



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

LUANA RAQUEL DO ROSARIO

**ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE SISTEMA
DE SEGUIDOR SOLAR (EIXO ÚNICO) COM O DE PLACA FIXA**

CARAÚBAS – RN

2022

LUANA RAQUEL DO ROSARIO

**ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE SISTEMA
DE SEGUIDOR SOLAR (EIXO ÚNICO) COM O DE PLACA FIXA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Campus Caraúbas, como requisito para obtenção do Título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientadora: Ana Tereza de Abreu Lima

CARAÚBAS – RN

2022

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

R789e Rosario, Luana Raquel do.
 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: ANÁLISE
 COMPARATIVA ENTRE SISTEMA DE SEGUIDOR SOLAR (EIXO
 ÚNICO) COM O DE PLACA FIXA / Luana Raquel do
 Rosario. – 2022.
 61 f. : il.

 Orientadora: Ana Tereza de Abreu Lima.
 Monografia (graduação) – Universidade Federal
 Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
 Tecnologia, 2022.

 1. Seguidor solar. 2. Energia solar
 fotovoltaica. 3. Luz solar. 4. Potência. I. Lima,
 Ana Tereza de Abreu, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Caraúbas
Bibliotecária: Dalvanira Brito Rodrigues
CRB: 15/700

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

LUANA RAQUEL DO ROSARIO

**ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE SISTEMA
DE SEGUIDOR SOLAR (EIXO ÚNICO) COM O DE PLACA FIXA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao curso de Ciência e Tecnologia da
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
(UFERSA), Campus Caraúbas, como requisito
para obtenção do Título de Bacharel em Ciência
e Tecnologia.

Defendida em: 14/06/2022.

BANCA EXAMINADORA

ANA TEREZA DE ABREU
LIMA: [REDACTED]

Assinado de forma digital por ANA
TEREZA DE ABREU
LIMA: [REDACTED]
Dados: 2022.06.16 17:36:14 -03'00'

Prof^ª. Dra. Ana Tereza de Abreu Lima (UFERSA)
Presidente (Orientadora)

Zenner
Silva Pereira

Assinado de forma digital
por Zenner Silva Pereira
Dados: 2022.06.17
15:44:28 -03'00'

Prof. Dr. Zenner Silva Pereira (UFERSA)

Membro Examinador

Assinado de forma digital por JOSE
JUNIOR ALVES DA SILVA
Dados: 2022.06.21 19:44:54 -03'00'

Prof. Dr. José Júnior Alves da Silva (UFERSA)
Membro Examinador

Dedico este trabalho a minha mãe, Maria Josenilda Nunes do Rosário, ao meu pai, Francisco Wellington do Rosario e a minha irmã, Lara Priscilla do Rosário. Por toda força que me deram, apoio, incentivo e por nunca desacreditarem do meu potencial.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por sempre estar ao meu lado, me fortalecendo todos os dias para que eu não desistisse. Mesmo diante de todas as dificuldades, Deus sempre me mostrou os melhores caminhos e soluções para os problemas. Sem ele, eu não teria chegado a esta fase final.

Agradeço à toda minha família. Em especial, a minha irmã, Lara Priscilla do Rosario, que sempre esteve comigo nessa caminhada, me ajudando de todas as formas possíveis, sem medir nenhum esforço, e aos meus pais, Maria Josenilda Nunes do Rosario e Francisco Wellington do Rosario, que nunca duvidaram do meu potencial e que sempre me apoiaram.

Não poderia deixar de agradecer a Deivison Dias, que também sempre esteve ao meu lado durante toda essa trajetória, me apoiando, animando e ajudando da melhor forma possível. Aos meus amigos, Sara Cavalcante e Anderson Picasso, que sempre me ajudaram quando eu precisei. E aos meus outros colegas que me acompanharam desde o início do curso. Sem a ajuda de vocês, a conclusão deste trabalho não teria sido bem sucedida.

E por último, mas não menos importante, agradeço à minha orientadora, Ana Tereza de Abreu Lima, que foi a pessoa fundamental no desenvolvimento deste trabalho e me ajudou em todos os sentidos.

Não subestime uma pessoa pelo fato de ela ser muito quieta. Algumas pessoas sabem mais do que dizem. Pensam mais do que falam. Observam mais do que agem. Cada pessoa tem seu motivo para manter o seu silêncio.

Anderson F.

RESUMO

Uma das formas de fontes alternativas que vem crescendo no mercado das energias é a solar fotovoltaica, que por meio das células fotovoltaicas presentes nos painéis, converte a energia solar em energia elétrica, sendo uma fonte de energia limpa e renovável que não emite gases responsáveis pelo efeito estufa. O principal objetivo deste trabalho é analisar e comparar o sistema de seguidor solar de eixo único com o sistema de placa fixa, por meio de ensaios, tendo como base a potência fornecida por cada sistema. Os testes foram realizados em dias diferentes devido as condições climáticas que influenciaram diretamente na leitura e coleta dos dados. Desta forma, foi produzido um protótipo de seguidor solar de eixo único, que foi posicionado em um local amplo sem a presença de obstáculos que prejudicassem a captação da luz solar. Já o sistema estático foi colocado em uma posição fixa de acordo com a latitude e longitude da região. Verificou-se que com bases nos valores médios da potência encontrado por cada sistema, o protótipo de seguidor solar teve um desempenho de 6,05% em comparação com a placa fotovoltaica fixa, com relação a dois ângulos diferentes. Também obteve desempenho 38,76% maior quando comparado ao sistema estático, em três ângulos distintos. Mostrando ser mais eficaz devido aos vários movimentos durante o dia, com isso, obteve-se um melhor aproveitamento da luz solar. Além disso, o protótipo mostrou um desempenho melhor nos dias ensolarados, visto que o painel solar gera mais energia quando existe uma alta incidência solar.

Palavras-chave: Seguidor solar; Energia solar fotovoltaica; Luz solar; Potência.

ABSTRACT

Currently an alternative sources that has been growing in the market is solar photovoltaic energy, which, through the photovoltaic cells present in the panels, converts solar energy into electrical energy, it is a source of clean and renewable energy that does not emit gases which are responsible for greenhouse effect. This research aim to analyze and compare the single axis solar tracker system with the fixed plate system, through tests, based on the power supplied by each system. The tests were performed on different days because weather conditions that directly influenced the analysis and data collection. In this way, a prototype of a single-axis solar tracker was produced, which was positioned in a wide location without the presence of obstacles that would hinder the capture of sunlight. The static system was placed in a fixed position according to the region latitude and longitude. Results point to: based on the average power values found by each system, the solar tracker prototype had a performance of 6.05% higher when compared to the photovoltaic fixed plate with respect to two different angles. It also obtained 38.76% higher performance when compared to the static system, in three different angles. On conclude a better use of sunlight was obtained. In addition, the prototype showed a better performance on sunny days, since the solar panel generates more energy when there is a high solar incidence.

Keywords: Solar tracker; Photovoltaic solar energy; Sun light; power.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Repartição da Oferta Interna de Energia (OIE)	18
Figura 2 - Capacidade instalada de MMDG em MW	19
Figura 3 - Evolução da Fonte Solar Fotovoltaica no Brasil	20
Figura 4 - Esquema de funcionamento de uma usina hidrelétrica.....	21
Figura 5 – Esquema de funcionamento de uma usina termelétrica	22
Figura 6 - Componentes de uma turbina eólica.....	23
Figura 7 – Esquema de funcionamento de uma usina nuclear	24
Figura 8 - Representação do início das estações do ano.....	27
Figura 9 - Radiação solar a nível do solo	28
Figura 10 - Total diário da irradiação global horizontal (média anual)	29
Figura 11 - Corte transversal de uma célula fotovoltaica.....	30
Figura 12 - Tipos de células mais comuns utilizadas	31
Figura 13 - Componentes de um módulo fotovoltaico	31
Figura 14 - Instalação de painéis fotovoltaicos no telhado	32
Figura 15 - Configurações de seguidores solares com um eixo	33
Figura 16 - Esquema de seguidor solar de dois eixos.....	34
Figura 17 - Ilustração do sistema fotovoltaico conectado à rede	35
Figura 18 - Esquema de um sistema de geração fotovoltaica off-grid	36
Figura 19 - Representação do projeto desenvolvido no Photoshop.....	37
Figura 20 - Base maior da estrutura.....	38
Figura 21 - Estrutura completa	38
Figura 22 – Arduino Uno	39
Figura 24 – Micro servo motor 9g SG90 TowerPro.....	40
Figura 25 – Módulo real time clock (RTC).....	40
Figura 26 – Placa fotovoltaica	41
Figura 27 – Diagrama de blocos do seguidor solar	42
Figura 28 – Representação das conexões dos componentes ao microcontrolador	42
Figura 29 – Protótipo em funcionamento do seguidor solar	44
Figura 30 – Sistema estático	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Potência obtida do seguidor solar de um eixo com dois ângulos distintos.....	45
Tabela 2 – Potência obtida do seguidor solar de um eixo com três ângulos diferentes	46
Tabela 3 – Potência obtida do sistema estático em três dias	47
Tabela 4 - Potência obtida do sistema estático em quatro dias	47

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Potência média (W) do seguidor solar de um eixo com dois ângulos distintos	45
Gráfico 2 – Potência média (W) do seguidor solar de um eixo com três ângulos diferentes...	46
Gráfico 3 – Potência média (W) do sistema estático.....	47
Gráfico 4 - Potência média (W) do sistema estático	48
Gráfico 5 – Comparação das potências média do seguidor solar (usando dois ângulos distintos) com o sistema fixo.....	49
Gráfico 6 – Comparação das potências média do seguidor solar (usando três ângulos distintos) com o sistema fixo.....	49
Gráfico 7 – Comparação das potências média em relação aos dois sistemas (móvel e estático) em gráfico de barras para dois ângulos distintos do seguidor solar	50
Gráfico 8 – Comparação das potências média em relação aos dois sistemas (móvel e estático) em gráfico de barras para três ângulos diferentes do seguidor solar	51
Gráfico 9 – Desempenho em ganho percentual do seguidor solar (para os dois ângulos distintos) em relação ao sistema estático.....	51
Gráfico 10 – Desempenho em ganho percentual do seguidor solar em relação ao sistema estático para três ângulos diferentes	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN	Balanco Energético Nacional
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente contínua
CGHs	Centrais Geradores hidrelétricas
CRESESB	Centro de Referências para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GW	Gigawatt
GWh	Gigawatt hora
MMGD	Micro e minigeração distribuída
MW	Megawatt
OIE	Oferta Interna de Energia
PCHs	Pequenas Centrais Hidrelétricas
UHEs	Usinas Hidrelétricas
W	Watt
W/m ²	Watt por metro quadrado
Wh/m ²	Watt hora por metro quadrado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	OBJETIVOS.....	17
3	REFERENCIAL TEÓRICO	18
3.1	PRINCIPAIS FONTES DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL	20
3.1.1	Hidrelétrica.....	20
3.1.2	Termoelétrica	22
3.1.3	Eólica.....	23
3.1.4	Nuclear	24
3.1.5	Solar	25
3.1.5.1	Energia solar fotovoltaica.....	25
3.1.5.2	Energia solar térmica.....	25
3.1.5.3	Energia solar heliotérmica.....	26
3.2	ENERGIA SOLAR – POSIÇÃO DO SOL E INCLINAÇÃO DA TERRA	26
3.3	RADIAÇÃO SOLAR	27
3.3.1	Radiação solar no Brasil.....	28
3.4	EFEITO FOTOVOLTAICO.....	29
3.5	CÉLULAS FOTOVOLTAICAS	30
3.6	MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.....	31
3.7	PLACA SOLAR FIXA	32
3.8	PLACA SOLAR MÓVEL	33
3.8.1	Eixo único	33
3.8.2	Eixo duplo.....	33
3.9	SISTEMAS DE ENERGIA SOLAR	34
3.9.1	Sistema fotovoltaico on-grid	34
3.9.2	Sistema fotovoltaico off-grid	35
4	MATERIAIS E MÉTODOS	37
4.1	ESTRUTURA DO SEGUIDOR SOLAR.....	37
4.2	COMPONENTES DO SISTEMA	39
4.2.1	Arduino	39
4.2.2	Servo motor	39
4.2.3	RTC	40
4.2.4	Painel fotovoltaico.....	41

4.2.5	Sistema de alimentação	41
4.3	LÓGICA DE FUNCIONAMENTO	41
4.4	TESTES	43
5	RESULTADOS	45
5.1	SISTEMA DINÂMICO (SEGUIDOR SOLAR DE UM EIXO).....	45
5.2	SISTEMA ESTÁTICO	46
5.3	COMPARAÇÃO ENTRE OS SISTEMAS COM BASE NOS VALORES MÉDIOS DE POTÊNCIA	48
6	CONCLUSÃO	53
	REFERÊNCIAS	54
	ANEXOS	59

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional tem estimulado a busca por fontes renováveis de energia, o que reflete no declínio da emissão de poluentes que potencializam o efeito estufa a partir da queima de combustíveis fósseis que podem causar o aquecimento global. A energia, em especial a elétrica, é indispensável para o ser humano pois é necessária em diversos dispositivos usados pelas pessoas.

Entre as formas de produção de energia, como o petróleo e gás natural, o carvão mineral impulsionou um grande progresso na indústria, e durante o processo de industrialização, eventualmente, a energia a vapor acabou sendo substituída pela energia elétrica. No entanto, o acesso a ela era bastante restrito e com o passar dos anos, junto com os avanços tecnológicos, está se tornando cada vez mais acessível para toda a população, sendo melhor aproveitada no dia a dia da sociedade, promovendo conforto e bem estar na vida das pessoas (SIMABUKULO et al., 2006).

Por outro lado, os combustíveis fósseis como o carvão mineral, gás natural e petróleo são recursos não renováveis que causam impactos ambientais e humanos quando utilizados para a geração de energia. Fontes renováveis de energia como a solar, eólica, hidrelétrica, estão em constante evolução, possibilitando a geração de eletricidade de forma limpa e renovável.

Atualmente, as fontes renováveis dominam a matriz elétrica brasileira, especialmente a hidrelétrica, respondendo por 65,2% de toda capacidade de produção de eletricidade (EPE, 2021). Em épocas de escassez hídrica, a energia produzida pelas hidrelétricas diminui, o que pode ser um problema para a sociedade, já que é indispensável a água das chuvas para a sua produção. Diante desse cenário desafiador, a energia solar surgiu como uma importante fonte de produção de energia, que contribui gradativamente para a melhoria da matriz energética.

