



Centro Universitário de Brasília
Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia
Curso de Engenharia da Computação
Projeto Final

Desenvolvimento de um Protótipo que Maximize a Captação de Luz Solar

Rolando Moreira Lima Bonaccorsi

Dezembro 2006



Centro Universitário de Brasília
Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia
Curso de Engenharia da Computação
Projeto Final

Desenvolvimento de um Protótipo que Maximize a Captação de Luz Solar

Aluno: Rolando Moreira Lima Bonaccorsi

Orientador: José Julimá Bezerra Junior

Dezembro 2006

DEDICATÓRIA

**"O FUTURO PERTENCE AQUELES QUE ACREDITAM NA BELEZA DOS SEUS SONHOS."
[ELEANO ROOSEVELT]; UM DIA SONHEI COM ESSE MOMENTO E NELE FAZER UMA DEDICATÓRIA MUITO ESPECIAL. ESSE MÉRITO DEDICO AOS MEUS PAIS, MINHAS GRANDES REFERÊNCIAS, ÀS MINHAS IRMÃS LUCIANA E LIANA, E A MINHA INSEPARÁVEL PAIXÃO PRISCILA.**

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me conceder saúde e a vontade de viver intensamente, à minha família por ser tão companheira e unida, à minha namorada Priscila por ser tão especial, ao meu orientador Julimá, por oferecer toda a atenção e incentivo, me fazendo acreditar que alcançaria o meu objetivo e a todos os meus amigos de infância e de trabalho por tornarem os meus dias mais divertidos e propícios a superar os desafios que a vida nos impõe, em especial ao Gustavo Santos e Henrique Meira. Por fim, a todos aqueles com quem estive em contato e que de alguma forma colaboraram para que este projeto fosse possível.

RESUMO

Placas de coleta de radiação solar são freqüentemente encontradas nos telhados das casas. A principal característica dessas placas refere-se ao seu posicionamento, que por serem fixas, não permitem a máxima captação de luz solar. Visando solucionar esta limitação, este trabalho objetiva desenvolver um protótipo de uma placa de coleta de radiação solar seguindo o curso do sol. Para isso, foi necessário estudar o movimento solar, os fenômenos de reflexão, refração, e o funcionamento do motor de passo controlado por um microcomputador e um software desenvolvido pelo autor, resultando em um controlador de malha aberta que permite à placa acompanhar o movimento do sol.

Palavras-chave: Movimento Solar, Radiação Solar e Motor de Passo.

ABSTRACT

Plates of collection of solar radiation frequently are found in the roofs of the houses. The main characteristic of these plates mentions its positioning to it. For being fixed, they do not allow the maximum captation of solar light. Aiming at to solve this limitation, this objective work to develop an archetype of a supposed plate of collection of solar radiation being followed the course of the sun. For this, it was necessary a study the solar movement, the phenomena of reflection, refraction and the functioning of the stepping motors controlled by a microcomputer and a software developed for, resulting in a controller of open mesh that allows the plate to follow the movement of the sun.

Keywords: Solar movement, Solar Radiation and Stepping Motor.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROJETO	11
1.2. OBJETIVO DO PROJETO	12
1.3. MOTIVAÇÃO DO PROJETO.....	13
1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	13
2. SUPORTE TEÓRICO.....	14
2.1. O FUNCIONAMENTO DO SISTEMA SOLAR	14
2.2. FENÔMENOS DA LUZ SOLAR	18
2.3. MOTORES DE PASSO	21
3. DESENVOLVIMENTO E FUNCIONAMENTO DO PROTÓTIPO.....	27
3.1. A MOVIMENTAÇÃO SOLAR	27
3.2. A LÓGICA DE PROGRAMAÇÃO	33
3.3. A MONTAGEM DA MAQUETE	37
3.4. O CONTROLE DO MOTOR DE PASSO	43
3.5. RESULTADOS OBTIDOS.....	49
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
4.1. CONCLUSÕES	50
4.2. DIFICULDADES ENCONTRADAS	51
4.3. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54
ANEXO A	55
APÊNDICE A.....	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Painel solar	12
Figura 2 - Absorção e reflexão na Terra	15
Figura 3 - Estações do ano	16
Figura 4 - Órbita da Terra em relação ao sol	16
Figura 5 - Coordenadas de orientação da superfície coletora	18
Figura 6 - Reflexão em superfície lisa	20
Figura 7 - Reflexão e refração	21
Figura 8 - Motor de passo redondo 1.8° - 5Kgf NEMA 23	22
Figura 9 - Estator e Rotor.....	23
Figura 10 - Motor de passo unipolar.....	23
Figura 11 - Motor de passo bipolar.....	24
Figura 12 - Motor de passo bipolar de relutância variável	25
Figura 13a e 13b - Funcionamento de um motor de passo de 4 pólos.....	25
Figura 14 - Motor de passo utilizado no protótipo (foto frontal).....	26
Figura 15 - Motor de passo utilizado no protótipo (foto lateral)	26
Figura 16 - Desenho inicial do protótipo	27
Figura 17 - Latitude e longitude utilizadas no estudo.....	29
Figura 18 - Exemplo da movimentação da placa baseado no horário de nascimento do sol.....	32
Figura 19 - Fluxograma do sistema de controle do motor de passo	34
Figura 20 - Tela do programa desenvolvido em <i>Delphi</i>	36
Figura 21 - Imagem final do modelo do protótipo (visão lateral).....	37
Figura 22 - Imagem final do modelo do protótipo (visão frontal).....	38
Figura 23 – Base da estrutura.....	39
Figura 24 - Placa de captação solar.....	39
Figura 25 - Suporte de sustentação da placa de captação solar	39
Figura 26 - Correia dentada	39
Figura 27 - Sobras de alumínio dimensionado ao projeto	39
Figura 28 – Polia (10 dentes).....	39
Figura 29 - Polia (60 dentes).....	40
Figura 30 - Barra rosqueada.....	40
Figura 31 – Parafuso de ajuste	40
Figura 32 – Anteparo	40
Figura 33 - Resultado final da montagem (suporte motor de passo).....	42
Figura 34 - Resultado final da montagem (estrutura completa)	42
Figura 35 - Disposição dos componentes utilizados no circuito.....	44
Figura 36 - Pinagem do conector fêmea do cabo paralelo.....	46
Figura 37 - Interligação dos fios comuns no motor de passo	46
Figura 38 - Resultado final do circuito	47
Figura 39 - Modelo final (computador, circuito e estrutura)	51

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Percentuais de absorção e reflexão na Terra.....	15
Tabela 2 - Dados da nascente e poente do sol para outubro de 2006	30
Tabela 3 - Seqüência de alimentação das bobinas do motor	48
Tabela 4 - Resultados Obtidos	49
Tabela A-1 - Mês Janeiro.....	55
Tabela A-2 - Mês Fevereiro.....	55
Tabela A-3 - Mês Março.....	56
Tabela A-4 - Mês Abril.....	57
Tabela A-5 - Mês Maio.....	57
Tabela A-6 - Mês Junho.....	58
Tabela A-7 - Mês Julho.....	58
Tabela A-8 - Mês Agosto.....	59
Tabela A-9 - Mês Setembro.....	60
Tabela A-10 - Mês Outubro.....	60
Tabela A-11 - Mês Novembro.....	61
Tabela A-12 - Mês Dezembro.....	61

LISTA DE SIGLAS

CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito.

MDF - *Medium Density Fiberboard*.

UFMT - Universidade Federal do Mato Grosso.

USB - *Universal Serial Bus*.

1. Introdução

1.1. Contextualização do Projeto

O assunto energia elétrica tem se tornado um problema em muitos países, já que a energia gerada não está sendo suficiente para atender às necessidades da população. Investimentos têm sido feitos por parte dos governos em muitas fontes geradoras de energia elétrica. Alguns exemplos podem ser citados, como o vento, o sol, os rios, as usinas nucleares, termelétricas, etc. Estudos realizados pela Eletrobrás apontam que o Brasil pode enfrentar problemas de falta de energia elétrica em 2009. Tendo em vista essa problemática, é necessário que todos ajudem de alguma forma. A população não pode esperar que só o governo faça a sua parte; ela pode de alguma forma, estar investindo na obtenção ou mesmo na redução do consumo de energia elétrica, seja com investimentos financeiros, ou com mudanças de hábitos a fim de economizar energia.

Um método de economia de energia elétrica tem sido muito utilizado em áreas residenciais para obtenção de energia térmica. Trata-se da utilização de painéis solares. A quantidade de energia que pode ser transformada está diretamente ligada a alguns fatores, como por exemplo, a qualidade da placa de coleta solar utilizada e o ângulo de incidência dos raios solares. Utilizando um sistema eficiente de coleta de luz solar é possível reduzir custos com energia, uma vez que o sol é uma fonte renovável, onde qualquer pessoa pode usufruir sem ter que pagar por ela.

Hoje, a comercialização de painéis solares já está bastante difundida em todo o mundo. No Brasil, é possível observar que várias regiões utilizam painéis solares como forma de obtenção de energia térmica.

A grande maioria dos painéis comercializados no Brasil tem orientação fixa, porém, o sol segue o seu curso de leste a oeste, mudando a incidência dos raios solares durante o dia, existindo, portanto, períodos em que a captação de luz solar fica desfavorecida. Na Figura 1 é apresentada uma residência equipada com um conjunto de painéis solares. Conforme estudos já realizados pela instituição CRESESB/CEPEL, o ganho de uma estrutura de captação solar que seja capaz de acompanhar o movimento do sol é da ordem de 20%, um ganho bastante significativo quando se fala de energia. [CRESESBa]



Figura 1 - Pannel solar
Fonte: CRESESB, 1999

1.2. Objetivo do Projeto

Este projeto tem como objetivo desenvolver um modelo de uma placa coletora solar que maximiza a captação de radiação solar. Esta placa estará sob uma estrutura que permitirá a sua movimentação, tratando as variações do seu movimento ao longo dos meses do ano. O movimento a ser realizado pela placa está limitado ao deslocamento leste-oeste do sol, já que além deste, existe uma outra variação angular norte-sul que também influi no seu posicionamento. O controle da estrutura desenvolvida é feito por um microcomputador equipado com um software que controla a placa.

1.3. Motivação do Projeto

A principal motivação do projeto se deu ao longo do curso de Engenharia da Computação, mais precisamente na cadeira que aborda o assunto transferência de calor. O professor que ministrava a disciplina levantou a questão dos painéis solares e das vantagens que estes poderiam oferecer se pudessem acompanhar o curso do sol.

Utilizando o tema colocado em sala de aula foi desenvolvida uma proposta que, aliada aos conhecimentos adquiridos ao longo do curso, pudesse tornar possível a movimentação de um painel solar. Entre eles, estão os conhecimentos de controle, linguagens e técnicas de programação, circuitos eletrônicos e muitos outros ligados indiretamente ao estudo.

1.4. Estrutura do Trabalho

Além deste capítulo introdutório, esta monografia contém os seguintes capítulos assim distribuídos.

No capítulo 2 é abordado a base teórica para o desenvolvimento do protótipo, o estudo do funcionamento do sistema solar e os fenômenos da luz e da teoria dos motores de passo.

No capítulo 3 é descrito o desenvolvimento e funcionamento do protótipo, a movimentação solar, a lógica de programação, o controle do motor de passo, a construção da maquete e os resultados.

No capítulo 4 é descrita a conclusão da monografia, onde também são apresentadas as dificuldades encontradas e as propostas para trabalhos futuros.

2. Suporte Teórico

Este capítulo tem como principal objetivo apresentar um embasamento teórico dos principais itens relacionados ao projeto, entre eles, o comportamento do sistema solar, os fenômenos da luz solar e, por fim, informações acerca do motor de passo.

2.1. O Funcionamento do Sistema Solar

Para que o projeto se tornasse possível, foi necessária uma pesquisa sobre o sistema solar, entendendo os dois movimentos que a Terra realiza, estando estes diretamente relacionados à incidência solar sobre ela durante os dias do ano. Um outro foco engloba o posicionamento das placas solares de forma a captar o máximo de luz oferecida pelo sol, aproveitando a sua coleta para fins de conversão de energia solar em energia térmica ou energia elétrica. O estudo do posicionamento da placa será mais aprofundado no item referente ao desenvolvimento do protótipo, onde será apresentado o conhecimento utilizado para a realização da lógica de programação e para o posicionamento inicial e final da maquete.

A energia fornecida pelo sol atravessa algumas camadas antes de chegar efetivamente a Terra. É o caso da atmosfera terrestre, em que a energia pode ser absorvida, refletida ou espalhada. Nesta camada pode ser encontrada uma variedade de gases com capacidade de absorção diferentes, que atuam como se fossem uma cortina, agindo como um filtro. Dependendo da sua capacidade de absorção, a passagem de radiação solar fica comprometida. [CRESESB, 1999]

Na Figura 2 é ilustrada uma situação que ocorre na Terra. Nela podem ser observados os fenômenos de reflexão, refração e espalhamento. Os percentuais apresentados na Tabela 1 variam de acordo com a incidência solar, neste caso a Tabela apresenta os percentuais da Figura 2. Diversos fatores podem mudar estes percentuais; é o caso das estações do ano que está relacionado ao movimento de translação que será discutido a seguir. [MORAES]

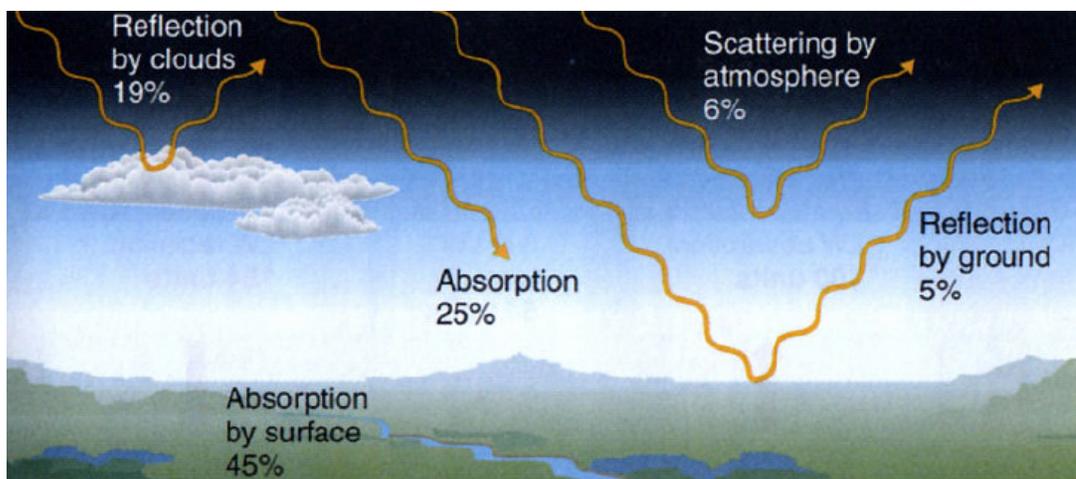


Figura 2 - Absorção e reflexão na Terra

Fonte: Departamento de Ciências Atmosféricas - IAG-USP

Tabela 1 - Percentuais de absorção e reflexão na Terra

Fonte: Departamento de Ciências Atmosféricas - IAG-USP

Reflexão das nuvens	19%
Absorção na atmosfera	25%
Dispersado pela atmosfera	6%
Absorção na superfície	45%
Reflexão do solo	5%

O planeta Terra realiza dois tipos de movimentos que influenciam diretamente no fornecimento de radiação solar, um conhecido por rotação, onde a Terra gira em torno do seu próprio eixo, originando os dias e as noites; o outro movimento é conhecido por translação, em que a Terra descreve uma trajetória elíptica formando um plano inclinado de aproximadamente $23,5^\circ$ com relação ao plano equatorial. Essa variação angular é responsável pela diferença da elevação do sol no horizonte em relação à mesma hora em diferentes pontos da Terra, ao longo dos dias. Essa inclinação tem como resultado as conhecidas estações do ano: verão, outono, inverno e primavera, onde cada uma delas abrange um período de meses ao longo do ano, com diferenças de incidência solar sobre as várias regiões da Terra. Essa variação originada pelo movimento de translação dificulta bastante o cálculo do posicionamento solar ao longo dos dias do ano. [CRESESB, 1999]

Na Figura 3 é ilustrado o movimento de translação, onde as estações do ano podem ser observadas; estando essas definidas por uma data de início e fim. Cada estação abrange um período de 3 meses.

