

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS

GABRIEL ASSIS CAVALCANTE

ESTUDO COMPARATIVO QUANTO A INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA
AMBIENTE NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA ENTRE UM PAINEL SOLAR
FOTOVOLTAICO BIFACIAL E UM PAINEL SOLAR FOTOVOLTAICO
MONOFACIAL

Jataí - GO

2023



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Gabriel Assis Cavalcante

Matrícula: 20181020040050

Título do Trabalho: ESTUDO COMPARATIVO QUANTO A INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DE TEMPERATURA AMBIENTE NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA ENTRE UM PAINEL SOLAR FOTOVOLTAICO BIFACIAL E UM PAINEL SOLAR FOTOVOLTAICO MONOFACIAL.

Autorização - Marque uma das opções

1. (X) Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. () Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. () Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- () O documento está sujeito a registro de patente.
() O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
() Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Local

Data

Gabriel A. Cavalcante
Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

GABRIEL ASSIS CAVALCANTE

ESTUDO COMPARATIVO QUANTO A INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DE
TEMPERATURA AMBIENTE NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA ENTRE UM PAINEL
SOLAR FOTOVOLTAICO BIFACIAL E UM PAINEL SOLAR FOTOVOLTAICO
MONOFACIAL.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
curso Bacharelado em Engenharia Elétrica, do
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA
E TECNOLOGIA DE GOIÁS, como requisito parcial
para a Obtenção do grau de Bacharel em meu
curso.

Orientador: José Antônio Lambert

Jataí - GO
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)

Cavalcante, Gabriel Assis.

Estudo comparativo quanto a influência da variação de temperatura ambiente na eficiência energética entre um painel solar fotovoltaico bifacial e um painel solar fotovoltaico monofacial [manuscrito] / Gabriel Assis Cavalcante. -- Jataí: IFG, Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica, 2023.

53 f.; il.

Orientador: Prof. Dr. José Antônio Lambert.

Bibliografias.

1. Bifacial 2. Energia solar. 3. Monofacial. 4. Painéis fotovoltaicos. I. Lambert, José Antônio. II. IFG, Câmpus Jataí. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Téc.: Aquisição e Tratamento da Informação.
Bibliotecária – Rosy Cristina O. Barbosa – CRB 1/2380 – C. Jataí. Cód. F0026/2023-1.



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS JATAÍ

Folha de Aprovação

GABRIEL ASSIS CAVALCANTE

ESTUDO COMPARATIVO QUANTO A INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA AMBIENTE NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA ENTRE UM PAINEL SOLAR FOTOVOLTAICO BIFACIAL E UM PAINEL SOLAR FOTOVOLTAICO MONOFACIAL.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Jataí, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Monografia defendida e aprovada, em 02 de maio de 2023, pela banca examinadora constituída pelos seguintes membros:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Antonio Lambert
Presidente da banca / Orientador
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Câmpus Jataí

Profa. Dra. Jaqueline Oliveira Rezende
Membro
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Câmpus Jataí

Prof. Dr. Marcelo Semensato
Membro
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Câmpus Jataí

Documento assinado eletronicamente por:

- **Marcelo Semensato**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 17/05/2023 22:40:49.
- **Jaqueline Oliveira Rezende**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 17/05/2023 21:59:02.
- **Jose Antonio Lambert**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 17/05/2023 21:57:50.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 26/04/2023. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 402008

Código de Autenticação: 8284319410



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Av. Presidente Juscelino Kubitschek, nº 775, Residencial Flamboyant, JATAÍ / GO, CEP 75804-714
(64) 3514-9579 (ramal: 9579)

Este trabalho é resultado do esforço e contribuição de muitas pessoas, mas em especial, à minha família e meu orientador, que estiveram ao meu lado durante todo o processo. Muito obrigado por tudo que fizeram por mim e por este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, que é a fonte de toda a sabedoria, inspiração e força que eu precisei para concluir este trabalho. Agradeço também à minha família, por todo o amor, apoio e incentivo que sempre me deram. Agradeço aos meus pais, irmãos e avós, que sempre acreditaram em mim e me encorajaram a perseguir meus sonhos. Agradeço por todos os sacrifícios que fizeram para me ajudar a chegar até aqui, e por serem um exemplo de dedicação, perseverança e amor. Por fim, agradeço ao meu orientador, José Antônio Lambert, por toda a orientação, conhecimento e suporte que me deu durante a realização deste trabalho. Sua experiência e sabedoria foram fundamentais para o meu crescimento acadêmico e profissional, e sou imensamente grato pela oportunidade de trabalhar sob sua orientação. Agradeço por ter me inspirado a sempre buscar mais, a sempre querer aprender, e por ter me ajudado a alcançar meu potencial.

"Eu colocaria meu dinheiro no sol e na energia solar. Que fonte de energia! Espero que não tenhamos que esperar até que o petróleo e o carvão acabem para fazer isso." (Thomas Edison)

RESUMO

Considerando que as fontes renováveis de energia estão entre as principais metas da agenda internacional de políticas públicas, e que a energia solar fotovoltaica é a mais viável dentre as outras fontes. Este estudo visa analisar a influência da temperatura ambiente na eficiência energética de um painel solar fotovoltaico monofacial e de um painel solar fotovoltaico bifacial. Para realizar essa comparação, serão coletados dados de temperatura por meio de sensores, juntamente com dados de tensão e corrente fornecidos pelos painéis fotovoltaicos. Esses dados serão coletados por um microcontrolador conectado ao sistema e armazenados a cada um minuto em uma planilha, juntamente com a data e hora de coleta. Com os dados armazenados, serão realizados levantamentos sobre a geração do sistema como um todo e estudos sobre a eficiência entre os painéis fotovoltaicos. Por fim, será realizada uma análise detalhada sobre a influência da temperatura ambiente na eficiência entre o painel fotovoltaico bifacial e o painel fotovoltaico monofacial de mesma potência. O objetivo final deste estudo é contribuir para o desenvolvimento e aprimoramento de estudos no setor de energia solar fotovoltaica, promovendo fontes de energia renováveis e sustentáveis.

Palavras-chave: Bifacial; Energia solar; Monofacial; Painéis fotovoltaicos;

ABSTRACT

Considering that renewable energy sources are among the main goals of the international public policy agenda, and that photovoltaic solar energy is the most viable among other sources, the objective of this work is to develop this sector through the implementation of a study of case. The study aims to analyze the influence of ambient temperature on the energy efficiency of a monofacial photovoltaic solar panel and a bifacial photovoltaic solar panel. To perform this comparison, temperature data will be collected through sensors, along with voltage and current data provided by photovoltaic panels. These data will be collected by a microcontroller connected to the system and stored every one minute in a spreadsheet, along with the date and time of collection. With the stored data, surveys will be carried out on the generation of the system as a whole and studies on the efficiency of the photovoltaic panels. Finally, a detailed analysis will be carried out on the influence of ambient temperature on the efficiency between the bifacial photovoltaic panel and the monofacial photovoltaic panel of the same power. The final objective of this study is to contribute to the development and improvement of the photovoltaic solar energy sector, promoting renewable and sustainable energy sources.

Keywords: Solar energy; Photovoltaic panels, monofacial, bifacial.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 — Localização da simulação.....	19
Figura 2 — Altura do sol em relação ao horário e época do ano	20
Figura 3 — Inclinação do sol em relação ao horário e época do ano.....	21
Figura 4 — Orientação e Inclinação da instalação	22
Figura 5 — Condições de Operação	23
Figura 6 — Irradiação <i>versus</i> Temperatura.....	24
Figura 7 — Local de instalação do projeto	25
Figura 8 — Painéis fotovoltaicos instalados sobre a estrutura	26
Figura 9 — Conectores (Positivo e negativo) do Pannel fotovoltaico bifacial	28
Figura 10 — Potência dos Painéis monofacial e bifacial <i>versus</i> Temperatura.....	34
Figura 11 — Tensão dos Painéis monofacial e bifacial <i>versus</i> Temperatura.....	35
Figura 12 — Corrente dos Painéis monofacial e bifacial <i>versus</i> Temperatura.....	36
Figura 13 — Temperatura <i>versus</i> horário	37
Figura 14 — Potência dos Painéis monofacial e bifacial <i>versus</i> horário	38
Figura 15 — Tensão dos Painéis monofacial e bifacial <i>versus</i> horário	39
Figura 16 — Corrente dos Painéis monofacial e bifacial <i>versus</i> horário	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 — Valores médios	41
---------------------------------	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS	18
1.1.1	Objetivos Gerais	18
1.1.2	Objetivos Específicos	18
2	MATERIAIS E MÉTODOS	19
2.1	SIMULAÇÃO	19
2.2	INSTALAÇÃO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS.....	24
2.3	CONFEÇÃO DO CIRCUITO ELETRÔNICO.....	27
2.3.1	Materiais Utilizados	27
2.3.2	Diagrama Esquemático	28
2.3.3	Instalação	28
2.4	CONFEÇÃO DO ALGORITMO PARA REALIZAR O TRATAMENTO E ARMAZENAGEM DE DADOS	30
2.5	ARMAZENAMENTO DE DADOS.....	32
3	RESULTADOS	34
3.1	LEVANTAMENTO DA POTÊNCIA MÉDIA DE CADA PAINEL FOTOVOLTAICO DE ACORDO COM A TEMPERATURA AMBIENTE..	34
3.2	LEVANTAMENTO DA TENSÃO MÉDIA DE CADA PAINEL FOTOVOLTAICO DE ACORDO COM A TEMPERATURA AMBIENTE..	35
3.3	LEVANTAMENTO DA CORRENTE MÉDIA DE CADA PAINEL FOTOVOLTAICO DE ACORDO COM A TEMPERATURA AMBIENTE..	36
3.4	LEVANTAMENTO DA TEMPERATURA AMBIENTE MÉDIA DE ACORDO COM O HORÁRIO	37
3.5	LEVANTAMENTO DA POTÊNCIA MÉDIA DE CADA PAINEL FOTOVOLTAICO DE ACORDO COM O HORÁRIO	38
3.6	LEVANTAMENTO DA TENSÃO MÉDIA DE CADA PAINEL FOTOVOLTAICO DE ACORDO COM O HORÁRIO	39
3.7	LEVANTAMENTO DA CORRENTE MÉDIA DE CADA PAINEL FOTOVOLTAICO DE ACORDO COM O HORÁRIO	40
3.8	FORNECIMENTO MÉDIO DE TENSÃO, CORRENTE E GERAÇÃO MÉDIA DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS	41

4	CONCLUSÃO	42
	REFERÊNCIAS.....	43
	APÊNDICE A — DIAGRAMA ESQUEMÁTICO.....	45
	APÊNDICE B — CÓDIGO ELABORADO NA IDE DO ARDUINO.....	46
	ANEXO A — ORIENTAÇÃO E CAMINHOS DO SOL	49
	ANEXO B — CATÁLOGO SUNOVA SOLAR BIFACIAL AMERISOLAR AS-6M144-BT-450W	52
	ANEXO C — CATÁLOGO SUNOVA SOLAR MONOFACIAL SUNOVA SS-450-72MDH.	49
	ANEXO D — SENSOR DE TEMPERATURA DS18B20	54

1 INTRODUÇÃO

Segundo Pereira (2012, p. 16), a substituição das fontes de energia elétrica de origem fóssil por renováveis está entre as principais metas da agenda internacional de políticas públicas. "O setor energético é muito importante para o desenvolvimento econômico e social de qualquer país. Por essas razões e outras, torna-se importante planejar o desenvolvimento desse setor." (PEREIRA, 2012, p. 24).

"Desde 1954, com a exposição da primeira célula solar, na reunião da National Academy of Science, estudos associados a esses dispositivos vêm ganhando destaque no meio científico. Dentre as propriedades físicas utilizadas para a caracterização dos painéis fotovoltaicos, a temperatura de operação é uma das que se destaca por permitir a avaliação do desempenho e da integridade dos painéis, uma vez que instalações mal realizadas ou dispositivos deteriorados provocam alteração no perfil térmico de operação, gradiente de temperatura, dos respectivos painéis." (DA SILVA, 2017, p. 01).

Para se alcançar um maior desenvolvimento econômico através de fontes renováveis e desenvolver este setor, é indispensável a realização de estudos e pesquisas que objetivam o crescimento da eficiência energética em sistemas capazes de granjear a energia proveniente das fontes renováveis.

"Os efeitos adversos da exploração de fontes de energia que utilizam recursos não renováveis têm direcionado um número cada vez maior de cientistas na busca por fontes de energia de pouco impacto ambiental, social e econômico, e que ainda assim possibilitem a manutenção das atividades da sociedade humana. A tecnologia solar fotovoltaica apresenta bons indicadores para atender a esta demanda em um futuro próximo já que utiliza o Sol como fonte de energia e exibe algumas vantagens em relação à outras tecnologias de conversão de energia." (SAMPAIO; GONZÁLEZ, 2017).

De acordo com (TAHIR; FURQAN, 2022, p. 1), a energia solar fotovoltaica é mais economicamente viável entre outras renováveis devido à sua instalação fácil e confiabilidade mais elevada.

Um painel fotovoltaico é capaz de converter a luz advinda do sol em energia elétrica, "As células fotovoltaicas convertem diretamente a luz solar em eletricidade usando uma junção semicondutora." (CROOK; JONES; FORSTER; CROOK, 2011).

Segundo Cresesb e Cepel (1998), o efeito fotovoltaico ocorre em materiais semicondutores que contêm bandas de elétron, valência e condução. Um exemplo de material semicondutor que apresenta as características citadas acima é o silício, que de acordo com Niedzialkoski (2013, p. 5), é o material mais utilizado industrialmente para a produção de células fotovoltaicas.

A energia elétrica gerada pelos painéis fotovoltaicos pode ser utilizada para diversos fins, tanto em sistemas *on grid*, onde os painéis são conectados à rede pública de distribuição de energia elétrica, como em sistemas *off grid*, que é um sistema isolado e autônomo, ou seja, não é conectado à rede elétrica, onde a energia gerada pelos painéis é armazenada em baterias que fornecem eletricidade quando necessário.

Para se aumentar a eficiência energética de um sistema fotovoltaico sem a demanda de uma instalação que necessita de uma maior área, é possível destacar a topologia de painéis fotovoltaicos bifaciais. "Os módulos fotovoltaicos bifaciais podem produzir energia adicional convertendo energia solar em energia elétrica de ambos os lados do módulo." (JAI; ARMIN; M. WALSH, 2014, p. 136).

Enquanto os painéis fotovoltaicos monofaciais transformam a luz solar que atinge sua superfície em energia elétrica, os painéis fotovoltaicos bifaciais são capazes de transformar em energia elétrica tanto a luz que atinge a parte superior da placa, quanto a luz que atinge o lado inferior.