O uso da energia solar tem um ritmo de crescimento constante que vem chamando a atenção no Brasil e atualmente possui destaque por ser uma das principais fontes que compõe a matriz elétrica. Portanto, é indispensável compreender a melhor forma de aproveitamento da luz solar para a produção de eletricidade, por ser uma fonte limpa e que não proporciona emissões de gases tóxicos (BEN, 2021).

A geração fotovoltaica é uma das formas de aproveitamento da radiação solar para a produção de eletricidade. Através dos painéis fotovoltaicos que são constituídos por células solares, a energia do sol é convertida em elétrica. De acordo com Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017), a região Nordeste possui um alta incidência solar, visto que, sua localização encontra-se próxima a linha equatorial, o que torna viável a implementação dessa tecnologia.

Além da energia solar minimizar os impactos negativos à atmosfera, ela é responsável pela redução nos gastos referentes a conta de luz. Desse modo, a produção de um protótipo de rastreador solar de um eixo comparado a um sistema de placas fixas é um meio de verificar qual sistema recebe a melhor captação da luz do sol, e comprovando a sua eficácia é possível observar o quanto é produzido para gerar eletricidade.

2 OBJETIVOS

O principal objetivo considerado no desenvolvimento deste trabalho é analisar e comparar a produção de energia fotovoltaica de um sistema que utiliza um painel acoplado a um seguidor e um painel estático, a fim de verificar qual o mais eficiente. Para isso, foi criado um protótipo de seguidor solar de eixo único em pequena escala, para ser comparado simultaneamente com o sistema fixo e sobre as mesmas condições climáticas.

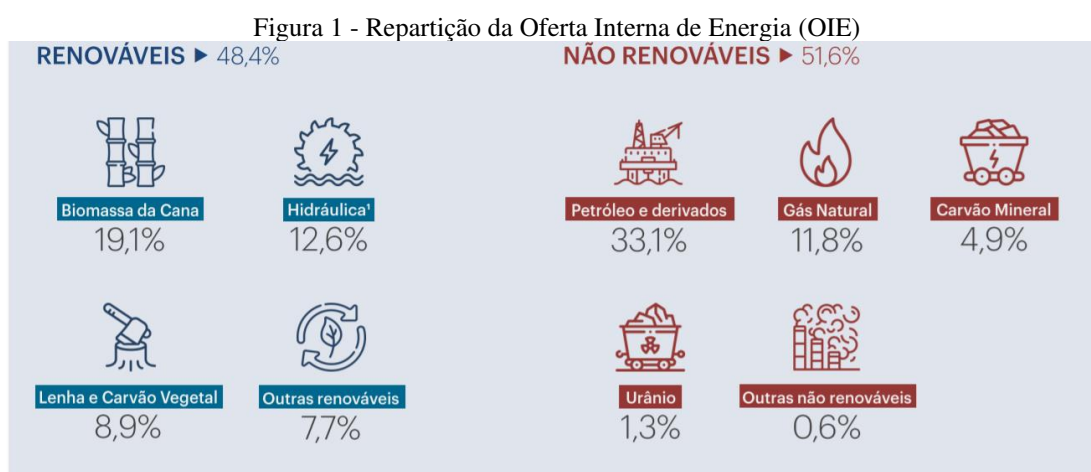
O desempenho proporcionado pelo protótipo de seguidor solar visa demonstrar a sua eficácia em relação ao fixo, com base na potência entregue por cada sistema. Isso mostra que é um sistema que consegue captar a maior parte da luz do sol, visto que, é um modelo apropriado para acompanhar os raios solares em diferentes horários do dia, tornando-se um diferencial em relação ao sistema de placas fixas.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Com o aumento na necessidade de produção de energia, bem como o crescimento da população e as evoluções adquiridas através da industrialização, a tecnologia está cada vez mais concentrada em tornar limpas as gerações de energias disponíveis, visando alternativas cada vez mais sustentáveis, fazendo assim um melhor uso dos recursos existentes para o desenvolvimento da humanidade. Uma boa solução para gerar eletricidade de forma abundante, é através da luz solar, visto que, o aproveitamento do sol não traz impactos para o meio ambiente, além de ser uma fonte de luz que pode gerar energia renovável e limpa.

Segundo Rosa (2021), existem inúmeros conceitos para o termo energia, podendo ela estar relacionada com a capacidade de produção de trabalho, movimento ou realização de atividade de algum corpo, tais como, empurrar um carro ou pedalar uma bicicleta. Essas ações demandarão energia, na qual está presente na matriz energética que é representada por diferentes fontes fundamentais para a sobrevivência do homem.

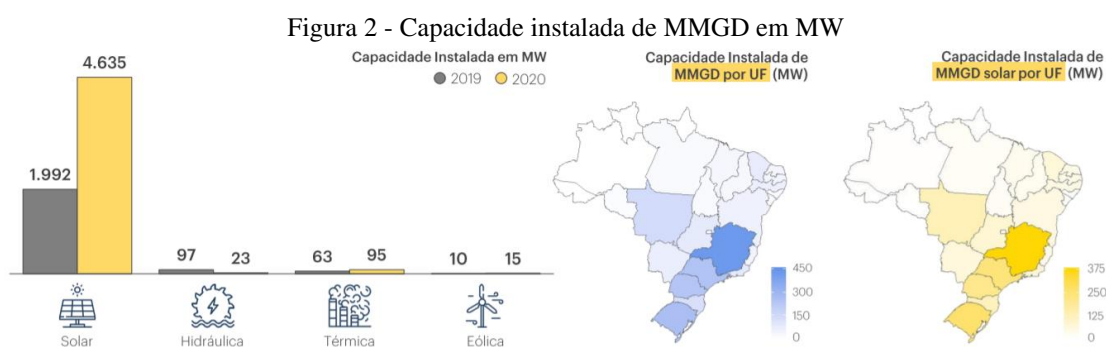
A matriz energética brasileira é composta por fontes de energia não renováveis e renováveis. A Figura 1 evidencia que dentre as não renováveis, encontra-se o petróleo e derivados (33,1%), o gás natural (11,8%), o carvão mineral (4,9%), o urânio (1,3%) e outras (0,6%). Já entre as renováveis encontra-se a biomassa da cana (19,1%), a hidráulica (12,6%), a lenha e carvão vegetal (8,9%) e outras renováveis (7,7%) (BEN, 2021).



Fonte: Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional – BEN (2021)

De acordo com os dados atuais publicados pelo BEN (Balanço Energético Nacional), a maior parte da Matriz Elétrica brasileira é composta por hidráulica (65,2%), em seguida a biomassa (9,1%), eólica (8,8%), gás natural (8,3%), carvão e derivados (2,7%), nuclear (2,2%), derivados de petróleo (2,1%) e solar (1,7%).

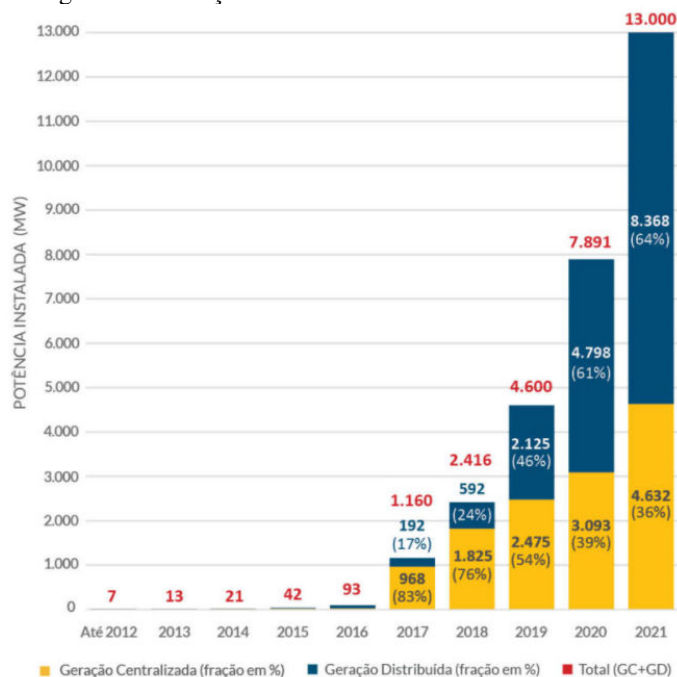
Em 2020, houve um aumento na instalação dos painéis fotovoltaicos no Brasil, e a energia solar fotovoltaica ganhou destaque na micro e minigeração distribuída (MMGD) em relação ao ano anterior (Figura 2). Em 2019, a fonte desta energia representava 2.226 GWh, aumentando para 5.269 GWh no ano de 2020, equivalente a 137%, representando atualmente 90,4% da MMGD em relação as outras fontes na geração de energia. A capacidade instalada de MMGD também aumentou, concentrando-se principalmente no Centro-Sul do país (BEN, 2020).



Fonte: Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional – BEN (2020)

Como mostra a Figura 3, no Brasil, houve um crescimento considerável da energia solar fotovoltaica. Os dados obtidos expõem uma evolução contínua desde o ano de 2013. Inicialmente, ela destacava-se na geração centralizada, e com o passar dos anos verificou-se uma evolução na geração distribuída, crescendo gradativamente a cada ano e representando em 2021, 64% em geração distribuída e 36% em geração centralizada.

Figura 3 - Evolução da Fonte Solar Fotovoltaica no Brasil



Fonte: Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica – ABSOLAR (2022)

3.1 PRINCIPAIS FONTES DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

3.1.1 Hidrelétrica

Segundo os dados da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), o Brasil possui um alto potencial hidráulico para a geração de energia por meio de barragens, sendo responsável por quase 70% de energia gerada em 2021. Contendo em execução 739 CGHs representadas pelas hidrelétricas menores em relação ao seu tamanho e potência instalada, além de 425 PCHs, semelhante a uma CGH, porém maior, e 219 UHEs que se refere as grandes usinas geradoras de energia, totalizando 109,3 gigawatts (GW) em operação de capacidade instalada.

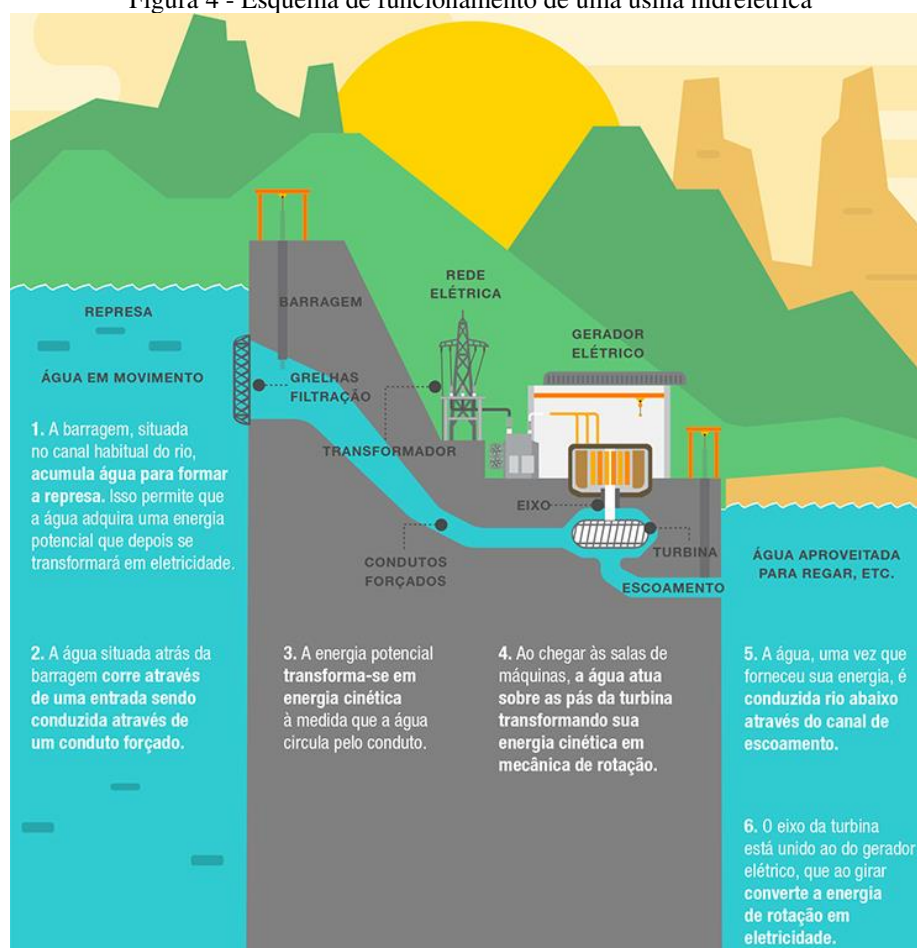
Existem algumas hidrelétricas que possuem o objetivo de acumular muita água para a geração de energia, utilizando grandes reservatórios, como é o caso da usina hidrelétrica de Itaipu, localizada no rio Paraná, entre Brasil e Paraguai, com 14.000 MW de potência em operação. Assim, como também existem usinas que não possuem grandes reservatórios, classificadas como “fio d’água”, que é o caso da usina de Belo Monte (11.233 MW) (ANEEL, 2021).

As hidrelétricas de reservatórios menores são usinas de pequeno porte, como as CGHs e PCHs, que possuem um tamanho reduzido em relação as UHEs, com custo menores relacionados a construção, e impactos ambientais também reduzidos, visto que, não necessitam

de muito espaço para a sua construção, e consequentemente não ocorre o alagamento de grandes áreas. Essas usinas podem ser construídas próximas ao local de consumo e em rios que possuem uma vazão menor. Isso é visto como melhoria na matriz energética brasileira, especialmente durante os períodos de seca, servindo como um apoio para as grandes hidrelétricas geradoras de energia (ABRAPCH, 2014).

O princípio de funcionamento (Figura 4) de uma usina hidrelétrica, consiste no represamento da água do rio, isto é, a construção da barragem é responsável por armazenar um volume muito grande de água que é escoado com muita pressão por um duto, passando pelas turbinas localizadas na casa de força e que estão acopladas ao gerador. O movimento das turbinas transforma a energia cinética (que resultava da circulação da água) em eletricidade. Por fim, a energia gerada passa pelo sistema de linha de transmissão até que chegue ao consumo residencial, comercial e industrial (IBERDROLA, 2019).

