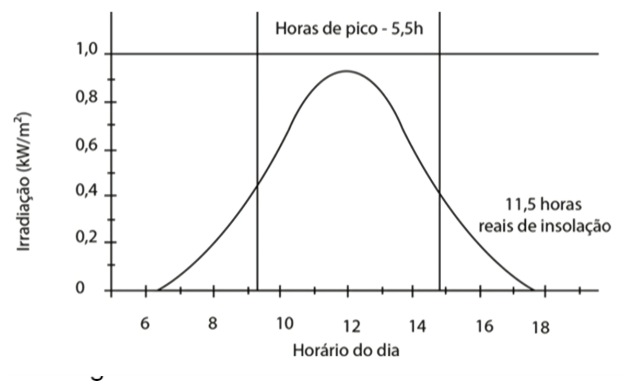


Projeto Aumento de Produção de Energia Solar

Rodrigo Penedo de Andrade

Introdução:

As fontes renováveis de energia estão em ascensão no mundo inteiro devido a grande quantidade de gás carbônico que está sendo produzida no mundo. As fontes renováveis se mostraram boas oportunidades já que não produzem grandes quantidades de gás carbônico. Porém, entre todas essas fontes de energia renováveis uma surgiu como uma grande promessa, as placas solares e a energia fotovoltaica. As placas solares dão acesso a qualquer cidadão de fazer sua usina de energia em casa, e com o avanço na tecnologia seu preço caiu consideravelmente nos últimos anos o que a coloca como uma possibilidade de investimento pessoal, já que o comprador rapidamente consegue recuperar o que pagou no sistema e também zerar a conta mensal de energia, além de ser um investimento para a saúde do planeta Terra. Ao mesmo tempo em que seu preço caiu, a eficiência das placas solares subiu chegando hoje no patamar de 30%, o que significa que tal fonte de energia já pode ser levada a sério como um possível grande produtor de energia. Porém a produção de energia das placas varia muito ao longo do dia, isso acontece porque somente ao meio dia os raios solares estão praticamente perpendiculares com uma placa que está nivelada a 180 graus (deitada). Portanto, a produção de energia possui seu pico ao meio dia e enfraquece constantemente até o pôr do sol, ou vice e versa se começarmos do nascer do sol, Figura 1.



Hipótese e objetivo:

Uma estrutura que possa deixar as placas solares em um ângulo perpendicular ao dos raios de luz solares será capaz de aumentar a eficiência das placas solares, portanto gerando mais energia durante o dia, Figura 2. O objetivo será construir uma estrutura com um eixo que possa rotacionar as placas de leste a oeste, acompanhando o movimento principal do Sol. O eixo será posicionado no sentido norte-sul e permanecerá fixo.

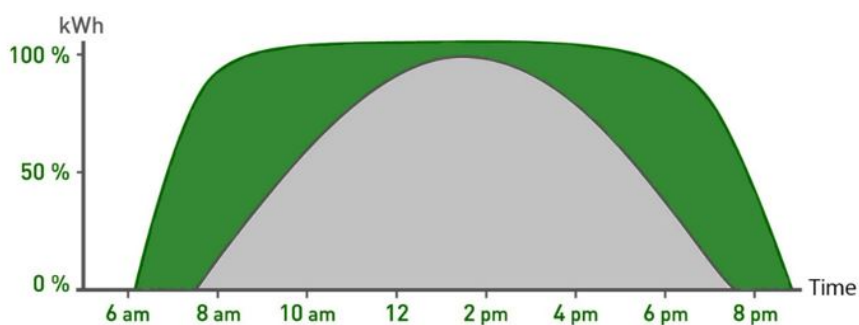


Figura 2

Materiais, métodos e procedimentos:

- Atuador linear elétrico 1500 N; 500 mm x2 (Figura 3)
- Arduino Uno
- Fonte 12 volts
- Modulo relé
- Fotoresistor x2
- Resistor 10k x2
- Suportes de metal em L
- Caixa hermética
- Caixa dos sensores personalizada impressa em 3D (Figura 4)
- Motor servo
- multímetro x2
- placa solar 10W
- multímetro x2
- placa solar 400W x6
- estrutura de aço personalizada (Figuras 5 e 6)



