

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO COM RASTREAMENTO SOLAR PARA APLICAÇÕES DIDÁTICAS EM AMBIENTES ESCOLARES

Juan Teruyuki Couto Tatsukawa Junior¹, Fabiana Karla de Oliveira Martins Varella²

Resumo: Nos últimos anos tem sido notável a diversificação da matriz elétrica do Brasil, principalmente o aumento da utilização da energia solar fotovoltaica. Entretanto, devido à baixa eficiência energética dos painéis fotovoltaicos, fez-se necessário a busca de novas tecnologias, à fim de maximizar a geração de energia elétrica. Neste viés, o presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um protótipo de sistema fotovoltaico com rastreamento solar para aplicações didáticas em ambientes escolares, controlado por um microcontrolador, que utiliza de um sistema eletromecânico para rotacionar as células FV em direção ao sol, ao decorrer do dia, otimizando a geração solar fotovoltaica. Por intermédio de pesquisas prévias sobre o assunto, e pela confecção do protótipo, durante o período de testes, foi transparente o pleno funcionamento do sistema, atendendo às expectativas e exercendo sua funcionalidade com sucesso. Por fim, conclui-se que o protótipo desenvolvido pode contribuir de modo significativo para difusão do conhecimento sobre geração de energia solar fotovoltaica, bem como a tecnologia de rastreamento solar em ambientes escolares.

Palavras-chave: Energia solar fotovoltaica; Rastreamento solar; Aplicações didáticas; Ambientes escolares.

1. INTRODUÇÃO

Após a publicação da Resolução Normativa nº 482 da ANEEL, em 2012, ocorreu uma mudança no cenário da inserção solar fotovoltaica no mercado de energia solar do Brasil, em especial a geração distribuída [1]. Segundo [2], energia solar fotovoltaica representa 6,14% da matriz elétrica brasileira, entretanto, com os avanços da tecnologia, os módulos fotovoltaicos fixos se mostraram não tão eficazes, por estarem em uma posição fixa para a captação de luz durante todo seu funcionamento.

Devido a isto, fez-se necessário o surgimento dos módulos fotovoltaicos seguidores/rastreadores, visando aprimorar a eficiência das usinas fotovoltaicas, tendo em vista que tais equipamentos irão rastrear a luz do sol ao longo do dia, a fim de maximizar a captação solar dos módulos, promovendo uma melhor geração de energia elétrica oriunda aos painéis fotovoltaicos.

Segundo [3], o sistema de rastreamento solar tem a capacidade de proporcionar um aumento na geração de energia fotovoltaica, de cerca de 37,53%, quando em comparação com o sistema fixo. Tal aumento é oriundo do maior tempo de exposição dos módulos fotovoltaicos à radiação proveniente do sol. Segundo [4], uma usina fotovoltaica com rastreamento solar 30% mais eficiente quando comparada com um sistema fixo, seria semelhante a uma usina 30% maior, isto é, com 30% mais painéis FV. Uma forma de disseminar tal tecnologia, é por intermédio de protótipos, que por meio de aplicações didáticas, expõem tal eficácia do sistema de rastreamento solar.

Diante o exposto, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver um protótipo de sistema de rastreamento solar para aplicações didáticas em ambientes escolares, utilizando de um microcontrolador e um sistema eletromecânico, visando a promoção de maior desempenho, a fim de introduzir o conceito de energias renováveis na educação, e promover a difusão da tecnologia.

2. RASTREAMENTO SOLAR FOTOVOLTAICO

Conforme [4], o sistema de rastreamento solar FV trata-se de uma tecnologia capaz de prover um aumento na geração de energia produzida pelos módulos fotovoltaicos, pois proporciona a movimentação do módulo em direção ao sol no decorrer do dia, o que acarreta um maior período de exposição do módulo FV à luz do sol. Primordialmente, esta tecnologia era utilizada para sistemas de energia solar térmica, justamente devido à maior exposição à luz do sol durante o dia [5].

Ainda segundo [4], é apropriado afirmar que sistemas que utilizam do rastreamento solar, geram cerca de 25 a 45% mais energia quando comparados com sistemas fixos. Destaca-se que, devido o rastreamento solar, não

somente a produção de energia aumenta, mas também melhora a forma como a potência do módulo é entregue, por prover uma tensão mais constante ao longo do dia.

