>, acessado em 07 de Abril de 2024.

Usinainfo, Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/placas-arduino/arduino-mega-wifi-r3-atmega2560-com-esp8266-e-ch340-8185.html>, acessado em 07 de Junho de 2024.

Villalva, M. G. e Gazoli, J. R. 2012 - *Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações*. 2a Ed., Editora Erica, São Paulo.

Xiao, W. 2017 - *Photovoltaic Power System Modeling, Design, and Control*. Australia, John Wiley & Sons Ltd, p. 3-4.

Zeman, M. 2016 - *Solar Cells (Chapter 9: Photovoltaic Systems)*. Delft, Delft University of Technology, p. 2.

Zilles, R. et al. 2015 - *Sistemas Fotovoltaicos Conectados À Rede Elétrica*. São Paulo: Oficina De Textos.

ANEXOS

Anexo I. Tabelas De Valores Colectados Durante os Ensaio

Os ensaios foram feitos de forma dividida, primeiro para a conversão da energia solar e armazenamento, [Tabela 10](#), e para a demanda das cargas previamente delimitadas, [Tabela 11](#).

Hora	Secção Saída	Dia (Temperatura)			
		1 (21°C)	2 (27°C)	3 (35°C)	4 (28°C)
07:00	Painel	$I = 0.39A$ $T = 12.8V$ $P = 4.86W$ $I_{SM} = 0.37A$ $T_{SM} = 12.14V$ $P_{SM} = 4.49W$	$I = 0.48A$ $T = 13.8V$ $P = 6.62W$ $I_{SM} = 0.46A$ $T_{SM} = 13.11V$ $P_{SM} = 6.03W$	$I = 0.40A$ $T = 17.10V$ $P = 6.84W$ $I_{SM} = 0.38A$ $T_{SM} = 16.69V$ $P_{SM} = 6.34W$	$I = 0.47A$ $T = 14.2V$ $P = 6.67W$ $I_{SM} = 0.45A$ $T_{SM} = 13.49V$ $P_{SM} = 6.07W$
	Controlador	$I = 0.43A$ $T = 11.5V$ $P = 4.89W$ $I_{SM} = 0.40A$ $T_{SM} = 11.1V$ $P_{SM} = 4.40W$	$I = 0.53A$ $T = 12.2V$ $P = 6.49W$ $I_{SM} = 0.51A$ $T_{SM} = 11.59V$ $P_{SM} = 5.91W$	$I = 0.55A$ $T = 12.10V$ $P = 6.70W$ $I_{SM} = 0.54A$ $T_{SM} = 11.50V$ $P_{SM} = 6.34W$	$I = 0.54A$ $T = 12.2V$ $P = 6.54W$ $I_{SM} = 0.51A$ $T_{SM} = 11.59V$ $P_{SM} = 5.95W$
07:30	Painel	$I = 0.42A$ $T = 18.80V$ $P = 7.90W$ $I_{SM} = 0.40A$ $T_{SM} = 19.24V$ $P_{SM} = 7.70W$	$I = 0.51A$ $T = 13.9V$ $P = 7.09W$ $I_{SM} = 0.49A$ $T_{SM} = 13.64V$ $P_{SM} = 6.68W$	$I = 1.14A$ $T = 17.10V$ $P = 18.58W$ $I_{SM} = 1.08A$ $T_{SM} = 15.99V$ $P_{SM} = 17.27W$	$I = 0.73 A$ $T = 16.50 V$ $P = 12.05 W$ $I_{SM} = 0.69 A$ $T_{SM} = 15.68V$ $P_{SM} = 10.82W$
	Controlador	$I = 0.59A$ $T = 11.9V$ $P = 7.74W$ $I_{SM} = 0.63A$ $T_{SM} = 12.00V$ $P_{SM} = 7.54W$	$I = 0.58A$ $T = 12.00V$ $P = 6.95W$ $I_{SM} = 0.65A$ $T_{SM} = 11.80V$ $P_{SM} = 6.55W$	$I = 1.49A$ $T = 12.20V$ $P = 18.21W$ $I_{SM} = 1.46A$ $T_{SM} = 11.59V$ $P_{SM} = 16.92W$	$I = 0.91A$ $T = 13.10V$ $P = 11.80W$ $I_{SM} = 0.83A$ $T_{SM} = 12.76V$ $P_{SM} = 10.60W$
08:00	Painel	$I = 0.38A$ $T = 19.60V$	$I = 0.94A$ $T = 17.90V$	$I = 2.13A$ $T = 16.50V$	$I = 1.15A$ $T = 15.60V$

