

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE COMPUTAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

RELATÓRIO DESCRITIVO SOBRE APLICAÇÃO COM FOCO EM
ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Lívia de Maria Calado Machado Soares: 20112760

Manoel Rocha dos Santos Neto : 19212577

Rangel Gonçalves : 20112757

Ronaldo Cândido dos Santos Sobrinho:19111289

Pedro Henrique Silva de Almeida : 16113064

Maceió - AL
2024

Lívia de Maria Calado Machado Soares: 20112760

Manoel Rocha dos Santos Neto : 19212577

Rangel Gonçalves : 20112757

Ronaldo Cândido dos Santos Sobrinho:19111289

Pedro Henrique Silva de Almeida : 16113064

RELATÓRIO DESCRITIVO SOBRE APLICAÇÃO COM FOCO EM ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Primeiro Relatório apresentado à disciplina de Fotovoltaica, correspondente à avaliação do semestre 2024.1 do 9º período do curso de Engenharia de Computação da Universidade Federal de Alagoas, sob orientação do **Prof. Mauricio Beltrão Rossiter Correa**

Maceió - AL
2024

RESUMO

O relatório aborda a criação de uma aplicação em Python voltada para a área de Energia Solar Fotovoltaica. Baseada em códigos desenvolvidos em sala de aula, a aplicação utiliza como referência um modelo simplificado de módulo fotovoltaico apresentado no artigo "Modelo Simplificado de um Módulo Fotovoltaico". O modelo é aplicado a uma placa da Canadian Solar e inclui fórmulas essenciais para o cálculo de corrente e tensão de um painel fotovoltaico, considerando condições operacionais e parâmetros fornecidos pelo fabricante. Durante este relatório será mostrado como ele funciona e como pode ser rodado em sistema operacional Windows.

Lista de Figuras

1	Datasheet Painel Solar HiKu7 Mono PER	8
2	Datasheet Painel Solar HiKu7 Mono PER	9
3	Interface Inicial	12
4	Dashboard	13

Sumário

1	INTRODUÇÃO	6
1.0.1	Resumo do artigo	6
1.1	Características do Pannel Solar HiKu7 Mono PERC	7
1.1.1	Potência e Eficiência	10
1.1.2	Vantagens Operacionais	10
1.1.3	Confiabilidade	10
1.1.4	Certificações	10
1.1.5	Especificações Elétricas	10
1.1.6	Especificações Mecânicas	11
1.1.7	Conclusão	11
2	DESCRIÇÃO DO PROJETO	12
3	INSTRUÇÕES DE USO	14
4	CONCLUSÃO	15

1 INTRODUÇÃO

Este projeto foi construído em cima da linguagem de programação Python. A princípio é um arquivo executável para o sistema operacional Windows que possui funcionalidades importantes para a área de Energia Solar Fotovoltaica. A sua base é constituída em códigos desenvolvidos em sala de aula pelos integrantes do grupo. Com o auxílio destes, foi possível desenvolver e adaptar os códigos necessários para a presente aplicação.

A equipe responsável por este trabalho baseia-se no artigo [1] que será explicado mais adiante, assim como foi escolhido focar a construção do modelo na placa produzida pela empresa Canadian Solar. As características da placa serão abordadas mais a diante.

1.0.1 Resumo do artigo

O artigo intitulado "Modelo Simplificado de um Módulo Fotovoltaico" apresenta uma abordagem para modelar módulos fotovoltaicos (PV). Os autores, da Universidade de Roma Tor Vergata, destacam que os parâmetros elétricos dos módulos podem variar em relação às especificações fornecidas pelos fabricantes e podem mudar com o tempo. O modelo proposto utiliza apenas os dados disponíveis nas fichas técnicas dos fabricantes, eliminando a necessidade de métodos numéricos complexos. O artigo descreve detalhadamente o modelo, apresenta resultados de simulações e validações experimentais, e discute a importância de considerar as condições operacionais reais para melhorar a precisão do modelo. Essa abordagem visa otimizar o desempenho e reduzir os custos dos sistemas de energia solar.