Quanto ao controle de posicionamento, segundo [4], este pode ser realizado por dispositivos de feedback *encoders* ópticos, sensores Hall ou tecnologias similares, que são extremamente confiáveis e com precisão absoluta, porém vinculados a um elevado custo benefício. Outra tecnologia de feedback aplicada aos rastreadores solares, funcional, simples e mais barata, é o monitoramento de queda de tensão, o que acarreta um melhor custo benefício.

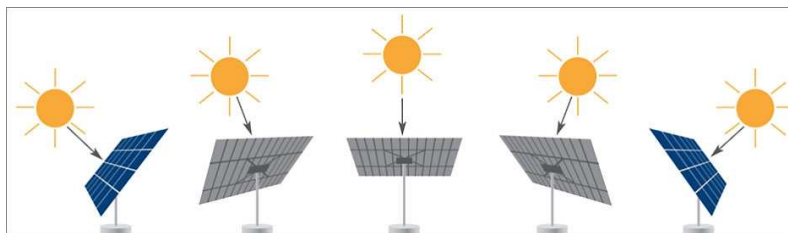


Figura 1. Movimentação do módulo FV rastreando o Sol [4].

2.1. Tipos de rastreadores solares FV

Há dois principais tipos de seguidor solar, que são mais comumente utilizados segundo a literatura consultada:

- **Seguidor solar de eixo único:** Para o tipo horizontal, seu eixo posicionado na direção Norte-Sul, para que o painel fotovoltaico possa ser direcionado para a direção Leste-Oeste [4, 6], como pode ser visto na Figura 2.

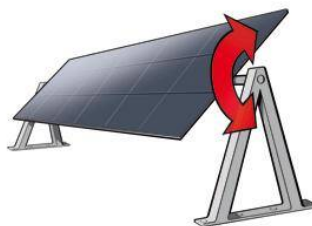


Figura 2. Rastreador do tipo eixo único horizontal [6].

Para o tipo polar, sua angulação é fixada, sendo geralmente correspondente à latitude do local, na direção Norte-Sul, para que o painel fotovoltaico possa ser direcionado para a direção Leste-Oeste [4, 6], como pode ser visto na Figura 3. É um tipo de rastreador mais presente em locais com latitude maiores.



Figura 3. Rastreador do tipo eixo único polar [6].

- **Seguidor de eixo duplo:** Possui um eixo horizontal, que irá se movimentar na direção Leste-Oeste, e um eixo vertical que irá se movimentar no sentido Norte-Sul, para que o painel fotovoltaico possa sempre gerar o máximo de energia possível, independente das variações da posição do sol causadas pelas estações do ano. Trata-se do tipo de seguidor mais comum, utilizado majoritariamente nos parques solares e em instalações de grandes dimensões [4, 6]. O funcionamento do seguidor pode ser visualizado na Figura 4.



Figura 4. Rastreador do tipo eixo duplo [6].

2.2. Rastreamento solar FV no Brasil

Apesar de ser uma tecnologia capaz de prover uma geração de energia superior em relação ao sistema fixo, os rastreadores ainda não são muito evidentes no âmbito nacional, tendo em vista se tratar de uma instalação que possui maior custo, e necessitar de manutenções periódicas mais frequentes. Entretanto, como foi evidenciado por [7], que forneceu informações sobre o “Global Solar PV Tracker Market Share 2021”, publicado pela consultoria britânica Wood Mackenzie, o segmento de usinas com rastreamento solar no Brasil, teve um aumento de 1,9 GW em 2019, para 2,8GW em 2020, isto é, um aumento expressivo de 40% no período de um ano.

É possível encontrar usinas fotovoltaicas com tal tecnologia em pleno funcionamento na região em que o protótipo será construído e aplicado em fins didáticos. Um exemplo próximo é o conjunto Floresta I, II e III, localizado no município de Areia Branca, Rio Grande do Norte, mostrado na Figura 5.



Figura 5. Conjunto Fotovoltaico Floresta I, II e III [9].

De acordo com [8, 9, 10], o complexo mostrado na Figura 5, conta com 86 MW de capacidade instalada, sendo 32 MW para a Floresta I, 32 MW para a Floresta II e 22 MW para a Floresta III. O complexo utiliza módulos fotovoltaicos BYD, inversores GE e trackers de um eixo da Soltec. A área total da planta cobre a extensão de 318 hectares, com 317.160 módulos.