Figura 4 - Esquema de funcionamento de uma usina hidrelétrica



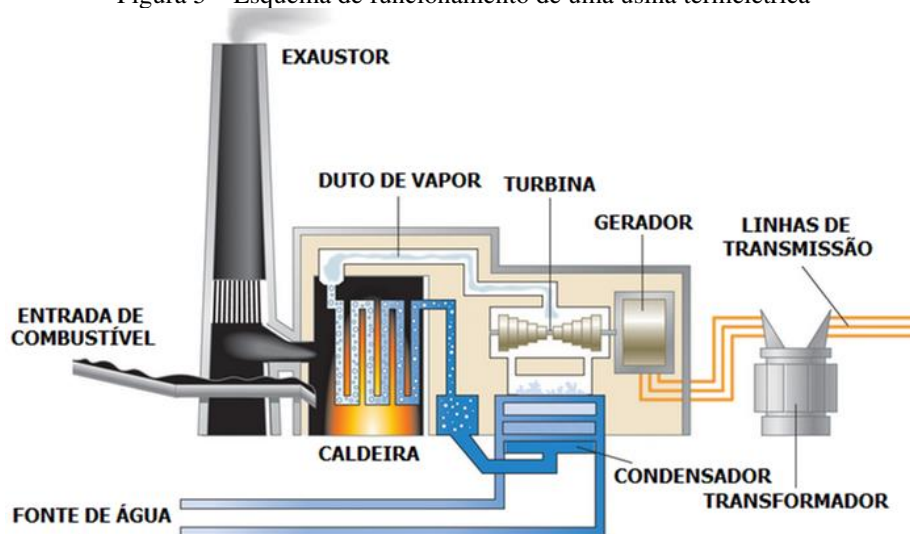
Fonte: IBERDROLA (2019)

3.1.2 Termoelétrica

A energia elétrica gerada a partir de uma usina termoelétrica provém da queima de combustíveis fósseis (carvão mineral, gás natural, óleo combustível, entre outros). Segundo Neto (2016), no ano de 2001 houve uma redução de 20% na demanda energética, prejudicando o setor elétrico. Diante disso, houve razões para uma melhoria na matriz elétrica brasileira. A construção de usinas termelétricas, mesmo o preço sendo mais alto para gerar esse tipo de energia, era uma forma de melhorar a geração de energia elétrica no Brasil, sendo ligadas em períodos de escassez hídrica, já que a geração hidrelétrica dependia da situação hidrológica correspondente a cada ano.

Independentemente do tipo de usina termelétrica, seja a carvão, óleo ou a gás, o processo de produção é semelhante. Basicamente, a usina é composta por uma caldeira com água aquecida pelo calor produzido da queima do combustível. Essa água se torna vapor em uma pressão muito alta fazendo com que seja capaz de movimentar as pás da turbina e consequentemente o seu eixo que está conectado ao gerador, assim, ocorre a rotação do eixo do gerador produzindo então, a energia elétrica que passa por um transformador para que em seguida chegue ao consumidor (Figura 5). Um novo ciclo se inicia novamente, quando a água que foi transformada em vapor, passa pelas turbinas sendo resfriada em um condensador que é retomada à caldeira (CBIE, 2020).

Figura 5 – Esquema de funcionamento de uma usina termelétrica



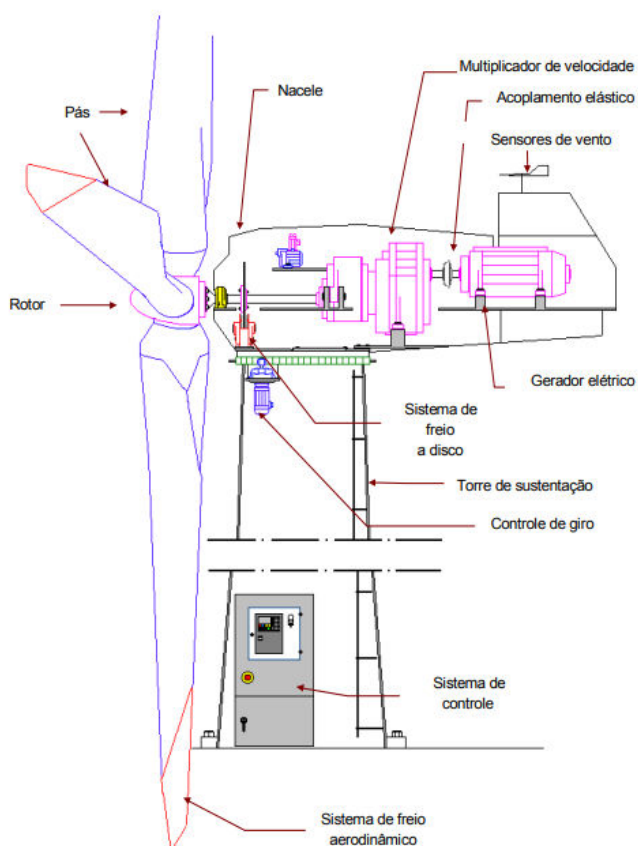
Fonte: CBIE (2020)

3.1.3 Eólica

A produção de energia eólica é estimulada no Brasil em consequência dos ventos intensos e por uma busca constante de fontes renováveis e limpas. Isso promove uma diversificação na matriz energética, além de gerar empregos no local das instalações, o que implica em crescimento econômico do País.

Um parque eólico é composto por um conjunto de aerogeradores que possuem um rotor acoplado a ele, uma torre, nacelle e as pás (Figura 6). A força do vento é capaz de movimentar as pás e girar o rotor, encaminhando o movimento para o eixo central. Em seguida, o giro do eixo gera uma energia mecânica que passa pela caixa multiplicadora e chega ao gerador, na qual a energia cinética do vento é convertida em eletricidade. Por fim, a energia elétrica gerada passa para a subestação, seguindo para a transmissão e rede de distribuição até que chegue aos consumidores (NEOENERGIA, 2021).

Figura 6 - Componentes de uma turbina eólica

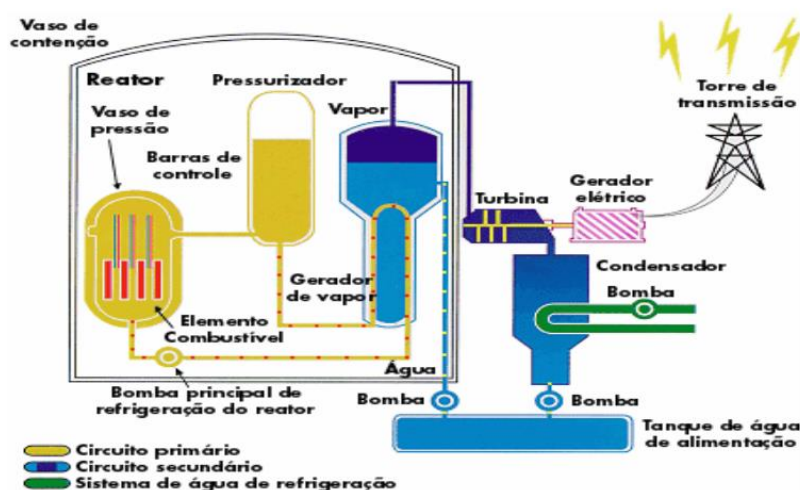


Fonte: Neto (2005)

3.1.4 Nuclear

A eletricidade produzida por meio de uma usina nuclear (Figura 7) é gerada na transformação de núcleos atômicos. A fissão nuclear, é a quebra do núcleo atômico quando bombardeado por um nêutron, na qual o núcleo do átomo é desintegrado em dois ou mais, sendo o átomo de urânio o principal combustível utilizado. Ao alterar a estrutura atômica, a energia é liberada, o calor e vapor são gerados, e uma usina termonuclear pode conceber a eletricidade (ELETRONUCLEAR, 2022).

Figura 7 – Esquema de funcionamento de uma usina nuclear



Fonte: Eletronuclear (2022)

De acordo com o Governo Federal do Brasil (2021), atualmente, no Brasil, existem duas usinas nucleares em operação (Angra I e II) e em construção (Angra III), localizadas em Angra dos Reis, Rio de Janeiro. A capacidade de gerar energia é suficiente para suprir uma cidade com três milhões de habitantes. Além disso, o Brasil aumenta a capacidade de enriquecimento de urânio, reforçando a produção de energia de Angra I (diversificando a matriz energética) com um aumento de 5% relacionado à capacidade atual, tendo em vista os grandes problemas provenientes da escassez de chuvas, já que uma usina nuclear não depende de fatores climáticos como estes.

A etapa mais importante para gerar energia nuclear começa no núcleo do reator, local onde acontece a fissão nuclear, ou seja, quando acontece a quebra do núcleo de um átomo atingido por um nêutron. Diante disso, outros átomos são atingidos por mais nêutrons, formando uma imensa reação em cadeia. Ao acontecer o processo de fissão, o núcleo gera energia que será absorvida pela água (radioativa que passa pelo reator) de resfriamento primária, que em

seguida esquentar a água (que não entra em contato com o reator) de resfriamento secundária transformando-a em vapor, fazendo movimentar a turbina e funcionar o gerador elétrico. Desse modo, a energia cinética é então transformada em energia elétrica (GONÇALVES; RUIZ, 2016).

3.1.5 Solar

3.1.5.1 Energia solar fotovoltaica

A produção de energia elétrica utilizando painéis fotovoltaicos está em crescimento no Brasil. A procura por painéis solares segue em expansão apesar de ser um investimento de alto custo, porém, com um retorno favorável a longo prazo. Em consequência da pandemia de Covid-19, aumentou o número de pessoas que exerciam atividades presenciais, passando a trabalhar em home office, ou seja, ficando a maior parte do tempo casa, contribuindo para o aumento do consumo de energia. Dessa forma, a alta demanda por instalações de painéis fotovoltaicos consiste em uma maneira segura de reduzir a conta de luz pela metade, além de ser um sistema que proporciona sustentabilidade.

De acordo com a Central Solar (2020), a placa solar é constituída basicamente, por um conjunto de células fotovoltaicas que formam sua estrutura. As células são fabricadas por um material semicondutor e são responsáveis por gerar a eletricidade, e sem elas não é possível transformar a radiação do sol em energia elétrica. Dessa forma, devido ao efeito fotovoltaico, que consiste na produção de corrente elétrica quando o módulo fotovoltaico se encontra exposto a luz do sol.

3.1.5.2 Energia solar térmica

Assim como a energia fotovoltaica, a térmica também utiliza a radiação solar para o aquecimento da água, ambientes ou produtos. Os painéis solares térmicos ou também conhecidos por coletores solares, usam a energia da luz solar para que o calor seja transportado para a água, que será aquecida e armazenada em um reservatório térmico, a fim de esquentar água de chuveiro, piscina ou qualquer equipamento que necessite de fonte de calor (SCHERER et al., 2015).

3.1.5.3 Energia solar heliotérmica

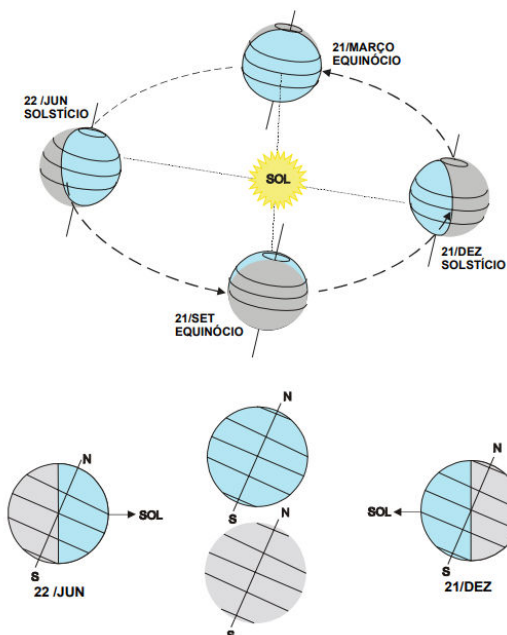
Uma outra maneira de gerar eletricidade é através da energia heliotérmica, que passa por um processo para que chegue à conversão final, partindo dos painéis solares para captação da radiação do sol, sendo aquecida para produzir calor que logo em seguida será transformado em eletricidade. Existem quatro tipos de tecnologia heliotérmica que utilizam espelhos para a concentração da luz solar, sendo elas: espelhos planos, calhas parabólicas (em formato cilíndrico), torres e discos parabólicos (CAVALCANTI; BRITO, 1999).

A radiação solar é emitida de forma direta nos espelhos (coletor) que se concentram em um ponto específico, onde está localizado o receptor que é responsável pela passagem do líquido aquecido pelo calor (fluido térmico), resultando na geração de vapor. Ele é responsável por movimentar as turbinas, ligar o gerador e converter a energia térmica em elétrica (CASTRO, 2016).

3.2 ENERGIA SOLAR – POSIÇÃO DO SOL E INCLINAÇÃO DA TERRA

Os dois principais movimentos da Terra são chamados de rotação e translação. O movimento da terra (trajetória elíptica) em torno do sol recebe o nome de translação, já o movimento de rotação é aquele em que a Terra realiza em torno de si mesma, ou seja, do seu próprio eixo (LIMA; GONÇALVES, 2018). O começo das estações do ano (Figura 8) que acontece em consequência dessa inclinação, que são marcadas pelo solstício (de inverno e verão) e equinócio (primavera e outono), na qual acontece em dois momentos do ano, em junho e dezembro para os solstícios, bem como março e setembro para os equinócios.

Figura 8 - Representação do início das estações do ano



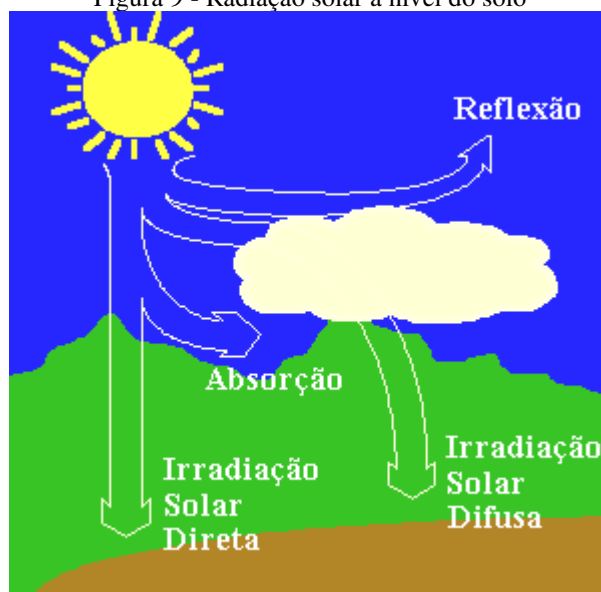
Fonte: Varejão-Silva (2006)

Ainda de acordo com Lima e Gonçalves (2018), essa inclinação recebe o nome de declinação solar (δ), variando entre $-23,45^\circ$ e $+23,45^\circ$ (negativo representado para o Sul e positivo para o Norte). Em consequência disso, um dos hemisférios recebe a maior incidência dos raios solares, correspondente à estação do verão, provocando uma diferença na divisão da iluminação na terra, enquanto o outro hemisfério recebe menos luminosidade no que se refere ao inverno. O equinócio (primavera e outono) acontece no período em que o sol está precisamente ajustado a linha do equador, fazendo com que a luz solar que incide na terra seja igualmente para os hemisférios.

