

**CENTRO PAULA SOUZA
ETEC PHILADELPHO GOUVÊA NETTO
Técnico em Automação Industrial**

Vitor Linhaes Da Silveira

TRACKER SOLAR

**São José Do Rio Preto
2021**

Vitor Linhaes Da Silveira

TRACKER SOLAR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Técnico em Automação Industrial da Etec Philadelpho Gouvêa Netto, orientado pelo Prof. Mario Kenji Tamura, como requisito parcial para obtenção do título de técnico em Automação Industrial.

**São José Do Rio Preto
2021**

Agradecimentos:

Agradecemos primeiramente a Deus, ao professor por retransmitir todo conhecimento e ao auxílio dos colegas de classe.

RESUMO

Partindo do princípio do aproveitamento de fontes renováveis de energia, dentre elas a energia fotovoltaica, esbarramos numa lacuna: a eficiência energética dos sistemas de energia solar, esse tópico trata da quantidade de luz solar que o painel fotovoltaico consegue converter em energia elétrica. Através de levantamentos, identificamos que cerca de 90% dos painéis solares produzidos, atingem uma eficiência que oscila entre 17% e 19%, sendo que apenas 10% dos painéis solares produzidos atingem cerca 21% de rendimento. Com base nesses dados e analisando o sistema padrão de instalação que contempla uma direção e ângulo compatível com a maior iluminação solar durante o dia, percebemos que o máximo rendimento ocorre durante determinado período de incidência solar e não durante todo o dia, com base nisso, estudamos uma forma de aperfeiçoar o rendimento dos sistemas através do reposicionamento dos painéis solares onde um sistema automatizado através de sensores que supervisiona a incidência solar sobre a área em que o sistema está instalado. Desta forma, o sistema seria posicionado sempre que possível na direção ideal para mantermos o máximo possível de rendimento do sistema.

Palavras-chave: Automatizado. Rendimento. Reposicionamento.

ABSTRACT

Based on the principle of using renewable energy sources, including photovoltaic energy, we come across a gap: the efficiency of solar energy systems, this topic deals with the amount of sunlight that the photovoltaic panel can convert into electrical energy. Through surveys, we identified that about 90% of located solar panels reach an efficiency that varies between 17% and 19%, and only 10% of localized solar panels reach about 21% efficiency. Based on the data and analysis of the standard installation system that contemplates a direction and angle compatible with the greatest solar lighting during the day, we realize that the maximum efficiency occurs during a certain period of sunlight and not throughout the day, based on that , we studied a way to improve the performance of systems through the repositioning of solar panels where an automated system through sensors that supervises the solar over the area in which the system is installed. In this way, the system would be positioned wherever possible in the optimal direction to maintain as much system performance as possible.

Keywords: Automated. Performance. Repositioning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema simplificado mostrando a montagem para observar o sentido em que o sistema vai girar.....	12
Figura 2 - LDR (Light dependente resistor).....	14
Figura 3 – Protoboard.....	14
Figura 4 - Esquema Elétrico.....	16
Figura 5 – Comparação de Sistemas.....	20

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características do arduino UNO.....	15
--	----

LISTA DE ABREVIACOES

GND = Terra;

CC = Corrente Continua.

LISTA DE SIMBOLOS

θ_s = ângulo de incidência direta;

α = ângulo de declividade terrestre;

ω = ângulo horário;

β = ângulo de inclinação do painel;

θ_z = ângulo de zênite;

γ_s = ângulo de azimute solar.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	11
3 DESENVOLVIMENTO.....	12
3.1 MONTAGEM DE HARDWARE.....	13
3.1.1 SERVO MOTOR.....	13
3.1.2 LDR.....	14
3.1.3 PROTOBOARD.....	14
3.1.4 ARDUINO.....	15
3.1.5 ESQUEMA ELÉTRICO.....	16
3.1.6 PROGRAMAÇÃO ARDUINO.....	17
3.1.7 DESCRIÇÃO DO SISTEMA PROPOSTO.....	18
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	19
5 REFERÊNCIAS.....	23

1 INTRODUÇÃO

O uso da energia solar vem crescendo significativamente dentro do Brasil, ela teve o salto mais significativo no ano de 2017, e vem crescendo rapidamente desde então.