Também pode ser citado, o Parque Solar Nova Olinda, localizado no município de Ribeira do Piauí, apresentado na Figura 6, que de acordo com [11], é formado por mais de 930 mil painéis FV, distribuídos em uma área de 690 hectares, com capacidade instalada de 292 MW.



Figura 6. Parque Solar Nova Olinda [11].

2.3. Sistema de rastreamento solar FV desenvolvido para fins didáticos

Como abordado na seção 2.1, há 3 tipos principais de rastreadores solares, sendo estes de eixo único horizontal, eixo único polar e eixo duplo. Um exemplo de rastreador solar do tipo eixo único horizontal desenvolvido para fins didáticos, seria o desenvolvido por [12], que projetou e desenvolveu um protótipo, validando-o com uma aplicação de questionário em ambiente escolar. Seu protótipo pode ser visualizado na Figura 7. O Protótipo desenvolvido por [12] independe da localização geográfica, e do horário do dia, tendo em vista que pode se regular na direção horizontal para garantir a captação máxima de energia proveniente do sol.



Figura 7. Rastreador do tipo eixo único horizontal desenvolvido por Bessa Neto [12].

Já no âmbito do rastreamento solar de eixo duplo, o trabalho desenvolvido por [13], projetou e desenvolveu um protótipo, mostrado na Figura 8, que utiliza de dois motores de baixa rotação e elevado torque, para conseguir movimentar toda a estrutura sem maiores problemas. O protótipo desenvolvido no trabalho de [13] move 120° na horizontal, e 60° na direção vertical, garantido a captação máxima de energia proveniente do sol.



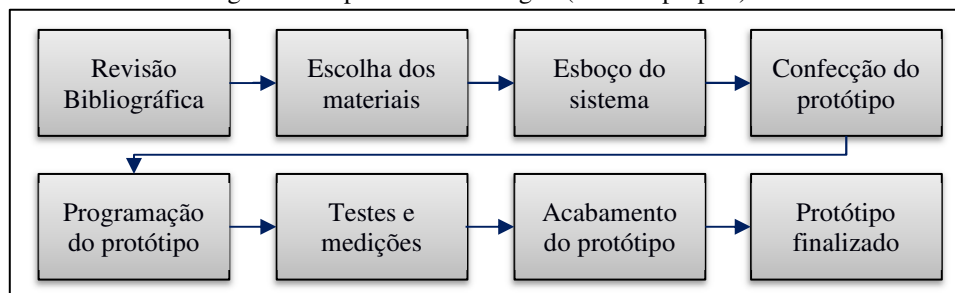
Figura 8. Rastreador do tipo eixo duplo desenvolvido por Renostro [13].

O rastreador desenvolvido por [13], por ser capaz de rastrear o sol na vertical e na horizontal, diferentemente do protótipo desenvolvido por [12], conta com uma programação mais refinada, como uma inteligência artificial para tratar dados imprecisos, e a utilização de 4 LDR's, sendo dois pares, um par para a lógica do movimento de cada direção.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Finalizada a abordagem teórica e preliminar, nesta seção 3 serão mostradas todas as etapas para desenvolvimento do protótipo, como mostra a Figura 9.

Figura 9. Etapas da metodologia. (Autoria própria)



3.1. Descrição das etapas e local de aplicação

A construção do protótipo foi realizada na cidade de Mossoró - RN, especificamente na Universidade Federal Rural do Semi-Árido, sede Mossoró/RN. De acordo com [14], as coordenadas geográficas da universidade são: latitude: 5° 12' 48" S; longitude: 37° 18' 44" W e altitude: 37 m acima do nível do mar. Já para o município, suas coordenadas são: longitude 37° 20' 39" Oeste, latitude 5° 11' 15" Sul e altitude de 16 metros acima do nível do mar. Além disto, o local possui clima do tipo quente e semiárido com temperaturas médias anuais de máxima 36,0 °C, média 27,4 °C e mínima 21,0 °C, e umidade relativa média anual de 70% e 2.700 horas de insolação anual, que pode representar uma condição propícia para a instalação de sistemas fotovoltaicos com rastreamento solar [15]. Ainda segundo [14], os meses mais chuvosos no município são fevereiro, março e abril, enquanto os mais secos são setembro, outubro e novembro.