De acordo com PATEL, M. T. et al. (2020), o *International Technology Roadmap for Photovoltaic* (ITRPV) prevê que a utilização da tecnologia de painéis fotovoltaicos bifaciais aumentará de 15% em 2022 para 40% em 2028, e com esse aumento, é importante entender como o ganho bifacial se traduz em rendimento de energia, levando em conta as perdas de eficiência dos efeitos térmicos dos painéis.

"A eficiência de painéis fotovoltaicos está relacionada a fatores construtivos da célula, bem como a fatores externos, que afetam negativamente a eficiência dos painéis fotovoltaicos, pode-se citar o acúmulo de poeira sobre a superfície superior, sombreamento dos painéis, redução da incidência da radiação solar, o ângulo de instalação dos painéis fotovoltaicos, elevação da temperatura, entre outros" (MICHELS et al., 2010, p. 106).

De acordo com Tahir e Furqan (2022, p. 529), a irradiância solar é proporcional ao desempenho do painel fotovoltaico, enquanto uma temperatura ambiente mais alta faz com que a temperatura da célula aumente, diminuindo o rendimento fotovoltaico.

"O calor pode degradar as células solares e, conseqüentemente, diminuem a tensão de circuito aberto V_{oc} e tensão de operação V_{mp} . Por isso é necessário levar em consideração o coeficiente de temperatura em um projeto de sistema fotovoltaico. Painel fotovoltaico precisa de luz e o dia perfeito para uma produção eficiente seria um dia ensolarado com um clima mais típico para o inverno." (PAZINATTO, 2020, p. 1).

De acordo com APPELBAUM (2016) A temperatura de operação das células solares afeta a saída de energia elétrica do sistema, portanto, pode influenciar a relação custo-benefício das instalações fotovoltaicas. Ao comparar o desempenho dos painéis bifaciais com os Monofaciais, a temperatura de operação dos painéis precisa ser discutida.

“A temperatura de operação de uma célula fotovoltaica é uma variável importante a ser observada durante sua operação uma vez que essa altera as características elétricas de operação desses dispositivos. O aumento da temperatura provoca uma diminuição proporcional na tensão de saída e um pequeno incremento na corrente, para baixos valores de tensão.” (BELTRÃO, 2008).

Ainda de acordo com BELTRÃO (2008), ao influenciar de maneira direta na operação da célula, a temperatura é um importante parâmetro de monitoramento para caracterização de uma planta fotovoltaica.

Segundo LAMERS, M. W. P. E. et al. (2018) um argumento possível para as instalações é que a absorção extra de luz por um painel bifacial gera um aumento maior na temperatura do módulo, afetando negativamente em sua potência total de saída e reduzindo seu rendimento. Ainda de acordo com LAMERS, M. W. P. E. et al. (2018), outro argumento passível seria de que a transmissão de luz infravermelha através dos painéis bifaciais é maior, assim, os painéis ficarão mais frios, aumentando assim sua eficiência.

"Como as células bifaciais têm coeficiente de temperatura mais baixo, elas têm melhor desempenho em regiões de alta temperatura. O custo dos painéis bifaciais é semelhante aos monofaciais, porém, como produzem mais energia, o custo nivelado é menor." (APPELBAUM, 2016, p. 341).

Para PATEL, M. T. et al. (2020) os painéis bifaciais têm um coeficiente de temperatura mais baixo em comparação com os painéis monofaciais em específicas fazendas solares (conjunto de painéis fotovoltaicos instalados no campo ou área rural), assim, esse modelo é mais vantajoso para uma saída de energia mais estável em relação as variações de temperatura ambiente.

"A temperatura em um sistema fotovoltaico altera negativamente a sua eficiência. O aumento da temperatura provoca uma diminuição do valor da tensão e, conseqüentemente, haverá a diminuição da potência e da eficiência." (Michels, R. N. et al., 2010, p. 110).

Em síntese, os autores denotam que a temperatura ambiente é uma variável que interfere nos resultados provenientes de um sistema fotovoltaico, denotando que quanto maior a sua temperatura, menor será sua eficiência. Os autores também comentam sobre as diferenças entre um painel monofacial e um bifacial, enfatizando que esses modelos apresentam diferentes comportamentos ao serem aquecidos

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivos Gerais

Analisar qual o impacto da variação da temperatura ambiente na eficiência energética entre um painel fotovoltaico bifacial e um painel fotovoltaico monofacial.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Simular a geração dos painéis fotovoltaicos através do *software* PVsyst;
- Confeccionar um circuito para converter a tensão e corrente de saída dos painéis fotovoltaicos para um valor aceito pelo microcontrolador;
- Obter dados de geração do painel fotovoltaico monofacial;
- Obter dados de geração do painel fotovoltaico bifacial;
- Obter dados de temperatura ambiente através de um sensor;
- Desenvolver um algoritmo para a coleta e registro dos dados obtidos pelo microcontrolador;
- Realizar um estudo comparativo de geração e eficiência entre o painel fotovoltaico bifacial e o painel fotovoltaico monofacial;
- Comparação de dados obtidos com a simulação realizada no PVsyst;
- Realizar um estudo sobre a influência da temperatura na eficiência entre o painel fotovoltaico bifacial o painel fotovoltaico monofacial.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 SIMULAÇÃO

Simular um projeto é importante porque permite a formação de cenários e orienta o processo de tomada de decisão, onde é possível minimizar os riscos e aumentar as chances de sucesso.

Sabendo disso, utilizou-se o *software* PVsyst, que tem licença gratuita por 30 dias, a fim de se simular a situação semelhante a este projeto para se obter dados de base para o estudo.

Segundo PVSYST... (2020), O PVsyst (*Photovoltaic Software*) é o *software* de projetos fotovoltaicos mais completo e preciso do mercado. Oferece uma série de recursos, desde simulações e cálculos à emissão de relatórios e documentações técnicas.

Para se efetuar a simulação, o primeiro passo foi escolher a localização do projeto, no *software* definiu-se Goiás como estado e Jataí como cidade para a localização.

Com a definição da cidade, o *software* reconhece automaticamente as coordenadas do local onde será localizado os painéis fotovoltaicos, como ilustra a Figura 1.

Figura 1 — Localização da simulação

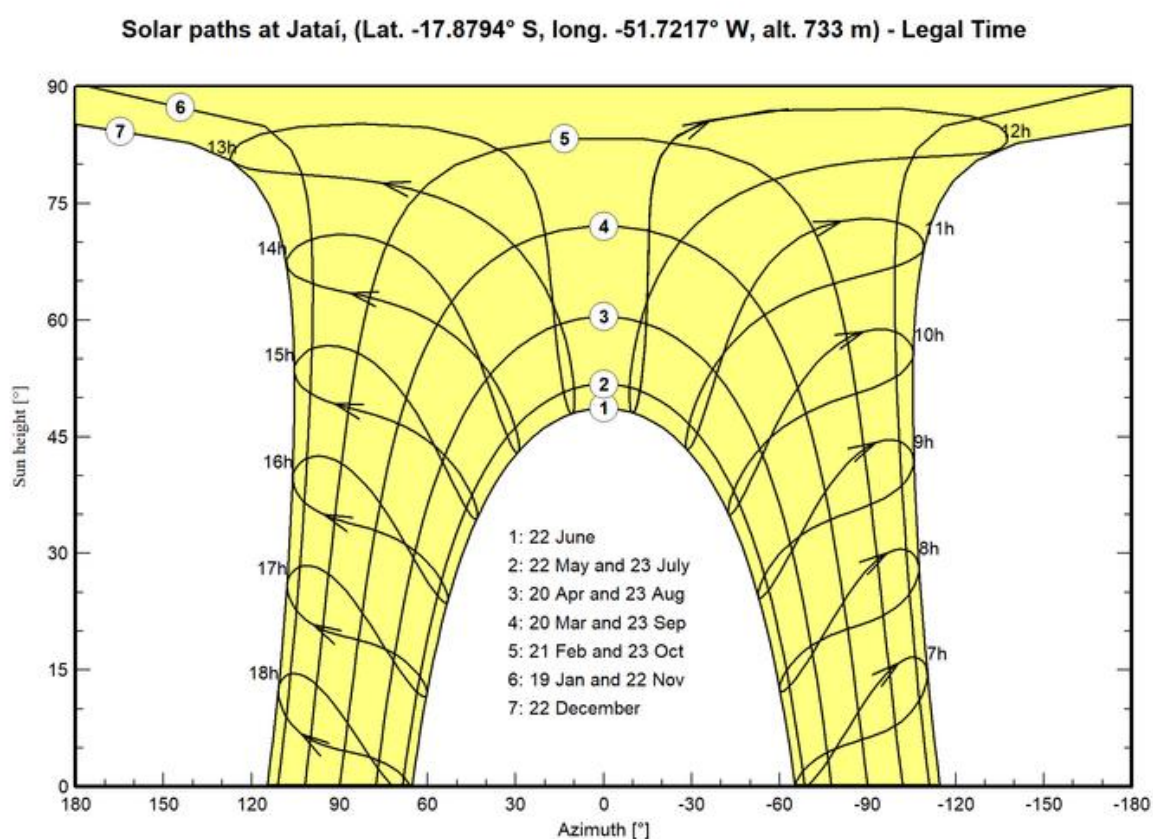
The screenshot displays the PVsyst software interface for setting up a simulation location. The 'Location' section at the top includes a 'Site name' field with 'Jataí' entered, a 'Country' dropdown menu set to 'Brazil', and a 'Region' dropdown menu set to 'South America'. A 'Get from coordinates' button is visible. Below this, the 'Geographical Coordinates' section shows a 'Sun paths' button and input fields for Latitude (-17.8794), Longitude (-51.7217), and Altitude (733). The 'Meteo data Import' section on the right lists various data sources, with 'Meteonorm 8.1' selected. A red banner at the top right of the interface reads: 'Please import the monthly meteo data (from Meteonorm, Nasa, PVGIS, NREL, Solcast or manually)'.

Fonte: O autor (2023).

Após escolher a localização, o *software* permite a escolha de um banco de dados pelo usuário, para que assim, este realize uma busca pelos índices de incidência solar em diversos aspectos, o banco de dados escolhido foi o do Meteororm 8, que consegue fornecer dados meteorológicos precisos.

Com a escolha do banco de dados, o *software* fornece os horários, orientação e caminhos do sol sobre diversas épocas do ano para o local selecionado, conforme a Figura 2 e a Figura 3.

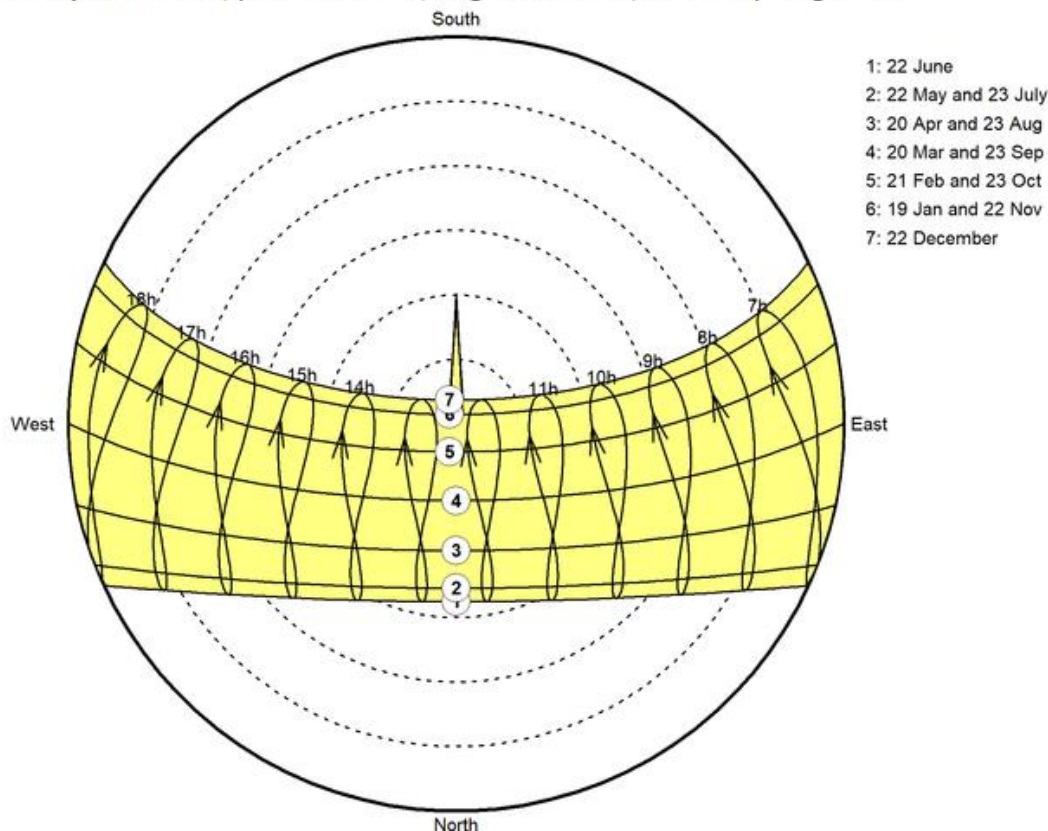
Figura 2 — Altura do sol em relação ao horário e época do ano



Fonte: PVSYST (2023).

Figura 3 — Inclinação do sol em relação ao horário e época do ano

Solar paths at Jataí, (Lat. -17.8794° S, long. -51.7217° W, alt. 733 m) - Legal Time



Fonte: PVSYST (2023).

Dados mais completos, estão apresentados no ANEXO C, contendo dados sobre previsão da velocidade do vento e previsão da temperatura ambiente.