Figura 3

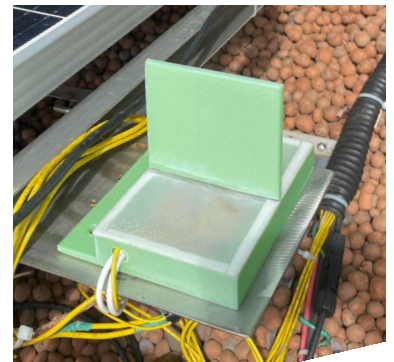


Figura 4

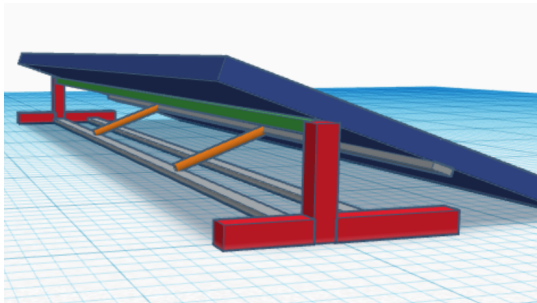


Figura 5



Figura 6

Construção do protótipo:

Para a construção do protótipo foram utilizados dois suportes de metal em L, em um deles foi anexado com fita dupla face o motor servo responsável por fazer a rotação da placa. A placa foi posicionada entre os dois suportes e conectada ao motor servo. A montagem dos sensores foi feita de tal forma que cada um foi colado em cada ponta da placa, mas na sua frente foi anexado um pequeno papelão responsável por criar a sombra quando a placa não está perpendicular. A placa de arduino foi colada atrás da placa e ligada na tomada com uma fonte de 9 volts. O diagrama ao lado mostra como foram feitas as conexões da placa arduino para o protótipo, pode-se ver que cada fotoresistor é conectado a um fio positivo de 5 volts, a um resistor de 10K ohms ligados a fio negativo, e um outro fio que transmite um sinal elétrico para os pinos analógicos do arduino, que por sua vez transforma esse sinal em um valor de luminosidade para cada sensor. Já o motor servo é ligado em um fio positivo, um negativo, e um fio de sinal que permite controlar exatamente de quantos graus será a rotação do motor.



Figura 7

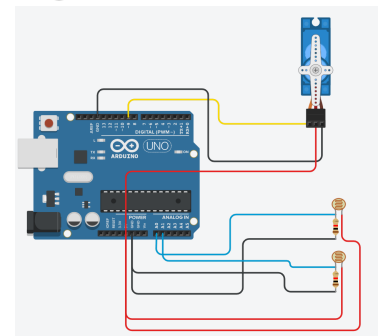


Figura 8

Programação do Arduino para o protótipo:

O algoritmo construído neste programa, Figura 9, funciona de tal forma que cada sensor é atribuído como uma variável. O valor atribuído a essa variável é o valor da leitura dos pinos analógicos conectados aos fotoresistores. Esses valores são guardados como R1 (valor sensor 1) e R2 (valor sensor 2), então o arduino calcula o valor absoluto da diferença entre R1 e R2. Se o valor absoluto desta diferença for menor do que o valor designado do erro, significa que a luz está igual nos dois sensores, porém se isso não for verdade, ou seja se a diferença for maior do que o erro, então o arduino irá comparar diretamente qual dos valores é maior, o R1 ou o R2. Se o valor de R1 for maior do que o de R2 então são acrescentados dois graus no valor da angulação do motor servo, se R2 for maior do que R1 então serão subtraídos dois graus do valor da angulação, e esse ciclo se repete infinitamente a cada 0,6 segundos.

Foi necessário atribuir um valor de erro no programa devido a oscilação que existe na leitura do fotoresistor. Se esse valor não for atribuído, e o R1 e R2 forem comparados sem levar em conta este número, a placa irá oscilar constantemente para os dois sentidos e gastará mais energia para se mover. Portanto o valor do erro não pode ser tão grande para deixar a placa imovel, mas não pode ser pequeno demais para causar movimentação demais.

```
1
2 #include <Servo.h> //including the library of servo motor
3 Servo sg90; //initializing a variable for servo named sg90
4 int pos = 90; //Declaring the initial position at 90
5 int LDR1 = A0; //Pin at which LDR is connected
6 int LDR2 = A1; //Pin at which LDR is connected
7 int error = 4; //initializing variable for error
8 int servopin=9;
9
10 void setup()
11 {
12     sg90.attach(servopin); // attaches the servo on pin 9
13     pinMode(LDR1, INPUT); //Making the LDR pin as input
14     pinMode(LDR2, INPUT);
15     sg90.write(pos); //Move servo at 90 degree
16     delay(1000); // giving a delay of 2 seconds
17 }
18
19 void loop()
20 {
21
22     int R1 = analogRead(LDR1); // reading value from LDR 1
23     int R2 = analogRead(LDR2); // reading value from LDR 2
24     int diff1= abs(R1 - R2); // Calculating the difference between the
25     int diff2= abs(R2 - R1);
26
27     if ((diff1 <= error) || (diff2 <= error)) {
28     }
29     else {
30         if(R1 > R2)
31         {
32             pos = ++pos;
33         }
34         if(R1 < R2)
35         {
36             pos = --pos;
37         }
38     }
39     if(pos > 178){pos = 178;}
40     if(pos < 12){pos = 2;}
41
42     sg90.write(pos); // write the position to servo
43
44     delay(600);
45 }
46 }
```