Para a localização escolhida, como pode ser visto em [16], o sistema de rastreamento solar demonstrou-se mais eficiente que o sistema fixo, atingindo um valor de aumento médio de rendimento de 11%, e um valor de aumento máximo de rendimento de 20%. Tais valores não representam o máximo potencial do sistema, divergindo do valor de 37,53% presente na literatura de [3], tendo em vista as condições climáticas do período de análise realizado por [16], que apresentou dias nublados e dias com nuvens esparsas.

É de suma importância ressaltar que apenas do protótipo ser confeccionado na localização citada, o mesmo não é restrito ao local, pois é de fácil transporte, e pode ser testado em qualquer localização.

3.2. Definição e descrição dos materiais e desenvolvimento do protótipo

Seguindo o raciocínio dos demais trabalhos à cerca do tema, pode-se determinar que o protótipo a ser desenvolvido no presente trabalho, trata-se de um rastreador solar do tipo eixo único horizontal, devido à localização geográfica do local de aplicação, que possui aproximadamente 5° em relação à linha do Equador, não se fazendo necessário o rastreamento de eixo duplo.

Pode-se também elencar os materiais para fabricação, que consistem em: um microcontrolador, dois resistores, dois LDR's, cabos *jumper's*, um servo motor, materiais para a estrutura e, duas células fotovoltaicas.

3.2.1. Microcontrolador

Baseado no microcontrolador ATmega2560 que possui 256 KB, o Arduino® Mega possui 54 pinos de entradas e saídas digitais, pelo qual 15 destes podem ser utilizados como saídas PWM (Pulse-width modulation). Ademais, o mesmo apresenta 16 entradas analógicas e 4 portas de comunicação. Não obstante, a alimentação da placa pode ser feita através de um adaptador AC-DC, ou ainda pela entrada USB, permitindo, dessa forma, a comunicação serial com computador.

É válido frisar que poderia ser utilizado qualquer outra plataforma Arduino® para a automação e controle do sistema de rastreamento solar sugerido neste estudo, como por exemplo, o Uno, Nano ou Micro, bem como outros microcontroladores encontrados comercialmente, como o Raspberry Pi, ou o ESP-32 que é mais compacto que o Arduino® Mega, além de possuir a conectividade *Wi-Fi*.

3.2.2. Resistores e LDR's

Neste projeto foram utilizados dois resistores de 10 kΩ. Apesar de geralmente possuir a principal função de limitar a corrente, nesta aplicação o resistor possui a função de dividir a tensão com o LDR's, quando os dois forem associados em série, fazendo com que tensão se divida proporcionalmente à resistência dos dois componentes. De acordo com [17], é importante ressaltar que o LDR funciona de acordo com a luz que incide sobre ele, em que quanto mais intensa a luz, menor será sua resistência, e quanto mais escuro, maior será sua resistência. Tendo isto em mente, quando o módulo FV precisar de mover, isto é, a luz está incidindo mais em um lado do que de outro, o LDR posicionado no lado com maior intensidade, terá um sinal de tensão maior do que o outro LDR, pois como a resistência do lado "escuro" é muito maior, a corrente que passa por ele também será muito menor. Por meio da lógica de programação, a estrutura irá se mover para que ambos estejam com a mesma incidência luminosa, e com isto, as células estejam em seu máximo de sua produção de energia.

3.2.3. Servo motor

No protótipo abordado neste artigo, foi selecionado o servo motor modelo MG996R, que possui um torque superior de 0,9218251 Nm [Newton-metro] quando alimentado com 4,8V, que é basicamente a alimentação fornecida pelo Arduino® Mega. Pesa apenas 55g, e possui a capacidade de rotacionar 120° com este elevado torque, sendo 60° para cada direção [18].

3.2.4. Células fotovoltaicas

Foram selecionadas duas células fotovoltaicas, feitas de silício policristalino, que acompanham os cabos do tipo jacaré, para fixação na carga de alimentação. As características das células selecionadas foram: 12V de tensão nominal, 5W de potência nominal, dimensões de 13,6 cm de comprimento e 10 cm de largura. Não foram encontradas informações de corrente de curto-circuito e tensão de circuito aberto.

3.2.5. Construção do protótipo

Inicialmente, foi necessário construir a estrutura responsável por comportar as células fotovoltaicas, além dos LDR's e a acoplagem ao servo motor. Tendo isto em mente, foi encontrada em uma sucata, uma chapa de PVC, que por meio desta, foram confeccionadas as estruturas citadas acima, como pode ser visto nas Figuras 10 e 11. Após a confecção das estruturas, o acoplamento do servomotor foi fixado à estrutura com cola adesiva instantânea.