A seguir, algumas fórmulas importantes usada para a construção do trabalho extraídas do artigo. A corrente de uma célula fotovoltaica pode ser expressa por:

$$I_P = I_{SC} \cdot [1 - C_1 \cdot (e^{\frac{V_P}{C_2 \cdot V_{OC}}} - 1)] \quad (1)$$

onde

$$C_1 = (1 - \frac{I_{MPP}}{I_{SC}}) \cdot e^{\frac{-V_{MPP}}{C_2 \cdot V_{OC}}} \quad (2)$$

$$C_2 = \frac{(\frac{V_{MPP}}{V_{OC}} - 1)}{\ln(1 - \frac{I_{MPP}}{I_{SC}})} \quad (3)$$

de modo que os parâmetros envolvidos são: I_{SC} = Corrente de curto circuito V_{OC} = DDP de circuito aberto V_{MPP} = DDP no ponto de máxima potência I_{MPP} = Corrente no ponto de máxima potência

Cada parâmetro pode ser obtido pelas seguintes expressões:

$$I_{SC}(G, T) = I_{SCS} \cdot \frac{G}{G_S} \cdot [1 + \alpha(T - T_S)] \quad (4)$$

$$V_{OC}(T) = V_{OCS} + \beta \cdot (T - T_S) \quad (5)$$

$$I_{MPP}(G, T) = I_{MPPS} \cdot \frac{G}{G_S} \cdot [1 + \alpha(T - T_S)] \quad (6)$$

$$V_{MPP}(T) = V_{MPPS} + \beta \cdot (T - T_S) \quad (7)$$

Onde o S presente em I_{SCS} , V_{OCS} , I_{MPPS} , V_{MPPS} , G_S e T_S corresponde ao termo standard. Ou seja, todos os parâmetros de tensão e corrente padrão estarão disponíveis no datasheet do painel. Os valores de α , β são respectivamente os coeficientes de corrente e tensão pela temperatura, também disponibilizados no datasheet do painel. Os valores de G_S e T_S são os padrões utilizados na disciplina: $G_S = 1000W/m^2$ e $T_S = 25C$.

As funções acima são uma boa base, mas para que as fórmulas de V_{OC} e V_{MPP} apresentem valores mais precisos, é necessário subtrair um termo de correção, definido por:

$$\Delta V(G) = V_{OCS} - V_{OC_m}(G) \quad (8)$$

onde $V_{OC_m}(G)$ é definido por:

$$V_{OC_m}(G) = C_2 \cdot V_{OCS} \cdot \ln\left[1 + \frac{1 - \frac{I_t}{I_{SCS}}}{C_1}\right]$$

e I_t é uma abstração para o cálculo de corrente de curto circuito em uma dada irradiância, definida por:

$$I_t(G) = I_{SCS} \cdot \frac{G}{G_S}$$

Deste modo, podemos substituir a expressão de I_t na expressão de V_{OC_m} para de fato obter uma fórmula que use o fator de irradiância:

$$V_{OC_m}(G) = C_2 \cdot V_{OCS} \cdot \ln\left[1 + \frac{1 - \frac{G}{G_S}}{C_1}\right] \quad (9)$$

Uma outra medida importante é achar a resistência em série em função dos parâmetros do painel. Isso pode ser feito invertendo a equação 1 e derivando a expressão resultante para o caso onde $I_P = 0$:

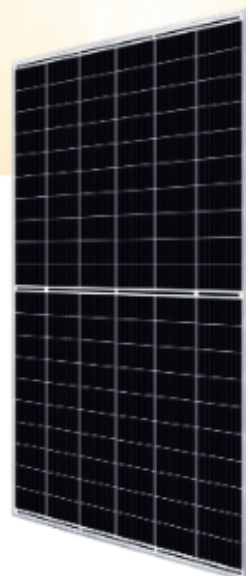
$$V_P = C_2 \cdot V_{OCS} \cdot \ln\left[1 + \frac{1 - \frac{I_P}{I_{SCS}}}{C_1}\right] \quad (10)$$

e

$$R_S = d\left(\frac{V_P}{dI_P}\right)\bigg|_{I_P \rightarrow 0} = \left(C_2 \cdot \frac{V_{OC}}{I_{SC}}\right) \cdot \left(\frac{1}{1 + C_1}\right) \quad (11)$$

1.1 Características do Painel Solar HiKu7 Mono PERC

Este relatório apresenta o painel solar **HiKu7 Mono PERC** fabricado pela **Canadian Solar**, com potência variando entre **575 W e 605 W**. Esse painel é indicado para grandes projetos fotovoltaicos, devido à sua alta eficiência e confiabilidade. Seu respectivo datasheet pode ser encontrado na Figura 1 e Figura 2. A seguir, algumas características a serem destacadas do painel.



