

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE MINAS GERAIS – *CAMPUS* AVANÇADO IPATINGA
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

FELIPE COUTO DE SOUZA
MATEUS GONÇALVES DA CRUZ

**SISTEMAS DE MONITORAMENTO PARA USINAS FOTOVOLTAICAS
BASEADOS EM *DASHBOARDS***

Ipatinga
2024

FELIPE COUTO DE SOUZA
MATEUS GONÇALVES DA CRUZ

**SISTEMAS DE MONITORAMENTO PARA USINAS FOTOVOLTAICAS
BASEADOS EM *DASHBOARDS***

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso Bacharelado em Engenharia Elétrica do
Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus*
Avançado Ipatinga para obtenção do grau de
bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Felipe Antunes

Ipatinga
2024

S719s Souza, Felipe Couto de; Cruz, Mateus Gonçalves da.

Sistemas de monitoramento para usinas fotovoltaicas baseados em *dashboards*. Felipe Couto de Souza; Mateus Gonçalves da Cruz. – 2024. 55f.;il.

Orientador: Felipe Antunes.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Instituto Federal de Minas Gerais. *Campus Ipatinga*, 2024.

1. Usinas fotovoltaicas. 2. Geração de energia. 3. *Dashboard*.
I. Antunes, Felipe. II. Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus Ipatinga*.
III. Título.

CDD 621.47

Catalogação: Rejane Valéria Santos - CRB-6/2907

Felipe Couto de Souza
Mateus Gonçalves da Cruz

**SISTEMAS DE MONITORAMENTO PARA USINAS FOTOVOLTAICAS
BASEADOS EM *DASHBOARDS***

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso Bacharelado em Engenharia Elétrica do
Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus*
Avançado Ipatinga para obtenção do grau de
bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Felipe Antunes

Aprovado em: 09/07/2024 pela banca examinadora:

Felipe Antunes

Gustavo Rafael de Souza Reis

Felipe de Brito Freitas

Dedicamos este trabalho de conclusão de curso aos nossos amados pais, maiores incentivadores e fontes inesgotáveis de apoio, amor e compreensão.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todas as pessoas e instituições que tornaram possível a conclusão deste trabalho. Esta jornada acadêmica foi desafiadora e enriquecedora, e não teria sido possível sem o apoio e a contribuição de muitos.

Primeiramente, quero expressar minha profunda gratidão aos meus orientadores Felipe Antunes e Willian Marlon Ferreira, cuja orientação e insights foram inestimáveis ao longo deste processo. Sua paciência, orientação e expertise foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Também gostaria de agradecer à minha família pelo apoio constante e incentivo ao longo dos anos. Vocês foram minha fonte de força e motivação, e este trabalho é dedicado a vocês.

Às minhas amigas e colegas de curso, obrigado por compartilharem conhecimento, experiências e risadas ao longo desta jornada. Suas discussões e perspectivas enriqueceram meu trabalho.

Agradeço ao INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS – CAMPUS AVANÇADO IPATINGA por fornecer os recursos e o ambiente acadêmico propício para a realização deste estudo.

Este trabalho é uma reflexão do apoio e colaboração de muitos, e estou profundamente grato a todos vocês.

Muito obrigado.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.

Marthin Luther King.

RESUMO

Este estudo propõe um sistema de monitoramento inteligente para usinas fotovoltaicas, com destaque para a implementação de um *dashboard* personalizado. O principal objetivo é a construção do *dashboard* que mostrará a comparação da geração teórica com a real. A metodologia adotada inclui uma revisão abrangente da literatura sobre monitoramento de usinas fotovoltaicas e energia solar, seguida pela coleta de dados meteorológicos online e dados de geração real da usina do IFMG Ipatinga. O desenvolvimento do sistema de monitoramento inteligente e a criação do *dashboard* personalizado são realizados utilizando ferramentas adequadas como Excel, banco de dados e o Grafana. A análise dos resultados se concentra na comparação entre a geração teórica e a geração real, visando a elaboração de relatórios e conclusões que apresentem os resultados da pesquisa e as lições aprendidas para futuras investigações. O *dashboard* oferece uma interface intuitiva, facilitando o acesso remoto às informações-chave sobre o desempenho das instalações, ressaltando a importância da precisão nas previsões para otimizar a produção de energia. Além disso, o sistema permite a geração de relatórios e análises periódicas, garantindo a segurança dos dados por meio de testes e validações regulares. O sistema de monitoramento com *dashboard* personalizado visa melhorar a eficiência operacional da usina fotovoltaica, promovendo uma gestão mais eficiente e informada das instalações.

Palavras-chave: Usinas fotovoltaicas, *Dashboard*, Geração de energia.

ABSTRACT

This study proposes an intelligent monitoring system for photovoltaic power plants, highlighting the implementation of a customized dashboard. The main objective is to build a dashboard that will show the comparison between theoretical and actual generation. The methodology adopted includes a comprehensive literature review on photovoltaic power plant monitoring and solar energy, followed by the collection of online meteorological data and actual generation data from the IFMG Ipatinga power plant. The development of the intelligent monitoring system and the creation of the customized dashboard are carried out using suitable tools such as Excel, database, and Grafana. The analysis of the results focuses on the comparison between theoretical and actual generation, aiming to produce reports and conclusions that present the research results and lessons learned for future investigations. The dashboard offers an intuitive interface, facilitating remote access to key information about the performance of the facilities, emphasizing the importance of accurate forecasts to optimize energy production. Additionally, the system allows for the generation of periodic reports and analyses, ensuring data security through regular testing and validations. The monitoring system with a customized dashboard aims to improve the operational efficiency of the photovoltaic power plant, promoting more efficient and informed management of the facility.

Keywords: Photovoltaic power plants, *dashboard*, Energy generation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Irradiação solar x Latitude	18
Figura 2 - Trajetória diária aparente do nascer ao pôr do Sol	19
Figura 3 – Piranômetros no plano horizontal e inclinado.....	20
Figura 4 - Junção PN	21
Figura 5 - Constituição interna de uma célula fotovoltaica de silício	22
Figura 6 - Representação do funcionamento de uma célula fotovoltaica de silício cristalizado	22
Figura 7 - Curva característica e curva de potência de um módulo.	24
Figura 8 - Orientação de módulo fotovoltaico para o norte verdadeiro	25
Figura 9 - Efeito causado pela variação da irradiância solar sobre a curva característica I-V para módulo FV de 36 células de silício cristalino a 25°C.	27
Figura 10 - Influência da temperatura na potência.	27
Figura 11 - Exemplo de perfis de radiação solar diária com valores equivalentes de HSP.	29
Figura 12 - Ilustração do comportamento das radiações	30
Figura 13 - Ângulos solares.....	31
Figura 14 - Fluxograma da manipulação dos dados	39
Figura 15 - Site de extração Solarman	40
Figura 16 – Fluxograma da manipulação matemática para obtenção da energia teórica	41
Figura 17 - Indicadores de energia hora a hora.	42
Figura 18 - Indicadores de energia dia a dia.....	43
Figura 19 - Indicadores de energia mês a mês.....	43
Figura 20 - Indicadores de energia ano a ano.....	44
Figura 21 - Indicadores de <i>performance</i> e <i>Yield</i>	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FV - Fotovoltaico

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

HSP - Horas de Sol Pleno

SFCR - Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede ou *On-Grid*

SFV - Sistema Fotovoltaico

PR – *Performance Ratio*

LISTA DE SÍMBOLOS

E_{ger} - Energia que o módulo fotovoltaico, em kW/h

E_r - Energia real gerada em kW/h

E_t - Energia teórica calculada kW/h

G - Radiação global na horizontal, em W/m²

G_b - Radiação direta para o período de uma hora

G_d - Radiação difusa na horizontal, em W/m²

G_{on} - Radiação direta horizontal

G_t - Radiação inclinada, em W/m²

K_t - Coeficiente de transferência de calor do módulo fotovoltaico, em W/(m²K)

K_Z - Índice de transmissividade atmosférica

P - Potência de saída do sistema fotovoltaico, em Watts

$P_{Instalada}$ - Potência Instalada

P_{max} - Potência de saída máxima do módulo fotovoltaico, em Watts

$P_{Max\ T}$ - Potência de saída do módulo fotovoltaico estimada, em Watts

P_{max_Tmod} - Potência de saída do módulo FV em uma temperatura de operação específica, em Watts

R_b - Fator de correção da radiação direta

T_{amb} - Temperatura ambiente, em graus Celsius

T_{mod} - Temperatura do módulo fotovoltaico estimada, em graus Celsius

Y - *YIELD* (h)

ρ_g - Coeficiente de absorção da superfície inclinada

$\varnothing$ - Ângulo da latitude

δ - Ângulo de declinação solar

γ_s - Ângulo azimute solar

β - Ângulo de espalhamento da irradiação difusa, em graus

ς - Coeficiente de temperatura do módulo fotovoltaico, em %/°C

h - Latitude do local, em graus

θ - Ângulo de inclinação da superfície, em graus

τ_b - Fator de atenuação da atmosfera

θ_z - Ângulo solar zenital, em graus

ω - Ângulo da hora solar

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Usinas fotovoltaicas IFMG que foram abrangidas	40
---	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Justificativa	16
1.2 Objetivos.....	17
<i>1.2.1 Objetivo geral.....</i>	<i>17</i>
<i>1.2.2 Objetivo específico</i>	<i>17</i>
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
2.1 Geometria entre Sol-Terra	18
2.2 Instrumentação de medição para radiação solar	19
2.3 Funcionamento dos sistemas fotovoltaicos	20
<i>2.3.1 Funcionamento da célula fotovoltaica</i>	<i>20</i>
<i>2.3.2 Curva I-V</i>	<i>23</i>
<i>2.3.3 Orientação dos sistemas fotovoltaicos.....</i>	<i>24</i>
<i>2.3.4 Fatores que afetam a geração das usinas fotovoltaicas.....</i>	<i>25</i>
<i>2.3.5 Parâmetros que afetam características elétricas dos módulos fotovoltaicos.....</i>	<i>26</i>
<i>2.3.5.1 Influência da irradiância solar</i>	<i>26</i>
<i>2.3.5.2 Influência da temperatura.....</i>	<i>27</i>
<i>2.3.6 Cálculo da geração de um sistema voltaico</i>	<i>28</i>
<i>2.3.6.1 Horas de Sol Pleno</i>	<i>28</i>
<i>2.3.6.2 Comportamento da radiação a partir dos dados meteorológicos.....</i>	<i>29</i>
<i>2.3.6.3 Cálculo da geração de um sistema voltaico a partir dos dados meteorológicos.....</i>	<i>30</i>
<i>2.3.6.4 Radiação Extraterrestre</i>	<i>31</i>
<i>2.3.6.5 Radiação Direta</i>	<i>32</i>
<i>2.3.6.6 Radiação Difusa</i>	<i>32</i>
<i>2.3.6.7 Irradiação Total.....</i>	<i>33</i>
<i>2.3.6.8 Cálculo radiação total no plano inclinado</i>	<i>33</i>
<i>2.3.6.9 Cálculo estimado da temperatura do módulo FV.....</i>	<i>34</i>
<i>2.3.6.10 Cálculo da potência de saída do módulo</i>	<i>34</i>
<i>2.3.6.11 Cálculo potência máxima.....</i>	<i>35</i>
<i>2.3.7 Indicadores para usinas fotovoltaicas</i>	<i>36</i>
<i>2.3.8 Taxa de Performance</i>	<i>36</i>
<i>2.3.9 Fator de rendimento</i>	<i>37</i>
3 METODOLOGIA.....	38
3.1 Portais utilizados	38
3.2 Construção do dashboard.....	38
3.3 Dados Utilizados	39
4 RESULTADOS	42
5 CONCLUSÃO.....	46

6 MELHORIAS FUTURAS	47
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
ANEXO A - Dados INMET com Radiação convertida.	54
ANEXO B - Variáveis que afetam geração de energia solar	55

1 INTRODUÇÃO

O Brasil desfruta de um elevado índice de exposição à radiação solar, com uma média de 5,5 kWh/m²/dia, posicionando-se de maneira vantajosa para a produção de energia solar fotovoltaica. De acordo com informações da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o Brasil apresenta um potencial de geração de energia solar fotovoltaica de 14,2 giga watts (GW). Esse potencial corresponde a cerca de 15% da capacidade total instalada para geração de eletricidade no país. A abundância de recursos solares no Brasil desempenha um papel fundamental na diversificação da matriz energética nacional e na redução da dependência de fontes de energia não renováveis (ANEEL, 2023).

Nesse contexto, surge a relevância dos *dashboards* inteligentes como ferramenta poderosa para o monitoramento e gerenciamento dessas usinas. Esses painéis de controle oferecem uma interface intuitiva e personalizável, apresentando informações sobre o desempenho dos sistemas solares, incluindo produção de energia, eficiência dos painéis, estado dos inversores e condições climáticas.