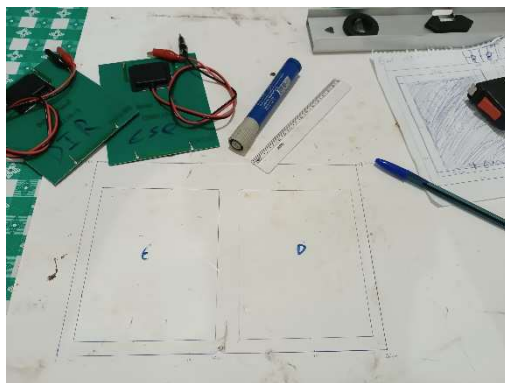


Figura 10. Chapa de PVC com demarcações para recorte. (Autoria própria)



Figura 11. Estrutura das células, motor e LDR's montada. (Autoria própria)

Concluída a etapa de confecção da estrutura primária, foi necessário realizar a confecção da estrutura de fixação do servo motor, bem como a base que comportaria toda a estrutura. Tendo conhecimento de tais finalidades, foi decidido utilizar um pedaço de madeira para a fixação do motor, e uma pequena placa de MDF para a base, como podem ser vistos na Figura 12, pois eram materiais de fácil reposição além de serem reutilizados. Foi necessário cortar um pedaço da madeira, para que o servomotor fosse fixado de forma adequada, além de colocar parafusos na base, para prender a madeira à base de forma segura, e de maneira que pudesse ser posteriormente desmontado, para ocasiões de transporte do protótipo.

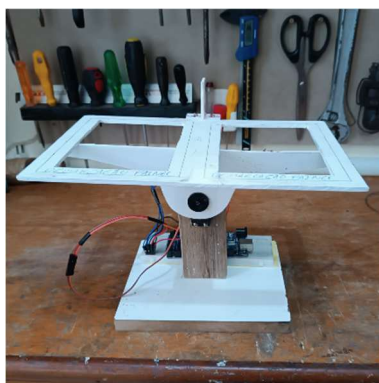


Figura 12. Estrutura montada pré-pintura. (Autoria própria)

Em seguida, toda a estrutura que comporta as células fotovoltaicas e os LDR's foram pintados de preto fosco, mostrado na Figura 13, para evitar a reflexão indesejada da luz sobre os LDR's, que poderia resultar em uma imprecisão no funcionamento dos mesmos, tendo em vista que estes funcionam a depender da iluminação. É válido salientar que para a base, apenas a lateral foi pintada de preto, preservando-se a face branca isolando-a com uma fita para que a mesma não fosse pintada.



Figura 13. Estrutura das células e base do protótipo pintadas. (Autoria própria)

Finalizada esta etapa, foram colocados tubos de plástico termo retrátil, que quando aquecido sofre uma dilatação e se contrai. Possuem a finalidade de proteger os contatos dos LDR's e as soldas feitas, para evitar mal contato entre os fios, ou curtos-circuitos, que afetariam no funcionamento do protótipo. Após devida fixação dos componentes, e montagem, o protótipo se encontrou finalizado, como fica evidente na Figura 14, em que há demarcações que valem ser ressaltadas: o 1 ressalta onde estão os LDR's; o 2, onde ficam as células fotovoltaicas; o 3, o servomotor MG996R; o 4 evidencia o Arduino® Mega; o 5 ressalta os cabos jumpers utilizados para levar tensão e aterramento, além de captar as leituras dos divisores de tensão; o 6 ressalta as saídas das células fotovoltaicas, que serão utilizadas para alimentar a carga desejada.

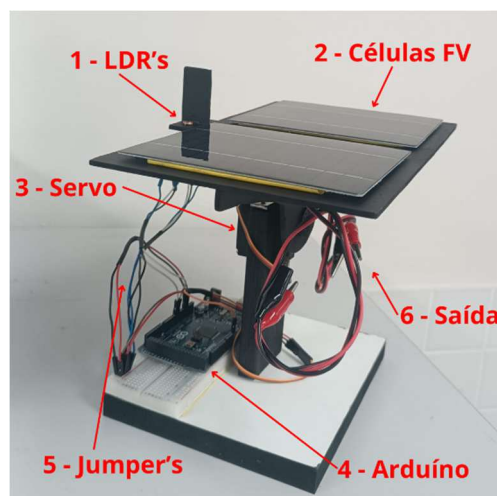


Figura 14. Protótipo completamente finalizado. (Autoria própria)