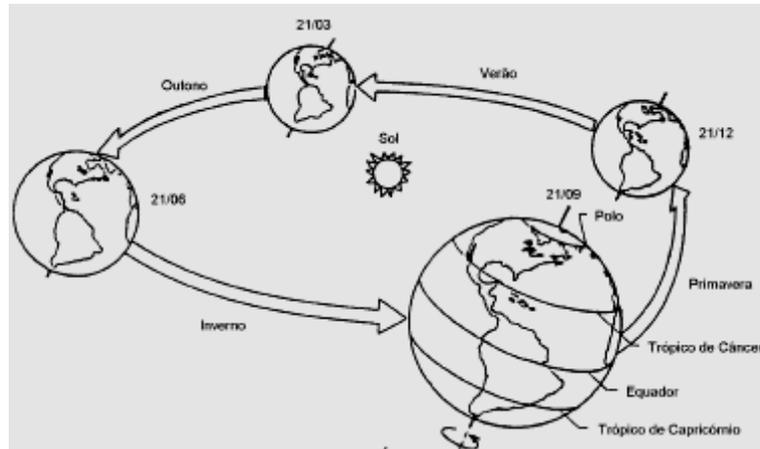


Figura 3 - Estações do ano
 Fonte: CRESESB, 1999

Fazendo referência à inclinação do eixo da Terra em relação à perpendicular do seu plano de órbita, originado pelo movimento de translação, tem-se alguns dias diferenciados. Estes são conhecidos como equinócio e solstício. Nos equinócios a duração do dia e da noite em qualquer ponto que não sejam os pólos é igual, já no solstício há uma diferença máxima entre a duração do dia e da noite. Na Figura 4 está representada os dias de solstício e equinócio. Apresenta também a órbita da Terra em relação ao Sol. [SILVA, 2006]

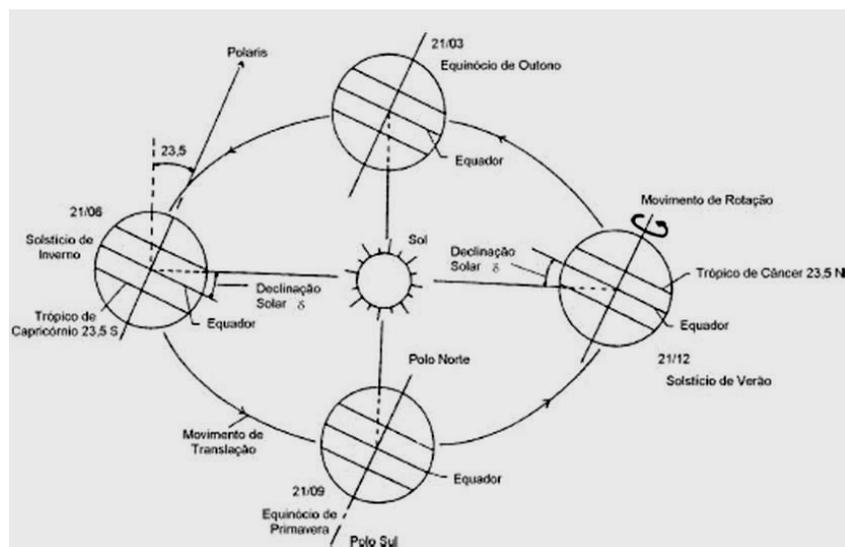


Figura 4 - Órbita da Terra em relação ao sol
 Fonte: CRESESB, 1999

À medida que a Terra vai se distanciando de um dos equinócios, um dos hemisférios (norte ou sul) vai se tornando mais banhado pelos raios solares e o outro menos. Os pontos não situados na linha do Equador vão tendo a duração do dia e da noite alteradas

gradativamente e de forma cada vez mais acentuada, quanto mais distante estiver do Equador. Chegará um momento em que no hemisfério mais banhado pelos raios do Sol a duração do dia será máxima e da noite mínima e, no hemisfério menos banhado, a duração da noite máxima e do dia mínima, ocorrendo assim, um novo solstício. À medida que a Terra segue o seu curso, acontece o processo inverso. No hemisfério mais banhado pela luz solar a duração do dia irá diminuindo até se tornar igual a da noite, representando o equinócio seguinte. A variação angular que origina essas datas está compreendida entre os limites angulares: $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$. [CRESESB, 1999]

Para que seja possível mapear o posicionamento solar são conhecidos alguns ângulos, onde a partir deles é possível obter relações geométricas, permitindo, então, mapear os raios solares que incidem sobre uma superfície coletora solar qualquer instalada na Terra. Abaixo segue a descrição dos principais ângulos.

- **Ângulo de Incidência (γ)** - Ângulo formado entre os raios do sol e a superfície coletora solar. [CRESESB, 1999]
- **Ângulo Azimutal da Superfície (a_w)** - Ângulo entre a projeção da normal à superfície no plano horizontal e a direção Norte-Sul. [CRESESB, 1999]
- **Ângulo Azimutal do Sol (a_s)** - Ângulo entre a projeção do raio solar no plano horizontal e a direção Norte-Sul. [CRESESB, 1999]
- **Altura Solar (α)** - ângulo compreendido entre o raio solar e a projeção do mesmo sobre um plano horizontal. [CRESESB, 1999]

Obs. O Ângulo a_w e a_s estão compreendidos entre a variação angular de $-180^\circ \leq a \leq 180^\circ$ (considerando a esquerda do norte valores positivos)

- **Inclinação (β)** - Ângulo entre a superfície e a horizontal. [CRESESB, 1999]

Na Figura 5 está representada uma superfície coletora de luz solar lisa orientada para o sol com um ângulo de inclinação β . Todos os ângulos são representados de forma a ilustrar os conceitos apresentados acima.

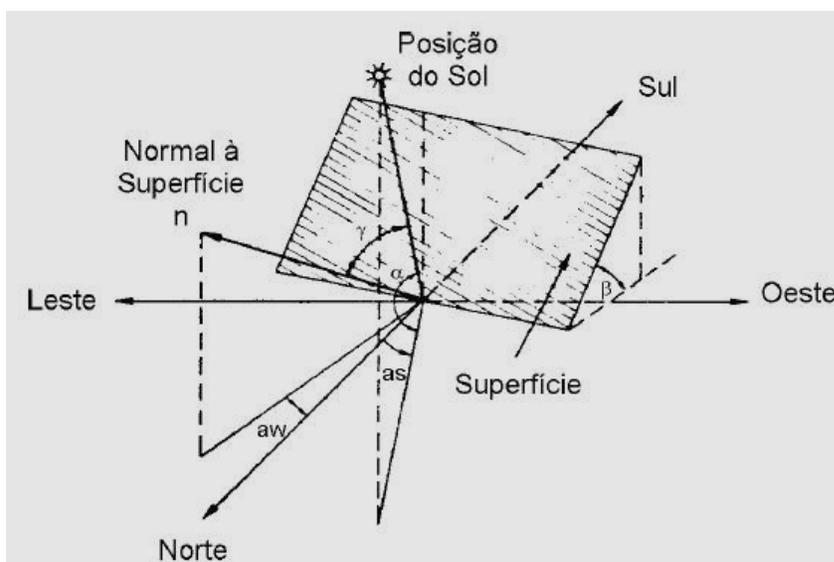


Figura 5 - Coordenadas de orientação da superfície coletora

Fonte: CRESESB, 1999

A radiação solar que chega efetivamente ao solo é composta por duas componentes, uma direta (feixe), e outra difusa. Caso haja uma inclinação da superfície receptora de radiação, tem-se a formação de uma terceira componente refletida pelo ambiente do entorno. O coeficiente de reflexão dessas superfícies é conhecido por “albedo”. [CRESESB, 1999]

Conforme já comentado, o movimento de translação e rotação influi diretamente no posicionamento solar ao longo do ano, causando variações nos horários de nascente e poente do sol, estando também diretamente ligados ao volume de radiação emitido por ele. É possível maximizar a captação de radiação solar fazendo um mapeamento do posicionamento do sol ao longo do ano.

2.2. Fenômenos da Luz Solar

O estudo da luz baseou-se na teoria de diversos cientistas para que os conceitos de absorção¹, reflexão² e refração³ fossem definidos. Foram feitos vários experimentos e dentre eles, foram utilizados vários meios, como a água, o ar e o vidro. Como resultado constatou-se que o

1 - Fenômeno relacionado à parcela de energia que persiste em um corpo após incidir sobre ele. [TIPLER]

2 - Consiste na mudança da direção de propagação da energia. A energia incidente retorna em direção à região de onde ela é oriunda, após entrar em contato com uma superfície refletora. [TIPLER]

3 - Acontece quando as ondas passam de um meio com um dado índice de refração para um meio onde este parâmetro difere. [TIPLER]

desvio da radiação variava de acordo com o meio. Esse fenômeno foi denominado Refração. O ângulo de refração varia de acordo com o ângulo de incidência. Se o raio de luz incidir a um ângulo de 90°, o desvio será muito pequeno. Essa quantidade de radiação refletida dependerá da superfície onde a radiação está incidindo, considerando que neste ângulo de 90° a refração será máxima. O índice de refração é determinado com base na velocidade com que a luz atravessa o meio. [SALLES]

O índice de refração pode ser obtido com a seguinte equação:

$$n = \frac{c}{v} \quad \text{[EQ 1]}$$

Onde:

n - índice de refração

v - velocidade da luz no meio

c - velocidade da luz no vácuo

Foram estabelecidas duas leis sobre a refração.

A primeira lei da refração diz que: “O raio incidente, o raio refratado e a normal, no ponto de incidência, estão contidos num mesmo plano”. [TIPLER]

A segunda lei é regida pela seguinte equação:

$$n_A \cdot \text{sen } \theta_A = n_B \cdot \text{sen } \theta_B \quad \text{[EQ 2]}$$

Onde:

n_A - Índice de refração do meio A

n_B - Índice de refração do meio B

θ_A - Ângulo de incidência

θ_B - Ângulo de refração

Em relação à reflexão, esta consiste na mudança de direção de propagação da energia. A energia incidente retorna na direção em que ela veio após entrar em contato com uma superfície refletora. Assim como a refração, a reflexão é regida por duas leis.

A primeira diz que “A direção da energia incidente, a normal e a direção da energia emergente pertencem a um único plano.” [TIPLER]

A segunda afirma que “O ângulo de incidência tem valor igual ao valor do ângulo de reflexão.” Esta afirmação é válida para superfícies lisas, uma vez que se for considerada uma superfície irregular têm-se uma reflexão difusa⁴. [TIPLER]

A Figura 6 apresenta a incidência solar sobre uma superfície lisa, sendo possível observar que o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão.

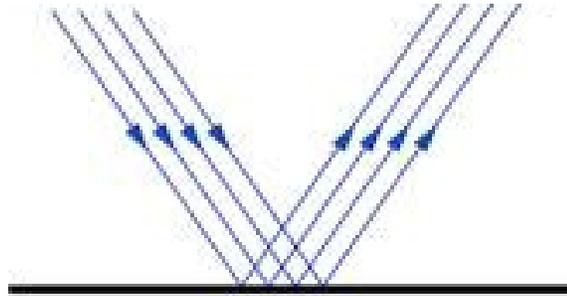


Figura 6 - Reflexão em superfície lisa
Fonte: WIKIPÉDIA, 2006

Para o caso da absorção solar a mesma está diretamente ligada ao coeficiente de reflexão, também conhecido por albedo. Quanto maior o coeficiente, maior a fração de radiação refletida e, conseqüentemente, menor a fração absorvida. [MASSAMBANI, 2005]

Considerando os conceitos apresentados acima, conclui-se que quanto menor o coeficiente de reflexão maior a absorção da superfície. Este albedo também está relacionado com o ângulo que a superfície coletora está fazendo com o sol. Quanto mais próxima de 90° tem-se a maior absorção de radiação solar. Na Figura 7 é apresentada uma ilustração da incidência de um feixe de luz solar e os fenômenos de reflexão e absorção (refração).

4 - Para o caso da reflexão difusa os raios divergirão em várias direções.

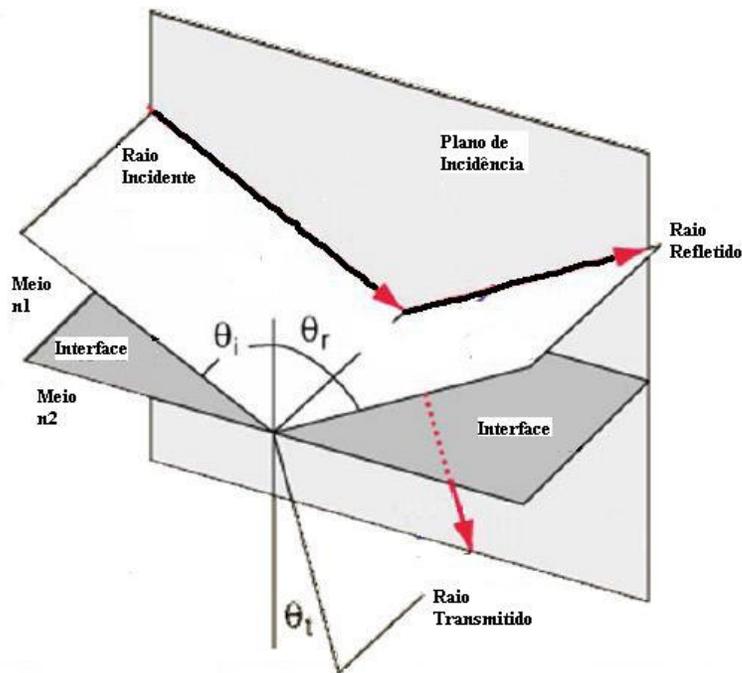


Figura 7 - Reflexão e refração
 Fonte: MASSAMBANI, 2005

No protótipo é apresentado um modelo de uma estrutura de captação de radiação solar que tem como principal objetivo aproximar o ângulo do feixe solar incidente a 90° , buscando com isso maximizar a absorção de luz solar na placa.