3.3 RADIAÇÃO SOLAR

A radiação incidente ou radiação global é a energia que atinge a terra por meio de ondas eletromagnéticas provenientes do sol, sendo o somatório da radiação direta e difusa entregue na região. Os raios solares que atravessam a camada de ar e atingem a superfície sem sofrer alteração na sua direção, é a da radiação direta. Por outro lado, a vegetação no solo ou obstáculos na atmosfera como nuvens ou poluição, são capazes de contribuir para que a luz solar seja desviada e chegue à superfície de maneira indireta, ou seja, de forma difusa (SILVA, 2012).

Figura 9 - Radiação solar a nível do solo



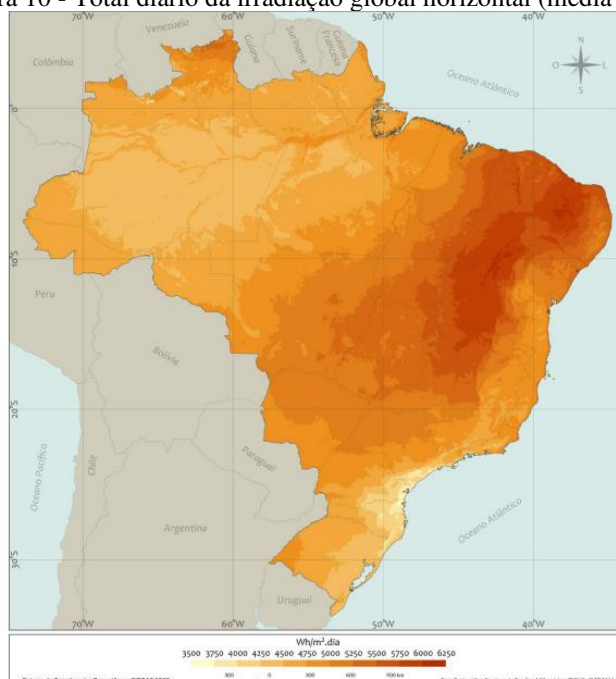
Fonte: CRESESB (2008)

3.3.1 Radiação solar no Brasil

Segundo a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (2021), com o início da pandemia, a demanda para adquirir a energia solar fotovoltaica no Brasil aumentou em 70% no ano de 2020, comparado ao ano anterior. Este se comporta como um dos setores menos afetado, resultando em um crescimento muito rápido nos últimos anos e com esperança de evolução para o futuro. Apesar de inicialmente ser um investimento de alto custo, o benefício para o consumidor está relacionado com a economia na conta de luz, bem como no aumento da valorização do imóvel, entre outras vantagens.

De acordo com o Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017), o território brasileiro possui um grande potencial para a energia gerada a partir da solar fotovoltaica, pois uma parte do país está posicionado próximo a linha equatorial, com regiões que possuem uma elevada incidência solar, de poucas variações durante o ano, em destaque para a região Nordeste, logo após o Centro-Oeste e Sudeste (Figura 10). A irradiação do sol, ou seja, a energia solar que incide em uma unidade de área da superfície em um período de tempo estabelecido, é dada em Watt hora por metro quadrado (Wh/m²).

Figura 10 - Total diário da irradiação global horizontal (média anual)



Fonte: INPE – Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017)

3.4 EFEITO FOTOVOLTAICO

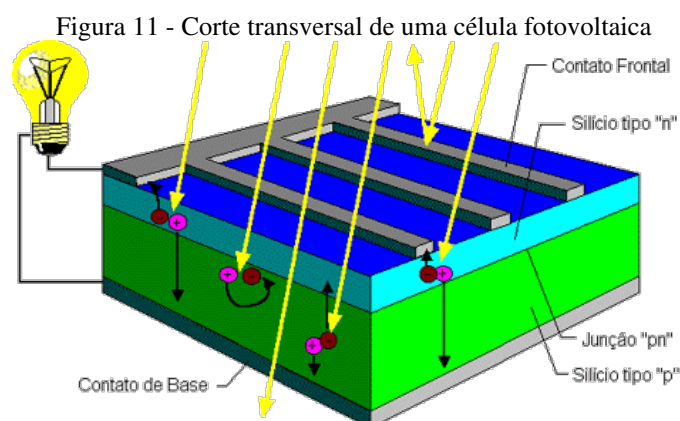
A conversão da luz do sol em energia elétrica é conhecida como efeito fotovoltaico, ele ocorre em materiais que possuem semicondutividade, como é o caso do silício. Esse é um material semicondutor e forma uma célula fotovoltaica. Um conjunto de células solares dá origem a um painel solar. A radiação do sol que incide no material é capaz de excitar os elétrons de forma que eles se movimentem ordenadamente, dando origem a uma corrente elétrica (DUARTE, 2019).

Um lado de um material semicondutor possui características de doar elétrons, enquanto a outra metade tem como tendência receber elétrons. Os átomos do silício possuem quatro elétrons conectados com seus vizinhos, sendo necessário um processo de dopagem no semicondutor para modificá-lo, isto é, adição de poucas quantidades de impurezas, já que em relação a um silício puro, o mesmo se torna quase um isolante, sendo assim, acontece uma alteração nas suas características elétricas. Então é adicionado em uma das camadas, o fósforo (cinco elétrons de ligação), chamado de dopante N, deixando um elétron extra, enquanto que a outra camada é adicionado o boro (três elétrons de ligação), denominado de dopante P, havendo uma ausência de um elétron que seria necessário para a ligação com os átomos de silício, deixando lacunas (CRESESB, 2008).

Assim, são formadas duas metades, em que um lado possui cargas negativas, enquanto o outro contém cargas positivas, originando em uma junção denominada como P-N. Então, quando a energia contida nos fótons proveniente da radiação atinge os átomos de silício (existente nos módulos fotovoltaicos), os elétrons se deslocam do lado N para o lado P, e esse movimento leva à corrente elétrica.

3.5 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

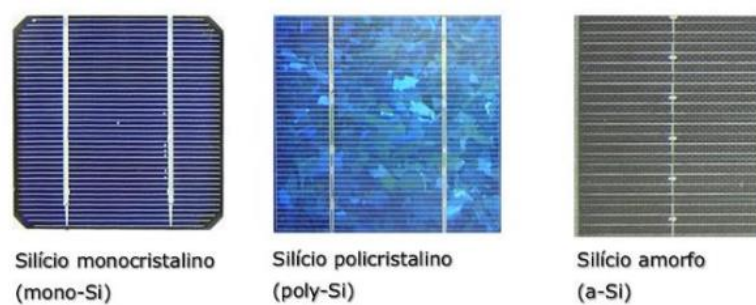
Uma das partes que compõem um sistema fotovoltaico são as células fotovoltaicas, sendo elas responsáveis pela captação da radiação do sol e conversão em eletricidade, constituídas por duas camadas de um material semicondutor (silício), como mostra a Figura 11. Uma célula individualmente não possui potencial necessário para gerar alta potência elétrica, tornando fundamental o arranjo de várias células para que seja formado um módulo fotovoltaico (SOUZA, 2016).



Fonte: CRESESB (2008)

Existem vários tipos de células fotovoltaicas (Figura 12) encontradas no mercado, sendo a de silício a mais comum para a fabricação dos painéis, estas são fabricadas a partir de cristais monocristalinos, policristalinos ou também de silício amorfo (CRESESB, 2008).

Figura 12 - Tipos de células mais comuns utilizadas

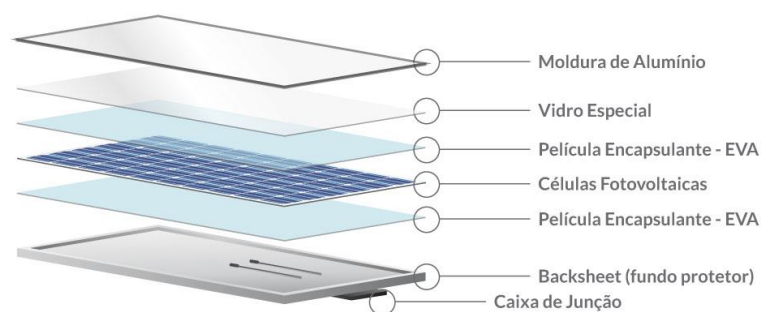


Fonte: Batista e Santos (2017)

3.6 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Além do conjunto de células que formam um módulo fotovoltaico, existem também outros componentes (Figura 13), como o encapsulamento entre as células (EVA), que protege contra a umidade e as substâncias presentes na atmosfera. É constituído também por um vidro específico e transparente para que as células consigam captar a radiação solar, sendo resistente a altas temperaturas. Além disso, é composto por uma estrutura de alumínio, fabricada para proteger contra a corrosão, bem como um fundo protetor e a caixa de junção (BLUE SOL, 2019).

Figura 13 - Componentes de um módulo fotovoltaico



Fonte: Blue Sol Energia Solar (2019)

A conexão das células pode ser realizada por meio da ligação em série, que geralmente é o processo mais comum utilizado pelos fabricantes, conectando o cabo positivo de um painel com o negativo do outro seguinte. Dessa forma, a corrente do sistema é igual à que percorre todos os módulos, permanecendo constante, já a tensão de saída é determinada pelo somatório da tensão de cada painel. Em uma ligação em paralelo ocorre o inverso, a tensão de saída não é alterada, ou seja, permanece igual, já a corrente é definida pelo somatório da corrente de cada

módulo, a junção é feita unindo o cabo positivo com positivo e negativo com negativo do outro painel.

3.7 PLACA SOLAR FIXA

O sistema solar residencial geralmente utiliza placas fixas (Figura 14) posicionadas na cobertura da casa, onde normalmente a inclinação do painel corresponde ao ângulo de inclinação do telhado. Apesar de suas inúmeras vantagens, como quase 95% de economia na conta de luz ou que não necessita de muita manutenção, esse sistema possui desvantagens em relação aos que utilizam placas solares móveis, já que a posição da instalação é imóvel, consequentemente em alguns horários do dia a luz do sol não será bem aproveitada.

Figura 14 - Instalação de painéis fotovoltaicos no telhado



Fonte: Envo (2019)

De acordo com Jardim Solar Engenharia e Energia Solar (2018), para um melhor aproveitamento da radiação solar em um sistema de placas fixas, é aconselhável, para hemisfério Sul, que o arranjo fotovoltaico seja instalado com uma orientação para o ponto cardinal Norte, já para o hemisfério Norte, a melhor orientação é para o ponto cardinal Sul, com uma inclinação de acordo com o ângulo de latitude de cada região, para um melhor desempenho.

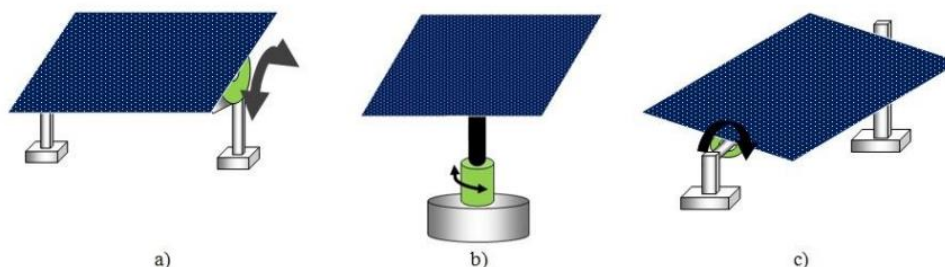
3.8 PLACA SOLAR MÓVEL

Os painéis solares móveis produzem eletricidade da mesma maneira que os sistemas fixos, captando a luz do sol através das células solares, gerando corrente elétrica por meio da transformação de energia solar em eletricidade. Esse tipo de sistema é responsável por girar o eixo de rotação do painel solar, seguindo o movimento do sol e aumentando a produção de energia de um sistema composto de um ou dois eixos.

3.8.1 Eixo único

Devido à rotação e translação da Terra, o sol se move de leste a oeste e faz um movimento semicircular (180°). A posição de um rastreador solar com um eixo (Figura 15) pode ser norte ou sul, dependendo da localização e latitude, podendo ser na versão inclinada, vertical ou horizontal. Em diferentes momentos do dia, pode-se tirar o máximo proveito do sol, assim, os painéis se movem com o sol para gerar mais energia (PORTAL SOLAR, 2022).

Figura 15 - Configurações de seguidores solares com um eixo



Fonte: Barbosa et al. (2016)

3.8.2 Eixo duplo

A operação do seguidor solar de eixo duplo (Figura 16) funciona de forma mais eficiente em comparação ao sistema fixo. Apesar de possuir dois motores que movimentam o painel em ambos os eixos, a estrutura é mantida perpendicular aos raios solares, resultando em uma maior geração de energia. Sua movimentação ocorre tanto na vertical em relação ao sentido Leste-Oeste, como também se move na horizontal em relação ao sentido Norte-Sul, ou seja, acompanha o movimento do sol em qualquer horário do dia ao decorrer do ano (CORTEZ, 2013).

Figura 16 - Esquema de seguidor solar de dois eixos



Fonte: Cortez (2013)

3.9 SISTEMAS DE ENERGIA SOLAR

3.9.1 Sistema fotovoltaico on-grid

Sistemas fotovoltaicos on-grid, também conhecidos como sistemas conectados à uma rede (Figura 17) de concessionária, em que a energia gerada é totalmente transferida para essa rede. Por estar conectado a uma rede elétrica e como a geração de energia produzida pelas placas é sempre maior que o consumo, o excesso de energia produzida pelo gerador solar é enviado para a rede pública, assim, será acumulado créditos energéticos para que em dias chuvosos, quando não houver sol ou pela falta de energia, seja possível fazer uso para gerar eletricidade novamente às residências.

