

# **DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE CARACTERIZAÇÃO ESPECTRAL DA COMPONENTE DIRETA DA RADIAÇÃO SOLAR**

## **RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC/CNPq/INPE)**

Peterson Augusto Ferreira (Unifesp, Bolsista PIBIC/CNPq)  
E-mail: [peterson.augusto@unifesp.br](mailto:peterson.augusto@unifesp.br)

Dr. Waldeir Amaral Vilela (LAS/CTE/INPE, Orientador)  
E-mail: [waldeir@las.inpe.br](mailto:waldeir@las.inpe.br)

JULHO de 2015

## RESUMO

O conhecimento sobre a intensidade e a distribuição espectral da componente da radiação solar direta (fração da radiação solar que, sem sofrer desvios de sua trajetória, atravessa a atmosfera e atinge o solo) permite a avaliação de recursos solares para usinas termoelétricas e fotovoltaicas concentradas. Essas usinas utilizam concentradores solares (lentes ou espelhos) para concentrar a radiação solar em uma área reduzida onde está contido um fluido para aquecimento ou uma célula solar especial.

Uma das formas de se obter o espectro da componente solar direta é utilizar um seguidor solar combinado e a um sistema de aquisição de espectro, formado por uma interface óptica colimadora, um espectrômetro, e um computador para processar e armazenar os espectros coletados. Neste trabalho de Iniciação Científica foi desenvolvido um protótipo de um seguidor solar permitindo que seja acoplado um sistema para medida do espectro da radiação solar direta.

Basicamente um seguidor solar consiste em uma plataforma com um sensor que acompanha o movimento do Sol ao longo do dia e ao longo do ano. Ao longo do dia o sistema se desloca de Leste a Oeste para acompanhar o movimento de rotação da Terra e ao longo do ano o sistema se desloca de Norte a Sul para acompanhar o movimento de translação do planeta, de forma que está sempre apontando o sensor diretamente para o Sol. O sistema tem como princípio de funcionamento, o ajuste da posição da plataforma e do sensor através de servomotores e de um microprocessador que calcula a posição do Sol através de equações que modelem a trajetória, do mesmo utilizando as coordenadas geográficas (latitude e longitude), horário e data do local.

Serão apresentados os resultados obtidos no desenvolvimento deste sistema.

**Palavras-chave:** Seguidor solar, Sol, Espectro, Radiação solar

## SUMÁRIO:

<b>1-INTRODUÇÃO</b> .....	4
<b>2-OBJETIVOS</b> .....	5
<b>3-A RADIAÇÃO SOLAR</b> .....	6
<b>4-A DECLINAÇÃO DA TERRA E SEU MOVIMENTO</b> .....	7
<b>5-O HORARIO SOLAR APARENTE, TEMPO SOLAR MÉDIO E A EQUAÇÃO DO TEMPO</b> .....	8
<b>6-ÂNGULOS SOLARES</b> .....	9
<b>7-A PLATAFORMA ARDUINO</b> .....	10
<b>8-SERVO MOTOR</b> .....	11
<b>9-DESENVOLVIMENTO DA BASE DO SEGUIDOR</b> .....	11
<b>9.1-O PRIMEIRO PROTÓTIPO</b> .....	13
<b>9.2-O SEGUNDO PROTÓTIPO</b> .....	13
<b>10-CONCLUSÃO</b> .....	15
<b>11 AGRADECIMENTOS</b> .....	15
<b>12-REFERÊNCIAS</b> .....	15
<b>12.1-TESES E ARTIGOS</b> .....	15
<b>12.2-SITES</b> .....	16

## 1-INTRODUÇÃO

A geração de energia elétrica na maioria dos países tem alta dependência da utilização de combustíveis de origem fóssil, como é o caso do petróleo e do carvão mineral. No Brasil a principal fonte de energia elétrica é a hidráulica que apresenta alto impacto ambiental devido a necessidade de grandes reservatórios de água. A energia hidroelétrica tem como principal inconveniente a dependência com os ciclos de chuva. Atualmente devido a crise hídrica que vem sofrendo a região sudeste brasileira tem afetado drasticamente o fornecimento de energia elétrica sendo a principal causa da elevação dos custos e obrigando o setor gerador a utilizar geradores a diesel.

O uso de combustíveis fósseis contribui para o aquecimento global, devido aos gases liberados no processo para obter energia desses combustíveis. De acordo com os dados da Agência Internacional de Energia (AIE), aproximadamente 87% de todo o combustível consumido no mundo é de origem fóssil. Ser de origem fóssil significa ser de fonte não renovável, ou seja, esgotável. A utilização do uso de fontes alternativas de energia, limpas e renováveis tem se tornando cada vez mais importantes. Como é o caso da energia solar, eólica, biomassas e geotérmica.