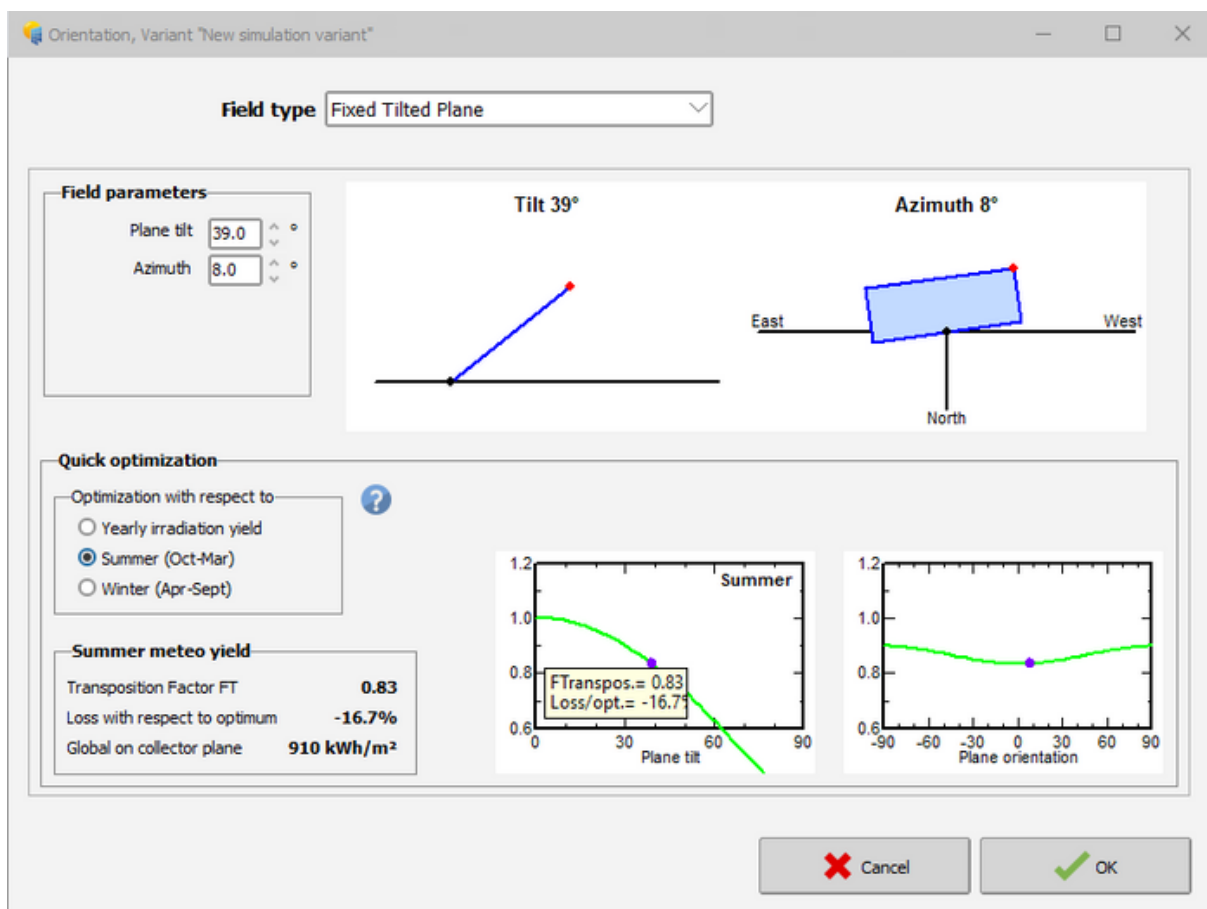
Observando a Figura 3, nota-se que em maior parte do ano, na cidade de Jataí, a inclinação do Sol se encontra voltada para o Norte Geográfico, que justifica a instalação dos painéis orientados nesta direção.

Após apresentar os caminhos do sol para a localização desejada, o *software* solicita a orientação geográfica dos módulos, onde 0° é o Norte Geográfico. O dado de entrada foi 8° a Oeste geográfico, que corresponde a instalação física da estrutura que irá sustentar os painéis fotovoltaicos.

Outro dado que o *software* solicita, é a inclinação do solo em que os painéis irão ser instalados. O dado de entrada foi uma inclinação vertical de 39°, que também coincide com a instalação física da estrutura que irá sustentar os painéis fotovoltaicos.

Segue na Figura 4 a demonstração da instalação.

Figura 4 — Orientação e Inclinação da instalação



Fonte: O autor (2023).

Após fornecer os dados de orientação e inclinação para o programa, a opção *Summer* foi selecionada, para que a *software* otimize a simulação para o período entre outubro e março, que é o intervalo onde os dados serão coletados.

Por fim, o *software* solicita o modelo dos painéis que serão instalados para efetuar a simulação, como não foram encontrados os modelos utilizados no projeto, que são o AMERISOLAR AS-6M144-BT-450W para o painel fotovoltaico bifacial e, o SUNOVA SS-450-72MDH no banco de dados do PVSyst, utilizou-se um painel com características semelhantes para a obtenção da irradiação solar, painel escolhido foi um genérico do *software*, também de 450 Wp, conforme a Figura 5.

Figura 5 — Condições de Operação

Pre-sizing Help
Enter planned power 0.0 kWp

DC-grid characteristics
Main power supply nominal voltage 1 V
Maximum (safety) voltage at the PV array output 1 V
PV to User Line Ohmic Losses 0.0 mΩ
Power supply to user line resistance 0.0 mΩ

Regulation behaviour at Vmax
☒ General cut
☐ Cut of module strings
☐ Cut of modules in serie

Select modules
Available Now
_Generic 450 Wp 35V Si-mono Mono 440 Wp Twin 144 half-cells
Approx. needed modules 0 Sizing voltages : Vmpp (50°C) 38.6 V
Voc (-10°C) 48.0 V

PV Array design
1 Modules in series ☒ Automat Operating conditions
1 modules in parallel
☐ Automat
Vmpp (50°C) 39 V
Voc (-10°C) 48 V
Imp (50°C) 10 A
Isc (50°C) 11 A
Array's operating power 0.4 kW (50°C)
Array's nominal power 0.5 kWp
Number of modules 1

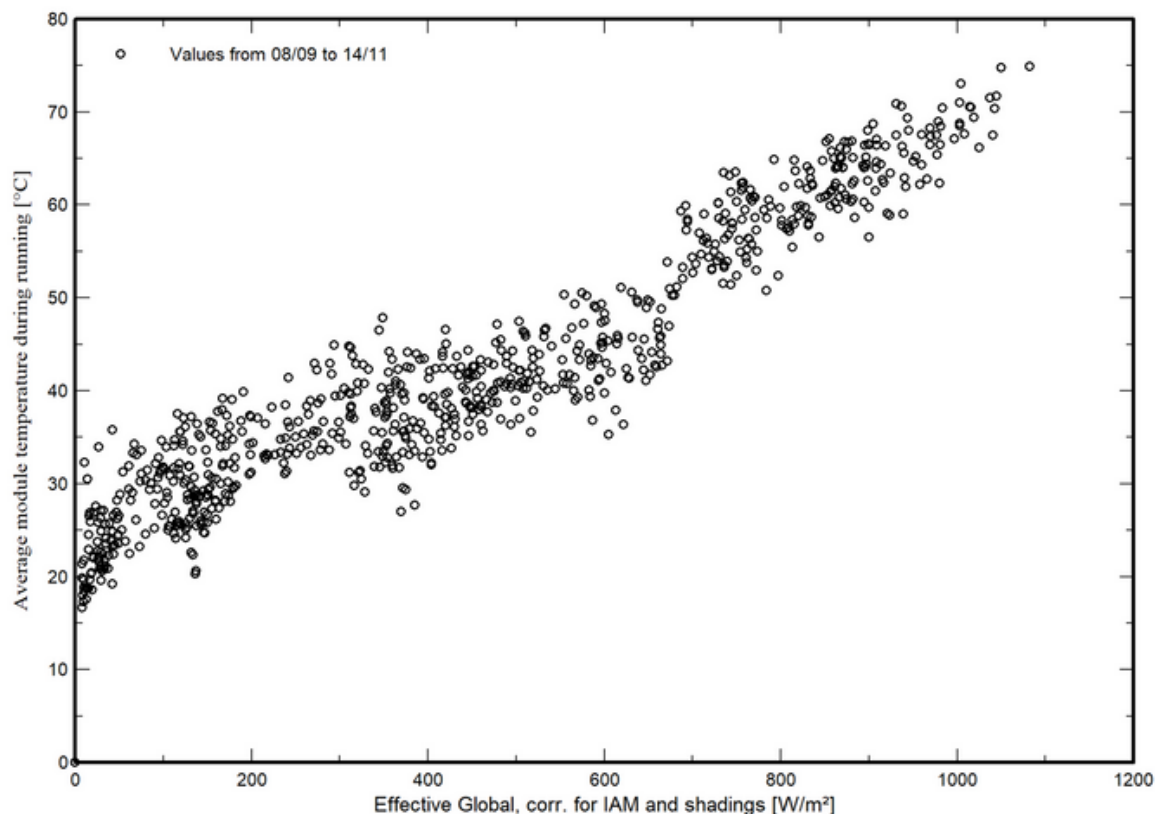
Cancel OK

Fonte: O autor (2023).

Por fim, foi solicitado ao *software* que simulasse a irradiação solar sobre as placas *versus* sua temperatura para as condições citadas acima. O período estipulado para a simulação foi o intervalo entre 08/09/2022 e 14/11/2022, valor escolhido para coincidir com o período em que os dados foram coletados pelos painéis fotovoltaicos.

Após processar a simulação, o *software* retornou com o seguinte gráfico, apresentado na Figura 6, onde é possível notar uma relação linear entre irradiação solar e a temperatura..

Figura 6 — Irradiação *versus* Temperatura



Fonte: O autor (2023).

2.2 INSTALAÇÃO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

A instalação dos painéis fotovoltaicos foi executada de acordo com a simulação efetuada no tópico anterior, para isso, foi realizada a montagem de duas estruturas utilizando canos de PVC, cola para plástico, junções T e curvas de 90° para interligar as tubulações, sendo estes materiais de baixo custo e fácil instalação.

As duas estruturas foram montadas de forma semelhante, para que não houvesse interferência na comparação de geração dos dois painéis fotovoltaicos.

Ao finalizar a montagem das estruturas, forrou-se o local de instalação com uma lona branca, almejando maior reflexão posterior para o painel fotovoltaico bifacial.

O local de instalação da estrutura confeccionada foi entre o Bloco 300 e 400 do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Campus Jataí, Unidade Flamboyant, que fica na Alameda Santos Dumont, 775 - Residencial Flamboyant, Jataí - GO, 75804-714.

Figura 8 — Painéis fotovoltaicos instalados sobre a estrutura



Fonte: O autor (2023).

O Datasheet para o painel fotovoltaico monofacial SUNOVA SS-450-72MDH se encontra no ANEXO A e o *Datasheet* para o painel fotovoltaico bifacial AMERISOLAR AS-6M144-BT-450W se encontra no ANEXO B.

A inclusão de tijolos e amostras de concreto sobre a lona branca foi necessário para a fixação da mesma sobre o solo, a fim de evitar que ventos fortes deslocassem a lona de lugar.

Também foi necessário colocar tijolos abaixo da estrutura de PVC por conta do declive encontrado no local da instalação, fornecendo um maior nivelamento para a estrutura.

Além dos tijolos, para uma maior fixação dos painéis a estrutura, foram utilizadas abraçadeiras de nylon para unir os painéis com a estrutura.

2.3 CONFECÇÃO DO CIRCUITO ELETRÔNICO

A partir da instalação de ambos os painéis fotovoltaicos, se deu início a confecção do circuito eletrônico, que tem por objetivo coletar os seguintes sinais:

- Tensão fornecida pelo Painel Fotovoltaico monofacial
- Tensão fornecida pelo Painel Fotovoltaico bifacial
- Corrente Fornecida pelo Painel Fotovoltaico monofacial
- Corrente Fornecida pelo Painel Fotovoltaico bifacial
- Temperatura Ambiente abaixo dos painéis fotovoltaicos

2.3.1 Materiais Utilizados

Para a construção do circuito eletrônico, foram utilizados os seguintes materiais:

- 02 Resistores de 10K Ω .
- 02 Resistores de 120K Ω .
- 02 Resistores de 68 Ω .
- 02 Reostato de 50 Ω , 1000W.
- 02 Sensores por efeito Hall.
- 02 Amperímetros Analógicos.
- 01 Microcontrolador Arduino UNO.
- 01 Fonte VCC (+15V / -15V).
- 01 Fonte VCC 5V.
- 01 Sensor de temperatura analógico.
- 01 Protoboard.
- Cabos de telefone.
- Ferramentas de uso geral.
- Ferro de Solda.
- Estanho.
- Jumpers.

2.3.2 Diagrama Esquemático

A fim de se demonstrar o circuito eletrônico de uma maneira visual e simples, um diagrama esquemático foi elaborado no *software* de uso livre EasyEDA, o diagrama contempla desde a alimentação fornecida pelos painéis fotovoltaicos instalados até a entrada de dados no Arduino UNO.

O Diagrama elaborado se encontra no APÊNDICE A.

2.3.3 Instalação

A montagem do circuito eletrônico inicia-se com a conexão dos cabos de alimentação aos terminais de saída dos painéis fotovoltaicos instalados, a fim de transportar a energia gerada pelos painéis até o Laboratório de Eletrônica Digital e Analógica, onde a coleta de dados foi realizada.

Cada painel tem dois conectores para alimentação, um positivo e o outro negativo. Sendo assim, foram necessários 04 Cabos de 4 mm² para levar a energia gerada pelos painéis até o laboratório, conforme a Figura 9, que demonstra o conector negativo circulado em azul e o conector positivo circulado em vermelho, ao meio, está o sensor de temperatura analógico, que será mencionado posteriormente.

Figura 9 — Conectores (positivo e negativo) do painel fotovoltaico bifacial



Fonte: O autor (2023).

Ao chegar com os cabos de alimentação no Laboratório de Eletrônica Analógica e Digital, eles foram passados por dois sensores de corrente que funcionam por efeito Hall.

O motivo para se instalar o sensor por efeito Hall é a necessidade de analisar a corrente fornecida por cada painel fotovoltaico. É necessário converter o sinal de corrente fornecido pelos painéis em um sinal de tensão entre 0 V e 5 V para que o microcontrolador Arduino Uno consiga identificar os valores de entrada.

Esses dispositivos são capazes de converter valores de corrente em valores de tensão em um circuito fechado com mesma proporção linear. A corrente gerada pelo painel fotovoltaico I_p , considerando uma V_p (tensão de pico) de 42 V e uma resistência de carga de aproximadamente $30\ \Omega$, o valor da corrente do painel é de aproximadamente 1,4 A, e ao converter esse valor em tensão através do efeito Hall, um sinal de no máximo 1,4 V é obtido, o que é aceito pelo microcontrolador Arduino.

Os sinais fornecidos pelo sensor por efeito Hall foram conectados nas portas A5 (Painel monofacial) e A3 (Painel bifacial) do microcontrolador, servindo como sinais de entrada de corrente do projeto.

Ao passar pelos sensores, a alimentação foi conectada a dois amperímetros, um dedicado ao painel fotovoltaico monofacial e o outro dedicado ao painel fotovoltaico bifacial.

Após passar pelos amperímetros, a alimentação de cada painel seguiu para um reostato de $50\ \Omega$, 1000 W, estes que foram configurados para uma resistência de aproximadamente $30\ \Omega$ e serviram como a carga para o circuito elaborado, simulando um sistema *off grid*. Ao fim de cada reostato a ligação retorna para os painéis fotovoltaicos, fechando o circuito.

Em paralelo com a carga, conectou-se dois resistores em série, um de $10\ K\Omega$ e outro de $120\ K\Omega$, formando assim um divisor de tensão resistivo, que tem como finalidade de obter uma imagem reduzida da tensão gerada pelo painel fotovoltaico.