Figura 9

Método do experimento com prototipo:

- A placa foi posicionada às 8:30 da manhã, aproximadamente na hora que o sol apareceu (devido a montanha que bloqueava luz mais cedo).
- Os fios da placa foram ligados a uma bateria descarregada e foram usados dois multímetros: um para a leitura da voltagem da placa e outro para a leitura da corrente passando pelo circuito.
- A cada 15 minutos foi feita a medição da voltagem e corrente geradas pela placa solar.
- Cada medição foi feita com a placa em duas posições: com a placa deitada em 180 graus e com o sistema ligado, onde o ângulo era sempre perpendicular aos raios. Porém o ângulo horizontal não pode ser modificado durante o experimento, já que se trata de um sistema de somente movimentação em um eixo.
- Após recolher os dados do dia inteiro, podemos obter a potência da placa gerada em cada horário do dia multiplicando o valor da voltagem e o seu valor correspondente da corrente.

Construção do projeto final:

Para a construção do projeto final foi necessária a fabricação de uma estrutura de aço inoxidável, essa estrutura possui 0,6 metros de altura, 6,30 m de comprimento, e carrega 6 placas solares, o que corresponde a 136 Kg de carga. Esta estrutura diferentemente do protótipo é impulsionada por dois motores lineares cada um com 1500 Newtons de força. Neste sistema elétrico, ao invés de termos um motor servo ligado diretamente ao arduino, um módulo de dois relés é controlado pelo arduino, e nos relés estão conectados dois fios conectados a uma fonte de alimentação com 12 volts e 2,5 amperes. Os motores lineares estão conectados em paralelo aos dois relés de tal forma que se o arduino ativa um deles somente os motores giram em um sentido, quando o outro é ligado os motores giram no sentido oposto, porém se os dois permanecem ligados ou desligados os motores não se movem, Figura 10. O posicionamento e medidas da estrutura foram feitos cuidadosamente para que os motores fossem capazes de levantar toda a carga. A equação da força necessária para levantar as placas se resume a:

$$F \sin(\theta) = m \times g \times \frac{R}{r}$$

Onde F é a força necessária, θ é o ângulo entre o atuador e o chão, m é a massa no ponto de equilíbrio, g é a constante da aceleração da gravidade 9,81 m/s², R é a distância do ponto de equilíbrio para o eixo, e r é a distância da haste superior do motor para o eixo.

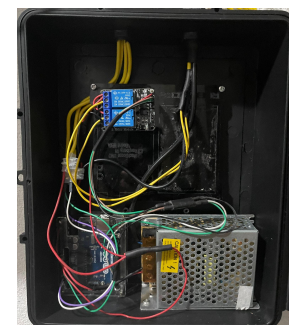
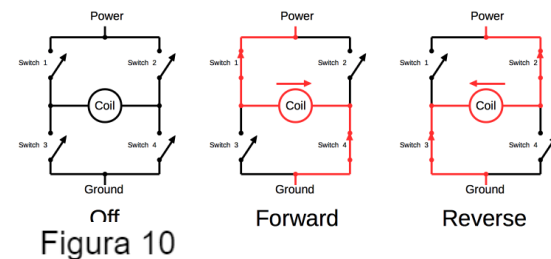


Figura 11



Figura 12

Para calcularmos a força máxima necessária precisamos usar o menor valor possível de θ , na posição inicial da placa, que corresponde a 30 graus, substituindo o resto dos valores teremos:

$$F \sin(30) = 102 \times 9,81 \times \frac{0,75}{0.697}$$

$$F = 1076,7 \div 0,5$$

$$F = 2153,4 \text{ N}$$

Como a força combinada dos dois motores é 3000N podemos afirmar que eles serão capazes de levantar a estrutura com as placas.