Entre essas fontes de energia alternativas, uma que tem ganhado destaque é a energia solar, em especial a energia solar fotovoltaica. Devido as suas inúmeras vantagens, como por exemplo, o Sol ser uma fonte de energia inesgotável, usinas solares podem ser instaladas próximas a cidades e também em lugares remotos (comunidades indígenas ou rurais isoladas) fora do alcance da rede de energia elétrica comercial.

Para que a energia solar fotovoltaica seja mais bem explorada, é necessário conhecer o potencial solar fotovoltaico, através do estudo espectral da distribuição de radiação solar de onde ela será aplicada. Este potencial está relacionado às condições climáticas e às condições de irradiação de cada região, que só são corretamente determinados se houver um monitoramento contínuo da irradiação solar no local onde se pretende instalar o sistema de captação. (VILELA, 2010)

O estudo da distribuição espectral de radiação solar também é importante devido à sensibilidade espectral de uma célula solar (dispositivo semicondutor que gera energia elétrica). Cada célula solar possui diferentes sensibilidades para determinada faixa espectral de radiação eletromagnética para qual funcionará de modo mais eficiente. E essa eficiência depende do correto casamento espectral entre a célula e a fonte de radiação. Para fontes de radiação com espectros e intensidades diferentes, uma célula solar apresentará diferentes eficiências. Por isso, o conhecimento sobre a intensidade e distribuição espectral da irradiância solar em uma determinada

região é extremamente importante para o correto dimensionamento de sistemas que utilizam a energia solar. (VILELA, 2010) (HAAG, 2012)

Os sistemas fotovoltaicos que apresentam maior rendimento atualmente são os que utilizam concentradores. Estes sistemas são constituídos de lentes e espelhos capazes de concentrar a radiação solar direta sobre células de pequena área e alta eficiência.

O conhecimento da radiação solar direta é de fundamental importância para o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos com concentradores. Este trabalho visa o desenvolvimento de um protótipo de um sistema de medida espectral para a radiação solar direta, através de seguidores solares combinados a um dispositivo de medição de radiação solar. Os seguidores consistem em um dispositivo que acompanha o movimento do Sol ao longo do dia. O sistema se desloca de Leste a Oeste para acompanhar o movimento de rotação da Terra e ao longo do ano o sistema se desloca de Norte a Sul para acompanhar o movimento de translação do planeta, de forma que está sempre apontando o sensor de medida espectral acoplado diretamente para o Sol.

Ou seja, o seguidor tem como princípio de funcionamento, o ajuste da posição do sensor espectral de acordo com o movimento aparente do astro, para que o sensor esteja sempre apontado para o Sol.

O sistema pode contribuir para que sejam adquiridos dados para formação de um banco de dados de espectro da radiação solar direta. E basicamente consiste de um seguidor solar de pequeno porte de dois eixos controlados por um microcontrolador que posicionará um sensor acoplado a um tubo colimador para medida do espectro da radiação solar direta.

## **2-OBJETIVOS**

Este trabalho visa o desenvolvimento de um protótipo de um sistema de medida espectral da radiação solar direta. O sistema consiste de um seguidor solar de pequeno porte de dois eixos feito para posicionar um sensor acoplado ao um tubo colimador para medida do espectro da radiação solar direta. O sensor espectral deve estar sempre apontado para o Sol para que a radiação solar captada seja unicamente da região do disco solar e da região vizinha denominada circunsolar. Para garantir que a radiação provenha unicamente do disco solar o sensor é acoplado a um tubo colimador, que possui o ângulo de visão muito pequeno ( $< 5^\circ$ ) e deve estar sempre apontado para o astro para focalizá-lo na janela ótica do sensor.

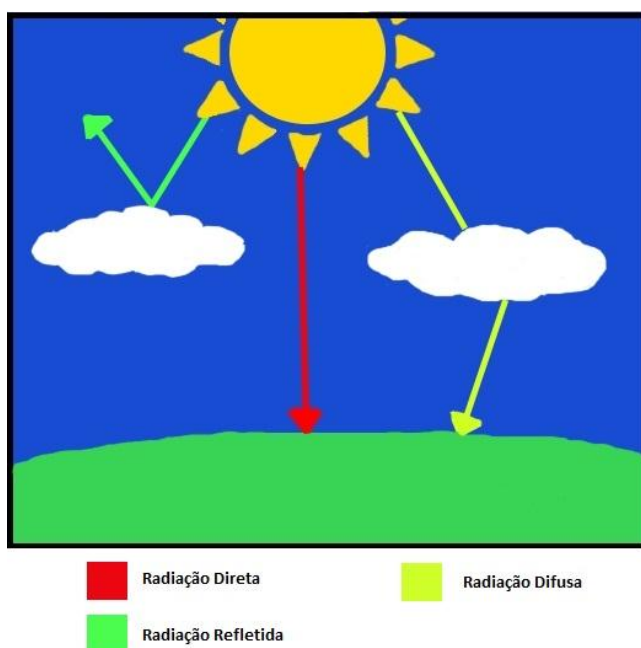
Para determinar a posição do Sol e corrigir a focalização são utilizadas equações que preveem o movimento aparente do astro, para isso o sistema utiliza um processador de dados