Vale mencionar que o protótipo foi construído de tal maneira que não se faz necessário pré-determinar horário, localização geográfica, ou fatores climáticos, sendo apenas necessário deixá-lo posicionado de modo que o módulo FV rotacione na direção do Leste para o Oeste. Além disso, como pode ser observado por intermédio da Tabela 1, o protótipo mostrou-se de viável aplicação, como ferramenta de ensino de energias renováveis, pois todos os componentes utilizados na confecção do mesmo, que são de fácil aquisição comercial, e como será abordado na seção 3.3.2, são de fácil programação, facilitando as demonstrações didáticas.

Tabela 1. Custo de confecção do protótipo. (Autoria Própria)

Componente	Quantidade	Valor Un. (R\$)
Arduino® Mega	1	169,90*
Servomotor MG996R	1	27,52
LDR	2	3,90*
Resistor	2	0,07*
Célula fotovoltaica	2	39,23

Cabo Jumper	9	0,35*
Protoboard	1	11,90*
Tinta Preta	1	21,90
Total	#	320,77

*Nota: Valores seguidos de * representam que o componente foi emprestado pela universidade.*

Referente a Tabela 1, é válido salientar que os valores dos componentes eletrônicos foram retirados de [19], e das células fotovoltaicas foram retirados de [20]. A tinta preta foi adquirida presencialmente no comércio local do município de aplicação do protótipo.

3.3. Circuito e Programação

3.3.1. Circuito

O circuito consiste em um divisor de tensão (vide Figura 15), em que 5V chegam ao LDR por meio do Arduino®, e irá se dividir com o resistor de 10000 Ohm's, sendo que a tensão sobre o resistor será lida pelo Arduino® por meio da porta analógica, retornando um valor de 10 bits, isto é, um valor entre 0 e 1023, em que 0 seria a tensão de 0V, e 1023 seria a tensão de 5V. Vale destacar que o circuito contém dois LDR's e com isto, dois divisores de tensão.

De acordo com a leitura captada pelo microcontrolador, por meio da lógica de programação abordada na seção 3.2.2, um comando será enviado por meio da porta de sinal do servo motor, para que este rotacione seu eixo em uma determinada direção, que proporcione igual incidência de luz sobre os dois LDR's, e consequentemente sobre as células fotovoltaicas.

Devido limitações da plataforma TinkerCad, há um Arduino® Uno na Figura 15, porém foi utilizado o Arduino® Mega no protótipo, a principal diferença é que o Mega possui mais entradas analógicas e digitais, além de que o servo motor presente na Figura 15 não é o mesmo utilizado no protótipo, apesar de possuir as mesmas conexões de VCC, GND e sinal, tendo sido utilizado apenas para representação.

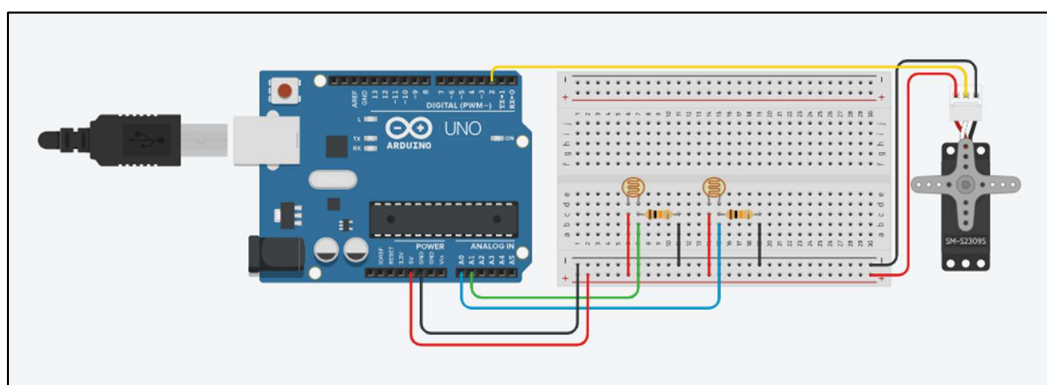


Figura 15. Circuito do rastreador solar montado no TinkerCad. (Autoria própria)