Os *dashboards* inteligentes não apenas proporcionam uma visualização clara e compreensível dos dados, mas também oferecem recursos avançados, como gráficos interativos e sistema centralizado de dados de uma usina, como histórico e curvas de tendência. Essas características facilitam a tomada de decisões informadas e a resolução proativa de problemas, contribuindo para a eficiência operacional das usinas fotovoltaicas.

Além disso, a integração desses *dashboards* a sistemas de monitoramento remoto permite o acesso e gerenciamento das usinas de forma flexível e conveniente, através de diversos dispositivos eletrônicos (STEIN et al., 2022).

Sem esse monitoramento, pode-se afirmar que o acontecimento de falhas ou até mesmo uma completa catástrofe do sistema fica sendo cada vez mais imprevisível, isso ocorre por que este monitoramento ajuda na avaliação de uma manutenção preditiva ou até mesmo uma corretiva ocorreria com uma maior sensatez, e não pegaria o usuário final de forma tão surpreendente.

Em suma, o uso de *dashboards* inteligentes no monitoramento de usinas fotovoltaicas representa uma abordagem tecnologicamente avançada e eficiente, que possibilita o máximo aproveitamento da energia solar, promovendo assim um futuro mais sustentável (STEIN et al., 2022).

1.1 Justificativa

O monitoramento de usinas fotovoltaicas utilizando *dashboards* inteligentes está intrinsecamente ligada aos desafios e necessidades enfrentados no setor de energia renovável. O IFMG possui 18 *campi*, estes *campi* possuem quatro sites de monitoramento Solarman, Sunny Portal, Growatt e Sem portal, o que dificulta o monitoramento centralizado pela dificuldade de se ter que trabalhar com várias interfaces de monitoramentos diferentes em sem um padrão de indicadores utilizados

Com esse intuito, é previsto um desenvolvimento de *dashboard* piloto no IFMG de Ipatinga com comparativo entre a energia solar teórica com base em dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e a energia solar real que os módulos geraram. Isso irá permitir uma análise mais precisa e atualizada das condições de radiação solar, o que é crucial para a eficiência operacional de uma usina fotovoltaica.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Implementar um *dashboard* inteligente que apresente informações sobre o desempenho das usinas fotovoltaicas, incluindo a produção de energia, eficiência dos painéis solares e avaliação de tempo de geração de energia.

1.2.2 Objetivo específico

- Desenvolver e implementar uma funcionalidade no *dashboard* para integrar e utilizar dados do INMET para uma aproximação precisa do cálculo da radiação solar. Este recurso permitirá uma análise mais precisa e atualizada das condições de radiação solar, contribuindo para a eficiência operacional das usinas fotovoltaicas.
- Apresentar análises detalhadas da eficiência das usinas fotovoltaicas com base nos dados coletados e apresentados no *dashboard*.
- Facilitar o acesso remoto ao *dashboard*, permitindo que pessoas monitorem e gerenciem as usinas fotovoltaicas de qualquer local e dispositivo, como computadores, *tablets* ou smartphones.
- Realizar testes e validações do sistema de monitoramento, garantindo sua confiabilidade e eficiência a longo prazo.
- Promover a conscientização sobre a importância do monitoramento de usinas fotovoltaicas com *dashboards* inteligentes.

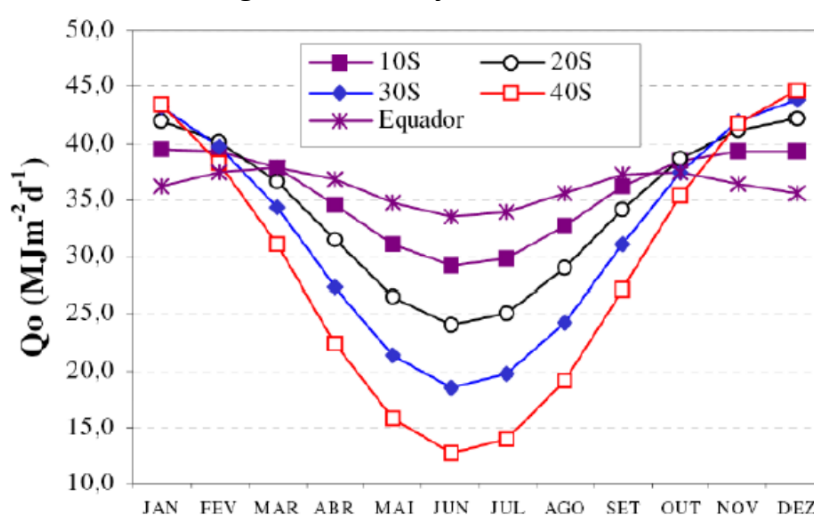
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Geometria entre Sol-Terra

Estrelas são corpos celestes formados por gases, como hélio e hidrogênio, e poeira, com a presença de um núcleo denso no interior do qual acontecem as reações de fusão que resultam na liberação de energia (GUITARRARA, 2022). O sol é a estrela mais próxima da Terra, está situada cerca de 150 mil quilômetros de distância e é principal fonte de energia do planeta. Embora seja estudado a séculos, somente nas últimas décadas, após a corrida espacial e a evolução tecnológica dos satélites, obtivemos um conhecimento mais aprofundo dessa estrela e seus efeitos, conceitos como: Radiação Solar e ângulos da geometria solar.

O planeta possui uma inclinação de aproximadamente $23,5^\circ$ em relação ao sol. Essa inclinação e o movimento de translação da terra em volta do sol fazem surgir as estações do ano. Assim sendo, regiões próximas à linha do equador apresentam menor variação da irradiação ao longo do ano (PINHO; GALDINO, 2014). Localidades em altas latitudes apresentam os maiores valores de irradiação em meses do verão, mas durante o inverno apresentam os menores, de modo que a energia anual total recebida seja menor nas maiores latitudes, como exemplificada na Figura 1, sendo Q_o a radiação solar e as barras com marcações em S na legenda se referem aos graus de latitude em relação ao sul:

Figura 1 - Irradiação solar x Latitude



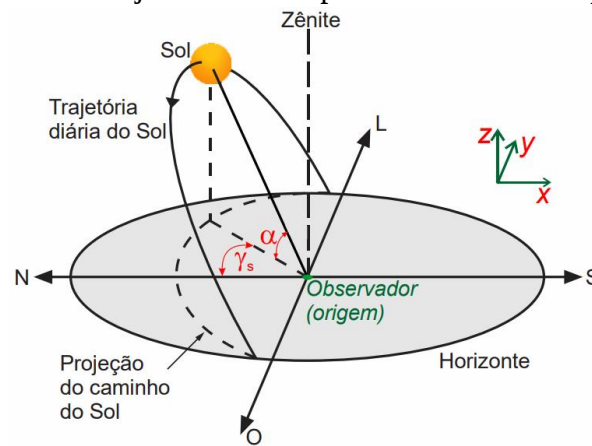
Fonte - (SENTELHAS; ANGELOCCI, 2009).

Sendo a Terra centrada na esfera celestial, a rigor, o raio da esfera celeste se refere à distância do centro da Terra à posição do Sol. Porém, como a distância do Sol é muito maior

que o raio da Terra, o efeito prático deste deslocamento da origem pode ser desprezado (SMETS et al., 2016). Ou seja, considera-se que o plano horizontal intercepta a esfera celeste em um círculo máximo, isto é, passa pelo centro da esfera (FILHO e SARAIVA, 2017).

As coordenadas horizontais são representadas pelos ângulos de altura e azimuth. Essas coordenadas foram contextualizadas para a área de Engenharia Solar por meio das definições dos ângulos de altura solar (α) e azimuth solar (γ_s) (MEDEIROS; MARTINS, 2022). Sendo esses, basicamente os únicos ângulos utilizados na área e podem ser obtidos por softwares. Abaixo a Figura 2 exemplifica os ângulos citados acima:

Figura 2 - Trajetória diária aparente do nascer ao pôr do Sol



Fonte - (MEDEIROS; MARTINS, 2022).

2.2 Instrumentação de medição para radiação solar

A radiação solar pode ser medida por meio de estimativas de valores ou instrumentos de medição. A radiação solar é medida por um instrumento chamado piranômetro. O valor da irradiação difusa é medido com um piranômetro como mostrado na Figura 3 ao qual é acoplado uma banda ou um disco de sombreamento para bloquear a componente direta. Ao combinar os valores medidos pelo piranômetro bloqueado com o outro sem o dispositivo de bloqueio pode-se obter a componente direta pela subtração dos valores da irradiância global e da sua componente difusa (QUIQUETO, 2019).

Figura 3 – Piranômetros no plano horizontal e inclinado



Fonte - (SOUZA et al., 2020).

2.3 Funcionamento dos sistemas fotovoltaicos

A energia solar fotovoltaica é indicada para uma ampla gama de aplicações onde é necessário gerar energia elétrica, seja para suprir as necessidades energéticas de quem não possui rede elétrica (sistemas *off grid*) ou para gerar energia a partir da rede elétrica (sistemas conectados à rede) (SANTOS, SCHWABE e RUBINEC, 2023).

2.3.1 Funcionamento da célula fotovoltaica

O efeito fotovoltaico foi observado pela primeira vez em 1839 por Edmond Becquerel, que verificou que placas metálicas, de platina ou prata, mergulhadas num eletrólito, produziam uma pequena diferença de potencial quando expostas à luz (BECQUEREL, 1839). Em 1877, dois inventores norte-americanos, W. G. Adams e R. E. Day, utilizaram as propriedades fotocondutoras do selênio para desenvolver o primeiro dispositivo sólido de produção de eletricidade por exposição à luz (ADAMS e DAY, 1877).

Entretanto, a eficiência destes primeiros sistemas era tão reduzida que o desenvolvimento de células solares realmente interessantes teve que esperar por uma compreensão mais completa dos materiais semicondutores (BRITO, et al, 2006). Só em 1954, Chapin e colaboradores, do Bell Laboratory, nos Estados Unidos da América, publicaram o

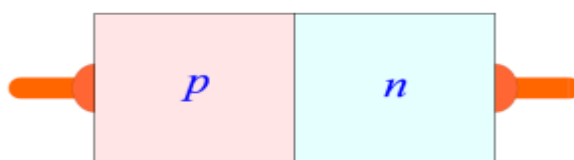
primeiro artigo sobre células solares em silício, ao mesmo tempo em que registravam a patente de uma célula com uma eficiência de 4,5% (CHAPIN, FULLER e PEARSON, 1954).

Assim no Brasil, o agente impulsionador das pesquisas dessa tecnologia para aplicações diversas, inclusive para complementação do sistema elétrico existente, foi a crise do petróleo em 1973. A energia solar passou a atrair o interesse do governo (NASCIMENTO, 2004).

As tecnologias subjacentes ao aproveitamento da energia solar para a produção de eletricidade, baseiam-se fundamentalmente na utilização de materiais semicondutores que permitem que ocorra a transformação direta da radiação solar em energia elétrica (CARNEIRO, 2010).

Os semicondutores são materiais tetravalentes, que apresentam uma capacidade de condução elétrica intermediária. Essa característica lhes permite funcionar tanto como isolantes, bloqueando o fluxo de corrente elétrica, quanto como condutores, permitindo o movimento de elétrons. Tais materiais podem ser classificados como tipo P e tipo N. Ao se colocar em contato semicondutores do tipo N com semicondutores do tipo P obtém-se uma junção chamada de junção PN. Quando esses materiais são colocados em contato, os elétrons começam a migrar espontaneamente através da interface no sentido do semicondutor N para o P. Na interface do lado do semicondutor N, tem-se um acúmulo de cargas positivas, devido a saída de elétrons, ao passo que no lado do semicondutor P, a entrada de elétrons provoca um acúmulo de cargas negativas, como mostrado na Figura 4. Esse acúmulo de cargas na junção PN opõe-se ao sentido da migração espontânea de elétrons, como visto na imagem abaixo, levando a interrupção do processo (TOMA, 2004).

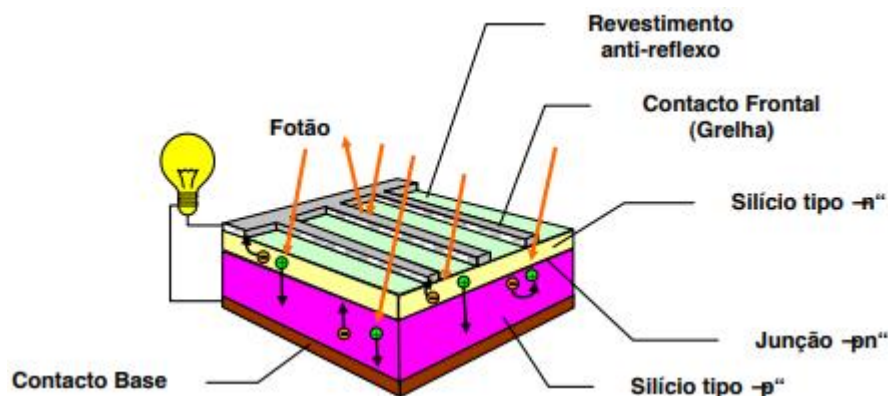
Figura 4 - Junção PN



Fonte - (BOTELHO; FERRONATO, 2022).