2.3. Motores de Passo

O entendimento do funcionamento e dos tipos de motores de passo faz-se necessário, uma vez que um deles é utilizado no protótipo. Este, dentro do escopo do projeto, será o responsável por movimentar a placa coletora de luz solar. O seu acionamento será feito pelo computador, a ser detalhado no item 3.4 - Controle do Motor de Passo.

O motor de passo (stepping motor – Figura 8) é um transdutor⁵ que converte pulsos elétricos em movimento mecânico. A rotação do eixo do motor tem como principal característica o uso de ângulos incrementais, onde cada motor de passo tem o seu ângulo de rotação pré-definido. Alguns degraus típicos são $7,5^\circ$ e 15° por pulso. Esse ângulo é repetido precisamente a cada pulso, gerado por um circuito apropriado. Os erros que podem ocorrer

⁵ - É todo o dispositivo que transforma um tipo de energia noutro tipo de energia, utilizando para isso um elemento sensor que recebe os dados e os transforma. [Glossário do Setor Elétrico]

nesses incrementos são considerados baixos, menores que 5%. [FITZGERALD, AE, 1975] [SOUZA, 2004]



Figura 8 - Motor de passo redondo 1.8° - 5Kgf NEMA 23

Fonte: MercadoBR

Os motores de passo são bastante diferentes dos motores convencionais, pois seus movimentos são discretos, enquanto que os demais são de movimento contínuo. A forma de alimentação desses motores também é bastante diferente. Ocorre por meio de pulsos que são aplicados de forma seqüencial, onde o sentido da seqüência determina o sentido da rotação. Os motores de passo podem operar sem realimentação, o que representa uma vantagem, uma vez que não é necessário o desenvolvimento de um sistema de controle em malha fechada. [SOUZA, 2004]

Considerando a precisão que os motores de passo oferecem, estes são extremamente confiáveis, já que o movimento provido por eles é fixo, possibilitando um eficiente controle de posição, velocidade, direção e distância. [SOUZA, 2004] [FITZGERALD, AE, 1975]

Para que seja possível entender o funcionamento dos motores de passo, é necessário conhecer os seus dois principais componentes, o rotor e o estator. É denominado rotor o conjunto eixo-ímã que se movimenta na parte móvel do motor. O estator é a parte fixa onde as bobinas⁶ estão enroladas. Estas bobinas são responsáveis pela geração dos campos magnéticos. Na Figura 9, é possível visualizar os principais componentes de um motor de passo. [SOUZA, 2004]

6 - Conjunto contínuo de espiras em série, geralmente coaxiais.



Figura 9 - Estator e Rotor
 Fonte: SOUZA, 2004

Com relação ao enrolamento dos motores de passo, estes podem ser unipolares ou bipolares. Nos unipolares eles têm um “*tap central*”, ou seja, entre as bobinas existe uma interligação, que caracteriza a quantidade de fios desses motores, que podem ter de 5 a 6 fios. Um fator relevante para os motores unipolares é que seus enrolamentos não são bidirecionais, isto é, a corrente percorre somente metade do enrolamento a cada passo do motor. Estes motores necessitam de apenas uma fonte de alimentação. [SOUZA, 2004]

Na Figura 10 é representada as bobinas de um motor de passo unipolar, dependendo das interligações das bobinas, os motores podem ter de 5 ou 6 fios.

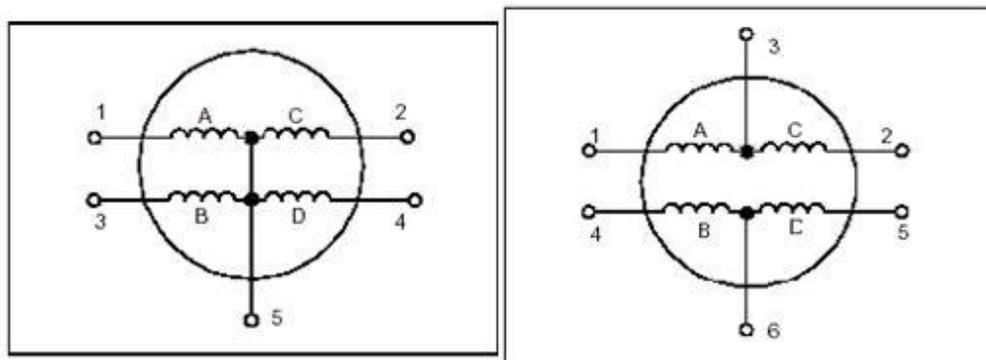


Figura 10 - Motor de passo unipolar
 Fonte: SOUZA, 2004

No motor de passo bipolar, ao contrário do unipolar, a corrente percorre todo o enrolamento (ver Figura 11), gerando assim um maior torque. Diferente do motor de passo unipolar, esses motores requerem duas fontes de alimentação. A dificuldade do controle do

motor de passo bipolar está diretamente ligada aos circuitos desenvolvidos para o seu controle. Estes são considerados mais complexos que os unipolares. [SOUZA, 2004]

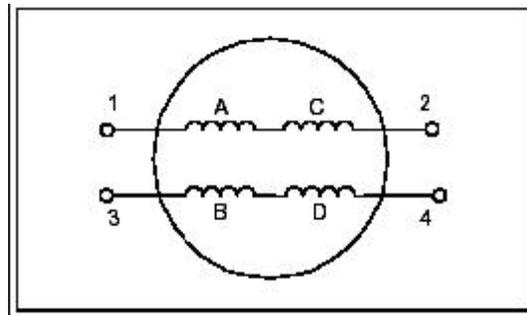


Figura 11 - Motor de passo bipolar
Fonte: SOUZA, 2004

Existem três tipos de motores de passo: os de relutância variável, os de ímã permanente e os híbridos.

Relutância Variável - Apresenta um rotor com muitas polaridades, construído a partir de ferro doce. Seu estator é laminado. Este motor não pode ser utilizado com carga inicial grande, pois possui um torque estático nulo.

Ímã Permanente - Apresenta um rotor de material alnico ou ferrite e é magnetizado radialmente, diferentemente do de relutância variável. O torque estático desse tipo de motor não é nulo.

Híbrido - É uma mistura dos dois anteriores, sendo seu rotor e estator multidentados. O rotor possui um ímã permanente magnetizado axialmente, e é considerado o mais preciso dos motores de passo (3%). Apresenta uma boa relação torque e tamanho com os ângulos incrementais pequenos, como os de $0,9^\circ$ e $1,8^\circ$.

Considerando um motor de passo bipolar e de relutância variável com 3 bobinas no estator, e um rotor composto por dois pares de pólos magnéticos estando os dois na forma perpendicular. É possível descrever o seu funcionamento utilizando como base a Figura 12. Para o caso a bobina 1 ser alimentada tem-se a formação de pólos magnéticos N e S nesta bobina, pelo menos dois pólos do rotor, no caso os de ímã X irão se alinhar com os pólos dessa bobina pelo princípio da repulsão e atração dos ímãs. Se em seguida a bobina 2 for alimentada e a bobina 1 desligada, tem-se a rotação do rotor visando alinhar os pólos do ímã Y com a bobina 2. Continuando a seqüência se a bobina 2 for desligada e a bobina 3 for alimentada tem-se uma nova rotação e o alinhamento do ímã X com a bobina 3, ligando a bobina 1 o ciclo volta a se repetir. Para que se tenha o movimento inverso basta que a alimentação das bobinas seja invertida. [SOUZA, 2004]

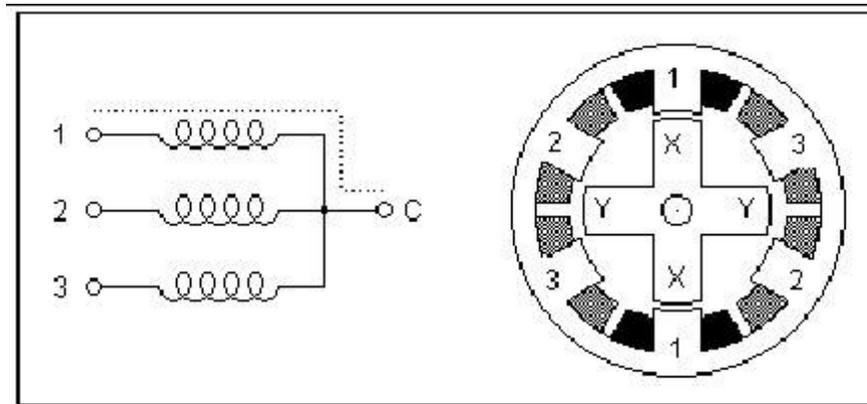


Figura 12 - Motor de passo bipolar de relutância variável
 Fonte: SOUZA, 2004

Considerando um outro motor de passo de 4 pólos (ver Figura 13a e 13b), se os pólos eletromagnéticos do estator forem ativados de modo que o pólo 3 seja N (norte magnético) e o pólo 1 S (sul magnético), então o alinhamento do rotor será como ilustrado na Figura 13a. Se o estator for alimentado de modo que o pólo 4 seja N e o pólo 2 seja S, o rotor fará um giro de 90° no sentido horário conforme Figura 13b.

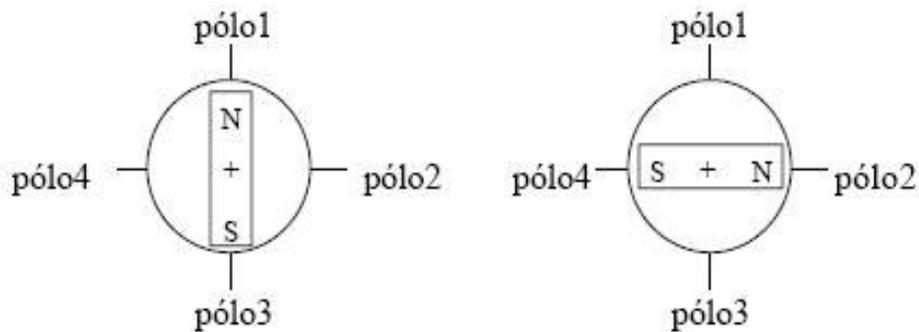


Figura 13a e 13b - Funcionamento de um motor de passo de 4 pólos
 Fonte: Autor

Os motores de passo são bastante utilizados tendo em vista a precisão que eles oferecem. Pode-se dizer que vai desde o controle de máquinas industriais até pequenas demonstrações em cursos de robótica. Algumas vantagens destes motores em relação aos demais estão no tamanho e custo reduzidos. Apresentam pouco desgaste e o motor dispensa realimentação. [FITZGERALD, AE, 1975]

As Figuras 14 e 15 mostram o motor de passo utilizado no protótipo. Trata-se de um motor unipolar com passos pré-definidos de 7.5°. Este motor foi adquirido em uma loja de manutenção de impressoras, fazendo parte do mecanismo de uma impressora matricial já sucateada. Para que o seu funcionamento seja possível, é necessário uma fonte de alimentação de

12V. Informações de como este motor de passo será acionado estão documentadas no item 3.3 - O Controle do Motor de Passo.



Figura 14 - Motor de passo utilizado no protótipo (foto frontal)
Fonte: Autor

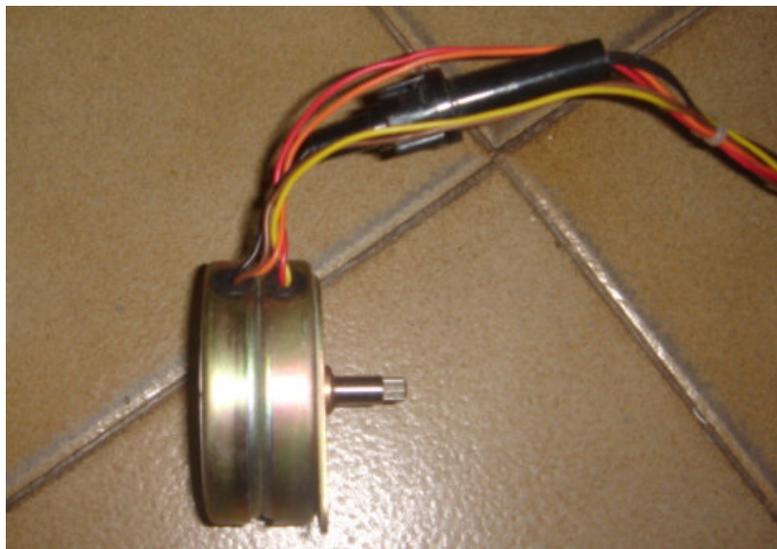


Figura 15 - Motor de passo utilizado no protótipo (foto lateral)
Fonte: Autor

3. Desenvolvimento e Funcionamento do Protótipo

Na Figura 16 é ilustrada a idéia inicial do projeto, mostrando em um primeiro momento a estrutura a ser desenvolvida.