Um dos principais motivos para a confecção do divisor de tensão é que o microcontrolador Arduino utilizado para processar os dados tem portas de entrada somente para sinais de tensão que suportam até 5 V. No entanto, os painéis solares geram tensão superior a esse valor, cerca de 42 Vp, tornando necessário reduzir essa tensão para que o Arduino possa ler os dados fornecidos pelos painéis.

A redução de tensão para essa ligação segue um fator. Aplicando a tensão máxima fornecida pelos painéis fotovoltaicos (42 V) ao fator de redução, obtemos um sinal com valor máximo de 3,32V.

Os sinais fornecidos pelos divisores de tensão foram conectados nas portas A0 (Painel monofacial) e A1 (Painel bifacial) do microcontrolador Arduino Uno, servindo como sinal de entrada para os sinais de tensão no projeto.

Para se medir a temperatura ambiente logo abaixo dos painéis, um sensor analógico de temperatura e umidade do modelo DS18B20 foi utilizado, no Anexo D se encontra o *Datasheet* dele. O sensor foi conectado abaixo dos painéis fotovoltaicos para se obter uma temperatura aproximada das placas fotovoltaicas. Para alimentar o sensor, utilizou-se uma fonte de tensão de 5 Vdc.

A fonte de tensão de 5 Vdc foi alimentada no laboratório de Eletrônica Analógica, e o sinal de tensão foi levado ao sensor através de cabos telefônicos. O sinal analógico fornecido pelo sensor foi encaminhado novamente ao laboratório, também através de cabo rígido para sinal.

Todo esse processo de montagem do circuito é essencial para a coleta precisa e confiável de dados dos painéis solares e sua eficiente utilização.

2.4 CONFEÇÃO DO ALGORITMO PARA REALIZAR O TRATAMENTO E ARMAZENAGEM DE DADOS

O uso do microcontrolador Arduino Uno permitiu a entrada de dados de diversas fontes, tornando essencial a confecção de um código para tratar os sinais de entrada, convertê-los em valores reais e armazená-los no *software* Excel, instalado no notebook. O algoritmo foi criado utilizando a linguagem de programação disponível no *software* gratuito Arduino IDE.

A primeira etapa para a criação do código foi a inclusão da biblioteca dht.h, que realiza o processo de coleta, tanto da temperatura, como umidade, transmitidas do sensor analógico DS18B20.

Para se coletar a tensão fornecida pelo divisor de tensão relativo ao painel fotovoltaico monofacial, definiu-se a porta analógica A0 definida como variável "sensorTensaoMono".

Para se coletar a tensão fornecida pelo divisor de tensão relativo ao painel fotovoltaico bifacial, definiu-se a porta analógica A1 como variável "sensorTensaoBI".

Para se coletar o sinal fornecido pelo efeito hall, relativo à corrente do painel fotovoltaico monofacial, definiu-se a porta analógica A5 como variável "sensorCorrenteMono"

Para se coletar o sinal fornecido pelo efeito hall, relativo à corrente do painel fotovoltaico bifacial, definiu-se a porta analógica A3 como variável "sensorCorrenteBI"

Para se coletar o sinal fornecido pelo sensor de temperatura e umidade, definiu-se a porta analógica A4 como variável "dht_apin"

Outras variáveis declaradas para a construção do código podem ser conferidas no APÊNDICE B.

Após iniciar as portas seriais, o algoritmo entra no *loop* principal para a coleta de dados (Void Loop). Após zerar diversos fatores de cálculo, inicia-se uma coleta de valores para tensão e corrente, realizando um total de 160 amostragens num período de 40 segundos, as amostragens coletadas são:

- 40 amostragens de tensão do painel monofacial
- 40 amostragens de tensão do painel bifacial
- 40 amostragens de corrente do painel monofacial
- 40 amostragens de corrente do painel bifacial

Como os valores de entrada no Arduino sofreram uma redução para um valor abaixo de 5 V, foi necessário aplicar um fator de conversão constante no algoritmo para que os valores lidos voltassem a se assimilar com a real geração dos painéis. Durante as primeiras amostragens, os valores de tensão e de corrente lidos pelo arduino foram comparados com os valores reais analisados simultaneamente conectados na carga através de um multímetro.

Ao se dividir o valor lido pelo multímetro com o valor apresentado pelo Arduino, encontramos o fator de multiplicação que seria necessário para que os valores registrados se espelhassem na realidade. Tais fatores podem ser conferidos no APÊNDICE B

Todas as amostras foram somadas e divididas pela quantidade total (40), encontrando a média dos valores lidos, obtendo assim um valor mais preciso para a tensão e corrente de cada painel.

Para a temperatura, foram coletadas 19 amostras com um intervalo de 0,4 segundo entre cada amostra. Após coletar as amostras, a moda do vetor foi utilizada como referência para o valor de temperatura, evitando erros de medição e apresentando um valor mais preciso.

Para transferir os valores coletados para uma planilha do Excel, foi necessário instalar um *plug-in* no notebook responsável pelo armazenamento do banco de dados. Esse *plug-in* rastreia o *serial.print* do Arduino através de uma conexão USB e transfere os valores como caracteres digitados. Além disso, foi necessário configurar o *plug-in* para que a cada linha digitada, a próxima iteração fosse realizada em uma nova linha do Excel.

Dessa forma, a cada minuto uma nova linha é criada na planilha, armazenando os valores coletados: tensão e corrente do painel fotovoltaico monofacial e bifacial, temperatura e umidade ambiente. Com isso, é possível analisar e monitorar de forma mais precisa o desempenho dos painéis e do ambiente em que estão inseridos.

2.5 ARMAZENAMENTO DE DADOS

Os dados, após serem processados pelo microcontrolador, foram armazenados em uma planilha do Excel por 67 dias seguidos. A coleta de dados apresentou falhas, um dos motivos foram as atualizações inesperadas no *notebook*, esse que deveria ficar o tempo todo ligado, outros motivos para casos em que os dados não foram colhidos foram causados por mau contatos ocasionados pelo clima, com o vento, os componentes e cabeamentos acabavam se deslocando, ocasionando falhas na coleta de dados.

Quando falhas na coleta de dados eram apresentadas, se fazia necessário manutenções corretivas no circuito, para assim dar continuidade no processo de coleta e compilação de dados para levantamento de geração de cada painel fotovoltaico.

No dia 14/11/2022 se findou a coleta de dados do circuito desenvolvido, a partir deste ponto, os dados foram compilados e tratados no Excel, para se remover possíveis erros de medição do banco de dados gerado.

Para a busca e remoção de possíveis valores anormais, foram aplicados os seguintes filtros nos dados:

- Dados que apresentavam corrente abaixo de 0,1 A foram excluídos.
- Dados que apresentavam corrente acima de 3 A foram excluídos.
- Tensões abaixo de 1 V foram excluídas.
- Tensões acima de 100 V foram excluídas.
- Dados fora do intervalo entre 5 horas e 19 horas foram excluídos.
- Quando a temperatura se manteve a mesma por mais de 120 ciclos seguidos, os dados foram excluídos.
- O intervalo para temperatura foi definido apenas para temperaturas que tiveram mais que 100 recorrências no banco de dados, assim, foi definido que o limite inferior para a temperatura seria de 21 °C e o limite superior seria de 50 °C, mantendo assim uma maior garantia para resultados homogêneos nesta pesquisa.

Após aplicar estes filtros nos dados colhidos ao longo do projeto, é possível se obter resultados mais homogêneos, onde foram encontradas 11.595 amostras válidas, estas que serão utilizadas para as análises deste projeto.

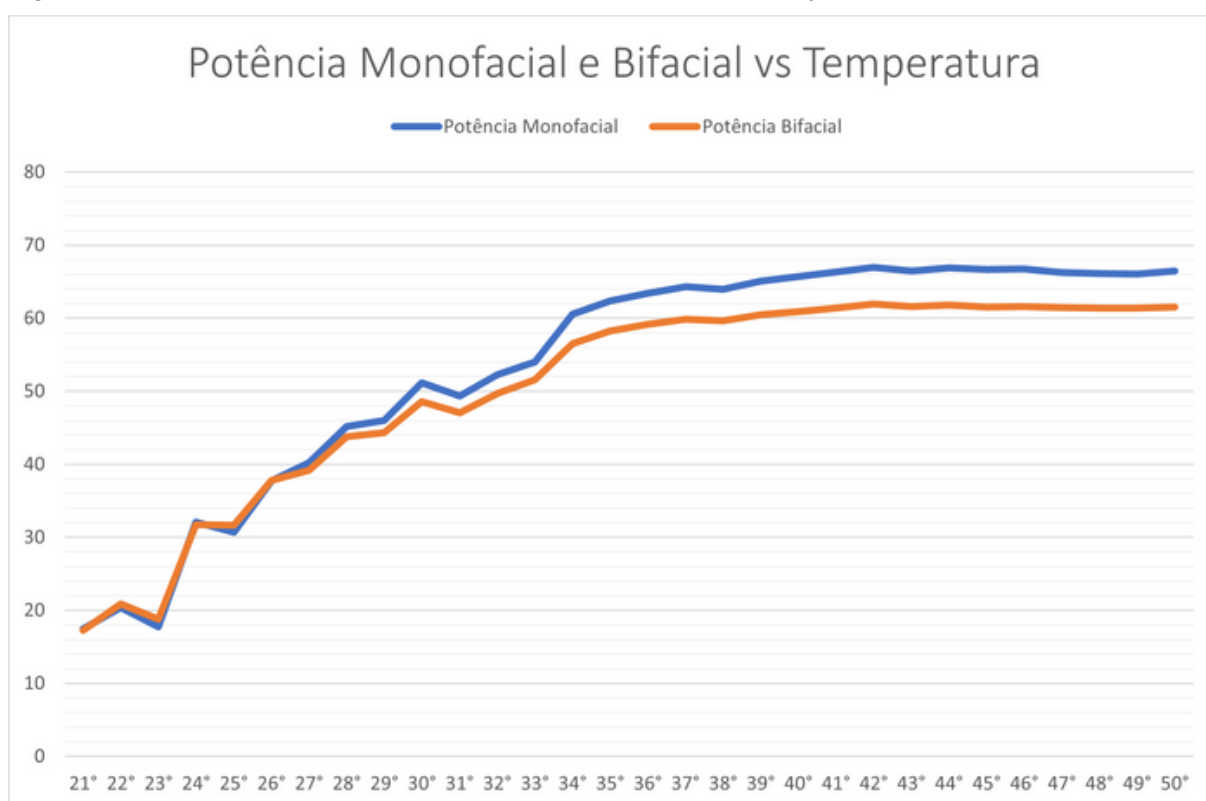
3 RESULTADOS

3.1 LEVANTAMENTO DA POTÊNCIA MÉDIA DE CADA PAINEL FOTOVOLTAICO DE ACORDO COM A TEMPERATURA AMBIENTE

A primeira análise realizada, foi a relação encontrada entre a potência apresentada entre os reostatos que serviram de carga para o painel fotovoltaico em comparação com os valores de temperatura ambiente captadas pelo sensor de temperatura analógico.

Com estas definições, pode-se gerar o gráfico apresentado na Figura 10, onde os valores de potência (P) se encontram na esquerda (Eixo Y) e os valores de temperatura se encontram na parte inferior (Eixo X).

Figura 10 — Potência dos Painéis monofacial e bifacial *versus* Temperatura



Fonte: O autor (2023).

Ao se analisar o gráfico, é possível notar que para temperaturas de 21°C até 28°C, os valores de Potência entre os painéis fotovoltaicos permaneceram quase idênticos, porém, a partir da temperatura de 29°C, nota-se que a potência na carga do

painel fotovoltaico monofacial começou a apresentar maiores valores que a potência apresentada na carga do painel fotovoltaico bifacial.

A partir da temperatura de 42°C até o valor final de 50°C, a diferença de potência apresentada nas cargas demonstrou um valor mais estável, de aproximadamente 5 W.

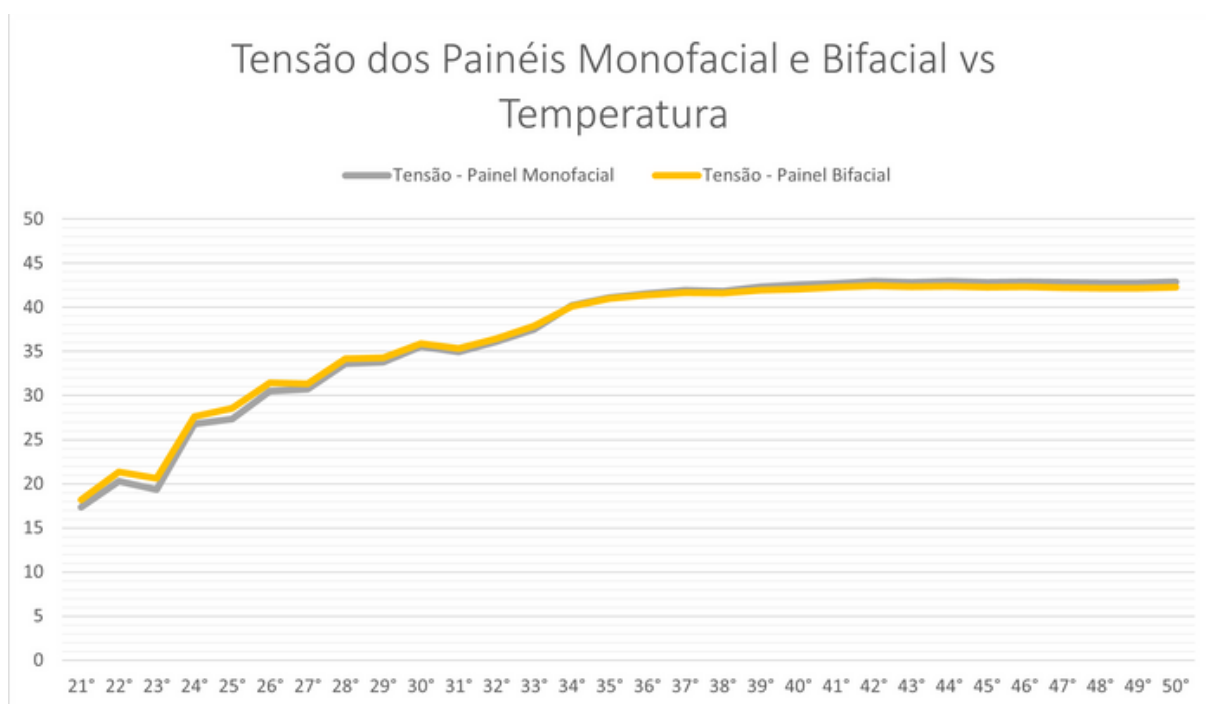
Também é possível perceber uma leve perda de potência nos maiores valores de temperatura.