Hoje a maior parte das placas fotovoltaicas utiliza uma estrutura de fixação “fixa” (direcionadas apenas para uma direção). Vendo então que poderia ter um melhor aproveitamento da eficiência do sistema, foi criado o tracker solar, parte dessa ideia de maior aproveitamento do tempo de exposição à luz solar para a geração de energia elétrica.

Com o tracker solar o pico de geração de energia é atingido logo nas primeiras horas de Sol, tendo assim durante o dia um aproveitamento bem melhor comparado ao modelo de suportes fixos das placas fotovoltaicas. Vendo então que com o sistema utilizando o tracker usa-se um número de placas bem menor que os necessários para gerar a mesma quantidade de energia.

Nesse cenário, a tecnologia de rastreamento é um aditivo importante aos sistemas de geração fotovoltaica, pois tem como uma de suas principais características assegurar a perpendicularidade entre a superfície receptora de energia e a radiação solar incidente.

1.1.1 MODELO DE CANVAS

GP: 01		Titulo: <u>Tracker Solar</u>											
POR QUE?	O QUÊ?	QUEM?	COMO?	QUANDO? QUANTO?									
<p>Justificativas</p> <p>Aumenta consideravelmente a geração de energia.</p> <p>Melhor eficiência do dia para a geração de energia.</p>	<p>Produto</p> <p>Tracker solar – Seguidor de sol para melhorar o aproveitamento da geração de energia solar.</p>	<p>Stakeholders / fatores externos</p> <p>Uma operação automática executada através de programação em um circuito eletrônico com sensores</p>	<p>Premissas</p> <p>O sistema será guiado com base no sensor LDR, dados capturados para o Arduino que é responsável pelo acionamento do motor que fara a rotação da placa fotovoltaica.</p>	<p>Riscos</p> <p>Nenhum</p>									
<p>Objetivo Smart</p> <p>O mecanismo tracker tem o objetivo de direcionar as placas fotovoltaicas em direção ao sol para maior aproveitamento do tempo de luz, além de ter uma consistência produção melhor.</p>	<p>Requisitos</p> <p>Os itens utilizados para o mecanismo são:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Arduino (será utilizado para fazer a logica e acionamento do motor); - LDR (é o sensor usado para coletar os dados e mandar para o Arduino); - Cabos (serão usados para fazer as conexões entre os itens); - Motor (responsável pela rotação da base); 	<p>Equipe</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vitor Linhaes da Silveira; 	<p>Grupo de Entregas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Etapa de pesquisas: GRUPO - Definição dos métodos e funcionamento: GRUPO - Artigo teórico conforme normas: GRUPO - Montagem do protótipo: GRUPO - Conclusões do projeto: GRUPO - Valor final do projeto: GRUPO 	<p>Linha do Tempo</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>1º Tri</th> <th>2º Tri</th> <th>3º Tri</th> <th>4º Tri</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Formação de equipes. Escolhas dos temas.</td> <td>Apresentação do resumo e pesquisa. Cronograma Canvas.</td> <td>DPT CC</td> <td>DPTC C</td> </tr> </tbody> </table>		1º Tri	2º Tri	3º Tri	4º Tri	Formação de equipes. Escolhas dos temas.	Apresentação do resumo e pesquisa. Cronograma Canvas.	DPT CC	DPTC C
1º Tri	2º Tri	3º Tri	4º Tri										
Formação de equipes. Escolhas dos temas.	Apresentação do resumo e pesquisa. Cronograma Canvas.	DPT CC	DPTC C										
<p>Benefícios</p> <p>As placas fotovoltaicas fixas tem seu pico de geração de energias apenas ao meio dia, e decai durante o dia, as placas com tracker tem seu pico de rendimento a partir das 8 e continua se mantendo até as 20h.</p>		<p>Restrições</p> <p>Nenhuma</p>	<p>Custos</p> <p>Arduino: \$50,00 LDR: \$1,00 Protoboard: 25,00 Kit Cabos: 11,00 Motor: 15,00 Total de material: \$102,00 Mão de obra: \$2.400,00</p>										

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para realizar este experimento, vai ser utilizado um motor universal para girar um sistema mecânico onde irá seguir o sentido em que há incidência de raios solares, para que aplicado em um sistema de geração de energia solar possa ter mais eficiência de captação.