HiKu7 Mono PERC

575 W ~ 605 W




CS7L-575 | 580 | 585 | 590 | 595 | 600 | 605MS (IEC1000 V)

CS7L-575 | 580 | 585 | 590 | 595 | 600 | 605MS (IEC1500 V)

MORE POWER

-  Module power up to 605 W
Module efficiency up to 21.4 %
-  Up to 3.5 % lower LCOE
Up to 5.7 % lower system cost
-  Comprehensive LID / LeTID mitigation technology, up to 50% lower degradation
-  Compatible with mainstream trackers, cost effective product for utility power plant
-  Better shading tolerance

MORE RELIABLE

-  40 °C lower hot spot temperature, greatly reduce module failure rate
-  Minimizes micro-crack impacts
-  Heavy snow load up to 5400 Pa, wind load up to 2400 Pa*



Linear Power Performance Warranty*

12 Years Enhanced Product Warranty on Materials and Workmanship*

**1st year power degradation no more than 2%
Subsequent annual power degradation no more than 0.55%**

*According to the applicable Canadian Solar Limited Warranty Statement.

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES*

ISO 9001:2015 / Quality management system
ISO 14001:2015 / Standards for environmental management system
ISO 45001: 2018 / International standards for occupational health & safety

PRODUCT CERTIFICATES*

IEC 61215 / IEC 61730 / INMETRO
UL 61730 / IEC 61701 / IEC 62716
Take-e-way
Canadian Solar recycles panels at the end of life cycle



* The specific certificates applicable to different module types and markets will vary, and therefore not all of the certifications listed herein will simultaneously apply to the products you order or use. Please contact your local Canadian Solar sales representative to confirm the specific certificates available for your Product and applicable in the regions in which the products will be used.

CSI Solar Co., Ltd. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. Canadian Solar was recognized as the No. 1 module supplier for quality and performance/price ratio in the IHS Module Customer Insight Survey, and is a leading PV project developer and manufacturer of solar modules, with over 52 GW deployed around the world since 2001.

* For detailed information, please refer to the Installation Manual.

Canadian Solar MSS (Australia) Pty Ltd.

44 Stephenson St, Cremorne VIC 3121, Australia, sales.au@csisolar.com, www.csisolar.com/au

Figura 1: Datasheet Painel Solar HiKu7 Mono PER

1.1.1 Potência e Eficiência

O painel oferece as seguintes especificações em termos de potência e eficiência:

- Potência máxima: **605 W**.
- Eficiência do módulo: até **21,4%**.
- Degradação anual após o primeiro ano: inferior a **0,55%**.

1.1.2 Vantagens Operacionais

O HiKu7 Mono PERC proporciona uma série de vantagens em comparação a outros modelos disponíveis no mercado:

- Redução do *Levelized Cost of Energy* (LCOE) em até **3,5%**.
- Redução do custo do sistema em até **5,7%**.
- Mitigação de degradação *Light Induced Degradation* (LID) e *Light and Elevated Temperature Induced Degradation* (LeTID) em até **50%**.
- Baixa temperatura de operação no ponto quente, com até **40°C** de redução, o que diminui o risco de falhas do módulo.

1.1.3 Confiabilidade

Este painel é altamente confiável, apresentando as seguintes características:

- Resistente à carga de neve de até **5400 Pa** e ao vento de até **2400 Pa**.
- Minimiza impactos de microfissuras, aumentando a durabilidade do módulo.

1.1.4 Certificações

O HiKu7 Mono PERC atende a várias normas internacionais de qualidade e segurança, como:

- Certificações: **ISO 9001, ISO 14001, ISO 45001**.
- Certificação de produto: **IEC 61215, IEC 61730**.

1.1.5 Especificações Elétricas

O desempenho elétrico do painel é descrito a seguir:

- Tensão de circuito aberto (Voc): até **49,1 V**.
- Corrente de curto-circuito (Isc): até **14,81 A**.
- Classificação de fusível: **30 A**.

1.1.6 Especificações Mecânicas

As características mecânicas são detalhadas conforme abaixo:

- Dimensões: **2172 mm x 1303 mm x 35 mm.**
- Peso: **31,4 kg.**
- Estrutura: alumínio anodizado com vidro temperado de **3,2 mm.**

1.1.7 Conclusão

O painel solar **HiKu7 Mono PERC** é uma excelente escolha para grandes instalações fotovoltaicas, oferecendo alta eficiência, confiabilidade em condições climáticas adversas e uma taxa de degradação significativamente baixa ao longo do tempo. Por esses motivos e pela clareza do datasheet, este modelo de placa foi escolhido para esse trabalho.