(plataforma Arduino), e dois servos motores para movimentar a plataforma do sensor (radiômetro espectral) de forma a manter a focalização do sensor ao se movimentar seguindo o movimento solar e constantemente ser ajustado ao longo do dia e do ano através dos servos motores.

### 3-A RADIAÇÃO SOLAR

A radiação solar é a energia transmitida pelo Sol, conhecida como radiação eletromagnética, por envolver o transporte de energia por meio de campos elétricos e magnéticos. Esse tipo de energia apresenta elevado potencial de utilização em sistemas fotovoltaicos, como é o caso da energia elétrica obtida através de painéis fotovoltaicos. (VILELA, 2010)

Nem toda a radiação solar que atinge as camadas mais externas da atmosfera terrestre consegue chegar ao nível do solo, uma parte é refletida de volta ao espaço ou absorvida pela atmosfera. A radiação que penetra a atmosfera pode ser dividida em componentes, uma componente direta, uma difusa, a soma das componentes direta e difusa é denominada de radiação global, conforme Figura 1. (KREIDER, 1981).



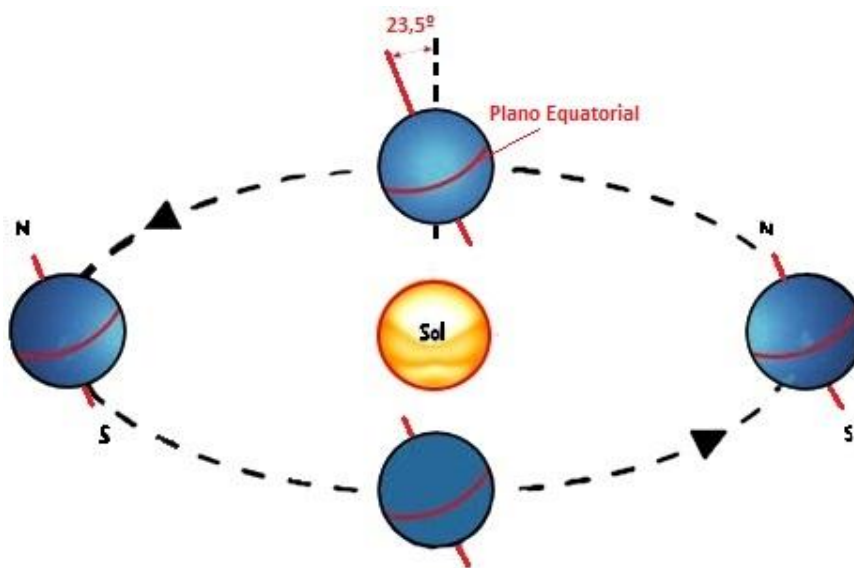
**Figura 1** – Componentes da radiação que atingem a Terra

No Brasil, os valores de irradiação solar global anual incidente em qualquer região do seu território na horizontal ( $1500\text{-}2500 \text{ kWh/m}^2$ ) são superiores aos da maioria dos países da Europa, como por exemplo, Alemanha ( $900\text{-}1250 \text{ kWh/m}^2$ ), França ( $900\text{-}1650 \text{ kWh/m}^2$ ) e Espanha ( $1200\text{-}1850 \text{ kWh/m}^2$ ). (MARTINS, 2008) Nesses países existem projetos para aproveitamento de recursos de energia solar que vem sendo desenvolvidos em grande escala, com fortes incentivos governamentais, algo semelhante poderia ser aplicado no Brasil.