Os materiais a serem utilizados para esse protótipo serão:

- 1 Servo motor CC;
- 1 Arduíno Uno;
- 1 LED;
- 2 LDR's – (resistência dependente de luz);
- 1 Protoboard;
- 1 Suporte para motor;
- 2 Resistências conforme definição.

3 DESENVOLVIMENTO

Para ilustrar este protótipo, foi proposta uma montagem, onde utilizando um arduíno, alguns componentes e aplicando uma programação teremos um seguidor solar (tracker), mostrado na figura 1 logo abaixo o esquema de funcionamento do mesmo.

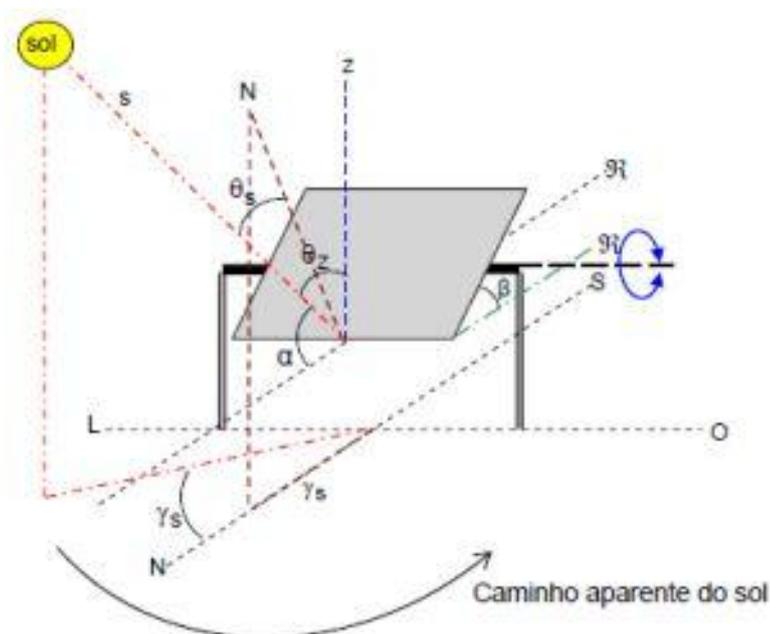


Figura 1 - Esquema simplificado mostrando a montagem para observar o sentido em que o sistema vai girar - Fonte: Paiva (2009)

De acordo com Paiva (2009) um sistema que possui apenas um eixo de rotação, sendo este o eixo horizontal, dispõe de apenas um ajuste diário que é feito por meio do feixe da radiação. Os raios de luz são normais à superfície do painel solar, no horário de meio-dia, todos os dias. Com isso, têm-se as relações matemáticas para se chegar ao melhor ângulo de fixação do painel solar. (PAIVA, 2009)

$$\cos \theta = \sin^2 \delta + \cos^2 \delta \cos \omega \quad (1)$$

A inclinação desta superfície será fixada para cada dia e será calculada por:

$$\beta = | \varphi - \delta | \quad (2)$$

O ângulo de azimute de superfície para um dia será 0° ou 180° dependendo da latitude e declinação

$$\gamma = 0^\circ \text{ se } \varphi - \delta > 0$$

$$\gamma = 180^\circ \text{ se } \varphi - \delta \leq 0 \quad (3)$$

No caso do eixo horizontal Leste-Oeste, a radiação direta pode ser determinada usando a relação trigonométrica, como mostra a Equação 4. (PAIVA, 2009).

$$\cos \theta_s = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha \sin^2 2\omega} \quad (4)$$

Sendo que,

θ_s = ângulo de incidência direta;

α = ângulo de declividade terrestre;

ω = ângulo horário.