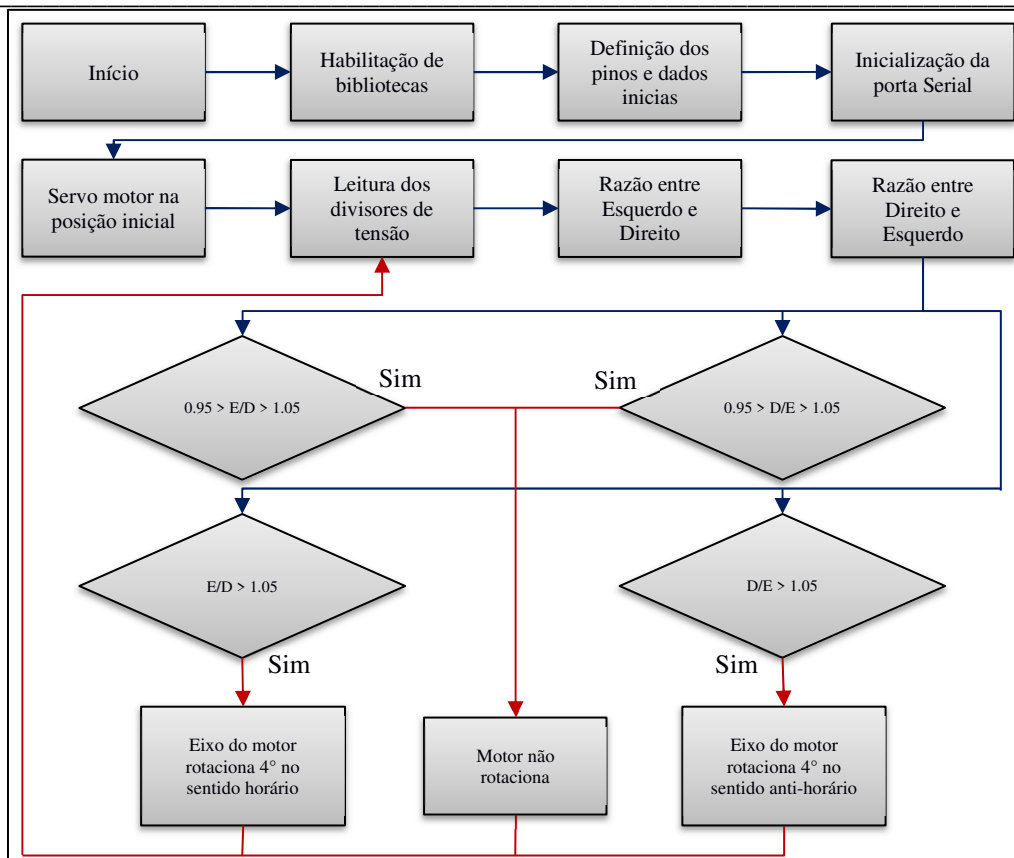
3.3.2. Programação

Para a programação, foi necessário criar uma lógica de automação, para quando o microcontrolador detectar mais iluminação em um lado do que de outro, o servo motor se mover para o lado mais iluminado. Como já foi mencionado anteriormente, o LDR funciona por intermédio da iluminação sobre ele, em que quanto mais iluminado, menor será sua resistência [17]. No divisor de tensão, quanto maior for a resistência do LDR, menor será a tensão sobre e consequentemente, menor será o valor analógico lido pelo Arduino®.

Neste sentido, o Arduino® irá realizar duas razões, sendo estas: valor do LDR esquerdo dividido pelo valor do LDR direito, representado no fluxograma mais abaixo como E/D; valor do LDR direito dividido pelo valor do LDR esquerdo, representado no fluxograma mais abaixo como D/E. Por intermédio destas razões, e com uma tolerância de 10%, sendo de 5% para cada lado da razão, isto é, se o valor de qualquer uma das duas razões estiver entre 0,95 e 1,95, o eixo do motor não deve se mover e consequentemente, as células não irão rotacionar, pois as células estão funcionando em sua máxima geração de energia.

Entretanto, ao se detectar qualquer uma das razões com valor superior à 1,05, o eixo do motor deve se mover na direção do LDR que apresentou maior valor de leitura analógica. Esta lógica pode ser melhor vista por intermédio da Figura 16.