Figura 17 - Ilustração do sistema fotovoltaico conectado à rede



Fonte: Sunergia (2017)

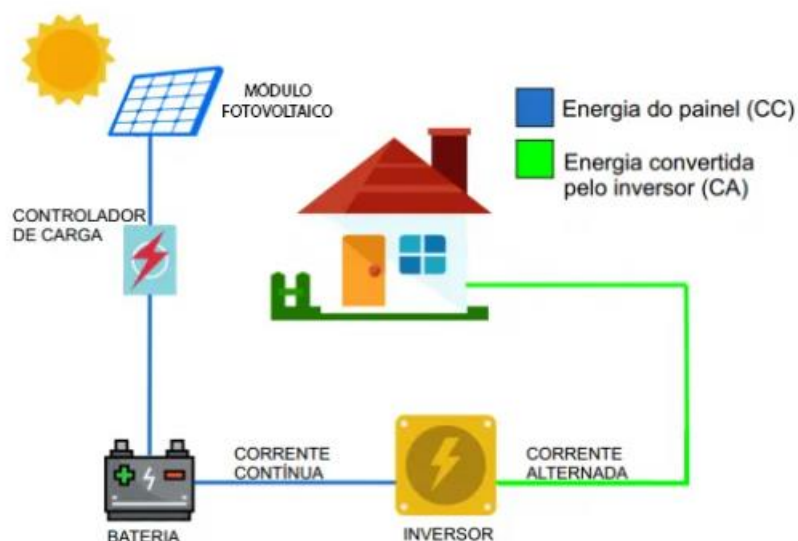
A captação da luz do sol (fonte primária de energia) é feita através dos painéis fotovoltaicos. Através do efeito fotovoltaico, ocorre a geração de energia, resultando em uma corrente contínua (CC) que em seguida é enviada à entrada de um inversor para a conversão da corrente contínua em alternada (CA), utilizada nas residências. Sendo assim, a energia gerada é consumida e utilizada para alimentar qualquer aparelho elétrico da casa, como televisão, ar condicionado, lâmpadas. Já o que for excedido é fornecido à rede elétrica pública na forma de créditos (BLUE SOL, 2019).

3.9.2 Sistema fotovoltaico off-grid

Atualmente, ainda existem localidades isoladas onde o fornecimento de eletricidade não é acessível devido à falta de acesso às grandes redes de distribuição de energia elétrica, o que gera uma escassez de energia para essas regiões não privilegiadas. Com isso, o sistema isolado (off-grid) torna-se a melhor solução para a obtenção de energia, principalmente para essas áreas (ABREU, 2021).

Sistemas fotovoltaicos off-grid (Figura 18), são os sistemas isolados, ou seja, que não são conectados à rede e prever a necessidade de armazenamento de energia por meio de baterias, garantindo o funcionamento do sistema em dias nublados, quando a quantidade de radiação solar é baixa, e à noite, quando o sistema não gera energia. Esse tipo de sistema é geralmente adequado para regiões em que não há acesso à rede de distribuição, como as zonas rurais. Portanto, a energia gerada é consumida, e o que não é consumido, é armazenado em baterias para uso posterior (ALVES, 2019).

Figura 18 - Esquema de um sistema de geração fotovoltaica off-grid



Fonte: TRX Solar (2019)

Assim como o sistema on-grid, o arranjo fotovoltaico é utilizado para a captação da luz do sol em geração de energia elétrica, porém, o sistema que não é conectado à rede ainda conta com um banco de baterias para o armazenamento de energia que será utilizada nos momentos em que o sistema não estiver em produção. Para isso, é necessário um correto dimensionamento que estabeleça a quantidade e a capacidade adequada das baterias.

Quando a bateria está sobrecarregada ou descarregada em excesso, o controlador de carga é usado para gerenciar a carga do banco de baterias, na intenção de protegê-las contra eventuais prejuízos. Um outro componente importante é o inversor, que converte a corrente contínua gerada pelas placas em corrente alternada para alimentar os aparelhos elétricos da casa (ROCHA FILHO, 2013).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 ESTRUTURA DO SEGUIDOR SOLAR

Antes de adquirir os materiais necessários para a construção do protótipo, a estrutura esquemática foi desenvolvida no software Adobe Photoshop (Figura 19). Isso serviu de base para determinar as dimensões corretas para cada parte do modelo idealizado. Além disso, foi possível selecionar o tipo certo de material para que não houvesse erros durante a montagem e operação do projeto.

Figura 19 - Representação do projeto desenvolvido no Photoshop



Fonte: Autoria própria (2022)

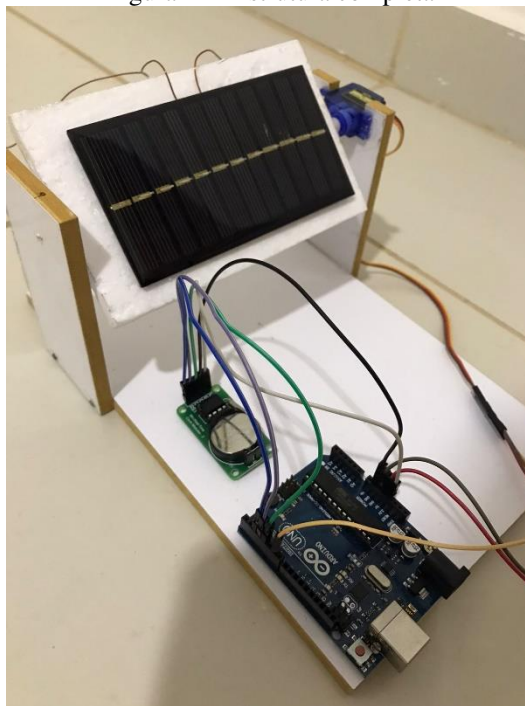
Após o desenvolvimento da representação do protótipo, materiais do tipo compensado e isopor foram utilizados para construir a estrutura. Como pode ser visto na Figura 21, o seguidor é constituído por uma placa fixa e uma móvel na qual a célula solar está fixada. A base possui dimensões de 150 x 230 milímetros. E para a fixação da mini placa solar, o material era mais fino, não muito pesado para que não interferisse no funcionamento do servo motor, com dimensões de 130 x 80 milímetros.

Figura 20 - Base maior da estrutura



Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 21 - Estrutura completa



Fonte: Autoria própria (2022)

4.2 COMPONENTES DO SISTEMA

4.2.1 Arduino

Para a preparação da prototipagem eletrônica, foi utilizado o dispositivo Arduino Uno (Figura 22), que possui um microcontrolador ATmega328P em um circuito integrado. O sistema inclui um Software de fácil utilização que possibilitou a programação dos comandos onde foram entregues ao Arduino. Sendo responsável por receber e enviar as informações para a execução dos comandos sem a ajuda manual. As informações como data e hora foram registradas no RTC e enviadas ao Arduino para acionar o servo motor ao longo do dia com base na hora e ângulo definidos.

Figura 22 – Arduino Uno

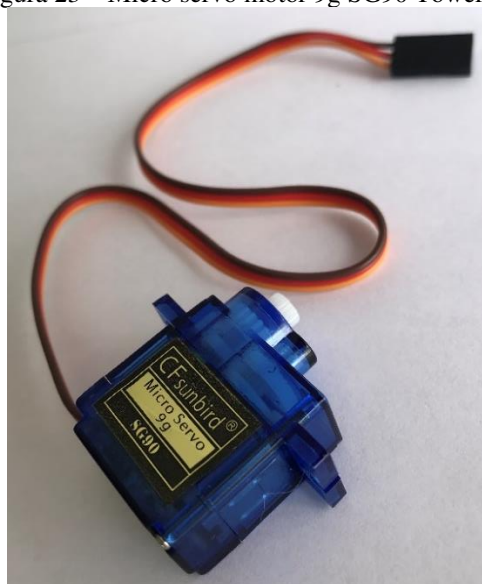


Fonte: Arduino.cc (2022)

4.2.2 Servo motor

A fim de movimentar o painel fotovoltaico em horários variados durante o dia, foi utilizado um micro servo motor 9g SG90 TowerPro (Figura 23), componente eficiente para o funcionamento do protótipo. Através dos comandos enviados pelo microcontrolador, o servo executa giros com uma posição máxima de 180°, o suficiente para acompanhar o movimento do sol de leste a oeste. Ao contrário dos motores comuns que operam sem interrupções, os micros servos não trabalham continuamente, mas giram para as posições programadas quando instruídos.

Figura 23 – Micro servo motor 9g SG90 TowerPro

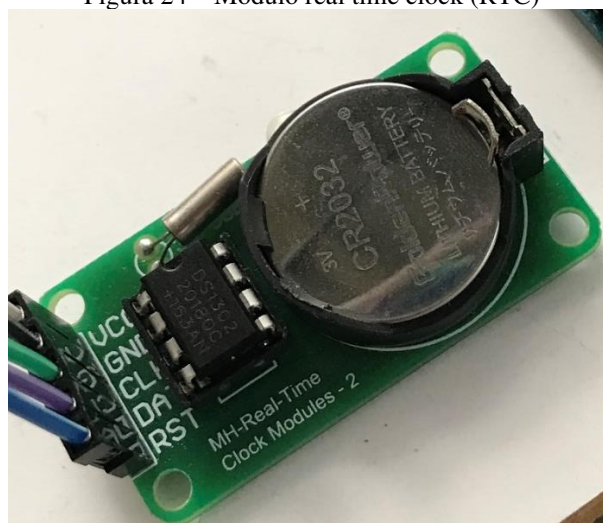


Fonte: Autoria própria (2022)

4.2.3 RTC

Com o intuito de mover o servo motor em um horário específico, foi utilizado um módulo Real Time Clock (RTC) DS1302 (Figura 24), que permite realizar um controle em tempo real, a fim de registrar hora e data conforme os dados programados. Para o seu funcionamento, utilizou-se uma bateria lítio CR2032 de 3 V para armazenar e não perder os dados mesmo em caso de falta de energia.

Figura 24 – Módulo real time clock (RTC)

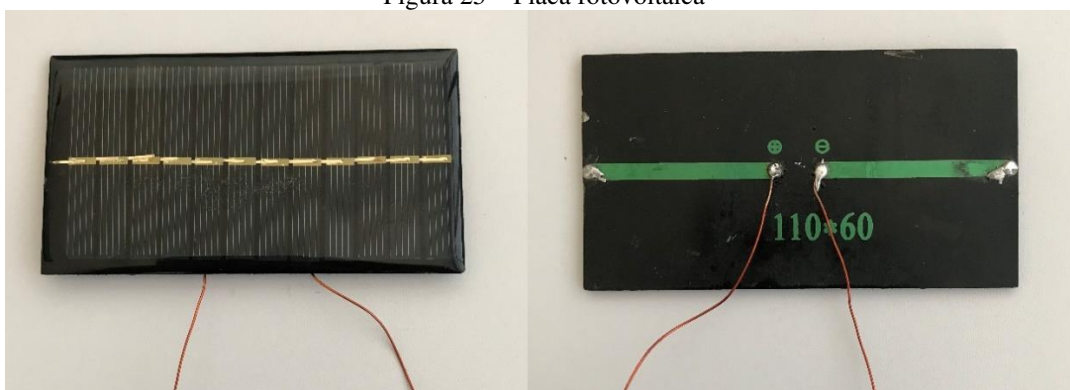


Fonte: Autoria própria (2022)

4.2.4 Pannel fotovoltaico

Por se tratar de um protótipo de pequena escala, utilizou-se duas células solares (Figura 26) com dimensões de 110 x 60 milímetros e massa de 24 g cada, para a captação da radiação solar através do seguidor solar e do sistema estático. Com os testes realizados antes de implementá-las ao sistema, foi possível encontrar uma tensão de trabalho e do sistema de 6 V e 6,6 V respectivamente, além da corrente de trabalho com 200 mA e potência máxima de 1,2 W.

Figura 25 – Placa fotovoltaica



Fonte: Autoria própria (2022)

4.2.5 Sistema de alimentação

Foi necessário utilizar uma fonte de energia externa, como uma bateria recarregável de 9 V e 450 mAh, para a alimentação da placa Arduino a fim de acionar o seguidor solar. Um ponto positivo para o sistema estático é que não há a necessidade de alimentação externa para o seu funcionamento, ou seja, não consome energia durante sua operação.

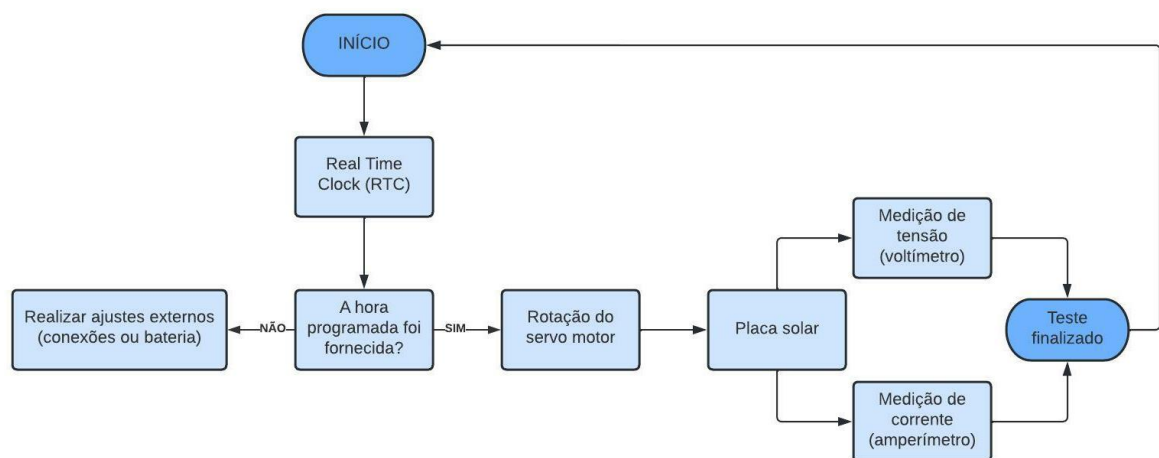
Realizou-se testes para saber quantas horas a bateria poderia suportar, totalizando em 5 horas contínuas, o necessário para realizar os testes durante um período de 5 horas, uma vez que, os componentes utilizados no projeto afetaram no consumo da energia, exigindo que a bateria fosse recarregada no final do dia para então utilizá-la novamente no dia seguinte.