		$P = 7.22W$ $I_{SM} = 0.36A$ $T_{SM} = 19.95V$ $P_{SM} = 7.18W$	$P = 16.83W$ $I_{SM} = 0.89A$ $T_{SM} = 17.99V$ $P_{SM} = 16.01W$	$P = 35.15W$ $I_{SM} = 2.02A$ $T_{SM} = 15.99V$ $P_{SM} = 32.30W$	$P = 17.94W$ $I_{SM} = 1.09A$ $T_{SM} = 14.82V$ $P_{SM} = 16.15W$
	Controlador	$I = 0.57A$ $T = 12.40V$ $P = 7.08W$ $I_{SM} = 0.59A$ $T_{SM} = 12.00V$ $P_{SM} = 7.04W$	$I = 1.36A$ $T = 12.10V$ $P = 16.49W$ $I_{SM} = 1.31A$ $T_{SM} = 11.95V$ $P_{SM} = 15.69W$	$I = 2.59A$ $T = 13.30V$ $P = 34.44W$ $I_{SM} = 2.46A$ $T_{SM} = 12.85V$ $P_{SM} = 31.65W$	$I = 1.32A$ $T = 13.30V$ $P = 17.94W$ $I_{SM} = 1.22A$ $T_{SM} = 12.96V$ $P_{SM} = 15.83W$
08:30	Painel	$I = 0.64A$ $T = 19.0V$ $P = 12.16W$ $I_{SM} = 0.61A$ $T_{SM} = 19.95V$ $P_{SM} = 12.17W$	$I = 1.11A$ $T = 16.40V$ $P = 18.20W$ $I_{SM} = 1.06A$ $T_{SM} = 15.58V$ $P_{SM} = 16.51W$	$I = 3.45A$ $T = 17.00V$ $P = 58.65W$ $I_{SM} = 3.28A$ $T_{SM} = 16.15V$ $P_{SM} = 52.97W$	$I = 1.20A$ $T = 17.8V$ $P = 21.36W$ $I_{SM} = 1.14A$ $T_{SM} = 16.91V$ $P_{SM} = 19.28W$
	Controlador	$I = 0.97A$ $T = 12.4V$ $P = 11.92W$ $I_{SM} = 0.99A$ $T_{SM} = 12.00V$ $P_{SM} = 11.93W$	$I = 1.47A$ $T = 12.10V$ $P = 17.84W$ $I_{SM} = 1.35A$ $T_{SM} = 11.95V$ $P_{SM} = 16.18W$	$I = 4.02A$ $T = 14.30V$ $P = 57.48W$ $I_{SM} = 3.83A$ $T_{SM} = 13.58V$ $P_{SM} = 51.91W$	$I = 1.60A$ $T = 13.10V$ $P = 20.93W$ $I_{SM} = 1.48A$ $T_{SM} = 12.76V$ $P_{SM} = 18.89W$
09:00	Painel	$I = 0.44A$ $T = 18.70V$ $P = 8.23W$ $I_{SM} = 0.42A$ $T_{SM} = 19.22V$ $P_{SM} = 8.07W$	$I = 1.13A$ $T = 17.40V$ $P = 19.66W$ $I_{SM} = 1.07A$ $T_{SM} = 16.51V$ $P_{SM} = 17.67W$	$I = 4.34A$ $T = 19.70V$ $P = 85.50W$ $I_{SM} = 4.12A$ $T_{SM} = 18.77V$ $P_{SM} = 77.33W$	$I = 1.93A$ $T = 14.60V$ $P = 37.06W$ $I_{SM} = 1.83A$ $T_{SM} = 18.22V$ $P_{SM} = 33.34W$
	Controlador	$I = 0.65A$ $T = 12.6V$ $P = 8.06W$ $I_{SM} = 0.66A$ $T_{SM} = 12.00V$ $P_{SM} = 7.9W$	$I = 1.57A$ $T = 12.30V$ $P = 19.27W$ $I_{SM} = 1.45A$ $T_{SM} = 11.98V$ $P_{SM} = 17.31W$	$I = 5.86A$ $T = 14.30V$ $P = 83.79W$ $I_{SM} = 5.58A$ $T_{SM} = 13.58V$ $P_{SM} = 75.79W$	$I = 2.49A$ $T = 14.60V$ $P = 36.31W$ $I_{SM} = 2.36A$ $T_{SM} = 13.87V$ $P_{SM} = 32.68W$
09:30	Painel	$I = 0.84A$ $T = 16.8V$	$I = 3.29A$ $T = 16.90V$	$I = 5.14A$ $T = 18.90V$	$I = 5.32A$ $T = 20.90V$