E com objetivo de calcular a inclinação do painel, utiliza-se a Equação 5:

$$\tan \beta = \tan \theta_z | \cos \gamma_s | \quad (5)$$

Sendo que,

β = ângulo de inclinação do painel;

θ_z = ângulo de zênite;

γ_s = ângulo de azimute solar.

3.1 MONTAGEM DE HARDWARE

3.1.1 SERVO MOTOR

O servo motor, diferentemente dos motores CC, possibilita o posicionamento do eixo do motor de acordo com a necessidade, utilizando um sinal de controle. Muito utilizado para controlar robôs, aviões ou qualquer objeto que se deseja mover em certo ângulo e manter tal ângulo por algum período e depois modificá-lo novamente. Os servos motores podem variar de acordo com seu tamanho ou torque, sendo assim classificados como mini, padrão ou grande. Geralmente, quando utilizado em pequenos projetos, usa-se o mini, que é alimentado pelo Arduino. Existem três fios que são conectados ao Arduino: o fio marrom, o terra (GND), o vermelho, 5 Volts, e o terceiro fio colorido, que pode variar, é o sinal. A largura do pulso que pode ser enviado ao servo motor pode variar de no mínimo 1 milissegundo que corresponde a 0°, e no máximo 2 milissegundos que correspondem a 180°, sendo possível simplificar a explicação utilizando as Figuras 1.

3.1.2 LDR

O LDR (Light dependent resistor), como mostra a Figura 2, é denominado como célula fotocondutora, é um resistor cuja resistência varia de acordo com a intensidade da luminosidade incidente sobre sua superfície. De acordo com a luminosidade incidente na superfície, diminui ou aumenta o estado de energia dos elétrons livres, ou seja, quanto maior a intensidade luminosa incidente, maior será a sua resistência e quanto menor a intensidade luminosa, menor será a resistência.



Figura 2 – LDR (Light dependente resistor)

3.1.3 PROTOBOARD

Uma placa de ensaio ou matriz de contato é uma placa com furos e conexões condutoras utilizadas para a montagem de protótipos e projetos em estado inicial. A grande vantagem da placa de ensaio na montagem de circuitos eletrônicos é a facilidade de inserção de componentes, uma vez que não necessita soldagem. Como mostra a figura 3.

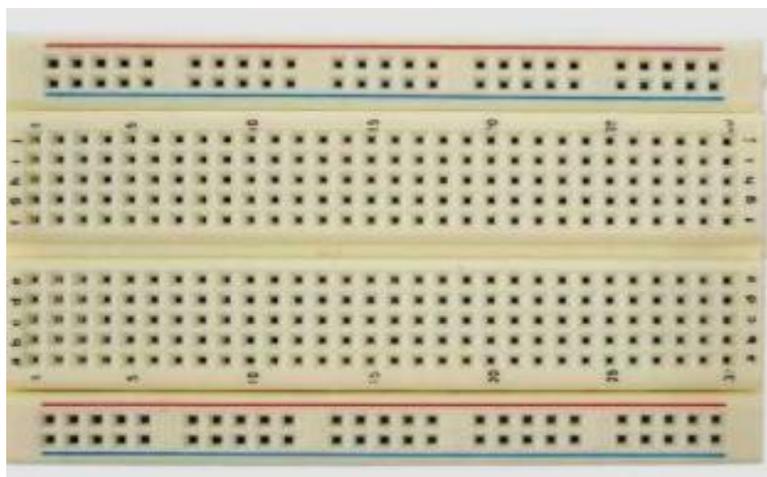


Figura 3 – Protoboard

3.1.4 ARDUINO

Arduino é uma placa microcontroladora que contém 14 pinos de entrada e saída digital. Dentre os 14 pinos, 6 podem ser utilizados com saída PWM (Modulação de Largura de Pulso), ou seja, essas portas são utilizadas para o controle de potência ou velocidade manipuladas por meio da largura de pulso de uma onda quadrada e das 8 portas restantes, 6 são portas analógicas. Na placa BAÚ existe também um cristal de quartzo de 16HZ, que serve como clock¹¹, uma conexão USB, um conector de energia, um conector ICSP¹² e um botão reset. Para seu funcionamento, é necessário conectá-la a um computador via cabo USB ou uma bateria. (Arduino s.d.) O microcontrolador que vai ser utilizado no Arduino deste projeto é o ATmega328, que possui arquitetura Harvard de 8 bits, uma memória flash de 32 KB, 32 registradores de uso geral, 6 conversores Analógico/Digital, entre outras características em que pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1 – Características do arduino UNO