#### 4-A DECLINAÇÃO DA TERRA E SEU MOVIMENTO

Os movimentos principais que a Terra realiza são o de rotação em torno de seu eixo e de translação entorno do Sol. Os movimentos da Terra e a latitude em um determinado ponto no planeta fazem com que exista uma variação da intensidade e do ângulo de incidência dos raios solares sobre este ponto ao longo dos dias do ano e durante o dia. E isto faz com que ocorram variações na quantidade de energia captada pelos sistemas de uso da energia solar. (MARTINAZZO, 2004)

No movimento de translação, a Terra descreve uma trajetória elíptica em um plano denominado eclíptica, que sofre inclinações que variam de  $\pm 23,5^\circ$  em relação ao plano equatorial terrestre, como representado na figura 2. (MARTINAZZO, 2004). Esta inclinação é responsável pela variação da elevação do Sol no horizonte em relação à mesma hora, ao longo do ano.



**Figura 2** – Trajetória elíptica do Sol e sua declinação

Esses movimentos fazem com que em determinada época do ano, a luz solar incida com maior intensidade sobre o hemisfério norte e, na outra parte do ano, incida com maior intensidade sobre o hemisfério sul, evento conhecido como solstício e ocorre nos dias 23/06 e 22/12. Em determinada época, a luz solar incide de maneira igual sobre os dois hemisférios, caracterizando o equinócio (21/03 e 23/09). (VILELA, 2010)

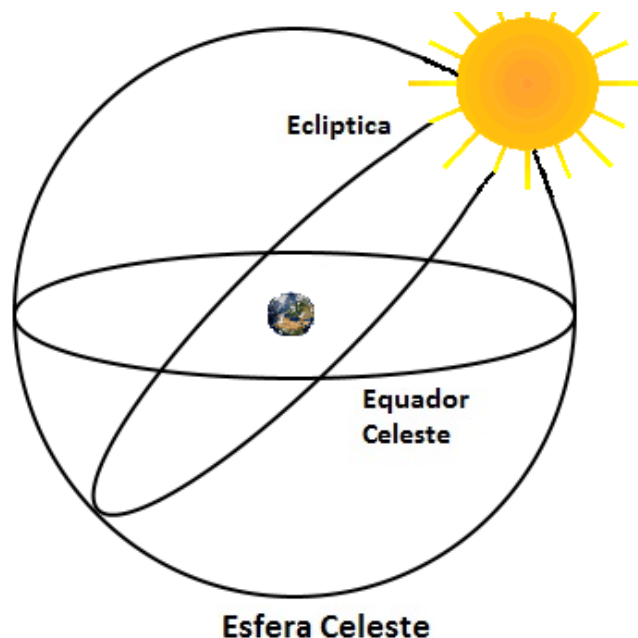
A declinação é dada através de ângulos. Por convenção é positiva a partir do equinócio de março e negativa durante os meses seguintes até o equinócio de setembro e é representada por  $\delta$  e varia de acordo com o dia do ano e dentro dos limites estabelecidos:  $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$ . Um dos meios de calculá-la é utilizando a equação a seguir: (CARRUTHERS, 1990):

$$\delta = (0.322003 - 22.984 * \cos(2*\pi * ((nd-1)/365.0)) - 0.357898 * \cos(2*(2*\pi * ((nd-1)/365.0))) - 0.14398 * \cos(3*(2*\pi * ((nd-1)/365.0))) + 3.94638 * \sin(2*\pi * ((nd-1)/365.0)) + 0.019334 * \sin(2*(2*\pi * ((nd-1)/365.0))) + 0.05928 * \sin(3*(2*\pi * ((nd-1)/365.0)))) \quad (\text{Equação 1})$$

**Obs.:** O “nd” é número de dia do ano, ele representa o número de dias do ano transcorridos, como, por exemplo, dia 2 de fevereiro seria o 33º dia do ano.

Ao considerar a Terra como centro de uma esfera, um círculo imaginário pode ser feito considerando a órbita do Sol. O plano delimitado por este círculo é conhecida como eclíptica.

Na figura 3 podemos observar uma representação didática da esfera celeste, onde é representado a eclíptica e o equador celeste (círculo máximo em que o prolongamento do equador da Terra intercepta a esfera celeste).



**Figura 3** – A Esfera Celeste <sup>1</sup>

## **5-O HORARIO SOLAR APARENTE, TEMPO SOLAR MÉDIO E A EQUAÇÃO DO TEMPO**

O horário solar utiliza o movimento diário do Sol, basicamente é a hora medida em um relógio solar, e considera o meio-dia como o momento da passagem do astro pelo meridiano local.

Já o tempo solar médio, representa um movimento de um Sol fictício, que se move ao longo do equador celeste. O Sol verdadeiro se move ao longo da Eclíptica, com velocidade angular constante, de modo que os dias solares médios são iguais entre si. O mesmo não acontece com os dias solares verdadeiros, que não são iguais entre si porque o movimento do Sol na eclíptica não tem velocidade angular constante. <sup>2</sup> O tempo solar aparente sofre variações durante o ano, que pode



ter atrasos ou adiantamentos em relação ao horário solar aparente.