2 DESCRIÇÃO DO PROJETO

O projeto tem como objetivo atender aos requisitos e suas respectivas aplicações, conforme descrito a seguir:

1. Apresentar os dados de entrada, a saber: Irradiância e temperatura nos painéis ao longo do dia, com interface para escolha da hora do dia;
2. Apresentar as saídas decorrentes das ações de controle sobre os painéis, bem como sobre o

Inicialmente é apresentado a interface principal:

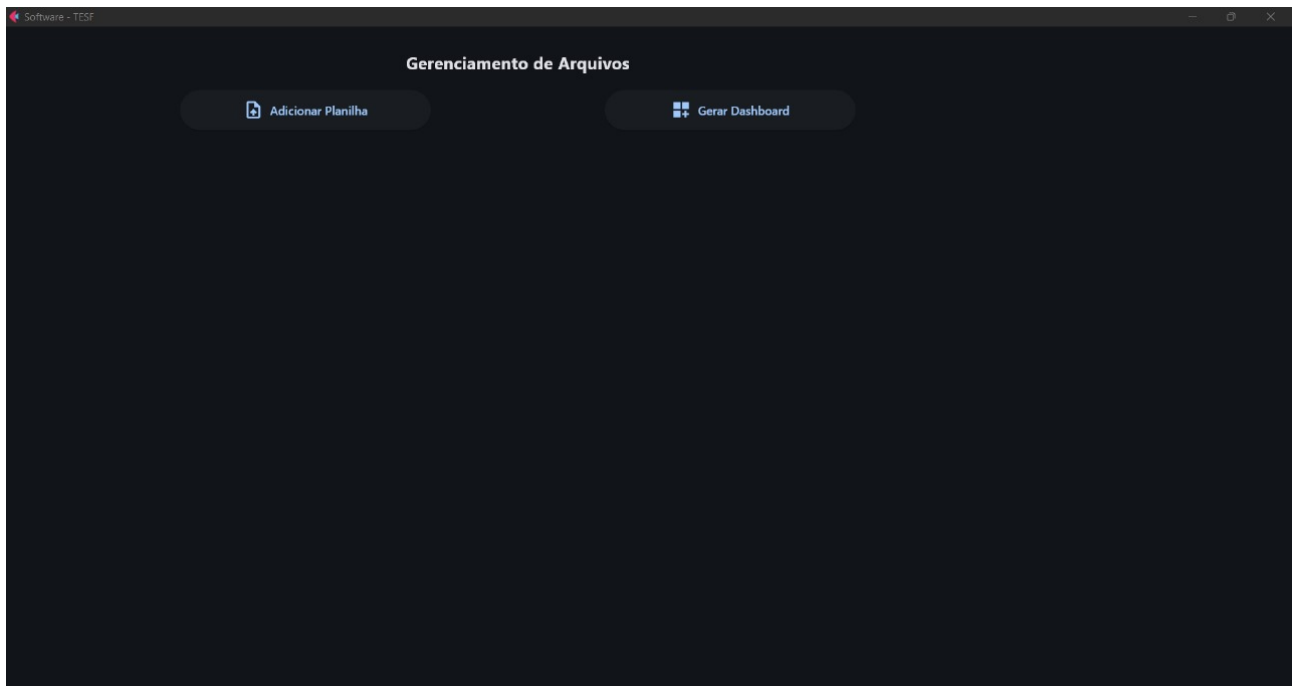


Figura 3: Interface Inicial

Esta é a tela inicial da aplicação, onde são exibidos dois botões: "Adicionar Planilha" e "Gerar Dashboard". Para prosseguir, é necessário inserir dois arquivos de planilha no formato .xls, correspondentes aos dados de entrada sobre o módulo fotovoltaico e informações relevantes do dia. Após a inserção dos arquivos, ao clicar no botão "Gerar Dashboard", a próxima tela será exibida:

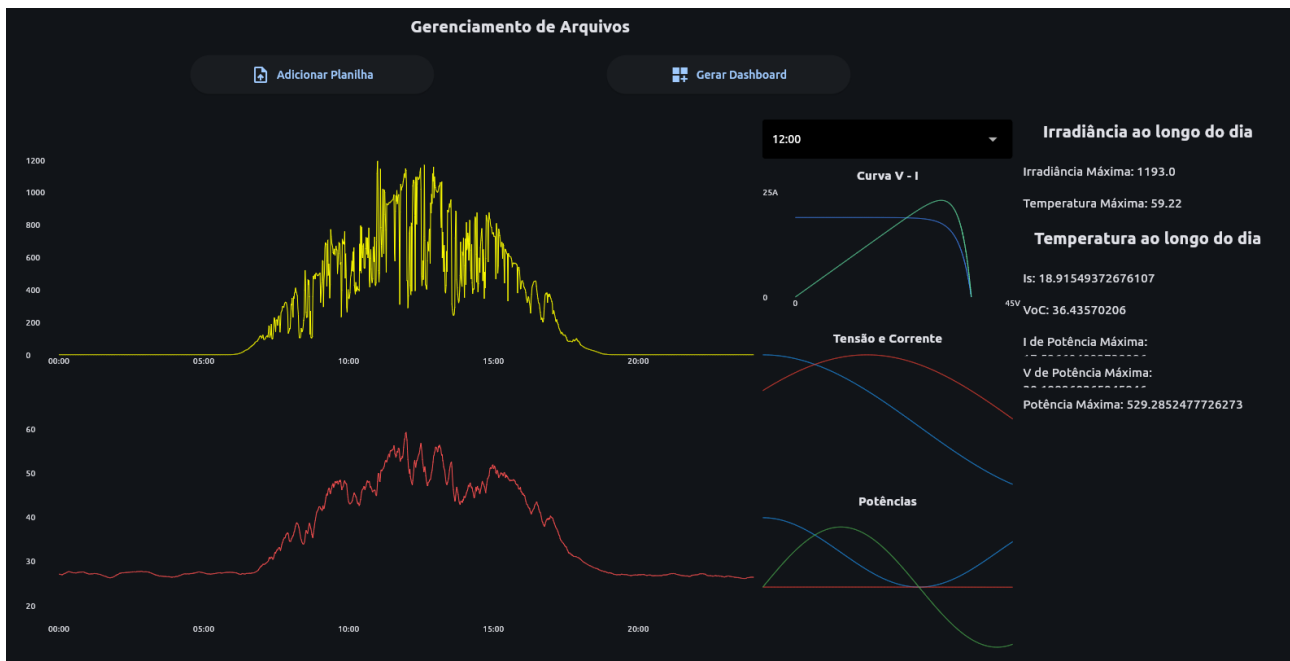


Figura 4: Dashboard

O Dashboard apresenta os seguintes gráficos: irradiância ao longo do dia, temperatura ao longo do dia, curva V-I, curvas de tensão e corrente, além das curvas de potência. No canto superior direito, há a opção de alterar o horário do dia, permitindo visualizar as curvas correspondentes ao horário selecionado.

Com a interface ilustrada na Figura 4 os requisitos definidos são devidamente atendidos.

3 INSTRUÇÕES DE USO

Baixar os arquivos:

Baixe o arquivo compactado TESH.zip que contem os arquivos NomeDoPrograma.exe e as planilhas(.xls) p1 e p2.

Organizar os arquivos:

Após o download, extraia os arquivos e certifique-se de que o arquivo NomeDoPrograma.exe e as planilhas(.xls) estão localizados na mesma pasta.

Execução do Programa

Navegue até o diretório onde o arquivo NomeDoPrograma.exe e as planilhas estão localizados.

Dê um duplo clique no arquivo NomeDoPrograma.exe. Certifique-se de não mover ou alterar o nome das planilhas, pois o programa depende delas para funcionar corretamente.

4 CONCLUSÃO

O projeto gabarita os requisitos expostos em sala de aula, como apresentação os dados de entrada, apresentação das saídas decorrentes das ações de controle sobre os painéis, bem como sobre o conversor de potência conectado com a rede elétrica, demonstrando que a potência gerada é entregue, ao tempo que informações acessórias sobre a ação de controle são disponibilizadas, é informado a posição dos painéis, assim como os dados do sistema.

Atualmente o projeto está em desenvolvimento e as funcionalidade presentes neste ainda irão ser expandidas, para o fator inovação. Uma das ideias é sincronizar o nosso modelo com um exemplo físico real, que simula o modelo ideal que segue o sol, tal qual um girassol. Outra ideia futura é a implementação de um globo para selecionar as coordenadas geográficas e, automaticamente, simular no nosso projeto o nosso sistema de placas nas condições daquela região durante o dia. As inovações podem ou não ser essas expostas, tendo em vista que a equipe pode querer modificar e aprimorar as inovações futuras do projeto.