4.3 LÓGICA DE FUNCIONAMENTO

Utilizando o diagrama de blocos (Figura 26), é possível compreender melhor a lógica de funcionamento do seguidor solar com todas as etapas do processo geral. A partir do momento

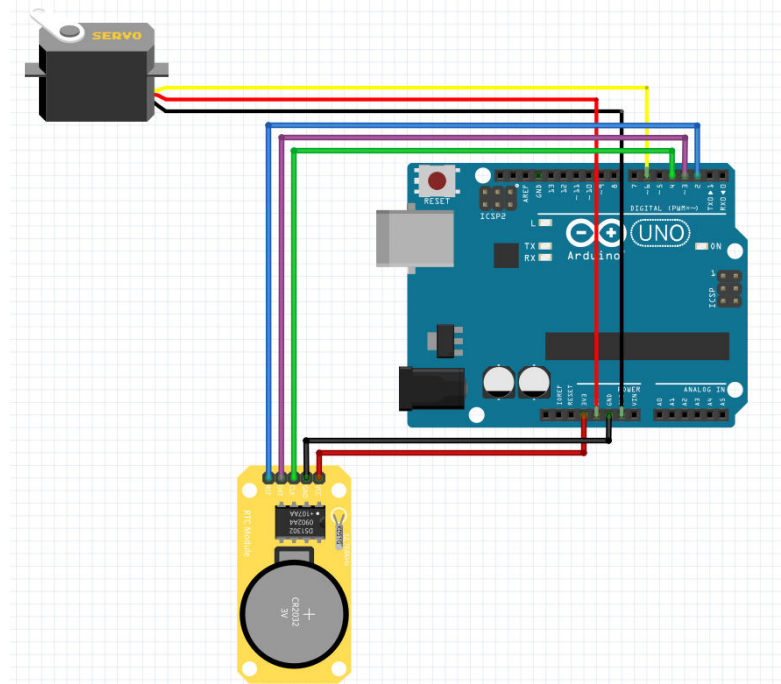
em que o sistema é iniciado, o real time clock (RTC) dá início ao processo de contagem do tempo em tempo real. A partir daí, o Arduino envia um comando para o servo motor para que ele gire o painel solar em um ângulo (definido), a fim de maximizar a incidência solar no horário predefinido. Esse procedimento é repetido, inicialmente, duas vezes durante três dias e depois três vezes durante quatro dias, para que o painel solar receba uma maior radiação solar. E a Figura 27 mostra um esquema de como foram realizadas as conexões dos componentes ao microcontrolador.

Figura 26 – Diagrama de blocos do seguidor solar



Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 27 – Representação das conexões dos componentes ao microcontrolador



Fonte: Autoria própria (2022)

4.4 TESTES

Os ensaios foram realizados na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), campus Caraúbas (Latitude $5,79^{\circ}$ S e Longitude $37,56^{\circ}$ O) em dias diferentes. O primeiro ensaio aconteceu do dia 13 a 15 de maio de 2022, e o segundo do dia 27 a 30 do mesmo mês e ano. Durante um período de 5 horas, das 8h até 12h, visto que, existia menos probabilidade de chover ao longo desse momento. Totalizando 7 dias de coleta de dados.

A fim de analisar o desempenho dos dois sistemas (estático e dinâmico) e comparar qual deles é o mais eficiente, mediu-se a tensão e corrente gerada por cada painel fotovoltaico em intervalos de 1 hora para obter a potência final. Como os sistemas são independentes, as medições foram feitas em paralelo para a análise comparativa.

De acordo com o Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sergio de S. Brito (CRESESB), é possível encontrar o melhor ângulo de inclinação, referindo-se a maior média anual em graus para o painel fotovoltaico com base nas coordenadas geográficas da região. Com base nisso, o sistema estático foi posicionado ao Norte geográfico com uma angulação de 5° .

Devido ao movimento de rotação da Terra, a Terra gira 15 graus a cada uma hora. Com base nisso, foram definidos dois momentos iniciais durante três dias, e em seguida, três momentos durante um período de quatro dias, o suficiente para análise da eficiência do seguidor solar. Isso permite que o servo gire a placa solar poucas vezes ao dia sem consumir muita energia do Arduino, mas gerar uma potência necessária para a comparação dos sistemas.

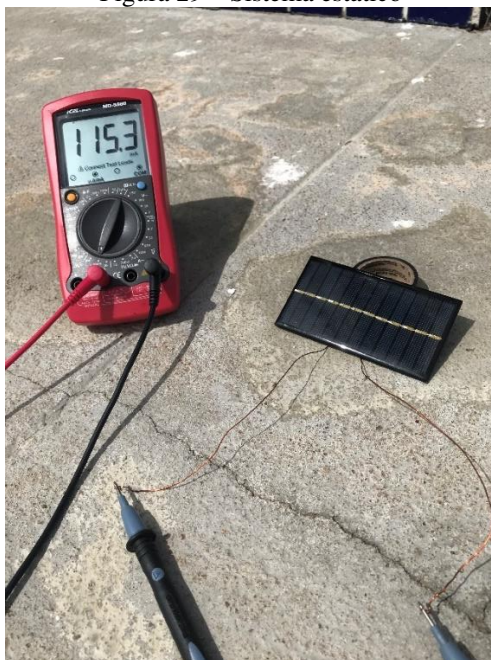
Inicialmente, o servo foi instruído a mover o seguidor solar uma vez por dia, primeiramente com uma angulação fixa de 5° a Leste às 8h, e 90° às 12h. Isso foi feito durante um período de três dias. Logo depois, foram realizados outros testes de posições para melhorar a captação da luz solar, durante quatro dias na semana. Com isso, o servo foi colocado em 5° às 8h, movido em 35° para às 10 horas, finalizando em 90° às 12h.

Figura 28 – Protótipo em funcionamento do seguidor solar



Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 29 – Sistema estático



Fonte: Autoria própria (2022)

5 RESULTADOS

5.1 SISTEMA DINÂMICO (SEGUIDOR SOLAR DE UM EIXO)

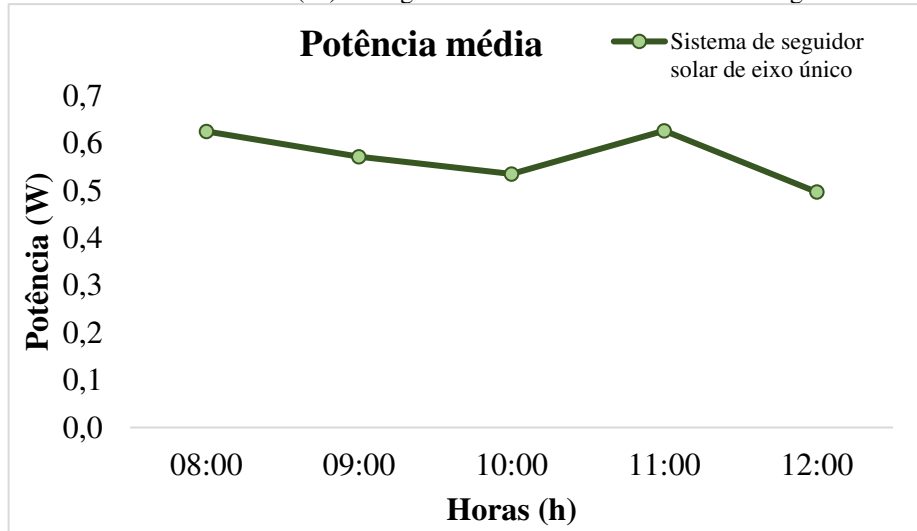
Como dito anteriormente, os primeiros ensaios aconteceram em dias parcialmente nublado, durante um período de 3 dias. Com um total de 5 horas de testes. A tabela 1 mostra a potência gerada por hora em cada dia específico pelo painel fotovoltaico que foi equipado ao seguidor solar de eixo único. Além disso, mostra a potência média que o painel fornece a cada hora. A partir disso, o gráfico 1 foi elaborado com base nos valores da potência média obtida pelo sistema móvel de um eixo.

Tabela 1 – Potência obtida do seguidor solar de um eixo com dois ângulos distintos

#	#	13/mai	14/mai	15/mai	#
HORAS	ÂNGULO	POTÊNCIA (W)	POTÊNCIA (W)	POTÊNCIA (W)	MÉDIA (W)
08:00	5°	0,6208	0,5589	0,6949	0,6249
09:00	5°	0,3701	0,6199	0,7238	0,5713
10:00	5°	0,4064	0,5887	0,6086	0,5346
11:00	5°	0,6779	0,5420	0,6580	0,6260
12:00	90°	0,2952	0,9550	0,2398	0,4966

Fonte: Autoria própria (2022)

Gráfico 1 – Potência média (W) do seguidor solar de um eixo com dois ângulos distintos



Fonte: Autoria própria (2022)

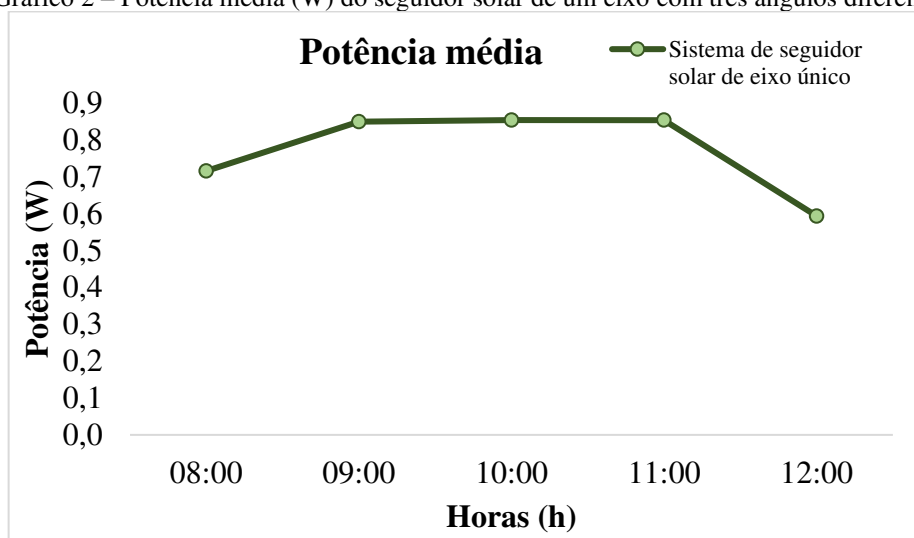
Outras posições de teste do servo foram então realizadas, na qual foram ajustadas selecionando o ângulo nos horários em que a incidência dos raios solares estava mais forte, e posicionado de Leste à Oeste. Totalizando um período de 5 horas de testes. A tabela 2 mostra a potência gerada por hora em cada dia específico pelo painel fotovoltaico, além da potência média. E o gráfico 2 foi desenvolvido a partir dos valores da potência média.

Tabela 2 – Potência obtida do seguidor solar de um eixo com três ângulos diferentes

#	#	30/mai	31/mai	01/jun	02/jun	#
HORAS	ÂNGULO	POTÊNCIA (W)	POTÊNCIA (W)	POTÊNCIA (W)	POTÊNCIA (W)	MÉDIA (W)
08:00	5°	0,9260	0,8115	0,2858	0,8383	0,7154
09:00	5°	0,9742	0,9293	0,5504	0,9420	0,8489
10:00	35°	0,9432	0,8802	0,7831	0,8064	0,8532
11:00	35°	0,9783	0,8288	0,8778	0,7282	0,8533
12:00	90°	0,2845	0,3048	0,9142	0,8709	0,5936

Fonte: Autoria própria (2022)

Gráfico 2 – Potência média (W) do seguidor solar de um eixo com três ângulos diferentes



Fonte: Autoria própria (2022)

5.2 SISTEMA ESTÁTICO

A fim de obter uma análise comparativa, o sistema estático foi posicionado sobre as mesmas condições climáticas que o seguidor solar, porém, com um ângulo fixo de 5° direcionado ao Norte geográfico, onde recebe a maior incidência dos raios solares. A Tabela 3 mostra a potência entregue por hora pelo sistema fixo, durante um período de três dias, bem como sua potência média. E a Tabela 4 também apresenta a potência entregue a cada uma hora

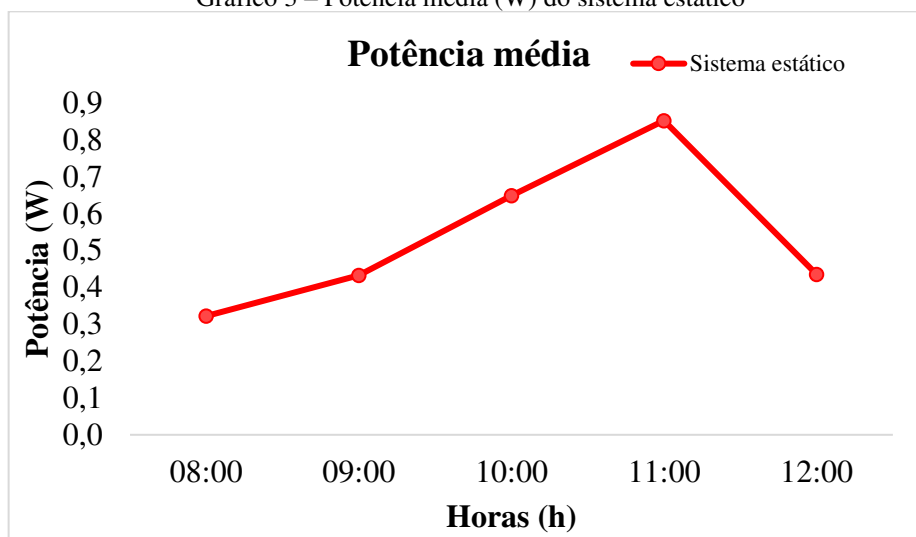
pelo sistema estático, porém, durante um período de quatro dias. Com base nisso, elaborou-se o gráfico 3 e 4 a partir da potência média entregue pelo sistema estático.