Para efeitos de cálculos da posição do Sol, é utilizada uma equação que relaciona essa diferença, conhecida como equação do tempo ( $\psi$ ), que é definida como a diferença (em função do dia do ano) entre o tempo lido a partir de um relógio de Sol (horário solar) e o tempo solar médio.<sup>1</sup> Essa diferença é resultado da combinação do efeito da excentricidade da órbita terrestre com a inclinação do eixo de rotação da Terra em relação à eclíptica e pode ser calculada utilizando a equação a seguir: (CARRUTHERS, ET. AL. 1990)

$$\psi = (5.0323 - 100.976 * \text{sen}(279.134 + 0.985647 * \text{nd}) + 595.275 * \text{sen}(2*(279.134 + 0.985647 * \text{nd})) + 3.6858 * \text{sen}(3*(279.134 + 0.985647 * \text{nd})) - 12.47 * \text{sen}(4*(279.134 + 0.985647 * \text{nd})) - 430.847 * \cos((279.134 + 0.985647 * \text{nd}) (279.134 + 0.985647 * \text{nd})) + 12.5024 * \cos(2*(279.134 + 0.985647 * \text{nd})) + 18.25 * \cos(3*(279.134 + 0.985647 * \text{nd}))) \quad (\text{Equação 2})$$

**Obs:** O “nd” é número de dia do ano, ele representa o número de dias do ano transcorridos, como, por exemplo, dia 2 de fevereiro seria o 33º dia do ano.

## 6-ÂNGULOS SOLARES

Para a determinação da posição do Sol, são utilizados ângulos que usam o raio incidente do Sol e os eixos cardeais Norte-Sul e Leste-Oeste, para esse trabalho podemos destacar alguns deles:

**$\psi$  - Ângulo de Zênite** – É o ângulo formado entre a projeção da radiação solar em relação à normal do plano horizontal.

**$\theta$  - Ângulo solar de Altitude ou elevação**– É o ângulo entre a linha horizontal e a linha do Sol. Esse ângulo pode ser calculado utilizando umas das equações de Szokolay: (SZOKOLAY, 1996)

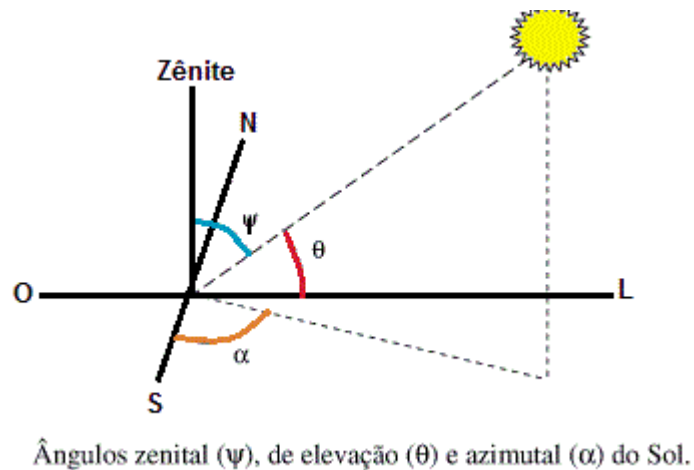
$$\varphi = \arcsen((\text{sen}(\delta) * \text{sen}(l)) + (\text{cos}(\delta) * \text{cos}(l) * \text{cos}(\omega))) \quad (\text{Equação 3})$$

**O Ângulo Horário ( $\omega$ )** – É o ângulo formado pela projeção normal de uma superfície horizontal e o polo celeste. Vale 15° para cada hora pela manhã e soma 15° a cada hora da tarde e vale 0° ao meio dia solar verdadeiro.

**$\alpha$  - Ângulo de Azimute solar** – É o ângulo formado pela linha que indica o pólo norte e a projeção da radiação solar direta sobre o plano horizontal. Esse ângulo pode ser calculado utilizando a equação a seguir: (SZOKOLAY, 1996)

$$\alpha = \arccos((\text{cos}(l) * \text{sen}(\delta)) - (\text{cos}(\delta) * \text{sin}(l) * \text{cos}(\omega)) / \text{cos}(\theta)); \quad (\text{Equação 4})$$

A Figura 4 ilustra os principais ângulos utilizados neste trabalho:



**Figura 4** – Ângulos Solares utilizados no Seguidor Solar

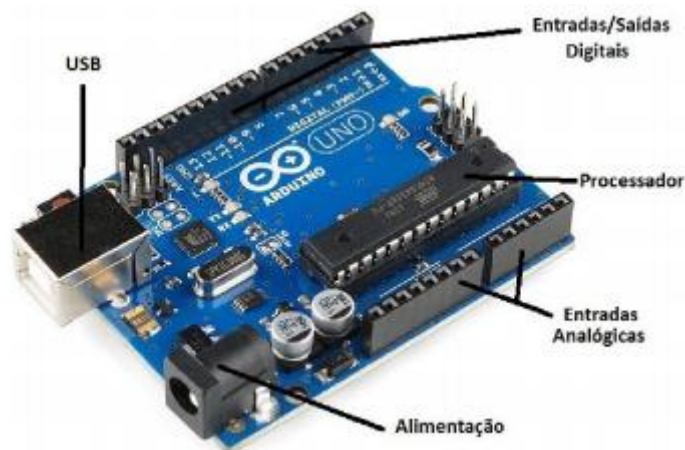
## 7-A PLATAFORMA ARDUINO

Arduíno é uma plataforma de prototipagem eletrônica baseada na flexibilidade de hardware e software, destinado a qualquer pessoa interessada em desenvolver projetos e criar objetos em um ambiente interativo. (arduino.cc, 2015, tradução)

Para programar essa plataforma é utilizado o IDE do Arduino, um software livre para escrever o código na linguagem que o Arduino compreende. Esse programa permite que depois de escrito, o upload do programa para o Arduino, executará as instruções desse programa, interagindo com o que estiver conectado a ele. Esses programas são conhecidos como: sketches.

Ao Arduino pode ser conectado, displays (mostradores) de matriz de pontos, botões, LEDs, interruptores, motores, sensores de temperatura, sensores de pressão, receptores GPS entre outros. E pode ter suas funções ampliadas, usando extensões apropriadas chamadas de Shields, que são simplesmente conectados a ele.

Existem várias versões de placas Arduino, elas são atrativas por serem acessíveis, flexíveis, ter baixo custo e serem fáceis de se usar. A mais popular é o Arduino Uno, graças a sua versatilidade. Devido à quantidade de pinos que ele possui (apresenta um chip padrão de 28 pinos, ligado a um soquete de circuito integrado) e ao seu tamanho reduzido. Na Figura 5, o Arduino Uno pode ser visualizado, com algumas de suas partes identificadas.



**Figura. 5** - Arduino Uno e suas principais partes

## 8-SERVO MOTOR

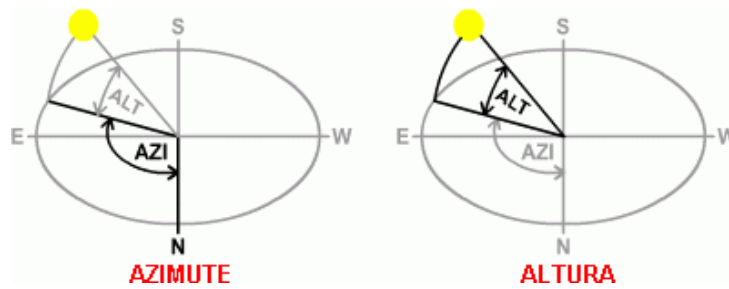
O servo motor é um dispositivo usado quando se deseja movimentar algo de forma precisa e controlada, e possui a capacidade de movimentar o seu braço até uma posição e mantê-lo, mesmo quando sofre uma força em outra direção. Graças basicamente a um potenciômetro que é controlado por um circuito de controle, que aciona o motor visando uma posição pré-determinada. Demonstrando na figura 6. <sup>4</sup>



**Figura. 6** – Servo motor e suas partes <sup>4</sup>

## 9-DESENVOLVIMENTO DA BASE DO SEGUIDOR

Utilizando as equações descritas neste relatório, foi possível criar um código para ser utilizado na placa Arduino, que ao ser combinado a servos motores e a um relógio externo (*real time clock* - RTC), calcula a trajetória do Sol (em função do tempo), utilizando a latitude, longitude, fuso horário e hora local. A equação permite determinar a trajetória do Sol a partir de dois ângulos, o azimute e a altitude solar, conforme demonstrado na Figura 7, além de fornecer o horário do nascer e pôr do Sol.