Diferente de outros semicondutores, o dispositivo fotovoltaico não usa a estrutura normal do silício, como nos diodos, ao invés disso usa uma fina camada de óxido transparente. Estes óxidos são altamente transparentes e tem alta condutividade elétrica. (CARNEIRO, 2010). Abaixo na Figura 5 é mostrado um exemplo da construção de uma célula fotovoltaica.

Figura 5 - Constituição interna de uma célula fotovoltaica de silício

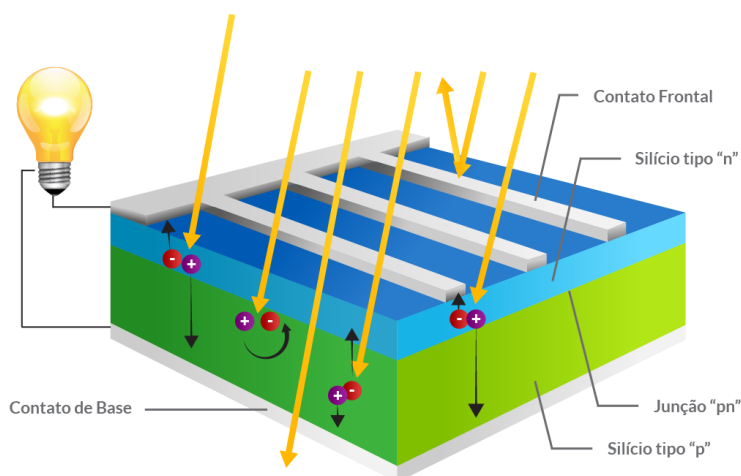


Fonte - (CRESESB; 2008).

Por meio de um condutor externo, ligando a camada negativa à positiva, gerando um fluxo de elétrons (corrente elétrica). Enquanto a luz incidir na célula, manter-se a este fluxo.

A intensidade da corrente elétrica gerada apenas mantém um fluxo de elétrons estabelecidos num circuito elétrico enquanto houver incidência de luz sobre ela (CARNEIRO, 2010). Na Figura 6 é observada a representação de um módulo fotovoltaico em circuito elétrico:

Figura 6 - Representação do funcionamento de uma célula fotovoltaica de silício cristalizado



Fonte - (CAVALCANTE; 2020).

Esses dispositivos incorporam várias tecnologias, mas a maioria das células disponíveis no mercado brasileiro é feita de silício policristalino ou monocristalino. Cada tipo tem seus pontos fortes e fracos, sendo mais adequado para diferentes situações. Em geral, os módulos de silício monocristalino tendem a ser mais eficientes, enquanto os de silício policristalino são mais econômicos.

2.3.2 Curva I-V

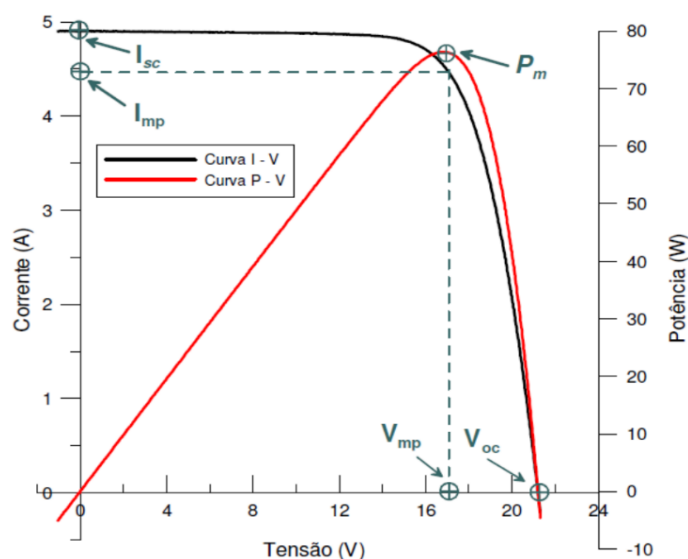
Dentro de um sistema de produção de energia solar, os painéis solares são interligados tanto em série quanto em paralelo, formando conjuntos conhecidos como arranjos fotovoltaicos. Essa interligação é crucial pois, na maioria das vezes, um único módulo fotovoltaico não é capaz de proporcionar os valores necessários de corrente e tensão para suprir o sistema. Através desses arranjos, são obtidos os valores apropriados de tensão, corrente, potência e energia, garantindo assim o correto desempenho do sistema.

As curvas I-V (corrente-tensão) fornecem informações detalhadas sobre os parâmetros elétricos de um arranjo fotovoltaico, tendo como principal aplicação a avaliação e o monitoramento do desempenho de sistemas fotovoltaicos (TRETER; MICHELS, 2018). Também é possível obter P (potência) e V (tensão) através da curva P-V onde será obtido esses dados.

Nesse sentido, a curva I-V permite estudar e avaliar os dados elétricos de um sistema, como, por exemplo, a máxima potência que pode ser entregue pelo arranjo sob dadas características de temperatura e irradiância solar. Além de fornecer importantes parâmetros do sistema em análise, as curvas características possibilitam identificar falhas na instalação e módulos parcialmente ou completamente sombreados, além de células ou módulos danificados (MIRANDA, 2022).

A construção da curva I-V, exemplificada na Figura 7, consiste na aquisição dos pares tensão e corrente a partir do ponto em que a tensão é nula e a corrente é máxima, até o ponto em que a tensão é máxima e a corrente é nula ou vice-versa (OLIVEIRA, 2015).

Figura 7 - Curva característica e curva de potência de um módulo.



Fonte - (GASPARIN, 2009.)

Nessa varredura existem três pontos importantes na caracterização do gerador fotovoltaico:

Tensão de circuito aberto V_{oc} : Essa tensão é obtida quando os terminais do gerador estão desacoplados de qualquer carga, sendo assim a corrente será nula;

Corrente de curto-circuito I_{sc} : É a corrente que circula pelo gerador quando os seus terminais estão em curto-circuito. Nesse ponto a tensão é nula;

Ponto de máxima potência P_m : a tensão e a corrente, respectivamente, que determinam o ponto de máxima potência (GASPARIN, 2009).

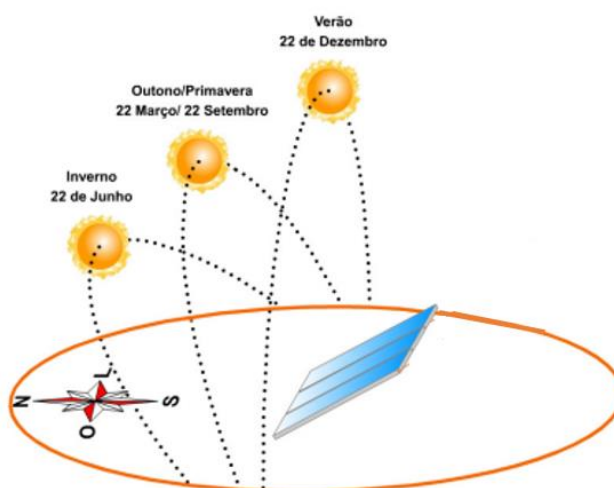
2.3.3 Orientação dos sistemas fotovoltaicos

A análise da orientação do arranjo fotovoltaico, que consiste nos ângulos de azimute e inclinação, no dimensionamento também é importante. Por que sem uma simulação horária ao longo do ano não é possível chegar a resultados conclusivos sobre a real influência do ângulo no desempenho global do sistema (GASPARIN; KRENZINGER, 2016).

Em geral, para uma operação adequada e eficiente, os módulos devem estar orientados em direção à linha do equador. Nas instalações localizadas no hemisfério sul, a face dos módulos fotovoltaicos deve estar orientada em direção ao norte verdadeiro (direção para o polo norte geográfico, que é o ponto mais ao norte da Terra). Porém, esta regra pode não ser válida caso o clima local possua elevada variação climática, por exemplo, caso ocorra neblina durante

a manhã e a maioria da incidência de radiação solar ocorra à tarde. Por sua vez, caso o local de instalação esteja no hemisfério norte, os módulos fotovoltaicos devem estar orientados com sua face voltada para o sul verdadeiro (PINHO; GALDINO, 2014). Abaixo na Figura 8 é mostrada uma representação da orientação de módulos fotovoltaicas.

Figura 8 - Orientação de módulo fotovoltaico para o norte verdadeiro



Fonte - (OURO FINO; 2023. Adaptado)

Adaptação: Remoção legenda e coletor acoplado a placa.

2.3.4 Fatores que afetam a geração das usinas fotovoltaicas

Segundo Melo (2022) diversos fatores afetam a geração das usinas fotovoltaicas, tais como:

- Estações do ano: Os dias são mais longos no período do verão e mais curtos no inverno;
- Horas de luz durante o dia: Períodos chuvosos ou nublados diminuem a geração de energia do sistema;
- Latitude e inclinação: Para garantir a melhor incidência possível de radiação solar durante o ano todo, a instalação dos painéis solares deve ter o ângulo de inclinação igual ao da latitude local.
- Sombreamento: Pode ser gerado por sujeira nas placas ou fatores externos (construções, árvores...), em ambos os casos gera uma grande diminuição na produção da usina. Vale

citar que caso a sombra seja parcial, existe a possibilidade de queima do módulo, caso não possua diodo de by-pass como sistema de proteção.

- Qualidade dos componentes: A qualidade dos componentes de uma usina fotovoltaica, como os painéis solares, inversores e cabos, também pode afetar sua produção de energia.

Além desses fatores, parâmetros como temperatura e irradiância solar influenciam diretamente em características intrínsecas dos painéis solares, estes fatores serão discutidos nas 2.3.5.

2.3.5 Parâmetros que afetam características elétricas dos módulos fotovoltaicos

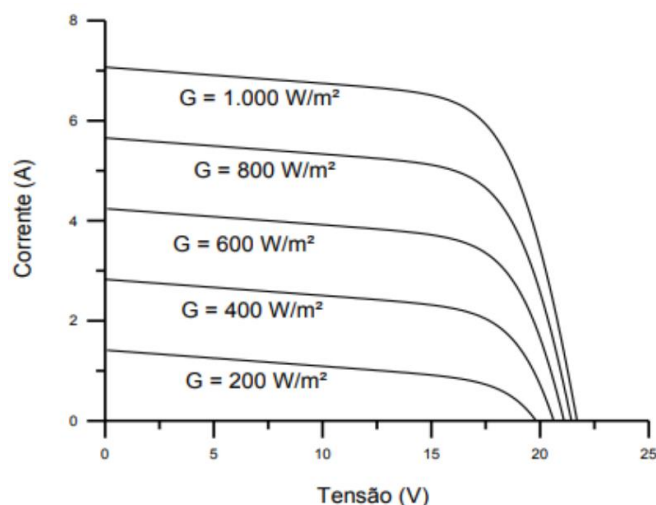
O desempenho das células fotovoltaicas é influenciado pela irradiância incidente e sua distribuição espectral, bem como pela temperatura de operação da célula (PINHO e GALDINO, 2014).

2.3.5.1 Influência da irradiância solar

Segundo Gasparin (2009), a corrente de curto-circuito aumenta de maneira proporcional à irradiância, ao passo que a variação da tensão com a irradiância segue uma trajetória logarítmica. Isso acontece porque a relação entre a tensão e a corrente em uma célula é de natureza exponencial. Somente quando a irradiância cai para níveis muito baixos, abaixo de 100 W/m^2 , é que ocorre uma diminuição mais significativa na tensão.

Porém, em condições reais, a radiação direta não será a totalidade da radiação global recebida, já que sempre uma porcentagem é refletida e outra bloqueada pelas nuvens, refletida também pelo albedo dos objetos ao redor, assim como pela água presente no ar (densidade de umidade), ou bloqueada também pelas gotas de chuva (MARQUES, 2020). A Figura 9 mostra o exemplo do efeito de diferentes valores de irradiação solar em uma célula FV (Fotovoltaica):

Figura 9 - Efeito causado pela variação da irradiância solar sobre a curva característica I-V para módulo FV de 36 células de silício cristalino a 25°C.

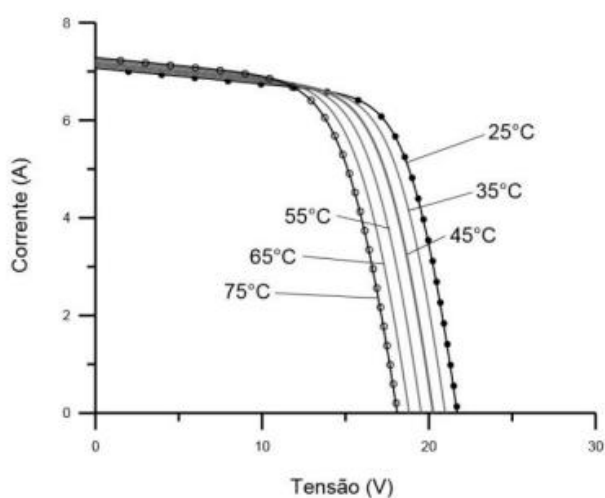


Fonte - (PINHO; GALDINO, 2014).