		$P = 14.11W$ $I_{SM} = 0.80A$ $T_{SM} = 17.64V$ $P_{SM} = 14.11W$	$P = 55.60W$ $I_{SM} = 3.13A$ $T_{SM} = 16.06V$ $P_{SM} = 50.27W$	$P = 97.15W$ $I_{SM} = 4.88A$ $T_{SM} = 17.95V$ $P_{SM} = 87.60W$	$P = 111.19W$ $I_{SM} = 5.06A$ $T_{SM} = 19.86V$ $P_{SM} = 100.49W$
	Controlador	$I = 1.10A$ $T = 12.6V$ $P = 13.83W$ $I_{SM} = 1.12A$ $T_{SM} = 12.30V$ $P_{SM} = 13.83W$	$I = 4.10A$ $T = 13.3V$ $P = 54.49W$ $I_{SM} = 3.82A$ $T_{SM} = 12.88V$ $P_{SM} = 49.26W$	$I = 6.61A$ $T = 14.40V$ $P = 95.20W$ $I_{SM} = 6.26A$ $T_{SM} = 13.72V$ $P_{SM} = 85.84W$	$I = 8.13A$ $T = 13.40V$ $P = 108.96W$ $I_{SM} = 7.68A$ $T_{SM} = 12.83V$ $P_{SM} = 98.48W$
10:00	Painel	$I = 1.01A$ $T = 16.90V$ $P = 17.07W$ $I_{SM} = 0.96A$ $T_{SM} = 17.74V$ $P_{SM} = 17.03W$	$I = 3.25A$ $T = 13.10V$ $P = 57.20W$ $I_{SM} = 3.09A$ $T_{SM} = 16.98V$ $P_{SM} = 52.47W$	$I = 5.02A$ $T = 17.40V$ $P = 87.35W$ $I_{SM} = 4.77A$ $T_{SM} = 16.63V$ $P_{SM} = 79.33W$	$I = 4.50A$ $T = 17.30V$ $P = 77.85W$ $I_{SM} = 4.28A$ $T_{SM} = 16.38V$ $P_{SM} = 70.11W$
	Controlador	$I = 1.31A$ $T = 12.80V$ $P = 16.73W$ $I_{SM} = 1.30A$ $T_{SM} = 12.80V$ $P_{SM} = 16.69W$	$I = 4.28A$ $T = 13.10V$ $P = 56.06W$ $I_{SM} = 4.03A$ $T_{SM} = 12.75V$ $P_{SM} = 51.42W$	$I = 6.53A$ $T = 13.10V$ $P = 85.60W$ $I_{SM} = 6.10A$ $T_{SM} = 12.75V$ $P_{SM} = 77.74W$	$I = 5.69A$ $T = 13.40V$ $P = 76.29W$ $I_{SM} = 5.35A$ $T_{SM} = 12.83V$ $P_{SM} = 68.70W$
10:30	Painel	$I = 1.71A$ $T = 17.20V$ $P = 29.41W$ $I_{SM} = 1.62A$ $T_{SM} = 18.01V$ $P_{SM} = 29.78W$	$I = 3.26A$ $T = 17.10V$ $P = 55.75W$ $I_{SM} = 3.10A$ $T_{SM} = 16.25V$ $P_{SM} = 50.38W$	$I = 6.75A$ $T = 17.60V$ $P = 118.80W$ $I_{SM} = 6.43A$ $T_{SM} = 16.92V$ $P_{SM} = 108.80W$	$I = 3.01A$ $T = 17.30V$ $P = 52.07W$ $I_{SM} = 2.86A$ $T_{SM} = 16.38V$ $P_{SM} = 46.87W$
	Controlador	$I = 2.20A$ $T = 13.1V$ $P = 28.82W$ $I_{SM} = 2.20A$ $T_{SM} = 13.0V$ $P_{SM} = 28.59W$	$I = 4.02A$ $T = 13.60V$ $P = 54.63W$ $I_{SM} = 3.85A$ $T_{SM} = 12.81V$ $P_{SM} = 49.37W$	$I = 7.97A$ $T = 14.60V$ $P = 116.42W$ $I_{SM} = 7.68A$ $T_{SM} = 13.88V$ $P_{SM} = 106.62W$	$I = 3.50A$ $T = 14.60V$ $P = 51.03W$ $I_{SM} = 3.31A$ $T_{SM} = 13.87V$ $P_{SM} = 45.91W$
11:00	Painel	$I = 2.11A$ $T = 17.80V$	$I = 2.13A$ $T = 16.00V$	$I = 7.18A$ $T = 19.00V$	$I = 2.21A$ $T = 17.50V$

		$P = 37.56W$ $I_{SM} = 2.01A$ $T_{SM} = 18.69V$ $P_{SM} = 37.57W$	$P = 34.08W$ $I_{SM} = 2.02A$ $T_{SM} = 15.20V$ $P_{SM} = 30.70W$	$P = 136.42W$ $I_{SM} = 6.82A$ $T_{SM} = 18.05V$ $P_{SM} = 123.10W$	$P = 38.68W$ $I_{SM} = 2.10A$ $T_{SM} = 16.63V$ $P_{SM} = 34.92W$
	Controlador	$I = 2.83A$ $T = 13.00V$ $P = 37.60W$ $I_{SM} = 2.83A$ $T_{SM} = 13.00V$ $P_{SM} = 36.82W$	$I = 2.59A$ $T = 12.90V$ $P = 33.40W$ $I_{SM} = 2.45A$ $T_{SM} = 12.27V$ $P_{SM} = 30.09W$	$I = 9.28A$ $T = 14.40V$ $P = 133.69W$ $I_{SM} = 8.79A$ $T_{SM} = 13.72V$ $P_{SM} = 120.64W$	$I = 2.75A$ $T = 13.80V$ $P = 37.90W$ $I_{SM} = 2.61A$ $T_{SM} = 13.11V$ $P_{SM} = 34.22W$
11:30	Painel	$I = 2.06A$ $T = 18.70V$ $P = 38.52W$ $I_{SM} = 1.96A$ $T_{SM} = 19.22V$ $P_{SM} = 37.67W$	$I = 2.55A$ $T = 16.70V$ $P = 42.59W$ $I_{SM} = 2.42A$ $T_{SM} = 12.16V$ $P_{SM} = 38.38W$	$I = 7.81A$ $T = 17.00V$ $P = 132.77W$ $I_{SM} = 7.42A$ $T_{SM} = 16.15V$ $P_{SM} = 119.83W$	$I = 2.15A$ $T = 16.10V$ $P = 34.62W$ $I_{SM} = 2.04A$ $T_{SM} = 15.30V$ $P_{SM} = 31.21W$
	Controlador	$I = 2.90A$ $T = 13.0V$ $P = 37.75W$ $I_{SM} = 2.84A$ $T_{SM} = 13.0V$ $P_{SM} = 36.92W$	$I = 3.26A$ $T = 12.80V$ $P = 41.73W$ $I_{SM} = 3.09A$ $T_{SM} = 12.16V$ $P_{SM} = 37.61W$	$I = 89.97A$ $T = 14.50V$ $P = 130.12W$ $I_{SM} = 8.41A$ $T_{SM} = 13.97V$ $P_{SM} = 117.44W$	$I = 2.32A$ $T = 14.60V$ $P = 33.92W$ $I_{SM} = 2.21A$ $T_{SM} = 13.87V$ $P_{SM} = 30.59W$
12:00	Painel	$I = 2.50A$ $T = 19.20V$ $P = 44.00W$ $I_{SM} = 2.38A$ $T_{SM} = 20.22V$ $P_{SM} = 48.12W$	$I = 3.97A$ $T = 17.30V$ $P = 68.68W$ $I_{SM} = 3.77A$ $T_{SM} = 16.38V$ $P_{SM} = 61.75W$	$I = 6.76A$ $T = 18.20V$ $P = 123.03W$ $I_{SM} = 6.43A$ $T_{SM} = 17.29V$ $P_{SM} = 111.18W$	$I = 6.54A$ $T = 14.50V$ $P = 115.76W$ $I_{SM} = 6.21A$ $T_{SM} = 16.83V$ $P_{SM} = 104.51W$
	Controlador	$I = 3.56A$ $T = 13.20V$ $P = 47.04W$ $I_{SM} = 3.57A$ $T_{SM} = 13.20V$ $P_{SM} = 47.16W$	$I = 4.77A$ $T = 14.10V$ $P = 67.31W$ $I_{SM} = 4.52A$ $T_{SM} = 13.39V$ $P_{SM} = 60.52W$	$I = 8.49A$ $T = 14.20V$ $P = 120.57W$ $I_{SM} = 8.05A$ $T_{SM} = 13.53V$ $P_{SM} = 108.95W$	$I = 7.82A$ $T = 14.50V$ $P = 113.44W$ $I_{SM} = 7.43A$ $T_{SM} = 13.78V$ $P_{SM} = 102.42W$
12:30	Painel	$I = 1.21A$ $T = 18.30V$	$I = 4.65A$ $T = 17.20V$	$I = 6.41A$ $T = 18.00V$	$I = 6.42A$ $T = 18.70V$