Microcontrolador	ATmega328
Tensão de funcionamento	5V
Tensão de entrada (recomendado)	7-12V
Tensão de entrada (limites)	6-20V
Pinos de entrada Digital (I/O)	14 (dos quais 6 oferecem saída PWM)
Pinos de entrada analógica	6
Corrente DC por pinos (IO)	40 mA
Corrente DC para 3.3V Pin	50 mA
Memória Flash	32 KB (ATmega328), dos quais 0,5 KB utilizados pelo carregador de inicialização
RAM	2 KB (ATmega328)
EPROM	1 KB (ATmega328)
Velocidade do relógio	16 MHz

3.1.5 ESQUEMA ELÉTRICO

Para o devido funcionamento do protótipo será necessário utilizar o seguinte esquema elétrico:

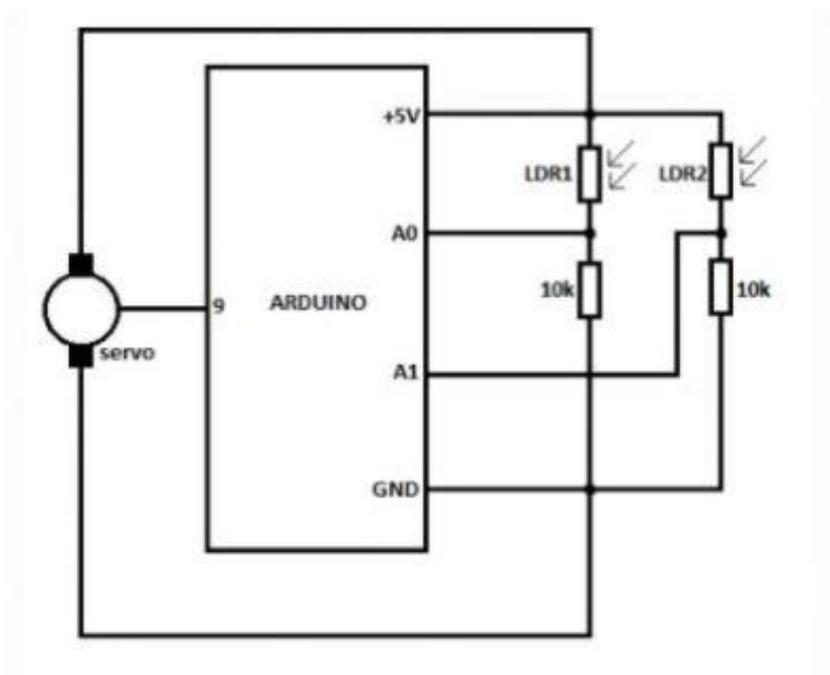


Figura 4 – Esquema elétrico

3.1.6 PROGRAMAÇÃO ARDUINO

O código a utilizar para programar a placa de Arduino é o seguinte:

```
#include <Servo.h>
Servo myservo;
int pos = 90;
int sens1 = A0;
int sens2 = A1;
int tolerance = 2;
void setup()
{
  myservo.attach(9);
  pinMode(sens1, INPUT);
  pinMode(sens2, INPUT);
  myservo.write(pos);
  delay(2000);
}
void loop() {
  int val1 = analogRead(sens1);
  int val2 = analogRead(sens2);
  if((abs(val1 - val2) <= tolerance) || (abs(val2 - val1) <= tolerance)) {
  } else {
    if(val1 > val2)
    { pos = -pos; }
    if(val1 < val2)
    { pos = ++pos; }}
  if(pos > 180) { pos = 180; }
  if(pos < 0) { pos = 0; }
  myservo.write(pos);
  delay(50);}
```

3.1.7 DESCRIÇÃO DO SISTEMA PROPOSTO

O sistema proposto, por meio do conjunto de sensoriamento, ativa a parte mecânica, permitindo a rotação do eixo vertical. Busca-se o melhor ângulo azimutal e zênite para o painel solar aperfeiçoar a geração de energia.