Tabela 3 – Potência obtida do sistema estático em três dias

#	13/mai	14/mai	15/mai	#
HORAS	POTÊNCIA (W)	POTÊNCIA (W)	POTÊNCIA (W)	MÉDIA (W)
08:00	0,3524	0,2488	0,3647	0,3220
09:00	0,2795	0,4428	0,5757	0,4327
10:00	0,5031	0,6683	0,7752	0,6489
11:00	0,8705	0,7932	0,8922	0,8520
12:00	0,2608	0,8292	0,2149	0,4350

Fonte: Autoria própria (2022)

Gráfico 3 – Potência média (W) do sistema estático



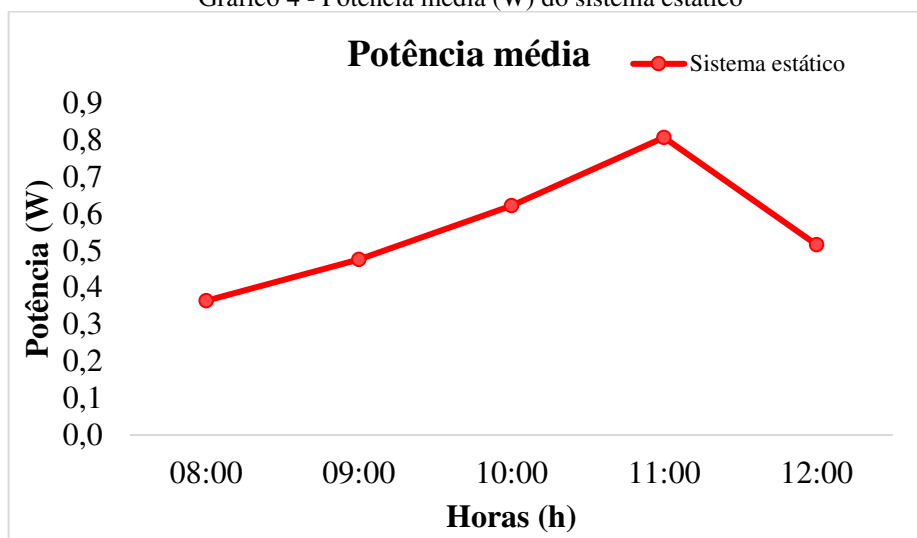
Fonte: Autoria própria (2022)

Tabela 4 - Potência obtida do sistema estático em quatro dias

#	30/mai	31/mai	01/jun	02/jun	#
HORAS	POTÊNCIA (W)	POTÊNCIA (W)	POTÊNCIA (W)	POTÊNCIA (W)	MÉDIA (W)
08:00	0,2275	0,5679	0,1898	0,4709	0,3640
09:00	0,2771	0,6144	0,3955	0,6185	0,4764
10:00	0,3493	0,7260	0,6580	0,7555	0,6222
11:00	0,3840	0,9750	0,9753	0,8924	0,8067
12:00	0,2542	0,2617	0,8528	0,6936	0,5156

Fonte: Autoria própria (2022)

Gráfico 4 - Potência média (W) do sistema estático



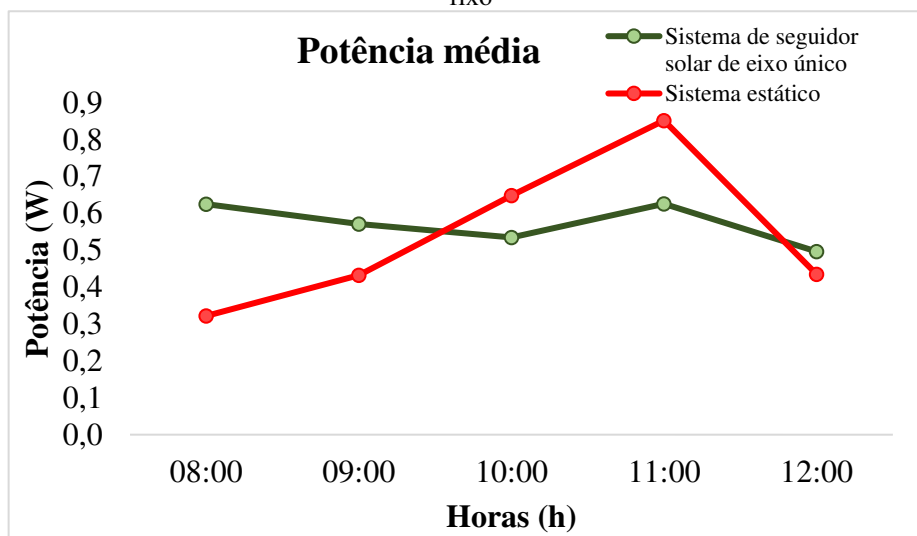
Fonte: Autoria própria (2022)

5.3 COMPARAÇÃO ENTRE OS SISTEMAS COM BASE NOS VALORES MÉDIOS DE POTÊNCIA

Para a realização da análise comparativa entre os dois sistemas, a fim de obter qual o mais eficiente com base nos valores das potências médias, os dois foram posicionados ao mesmo tempo e sobre as mesmas condições climáticas, isto é, dias em que a incidência dos raios solares estava baixa, e em momentos que os dias estavam ensolarados, ou seja, com uma incidência maior da luz solar. Em consequência disso, pôde impactar diretamente na leitura e interferir em alguns momentos da medição.

Observou-se que nos momentos em que o seguidor solar foi instruído a mover apenas em dois ângulos (5° e 90°), só foi possível alcançar uma eficiência melhor em comparação ao sistema fixo, logo no início do dia, de 8h e 9h (Gráfico 5), visto que, o ângulo de inclinação do seguidor não estava adequado para aquele horário. No entanto, às 10h e 11h, a placa fixa conseguiu obter um desempenho melhor, visto que, eram os horários de pico em que o sistema fixo conseguiu captar uma incidência maior da luz solar durante aquele momento. E às 12h os dois sistemas (fixo e móvel) obteve uma potência média muito semelhante.

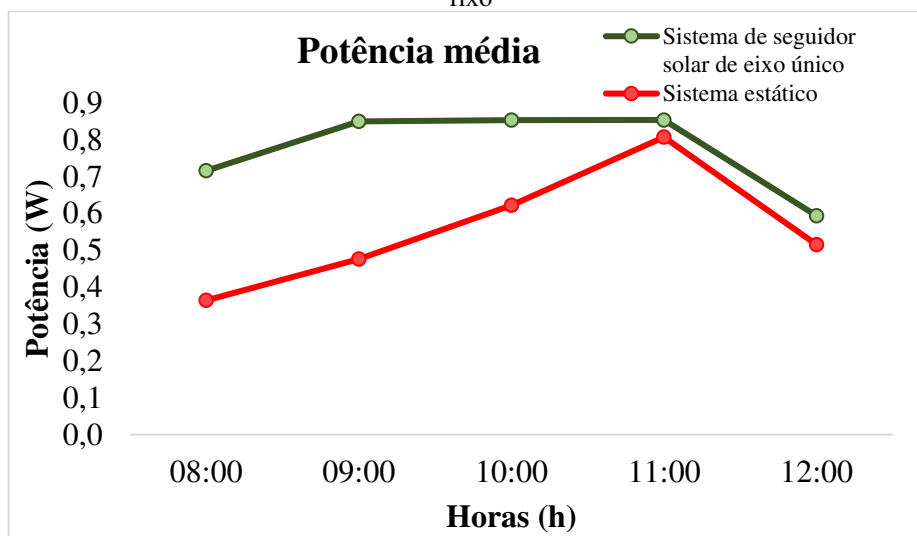
Gráfico 5 – Comparação das potências média do seguidor solar (usando dois ângulos distintos) com o sistema fixo



Fonte: Autoria própria (2022)

E nos momentos em que o servo foi determinado a girar 35° às 10h e 90° às 12h, o sistema conseguiu captar melhor a incidência dos raios solares, aumentando ainda mais a eficiência do seguidor solar, como mostra o gráfico 6. E às 11h e 12h os dois sistemas obtiveram uma potência média semelhante, pelos mesmos motivos comentados anteriormente, porém, essa potência caiu ao meio dia, devido ao dia nublado que prejudicou durante o momento das medições.

Gráfico 6 – Comparação das potências média do seguidor solar (usando três ângulos distintos) com o sistema fixo



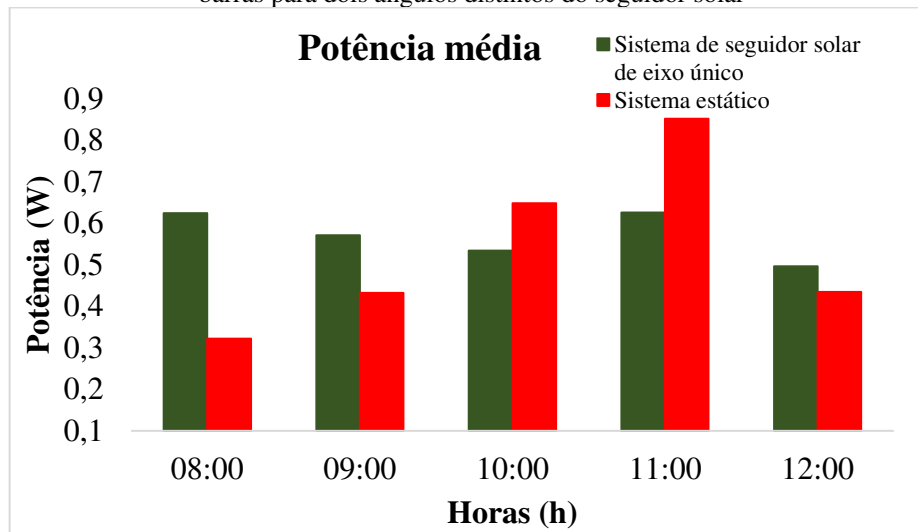
Fonte: Autoria própria (2022)

A maior diferença em que foi possível observar que o seguidor solar conseguiu obter uma potência maior que o sistema fixo, aconteceu logo no início da manhã, tanto em relação ao

movimento do servo em dois ângulos distintos, como também em três ângulos diferentes. Isso ocorre porque inicialmente o seguidor solar estava posicionado em 5° direcionado ao Leste, recebendo uma alta incidência solar, e consequentemente captando melhor a luz solar do que o sistema estático.

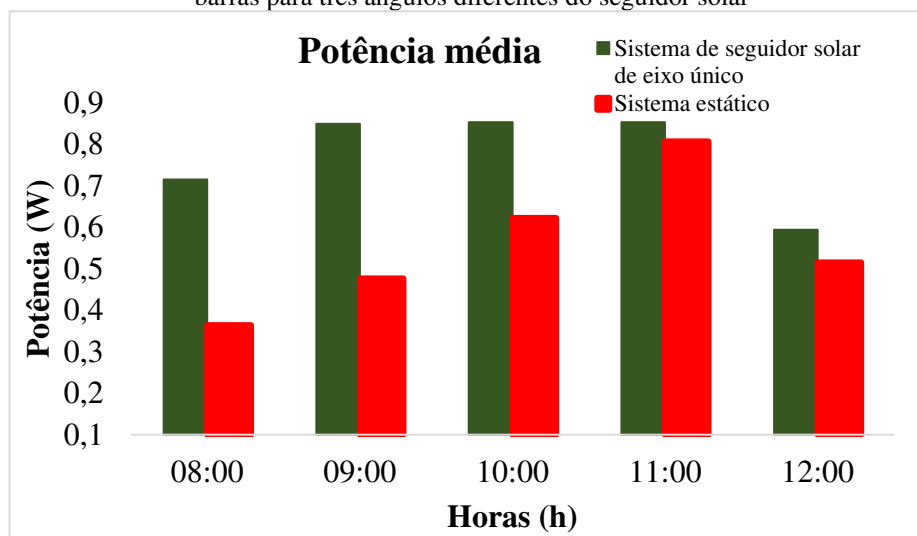
Enquanto que o sistema fixo só conseguiu captar uma incidência maior dos raios solares à medida que o sol se movimentava, ou seja, no início do dia não foi possível obter tanta incidência dos raios solares já que ele estava posicionado para o Norte geográfico. Sendo capaz de obter uma radiação maior do sol durante às 11h, momento em que o sol já estava posicionado mais para o Norte.

Gráfico 7 – Comparação das potências média em relação aos dois sistemas (móvel e estático) em gráfico de barras para dois ângulos distintos do seguidor solar



Fonte: Autoria própria (2022)

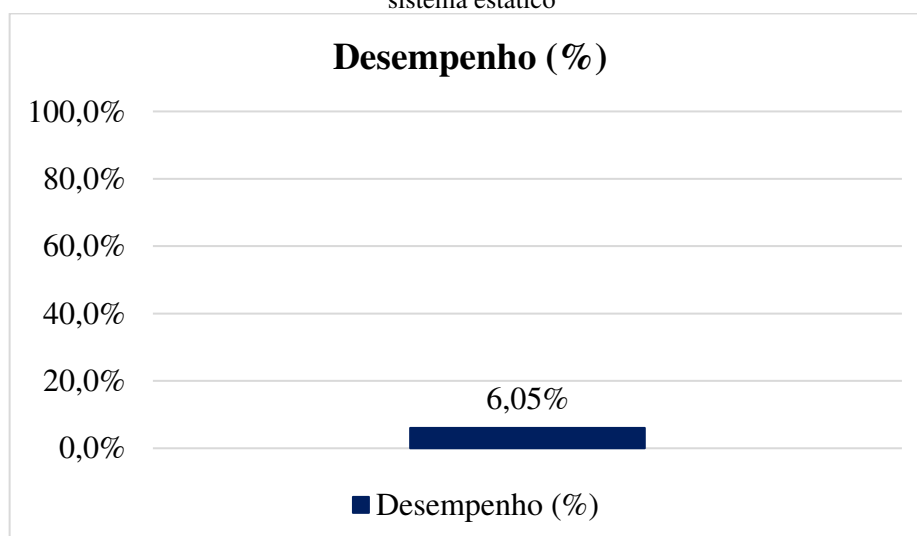
Gráfico 8 – Comparação das potências média em relação aos dois sistemas (móvel e estático) em gráfico de barras para três ângulos diferentes do seguidor solar



Fonte: Autoria própria (2022)

A partir da potência média, pode-se observar que o rastreador solar para os dois ângulos distintos, conseguiu obter uma geração de potência média semelhante ao sistema estático, referindo-se a uma geração de 0,57066 W e 0,53810 W ao sistema móvel e estático, respectivamente. Assim, o seguidor solar demonstrou um desempenho de 6,05% (Gráfico 9) maior quando comparado ao fixo. Sendo possível comprovar que o seguidor solar conseguiu captar mais a radiação do sol que o sistema fixo, mesmo quando foi determinado a girar apenas uma vez durante o período da manhã.