		$P = 22.14W$ $I_{SM} = 1.15A$ $T_{SM} = 12.00V$ $P_{SM} = 22.16W$	$P = 79.98W$ $I_{SM} = 4.42A$ $T_{SM} = 16.29V$ $P_{SM} = 72.00W$	$P = 115.38W$ $I_{SM} = 6.09A$ $T_{SM} = 17.05V$ $P_{SM} = 103.84W$	$P = 120.05W$ $I_{SM} = 6.10A$ $T_{SM} = 17.79V$ $P_{SM} = 108.52W$
	Controlador	$I = 1.76A$ $T = 12.30V$ $P = 20.11W$ $I_{SM} = 1.81A$ $T_{SM} = 12.00V$ $P_{SM} = 21.72W$	$I = 5.81A$ $T = 13.50V$ $P = 78.38W$ $I_{SM} = 5.50A$ $T_{SM} = 12.83V$ $P_{SM} = 70.50W$	$I = 7.80A$ $T = 14.50V$ $P = 113.07W$ $I_{SM} = 7.28A$ $T_{SM} = 13.97V$ $P_{SM} = 101.76W$	$I = 7.95A$ $T = 14.80V$ $P = 117.65W$ $I_{SM} = 6.83A$ $T_{SM} = 15.75V$ $P_{SM} = 106.35W$
13:00	Painel	$I = 1.38A$ $T = 17.1V$ $P = 23.60W$ $I_{SM} = 1.31A$ $T_{SM} = 17.12V$ $P_{SM} = 22.43W$	$I = 3.83A$ $T = 20.50V$ $P = 78.52W$ $I_{SM} = 6.64A$ $T_{SM} = 19.48V$ $P_{SM} = 70.91W$	$I = 6.58A$ $T = 19.50V$ $P = 128.31W$ $I_{SM} = 6.24A$ $T_{SM} = 18.52V$ $P_{SM} = 115.75W$	$I = 7.49A$ $T = 14.40V$ $P = 143.81W$ $I_{SM} = 7.12A$ $T_{SM} = 18.22V$ $P_{SM} = 129.83W$
	Controlador	$I = 1.87A$ $T = 12.40V$ $P = 23.13W$ $I_{SM} = 1.83A$ $T_{SM} = 12.00V$ $P_{SM} = 21.98W$	$I = 5.38A$ $T = 14.30V$ $P = 76.95W$ $I_{SM} = 5.72A$ $T_{SM} = 13.58V$ $P_{SM} = 69.49W$	$I = 8.73A$ $T = 14.40V$ $P = 125.74W$ $I_{SM} = 8.27A$ $T_{SM} = 13.72V$ $P_{SM} = 113.34W$	$I = 9.79A$ $T = 14.40V$ $P = 140.93W$ $I_{SM} = 9.30A$ $T_{SM} = 13.67V$ $P_{SM} = 127.13W$
13:30	Painel	$I = 1.07A$ $T = 16.1V$ $P = 17.22W$ $I_{SM} = 1.02A$ $T_{SM} = 15.28V$ $P_{SM} = 15.89W$	$I = 3.21A$ $T = 16.70V$ $P = 53.61W$ $I_{SM} = 3.05A$ $T_{SM} = 15.86V$ $P_{SM} = 48.37W$	$I = 6.64A$ $T = 17.40V$ $P = 115.54W$ $I_{SM} = 6.31A$ $T_{SM} = 16.63V$ $P_{SM} = 104.94W$	$I = 2.08A$ $T = 16.30V$ $P = 33.90W$ $I_{SM} = 1.98A$ $T_{SM} = 15.48V$ $P_{SM} = 30.65W$
	Controlador	$I = 1.37A$ $T = 12.30V$ $P = 16.88W$ $I_{SM} = 1.27A$ $T_{SM} = 12.00V$ $P_{SM} = 15.27W$	$I = 3.83A$ $T = 13.7V$ $P = 52.53W$ $I_{SM} = 3.61A$ $T_{SM} = 13.14V$ $P_{SM} = 47.61W$	$I = 7.81A$ $T = 14.50V$ $P = 113.23W$ $I_{SM} = 7.81A$ $T_{SM} = 14.50V$ $P_{SM} = 113.23W$	$I = 2.62A$ $T = 12.70V$ $P = 33.23W$ $I_{SM} = 2.49A$ $T_{SM} = 12.08V$ $P_{SM} = 30.04W$
14:00	Painel	$I = 1.15A$ $T = 16.60V$	$I = 3.97A$ $T = 19.10V$	$I = 6.54A$ $T = 17.50V$	$I = 5.77A$ $T = 14.50V$