Na Figura 1, é apresentado o esquema simplificado que explana o funcionamento do projeto. A radiação solar incide sobre os LDR's, que entrega os valores para a placa principal, onde se encontram os microcontroladores, o valor é processado apresentando uma saída.

A saída de informações do microcontrolador ativa o servo motor em seu respectivo eixo e uma realimentação é feita, caracterizando um sistema de malha fechada, onde, na realimentação, o sistema indica a releitura do LDR. Esse ciclo será feito até quando não houver mais luminosidade adequada para geração de energia. Como saída desse sistema, tem-se a geração de energia a partir do painel fotovoltaico.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho foi proposto para apresentar melhorias de eficiência na geração de energia solar através de um protótipo mecânico, não foi possível realizar a montagem do protótipo e os testes necessários para alcançar os objetivos do projeto, devido ao atraso na fabricação dos suportes que iriam ser utilizados.

Os testes pretendiam verificar o desempenho da placa fotovoltaica em uma situação real com uma carga em relação ao azimute desta. Para métodos de estudo, usaria um LED como carga e para simular o sol, usaria uma lanterna.

Deveria ser testado o desempenho do painel fotovoltaico com o servo motor parado em 90° graus no eixo vertical e 180° graus no eixo horizontal onde seriam recolhidos os valores de tensão, corrente e potência. O teste seria repetido com o motor e sensores de luminosidade ativos e seriam recolhidos os mesmos parâmetros do teste anterior.

Cada etapa dos testes seria apresentada com tabelas e gráficos para a comparação do desempenho do sistema. Para simulação de um conjunto real com o Sol, a lanterna iria simular uma trajetória aproximada. Iria ser utilizado um LED com um resistor de 100K Ω em paralelo com o painel fotovoltaico, simulando uma carga, sendo possível fazer as análises e verificar qual melhor método para otimização do sistema de geração de energia com o painel fotovoltaico.

A tendência dos trackers solares é serem cada vez mais utilizados nos sistemas fotovoltaicos (Usina Solar) para melhorar a eficiência na geração de energia, os problemas atuais do seguidor solar é o preço para poder ser aplicado, manutenção e os problemas com o terreno em que vai ser instalado.

Em um futuro próximo, com o surgimento de mais tecnologias e o “barateamento” dos sistemas fotovoltaicos, é bem provável que a energia solar acabe sendo mais utilizada, vendo então que com a instalação dos trackers as placas são capazes de conseguir uma eficiência melhor no seu potencial máximo e gerar mais energia.