Figura 16. Fluxograma da lógica de programação do rastreador solar. (Autoria própria)



3.4. Testes e medições de tensão e corrente

Com o auxílio de um multímetro digital, foram realizadas medições de tensão e corrente, e por intermédio de um piranômetro, foi possível obter as informações da irradiância solar, em W/m^2 . É válido apontar que as duas células foram associadas em paralelo, para que a tensão fornecida pelas duas permaneça igual, enquanto as correntes fornecidas pelas mesmas fossem somadas, fornecendo, deste modo, o dobro de corrente em comparação com somente uma única célula fotovoltaica, ou duas células associadas em série, além de que foi utilizado um resistor de potência, sendo este de 5 W e $0,01 \Omega$ (Ohm) para servir como carga de testes, como pode ser visto na Figura 17. Sabendo-se que a potência pode ser dada pelo produto da tensão pela corrente, e que a tensão fornecida por uma célula é 12 V, e a potência é de 5 W, espera-se uma corrente de 416,67 mA.

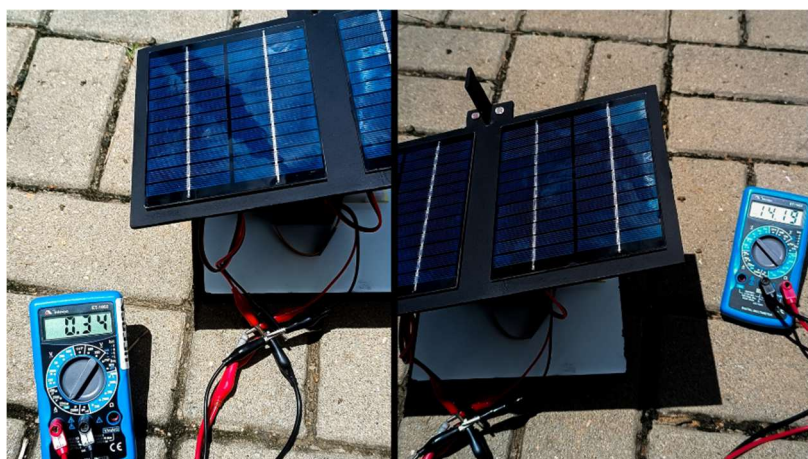


Figura 17. Testes e medições de tensão e corrente realizadas. (Autoria própria)

Os valores obtidos no teste são mostrados na Tabela 2, e é necessário ressaltar que os testes foram realizados na Universidade Federal Rural do Semi-Árido, por volta das 11h:15min, ou seja, próximo ao horário de pico para a produção de energia solar fotovoltaica.

Tabela 2. Valores máximos obtidos pelo protótipo durante horário de pico. (Autoria Própria)

-
2010. In: XVII CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2011, Centro de Turismo de Guarapari. Anais [...]. SESC Centro de Turismo de Guarapari, Guarapari - ES: SESC, 2011. Disponível em: < <http://www.sbagro.org/files/biblioteca/3624.pdf>>. Acesso em: 07 de março de 2024
- [15] IDEMA-RN. Perfil do seu Município - Mossoró. Natal, Rio Grande do Norte, 2008. Disponível em: <http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/idema/DOC/DOC000000000013950.PDF>. Acesso em: 05 de março de 2024.
- [16] VIEIRA, Romênia Gurgel. Análise comparativa do desempenho entre um painel solar estático e com rastreamento no município de Mossoró-RN. 2014. Disponível em: < <https://repositorio.ufersa.edu.br/items/7a7f368e-f80e-493a-95c6-13fd20796ca0>>. Acesso em 23 de fevereiro de 2024.
- [17] MENDES JÚNIOR, J. J. A.; STEVAN JÚNIOR, S. L. LDR e Sensores de Luz Ambiente: Funcionamento e Aplicações. 2013. 8p. Semana de Eletrônica e Automação. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Ponta Grossa, Paraná.
- [18] ALL DATA SHEETS, Electronic Components Datasheet Search. Disponível em: < <https://www.alldatasheet.com/> >. Acesso em: 06 de março de 2024.
- [19] AVATTUS COMERCIO DE COMPONENTES ELETRONICOS LTDA. Smart Kits. Disponível em: < <https://www.smartkits.com.br/>>. Acesso em: 05 de março de 2024.
- [20] ALIEXPRESS, As melhores escolhas pelos melhores preços. Disponível em: <https://best.aliexpress.com/?spm=a2g0o.best.logo.1.59a322aeRd84e6&gatewayAdapt=glo2bra&browser_redirect=true>. Acesso em: 05 de março de 2024.