		$P = 19.09W$ $I_{SM} = 1.09A$ $T_{SM} = 15.77V$ $P_{SM} = 17.19W$	$P = 75.83W$ $I_{SM} = 3.77A$ $T_{SM} = 18.15V$ $P_{SM} = 68.43W$	$P = 114.45W$ $I_{SM} = 6.21A$ $T_{SM} = 16.88V$ $P_{SM} = 104.83W$	$P = 109.05W$ $I_{SM} = 5.50A$ $T_{SM} = 17.95V$ $P_{SM} = 7.02W$
	Controlador	$I = 1.45A$ $T = 12.90V$ $P = 18.71W$ $I_{SM} = 1.32A$ $T_{SM} = 12.80V$ $P_{SM} = 16.85W$	$I = 5.20A$ $T = 14.30V$ $P = 74.31W$ $I_{SM} = 4.94A$ $T_{SM} = 13.58V$ $P_{SM} = 67.06W$	$I = 8.07A$ $T = 13.90V$ $P = 112.16W$ $I_{SM} = 7.79A$ $T_{SM} = 13.19V$ $P_{SM} = 102.73W$	$I = 7.37A$ $T = 14.50V$ $P = 106.87W$ $I_{SM} = 7.02A$ $T_{SM} = 13.78V$ $P_{SM} = 96.75W$
14:30	Painel	$I = 1.63A$ $T = 18.20V$ $P = 29.67W$ $I_{SM} = 1.55A$ $T_{SM} = 19.21V$ $P_{SM} = 29.78W$	$I = 3.48A$ $T = 17.60V$ $P = 61.25W$ $I_{SM} = 3.31A$ $T_{SM} = 16.98V$ $P_{SM} = 56.20W$	$I = 6.10A$ $T = 17.10V$ $P = 104.31W$ $I_{SM} = 5.80A$ $T_{SM} = 16.69V$ $P_{SM} = 96.80W$	$I = 5.58A$ $T = 19.20V$ $P = 107.14W$ $I_{SM} = 5.30A$ $T_{SM} = 18.22V$ $P_{SM} = 96.57W$
	Controlador	$I = 2.25A$ $T = 12.90V$ $P = 29.07W$ $I_{SM} = 2.28A$ $T_{SM} = 12.80V$ $P_{SM} = 29.18W$	$I = 4.26A$ $T = 14.10V$ $P = 60.02W$ $I_{SM} = 4.11A$ $T_{SM} = 13.39V$ $P_{SM} = 55.08W$	$I = 7.30A$ $T = 14.00V$ $P = 102.22W$ $I_{SM} = 7.13A$ $T_{SM} = 13.30V$ $P_{SM} = 94.87W$	$I = 7.61A$ $T = 13.80V$ $P = 104.99W$ $I_{SM} = 7.22A$ $T_{SM} = 13.11V$ $P_{SM} = 94.63W$
15:00	Painel	$I = 1.81A$ $T = 15.6V$ $P = 28.34W$ $I_{SM} = 1.72A$ $T_{SM} = 14.83V$ $P_{SM} = 25.51W$	$I = 4.84A$ $T = 19.80V$ $P = 95.83W$ $I_{SM} = 4.60A$ $T_{SM} = 18.88V$ $P_{SM} = 86.85W$	$I = 5.76A$ $T = 16.10V$ $P = 92.74W$ $I_{SM} = 5.02A$ $T_{SM} = 15.29V$ $P_{SM} = 76.56W$	$I = 0.96A$ $T = 16.80V$ $P = 16.12W$ $I_{SM} = 0.91A$ $T_{SM} = 15.96V$ $P_{SM} = 14.52W$
	Controlador	$I = 2.15A$ $T = 12.90V$ $P = 27.67W$ $I_{SM} = 1.95A$ $T_{SM} = 12.80V$ $P_{SM} = 25.00W$	$I = 6.52A$ $T = 14.40V$ $P = 93.92W$ $I_{SM} = 6.18A$ $T_{SM} = 13.77V$ $P_{SM} = 85.11W$	$I = 6.63A$ $T = 13.70V$ $P = 90.88W$ $I_{SM} = 5.02A$ $T_{SM} = 13.08V$ $P_{SM} = 75.22W$	$I = 1.21A$ $T = 13.10V$ $P = 15.80W$ $I_{SM} = 1.12A$ $T_{SM} = 12.76V$ $P_{SM} = 14.23W$
15:30	Painel	$I = 0.80A$ $T = 18.9V$	$I = 3.04A$ $T = 18.40V$	$I = 3.10A$ $T = 17.40V$	$I = 0.84A$ $T = 19.40V$