**Figura. 7** – Azimute e Altura solar <sup>4</sup>

A tabela a seguir (tabela1), mostra umas das simulações dos ângulos azimute e altura solar, feitas pelo código para a cidade de São Jose dos Campos, com coordenadas 23° 10' 44" S, 45° 53' 13" W, para o primeiro dia do ano, do nascer ao pôr do Sol, com meia-hora de intervalo entre as medidas:

**Tabela 1:** Ângulos Solares

Hora Local	Azimute	Altura
05h30min	114.82°	1.1 °
06h00min	112.07 °	7.43 °
06h30min	109.57 °	13.87 °
07h00min	107.29 °	20.41 °
07h30min	105.18 °	27.03 °
08h00min	103.22 °	33.72 °
08h30min	101.38 °	40.45 °
09h00min	99.63 °	47.23 °
09h30min	97.96 °	54.05 °
10h00min	96.35 °	60.89 °
10h30min	94.79 °	67.75 °
11h00min	93.26 °	74.63 °
11h30min	91.72 °	81.51 °
12h00min	89.8 °	88.41 °
12h30min	90.97 °	84.7 °
13h00min	92.55 °	77.81 °
13h30min	94.08 °	70.92 °
14h00min	95.63 °	64.05 °
14h30min	97.21 °	57.2 °
15h00min	98.85 °	50.38 °
15h30min	100.56 °	43.58 °
16h00min	102.36 °	36.82 °
16h30min	104.26 °	30.11 °
17h00min	106.3 °	23.46 °
17h30min	108.49 °	16.88 °
18h00min	110.89 °	10.39 °
18h30min	113.51 °	4.01 °

## 9.1-O PRIMEIRO PROTÓTIPO

A primeira versão do protótipo da plataforma pode ser vista nas figuras 8 e 9. Ela utiliza dois servos motores pequenos e um suporte PAN/TILT.



**Figura 8** – PAN/TILT e Servos Motores

**Figura 9** – Primeiro protótipo da base do seguidor

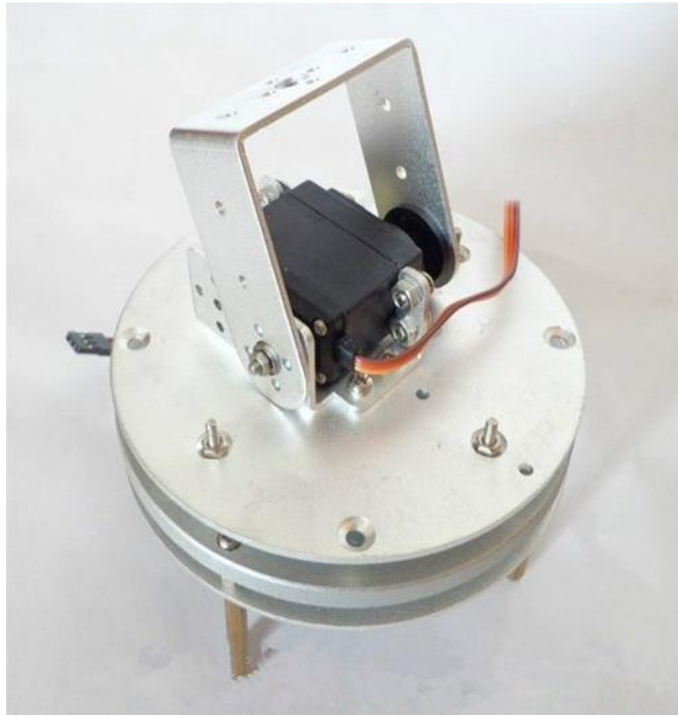
Esse primeiro protótipo tinha como objetivo, auxiliar na criação do programa para o Arduino, e não pode ser utilizado como versão final, pois o torque dos servos motores utilizados era de 1,6 kg/cm para alimentação de 6 V. Valor inadequado para movimentar o sensor.

## 9.2-O SEGUNDO PROTÓTIPO

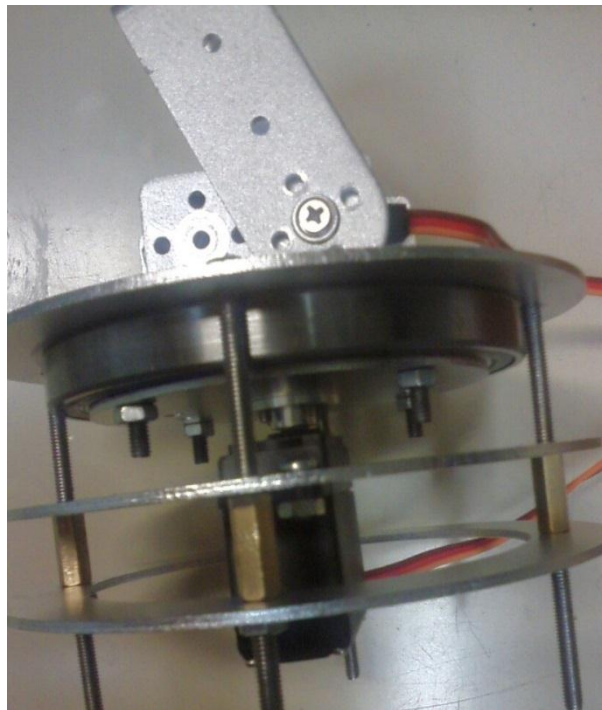
Nas figuras 10 e 11 é apresentado a segunda versão do protótipo da plataforma, que utiliza dois servos motores com 15 kg/cm para alimentação de 6 V, além de uma base giratória Pan Tilt de metal.