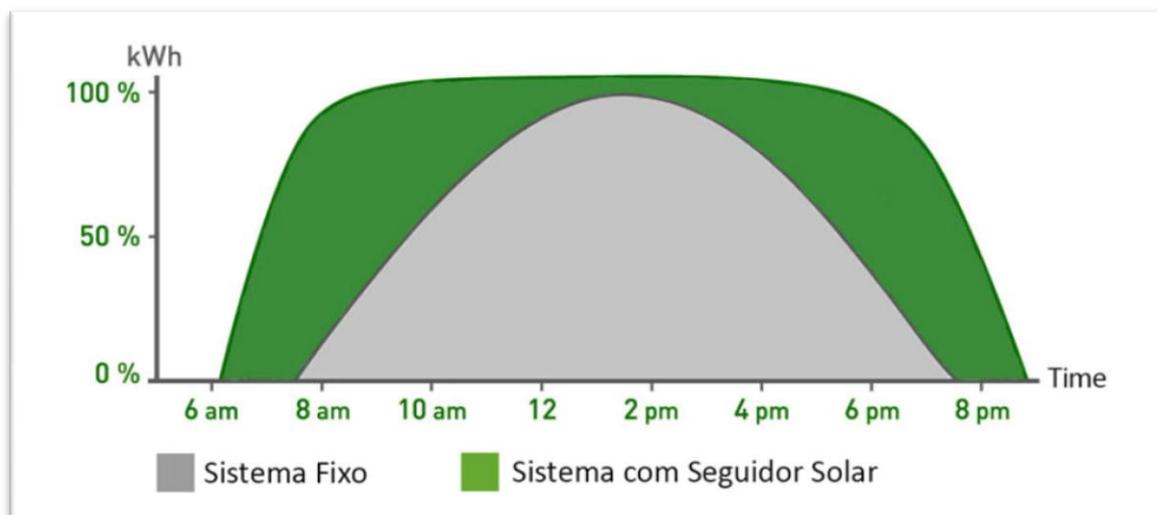


Figura 5 – Comparação de Sistema

Em sistemas fixo acabam tendo seu auge de aproveitamento até por volta das 12h00min até 14h30min, mas com o passar do dia acaba tendo uma decadência até o anoitecer.

Em sistemas com o tracker a produção atinge seu auge logo de manhã, e vai se mantendo durante o dia até o anoitecer, vendo então uma geração com maior eficiência e produção de energia.

ANEXO A (Informativo)

Especificações Motor CC

Figura Erro! Indicador não definido. – Data Sheet motor CC



neoyama

P/N: AK555/390ML12S18200C
P/N Antigo: AK555/ML12-18200S

MICRO MOTOR DC

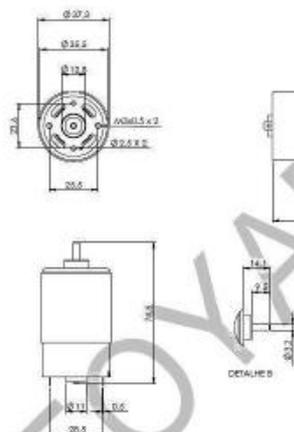
1. Marca do Produto

AKIYAMA MOTORS

2. Especificações Técnicas

Tensão		Sem Carga	
Operação	Nominal	Rotação	Corrente
6 V ~ 18 V	12 V	18200 rpm	1.35 A

Máximo Rendimento					Torque de Partida
Rotação	Corrente	Torque	Potência	Rendimento	1.3 kgf.cm
15700 rpm	6.8 A	390 gf.cm	6.4 W	77.5 %	



Unidade: mm

Disponibilizamos os Desenhos Técnicos 2D e 3D no site www.neoyama.com.br

SEDE ADMINISTRATIVA
Rua Senador Petrônio Portela, 47 Galpão 5 – Zona Industrial Norte – Joinville/SC CEP: 89219-575
www.neoyama.com.br
Suporte Técnico (+55) 47 3028-6757



Fonte: Autoria própria.

5 REFERÊNCIAS

Norma ABNT 2018 – Regras de formatação TCC e Monografia. Disponível em: <https://www.normaseregras.com/normas-abnt/> Acesso em: 23 set. 2018

Manual para a elaboração do Trabalho de Conclusão de Curso das Escolas Técnicas do Centro Paula Souza. Disponível em: Centro Paula Souza Etec Philadelpho Gouvêa Netto Acesso em: 21 nov. 2021

UsinaInfo – Eletrônica e Robótica. Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/blog/rastreador-solar-com-arduino-um-seguidor-solar-atraves-de-ldr/> Acesso em: 18 nov. 2021

Motores de Corrente Contínua. Disponível em: <https://www.coladaweb.com/fisica/electricidade/motores-de-corrente-continua> Acesso em: 11 ago. 2018

Motores elétricos de Corrente Contínua e Universal. Disponível em: https://cdn.hackaday.io/files/9127390489568/motor_cc.pdf Acesso em: 08 set. 2018

Datasheet AK555/390ML12S18200C. Disponível em: <https://www.baudaeletrica.com.br/Documentos/micro-motor-12-vdc-18200rpm.pdf> Acesso em: 19 out. 2018