		$P = 15.12W$ $I_{SM} = 0.76A$ $T_{SM} = 18.89V$ $P_{SM} = 14.81W$	$P = 55.94W$ $I_{SM} = 2.89A$ $T_{SM} = 17.98V$ $P_{SM} = 50.92W$	$P = 53.94W$ $I_{SM} = 2.95A$ $T_{SM} = 16.63V$ $P_{SM} = 48.08W$	$P = 16.30W$ $I_{SM} = 0.80A$ $T_{SM} = 18.62V$ $P_{SM} = 14.60W$
	Controlador	$I = 1.20A$ $T = 12.30V$ $P = 14.82W$ $I_{SM} = 1.21A$ $T_{SM} = 12.00V$ $P_{SM} = 14.23W$	$I = 3.81A$ $T = 14.40V$ $P = 54.82W$ $I_{SM} = 3.70A$ $T_{SM} = 13.77V$ $P_{SM} = 50.92W$	$I = 3.89A$ $T = 13.60V$ $P = 52.86W$ $I_{SM} = 3.72A$ $T_{SM} = 12.94V$ $P_{SM} = 48.08W$	$I = 1.09A$ $T = 14.60V$ $P = 15.97W$ $I_{SM} = 1.05A$ $T_{SM} = 13.87V$ $P_{SM} = 14.60W$
16:00	Painel	$I = 0.46A$ $T = 17.30V$ $P = 7.96W$ $I_{SM} = 0.44A$ $T_{SM} = 18.17V$ $P_{SM} = 7.99W$	$I = 1.24A$ $T = 18.70V$ $P = 23.19W$ $I_{SM} = 1.18A$ $T_{SM} = 17.98V$ $P_{SM} = 21.22W$	$I = 1.87A$ $T = 18.90V$ $P = 35.34W$ $I_{SM} = 1.78A$ $T_{SM} = 17.95V$ $P_{SM} = 31.95W$	$I = 0.74A$ $T = 19.40V$ $P = 14.36W$ $I_{SM} = 0.70A$ $T_{SM} = 18.62V$ $P_{SM} = 13.03W$
	Controlador	$I = 0.64A$ $T = 12.3V$ $P = 7.80W$ $I_{SM} = 0.65A$ $T_{SM} = 12.00V$ $P_{SM} = 7.83W$	$I = 1.79A$ $T = 12.70V$ $P = 23.19W$ $I_{SM} = 1.18A$ $T_{SM} = 12.15V$ $P_{SM} = 20.79W$	$I = 2.42A$ $T = 14.30V$ $P = 34.64W$ $I_{SM} = 2.42A$ $T_{SM} = 14.3V$ $P_{SM} = 34.64 W$	$I = 0.96A$ $T = 14.60V$ $P = 14.07V$ $I_{SM} = 0.92A$ $T_{SM} = 13.87V$ $P_{SM} = 12.77W$
16:30	Painel	$I = 0.53A$ $T = 15.50V$ $P = 8.22W$ $I_{SM} = 0.50A$ $T_{SM} = 14.73V$ $P_{SM} = 7.37W$	$I = 0.86A$ $T = 15.20V$ $P = 13.07W$ $I_{SM} = 0.82A$ $T_{SM} = 14.44V$ $P_{SM} = 11.84W$	$I = 0.86A$ $T = 16.20V$ $P = 13.93W$ $I_{SM} = 0.82A$ $T_{SM} = 15.39V$ $P_{SM} = 12.62W$	$I = 0.66A$ $T = 16.60V$ $P = 10.96W$ $I_{SM} = 0.63A$ $T_{SM} = 15.78V$ $P_{SM} = 9.94W$
	Controlador	$I = 0.65A$ $T = 12.40V$ $P = 8.05W$ $I_{SM} = 0.60A$ $T_{SM} = 12.00V$ $P_{SM} = 7.22W$	$I = 1.00A$ $T = 12.80V$ $P = 12.81W$ $I_{SM} = 0.95A$ $T_{SM} = 12.16V$ $P_{SM} = 11.60W$	$I = 1.06A$ $T = 12.90V$ $P = 13.65W$ $I_{SM} = 1.06A$ $T_{SM} = 12.90V$ $P_{SM} = 13.65W$	$I = 0.78A$ $T = 13.80V$ $P = 10.74W$ $I_{SM} = 0.74A$ $T_{SM} = 13.11V$ $P_{SM} = 9.74W$
17:00	Painel	$I = 0.37A$ $T = 9.50V$	$I = 0.40A$ $T = 18.6V$	$I = 0.59A$ $T = 17.9V$	$I = 0.58A$ $T = 13.60V$

		$P = 3.52W$ $I_{SM} = 0.35A$ $T_{SM} = 10.0V$ $P_{SM} = 3.50W$	$P = 7.44W$ $I_{SM} = 0.38A$ $T_{SM} = 17.67V$ $P_{SM} = 6.71W$	$P = 10.56V$ $I_{SM} = 0.56A$ $T_{SM} = 17.00V$ $P_{SM} = 9.52W$	$P = 9.63W$ $I_{SM} = 0.55A$ $T_{SM} = 15.78V$ $P_{SM} = 8.68W$
	Controlador	$I = 0.028A$ $T = 12.40V$ $P = 3.44W$ $I_{SM} = 0.29A$ $T_{SM} = 12.00V$ $P_{SM} = 3.43W$	$I = 0.57A$ $T = 12.70V$ $P = 7.29W$ $I_{SM} = 0.54A$ $T_{SM} = 12.15V$ $P_{SM} = 6.58W$	$I = 0.81A$ $T = 12.70V$ $P = 10.35W$ $I_{SM} = 0.77A$ $T_{SM} = 12.06V$ $P_{SM} = 9.33W$	$I = 0.69A$ $T = 13.60V$ $P = 9.46W$ $I_{SM} = 0.66A$ $T_{SM} = 12.94V$ $P_{SM} = 8.51W$