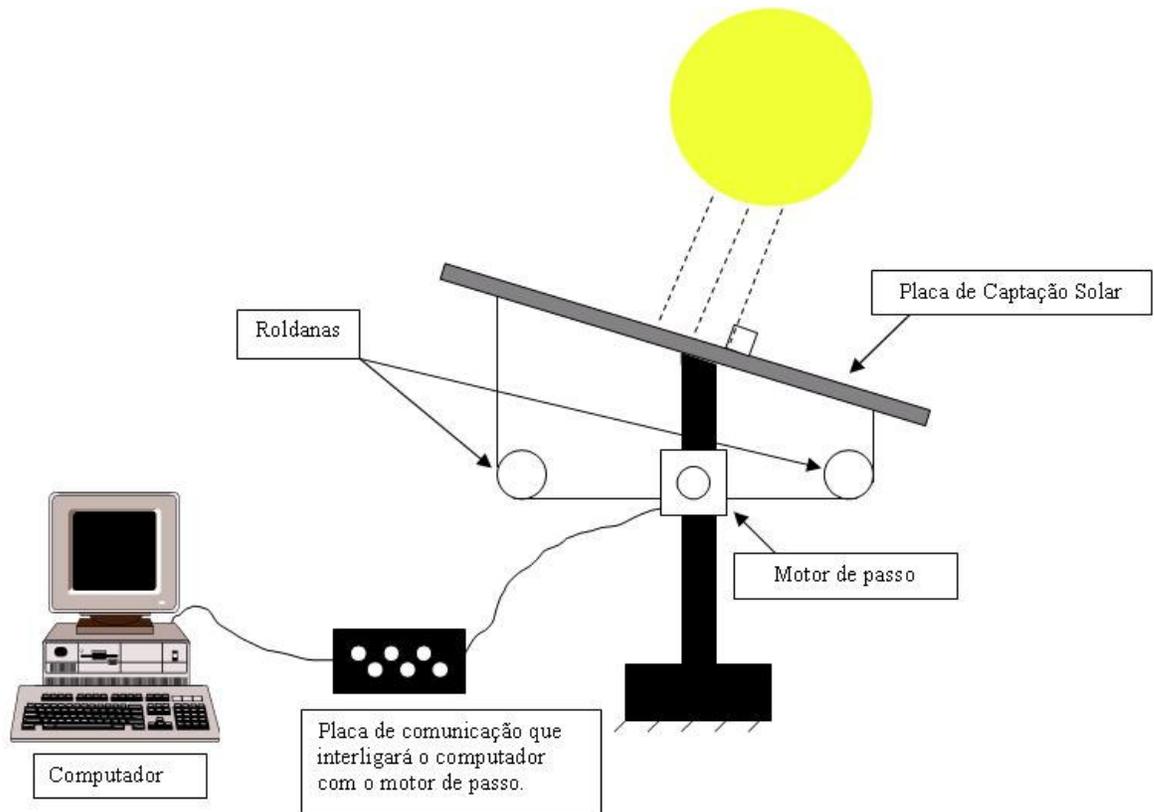


Figura 16 - Desenho inicial do protótipo

Fonte: Autor

3.1. A Movimentação Solar

Conforme já citado no referencial teórico, o movimento solar é bastante complexo, sendo necessário um estudo aprofundado a fim de coletar dados que permitam o mapeamento do curso do sol ao longo dos dias e meses do ano, já que o movimento de translação influencia diretamente nos horários de nascente e poente do sol. Este item aborda o posicionamento do sol e

o estudo que será utilizado de base para o desenvolvimento da lógica de programação e montagem da maquete.

Com base em estudos já realizados na área de astronomia, é possível afirmar que a duração do dia varia de acordo com a época do ano e do lugar escolhido no globo terrestre. Para que seja possível mapear o curso do sol é necessário o estudo de uma determinada região. Alguns estudos relacionados à implantação de coletores solares fixos podem ser encontrados em centros de pesquisa ou mesmo na internet. Pode-se tomar como exemplo o Centro de Pesquisa CRESESB, em um estudo que considera o hemisfério sul. Nesta região o sistema de captação solar deve estar orientado para o norte geográfico, de modo que a captação dos raios solares seja maximizada durante o ano. Ainda assim o coletor deve ser colocado com uma inclinação em relação à horizontal, fazendo um ângulo próximo à latitude do local. Para as regiões próximas a linha do equador, o melhor posicionamento das placas deve ser na horizontal. [CRESESB, 1999]

O foco do estudo do projeto foi o Distrito Federal. Inicialmente foram coletadas a latitude⁷ e longitude⁸ de uma área dentro de Brasília, 15,78°S 47,91°W respectivamente. O local fica próximo ao memorial JK, a aproximadamente 530 metros (lado norte) da pista do Eixo Monumental no sentido da rodoferroviária. Na Figura 17 é ilustrado o local exato das coordenadas utilizadas no estudo.

7 - Distância, medida em graus, a partir do equador terrestre até o paralelo do observador, na direção Norte-Sul. A latitude pode ser N ou S.

8 - Ângulo formado entre o meridiano de Greenwich na Inglaterra e o meridiano do observador, na direção Leste-Oeste. A longitude pode ser E ou W.



Figura 17 - Latitude e longitude utilizadas no estudo
Fonte: Google Earth

Baseado nas coordenadas representadas na Figura 17, foi possível contatar a Faculdade de Agronomia da (UFMT), na pessoa do professor Henrique Serra, que ofereceu através de um *software* os horários da nascente e poente do sol para o ano de 2006. Este *software* é utilizado para estimativas em postos de observação. No *Moonrise* versão 3.5 32-bit, a entrada do programa é baseada nas coordenadas de latitude e longitude, e o resultado são Tabelas que fornecem uma estimativa da hora da nascente, apogeu e poente do sol e da lua. A Tabela 2 apresenta estes dados para o sol no mês de outubro de 2006, obtidos com base na latitude e longitude, $15,78^{\circ}\text{S}$ $47,91^{\circ}\text{W}$, dois horários de nascente e poente podem ser observados, um considerando o crepúsculo solar e outro desconsiderando o mesmo.

As Tabelas com os dados dos outros meses de 2006 e suas respectivas médias de nascente do sol que serão utilizados no desenvolvimento do *software* de controle do motor de passo podem ser encontradas no Anexo A.

Tabela 2 - Dados da nascente e poente do sol para outubro de 2006

Fonte: Software Moonrise

Outubro					
Horários do Sol					
Dia	Crep.	Nasc.	Apogeu	Pôr	Crep.
1	5:33	5:54	12:01	18:09	18:30
2	5:32	5:54	12:01	18:09	18:30
3	5:31	5:53	12:01	18:09	18:30
4	5:30	5:52	12:00	18:09	18:30
5	5:30	5:51	12:00	18:09	18:31
6	5:29	5:51	12:00	18:09	18:31
7	5:28	5:50	11:59	18:09	18:31
8	5:27	5:49	11:59	18:10	18:31
9	5:27	5:48	11:59	18:10	18:31
10	5:26	5:48	11:59	18:10	18:32
11	5:25	5:47	11:58	18:10	18:32
12	5:25	5:46	11:58	18:10	18:32
13	5:24	5:46	11:58	18:10	18:32
14	5:23	5:45	11:58	18:11	18:32
15	5:22	5:44	11:57	18:11	18:33
16	5:22	5:44	11:57	18:11	18:33
17	5:21	5:43	11:57	18:11	18:33
18	5:20	5:42	11:57	18:11	18:33
19	5:20	5:42	11:57	18:12	18:34
20	5:19	5:41	11:56	18:12	18:34
21	5:19	5:41	11:56	18:12	18:34
22	5:18	5:40	11:56	18:12	18:35
23	5:17	5:39	11:56	18:13	18:35
24	5:17	5:39	11:56	18:13	18:35
25	5:16	5:38	11:56	18:13	18:35
26	5:16	5:38	11:56	18:14	18:36
27	5:15	5:37	11:56	18:14	18:36
28	5:15	5:37	11:55	18:14	18:37
29	5:14	5:36	11:55	18:15	18:37
30	5:14	5:36	11:55	18:15	18:37
31	5:13	5:35	11:55	18:15	18:38
	Med	5:44			

Outros dados obtidos estão relacionados ao deslocamento angular do sol de leste a oeste e a intensidade solar ao longo do dia. O sol, após o seu nascimento têm incrementos de 15° a cada hora, adotando valores positivos para o período da manhã com zero às 12:00h e valores negativos no período da tarde. Considerando o dia 6 de outubro de 2006, destacado na Tabela 2, o sol nasce às 5:51h e se põe às 18:09h (esses horários desconsideram o crepúsculo solar⁹), totalizando o período de exposição do sol tem-se aproximadamente 12h, o que gera um

9 - São os instantes em que o céu próximo ao horizonte no poente ou nascente toma uma cor *degradée*, entre o azul do dia e o escuro da noite. Normalmente acontecem no instante em que o Sol nasce ou se põe, encontra-se logo abaixo da linha do horizonte marítimo.

deslocamento de 180° de leste a oeste. Ainda utilizando o dia 6 como exemplo, tem-se o período de maior incidência de radiação solar no horário de 12:00h, horário em que o sol está no seu apogeu. O período estabelecido para a movimentação da estrutura desenvolvida está compreendido entre os horários de maior incidência solar ao longo do dia, 9:51h e as 16:51h, buscando tornar o ângulo de incidência solar o mais próximo de 90°, adquirindo assim a máxima absorção de luz solar. [CRESESB, 1999]

Com posse de informações acerca do movimento do sol, é possível desenvolver uma lógica de programação e em seguida um *software* que controle a placa coletora solar de forma que a mesma siga o curso do sol maximizando a coleta de radiação. Os horários de nascente do sol são utilizados como parâmetros para o desenvolvimento do *software*. Os incrementos de 15° referenciados no texto, também são utilizados para que o movimento da placa seja o mais preciso possível. Outras informações relevantes, no que diz respeito ao posicionamento inicial da placa também estão presentes no projeto.

Conforme já citado, o desenvolvimento do protótipo prevê o desenvolvimento de uma estrutura que acompanhe o movimento do sol. Considerando a Figura 18, têm-se a representação do posicionamento da placa para o mês de outubro de 2006.

Antes das 9:44h, a placa irá permanecer estática em sua posição inicial. Já a partir das 10:44h, a placa rotacionará com incrementos de 15° a cada hora até alcançar o horário de 16:44h, onde ela para de se movimentar. Quando a hora do dia for 18:44h, a placa retornará à sua posição inicial aguardando o início do próximo dia para que então o ciclo se repita.

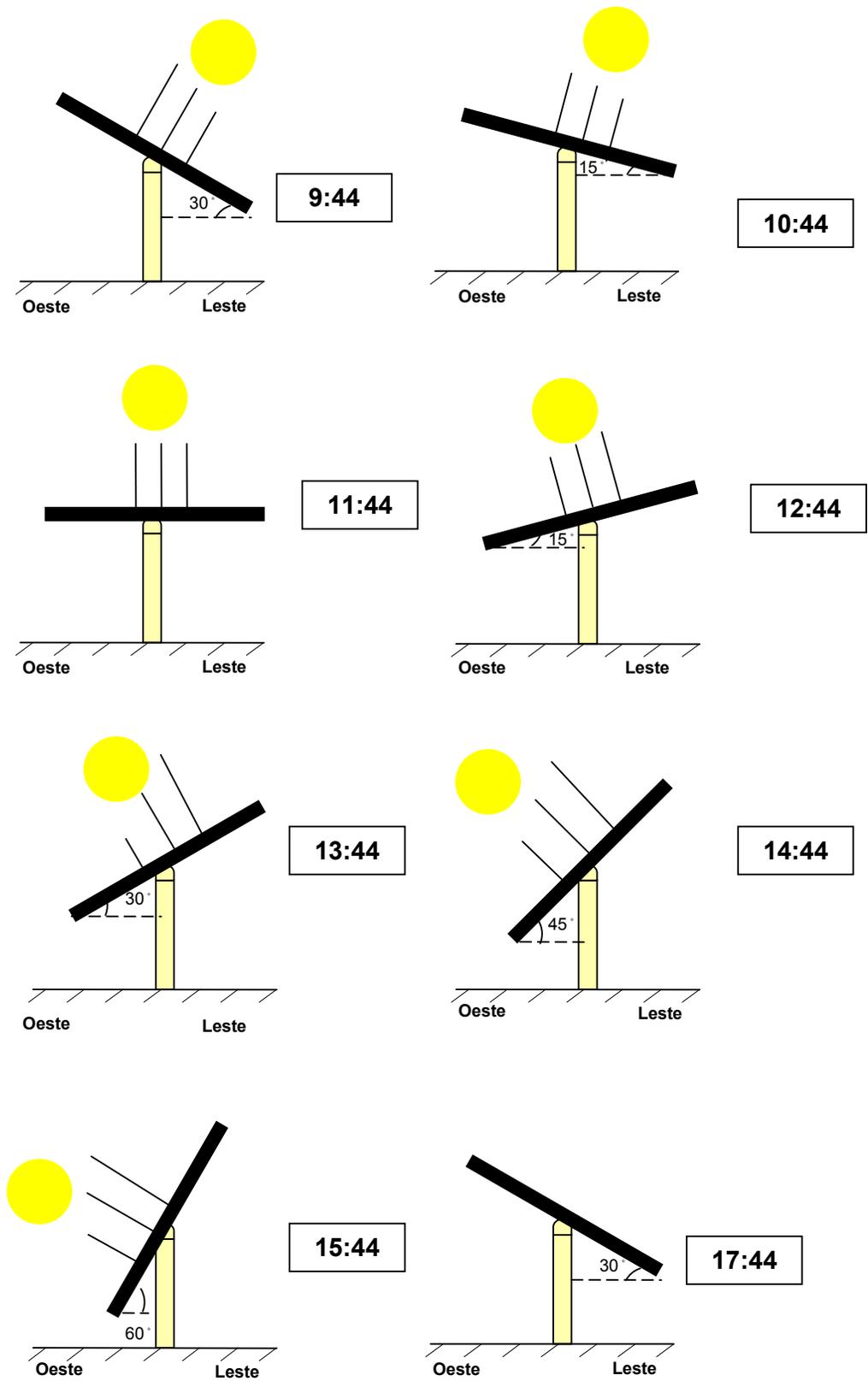


Figura 18 - Exemplo da movimentação da placa baseado no horário de nascimento do sol
 Fonte: Autor

3.2. A Lógica de Programação

A lógica de programação utilizada para o desenvolvimento do *software*, que controla o motor de passo fazendo com que a placa coletora solar se movimente, é baseada nos dados coletados durante a pesquisa. Dados como a hora da nascente do sol, a movimentação solar de leste a oeste e o período de maior incidência solar sobre a Terra.

A idéia do programa é que o motor se movimente em determinados momentos do dia, associados à data e hora do sistema (computador). Utilizando as informações da movimentação em graus do sol a cada hora, duas funções estão implementadas no sistema, uma que rotaciona o motor a cada hora, 15° no sentido oeste, e uma que rotaciona o motor 90° sentido leste. Esta última é acionada próximo ao horário de 18:00h da tarde, deixando a placa na sua posição inicial pronta para captar a radiação do dia seguinte. Esse ciclo irá se repetir em todos os dias.

Outras considerações feitas no desenvolvimento do *software* foi quanto a exposição do sol durante o dia e a hora de nascimento do sol a cada mês. Com as Tabelas geradas pelo *software Moonrise* para todos os dias do ano de 2006, foi realizada uma média da nascente do sol a cada mês, resultando um valor que será utilizado como parâmetro para o ciclo de movimentação da placa. Tendo em vista que o período de maior incidência solar está próximo aos horários de 10:00h da manhã e 16:00h da tarde, o movimento da placa está compreendido entre esses horários, maximizando a captação de radiação. Na Figura 19 é apresentado o fluxograma detalhado do sistema. Em seguida cada estrutura é comentada passo a passo, visando o entendimento da lógica desenvolvida.