2.3.5.2 Influência da temperatura

Muito similar a outros dispositivos semicondutores, as células solares também são sensíveis aos níveis de temperatura. Aumentos na temperatura do material afetam os parâmetros do material. À medida que a temperatura do módulo aumenta, sua corrente de saída aumenta, enquanto a saída de tensão é reduzida linearmente. Como resultado, o calor pode reduzir severamente a geração do módulo FV como é mostrado na Figura 10 (ALENCAR FILHO, 2018).

Figura 10 - Influência da temperatura corrente e tensão.



Fonte - (SILVA, 2017.)

2.3.6 Cálculo da geração de um sistema voltaico

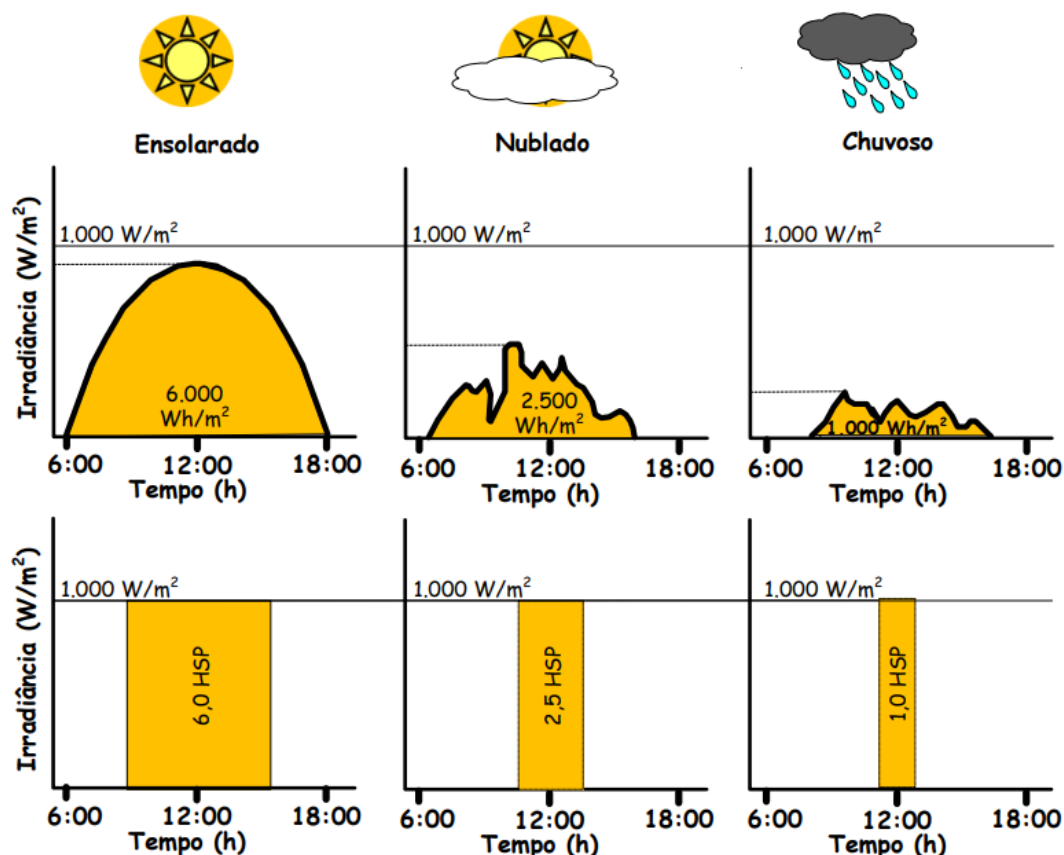
As principais etapas do projeto de um SFV (Sistema fotovoltaico) são as seguintes:

- Levantamento adequado do recurso solar disponível no local da aplicação;
- Definição da localização e configuração do sistema;
- Levantamento adequado de demanda e consumo de energia elétrica;
- Dimensionamento do gerador fotovoltaico;
- Dimensionamento dos equipamentos de condicionamento de potência que, no caso dos SFCRs (Sistemas Fotovoltaicos Conectados ou On-Grid), se restringe ao inversor para interligação com a rede;
- Dimensionamento do sistema de armazenamento, usualmente associado aos sistemas isolados.

2.3.6.1 Horas de Sol Pleno

Nas estimativas de produção de energia elétrica, é útil considerar a totalidade da energia elétrica convertida em intervalos horários. Como existe relação proporcional entre a produção de energia e a irradiação horária, este conceito pode ser estendido, gerando uma forma bastante conveniente de se expressar o valor acumulado de energia solar ao longo de um dia: o número de Horas de Sol Pleno (HSP), como representado na Figura 11:

Figura 11 - Exemplo de perfis de radiação solar diária com valores equivalentes de HSP.



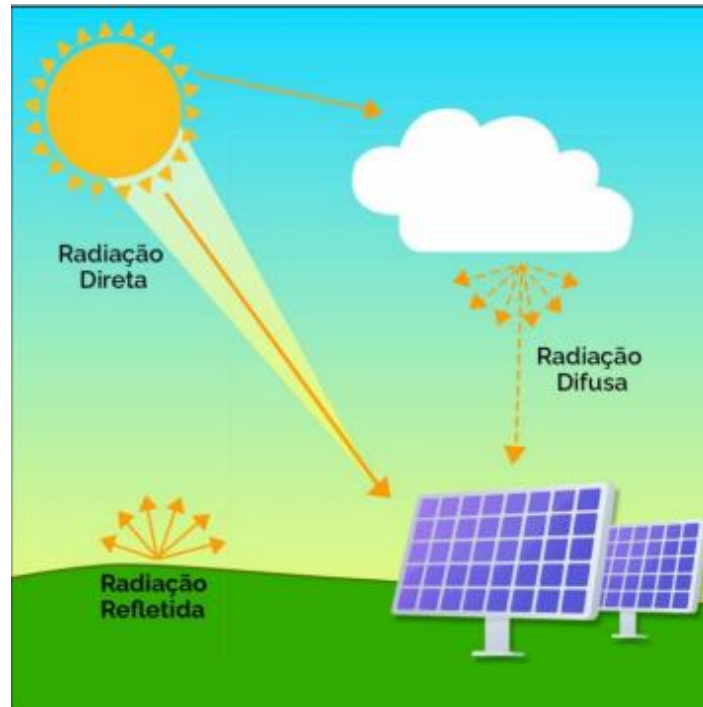
Fonte - (PINHO et al., 2008).

O HSP reflete o número de horas em que a irradiância solar deve permanecer constante e igual a $1 kW/m^2$ ($1.000 W/m^2$), de forma que a energia resultante seja equivalente à energia disponibilizada pelo Sol no local em questão, acumulada ao longo de um dado dia (PINHO; GALDINO, 2014).

2.3.6.2 Comportamento da radiação a partir dos dados meteorológicos

A determinação da radiação solar, medida em W/m^2 , desempenha um papel essencial nos campos das energias renováveis e da meteorologia. A radiação solar que atinge a Terra é dividida em três componentes principais: a radiação direta (G_b), vinda diretamente do sol, a radiação difusa (G_d), que ocorre devido à dispersão da luz solar na atmosfera e a radiação refletida no solo, isso é visto na Figura 12. A quantia total de radiação solar (G) em um local específico é a soma dessas três grandezas (FREITAS, 2019).

Figura 12 - Ilustração do comportamento das radiações



Fonte - (SILVA e JUNIOR; 2022).

2.3.6.3 Cálculo da geração de um sistema voltaico a partir dos dados meteorológicos

O ângulo zenital é também conhecido como o ângulo de zênite, o qual é formado pelo observador e definido pelas linhas que se estendem da posição do Sol até o ponto vertical como mostrado na Figura 13. Esse ângulo pode ser calculado da seguinte maneira (GONÇALVES e LIMA, 2018):

$$\cos(\theta_z) = \cos(\varnothing) \cos(\delta) \cos(\omega) + \sin(\varnothing) \sin(\delta) \quad (1)$$

Sendo, θ_z é o ângulo de zênite, $\varnothing$ é a latitude, δ é a declinação solar e ω é o ângulo horário.

De acordo com GONÇALVES e LIMA (2018), os valores de δ e ω podem ser definidos respectivamente:

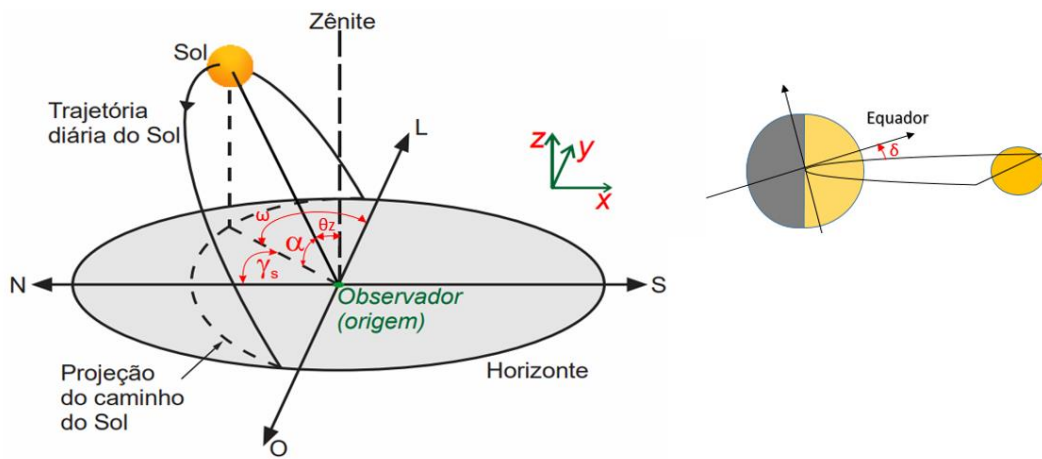
$$\delta = 23,45^\circ \sin \left[\frac{2\pi (284 + n)}{365} \right] \quad (2)$$

Visto que, δ é a declinação solar em graus e n é o enésimo dia do ano.

$$\omega = 15^\circ (h_s - 12) \quad (3)$$

Onde, ω é o ângulo horário em graus e h_s é a hora do dia.

Figura 13 - Ângulos solares



Fonte - (MEDEIROS; MARTINS, 2019. Adaptado).

Adaptação: Adicionado os ângulos zenital, declinação solar e ângulo horário.

2.3.6.4 Radiação Extraterrestre

Radiação extraterrestre é taxa de energia incidente por unidade de área em um plano horizontal definido no topo da atmosfera (SOUZA et al,2020). Segundo GONÇALVES e LIMA (2018), tal valor pode ser definido pela equação abaixo:

$$G_{ex} = G_{sc} \left(1 + 0,033 \cos \left(\frac{2\pi n}{365} \right) \right) \cos \theta_z \quad (4)$$

Sendo G_{ex} é a radiação extraterrestre, G_{sc} é a constante solar de um dia (1367 W/m^2) e n é o enésimo dia do ano.

2.2.6.5 Radiação Direta

A radiação direta proveniente do sol é aquela que atinge a superfície terrestre sem sofrer dispersão pela atmosfera. (FREITAS,2019). O valor desta radiação pode ser estimado pela seguinte equação (GONÇALVES e LIMA, 2018):

$$G_b = G_{on}\tau_b \cos\theta_z \quad (5)$$

Logo I_b é radiação direta para o período de uma hora, I_{on} é a radiação global horizontal, τ_b é o fator de atenuação da atmosfera, θ_z é o ângulo zênite solar.

2.2.6.6 Radiação Difusa

A radiação difusa, por outro lado, resulta da dispersão da luz solar na atmosfera, atingindo a superfície terrestre em diversas direções. (FREITAS,2019).

De acordo com GONÇALVES e LIMA (2018), o cálculo da quantidade total de radiação incidente em uma placa plana também está condicionado à avaliação da radiação difusa em céu claro em uma superfície horizontal. Essa condicional é mostrada na equação abaixo:

$$G_d = G_{on}(1,00 - 1,13K_z) \quad (6)$$

Dessa forma, G_d é a radiação difusa, G_{on} é a radiação global horizontal e K_z é o índice de transmissividade atmosférica.

O índice de transmissividade atmosférica pode ser obtido pela equação 7 (RÊGO e SORRENTINO,2020):

$$K_z = \frac{G_{on}}{G_{ex}} \quad (7)$$

Onde K_z é o índice de transmissividade atmosférica, G_{on} é a radiação global horizontal e G_{ex} é a radiação extraterrestre.