3.2 LEVANTAMENTO DA TENSÃO MÉDIA DE CADA PAINEL FOTOVOLTAICO DE ACORDO COM A TEMPERATURA AMBIENTE

A segunda análise realizada, foi a relação encontrada entre a tensão apresentada na carga instalada no painel fotovoltaico monofacial e a tensão apresentada na carga instalada no painel fotovoltaico bifacial, de acordo com os valores de temperatura ambiente captadas pelo sensor de temperatura analógico.

Com estas definições, pode-se gerar o gráfico apresentado na Figura 11, onde os valores de tensão (V) se encontram na esquerda no eixo (Y) e os valores de temperatura se encontram na parte inferior, no eixo (X).

Figura 11 — Tensão dos Painéis monofacial e bifacial *versus* Temperatura



Fonte: O autor (2023).

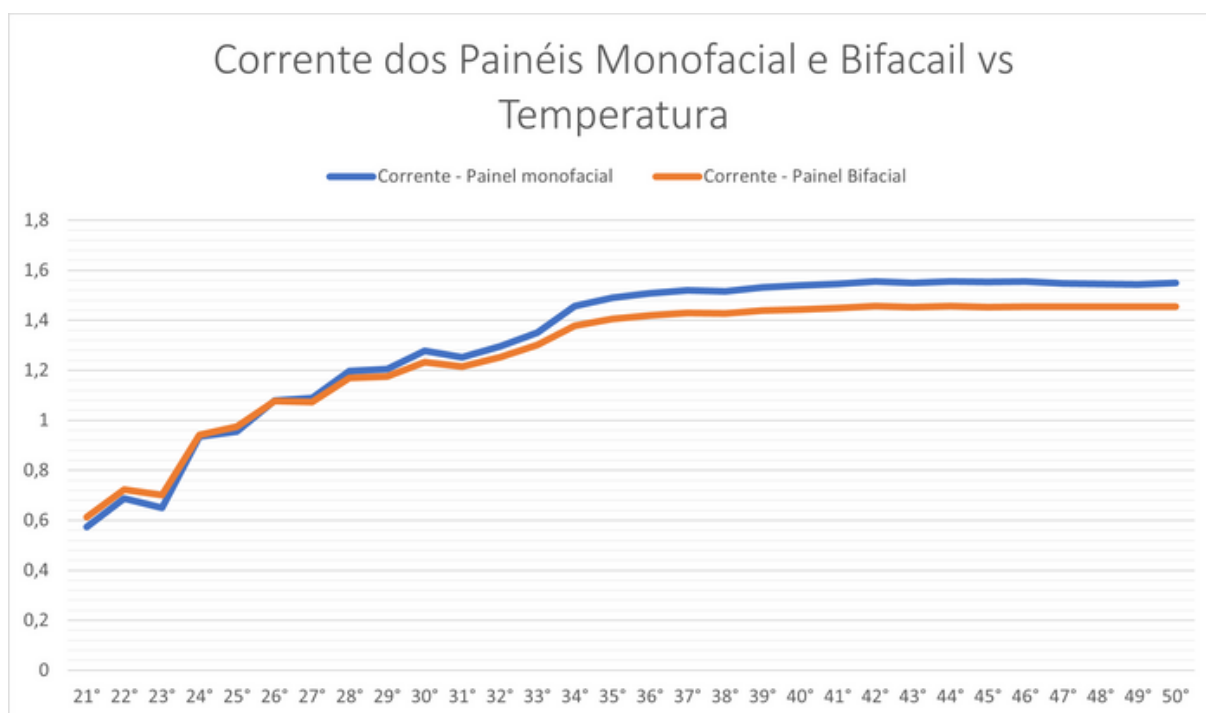
Ao se analisar o gráfico, é possível notar que a tensão fornecida pelos painéis fotovoltaicos foi praticamente idêntica, onde a tensão do painel bifacial apresentou leve vantagem para baixos valores de temperatura, enquanto o painel monofacial apresentou leve vantagem para maiores valores de temperatura.

3.3 LEVANTAMENTO DA CORRENTE MÉDIA DE CADA PAINEL FOTOVOLTAICO DE ACORDO COM A TEMPERATURA AMBIENTE

A terceira análise realizada, foi a relação encontrada entre a corrente que passava pela carga instalada no painel fotovoltaico monofacial e a tensão apresentada na carga instalada no painel fotovoltaico bifacial, de acordo com os valores de temperatura ambiente captadas pelo sensor de temperatura analógico.

Com estas definições, pode-se gerar o gráfico apresentado na Figura 12, onde os valores de Corrente (A) se encontram na esquerda no eixo (Y) e os valores de temperatura (°C) se encontram na parte inferior, no eixo (X).

Figura 12 — Corrente dos Painéis monofacial e bifacial *versus* Temperatura



Fonte: O autor (2023).

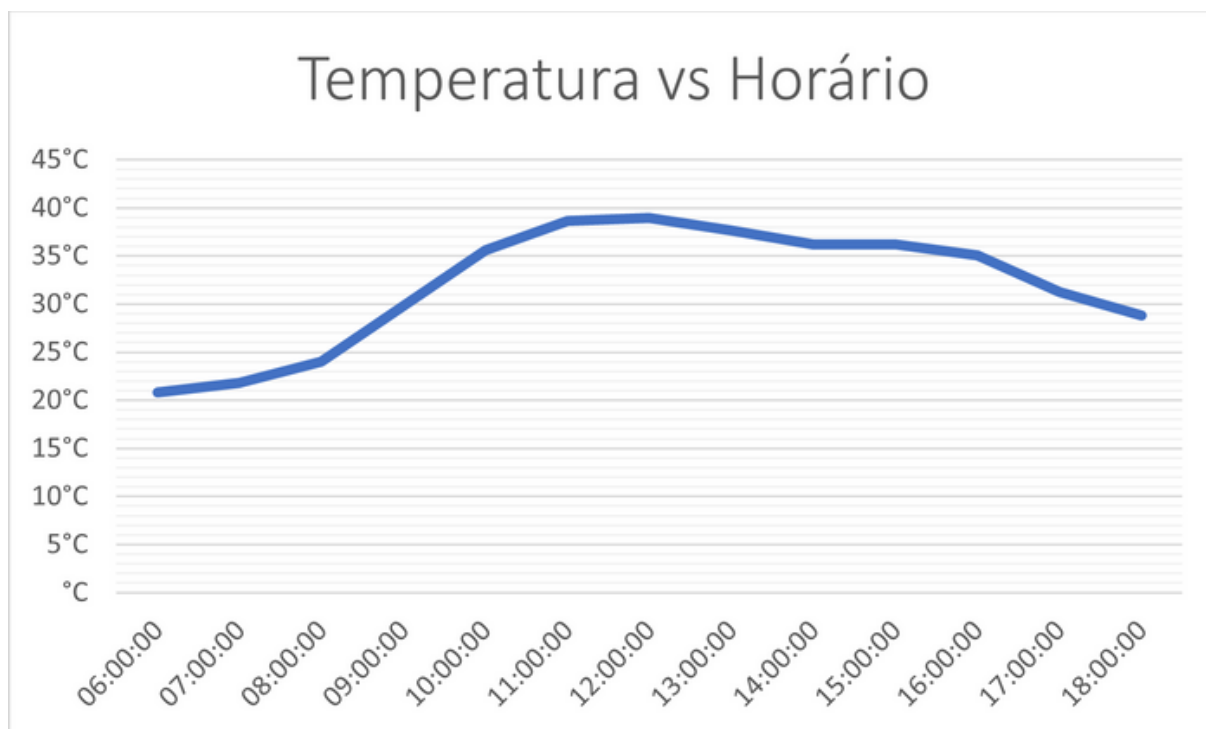
Ao se analisar o gráfico, é possível notar certa semelhança com o gráfico da potência *versus* temperatura, onde entre as temperaturas de 21°C e 26°C, os valores de corrente fornecidos pelo painel fotovoltaico bifacial apresentam leve vantagem e a partir da temperatura de 26°C, nota-se que a corrente na carga do painel fotovoltaico monofacial começou a apresentar maiores valores que a corrente apresentada na carga do painel fotovoltaico bifacial.

A partir da temperatura de 38°C até o valor final de 50°C, a diferença de corrente fornecida pelos painéis demonstrou um valor mais estável, de aproximadamente 0,1 A.

3.4 LEVANTAMENTO DA TEMPERATURA AMBIENTE MÉDIA DE ACORDO COM O HORÁRIO

A quarta análise realizada, foi o levantamento de temperatura média por horário em que os dados foram coletados e armazenados, gerando-se o gráfico apresentado na Figura 13, onde os valores de temperatura se encontram na esquerda (Eixo Y) e os horários se encontram na parte inferior (Eixo X).

Figura 13 — Temperatura *versus* horário



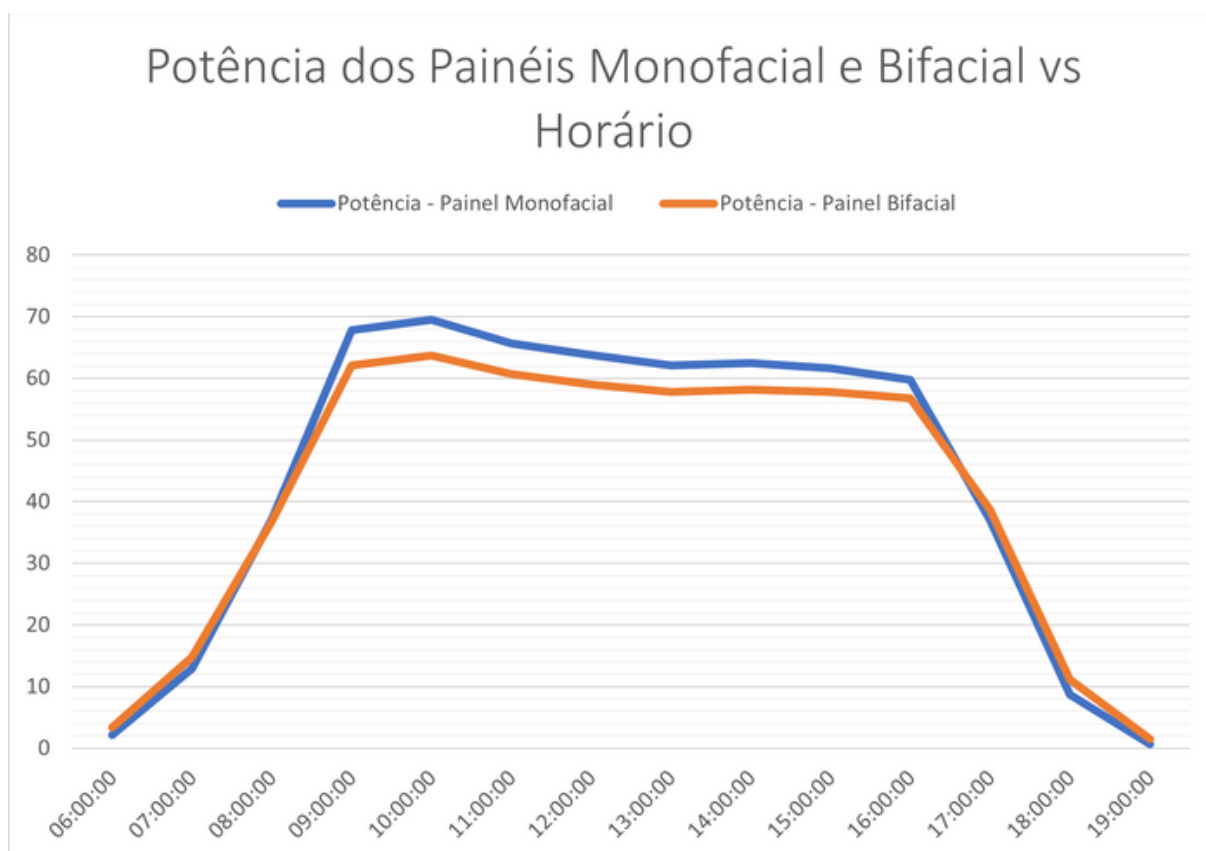
Fonte: O autor (2023).

3.5 LEVANTAMENTO DA POTÊNCIA MÉDIA DE CADA PAINEL FOTOVOLTAICO DE ACORDO COM O HORÁRIO

A quinta análise realizada, foi a relação encontrada entre a potência fornecida por cada painel fotovoltaico de acordo com o horário em que os dados foram coletados e armazenados.

Com estas definições, pode-se gerar o gráfico apresentado na Figura 14, onde os valores de potência (P) se encontram na esquerda (Eixo Y) e os horários se encontram na parte inferior (Eixo X).

Figura 14 — Potência dos Painéis monofacial e bifacial *versus* horário



Fonte: O autor (2023).

Ao se analisar o gráfico, é possível notar que entre às 09:00h e 16:00h obteve-se as maiores médias de potência em ambos painéis fotovoltaicos, onde o pico se apresentou às 10h, com uma média de aproximadamente 70 W fornecidos pelo painel fotovoltaico monofacial e uma média de aproximadamente 64W fornecidos pelo painel fotovoltaico bifacial.

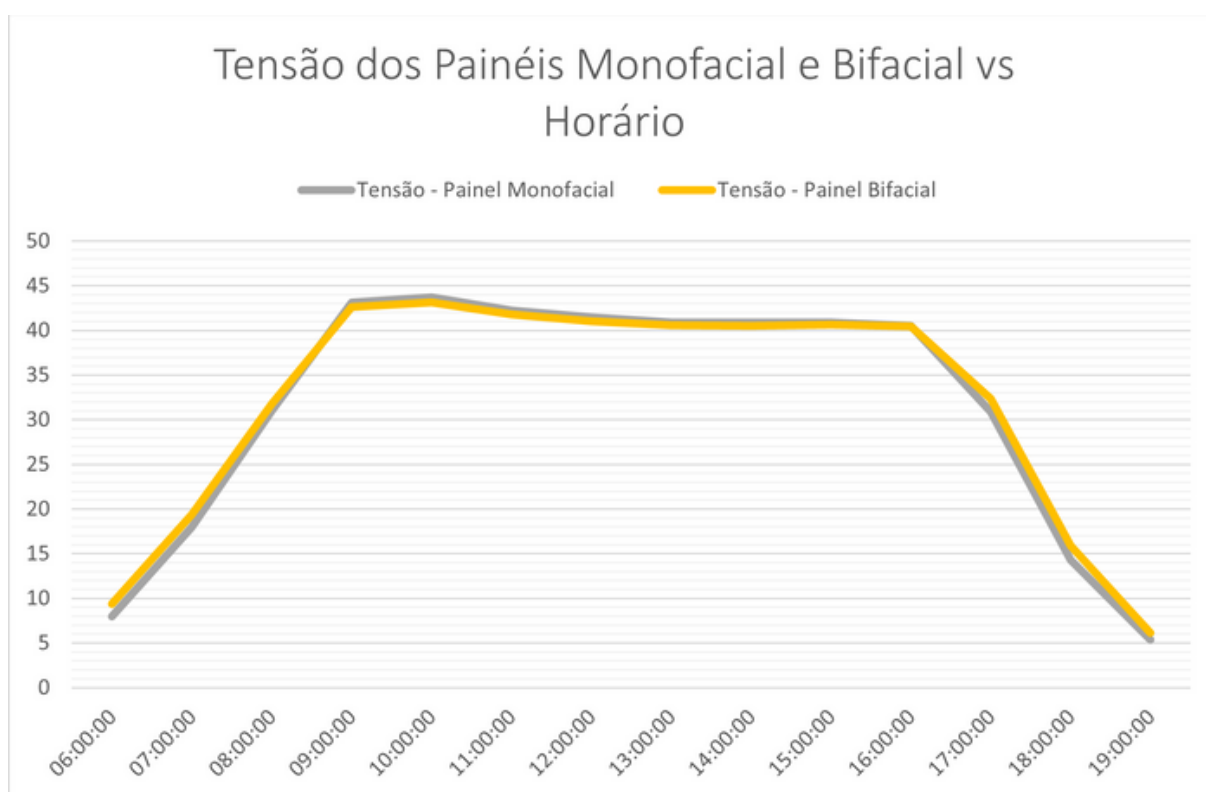
Nota-se também, que a partir das 08:00 até às 17:00h, o painel fotovoltaico monofacial apresentou um maior valor de potência, comparado com o painel fotovoltaico bifacial.