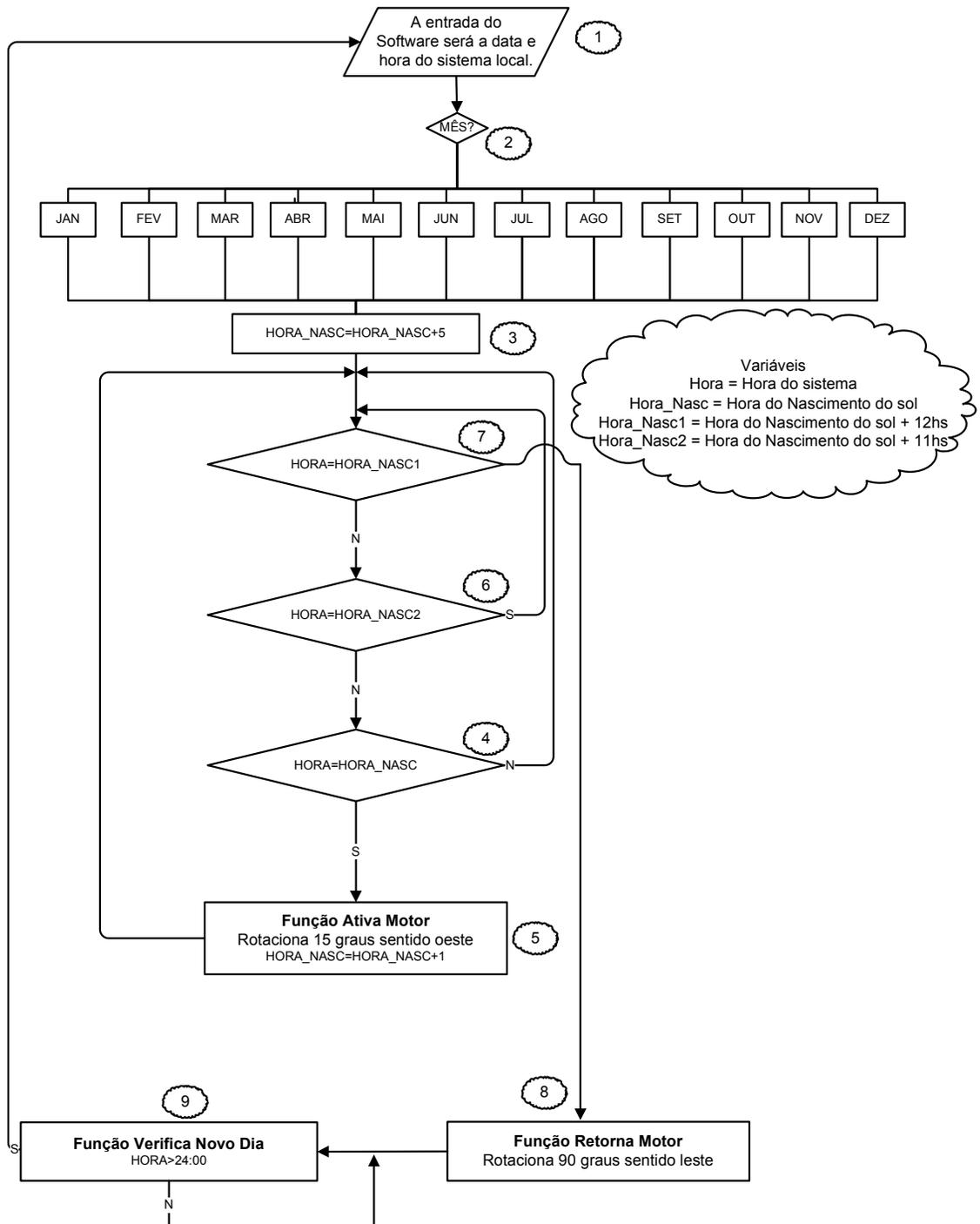


Figura 19 - Fluxograma do sistema de controle do motor de passo

Fonte: Autor

O fluxograma foi desenvolvido utilizando quatro variáveis, são elas:

- Hora do Sistema - Hora do computador onde o software desenvolvido será instalado.

- Hora_Nasc - Hora resultante do nascimento do sol em um determinado mês. Os horários estão previamente definidos dentro do programa (média das nascentes colhidas pelo software *Moonrise*).
- Hora_Nasc1 - Trata-se de uma flag para controle do software.
- Hora_Nasc2 - Trata-se de uma outra flag.

Abaixo o detalhamento do fluxograma apresentado na Figura 19.

1 - A primeira estrutura apresenta a entrada do programa, que é dada pela data e hora do sistema (computador). Estes dados vão tratados ao longo do fluxo do programa.

2 - A segunda estrutura apresenta uma condição para cada mês do ano. Dependendo do mês, a hora do nascimento do sol vai variar com horários pré-definidos. Estes valores servirão de base para toda a movimentação da placa durante o dia.

3 - Após a variável Hora_Nasc ser alimentada com o horário do nascimento do sol no mês corrente, este tem um incremento de mais 5 horas. Isso porque a primeira rotação da placa vai ser realizada por volta de 11:00h da manhã.

4 - A estrutura 3 apresenta a comparação da variável Hora_Nasc com a hora do sistema. Essa estrutura fica em loop até que a condição seja satisfeita e os próximos passos entrem em execução.

5 - A função ativa motor rotaciona o motor 15° sentido oeste toda vez que a condição 4 é satisfeita, após a movimentação da placa a hora nascimento é incrementada de mais uma hora, entrando novamente em loop, tornando possível novas interações com a estrutura 4, até que as estruturas 6 e 7 sejam satisfeitas.

6 - A condição 6 contém uma validação entre a hora do sistema e a variável Hora_Nasc1 (variável pré definida no sistema), esta estrutura é validada no início de cada dia e toda vez que a condição 4 for satisfeita. Esta condição prevê que entre o horário de 17:00h e 18:00h a placa permaneça parada com o intuito de obter a máxima captação solar no período da tarde.

7 - A condição 7 representa o final do acompanhamento do sol durante o dia. Nesta estrutura é feita uma comparação da hora do sistema com a Hora_Nasc2 (variável pré definida no sistema).

8 - Quando a condição 7 for satisfeita, então a função retorna motor é ativada, essa função irá rotacionar o motor 90°, colocando a placa na sua posição inicial, deixando a mesma preparada para coleta de radiação solar do dia seguinte.

9 - Por fim a função verifica novo dia, valida o horário corrente do sistema quando este for maior que 24:00h. Então, tem-se um novo dia e o programa é novamente iniciado, as variáveis são limpas e novamente alimentadas com os novos parâmetros da hora do nascimento do sol do mês corrente.

A linguagem de programação utilizada para o desenvolvimento da lógica apresentada acima foi o *Delphi*. Esta linguagem foi escolhida por oferecer uma interface de programação simples, onde em cima do desenvolvimento da interface do programa é feito o código. Esse foi um fator decisivo na hora da escolha.

Na Figura 20 é apresentada a tela do programa desenvolvido em *Delphi* responsável pela movimentação da placa de captação solar, seu nome de batismo foi *Searchun*. A sua tela apresenta, além dos botões inicia e desliga motor, outros quatro *displays*. Um com a hora local do computador que está sendo utilizado no controle da placa, um com o mês corrente do ano, outro com o horário de nascimento do sol no mês corrente. E por fim um *display* que permite monitorar os horários de movimentação do motor.

Para que o *software* pudesse se comunicar com a porta paralela do computador foi necessário utilizar um componente específico de nome *Simport* no compilador do *Delphi*, permitindo assim que o *software* pudesse referenciar o endereço da porta paralela. O código fonte do *software* desenvolvido pode ser encontrado no Apêndice A.

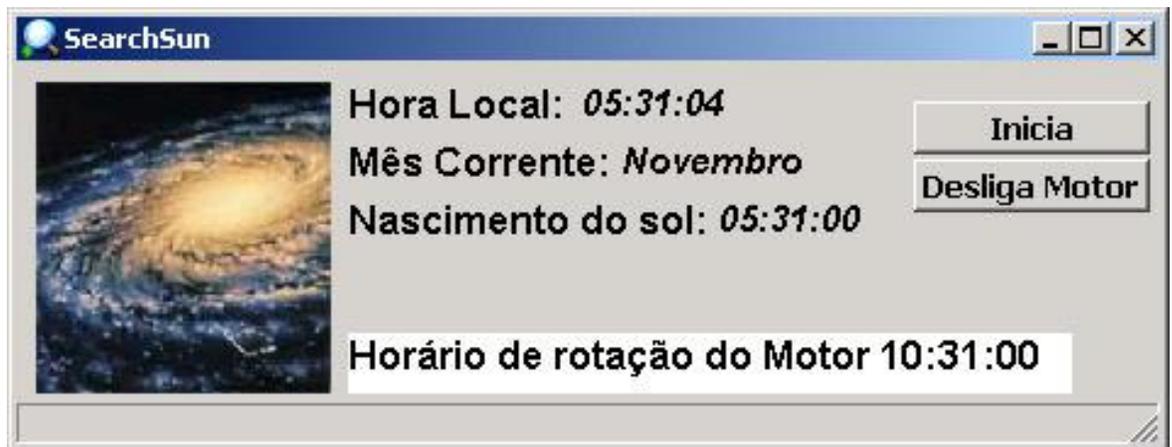


Figura 20 - Tela do programa desenvolvido em *Delphi*
Fonte: Autor

3.3. A Montagem da Maquete

Para que a montagem da maquete fosse bem sucedida, foi necessário fazer o desenho inicial de uma estrutura que permitisse que o motor de passo movimentasse a placa. Para isso foram analisadas diferentes posições das polias e do motor de passo apresentados na proposta inicial, em busca de um melhor resultado, considerando o conjunto dos principais componentes da estrutura; a placa de captação solar e o motor de passo.

O posicionamento do motor de passo junto à placa de coleta solar foi modificado, uma vez que a disposição das polias apresentadas no modelo inicial poderia prejudicar a precisão na movimentação da placa. Procurou-se então no mercado um conjunto de polias e correias que pudesse atender a necessidade do protótipo. Um conjunto se encaixou perfeitamente no projeto, este foi localizado em uma loja de venda de peças para máquinas de lavar roupas. Trata-se de um conjunto utilizado em modelos da marca Arno. Este conjunto foi adquirido e é descrito nos componentes utilizados na construção do protótipo.

Os desenhos feitos para que servissem de modelo para construção do protótipo podem ser observados nas Figuras 21, visão lateral do protótipo, e 22, visão frontal do protótipo.

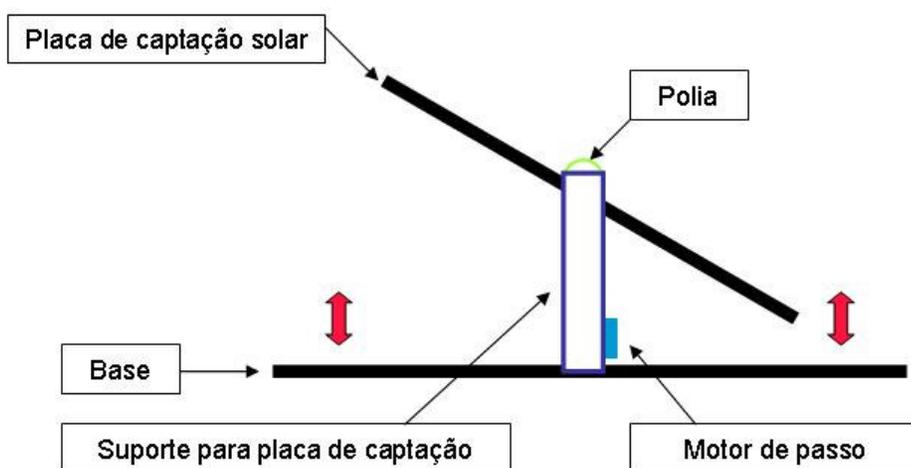


Figura 21 - Imagem final do modelo do protótipo (visão lateral)

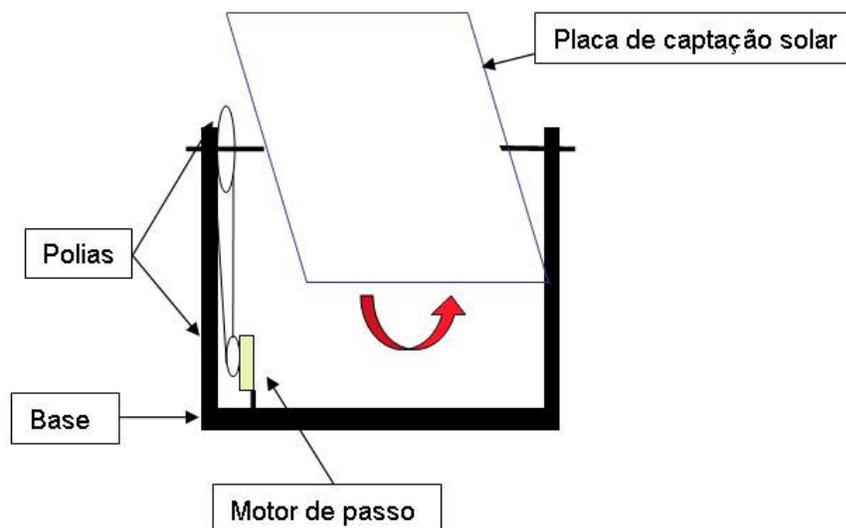


Figura 22 - Imagem final do modelo do protótipo (visão frontal)

Fonte: Autor

Após o desenho da maquete e o estabelecimento do posicionamento de todos os componentes foi necessária a pesquisa e a aquisição dos materiais. Os principais fatores observados durante a pesquisa foram os custos, a qualidade do material e, antes de qualquer coisa, se os mesmos atendiam às necessidades do projeto.

Abaixo são apresentadas as descrições, medidas e as respectivas fotos dos componentes utilizados na construção do protótipo.

- 1 Base - Madeira tipo compensado (30cm Largura / 45cm Comprimento / 1.5cm Altura).
- 1 Placa de captação solar - Madeira tipo compensado (25cm Largura / 43cm Comprimento / 1.5cm Altura).
- 2 suportes de sustentação da placa de captação solar - Madeira tipo MDF (5.2cm Largura / 20cm Comprimento / 1.5cm Altura).
- 1 Correia dentada - (43cm Comprimento / 1.3cm Largura).
- Sobras de alumínio cortadas com máquina meia esquadria dimensionados para cada peça de sustentação.
- 2 Polias (uma de 10 dentes e outra de 60 dentes).
- 2 barras roqueadas (3.16 polegadas / 13cm comprimento).
- 20 Parafusos para realizar a fixação dos componentes.
- 1 Parafuso de ajuste para prover a inclinação da altura da estrutura (Latitude do local onde a placa será instalada).