2.3.6.7 Irradiação Total

A irradiação total corresponde à soma da radiação direta e da radiação difusa. Diversos modelos de previsão da radiação solar estão disponíveis para estimar a irradiação solar em locais específicos. Esses modelos se baseiam em dados históricos de radiação solar, informações meteorológicas e outros fatores relevantes. (FREITAS,2019). Vale citar, através das palavras de Freitas (2019) o conceito de Irradiação refletida (albedo) que se refere a irradiação refletida pelo ambiente do entorno (solo, vegetação, obstáculos, terrenos rochosos etc.). Para o cálculo de irradiação total GONÇALVES e LIMA (2018) propõem o seguinte cálculo:

$$G = (G_b + G_d)\rho_g \quad (8)$$

Dessa forma G é a radiação total, G_b é radiação direta para o período de uma hora, G_d é a radiação difusa e ρ_g é o coeficiente de absorção da superfície inclinada

2.3.6.8 Cálculo radiação total no plano inclinado

Essa fórmula se baseia no modelo desenvolvido por Liu e Jordan, um modelo físico que descreve como a radiação solar se distribui sobre uma superfície inclinada.

De acordo com LIU e JORDAN (1960) essa radiação direta é afetada pela atmosfera e pelo ângulo de inclinação da superfície. O ângulo solar zenital é o ângulo variável entre a vertical e a direção dos raios solares em relação ao observador. A influência da atmosfera é expressa por meio da função (GONÇALVES e LIMA, 2018):

$$G_t = (G_b R_b) + G_d \frac{(1 + \cos \beta)}{2} + G \frac{(1 - \cos \beta)}{2} \quad (9)$$

Dessa forma G_t é radiação inclinada, expressa em W/m^2 , G_b é radiação direta para o período de uma hora, R_b é o fator de correção da radiação direta, G é a radiação total, G_d é radiação difusa e β é o ângulo de inclinação da superfície, expresso em graus.

O fator de correção R_b é definido da seguinte maneira:

$$R_b = \frac{\cos(\theta)}{\cos(\theta_z)} \quad (10)$$

Sendo θ_z é o ângulo de zênite e θ é incidência da radiação direta em uma superfície.

O $\cos(\theta)$ pode ser obtido através da equação (GONÇALVES e LIMA, 2018):

$$\cos(\theta) = \cos(\varnothing + \beta) \cos(\delta) \cos(\omega) + \sin(\varnothing + \beta) \sin(\beta) \quad (11)$$

Onde θ é incidência da radiação direta em uma superfície, $\varnothing$ é a latitude, β é a inclinação da superfície, ω é ângulo da hora solar e δ é o ângulo de declinação solar

2.2.6.9 Cálculo estimado da temperatura do módulo FV

Segundo ALONSO e MARTINEZ (2002), a equação 12 é uma expressão que descreve como a transferência de calor ocorre entre um módulo FV e o ambiente circundante.

$$T_{mod} = T_{amb} + K_t I_t \quad (12)$$

Sendo T_{mod} a temperatura do módulo fotovoltaico estimada em graus Celsius, T_{amb} é a temperatura ambiente em graus Celsius, K_t é o coeficiente de transferência de calor do módulo fotovoltaico, em $W/(m^2K)$, G_t é a radiação inclinada, expressa em W/m^2

2.3.6.10 Cálculo da potência de saída do módulo

Na equação a seguir vemos a fórmula que é utilizada para estimar a potência de saída de um sistema fotovoltaico.

$$P = Área I_t \eta \quad (13)$$

Onde P é a potência de saída do sistema fotovoltaico em Watts, $Área$ é a área dos módulos fotovoltaicos do sistema em m^2 , G_t é a radiação inclinada expressa em W/m^2 , η é o rendimento do sistema fotovoltaico em %.

Essa fórmula se fundamenta na ideia de que a potência produzida por cada módulo fotovoltaico está diretamente relacionada à área do módulo e à quantidade de radiação solar que incide sobre ele. O rendimento do sistema fotovoltaico é um parâmetro que reflete as perdas de potência do sistema devido a vários fatores, tais como a temperatura, a presença de sujeira nos módulos fotovoltaicos e a qualidade da instalação do sistema (BROW e SMITH, 2017).

2.3.6.11 Cálculo potência máxima

A equação 14 é a fórmula usada para estimar a potência de saída de um módulo fotovoltaico em uma temperatura de operação específica. Essa fórmula se baseia na ideia de que a potência de saída de um módulo fotovoltaico diminui à medida que a temperatura de operação aumenta (ALONSO e MARTINEZ, 2002).

$$P_{MaxT} = P (1 + \zeta \cdot T_{mod} - 25) \quad (14)$$

De maneira que P_{MaxT} é a potência de saída do módulo fotovoltaico estimada em Watts, P é a potência de saída máxima do módulo fotovoltaico em Watts, ζ é o coeficiente de temperatura do módulo fotovoltaico em $\% \text{ } ^\circ\text{C}$, T_{mod} é a temperatura de operação do módulo fotovoltaico em graus Celsius.

A primeira parte da equação, representa a potência de saída máxima do módulo FV ou potência nominal do módulo FV, um valor especificado pelo fabricante do módulo. Quanto maior a potência de saída máxima, maior será a potência de saída em todas as temperaturas de operação.

A equação, descreve a redução na potência de saída do módulo FV devido ao aumento da temperatura de operação. O valor de ζ depende das características materiais e do design do módulo FV. Um valor maior de ζ indica uma redução mais acentuada na potência de saída com o aumento da temperatura de operação. T_{mod} é a temperatura de operação do módulo FV, que pode ser estimada com base na temperatura ambiente e no coeficiente de transferência de calor do módulo FV. Quanto maior for a temperatura de operação, maior será a redução na potência de saída.

Essa fórmula é útil para estimar como a potência de saída de um módulo FV varia em diferentes condições de temperatura ambiente e irradiância incidente.

2.3.7 Indicadores para usinas fotovoltaicas

Os indicadores desempenham um papel fundamental na avaliação e monitoramento da eficiência das usinas fotovoltaicas, que convertem a luz solar em eletricidade. Esses indicadores são métricas-chave que permitem aos operadores e especialistas em energia solar avaliar o desempenho de uma usina, identificar áreas de melhoria e tomar decisões informadas para otimizar a produção de energia (NETA et al. 2022)

Eles abrangem uma ampla gama de parâmetros, incluindo a eficiência de conversão, a disponibilidade do sistema, o rendimento energético, entre outros. Existem diversos indicadores, tais como: Índice de performance; Fator capacitivo; Eficiência do sistema; Fração solar; entre outros. Os indicadores a serem estudados nesse trabalho são *Performance Ratio* e *Yeild* (NETA et al. 2022).

2.3.8 Taxa de Performance

A taxa de performance (PR, do inglês *Performance Ratio*) é uma medida que permite comparar sistemas instalados em diferentes locais. Ou seja, define assim a qualidade que o sistema fotovoltaico tem sempre ajustado a zona em que está instalado. No Brasil, a taxa de atividade de um sistema fica entre 54 e 79% (OCAENERGIA, 2020).

A eficiência do módulo fotovoltaico em condições de teste padrão é uma medida que compara a quantidade de eletricidade real gerada pelo módulo fotovoltaico nas condições do mundo real com a quantidade hipotética de eletricidade que seria gerada sob condições ideais de teste. Essas condições ideais incluem uma temperatura específica, um nível de irradiação solar e outros fatores controlados. A eficiência é uma maneira de avaliar o quão bem o painel fotovoltaico está funcionando no mundo real em comparação com seu potencial teórico em condições perfeitas:

$$PR = \frac{E_r}{E_t} \quad (15)$$

Sendo PR a taxa de performance, E_r a energia real gerada e E_t a energia teórica calculada.

Em sistemas comerciais em grande escala, o PR pode ser usado para investigar a ocorrência de falhas nos componentes, calculando-o em intervalos menores, como semanais ou diários.

2.3.9 Fator de rendimento

Bicalho, Araújo e Cardoso (2024) discutem a relação entre a energia produzida (em kWh) e a potência instalada (em kW), conhecida como fator de rendimento ou produtividade, é expressa pela Equação 16. Essa medida indica quantas horas seriam necessárias para gerar a mesma quantidade de energia se o sistema funcionasse continuamente na sua potência máxima.

$$Y = \frac{E_{ger}}{P_{Instalada}} \quad (16)$$

Sendo, Y é o fator de rendimento *YIELD* em h, $P_{instalada}$ é a potência Instalada em kWp e E_{ger} é a energia que o módulo fotovoltaico gerou.

Bicalho, Araújo e Cardoso (2024) salientam que o fator de rendimento ou produtividade de um sistema fotovoltaico pode variar dependendo do intervalo de medição da energia gerada. Este intervalo pode ser quinzenal, mensal, anual, entre outros. A escolha do intervalo de medição é importante para a análise precisa do desempenho do sistema.

3 METODOLOGIA

3.1 Portais utilizados

O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) desempenha um papel crucial na obtenção de dados precisos de temperatura e radiação solar, elementos essenciais para o cálculo do potencial energético solar em uma determinada área. No presente trabalho, utilizamos a temperatura e a radiação do portal do INMET com intervalo de tempo de 1 hora, coletados da estação meteorológica em Timóteo, a mais próxima da Usina Fotovoltaica em Ipatinga, Minas Gerais. A confiabilidade desses dados é fundamental para determinar a viabilidade da geração de energia solar na região. A ferramenta de monitoramento "SolarMan", utilizada pelo IFMG Ipatinga, gera relatórios de potência de saída com um intervalo de 5 minutos, isso permite comparar a produção real de energia solar da usina com os valores esperados com base nos dados do INMET, essa comparação serve como base para aprimorar os processos de captação e utilização da energia solar, buscando otimizar a eficiência e reduzir custos.

Além disso, a combinação destes dados ajuda-nos a aprender mais sobre como a radiação solar afeta o tempo e o clima na nossa área, o que é útil para a investigação e a utilização da energia solar.

3.2 Construção do *dashboard*

Com base em uma revisão bibliográfica, o *Yield*, PR, geração real e geração teórica foi escolhido como os indicadores para a construção de um *dashboard* de energia FV. Essa seleção se justifica pela capacidade desses indicadores de fornecer uma visão completa do desempenho do sistema.

A seleção criteriosa de gráficos e tabelas é crucial, conforme enfatizado por Tufté (2001), visando garantir clareza e simplicidade. Reduzir informações redundantes é essencial para evitar poluição visual no *dashboard*. Shneiderman (1996) destaca a importância da interatividade, como filtros dinâmicos para explorar dados específicos. A escolha cuidadosa de cores, segundo Bertin (1983), é fundamental para a legibilidade e estética, evitando distrações. Ware (2013) recomenda a organização lógica dos elementos, destacando informações essenciais. A revisão, conforme Few (2006), é importante para validar o *dashboard*.

A construção dos *dashboards* ocorreu segundo a bibliografia. Uma analogia interessante é imaginar como o projeto funciona: descreve-se a abordagem por meio de uma linha do tempo,

desde a coleta de dados até a apresentação no *dashboard*. O projeto passou por cinco etapas para avaliar a eficiência da produção de energia solar na região. Primeiramente, definiram-se os objetivos e selecionaram-se as ferramentas adequadas, como softwares e um banco de dados. Em seguida, partiram para a coleta de dados reais medidos pelos painéis solares, usando planilhas do Excel, e dados estimados calculados com informações do INMET. Após reunirem esses valores, armazenaram todos os dados em um banco de dados organizado e realizaram análises comparativas entre a energia estimada e a energia real produzida. Para visualizarem facilmente esses resultados, criaram *dashboards* interativos. Esses painéis digitais exibem a comparação entre a energia estimada e a energia real de forma clara e intuitiva. Por fim, chegaram à etapa de interpretação dos sinais. A partir das análises, puderam extrair conclusões sobre a precisão das estimativas de produção de energia solar. A Figura 14 mostra o fluxograma simplificado do processo.

Figura 14 - Fluxograma da manipulação dos dados



Fonte - (Dados do Autor, 2023)

3.3 Dados Utilizados

Primeiramente, foram levantados os requisitos, incluindo a coleta de dados do website de monitoramento das Usinas de Energia Fotovoltaica do IFMG, utilizando o site SolarManPV. Esses dados estão disponíveis para download como mostra a Figura 15.