3.6 LEVANTAMENTO DA TENSÃO MÉDIA DE CADA PAINEL FOTOVOLTAICO DE ACORDO COM O HORÁRIO

A sexta análise realizada, foi a relação encontrada entre a tensão (V) fornecida por cada Painel fotovoltaico de acordo com o horário em que os dados foram coletados e armazenados.

Com estas definições, pode-se gerar o gráfico apresentado na Figura 15, onde os valores de tensão (V) se encontram na esquerda (Eixo Y) e os horários se encontram na parte inferior (Eixo X).

Figura 15 — Tensão dos Painéis monofacial e bifacial *versus* horário



Fonte: O autor (2023).

Ao se analisar o gráfico, é possível notar que os valores de tensão fornecida por ambos os painéis fotovoltaicos ficaram bem próximos para todos os momentos em que os dados foram coletados e armazenados.

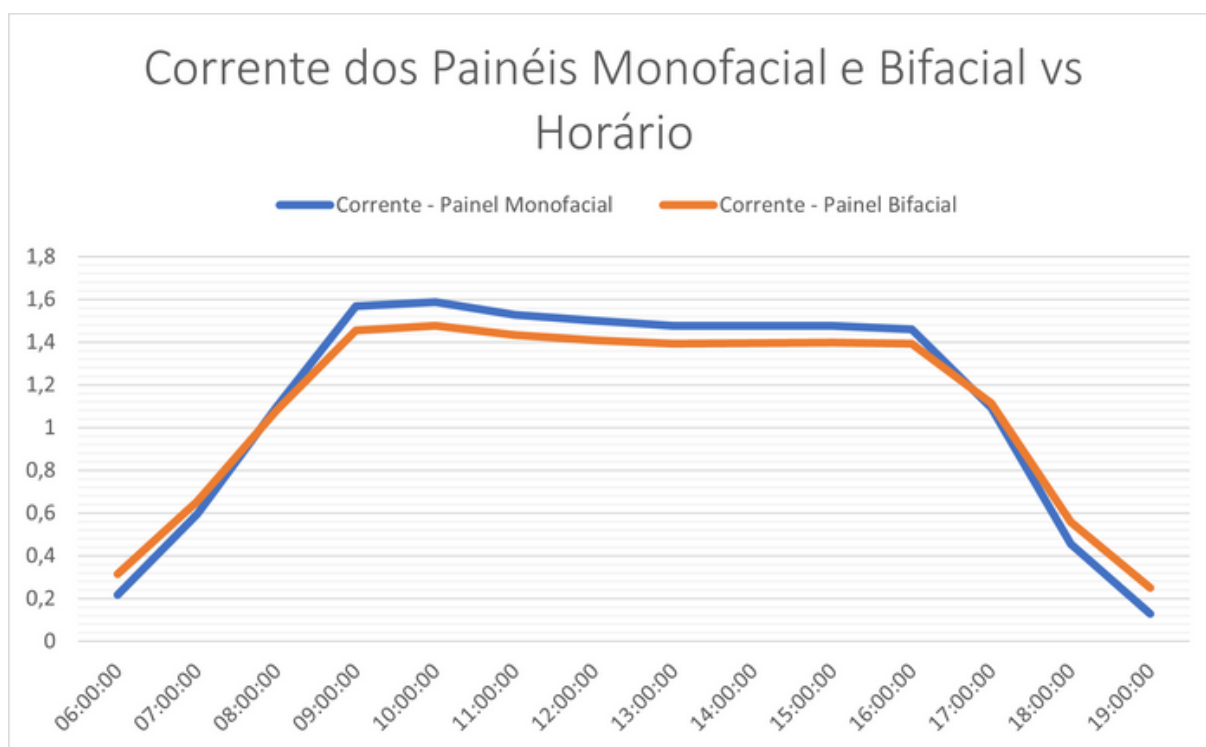
O pico de tensão (V) também se apresentou às 10h, com uma média de 44 V para o painel fotovoltaico monofacial e uma média de 43 V para o painel fotovoltaico bifacial.

3.7 LEVANTAMENTO DA CORRENTE MÉDIA DE CADA PAINEL FOTOVOLTAICO DE ACORDO COM O HORÁRIO

A sétima análise realizada, foi a relação encontrada entre a corrente (I) fornecida por cada painel fotovoltaico de acordo com o horário em que os dados foram coletados e armazenados.

Com estas definições, pode-se gerar o gráfico apresentado na Figura 16, onde os valores de corrente (A) se encontram na esquerda (Eixo Y) e os horários (h) se encontram na parte inferior (Eixo X).

Figura 16 — Corrente dos Painéis monofacial e bifacial *versus* horário



Fonte: O autor (2023).

Ao se analisar o gráfico, semelhante ao gráfico de potência, é possível notar que entre às 09:00h e 16:00h obteve-se as maiores médias de corrente em ambos os painéis fotovoltaicos, onde o pico se apresentou às 10hs, com uma média de aproximadamente 1,6 A fornecido pelo painel fotovoltaico monofacial e uma média de aproximadamente 1,4 A fornecidos pelo painel fotovoltaico bifacial.

Nota-se também, que a partir das 08:00 até às 17:00h, o painel fotovoltaico monofacial apresentou um maior valor de corrente comparado com o painel fotovoltaico bifacial.

3.8 FORNECIMENTO MÉDIO DE TENSÃO, CORRENTE E GERAÇÃO MÉDIA DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Realizando a média de todos os valores encontrados para tensão, corrente e potência de ambos os painéis fotovoltaicos, encontrou-se os seguintes valores apresentados na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1 — Valores médios

Modelo	Tensão Média (V)	Corrente Média (I)	Potência Média (P)
Painél Fotovoltaico Monofacial	36,02	1,29	46,47
Painél Fotovoltaico Bifacial	36,19	1,24	44,92

Fonte: O autor (2023).

Ao se analisar a Tabela 1, nota-se que a tensão média gerada pelo painel fotovoltaico bifacial foi levemente superior em comparação com a tensão gerada pelo painel fotovoltaico monofacial, essa diferença é de aproximadamente 0,47%.

Por outro lado, a corrente média gerada pelo painel fotovoltaico monofacial atingiu maiores valores em comparação com a corrente média gerada pelo painel fotovoltaico bifacial, em torno de 4,03%.

Já para a potência média, o painel fotovoltaico monofacial conseguiu apresentar um resultado 3,45% maior que o painel fotovoltaico bifacial.

4 CONCLUSÃO

Neste trabalho, realizou-se o um estudo comparativo quanto a influência da temperatura ambiente na eficiência energética entre um painel solar fotovoltaico bifacial e um painel solar fotovoltaico monofacial. Para isso, foram realizadas simulações no *software* PVsyst, bem como a coleta de dados de geração elétrica e temperatura através de um circuito eletrônico e um microcontrolador. Os resultados obtidos foram analisados e comparados.

Ambos os painéis fotovoltaicos apresentaram uma eficiência semelhante em temperaturas abaixo de 30 °C. Em temperaturas acima de 30 °C, o painel fotovoltaico monofacial apresentou uma melhor eficiência do que o painel fotovoltaico bifacial para o caso estudado. A temperatura ambiente influencia negativamente a eficiência dos painéis fotovoltaicos, sendo mais acentuada no painel fotovoltaico bifacial utilizado neste estudo.

Como limitações deste trabalho, pode-se citar a realização do experimento em um único local e período do ano, o que pode não representar as condições climáticas de outras regiões ou estações. A utilização de apenas dois modelos e marcas diferentes de painéis fotovoltaico, o que pode não refletir as características de outros tipos ou fabricantes destes dispositivos.

Como sugestões para trabalhos futuros, pode-se mencionar a realização de experimentos em diferentes locais e períodos do ano, a fim de avaliar o comportamento dos painéis fotovoltaicos em diferentes condições climáticas. A utilização de diferentes modelos e marcas de painéis fotovoltaicos, a fim de comparar as suas especificações técnicas e desempenho. A análise de outros fatores que podem influenciar a eficiência dos painéis fotovoltaicos, como a inclinação, a orientação, a limpeza, o sombreamento incidente, a eficiência de cada painel e o coeficiente de reflexão.

REFERÊNCIAS

APPELBAUM, J. Bifacial photovoltaic panels field. **Renewable Energy**, v. 85, p. 338–343, jan. 2016.

BELTRÃO, R. E. A. Efeito da temperatura na geração de energia de módulos fotovoltaicos submetidos a condições climáticas distintas. Estudo de caso para as localidades de Recife e Araripina. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Ciências. Universidade Federal de Pernambuco. 2008.

CANAL SOLAR. **Os módulos FV devem ser orientados sempre para o Norte?** Disponível em: <https://canalsolar.com.br/os-modulos-fv-devem-ser-orientados-sempre-para-o-norte/>. Acesso em: 26 mar. 2023.

Cresesb; CEPEL. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**, f. 102. 1998. 204 p.

CROOK, Julia A.; JONES, Laura A.; FORSTER, Piers M.; CROOK, Rolf. Climate change impacts on future photovoltaic and concentrated solar power energy output. *Energy & Environmental Science*, [S.L.], v. 4, n. 9, p. 3101, 2011. Royal Society of Chemistry (RSC). <http://dx.doi.org/10.1039/c1ee01495a>.

DA SILVA, Bruno Phillip Alves. Metodologia para a determinação de temperatura em painéis fotovoltaicos por meio de termografia quantitativa. 2017.

GOOGLE Earth. 2023. Disponível em: <https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>. Acesso em: 7 mar. 2023.

JAI, Prakash Singh; ARMIN, G. Aberle; M. WALSH, Timothy. Electrical characterization method for Bifacial photovoltaic modules. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 127, p. 136 - 142, 2014.

LAMERS, M. W. P. E. et al. Temperature effects of Bifacial modules: Hotter or cooler? **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 185, p. 192–197, out. 2018.

MICHELS, Roger Nabeyama *et al.* A influência da temperatura na eficiência de painéis fotovoltaicos em diferentes níveis de incidência da radiação solar. **Agroambiental**, p. 105 - 110, 12 2010.

NIEDZIALKOSKI, Rosana Krauss. **Desempenho de painéis solares mono e policristalinos em um sistema de bombeamento de água**. Cascavel, 2013. 44 p Dissertação (Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2013.

O QUE SÃO DIAGRAMAS elétricos? Aprendendo Elétrica. 2020. Disponível em: <https://aprendendoeletrica.com/o-que-sao-diagramas-eletricos/>. Acesso em: 22 mar. 2023.

PATEL, M. T. et al. Temperature-dependent energy gain of Bifacial PV farms: A global perspective. **Applied Energy**, v. 276, p. 115405, out. 2020.

PAZINATTO, Marcel Trombetta. **Influência das Altas Temperaturas nos Painéis Fotovoltaicos**. Célula Energia. 2020. Disponível em: <https://celulaenergia.com/influencia-das-altas-temperaturas-nos-paineis-fotovoltaicos/#:~:text=Diferentemente%20do%20que%20muitos%20pensam,e%20ten%C3%A3o%20de%20opera%C3%A7%C3%A3o%20Vmp>. Acesso em: 22 jun. 2022.

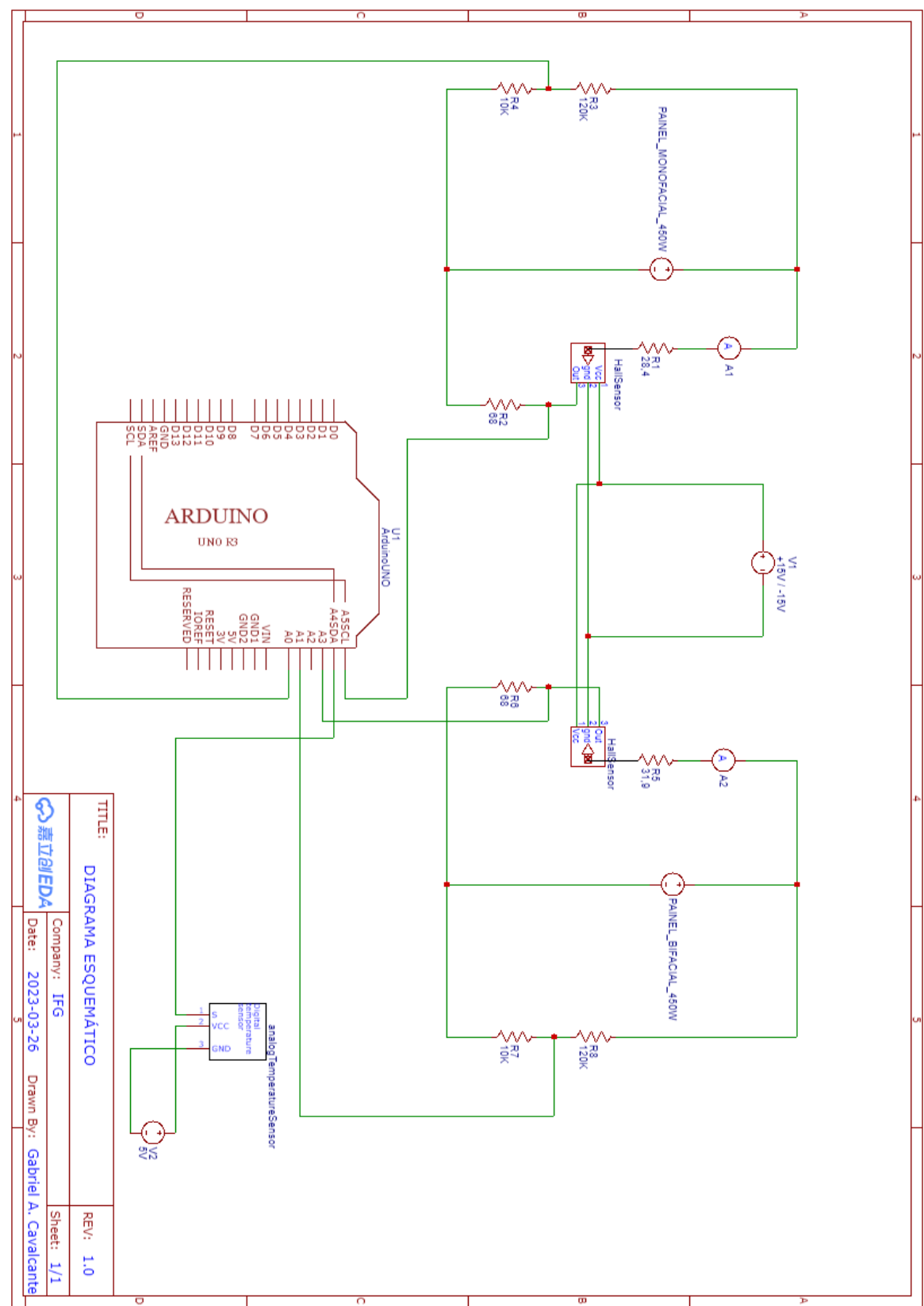
PEREIRA, Thulio Cícero Guimarães. **Energias renováveis**: políticas públicas e planejamento energético, f. 161. 2012. 321 p.