- 1 anteparo - Madeira tipo MDF - (4cm Largura / 9cm Comprimento / 1.5cm Altura).

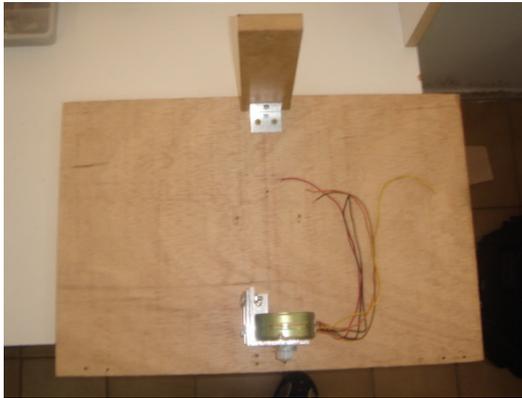


Figura 23 – Base da estrutura



Figura 24 - Placa de captação solar

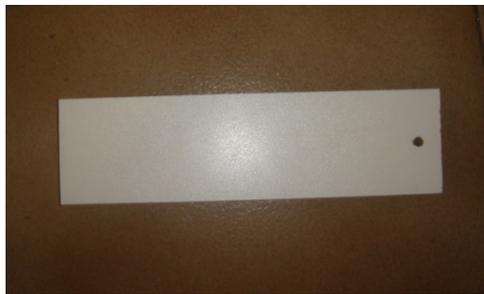


Figura 25 - Suporte de sustentação da placa de captação solar



Figura 26 - Correia dentada



Figura 27 - Sobras de alumínio dimensionado ao projeto



Figura 28 – Polia (10 dentes)



Figura 29 - Polia (60 dentes)



Figura 30 - Barra rosqueada



Figura 31 – Parafuso de ajuste



Figura 32 – Anteparo

Após a aquisição e dimensionamento de todos os materiais necessários, foi dado início a fase de montagem da estrutura. O primeiro passo foi a fixação das colunas de suporte da placa de captação solar, feitas pela parte inferior da base com o uso de parafusos. A realização dos furos no suporte para que as barras rosqueadas dessem sustentação à placa coletora solar também foram feitos neste momento.

Em seguida as barras rosqueadas foram fixadas na placa de captação solar com a utilização de parafusos fixados na parte inferior da placa, já que estes ofereceram uma boa qualidade na fixação das barras para que em seguida fossem encaixadas nos furos realizados nos suportes.

Uma observação interessante, fazendo referência ao material utilizado nas colunas de sustentação da placa de captação solar. Estas tiveram que ser diferentes do compensado, material utilizado para fazer a base e a placa de captação solar da estrutura. Foi necessário o uso

de um material mais resistente, pois nas tentativas iniciais com o tipo compensado eles acabaram trincando durante a fixação dos parafusos pela parte inferior da base. O material MDF, apesar de ainda apresentar fissuras, atendeu à necessidade do projeto.

Depois da realização do procedimento apresentado acima, veio a parte da instalação do motor de passo com o objetivo de permitir que o conjunto de polias e correias pudessem se movimentar. Conforme previsto nos desenhos do protótipo Figuras 21 (visão frontal) e 22 (visão lateral), o mesmo estaria fixado na parte inferior de uma das colunas de sustentação da placa de captação solar. Para que isso fosse possível, foi necessário o uso de pedaços de alumínio dimensionados, deixando o motor suspenso sem contato com a base da placa. Uma das polias (a maior) foi fixada na placa de captação solar com o uso de dois parafusos, e a menor, foi acoplada diretamente no rotor do motor de passo. Esta última polia reflete o movimento realizado pelo motor de passo, transferindo a movimentação para a polia instalada junto à placa de captação solar por intermédio da correia dentada utilizada.

Muitas dificuldades apareceram no momento de fixação das polias e do motor de passo, pois algumas tentativas foram feitas sem sucesso, já que em todas elas o conjunto de polias não estava ficando firme junto à correia dentada, impedindo que houvesse a tração necessária para a movimentação da placa.

Sendo assim, foi necessário o uso de um pedaço de alumínio intermediário, que permitisse um ajuste entre o suporte do motor de passo e a base de sustentação do motor. Conseguiu-se então uma posição que fornecesse uma tração perfeita entre as duas polias.

Para que o protótipo fosse finalizado faltava apenas mais um passo. Este foi feito com o uso de um único parafuso, fixado na base da estrutura próximo a um dos suportes da placa de captação solar, sendo este o responsável pela inclinação da placa de acordo com a latitude do lugar onde a mesma será instalada, estando a estrutura orientada para o norte geográfico, conforme apresentado no item 3.1 - A movimentação solar. Para o caso do estudo realizado no projeto, a mesma deve ter uma inclinação de 15° , ângulo próximo da latitude de Brasília. Com o auxílio de um transferidor foi possível obter essa angulação e ajustar o parafuso para que a necessidade fosse atendida.

O transferidor também foi utilizado nos testes preliminares para ajuste da posição inicial da placa de coleta solar. Esta posição foi bem ajustada, visando deixar a placa inclinada 30° no sentido leste posição onde a mesma deve estar próximo ao horário de 10:00h da manhã. Após o estabelecimento dessa posição, um anteparo de madeira foi colocado fixado a base do protótipo com o auxílio de uma peça de alumínio e um parafuso, de forma que a posição inicial da placa seja sempre a mesma.

As Figuras 33 e 34 apresentam o resultado final da montagem da maquete.

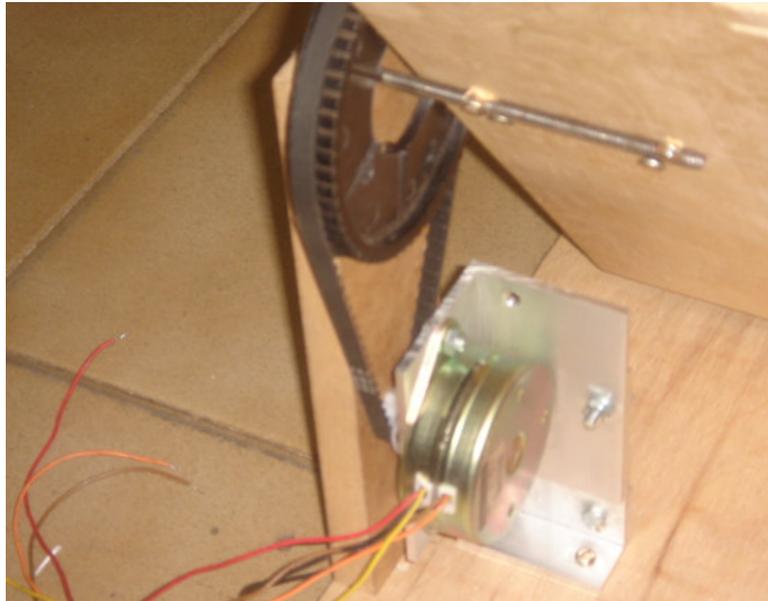


Figura 33 - Resultado final da montagem (suporte motor de passo)
Fonte: Autor



Figura 34 - Resultado final da montagem (estrutura completa)
Fonte: Autor

3.4. O Controle do Motor de Passo

Para que o motor de passo pudesse ser controlado, de acordo com a necessidade deste trabalho, foram necessários, o desenvolvimento de um *software* já discutido no item 3.2, e um circuito que permitisse este software interagir com o motor de passo, transformando os sinais enviados pelo computador em pulsos elétricos, viabilizando assim o movimento do motor.

Neste item têm-se todos os componentes utilizados na montagem do circuito. Será discutido também, como o motor de passo será acionado, ou seja, como as bobinas serão alimentadas de forma a rotacionar o motor de passo nos horários previstos. E por fim uma última abordagem, como será realizada a comunicação entre o computador e o circuito utilizando a porta paralela para a comunicação.

Conforme já discutido na seção 2.3, os motores de passo são muito utilizados em equipamentos que necessitam de uma precisão considerável em seus movimentos, é o caso de impressoras e scanners. Sabendo que estes motores são utilizados em equipamentos de impressão, o motor de passo utilizado no projeto foi adquirido junto a uma loja de manutenção de impressoras. Este estava em uma impressora matricial já inutilizada.

O motor adquirido é um dos muitos modelos existentes no mercado. Sendo o seu funcionamento semelhante aos demais motores, baseando-se na alimentação das bobinas para se obter o movimento.

A forma como o motor deve ser controlado depende muito da aplicação do projeto. Alguns fatores comuns aos motores de passo devem ser levados em consideração. É o caso da velocidade, torque e precisão. Alguns outros fatores não menos importantes também devem ser observados. Trata-se das características intrínsecas de cada tipo de motor de passo como: a tensão de alimentação, a máxima corrente elétrica suportada nas bobinas, o grau de precisão de cada motor, entre outros. Das características citadas, as principais são a tensão de alimentação e a máxima corrente elétrica suportada nas bobinas.

O motor de passo utilizado no projeto necessita de uma fonte de alimentação de 12V e uma corrente de 340mA. A corrente citada foi calculada utilizando a lei de Ohm onde, a resistência de cada bobina do motor de passo é conhecida, da ordem de 36Ω. Esta corrente deve ser considerada na hora de dimensionar o circuito de controle do motor.

$$V=R.I$$

[EQ 3]

Onde:
V - É a tensão medida em Volts.
R - É a resistência do circuito medida em Ohms.
I - É a intensidade da corrente medida em Ampères.

Abaixo são apresentados os 3 estados que os motores de passo podem operar; são eles:

Desligado - Quando não há alimentação no motor de passo, ou seja, não há consumo de energia e todas as bobinas estão desligadas.

Parado - Onde pelo menos uma das bobinas fica energizada, porém o motor permanece estático preparado para a necessidade de movimentação. Nesse caso há consumo de energia.

Rodando - Nesse caso as bobinas estão energizadas em intervalos de tempo pré-determinados (*software* ou *hardware*), impulsionando o motor a girar em uma posição.

Dos estados mencionados acima no projeto o motor de passo permanecerá em dois deles, parado ou rodando. Para o controle do motor foi adotado o método *full-step*, onde duas bobinas são energizadas por vez. Esse método quando utiliza a alimentação de duas bobinas oferece um torque e uma velocidade superior quando comparado à energização de uma bobina por vez.

Para o acionamento do motor de passo utilizado no projeto foi desenvolvido um circuito, também conhecido por *driver*¹⁰. Na Figura 35, pode ser observada a disposição e ligações dos componentes utilizados no seu desenvolvimento. Adiante o circuito será documentado.

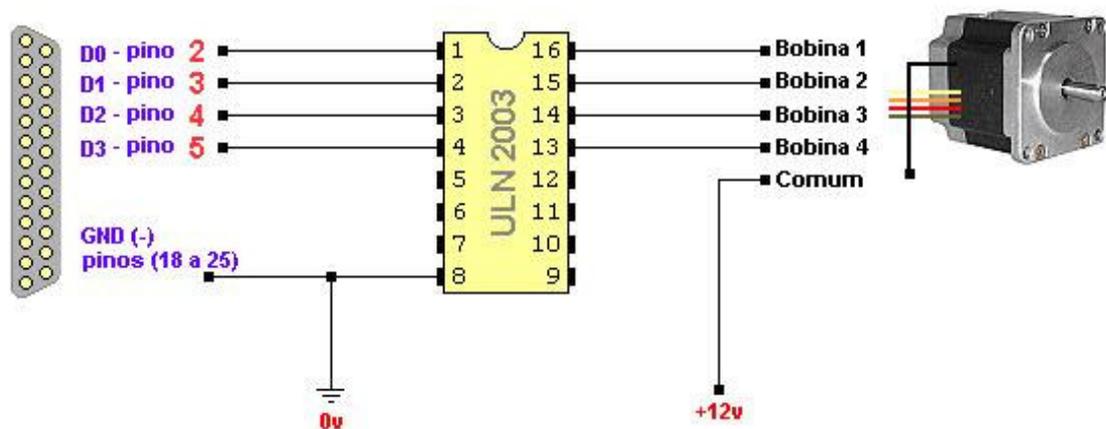


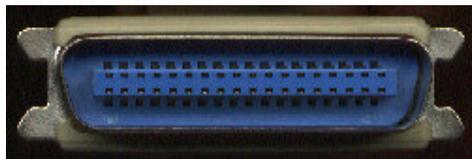
Figura 35 - Disposição dos componentes utilizados no circuito
Fonte: ROGERCOM, 1999

10 - Dispositivo de *hardware* ou programa que controla ou regula outro dispositivo.

A Figura 35 apresenta todas as ligações necessárias para que o circuito funcione como desejado. Para o seu funcionamento é necessária uma alimentação de 12V operando com no máximo 500mA, uma fonte com as características mencionadas foi adaptada ao circuito para que o mesmo funcionasse. O CI¹¹ ULN2003 é o principal componente do circuito, já que este oferece a interface necessária para controlar motores de passo e muitos outros dispositivos como reles¹² e solenóides¹³. Este componente é capaz de controlar correntes de até 500mA. No caso do motor de passo utilizado no projeto, conforme já comentado, ele consome uma corrente de 340mA, estando abaixo do limite do CI.

O ULN2003 oferece um total de 7 entradas e 7 saídas. No caso do projeto foram necessárias apenas quatro delas, tanto para a entrada quanto para a saída do CI. Os pinos de entrada 1, 2, 3 e 4 estão ligados aos pinos, 2, 3, 4 e 5 da porta paralela estes no conector fêmea do cabo paralelo, de onde vêm os sinais do computador para acionamento do motor. Os fios de saída dos sinais enviados pelo computador na porta paralela, foram identificados de acordo com a documentação da pinagem do conector (ver Figura 36).

Ainda de acordo com a documentação do conector fêmea da porta paralela, os pinos 18, 19, até o 25, devem estar ligados ao terra do circuito. Um pino CI ULN2003 também deve estar conectado ao terra, o pino 8.