Essa base permite que os ângulos calculados pelo programa no Arduino (azimute e ângulo de altura) sejam reproduzidos, graças aos servos motores que fazem a base se movimentar. Esta base também contém uma pequena caixa (onde a placa Arduino foi fixada, junto ao módulo RTC) e tem um visor onde mostra a hora local e o horário de nascimento e pôr do Sol.

Esse segundo protótipo se mostrou funcional e adequado para movimentar o sensor devido ao seu torque, que se comparado ao primeiro protótipo é muito maior.



**Figura 10** – PAN/TILT de metal (vista superior)



**Figura 11** – PAN/TILT de metal (vista lateral)

## 10-CONCLUSÃO

O trabalho desenvolvido neste projeto de Iniciação Científica foi de grande relevância, pois demonstrou ser possível se criar um seguidor solar de baixo custo.

Ele utiliza a plataforma Arduino que apresenta grandes vantagens em relação a outros sistemas de controle devido principalmente a facilidade de programação e a sua flexibilidade em termos de aplicação. Neste projeto o Arduino tem a função de controlar os servos motores, utilizando formulas que modelam a trajetória do Sol através de ângulos, tendo como parâmetros de entrada a latitude, longitude, fuso horário e hora local. E também fornece o horário em que o Sol nasce e se põem.

O programa pode ser facilmente alterado para atender outras necessidades. O protótipo do sistema foi montado em uma base giratória Pan Tilt de metal, que apresenta dois servos motores de forma que os ângulos fornecidos pelo programa para o Sol possam ser reproduzidos pelo sistema.

Porém, um terceiro protótipo deverá ser desenvolvido para testes em campo. Os testes até o momento foram realizados em laboratório e os resultados promissores mostram que a tecnologia desenvolvida utilizando Arduino permitirá que o Laboratório de Energia Solar do LAS/INPE disponha de um dispositivo para medida da radiação solar direta (espectral) confiável e de baixo custo.

## 11 AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo apoio financeiro e ao meu orientador Dr. Waldeir Amaral Vilela (LAS/CTE/INPE, Orientador) pela ajudar em minhas dúvidas, confiança e paciência.

## 12-REFERÊNCIAS

### 12.1-TESES E ARTIGOS:

- **VILELA, W. A.** Estudo, desenvolvimento e caracterização de radiômetros para medidas da radiação solar. Tese (Doutorado em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Ciência e Tecnologia de Materiais e Sensores) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos - SP, 2010.
- **HAAG, R.**, Estimativa da Distribuição Espectral da Radiação Solar Sobre o Território Brasileiro Através de Análise Multiinstrumental. Tese de Doutorado - UFRGS. Porto Alegre, 1RS, 2012;

- **KREIDER, J. F; KREITH, F.** Solar energy handbook. New York: McGraw-Hill Book Company, 1981;
- **MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B.; SILVA, S. A. B.; ABREU, S. L.; COLLE, S.** Solar Energy scenarios in Brazil, part one: resource assessment. Energy Policy, v. 36, n. 8, p. 2843-2854, 2008;
- **CARRUTHERS D, ULOTH C AND ROY G. G.,** An Evaluation of Formulae for Solar Declination and the Equation of Time, Research Report No RR17, School of Architecture, the University of Western Australia, 1990;
- **SZOKOLAY, S. V.** Solar Geometry, PLEA NOTES #1, The University of Queensland Printery, Brisbane, 1996

## **12.2-SITES:**

1. **Medidas de Tempo:** <http://www.if.ufrgs.br/~fatima/fis2016/tempo/tempo.htm> (acesso 01/07/2015)
2. **A Eclíptica:** [http://www.cienciaviva.pt/equinocio/lat\\_long/cap5.asp](http://www.cienciaviva.pt/equinocio/lat_long/cap5.asp) (acesso 01/07/2015)
3. **Astros:** <http://astro.if.ufrgs.br/esf.htm> (acesso 02/07/2015)
4. **Arduino:** <http://arduino.cc> (acesso 02/07/2015)