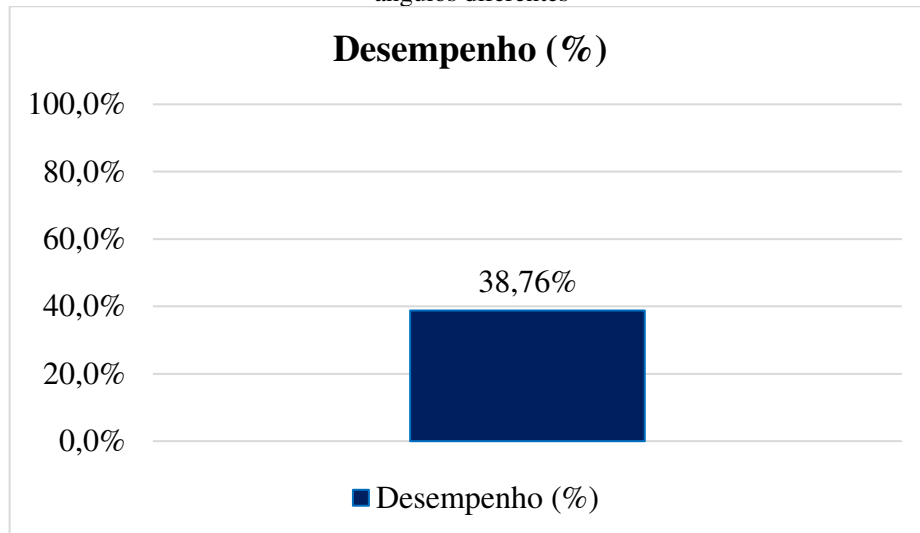
Gráfico 9 – Desempenho em ganho percentual do seguidor solar (para os dois ângulos distintos) em relação ao sistema estático



Fonte: Autoria própria (2022)

Da mesma forma para os três ângulos diferentes, o seguidor solar conseguiu demonstrar uma eficiência melhor comparado com o sistema fixo, a partir da potência média. Com uma geração de 0,77288 W para o sistema de rastreador solar, e 0,55697 W para o sistema estático. Representando 38,76% (Gráfico 10) maior quando comparado com a placa fixa.

Gráfico 10 – Desempenho em ganho percentual do seguidor solar em relação ao sistema estático para três ângulos diferentes



Fonte: Autoria própria (2022)

6 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou a produção de um protótipo de seguidor solar de eixo único, sendo controlado por um Arduino. Diante dos resultados analisados, constatou-se que o sistema de seguidor solar teve uma eficiência melhor comparado ao estático. Portanto, as leituras de tensão e corrente coletadas dos dois sistemas foram usadas para determinar a potência fornecida por cada sistema. Isso mostra que o seguidor solar de um eixo teve um desempenho de 6,05% em comparação com a placa fotovoltaica fixa, com relação a dois ângulos diferentes. Também obteve desempenho 38,76% maior quando comparado ao sistema estático, em três ângulos distintos.

Observou-se que o seguidor solar apresentou desempenho melhor em dias mais ensolarados, visto que, a condição climática é um fator influenciador na hora da coleta e medição dos valores. Esperava-se que o desempenho do seguidor solar fosse melhor nos momentos em que a incidência solar estava mais alta, como às 12h. No entanto, com poucas nuvens bloqueando os raios solares às 8 e 9 horas, o seguidor solar conseguiu captar mais energia logo no início da manhã.

Pôde-se observar também que para o sistema estático por estar posicionado em uma angulação fixa de 5° direcionado ao Norte geográfico, não teve um desempenho satisfatório no início do dia. Porém, o sistema fixo teve um ganho energético maior às 11h em relação ao sistema móvel, período em que a captação da energia foi maior, visto que, o seguidor solar não estava bem posicionado para esse horário. Além disso, foi possível perceber que quanto mais vezes o seguidor solar foi determinado a girar, mais eficiente ele conseguiu ser, porém, para isso, ele estaria gastando mais energia do sistema.

Entre os principais desafios encontrados para a finalização do projeto, destacam-se: as condições meteorológicas que influenciaram negativamente durante a coleta das medições, resultando em um atraso na pesquisa, e consequentemente diminuindo o prazo de entrega. Assim, como também a dificuldade de conciliar outras atividades juntamente com o presente trabalho.

Dessa forma, o seguidor solar é visto como uma melhoria na produção de energia elétrica, que pode ser aplicado tanto em residências, indústrias, empresas ou em locais amplos, como por exemplo, um parque solar, ajudando a reduzir os custos associados à conta de luz. Além de ser uma fonte de energia limpa e renovável, que não emite gases responsáveis pelo efeito estufa. Esta é uma solução de geração de energia de forma mais eficiente e vantajosa.

REFERÊNCIAS

SIMABUKULO, Lucas Antonio Nizuma et al. Energia, industrialização e modernidade– História social. **Energia e Saneamento**, v. 7, 2006. Disponível em:< <http://www.museudaenergia.org.br/media/63129/03.pdf>> Acesso em: 07 jan. 2022.

Empresa de Pesquisa Energética. **Matriz Energética e Elétrica**. 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 07 jan. 2022.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Balanco Energético Nacional 2021**: relatório final. 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021>. Acesso em: 07 jan. 2022.

ROSA, Joseane. **Tipos de energia**. 2021. Disponível em: <https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/fisica/tipos-de-energia>. Acesso em: 10 jan. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA (ABSOLAR). **Panorama da solar fotovoltaica no Brasil e no mundo**. 2022. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em: 10 jan. 2022.

ABRAPCH. **O que são PCHs e CGHs**. Disponível em: <https://abrapch.org.br/2014/03/o-que-sao-pchs-e-cghs/>. Acesso em: 02 fev. 2022.

IBERDROLA. **O que é energia hidrelétrica**. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/o-que-e-energia-hidreeletrica>. Acesso em: 02 fev. 2022.

CENTRAL SOLAR. **Entenda o que é uma célula fotovoltaica**. Disponível em: <https://www.centralsolar.net.br/blog/entenda-o-que-e-uma-celula-fotovoltaica-26.html>. Acesso em 31 mar. 2022.

SCHERER, Lara Almeida et al. Fonte Alternativa de Energia: energia solar. **XX Seminário Interinstitucional de ensino, pesquisa e extensão**. Universidade de cruz Alta/RS, 2015.

NETO, Emilio Murcia. **CONTRATOS POR DISPONIBILIDADE DE USINAS TERMELÉTRICAS: UMA ANÁLISE DOS RESULTADOS ECONÔMICOS DE**

OPERAÇÃO. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, [S. l.], 2016.

CBIE. **COMO FUNCIONAM USINAS TÉRMICAS.** Disponível em: <https://cbie.com.br/artigos/como-funcionam-usinas-termicas/>. Acesso em: 01 abr. 2022.

NEOENERGIA. **VOCÊ SABE COMO FUNCIONA UM AEROGERADOR?**. Disponível em: <https://www.neoenergia.com/pt-br/te-interessa/meio-ambiente/Paginas/como-funciona-um-aerogerador.aspx>. Acesso em: 02 abr. 2022.

NETO, Antonio Samuel. **Análise e Controle de Centrais Eólicas a Velocidade Variável Utilizando ATPDraw.** 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Pernambuco, [S. l.], 2005.

ELETRONUCLEAR. **Energia Nuclear.** Disponível em: <https://www.eletronuclear.gov.br/Sociedade-e-Meio-Ambiente/Espaco-do-Conhecimento/Paginas/Energia-Nuclear.aspx#>. Acesso em: 02 abr. 2022.

GOVERNO DO BRASIL. **Brasil aumenta capacidade de enriquecimento de urânio.** Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2021/11/brasil-aumenta-capacidade-de-enriquecimento-de-uranio>. Acesso em: 02 abr. 2022.

GONÇALVES, Felipe; RUIZ, Renata Hamilton de. **Energia nuclear.** Rio de Janeiro: Editora Fgv, 2016. 88 p.

CAVALCANTI, E.; DE BRITO, R. Geração heliotérmica: uma nova opção de energia limpa para o Brasil'. In: **Anais do VIII Congresso Brasileiro de Energia.** 1999. p. 1566-1575.

CASTRO, Laís Costa. **Análise comparativa para geração de energia heliotérmica em diferentes regiões brasileiras.** 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia mecânica) - Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

LIMA, João Victor Figueredo; GONÇALVES, Pedro H. S. A. **A INFLUÊNCIA DO ÂNGULO DE INCLINAÇÃO NA INCIDÊNCIA DE RADIAÇÃO SOLAR EM PAINÉIS FOTOVOLTAICOS.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenheiro Mecânico) - Universidade de Brasília, [S. l.], 2018.

VAREJÃO-SILVA, M.A. **Meteorologia e Climatologia**. Versão Digital 2. Recife, 2006. Disponível em:

https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/804/o/METEOROLOGIA_E_CLIMATOLOGIA_VD2_Mar_2006.pdf. Acesso em: 9 abr. 2022.

SILVA, Marta Cristina da Costa. **Estudo comparativo de um painel solar fotovoltaico fixo vs móvel**. 2012. Tese de mestrado (Mestre em engenharia eletrônica industrial e computadores) - Universidade do Minho, Minho, 2012.

CRESESB. **Tutorial de Energia Solar Fotovoltaica**. 2008. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&catid=4. Acesso em: 14 abr. 2022.

ABSOLAR (São Paulo). **Procura por energia solar no Brasil aumentou mais de 50% na pandemia**. 2021. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/procura-por-energia-solar-no-brasil-aumentou-mais-de-50-na-pandemia/>. Acesso em: 13 abr. 2022.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80p. Disponível em: <http://doi.org/10.34024/978851700089>. Acesso em: 13 abr. 2022.

DUARTE, Gustavo de Faria. **Desenvolvimento de um protótipo de seguidor solar biaxial**. 2019. 77 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

SOUZA, Ronilson di. **Livro digital de introdução aos sistemas solares**. Ribeirão Preto - SP: Blue Sol Energia Solar, 2016.

BATISTA, Lucas Lopes de Barros; SANTOS, Abighail do Nascimento. Critérios para o emprego de placas solares e propostas de instalações elétricas para escolas públicas do distrito federal. **Programa de iniciação científica**, Brasília, 2017.

BLUE SOL ENERGIA SOLAR. **As 5 principais questões sobre o módulo fotovoltaico respondidas para você entender tudo**. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/modulo-fotovoltaico/>. Acesso em: 16 abr. 2022.

ENVO. **Energia solar residencial: descubra 10 motivos para investir**. 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/ribeirao-preto-franca/especial-publicitario/envo/noticia/2019/05/13/energia-solar-residencial-descubra-10-motivos-para-investir.ghtml>. Acesso em: 17 abr. 2022.

JARDIM SOLAR ENGENHARIA E ENERGIA SOLAR. **Qual a inclinação que um painel solar deve ter?** 2018. Disponível em: http://jardimsolarenergia.com.br/noticias_detalhes.aspx?not=22. Acesso em: 17 abr. 2022.

PORTAL SOLAR. **Seguidor solar - tracker: vantagens e desvantagens**. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/seguidor-solar-tracker-vantagens-e-desvantagens?q=/blog-solar/painel-solar/seguidor-solar-tracker-vantagens-e-desvantagens.html&>. Acesso em: 17 abr. 2022.

BARBOSA, Danielle Alves et al. **Avaliação do desempenho de um seguidor solar monoaxial para sistemas fotovoltaicos isolados**. VI Congresso Brasileiro de Energia Solar, Belo Horizonte, 2016.

CORTEZ, Ramiro José Monteiro. **Sistema de seguimento solar em produção de energia fotovoltaica**. 2013. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de mestrado integrado em engenharia eletrotécnica e de computadores, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2013.

SUNERGIA. **Geração solar fotovoltaica on-grid e off-grid**. 2017. Disponível em: <https://sunergia.com.br/blog/geracao-solar-fotovoltaica-on-grid-ou-off-grid/>. Acesso em: 30 abr. 2022.

BLUE SOL. **Energia solar como funciona? Entenda de forma simples e direta**. 2019. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/energia-solar-como-funciona/>. Acesso em: 01 maio 2022.

ABREU, William Germano de. **Análise comparativa entre geração solar on-grid utilizando seguidor solar de eixo único e instalação comum**. 2021. 80 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnólogo em Automação Industrial, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2021.

ALVES, Marliana de Oliveira Lage. **Energia solar**: estudo da geração de energia elétrica através dos sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid. 2019. 76 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade - MG, 2019.

ROCHA FILHO, José Itanor do Couto. **Potencial para uso de seguimento solar em sistemas fotovoltaicos**: estudo de caso para fortaleza/ce. 2013. 71 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

TRX SOLAR. **O que são os sistemas fotovoltaicos OffGrid?** 2019. Disponível em: <https://loja.trxsolar.com/loja/noticia.php?loja=655927&id=31>. Acesso em: 01 maio 2022.

ARDUINO.CC. **Getting Started with Arduino UNO**. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Guide/ArduinoUno>. Acesso em: 04 jun. 2022.

ANEXOS

CÓDIGO DE PROGRAMAÇÃO DO ARDUINO UNO – PROTÓTIPO

```
#include <virtuabotixRTC.h>
#include "Servo.h" // Inclui a Biblioteca Servo.h

virtuabotixRTC myRTC(4, 3, 2); //CLK, DAT, RST do Real Time Clock
Servo meuservo; // Cria o objeto servo para programação

int angulo;

void setup() {

  Serial.begin(9600);

  //myRTC.setDS1302Time(59, 9, 18, 7, 20, 5, 2022); //Hora e data real (a configuração é feita
  apenas uma vez e o módulo continuará contando automaticamente)

  meuservo.attach(6); // Declara o pino do servo
  angulo = 5;
  meuservo.write(angulo);
}

void loop() {

  myRTC.updateTime();

  Serial.print("DATA: ");
  Serial.print(myRTC.dayofmonth); //Dia do mês
  Serial.print("/");
  Serial.print(myRTC.month); //Mês
  Serial.print("/");
  Serial.print(myRTC.year); //Ano
```

```
Serial.print(" HORA: ");
Serial.print(myRTC.hours); //Horas
Serial.print(":");
Serial.print(myRTC.minutes); //Minutos
Serial.print(":");
Serial.println(myRTC.seconds); //Segundos

delay(1000);

if (myRTC.hours == 8 && myRTC.minutes == 0 && myRTC.seconds == 0){
    angulo = 5;
    meuservo.write(angulo);
}

if (myRTC.hours == 10 && myRTC.minutes == 0 && myRTC.seconds == 0){
    angulo = 35;
    meuservo.write(angulo);
}

if (myRTC.hours == 12 && myRTC.minutes == 0 && myRTC.seconds == 0){
    angulo = 90;
    meuservo.write(angulo);
}

if (myRTC.hours == 12 && myRTC.minutes == 30 && myRTC.seconds == 0){
    angulo = 5;
    meuservo.write(angulo);
}
}
```