11 - Abreviação de circuito integrado. Um componente que hospeda um ou mais circuitos completos com um grande número de componentes internos, com objetivo de redução de tamanho e melhor performance. [Glossário do Setor Elétrico]

12 - Dispositivos elétricos destinados a produzir modificações súbitas e predeterminadas em um ou mais circuitos elétricos de saída, quando certas condições são satisfeitas nos circuitos de entrada que controlam o dispositivo. [Glossário do Setor Elétrico]

13 - Fio metálico enrolado em hélice sobre um cilindro, e que, percorrido por uma corrente, cria um campo magnético comparável ao de um ímã. [Glossário do Setor Elétrico]

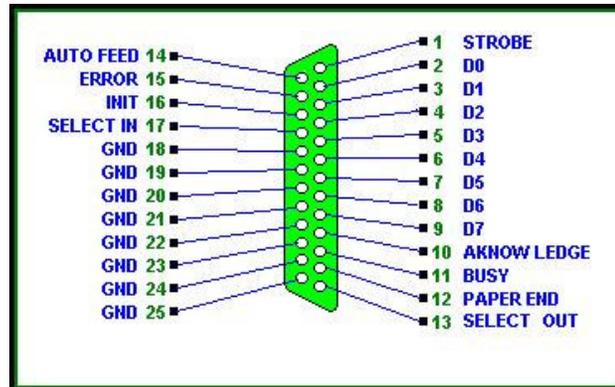


Figura 36 - Pinagem do conector fêmea do cabo paralelo
Fonte: ROGERCOM, 1999

Dando continuidade ao desenvolvimento do circuito, foi necessário identificar os fios do motor de passo utilizado no projeto. Este é composto por seis fios, onde quatro deles são utilizados para controlar a energização de cada bobina, e os demais são considerados comuns (Figura 37), ou seja, a resistência nesses fios é infinita. Após a localização desses fios com o auxílio do multímetro¹⁴, estes foram interligados formando um único fio comum.

Para que a interligação do motor de passo fosse feita com o circuito, foi utilizado um cabo flat de cinco fios onde quatro deles estão associados a uma saída do CI ULN2003, pinos 13, 14, 15 e 16 e o fio comum foi ligado diretamente a fonte de 12V.

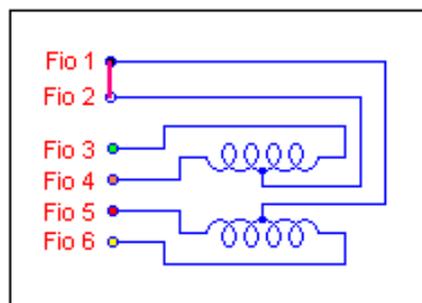


Figura 37 - Interligação dos fios comuns no motor de passo

Na Figura 38 é mostrado o resultado final do circuito montado na protoboard de 60x14 pinos. O cabo flat, o CI ULN2003 e todas as demais ligações realizadas podem ser visualizadas no detalhe.

14 - Instrumento analógico ou digital que serve para efetuar diversas medições elétricas. [Glossário do Setor Elétrico]

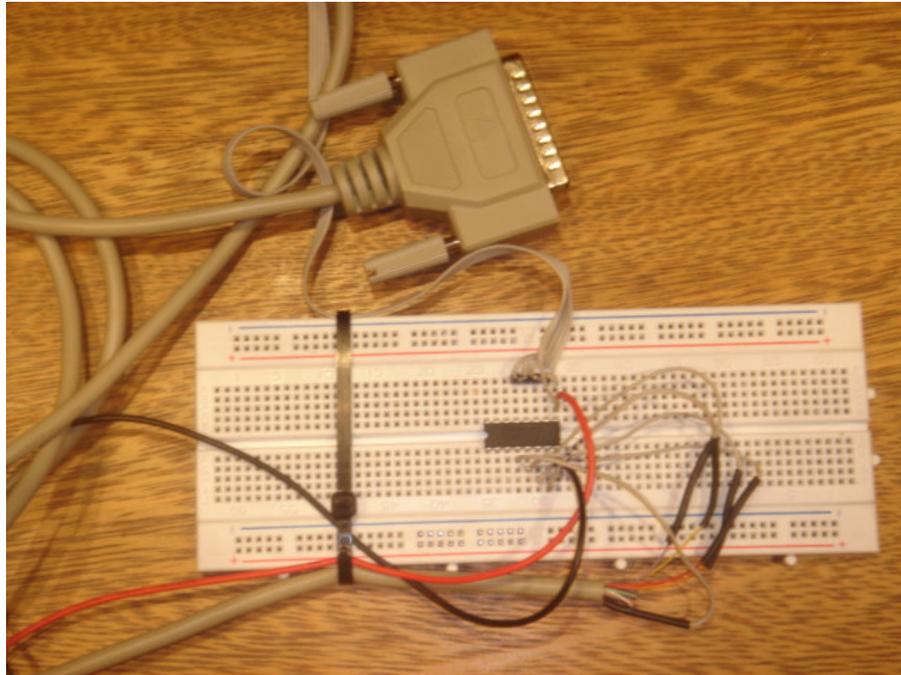


Figura 38 - Resultado final do circuito

Fonte: Autor

Com o circuito finalizado, faltava apenas o acionamento do motor de passo pelo *software* feito em *Delphi*. Para isso foram necessários vários testes de acionamento do motor. O principal foco desses testes estava relacionado a energização de cada bobina do motor. Como essas deveriam ser energizadas para obter o movimento de 15° da placa de captação solar?

Com a posição inicial já coletada em testes preliminares realizados anteriormente, 30° orientado a leste. A idéia era rotacionar o motor 30° oeste, colocando a placa paralela ao solo, calculando assim, o número de passos necessários para obter essa angulação. De posse desse número, bastava dividir esse valor por dois obtendo assim o número de passos necessários para a movimentação de 15° . Uma outra informação importante que também foi utilizada como parâmetro no cálculo dos passos, foi que para que o motor realizasse 360° , uma volta, seria necessário o envio de 48 passos ($360^\circ/7.5^\circ$).

Seguindo os princípios acima, as seguintes conclusões puderam ser obtidas. Para que o motor gerasse uma rotação de 30° na placa, foram necessários o envio de 24 pulsos para motor de passo, totalizando 180° de rotação no motor. Conclui-se assim que o motor deveria ter $24/2 = 12$ passos e rotacionar $180^\circ/2 = 90^\circ$ para fornecer o movimento desejado de 15° na superfície coletora solar.

Com o cálculo do número de passos concluído, as duas funções de rotacionar o motor (Figura 18) no compilador *Delphi* poderiam ser desenvolvidas, tanto a que fornece a

rotação de 15° a cada hora, quanto a que rotaciona o motor 90°, deixando a placa na sua posição inicial. A Tabela 3 apresenta a seqüência de alimentação das bobinas para que quatros passos sejam enviados do computador para o motor de passo. Vale a pena atentar para o método de operação *full-step* com a alimentação de duas bobinas a cada passo. Para o caso do motor girar no sentido oposto ao representado abaixo, é necessário inverter a alimentação das bobinas, alterando a seqüência decimal. A seqüência da Tabela 3 foi utilizada nas duas funções de controle desenvolvidas no software para controle do motor de passo.

Tabela 3 - Seqüência de alimentação das bobinas do motor
 Fonte: ROGERCOM, 1999

B3	B2	B1	B0	Decimal
1	1	0	0	3
0	1	1	0	6
0	0	1	1	12
1	0	0	1	9

Após o desenvolvimento das funções em *Delphi* com a utilização da seqüência acima, o transferidor foi novamente utilizado, com intuito de verificar cada movimentação da placa de coleta solar, verificando a coerência dos cálculos realizados.

3.5. Resultados Obtidos

Os resultados obtidos tanto na fase de pesquisa quanto na parte de desenvolvimento do protótipo foram alcançados com sucesso. A movimentação realizada pela placa foi bastante precisa, isso graças a utilização do motor de passo. Na tentativa de realização da comunicação do computador com o motor de passo utilizando a porta USB, aconteceram problemas em um momento inoportuno, onde a possibilidade de reversão do ocorrido era muito pequena, representando um grande risco na entrega do projeto (essa dificuldade está relatada no item 4.2). Tendo em vista o problema ocorrido na comunicação com a porta USB, a mesma foi realizada pela porta paralela, o que permitiu uma solução rápida, com um circuito bastante compacto e simples, exercendo as mesmas funções que a porta USB também ofereceria.

Para a idéia inicial de um projeto grande como o assunto abordado neste trabalho, o resultado obtido foi extremamente satisfatório, sendo possível ilustrar grande parte da pesquisa bibliográfica na construção do protótipo, e ainda, a identificação de muitas propostas de melhorias, permitindo no futuro a obtenção de resultados ainda mais satisfatórios.

Na Tabela 4 são apresentados os dados obtidos com experimentos utilizando a estrutura e o software de controle do motor de passo. Os dados mostram a precisão que o motor oferece. O dia considerado na medição foi 22 de novembro onde a hora de nascimento do sol prevista é 5:31.

Tabela 4 - Resultados Obtidos

Horário de Rotação	Variação Angular Esperada na Placa	Variação Angular Obtida na Placa
10:31h	15°	15°
11:31h	15°	15°
12:31h	15°	15°
13:31h	15°	15°
14:31h	15°	15°
15:31h	15°	15°
17:31h	-90°	-90°

4. Considerações Finais

4.1. Conclusões

O trabalho realizado foi extremamente prazeroso de ser desenvolvido, uma vez que na idéia inicial existiam reais limitações que poderiam impactar no desenvolvimento do projeto. No entanto, todas foram enfrentadas e vencidas ao longo das pesquisas realizadas, elas estão documentadas no item 4.2 – dificuldades encontradas.

Uma outra questão relevante foi verificar que é possível contribuir mesmo com um modelo, no tema energia elétrica, já que este tem sido muito discutido, estando o Brasil ameaçado de sofrer novos “apagões”.

O projeto conforme já comentado, teve como principal propósito a tentativa de melhorar a captação de energia, aproveitando ainda mais a energia que o sol oferece. Este ainda pode ser melhorado em alguns pontos, podendo chegar a um resultado ainda mais preciso. Propostas de melhorias identificadas ao longo do projeto podem ser encontradas no item 4.3.

Em suma os objetivos estabelecidos para o desenvolvimento do projeto foram alcançados, obtendo o resultado esperado. A Figura 39 mostra a imagem final de todo o modelo desenvolvido. Nela é possível observar o microcomputador, o circuito montado para o controle do motor adaptado sob a base da estrutura, e por fim a estrutura de movimentação da placa de captação solar.



Figura 39 - Modelo final (computador, circuito e estrutura)
Fonte: Autor

4.2. Dificuldades Encontradas

Por envolver diversos estudos várias dificuldades foram encontradas ao longo do desenvolvimento deste trabalho. Antes de qualquer coisa foram necessárias pesquisas no sentido de localizar especialistas em estudos solares a fim de esclarecer dúvidas sobre o comportamento do movimento do sol, e a sua influência nas placas solares. Foi o caso do constante contato com a engenheira Patrícia Castro Silva do CRESEB/CEPEL, feito por telefone e e-mails. Ela participou efetivamente do projeto, ajudando nos esclarecimentos de dúvidas sobre o posicionamento das placas solares, tornando possível o entendimento de como as placas devem estar posicionadas para obter a máxima captação solar.

Empecilhos no desenvolvimento da lógica de programação também foram encontrados, já que de acordo com os estudos realizados, os horários de nascimento do sol variam de acordo com o local onde se deseja observar a nascente do sol e os dias do ano. Considerando o problema acima, novas pesquisas foram necessárias para conseguir essa fonte de informação. Na internet foi possível fazer contato com um professor de agronomia da UFMT, Henrique Serra, onde através de trocas de e-mail foi possível conhecer o software *Moonrise*. Este software permite obter estimativas dos horários de nascimento, apogeu e poente do sol baseando-

se na Latitude e Longitude de um lugar qualquer. De posse das informações obtidas foi possível concluir toda a lógica de programação.

A parte considerada mais crítica do projeto foi em relação à comunicação do software com o circuito desenvolvido. Inicialmente foi realizada uma tentativa de comunicação com a porta USB do computador. Para isso foi adquirida uma placa de comunicação USB encontrada a venda no mercado eletrônico da internet, a mesma foi localizada no site www.rogercom.com, uma fatalidade ocorreu durante os testes com o circuito, a placa acabou queimando, já que uma sobrecarga a afetou inviabilizando a comunicação com a porta USB.

Neste momento duas alternativas foram visualizadas: a aquisição de uma nova placa de comunicação USB, o que implicaria um aumento substancial no custo do projeto e do tempo de espera para reaver a placa, ou desenvolver um novo circuito utilizando a porta paralela ou serial que permitisse a comunicação com o computador. A segunda alternativa foi adotada e novas pesquisas na internet mostraram a simplicidade da comunicação via porta paralela do computador, enfrentando uma única dificuldade.

Por estar usando o *Windows 2000*, o mesmo tem uma proteção, tanto na porta paralela como na serial, visando com isso aumentar a segurança do sistema, não permitindo que certos endereços sejam acessados. Para resolver esse problema foi necessário a instalação de um driver de acesso a porta sem restrições, já que nas primeiras tentativas de comunicação não foram bem sucedidas. O programa utilizado para o desbloqueio tem o nome de *UserPort*. Após a instalação do *driver* e alguns procedimentos existentes no seu tutorial de instalação a comunicação com a porta paralela foi realizada com sucesso.

Por fim, para obter o perfeito funcionamento do modelo foram realizados incansáveis testes. Durante este período, diversos ajustes fizeram-se necessário de forma a adequar o posicionamento inicial da placa. Para que então os movimentos realizados pelo motor de passo fossem mais precisos em relação aos horários e ângulos envolvidos na movimentação.

4.3. Sugestões para Trabalhos Futuros

Com o desenvolvimento da monografia e do modelo apresentado, algumas sugestões para evolução do estudo foram visualizadas, são elas:

- Melhorias na engenharia do movimento da placa de captação solar em busca de obter uma maior precisão no modelo desenvolvido. Mudanças na estrutura podem ser realizadas de forma a tornar o modelo mais próximo de uma situação real, visando principalmente a redução de peso da estrutura;
- Eliminação do uso do microcomputador para o controle da placa, um micro controlador, pode ser perfeitamente programado e utilizado no circuito, realizando as mesmas funções do microcomputador, reduzindo bastante o custo de desenvolvimento do projeto;
- Incluir na lógica de programação o deslocamento norte-sul, fazendo com que a placa realize o movimento completo do sol.
- Estudar a possibilidade e também as conseqüências de diminuir a variação angular da placa. No projeto, esta variação é de 30°. Caso opte por uma variação menor, deverá ser avaliado o custo benefício, pois será que teremos um ganho significativo de energia com um movimento menor que 30°? Deve-se levar em consideração neste estudo que quanto maior o número de movimentos que o sistema realizar, maior será o número de manutenções. O programa desenvolvido neste projeto permite esta variação angular.
- A utilização de foto sensores associados a um microcontrolador pode substituir a lógica de programação baseada em horários da nascente do sol desenvolvida neste projeto, tornando assim, um sistema de malha fechada. É necessário então, a criação de uma nova lógica baseada na captação de luz nos foto sensores, sendo responsabilidade do controle do motor de passo, o conjunto da lógica desenvolvida junto aos novos componentes adaptados na estrutura.
- Em projetos de dimensões maiores, torna-se inviável a utilização de motores de passos. Deve-se estudar a possibilidade de utilizar outros motores, como por exemplo, motor de indução (corrente alternada) utilizando o inversor de frequência como controle de velocidade.
- Realizar estudos que permitam mensurar o ganho de energia desse sistema móvel (sistema real, e não um protótipo) em relação a um sistema fixo, a fim de levantar o custo/benefício.