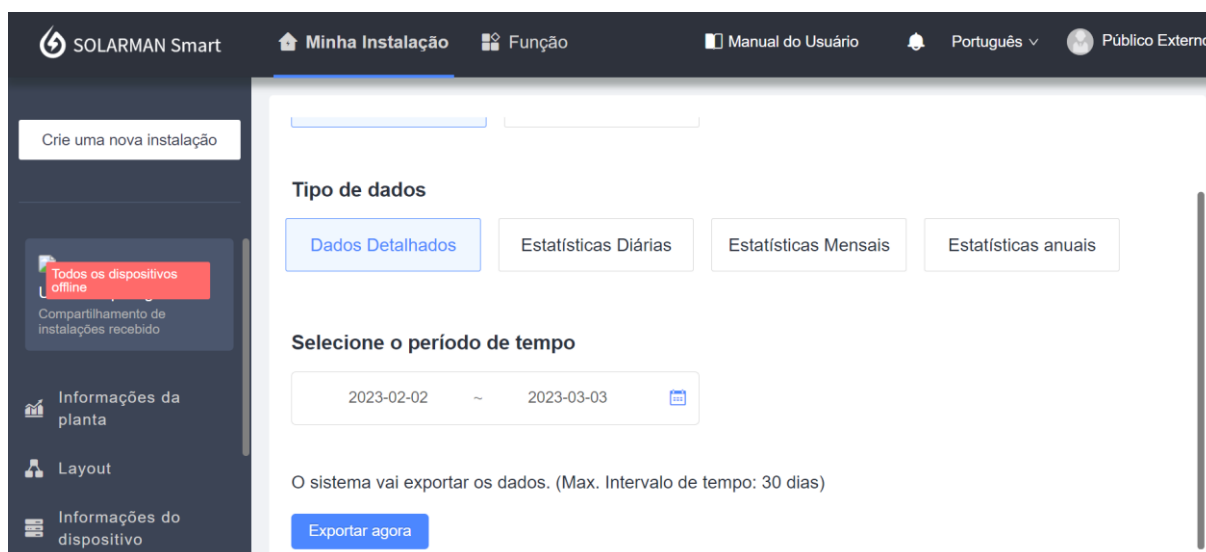
Tabela 1 – Usina fotovoltaica do IFMG de Ipatinga

Campus	kWp da Usina	Modelo dos Inversores	Nº inversores	Eficiência Max (%)	Modelo dos Módulos	Eficiência dos Módulos (%)	Número de módulos
CAMPUS AVANÇADO IPATINGA	44,88	Renovigi RENO-20K	2	98.3	Risen RSM144-6-340P	17.10	132

Fonte: (MARLON, Willian. 2023. Adaptado)

A partir de valores provenientes do INMET e os dados referentes da usina, foi possível estimar de maneira precisa a produção esperada de energia. Essa abordagem combina dados climáticos confiáveis com informações específicas da usina, possibilitando uma previsão mais precisa e útil da geração de energia, contribuindo assim para uma gestão mais eficiente e informada do sistema fotovoltaico.

Figura 15 - Site de extração Solarman



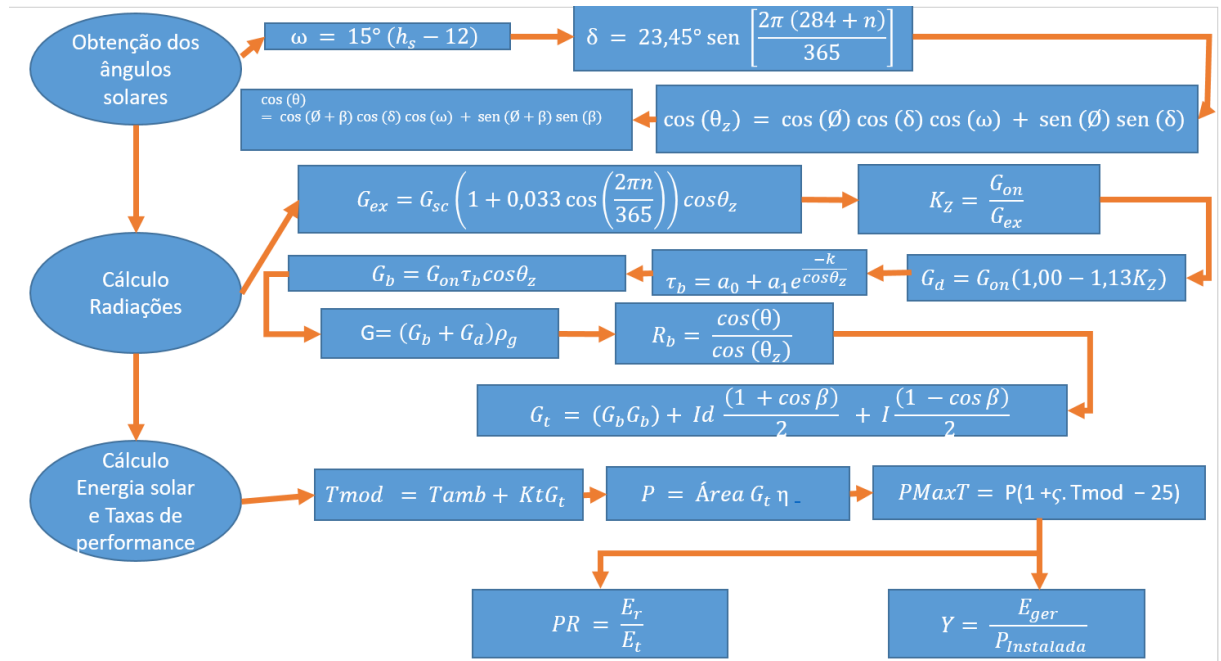
Fonte - (Dados do Autor, 2023)

Devido aos dados vindos deste site serem em potência intercalados de 5 em 5 minutos, realizamos a integração para obtermos a energia por hora utilizando o modelo de integração numérica regra do trapézio (SILVA, 2017).

Utilizamos os dados disponíveis em websites populares de monitoramento de radiação solar, como o INMET, como referência. Após obtermos os dados como exibido no Anexo A, iniciamos o processo de cálculo no Excel, onde realizamos a primeira conversão, transformando a radiação fornecida de KJ/m^2 para W/m^2 , como mostrado na figura abaixo.

Com isso, podemos descrever através do Anexo B e do fluxograma presente na figura 16, como seria a aplicação a obtenção dos valores, para chegarmos até os valores de energia e taxas de *performance* que serão exibidas no *Dashboard*.

Figura 16 – Fluxograma da manipulação matemática para obtenção da energia teórica



Fonte - (Dados do Autor, 2024)

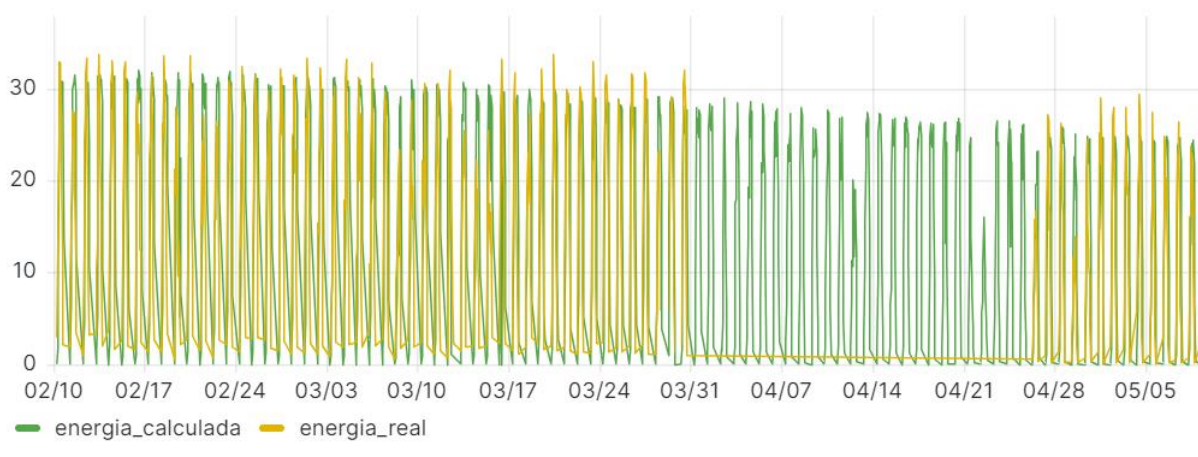
A etapa final do processo consistiu na configuração e no desenvolvimento dos dashboards na plataforma Grafana, uma ferramenta robusta de visualização de dados. A escolha do Grafana foi fundamentada em sua capacidade de criar painéis altamente personalizáveis, que não apenas apresentam os dados de maneira eficaz, mas também podem ser ajustados em termos de aparência e layout para atender às necessidades específicas do projeto e às preferências dos usuários.

4 RESULTADOS

Os resultados na Figura 17 sugerem uma modelagem adequada das referências. Outro ponto a se ressaltar é o GAP ocorrido entre o final de março e o final de abril, essa linha amarela mostrada no *dashboard* e representada pela falta de dados reais, isso ocorreu devido a uma manutenção que houve no sistema de captura de dados do inversor, os dados só foram reestabelecidos ao fim dessa manutenção.

Figura 17 - Indicadores de energia hora a hora.

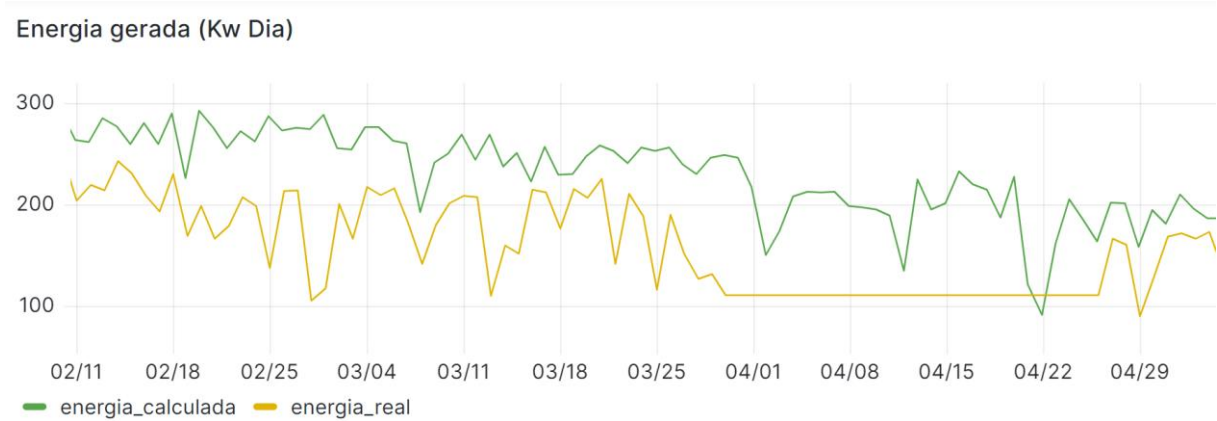
Energia calculada (kWh) x Energia Gerada (kWh)



Fonte - (Dados do Autor, 2024)

Como consequência a boa aproximação dos dados hora a hora, os dados dia a dia vistos na Figura 18, também possuem uma boa representação, com uma ligeira tendência de superioridade de valores para a aproximação calculada, de uma forma a ser esperada, onde geralmente a estimativa teórica dos valores superam os dados reais pois não são consideradas todas as perdas possíveis, mas sim apenas as perdas estimáveis como por exemplo de temperatura e eficiência do módulo FV.

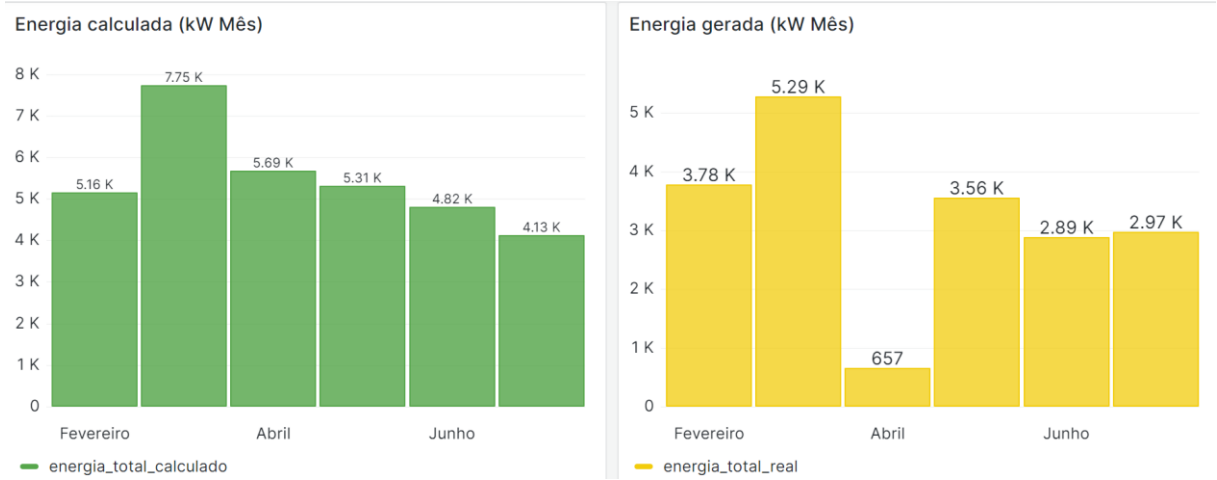
Figura 18 - Indicadores de energia dia a dia.