PVSYST: Como distribuir módulos com a ferramenta “table zones”. Canal Solar. 2020. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/pvsyst-como-distribuir-modulos-com-a-ferramenta-table-zones/>. Acesso em: 3 mar. 2023.

SAMPAIO, Priscila Gonçalves Vasconcelos; GONZÁLEZ, Mario Orestes Aguirre. Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 12 p. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.081>. Acesso em: 30 jun. 2022.

TAHIR; FURQAN. Impact of climate change on solar Monofacial and Bifacial Photovoltaics (PV) potential in Qatar. **Energy Reports**, v. 8, p. 518 - 522, 08 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.02.197>. Acesso em: 29 mai. 2022.

APÊNDICE A — DIAGRAMA ESQUEMÁTICO



APÊNDICE B — CÓDIGO ELABORADO NA IDE DO ARDUINO

```
#include <dht.h>                                //Para coletar temperatura e umidade (analógico)

//PINAGEM DO CIRCUITO

#define sensorTensaoMono A0                      //Coletor de tensão do painel monofacial
#define sensorTensaoBI A1                        //Coletor de tensão do painel bifásico
#define sensorCorrenteMono A5                    //Coletor de corrente do painel monofacial
#define sensorCorrenteBI A3                      //Coletor de corrente do painel bifásico
#define dht_apin A4                              //Coletor de temperatura e umidade (analógico)

//DECLARANDO AS VARIÁVEIS

int linha = 0;                                  //variavel que se refere as linhas do excel
int valor = 0;                                  //variavel que guarda o valor lido do potenciometro
int tamanho = 19;                               //variável de tamanho
int vetor[19];

int T = tamanho;                                //tamanho do vetor
int i;                                           //para loops
int j;                                           //para loops
int cont[19];                                   //para loops
int moda11 = 0;                                 //para calculo de moda
int moda22 = 0;                                 //para calculo de moda

//INICIANDO A COMUNICAÇÃO SERIAL
dht DHT;                                         //Chamando DHT

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Hora,V1,I1,TensaoBI,I2, Umidade, T1, T2"); // Nomeia as colunas no Excel
}
```

```

//INICIANDO LOOP

void loop() { //LOOP PRINCIPAL
    float conta = 0; //Reiniciando valores para calculo de MODA
    int modal = 0; //Reiniciando valores para calculo de MODA
    int moda2 = 0; //Reiniciando valores para calculo de MODA
    int umidade1 = 0; //Reiniciando valores para calculo de MODA
    int umidade2 = 0; //Reiniciando valores para calculo de MODA

    //VARIÁVEIS PARA AMOSTRAGEM DE VALORES, QUE SERÃO REINICIADAS NO LOOP

    int amostragem = 40; //QUANTIDADE DE AMOSTRAGENS
    float TensaoMono = 0; //Zerando valores
    float TensaoMonoMedia = 0; //Zerando valores
    float TensaoBI = 0; //Zerando valores
    float TensaoBImedia = 0; //Zerando valores
    float CMF = 0; //Zerando valores
    float CBF = 0; //Zerando valores
    float CorrenteMonoMedia = 0; //Zerando valores
    float CorrenteBImedia = 0; //Zerando valores

    //COLHENDO AMOSTRAGENS

    for (int i = 0; i < amostragem; i++) { //Loop
        int sensorValue = analogRead(sensorTensaoMono); //Lendo a Tensão Monofacial
        TensaoMono = sensorValue * (5.0 / 1023.0) * 12.364; //Multiplicando pelo fator de conversão calculado
        TensaoMonoMedia = TensaoMonoMedia + TensaoMono; //Somando os valores encontrados

        int Corrente = analogRead(sensorCorrenteMono); //Lendo a Corrente Monofacial

        CMF = (Corrente * (5.0 / 1023.0) * 5.1); //Multiplicando pelo fator de conversão calculado
        CorrenteMonoMedia = CorrenteMonoMedia + CMF; //Somando os valores encontrados

        int SV = analogRead(sensorTensaoBI); //Lendo a Tensão Bifacial
        TensaoBI = SV * (5.0 / 1023.0) * 12.295; //Multiplicando pelo fator de conversão calculado
        TensaoBImedia = TensaoBImedia + TensaoBI; //Somando os valores encontrados

        int Corrente2 = analogRead(sensorCorrenteBI); //Lendo a Corrente Bifacial
        CBF = Corrente2 * (5.0 / 1023.0) * 4.64; //Multiplicando pelo fator de conversão calculado
        CorrenteBImedia = CorrenteBImedia + CBF; //Somando os valores encontrados

        delay (1000); //Delay de 1s para o próximo LOOP
    }

    //COLHENDO VALORES DE TENSÃO E CORRENTE DE ACORDO COM OS VALORES DAS AMOSTRAGENS

    TensaoMono = TensaoMonoMedia / amostragem; //Média da tensão Monofacial
    TensaoBI = TensaoBImedia / amostragem; //Média da tensão Bifacial
    CMF = CorrenteMonoMedia / amostragem; //Média da Corrente Monofacial
    CBF = CorrenteBImedia / amostragem; //Média da Corrente Bifacial

    linha++; //Incrementa a linha do excel para que a leitura pule de linha em
    linha
    for (i = 0; i < tamanho; i++) { //LOOP
        DHT.readll(dht_apin); //COMANDO PARA O ARDUINO COLETAR A TEMPERATURA E UMIDADE (ANALÓGICO)
        vetor[i] = (DHT.temperature); //Criando um vetor com as temperaturas
        delay(400);
    }
}

```

```

    for (i = 0; i < T; i++) {
        //Loop que realiza a moda para os valores de temperatura, evitando erros
        //de medição
        if (i > 1) {
            for (j = i + 1; j < T; j++) {
                if (vetor[i] == vetor[j]) {
                    cont[i]++;
                    if (cont[i] > conta) {
                        conta = cont[i];
                        modal = vetor[i];
                    }
                }
            }
        }

        cont[i] = 0;
    }

    if (modal > 10) {
        //Aplicando filtro para aceitar apenas temperaturas maiores que 10 °C e
        //menores que 80 °C
        if (modal < 80) {
            modall = modal;
        }
    }

    Serial.print("DATA,TIME,");
    Serial.print(TensaoMono);
    Serial.print(",");
    //INICIA A IMPRESSÃO DE DADOS NO EXCEL
    //Passando a tensão Monofacial
    //Pulando Coluna

    Serial.print(CMF);
    Serial.print(",");
    //Passando a corrente Monofacial
    //Pulando Coluna

    Serial.print(TensaoBI);
    Serial.print(",");
    //Passando a tensão Bifacial
    //Pulando Coluna

    Serial.print(CBF);
    Serial.print(",");
    //Passando a corrente Bifacial
    //Pulando Coluna

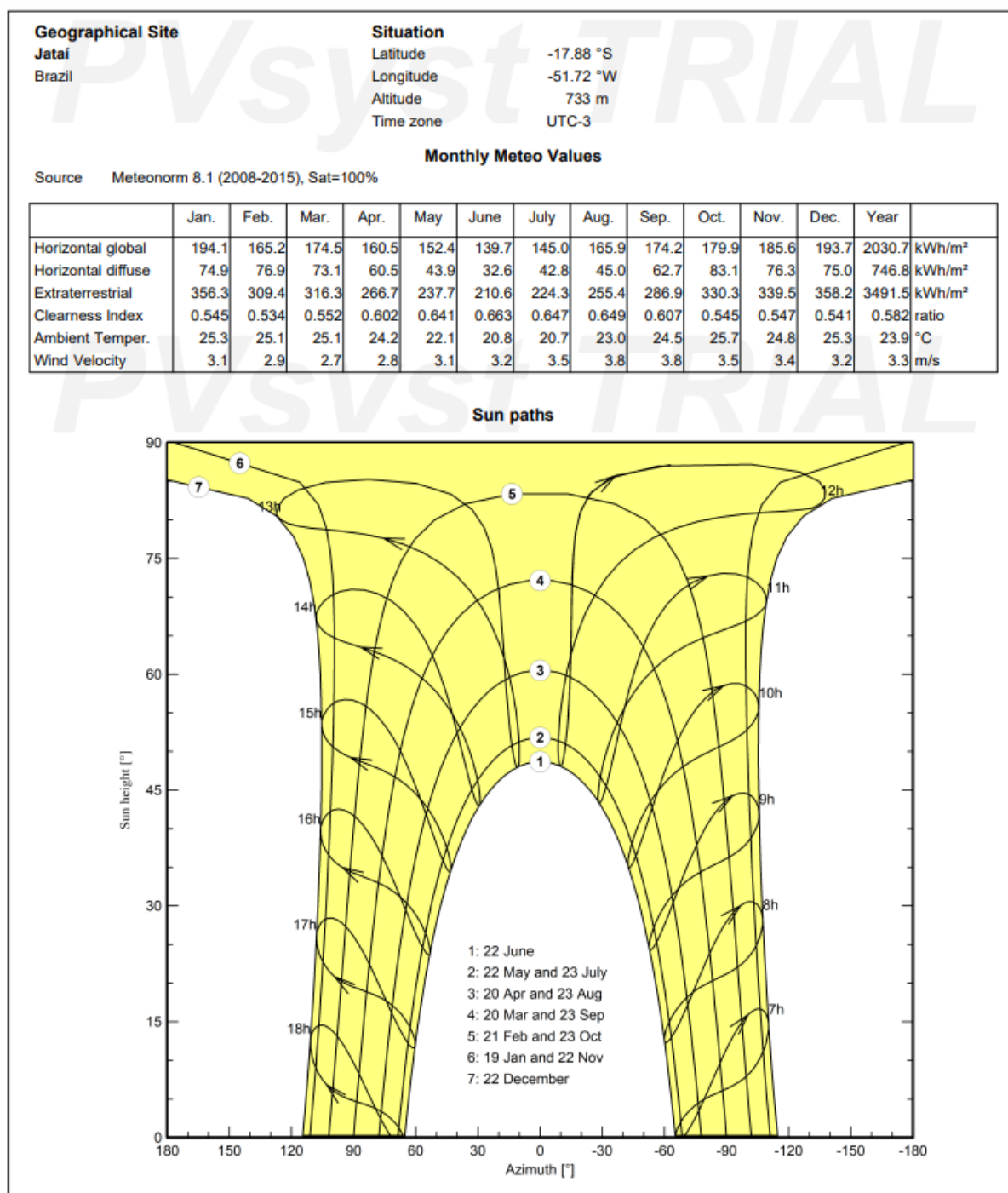
    Serial.print(modall);
    Serial.print(",");
    //Passando a temperatura
    //Pulando Coluna

    Serial.println(linha);
    //Pulando linha

} //Fechando o LOOP PRINCIPAL

```

ANEXO A — ORIENTAÇÃO E CAMINHOS DO SOL.



Fonte: PVSYST (2023).

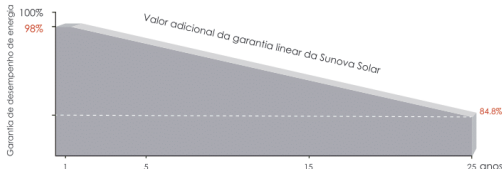
ANEXO B — CATÁLOGO SUNOVA SOLAR MONOFACIAL SUNOVA SS-450-72MDH


SUNOVA SOLAR
Leading one stop PV Supplier

HI-KILO
445-460W
 Módulo Mono PERC Half-Cell de Alta Eficiência



GARANTIA DE DESEMPENHO LINEAR



15 anos	25 anos	0.55 %
Garantia de Produto	Garantia de Eficiência	Degradação Anual: Mais de 25 anos



Excelente desempenho com baixa irradiação



Melhor retenção de luz e coleta de corrente para melhorar a saída de energia e a confiabilidade do módulo



Líder do setor com menor coeficiente térmico de energia



Projeto elétrico otimizado e menor corrente de operação para redução da perda de pontos quentes e melhor coeficiente de temperatura.