Figura 13

Programação do projeto final:

O algoritmo usado para a programação do projeto final possui a mesma ideia do programa protótipo, porém agora dois fatos novos tiveram de ser levados em consideração: O primeiro é o fato de que o motor servo foi substituído pelo conjunto de motores e o módulo relé o que significa que a função para aumentar ou diminuir o ângulo teve que ser trocada por uma função que aciona ou não cada relé. O segundo fato a ser levado em consideração é que quando o Sol se pôr a placa vai estar em uma angulação próxima a 75 graus, significando que se ela não se reposicionar para o menor ângulo possível os sensores não serão capazes de fazer a leitura da luz já que estarão virados para o outro lado. Portanto a placa foi programada para que quando a luminosidade seja muito baixa, ou seja quando está de noite, ligar os motores por 2 minutos e voltar à posição inicial, depois disso essa função só será repetida na noite seguinte.

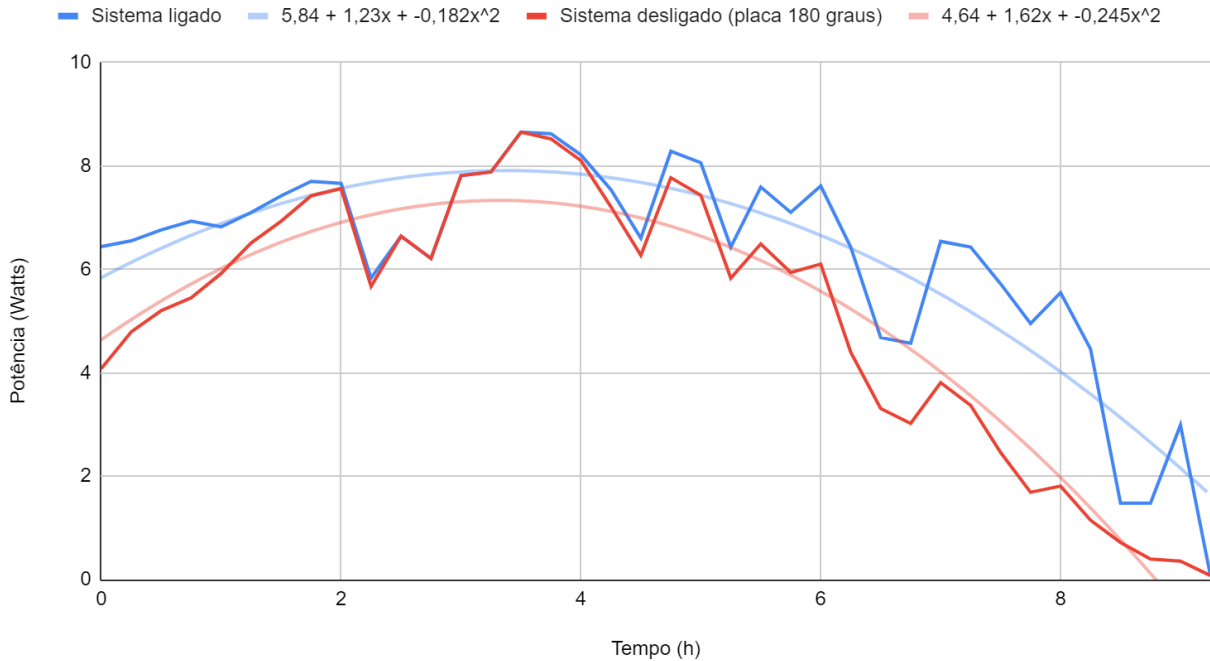
Resultados e discussão:

Dados Brutos:

Tempo	Potencia sistema ligado	Potencia sistema desligado
0,00	6,44	4,08
0,25	6,55	4,79
0,50	6,76	5,20
0,75	6,93	5,45
1,00	6,82	5,92
1,25	7,10	6,51
1,50	7,42	6,93
1,75	7,70	7,42
2,00	7,66	7,56
2,25	5,83	5,67
2,50	6,64	6,64
2,75	6,21	6,21
3,00	7,81	7,81
3,25	7,88	7,88
3,50	8,65	8,65
3,75	8,62	8,52
4,00	8,21	8,10
4,25	7,54	7,21
4,50	6,60	6,27
4,75	8,28	7,77
5,00	8,06	7,43
5,25	6,43	5,83
5,50	7,59	6,49
5,75	7,10	5,94
6,00	7,61	6,10
6,25	6,43	4,40
6,50	4,68	3,31
6,75	4,57	3,02
7,00	6,54	3,81
7,25	6,43	3,37
7,50	5,72	2,46
7,75	4,95	1,69
8,00	5,55	1,81
8,25	4,46	1,15
8,50	1,48	0,72
8,75	1,48	0,40
9,00	2,99	0,36
9,25	0,08	0,08