TABELA 10. VALORES LIDOS DURANTE O ENSAIO DE CONVERSÃO E CARREGAMENTO DA BATERIA. [FONTE: AUTOR 2024]

Equipamento	Potência	Voltagem Inicial da Bateria	Voltagem Final da Bateria	Tempo de Uso
Lâmpada	15 W	$V = 12.90 V$ $V_{SM} = 13.1 V$	$V = 12.68 V$ $V_{SM} = 12.54 V$	5 h
Carregador de Telemóvel	25 W	$V = 12.64 V$ $V_{SM} = 12.54 V$	$V = 12.34 V$ $V_{SM} = 11.95 V$	5 h
Laptop	60 W	$V = 12.34 V$ $V_{SM} = 11.95V$	$V = 11.6 V$ $V_{SM} = 11.5 V$	1 h

TABELA 11. VALORES LIDOS DURANTE O ENSAIO DE DEMANDA ENERGÉTICA. [FONTE: AUTOR 2024]

Anexo II. Parâmetros de Soldadura da Estrutura da Bancada

Para a soldadura manual da bancada de sistema fotovoltaico usando tubos estruturais de 1 mm de espessura e 30x30 mm, o processo ideal é a **Soldadura por eléctrodo revestido (SMAW)**, por este ser adequado para trabalhos ao ar livre e para soldar materiais com espessura fina. Abaixo estão os parâmetros usados para a soldadura da estrutura da bancada:

➤ **Tipo de Eléctrodo:**

Eléctrodo ESAB E6013: Recomendado para soldagem de materiais finos e para obter uma solda suave e limpa. Este eletrodo é fácil de usar e oferece boa penetração com menor risco de perfuração.

Diâmetro do Eléctrodo: 2.5 mm.

➤ **Corrente de Soldagem:**

Corrente Contínua (CC) com **Amperagem de 80-90A**, para um arco mais estável e evitar perfurações no material, respectivamente.

➤ **Técnica de Soldagem:**

Técnica de Arraste (*Drag Technique*): Posicionando o eléctrodo em um ângulo de cerca de 10 a 15 graus em relação à direção da soldagem e mover suavemente para trás, garantindo que o arco permaneça estável.

Solda em Ponto (*Track Welding*): Técnica usada antes de fazer as soldas completas, para manter as peças fixas e minimizar distorções ao aplicar os cordões.

➤ **Preparo da Superfície:**

Limpeza: Limpar bem as superfícies a serem soldadas, removendo qualquer oxidação, óleo ou sujeira que possa comprometer a qualidade da solda.

➤ **Posição de Soldagem:**

Posição Plana: Para facilitar o controle do arco e ajudar a evitar que o metal fundido escorra para fora da zona de solda.

Anexo III. Desenhos da Estrutura Metálica da Bancada

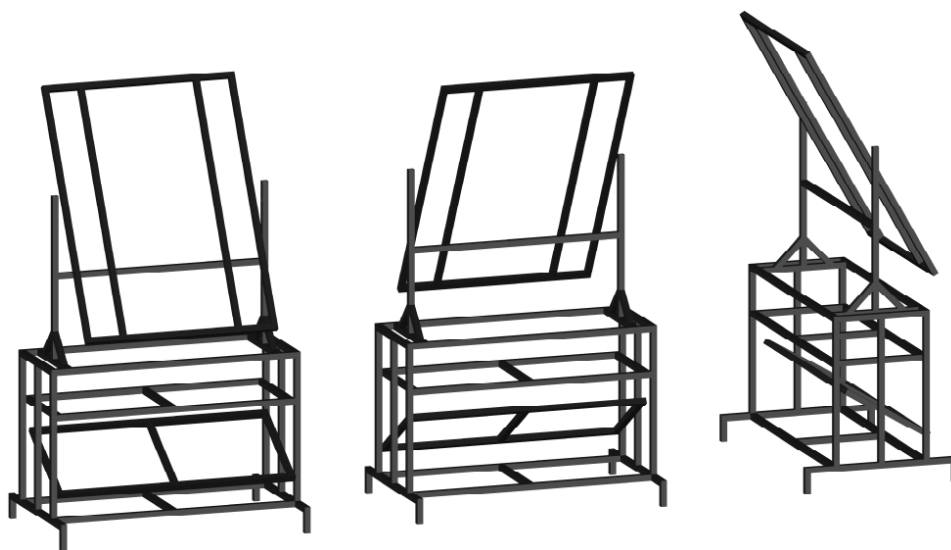


FIGURA 41. REPRESENTAÇÃO DA ESTRUTURA METÁLICA DA BANCADA, EM TRÊS DIMENSÕES. [FONTE: AUTOR 2024]