Fonte - (Dados do Autor, 2024)

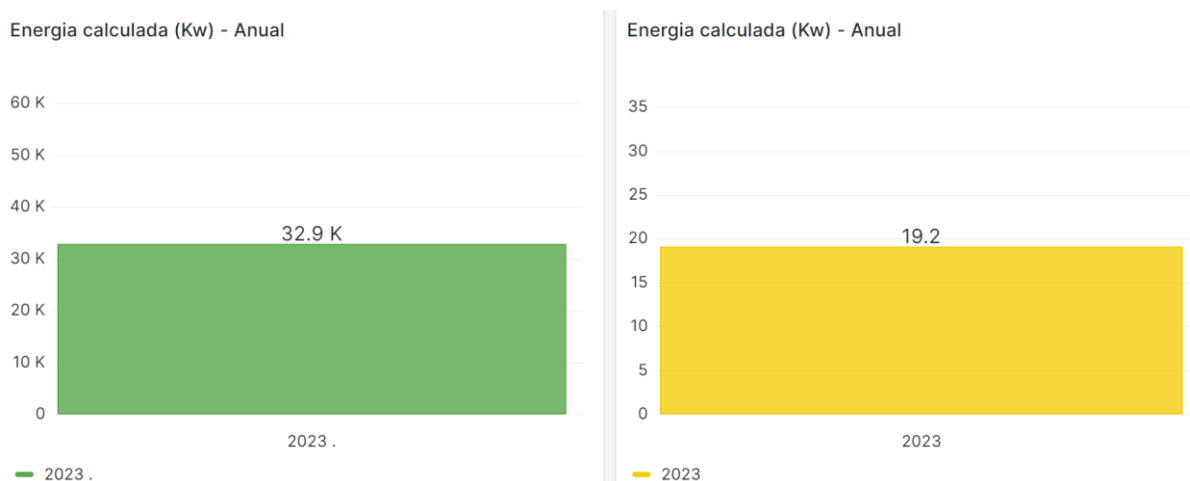
Desta forma também apresentamos os dados mês a mês e ano a ano como mostrados na Figura 19 e Figura 20, e com o mesmo comportamento onde a energia real foi um pouco menor que o esperado.

Figura 19 - Indicadores de energia mês a mês.



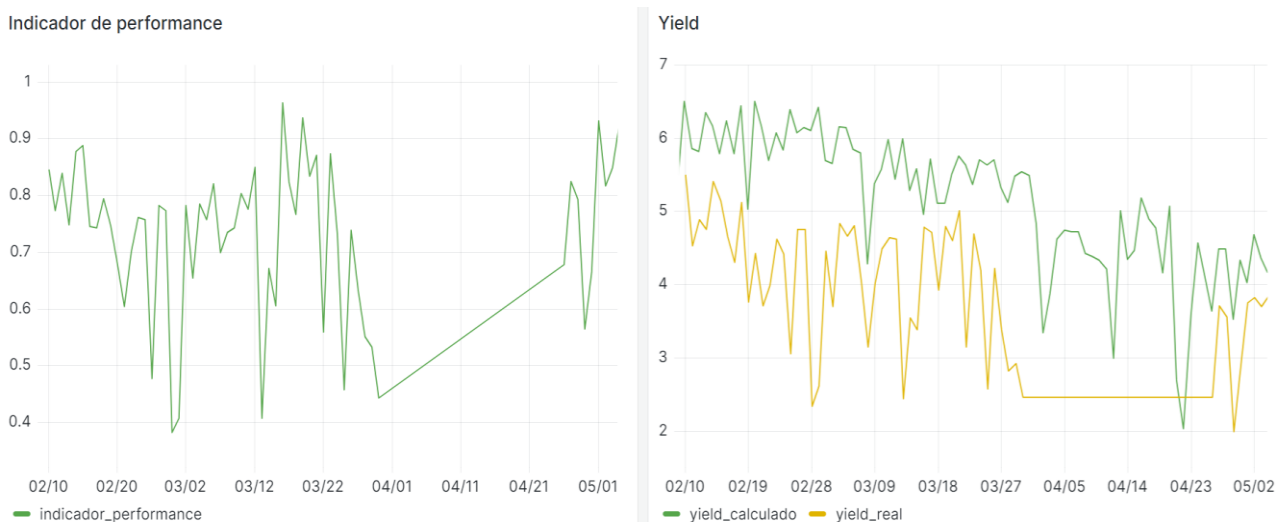
Fonte - (Dados do Autor, 2024)

Figura 20 - Indicadores de energia ano a ano.



Fonte - (Dados do Autor, 2024)

Com isso apresentamos as métricas de medida PR e *Yield* como demonstrado na figura 21, que verificam a eficiência do sistema, tanto em relação a eficiência e queria mais o caso do PR, quanto em horas trabalhadas que seria o caso do *Yield*.

Figura 21 - Indicadores de *performance* e *Yield*.

Fonte - (Dados do Autor, 2024)

A análise do indicador de *performance* revelou uma variabilidade relativa mas nunca ultrapassando 1, caso ultrapassasse seria um indicativo que a usina está produzindo mais do que o planejado, ou seja maior que o valor teórico calculado, outro ponto importante e que essas grandes variações como por exemplo o valor de 0,4 mostrado em uma data próxima a 02/03 pode corresponder que a estação meteorológica do INMET em Timóteo pode apresentar valores

bem discrepante quando utilizados para cálculos em relação ao comportamento que houve no dia em Ipatinga. Outro fator relevante mostrado na Figura 21 é o *Yield*, os valores em si apresentam um comportamento semelhante ao que foi descrito sobre o indicador de *performance*, cujo valor real nunca superou o valor calculado.

O gráfico serve como um guia visual, mas é fundamental interpretar seus resultados com cautela, reconhecendo a possibilidade de erros nos dados.

5 CONCLUSÃO

A análise dos gráficos de indicador de performance e *Yield* trouxe ideias sobre como o desempenho quanto a produção de energia dos painéis mudaram ao longo do tempo. No entanto, é importante saber que os dados utilizados têm algumas limitações. Podem ter erros nos cálculos e nas estimativas que geram os resultados mostrados nos *dashboards*. Por isso, é importante usar diferentes métodos para analisar os dados e entender melhor como os painéis FV estão funcionando.

É preciso olhar para todos os aspectos para entender completamente como eles funcionam ao longo do tempo. No futuro, a melhora dos métodos de medição e análise dos dados precisa ser melhorada.

Outro ponto importante a se destacar é o monitoramento utilizando *dashboards* é crucial para a gestão eficiente de sistemas e processos. *Dashboards* proporcionam uma visualização clara e intuitiva de dados em tempo real, permitindo que gestores e equipes técnicas identifiquem rapidamente anomalias, tendências e áreas que necessitam de atenção. Com *dashboards*, é possível consolidar informações de diversas fontes em um único lugar, facilitando a análise e a tomada de decisões informadas.

Sem a utilização de *dashboards*, o monitoramento se tornaria um processo mais fragmentado e menos eficiente. As pessoas teriam de lidar com dados dispersos, em diferentes formatos e locais, tornando mais lento e propenso a erros a detecção de problemas e análise de desempenho. A falta de uma visão integrada e atualizada dos dados dificultaria a identificação de padrões e a implementação de ações corretivas em tempo hábil, comprometendo a eficiência operacional e aumentando o risco de falhas críticas.

Por fim e possível avaliar que o estudo e desenvolvimento da pesquisa atenderam seus objetivos, o fato de se criar um projeto piloto que apresente informações simples e padronizadas, facilitam a análise de dados para o monitoramento.

6 MELHORIAS FUTURAS

Os projetos futuros deste trabalho têm como objetivo transformar significativamente o sistema de monitoramento de energia fotovoltaica, melhorando sua eficiência e funcionalidade. As principais iniciativas incluem o desenvolvimento de um novo modelo baseado em análise avançada de dados e aprendizado de máquina. Este modelo integrará variáveis como condições climáticas, inclinação dos painéis e degradação ao longo do tempo, promovendo uma avaliação mais precisa da produção de energia. Além disso, pretende-se implementar alertas personalizados para detectar anomalias e desvios, melhorando a manutenção preventiva. A granularidade do monitoramento será aprimorada para permitir o acompanhamento individual de cada módulo fotovoltaico, enquanto a expansão para outros campi proporcionará uma visão global da produção de energia. A automação completa por meio de scripts Python garantirá eficiência e consistência na coleta e análise de dados, enquanto a interatividade móvel facilitará o acesso e a gestão em tempo real, independentemente da localização dos usuários.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, W.G. e DAY, R.E. The action of light on selenium. *Proceedings of the Royal Society*, A25, v. 113, 1877.

ALENCAR FILHO, Alexandre A. R. de. Avaliação da Influência da Temperatura na Eficiência de Módulo Fotovoltaico sobre Estrutura Flutuante. 2018. 78 f. - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

ALONSO, J. A; MARTÍNEZ, J. A. Thermal modelling of photovoltaic modules. 1 ed, EUA, Solar Energy, 2002.

ANEEL. Brasil ultrapassa os 190 GW em capacidade de geração de energia elétrica. ANEEL, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2023/brasil-ultrapassa-os-190-gw-em-capacidade-de-geracao-de-energia-eletrica> . Acesso em: 24 de outubro de 2023.

BECQUEREL, E. Memoires sur les effets electriques produits sous l'influence des rayons. *Comptes Rendues*, v. 9, p. 561, 1839.

BERTIN, Jacques. *Semiology of Graphics: Diagrams, Networks, Maps*. França, Esri Press, 1983.

BICALHO, Marlon S.; ARAUJO, Thiago P.; CARDOSO, Rafael B. Análise de desempenho do sistema fotovoltaico conectado à rede da Universidade Federal de Itajubá – Campus Itabira. *Revistas UFPR*, 2018. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/rber/article/view/57971/34871> . Acesso em: 7 de Setembro de 2023.

BRITO, Miguel C; SILVA, José A. Energia fotovoltaica: conversão da energia solar em eletricidade. Lisboa, O Eletricista, 2006.

BROWN, William C.; SMITH, William C. *Solar Photovoltaic Engineering*. 4ª ed. Hoboken, John Wiley & Sons, 2019.

CARNEIRO, Joaquim. Eletromagnetismo B: Semicondutores – modelo matemático da célula fotovoltaica. Repositorium, 2010. Disponível em: https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/16960/1/Semicondutores_Modelo%20matem%20da%20c%20a%20lula%20fotovoltaica.pdf . Acesso em: 7 de setembro de 2023.

CHAPIN, D.M.; FULLER, C.S.; PEARSON, G.L. A New Silicon p-n Junction Photocell for Converting Solar Radiation into Electrical Power. *Journal of Applied Physics*, EUA, v. 25, p. 676, 1954.

DORNELAS, K.D.S.; SOLVA, C.L.; OLIVEIRA, C.A.S. Coeficientes médios da equação de Angstrom-Prescott, radiação solar e evapotranspiração de referência em Brasília. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v41, n8, p.845-851, 1999.

FEW, Stephen. *Information Dashboard Design: Displaying Data for At-a-Glance Monitoring*. O'Reilly Media, EUA, 2013.

FEW, Stephen. *Information Dashboard Design: The Effective Visual Communication of Data*. O'Reilly Media, EUA, 2006.

FILHO, Kepler; SARAIVA, Maria. *Astronomia e Astrofísica*. Local de publicação: Editora Livraria da Física, 4ª EDIÇÃO 2017.

FREITAS, José C. M. *Radiação Solar: Fundamentos e Aplicações*. In: *Energia Solar: Tecnologias e Aplicações*. 2 ed. São Paulo, Editora Érica. 2023.

GASPARIN, F. P. *Desenvolvimento de um traçador e curvas características de módulos Fotovoltaicos*. 2009. 71 f. - UFRS, Porto Alegre, 2009.

GASPARIN, Fabiano P; KRENZINGER, Arno. *Desempenho de um sistema fotovoltaico em dez cidades brasileiras com diferentes orientações do painel*. Porto Alegre, VI Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2016.

GUITARRARA, Paloma. "Estrelas"; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/estrelas.htm> 2022. Acesso em 27 de julho de 2023.

KIMBALL, Ralph; ROSS, Margy. The data warehouse toolkit: the definitive guide to dimensional modeling. EUA, Wiley, 2013.

LIMA, João V. F.; GONÇALVES, Pedro H. S. A. A influência do ângulo de inclinação na incidência de radiação solar em painéis fotovoltaicos. Brasília Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, 2018.

LIU, B. Y. H; JORDAN, R. C. The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation. 4 ed, EUA, Solar Energy, 1960.

MACHADO, C. T. Energia Solar Fotovoltaica: Uma Breve Revisão. 7 ed. Niterói. Revista Virtual de Química, 14 out. 2014.

MEDEIROS, C. A. G.; MARTINS, A. M. Geometria sol- terra: revisão didática com ênfase no hemisfério sul e direcionada pela abnt nbr 10899:2013. VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar, Fortaleza, 1 de junho de 2022. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/747/747> . Acesso em: 7 de setembro de 2023

MELO, Otávio A. M. H. Energia Solar Fotovoltaica: viabilidade econômico-financeira e ambiental. 2. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2022. p. 21.

MIRANDA, William I. S. Desenvolvimento de um traçador de curvas características de módulos fotovoltaicos. 2022. 17 f - PUC, Goiania, 2022.

NASCIMENTO, Cassia Araújo. Princípio de funcionamento da célula Fotovoltaica. 2004. 21 f. - UFLA, Lavras, 2004.

NETA, R. M. de L.; TEIXEIRA, V. A.; FILHO, M. H. de O. P.; AQUINO, R. R. B. de; LIRA, M. M. da S.; SOUZA, M. A. Análise de desempenho através da performance ratio de

usinas fotovoltaicas na mesma latitude. Anais CBENS, 2022. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/1169/1170> . Acesso em: 7 de setembro de 2023.