Certificado para suportar: carga de vento (2400 Pa) e carga de neve (5400 Pa)



Teste EL triplo de 100%, permitindo uma redução notável da taxa de rachaduras ocultas dos módulos

CERTIFICADOS ABRANGENTES







ISO 9001: Sistema de Gestão da Qualidade
ISO 14001: Sistema de Gestão Ambiental Padrão
OHSAS 18001: Sistema Internacional de Avaliação de Saúde e Segurança Ocupacional Padrão

* Diferentes mercados têm diferentes requisitos de certificação. Além disso, os produtos estão em constante inovação. Confirme o status da certificação com os representantes de vendas regionais

SEGURO DE DESEMPENHO





Make it happen

www.sunova-solar.com

120 células

CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS

Modelo dos módulos	SS-445-60MDH		SS-450-60MDH		SS-455-60MDH		SS-460-60MDH	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Potência máxima — P _{mp} (W)	445	332	450	335	455	339	460	343
Voltagem de circuito aberto — V _{oc} (V)	41.27	38.79	41.46	38.97	41.65	39.15	41.78	39.34
Corrente de curto-circuito — I _{sc} (A)	13.42	10.88	13.47	10.91	13.54	10.97	13.63	11.01
Tensão máxima de energia — V _{mp} (V)	34.46	32.05	34.62	32.19	34.78	32.35	34.89	32.52
Corrente de potência máxima — I _{mp} (A)	12.92	10.36	13.01	10.41	13.09	10.48	13.19	10.55
Eficiência do Módulo — η _m (%)	20.6%		20.9%		21.1%		21.3%	
Tolerância de energia (W)	(0,+5)							
Tensão máxima do sistema (V)	1500							
Corrente nominal máxima do fusível (A)	25							
Temperatura de operação atual (°C)	-40~+85°C							

STC (Condições de Teste Padrão): Irradiância 1000 W/m², Temperatura da Célula 25 °C, Espectro em AM1.5

NOCT (Temperatura Nominal da Célula de Operação): Irradiância 800W/m², Temperatura Ambiente 20°C, Espectro em AM1.5, Vento em 1m/s

CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS

Dimensões do módulo (C*L*A)	1903 x 1134 x 30 mm
Largura	24 kg
Número de células	120 células
Célula	PERC Monocristalino 182x91 mm
Vidro	Temperado, 3,2 mm AR, alta transmitância, baixo ferro
Quadro/Armação	Liga de alumínio anodizado
Caixa de junção	IP68
Fio de saída	4,0 mm ² , comprimento do fio: 300 mm ou comprimento personalizado
Conector	Compatível com MC4
Carga mecânica	Carga de neve: 5400 Pa / Carga de vento: 2400 Pa

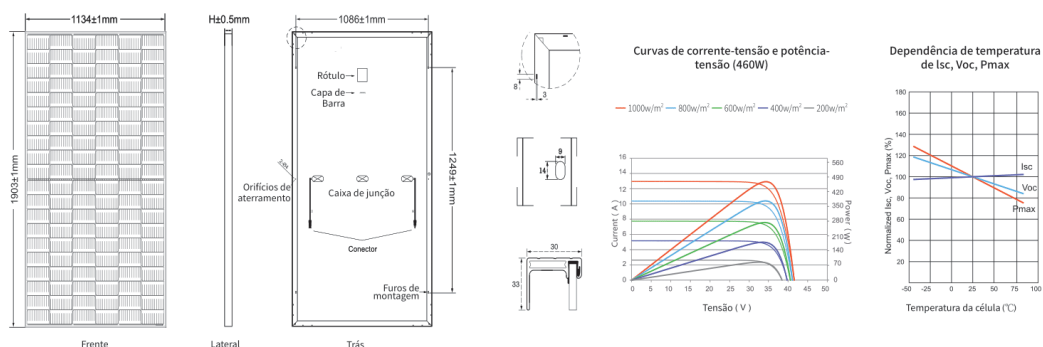
CLASSIFICAÇÕES DE TEMPERFORMANCE

Coefficiente de temperatura (P_{max})	-0.35 %/°C
Coefficiente de temperatura (V_{oc})	-0.28 %/°C
Coefficiente de temperatura (I_{sc})	+0.045 %/°C
Temperatura nominal da célula de operação	45±2 °C

CONFIGURAÇÃO DA EMBALAGEM

Recipiente	40HQ
Quantidade/paleta	36
Paletes/contêiner	24
Quantidade/recipiente	864

DIMENSÕES DO MÓDULO (MM)

Web: www.sunova-solar.comE-mail: info@sunova-solar.com

* Os parâmetros técnicos contidos nesta ficha técnica podem apresentar pequenas diferenças e a Sunova não garante que sejam totalmente precisos. Devido à contínua inovação, pesquisa e desenvolvimento e melhoria do produto, a Sunova reserva-se o direito de ajustar as informações desta ficha técnica a qualquer momento sem aviso prévio. O cliente deve obter a versão mais recente da ficha técnica ao assinar o contrato e torná-la parte integrante do contrato vinculativo assinado por ambas as partes. Os arquivos de tradução para chinês (ou outro idioma) desta folha de dados são apenas para referência. Se houver alguma inconsistência entre a versão em inglês e a versão em chinês (ou outras versões de idioma), a versão em inglês prevalecerá.

Make it happen

SD202205001PT

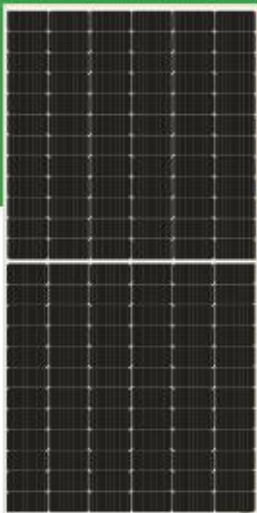
ANEXO C — CATÁLOGO SUNOVA SOLAR BIFACIAL AMERISOLAR AS-6M144-BT-450W



AS-6M144-BT

435W~455W

MONOCRYSTALLINE MODULE



ADVANCED PERFORMANCE & PROVEN ADVANTAGES

- More power gain up to 30% by utilizing the ambient light reflected from surrounding surfaces.
- Lower annual power degradation and higher energy yield during the module's lifetime.
- Superior performance under high temperature and low light conditions.
- High load-bearing capacity which can withstand wind loads up to 2400Pa and snow loads up to 5400Pa.
- Excellent reliability and durability against extreme environmental conditions (high resistance to salt mist, ammonia, sand, acid and alkali, etc.).
- Potential induced degradation (PID) free.

CERTIFICATIONS





- IEC 61215, IEC 61730, CE
- ISO9001:2015: Quality management system
- ISO14001:2015: Environmental management system
- ISO 45001:2018: Occupational health and safety management system

SPECIAL WARRANTY

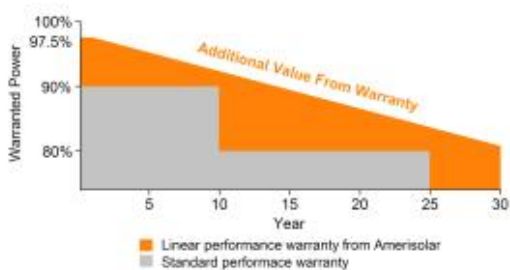
- 20 years product warranty
- 30 years linear power output warranty

Passionately

committed to

delivering innovative

energy solution



■ Linear performance warranty from Amerisolar
■ Standard performance warranty

Worldwide Energy and Manufacturing USA Co., Ltd.

www.weamerisolar.com, sales@weamerisolar.com

EN-V1.0-2021

ELECTRICAL CHARACTERISTICS AT STC*

Module Type	AS-6M144-BT-435W	AS-6M144-BT-440W	AS-6M144-BT-445W	AS-6M144-BT-450W	AS-6M144-BT-455W
Maximum Power (P_{max})	435W	440W	445W	450W	455W
Open Circuit Voltage (V_{oc})	49.6V	49.8V	50.0V	50.2V	50.4V
Short Circuit Current (I_{sc})	11.10A	11.16A	11.22A	11.28A	11.34A
Voltage at Maximum Power (V_{mp})	41.2V	41.4V	41.6V	41.8V	42.0V
Current at Maximum Power (I_{mp})	10.56A	10.63A	10.70A	10.77A	10.84A
Module Efficiency (%)	20.01	20.24	20.47	20.70	20.93
Operating Temperature	-40°C to +85°C				
Maximum System Voltage	1000V DC/1500V DC				
Fire Resistance Rating	Class C				
Maximum Series Fuse Rating	25A				

*STC: Irradiance 1000W/m², Cell temperature 25°C, AM1.5; Tolerance of P_{max} : ±3%; Measurement Tolerance: ±3%

ELECTRICAL CHARACTERISTICS AT NOCT**

Module Type	AS-6M144-BT-435W	AS-6M144-BT-440W	AS-6M144-BT-445W	AS-6M144-BT-450W	AS-6M144-BT-455W
Maximum Power (P_{max})	319W	323W	327W	331W	335W
Open Circuit Voltage (V_{oc})	45.4V	45.6V	45.8V	46.0V	46.2V
Short Circuit Current (I_{sc})	8.94A	8.99A	9.04A	9.09A	9.14A
Voltage at Maximum Power (V_{mp})	37.2V	37.4V	37.6V	37.8V	38.0V
Current at Maximum Power (I_{mp})	8.58A	8.64A	8.70A	8.76A	8.82A

**NOCT: Irradiance 800W/m², Ambient temperature 20°C, Wind Speed 1 m/s

ELECTRICAL CHARACTERISTICS WITH DIFFERENT REAR SIDE POWER GAIN (EXAMPLE: AS-6M144-BHC-450W)

Power Gain	P_{max}	V_{oc}	I_{sc}	V_{mp}	I_{mp}
10%	495W	50.2V	12.42A	41.8V	11.85A
15%	518W	50.2V	13.00A	41.8V	12.40A
20%	540W	50.2V	13.55A	41.8V	12.92A
25%	563W	50.2V	14.12A	41.8V	13.47A
30%	585W	50.2V	14.68A	41.8V	14.00A

MECHANICAL CHARACTERISTICS

Cell type	Monocrystalline bifacial
Number of cells	144 (6x24)
Module dimensions	2094x1038x35mm
Weight	24kg
Front cover	3.2mm tempered glass with AR coating
Back cover	Transparent backsheet
Frame	Anodized aluminum alloy
Junction box	IP68, 3 diodes
Cable	4mm ² , Length: Portrait: 300mm; Landscape: 1400mm
Connector	MC4 compatible

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

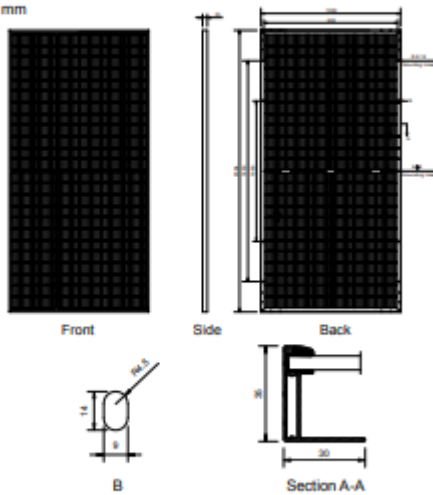
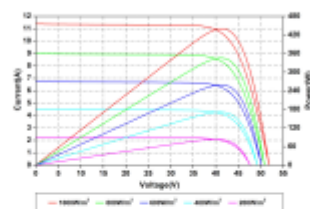
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	42°C±2°C
Temperature Coefficients of P_{max}	-0.36%/°C
Temperature Coefficients of V_{oc}	-0.30%/°C
Temperature Coefficients of I_{sc}	0.05%/°C

PACKAGING

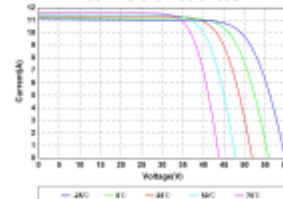
Standard packaging	31pcs/pallet
Module quantity per 20' container	155pcs
Module quantity per 40' container	715pcs(HQ)

ENGINEERING DRAWINGS

Unit: mm

**IV CURVES**

Current-Voltage and Power-Voltage Curves at Different Irradiances



Current-Voltage Curves at Different Temperatures

Specifications in this datasheet are subject to change without prior notice.

Amerisolar and Amerisolar logo denoted with ® are registered trademarks of Worldwide Energy and Manufacturing USA Co., Ltd.

ANEXO D — SENSOR DE TEMPERATURA DS18B20

DS18B20 Temperature Sensor **GAIMC**

GTS200



DESCRIPTION ///

The probe adopts the new original imported DS18B20 temperature sensor chip. Each pin of the chip is separated by heat-shrinkable tube to prevent short circuit, internal sealing, waterproof and moisture proof. The high quality stainless steel tube package is waterproof, moisture proof and rust proof. The DS18B20 digital temperature sensor from Dallas Semiconductor of the United States is encapsulated with a highly thermally conductive sealant to ensure high sensitivity of the temperature sensor and minimal temperature delay. The temperature sensor supports a "one-wire bus" interface (1-Wire) with a temperature range of -55°C to +125°C and an accuracy of $\pm 0.5^\circ\text{C}$ in the range of -10 to +85°C. The on-site temperature is directly transmitted in the digital way of "one-line bus", which greatly improves the anti-interference of the system. Suitable for on-site temperature measurement in harsh environments. The DS18B20 digital temperature sensor has a unique number, and the temperature acquisition device identifies the corresponding temperature sensor by number.

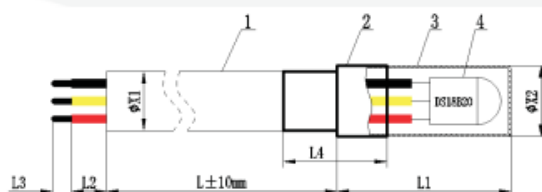
FEATURES ///

- Power supply range: 3.0V to 5.5V
- Operating temperature range: -55 °C to +125 °C (-67 °F to +257 °F)
- Storage temperature range: -55°C to +125°C (-67°F to +257°F)
- Accuracy in the range of -10 °C to +85 °C: $\pm 0.5^\circ\text{C}$
- Waterproof stainless steel sheath
- Sheath size: 6 * 50mm or custom

APPLICATION ///

DS18B20 temperature sensor is mainly used in refrigerator temperature monitoring, pharmaceutical factory GMP monitoring system, telecommunication room monitoring, beer production, building automation, warehouse temperature monitoring, environmental monitoring, process temperature monitoring, air conditioning monitoring, incubation temperature control, aquaculture temperature measurement, greenhouse temperature monitoring.

DIMENSIONS



1	Cable length, wire diameter OD	PVC cable*3P	OD5.0mm
2	Heat shrinkable tube size	Heat shrinkable tube	OD6*30mm
3	Probe size	Stainless steel probe	OD6*30mm
4	DS18B20 sensor		Red VDD is the external power supply input The yellow DQ is a digital signal input / output terminal Black GND is the power ground

PARAMETERS

Digital chip	1DS18B20
Probe size	Φ 8mm, Φ6mm (inside), length = 30mm or custom
Insulation Materials	Glass fiber, PVC, Teflon, silicone rubber or custom made
Wire material	FRP, PVC, Teflon, silicone rubber, stainless steel braided
Shell material	Stainless steel · nickel plated copper, brass, plastic
Wire Connector	UL Series (such as UL1007), Supply wire number, using temperature range, outside diameter and material requirements.
Special requirements	Molex, JST, DuPont, CWB, CJT, SM, TJC3, PH, EH, 5264, U-type etc.
Wiring	Waterproof, acid proof, antiseptic
	Black: GND Yellow: DATA Red: VDD+

ORDER INSTRUCTION

When you placing order, please inform us the following parameters:

1. Application and working environment (whether to be waterproof, acid or alkali and others)
2. Shell diameter D and length L (commonly size: 6 * 30mm, 6 * 50mm, other can be customized)?
3. How many lines of output? (Commonly used 2-wire/ 3-wire, choose one) ?
4. Wire material and length (commonly wire PVC, Silicone, Teflon wire)?
5. Temperature range (temperature range cannot exceed -50 to +125 °C)?
6. How to deal with the cable end (hanging tin or with connector)?