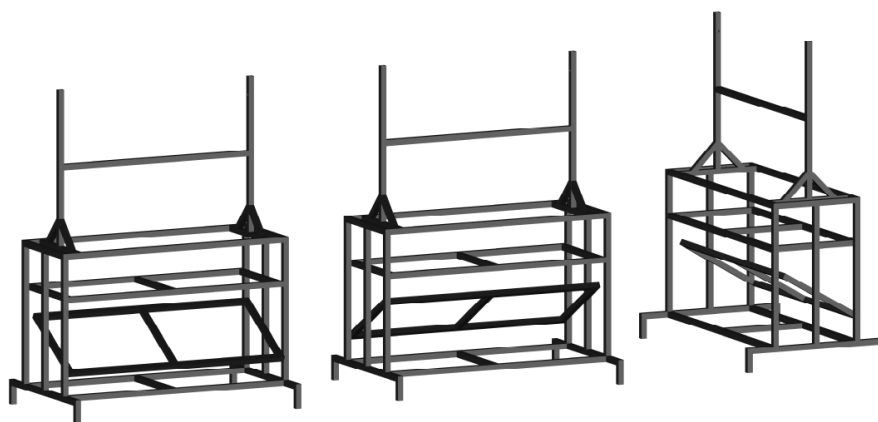


FIGURA 42. REPRESENTAÇÃO DA ESTRUTURA-BASE METÁLICA DA BANCADA, EM TRÊS DIMENSÕES. [FONTE: AUTOR 2024]

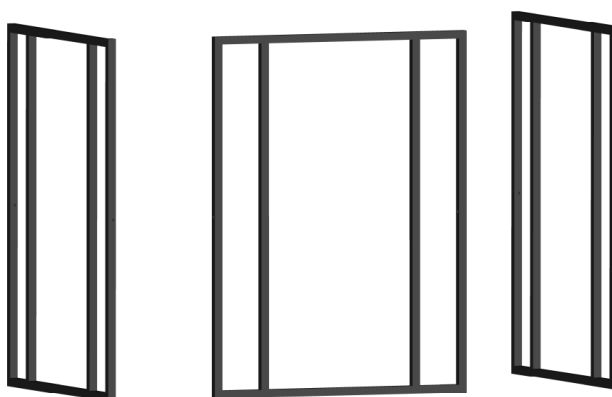


FIGURA 43. REPRESENTAÇÃO DA ESTRUTURA DE SUPORTE DO PAINEL, EM TRÊS DIMENSÕES. [FONTE: AUTOR 2024]

Anexo IV. Processo Prático da Concepção da Bancada

1. Corte dos Materiais para a Bancada

O primeiro passo envolve o corte dos tubos estruturais e outros materiais necessários para a montagem da bancada, utilizando ferramentas como serrote de disco e engenho de furar para garantir cortes no tamanho adequado. Como se pode verificar na [Figura 44](#).



FIGURA 44. FERRAMENTAS DE CORTE E TUBOS METÁLICOS SENDO CORTADOS. [FONTE: AUTOR 2024]

2. Soldadura e Protecção da Estrutura Metálica

Nesta etapa, a estrutura metálica é soldada para formar a base da bancada. Após a soldagem, é essencial aplicar um tratamento de protecção na estrutura para prevenir a corrosão e garantir a durabilidade da mesma, como se ilustra na [Figura 45](#).



FIGURA 45. PROCESSO DE SOLDADURA DE TUBOS METÁLICOS, SEGUIDO PELA APLICAÇÃO DA PINTURA NA ESTRUTURA. [FONTE: AUTOR 2024]

3. Montagem dos Níveis da Bancada e dos Componentes do Sistema Fotovoltaico

Após a soldagem da estrutura principal, são montados os diferentes níveis da bancada, onde serão fixados o inversor, o controlador de carga, a bateria e outros componentes dos sistemas fotovoltaico e de monitoramento, como se pode ilustrar na [Figura 46](#). Aqui, é importante seguir as especificações do projecto para garantir que todos os componentes estejam corretamente posicionados.



FIGURA 46. ESTRUTURA COM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS SENDO MONTADOS EM DIFERENTES NÍVEIS DA BANCADA. [FONTE: AUTOR 2024]

4. Montagem dos Sistema de Monitoramento

Nesta etapa, o sistema de monitoramento, que inclui sensores e dispositivos de aquisição de dados, é instalado na bancada. Os sensores são posicionados estrategicamente para capturar as informações necessárias, de corrente e tensão, como ilustrado na [Figura 47](#).



FIGURA 47. INSTALAÇÃO DE SENSORES E CABOS CONECTANDO OS COMPONENTES DO SISTEMA DE MONITORAMENTO. [FONTE: AUTOR 2024]

5. Programação dos Sensores

Com os sensores instalados, a programação dos dispositivos é realizada para que eles possam colectar e transmitir os dados para a plataforma de monitoramento remoto. Isso inclui a configuração do microcontrolador e a implementação do código para leitura e transmissão dos dados. Conforme se pode verificar na [Figura 48](#).



FIGURA 48. REALIZAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO DOS SENSORES NA BANCADA.[FONTE: AUTOR 2024]

6. Ensaios da Bancada

Finalmente, são realizados ensaios para verificar o funcionamento do sistema. Como se pode verificar na [Figura 49](#).



FIGURA 49. BANCADA POSICIONADA PARA OS ENSAIOS. [FONTE: AUTOR 2024]

Anexo V. Tabelas do Global Monitoring Laboratory

Anexo VI. Códigos e Scripts de Programação

Os códigos e *scripts* de programação do presente projecto, englobando os códigos do Arduino Mega2560, do Esp8266 e da plataforma criada, encontram-se disponíveis na plataforma *GitHub*, através do link: <https://github.com/JuveThunder/Trabalho-de-Licenciatura>.