OCAENERGIA. 5 principais indicadores para performance de sistemas fotovoltaicos. 18 de outubro de 2020. Disponível em: <https://www.ocaenergia.com/blog/energia-solar/indicadores-para-performance-de-sistemas-fotovoltaicos/>. Acesso em: 6 set. 2023.

ODEH, SAAH. Analysis of the Performance Indicators of the PV Power System. Journal of Power and Energy Engineering, p. 62-63, 28 de junho de 2018. Disponível em: https://www.scirp.org/pdf/JPEE_2018062714450871.pdf. Acesso em: 6 set. 2023.

OLIVEIRA, Fernando S. Desenvolvimento de traçador de curvas i-v portátil para arranjos fotovoltaicos. 2015. UFRS, Porto Alegre, 2015.

OLIVEIRA, Fernando S.; RAMPINELLI, Giuliano A.; KREZNINGER, Arno. Desenvolvimento de um traçador de curvas i-v para arranjos fotovoltaicos. 7 ed. Revista Brasileira de Energia Solar, p. 82-90, 2 dez. 2016.

OURO FINO. Sistema de aquecimento solar Ouro Fino linha Titan: manual de instalação, utilização e dados técnicos. Disponível em: <https://cdn.leroymerlin.com.br/medias/document-87771110-installation-guide-boiler-solar-baixa-pressao-desnivel-400l-titan-inox-ouro-fino.pdf>. Acesso em: 7 de Setembro de 2023.

PINHO, João T.; GALDINO, Marco A. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. CRESESB, Disponível em: https://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf . Acesso em: 7 de setembro de 2024.

QUIQUETO, Ana C. Estudo e desenvolvimento de algoritmos de tratamento de dados aplicados ao levantamento de recurso solar. INEP, 2019. Disponível em: <http://mtc-m21c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc->

m21c/2019/09.10.11.42/doc/ANA%20CAROLINA%20QUIQUETO.pdf . Acesso em: 12 set. 2023.

RÊGO, Walkerlan S. Estimativa das incidências de radiação direta e difusa em superfície horizontal em Mossoró-rn. 2020. UFERSA, Mossoró, 2020.

SANTOS, C. S; SCHWABE, G. S; RUBINEC, S. L. Controle de Sistema de Energia Solar Fotovoltaica. Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, 2023. Disponível em: <https://repositorio.maua.br/bitstream/handle/MAUA/504/CAN09.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 20 setembro de 2023.

SENTELHAS, Paulo C; ANGELOCCI, Luiz R. Radiação Solar Balanço de Energia. Professor Mendonça, 2009. Disponível em: https://www.professormendoncaenf.com.br/wp-content/uploads/2021/03/ag_radiacao_solar_balanco_de_energia.pdf . Acesso em: 5 set. 2023.

SHNEIDERMAN, Ben. The Eyes Have It: A Task by Data Type Taxonomy for Information Visualizations. Department of computer science, 1996. Disponível em: <https://www.cs.umd.edu/~ben/papers/Shneiderman1996eyes.pdf> . Acesso em: 7 de setembro de 2023.

SILVA, Bruno P. A. da. Metodologia para a determinação de temperatura em painéis fotovoltaicos por meio de termografia quantitativa. 2017. 75 f –UFMG, Belo Horizonte 2017.

SILVA, Gabriel; JUNIOR, Sidnei A. S. As vantagens e cuidados na utilização de módulos Fotovoltaicos bifaciais. 2022. 51 f –UniSul, Palhoça 2022.

SILVA, M. de A. C. da; CARVALHO, C. L. de M.; SOUZA, A. L. de. Os benefícios do uso de dashboards inteligentes no monitoramento de usinas fotovoltaicas. Florianópolis: Revista Brasileira de Energia Solar, 2021.

SILVA, Paulo J. S. Integração Numérica. Campinas, 2017. Disponível em: https://www.ime.unicamp.br/~pjssilva/pdfs/notas_de_aula/ms211/Integra%C3%A7%C3%A3o_Num%C3%A9rica.pdf. Acesso em: 7 de Setembro e 2023.

SMETS, et al., *Solar Energy: The Physics and Engineering of Photovoltaic Conversion, Technologies and Systems*. England: UIT Cambrige, 2016.

SOUZA, Muriele B de et al. Comparação entre valores de irradiação no plano inclinado na latitude medida e calculada a partir dos softwares radiasol e radiasol2. *Anais CBENS*, 2020. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/download/737/737> . Acesso em: 7 de Setembro de 2023.

STEIN, A. B et al. *Smart solar energy* – sistema de monitoramento de produção solar fotovoltaica. Fortaleza: VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2020

SYLVESTRE, Isac R. Análise comparativa de desempenho entre sistema fotovoltaico fixo e seguidor solar de eixo único inclinado. 2022. IFES, Vitória, 2022.

TOMA, Henrique E. *O mundo manométrico: a dimensão do novo século*. 2 ed. São Paulo: Oficina de textos, 2004.

TRETER, Marcos E; MICHELS, Leandro. Métodos de aquisição experimental de curvas i-v de arranjos fotovoltaicos: uma revisão. Repositorio UFSM, 2018. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/30442/submission-91601-700301-field_submission_abstract_file2.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 7 setembro de 2023.

TUFTÉ, Edward R. *The Visual Display of Quantitative Information*. EUA: Graphics Press, 2001.

WARE, Colin. *Information Visualization: Perception for Design*. EUA: Morgan Kaufmann, 2013.

ANEXO A - Dados INMET com Radiação convertida.

Data	Hora (UTC)	Temp. Ins	Temp. Mat	Temp. Mlt	Umi. Ins.	Umi. Max.	Umi. Min.	Pto Overall	Pto Overall	Pto Overall	Pressao In	Pressao M	Pressao M	Vel. Vent	Dir. Vent	Raj. Vent	Radicao (KJ/m²)	Chuva (mm)	Radicao (W/m²)
01/01/2023	0000	24.4	25.2	23.3	60.0	64.0	57.0	16.1	16.7	15.1	959.7	959.7	958.7	0.0	69.0	0.0	2.80	0.0	0.77777778
01/01/2023	0100	23.3	25.9	23.1	65.0	67.0	55.0	16.5	16.7	15.7	960.3	960.3	959.7	0.0	130.0	0.0	3.10	0.0	0.86111111
01/01/2023	0200	23.9	24.0	22.8	66.0	75.0	64.0	17.2	18.0	16.3	960.4	960.5	960.2	0.0	331.0	0.0	6.00	0.0	1.66666667
01/01/2023	0300	22.9	24.3	22.8	78.0	78.0	64.0	18.9	18.9	17.0	960.4	960.6	960.4	0.0	107.0	0.0	3.50	0.0	0.97222222
01/01/2023	0400	22.2	22.8	20.9	90.0	96.0	79.0	20.5	20.9	18.9	960.2	960.5	960.2	1.4	54.0	4.2	2.90	2.6	0.80555556
01/01/2023	0500	21.7	22.2	21.3	91.0	94.0	89.0	20.2	20.7	19.9	959.7	960.2	959.6	0.2	42.0	4.9	3.90	1.8	1.08333333
01/01/2023	0600	21.9	22.2	21.7	84.0	91.0	83.0	19.1	20.2	19.0	959.1	959.7	959.1	1.0	32.0	6.6	5.20	0.0	1.44444444
01/01/2023	0700	21.7	22.1	21.7	82.0	84.0	81.0	18.5	19.1	18.4	959.3	959.3	959.1	2.0	21.0	6.4	6.00	0.0	1.66666667
01/01/2023	0800	20.5	21.7	20.5	91.0	91.0	82.0	19.0	19.1	18.5	959.8	960.0	959.3	0.8	30.0	4.7	0.40	0.2	0.11111111
01/01/2023	0900	21.0	21.0	20.5	88.0	91.0	87.0	18.9	19.0	18.8	960.6	960.6	959.9	0.9	22.0	5.8	9.40	0.0	2.61111111
01/01/2023	1000	21.3	21.3	20.9	86.0	89.0	86.0	18.9	19.1	18.8	961.1	961.1	960.6	0.9	24.0	5.8	154.80	0.0	43
01/01/2023	1100	21.6	21.6	21.2	87.0	88.0	86.0	19.3	19.5	18.8	961.3	961.4	961.1	0.0	12.0	4.2	302.50	0.0	84.0277778
01/01/2023	1200	22.7	22.7	21.6	84.0	87.0	81.0	19.8	19.9	19.0	961.4	961.6	961.3	0.4	326.0	3.4	1057.40	0.0	293.7222222
01/01/2023	1300	22.8	23.2	22.6	82.0	85.0	77.0	19.5	20.2	18.7	961.6	961.7	961.4	0.4	358.0	5.7	1052.60	0.0	292.3888889
01/01/2023	1400	23.7	24.1	22.6	74.0	84.0	74.0	18.7	20.5	18.7	961.6	961.7	961.5	0.0	336.0	3.4	1011.70	0.0	281.0277778
01/01/2023	1500	25.3	25.3	23.5	73.0	79.0	71.0	20.1	20.8	18.6	961.2	961.6	961.2	0.0	358.0	3.9	1878.90	0.0	521.9166667
01/01/2023	1600	24.9	25.3	24.2	72.0	76.0	69.0	19.4	20.3	18.6	960.6	961.2	960.6	0.0	48.0	5.1	1795.70	0.0	498.8055556
01/01/2023	1700	25.0	25.3	24.5	75.0	76.0	69.0	20.3	20.6	18.6	959.8	960.6	959.8	0.0	308.0	2.0	1146.20	0.0	318.3888889
01/01/2023	1800	24.9	25.1	24.5	74.0	80.0	71.0	19.9	21.3	19.5	959.0	959.8	959.0	0.0	10.0	0.0	1056.00	0.0	293.3333333
01/01/2023	1900	24.3	24.9	24.3	80.0	80.0	73.0	20.6	20.9	19.5	958.4	959.0	958.4	0.0	23.0	0.0	634.70	0.0	176.3055556
01/01/2023	2000	23.9	24.3	23.6	81.0	87.0	78.0	20.5	21.6	20.1	958.4	958.4	958.0	0.0	344.0	0.0	425.60	0.0	118.2222222
01/01/2023	2100	23.3	25.0	23.3	83.0	83.0	74.0	20.2	21.3	19.5	958.4	958.5	958.0	0.0	200.0	0.0	637.80	0.0	177.1666667
01/01/2023	2200	21.5	23.3	21.5	92.0	92.0	83.0	20.0	20.5	19.9	959.1	959.1	958.4	0.0	129.0	0.0	80.00	0.0	22.2222222
01/01/2023	2300	21.2	21.7	21.2	91.0	92.0	89.0	19.7	20.2	19.5	959.6	959.6	959.0	0.0	97.0	0.0	3.50	0.0	0.97222222
02/01/2023	0000	21.6	21.8	21.2	90.0	92.0	90.0	19.8	20.0	19.6	960.5	960.5	959.6	0.0	104.0	0.0	3.80	0.0	1.05555556
02/01/2023	0100	20.8	21.7	20.7	97.0	97.0	89.0	20.3	20.3	19.8	961.1	961.1	960.5	0.0	118.0	0.0	2.50	0.6	0.69444444

Fonte - (Dados do Autor, 2023)

ANEXO B - Variáveis que afetam geração de energia solar

Variáveis	Valor	Obtenção do valor
n	85	Dia do ano juliano
$\varnothing$	-19,47	Latitude da localização da Usina FV IFMG
θ_z	0,93164134	Eq. 1
δ	1,613416909	Eq. 2
ω	-0,054831136	Eq. 3
h_s	12	Hora do dia
I_b	204,3809046	Eq. 5
I_{on}	939,5277778	Site INMET
τ_b	0,233497342	Fator de atenuação atmosférico médio do Sudeste do Brasil
I_d	196,3613056	Eq. 6
K_z	0,735116414	Eq. 7
G_{on}	1278,066657	Eq. 4
I_{sc}	1367	Constante solar de um dia
β	9	Ângulo de inclinação do Módulo FV da Usina IFMG
I	400,7422101	Eq. 8
R_b	1,022985652	Eq. 10
I_t	559,2065661	Eq. 9
T_{mod}	29,8789461	Eq. 12
T_{amb}	29,7	Site INMET
K_t	0,00032	Datasheet do módulo FV
P_{MaxT}	26,65202424	Eq. 14
P	25,16782452	Eq. 13
ζ	0,0039	Datasheet do módulo FV
$Area$	1,9939	Datasheet do módulo FV
η	0,171	Datasheet do módulo FV
Energia Calculada	26,65202424	Eq. 14 (Devido o intervalo de 1h)
$P_{Instalada}$	44,88	Tabela 2
Y	0,48	Eq. 16
PR	1,02	Eq. 15
Energia Real	27,4	SolarmanPV
Energia Teórica	26,65202424	Eq. 14 (Devido o intervalo de 1h)

Fonte - (Dados do Autor, 2024)