Dados processados:

Potência vs Tempo



Para termos uma quantidade de quantos Wh foram gerados pelo protótipo em cada um dos seus modos (sistema ligado e desligado) podemos usar a função integral para cada uma das linhas de tendência mostradas no gráfico. Assim teremos para o sistema ligado (linha azul):

$$\int_0^{9,25} (-0,182x^2 + 1,23x + 5,84) dx$$
$$\left[\frac{-0,182(9,25)^3}{3} + \frac{1,23(9,25)^2}{2} + 5,84(9,25) \right]$$
$$58,63 Wh$$

Para o sistema desligado (linha vermelha) temos:

$$\int_0^{9,25} (-0,245x^2 + 1,62x + 4,64) dx$$
$$\left[\frac{-0,245(9,25)^3}{3} + \frac{1,62(9,25)^2}{2} + 4,64(9,25) \right]$$

$$47,59 \text{ Wh}$$

Dados estes dois valores podemos calcular qual foi o aumento de energia produzida durante um dia com a utilização do sistema de posicionamento da placa solar:

$$58,63 - 47,59 = 11,04 \text{ Wh}$$

$$\frac{11,04}{47,59} \times 100 = 23,2 \%$$

Colocando em contexto para o projeto final, somente em 6 das 44 placas no teto da casa foi incorporado o sistema de acompanhamento sol, o que significa que esse aumento em eficiência calculado com o protótipo será reduzido quando se leva em conta todo o sistema. Esse aumento em eficiência pode ser calculado da seguinte forma:

$$23,2 \times \frac{6}{44} = 3,2 \%$$

O gasto de energia necessário para movimentar todo esse sistema pode ser calculado da seguinte forma. Cada motor possui uma potência de 30W totalizando 60W para toda a estrutura baseado na medição os motores ficam ligados um total de 5 minutos por dia, ou 0,083 horas, o que soma um total de 5Wh de gasto por dia para levantar e abaixar as placas. Em um dia ensolarado, o que significa que as placas vão se mexer, o sistema todo produz 95.000 Wh em média, baseado na conta de que a produção de energia de todas as 44 placas aumenta em 3,2%, o ganho de energia é de 3040 Wh. Assim o saldo de energia produzida é de 3035 Wh.

Essas contas foram baseadas em um dia onde teve pontos com grande irradiação solar, mas também intervalos onde nuvens cobriram o céu, esses intervalados podem ser vistos no gráfico e são representados pelos pontos onde a linha azul e vermelha coincidem, com exceção do horário de meio dia, onde a posição da placa com o sistema de acompanhamento ligado e desligado é a mesma. Isso significa que este aumento calculado pode ser tanto maior em dias com grande insolação, mas também poderá ser bem menor em dias com muitas nuvens.

Conclusão:

Portanto, as placas solares são meios incríveis de se produzir energia, porém grande parte de seu potencial é desperdiçado durante uma enorme parte do dia. Sendo capaz de colocar a placa solar na posição certa em relação ao Sol, nós temos a chance de maximizar a sua produção e os seus lucros. Esta é uma solução simples e relativamente barata que pode ajudar usinas solares a aumentar sua produção, mas também pode ajudar alguém que possui um espaço limitado a maximizar a sua produção. Está tecnologia gasta uma quantidade energia muito pequena em relação ao que gera a mais, e se for feita em escala pode ter um preço baixo, já que não a nenhuma peça difícil de ser manufaturada, é um custo, assim como o da placa solar, que seria recuperado apenas um tempo de uso do equipamento.

Referências:

- <https://www.electronicclinic.com/relay-h-bridge-driver-circuit-simulation-and-arduino-programming/>
- <https://engineering.stackexchange.com/questions/35910/how-would-you-go-about-calculating-the-force-required-for-an-actuator-to-lift-a>
- <https://arduinogetstarted.com/tutorials/arduino-servo-motor>
- <https://pt.symbolab.com/>
- <https://www.tinkercad.com/>
- <https://www.electronicsonline.com/pin/39938/>
- <https://www.thecalculator.co/math/Law-of-Cosines-Calculator-757.html>
- <https://www.google.com/sheets/about/>