Referências Bibliográficas

- SILVA Roberto, 2006, *Predição da Configuração de Sombras de Árvores em Pastagens para Bovinos* (<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v26n1/30118.pdf> em 23/09/2006).
- CRESESB, 1999 (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito), *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*.
- LOCKEHEED Martin, 1997, *ATC Solar & Astrophysics Lab and Stanford University* (<http://solar-center.stanford.edu/hidden-pic/photosphere.html> em 25/09/2006).
- MORAES, Elisabeth, *Fundamentos de Sensoriamento Remoto*, INPE (http://www.dsr.inpe.br/vcsr/html/APOSTILA_PDF/CAP1_ECMoraes.pdf em 26/09/2006).
- TIPLER, Paul A, Física, *Eletricidade, Magnetismo e Ótica*, Vol 2.
- SALLES, Filipe, *Apostila de Fotografia* (<http://www.mnemocine.com.br/download/apostfoto1.pdf> em 26/09/2006).
- MASSAMBANI, Oswaldo Prof., 2005, *O Clima da Terra*, Departamento de Ciências Atmosféricas - IAG-USP (http://www.dca.iag.usp.br/www/material/omassamb/CHO-Poli/aula6_ProcFis_radiacao_atmos.pdf em 28/06/2006).
- FITZGERALD, AE, 1975, *Máquinas Elétricas*, Ed. McGRAW-HILL.
- SOUZA, Teles-Geraldo, 2004, *Controle e Automação Industrial*, Publicação, Escola Técnica Estadual, Pedro Ferreira Alves.
- CRESESBa, *Componentes da Casa Solar Eficiente* (http://www.cresesb.cepel.br/Parte_Externa.htm em 15/10/2006)
- LAFAY, J-M.S. *Análise Energética de Sistemas de Aquecimento de Água com Energia Solar e Gás*. Tese de Doutorado, PROMEC/UFRGS, Porto Alegre RS, 2005. (<http://www.solar.ufrgs.br/Teses.html> em 16/08/2006).
- LOURENÇO Jr., I. *Estudo de um Sistema de Aquecimento de Água Híbrido Gás-Solar*. Dissertação de Mestrado, PROMEC/UFRGS, Porto Alegre RS, 2001. (<http://www.solar.ufrgs.br/Teses.html> em 10/08/2006).
- ARRUDA, Laerte Bernardes. *Operação de sistemas de aquecimento solar de água com controle de vazões em coletores planos*. Tese de Mestrado, Escola Politécnica (EP), São Paulo, SP, 2004. (<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-29092004-145949> em 25/08/2006).
- ROGERCOM, *Controle de Motor de Passo Via USB usando o FT232BM no Modo BIT-BANG* (<http://www.rogercom.com/> em 15/08/2006).

Anexo A

As Tabelas abaixo foram obtidas pelo software *Moonrise*, as informações foram passadas pelo professor de Agronomia Henrique Serra da Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT). As médias da nascente do sol foram calculadas e utilizadas no software como parâmetros de entrada.

* Os horários fornecidos nas Tabelas abaixo desconsideram o horário de verão.

Tabela A-1 - Mês Janeiro

Janeiro					
Dia	Crep.	Nasc.	Apogeu	Pôr	Crep.
1	5:20	5:44	12:15	18:47	19:10
2	5:21	5:44	12:16	18:47	19:11
3	5:21	5:45	12:16	18:47	19:11
4	5:22	5:46	12:17	18:48	19:11
5	5:23	5:46	12:17	18:48	19:12
6	5:23	5:47	12:18	18:48	19:12
7	5:24	5:47	12:18	18:48	19:12
8	5:24	5:48	12:18	18:49	19:12
9	5:25	5:49	12:19	18:49	19:12
10	5:26	5:49	12:19	18:49	19:13
11	5:26	5:50	12:20	18:49	19:13
12	5:27	5:50	12:20	18:49	19:13
13	5:28	5:51	12:20	18:50	19:13
14	5:28	5:52	12:21	18:50	19:13
15	5:29	5:52	12:21	18:50	19:13
16	5:29	5:53	12:21	18:50	19:13
17	5:30	5:53	12:22	18:50	19:13
18	5:31	5:54	12:22	18:50	19:13
19	5:31	5:55	12:22	18:50	19:13
20	5:32	5:55	12:23	18:50	19:13
21	5:33	5:56	12:23	18:50	19:13
22	5:33	5:56	12:23	18:50	19:13
23	5:34	5:57	12:24	18:50	19:13
24	5:34	5:57	12:24	18:50	19:13
25	5:35	5:58	12:24	18:50	19:13
26	5:36	5:59	12:24	18:50	19:13
27	5:36	5:59	12:24	18:50	19:12
28	5:37	6:00	12:25	18:49	19:12
29	5:37	6:00	12:25	18:49	19:12
30	5:38	6:01	12:25	18:49	19:12
31	5:38	6:01	12:25	18:49	19:12
	Med	5:53			

Tabela A-2 - Mês Fevereiro

Fevereiro					
Dia	Crep.	Nasc.	Apogeu	Pôr	Crep.
1	5:39	6:02	12:25	18:49	19:11
2	5:39	6:02	12:25	18:48	19:11
3	5:40	6:03	12:25	18:48	19:11
4	5:40	6:03	12:26	18:48	19:10
5	5:41	6:04	12:26	18:48	19:10
6	5:41	6:04	12:26	18:47	19:10
7	5:42	6:04	12:26	18:47	19:09

Fevereiro					
Dia	Crep.	Nasc.	Apogeu	Pôr	Crep.
8	5:42	6:05	12:26	18:47	19:09
9	5:43	6:05	12:26	18:46	19:09
10	5:43	6:06	12:26	18:46	19:08
11	5:44	6:06	12:26	18:45	19:08
12	5:44	6:07	12:26	18:45	19:07
13	5:45	6:07	12:26	18:45	19:07
14	5:45	6:07	12:26	18:44	19:06
15	5:45	6:08	12:26	18:44	19:06
16	5:46	6:08	12:26	18:43	19:05
17	5:46	6:08	12:26	18:43	19:05
18	5:47	6:09	12:26	18:42	19:04
19	5:47	6:09	12:25	18:42	19:04
20	5:47	6:09	12:25	18:41	19:03
21	5:48	6:10	12:25	18:41	19:03
22	5:48	6:10	12:25	18:40	19:02
23	5:48	6:10	12:25	18:39	19:01
24	5:49	6:11	12:25	18:39	19:01
25	5:49	6:11	12:25	18:38	19:00
26	5:49	6:11	12:25	18:38	18:59
27	5:50	6:11	12:24	18:37	18:59
28	5:50	6:12	12:24	18:36	18:58
	Med	6:07			

Tabela A-3 - Mês Março

Março					
Dia	Crep.	Nasc.	Apogeu	Pôr	Crep.
1	5:50	6:12	12:24	18:36	18:58
2	5:50	6:12	12:24	18:35	18:57
3	5:51	6:12	12:24	18:35	18:56
4	5:51	6:13	12:23	18:34	18:56
5	5:51	6:13	12:23	18:33	18:55
6	5:51	6:13	12:23	18:33	18:54
7	5:52	6:13	12:23	18:32	18:53
8	5:52	6:13	12:22	18:31	18:53
9	5:52	6:14	12:22	18:30	18:52
10	5:52	6:14	12:22	18:30	18:51
11	5:53	6:14	12:22	18:29	18:51
12	5:53	6:14	12:21	18:28	18:50
13	5:53	6:14	12:21	18:28	18:49
14	5:53	6:15	12:21	18:27	18:48
15	5:53	6:15	12:21	18:26	18:48
16	5:53	6:15	12:20	18:25	18:47
17	5:54	6:15	12:20	18:25	18:46
18	5:54	6:15	12:20	18:24	18:45
19	5:54	6:15	12:19	18:23	18:45
20	5:54	6:16	12:19	18:22	18:44
21	5:54	6:16	12:19	18:22	18:43
22	5:54	6:16	12:19	18:21	18:42
23	5:55	6:16	12:18	18:20	18:42
24	5:55	6:16	12:18	18:19	18:41
25	5:55	6:16	12:18	18:19	18:40
26	5:55	6:16	12:17	18:18	18:39
27	5:55	6:17	12:17	18:17	18:39
28	5:55	6:17	12:17	18:16	18:38
29	5:55	6:17	12:16	18:16	18:37
30	5:55	6:17	12:16	18:15	18:37
31	5:56	6:17	12:16	18:14	18:36
	Med	6:15			

Tabela A-4 - Mês Abril

Abril					
Dia	Crep.	Nasc.	Apogeu	Pôr	Crep.
1	5:56	6:17	12:16	18:14	18:35
2	5:56	6:17	12:15	18:13	18:34
3	5:56	6:18	12:15	18:12	18:34
4	5:56	6:18	12:15	18:11	18:33
5	5:56	6:18	12:14	18:11	18:32
6	5:56	6:18	12:14	18:10	18:32
7	5:57	6:18	12:14	18:09	18:31
8	5:57	6:18	12:13	18:09	18:30
9	5:57	6:18	12:13	18:08	18:29
10	5:57	6:19	12:13	18:07	18:29
11	5:57	6:19	12:13	18:06	18:28
12	5:57	6:19	12:12	18:06	18:27
13	5:57	6:19	12:12	18:05	18:27
14	5:57	6:19	12:12	18:04	18:26
15	5:58	6:19	12:12	18:04	18:26
16	5:58	6:20	12:11	18:03	18:25
17	5:58	6:20	12:11	18:02	18:24
18	5:58	6:20	12:11	18:02	18:24
19	5:58	6:20	12:11	18:01	18:23
20	5:58	6:20	12:11	18:01	18:23
21	5:59	6:20	12:10	18:00	18:22
22	5:59	6:21	12:10	17:59	18:21
23	5:59	6:21	12:10	17:59	18:21
24	5:59	6:21	12:10	17:58	18:20
25	5:59	6:21	12:10	17:58	18:20
26	5:59	6:21	12:09	17:57	18:19
27	6:00	6:22	12:09	17:57	18:19
28	6:00	6:22	12:09	17:56	18:18
29	6:00	6:22	12:09	17:56	18:18
30	6:00	6:22	12:09	17:55	18:17
	Med	6:19			

Tabela A-5 - Mês Maio

Maio					
Dia	Crep.	Nasc.	Apogeu	Pôr	Crep.
1	6:00	6:23	12:09	17:55	18:17
2	6:01	6:23	12:09	17:54	18:16
3	6:01	6:23	12:09	17:54	18:16
4	6:01	6:23	12:08	17:53	18:16
5	6:01	6:24	12:08	17:53	18:15
6	6:02	6:24	12:08	17:52	18:15
7	6:02	6:24	12:08	17:52	18:14
8	6:02	6:24	12:08	17:52	18:14
9	6:02	6:25	12:08	17:51	18:14
10	6:03	6:25	12:08	17:51	18:13
11	6:03	6:25	12:08	17:51	18:13
12	6:03	6:26	12:08	17:50	18:13
13	6:03	6:26	12:08	17:50	18:13
14	6:04	6:26	12:08	17:50	18:12
15	6:04	6:26	12:08	17:49	18:12
16	6:04	6:27	12:08	17:49	18:12
17	6:04	6:27	12:08	17:49	18:12
18	6:05	6:27	12:08	17:49	18:11
19	6:05	6:28	12:08	17:48	18:11
20	6:05	6:28	12:08	17:48	18:11
21	6:05	6:28	12:08	17:48	18:11
22	6:06	6:29	12:08	17:48	18:11
23	6:06	6:29	12:08	17:48	18:11
24	6:06	6:29	12:08	17:47	18:10

Maio					
Dia	Crep.	Nasc.	Apogeu	Pôr	Crep.
25	6:07	6:30	12:09	17:47	18:10
26	6:07	6:30	12:09	17:47	18:10
27	6:07	6:30	12:09	17:47	18:10
28	6:08	6:31	12:09	17:47	18:10
29	6:08	6:31	12:09	17:47	18:10
30	6:08	6:31	12:09	17:47	18:10
31	6:09	6:32	12:09	17:47	18:10
	Med	6:27			

Tabela A-6 - Mês Junho

Junho					
Dia	Crep.	Nasc.	Apogeu	Pôr	Crep.
1	6:09	6:32	12:09	17:47	18:10
2	6:09	6:32	12:10	17:47	18:10
3	6:09	6:33	12:10	17:47	18:10
4	6:10	6:33	12:10	17:47	18:10
5	6:10	6:33	12:10	17:47	18:10
6	6:10	6:34	12:10	17:47	18:10
7	6:11	6:34	12:10	17:47	18:10
8	6:11	6:34	12:11	17:47	18:10
9	6:11	6:35	12:11	17:47	18:11
10	6:11	6:35	12:11	17:47	18:11
11	6:12	6:35	12:11	17:47	18:11
12	6:12	6:35	12:11	17:48	18:11
13	6:12	6:36	12:12	17:48	18:11
14	6:13	6:36	12:12	17:48	18:11
15	6:13	6:36	12:12	17:48	18:11
16	6:13	6:37	12:12	17:48	18:12
17	6:13	6:37	12:13	17:48	18:12
18	6:14	6:37	12:13	17:48	18:12
19	6:14	6:37	12:13	17:49	18:12
20	6:14	6:37	12:13	17:49	18:12
21	6:14	6:38	12:13	17:49	18:13
22	6:15	6:38	12:14	17:49	18:13
23	6:15	6:38	12:14	17:50	18:13
24	6:15	6:38	12:14	17:50	18:13
25	6:15	6:39	12:14	17:50	18:13
26	6:15	6:39	12:14	17:50	18:14
27	6:15	6:39	12:15	17:51	18:14
28	6:16	6:39	12:15	17:51	18:14
29	6:16	6:39	12:15	17:51	18:14
30	6:16	6:39	12:15	17:51	18:15
	Med	6:36			

Tabela A-7 - Mês Julho

Julho					
Dia	Crep.	Nasc.	Apogeu	Pôr	Crep.
1	6:16	6:39	12:16	17:52	18:15
2	6:16	6:39	12:16	17:52	18:15
3	6:16	6:40	12:16	17:52	18:16
4	6:16	6:40	12:16	17:53	18:16
5	6:16	6:40	12:16	17:53	18:16
6	6:16	6:40	12:16	17:53	18:16
7	6:16	6:40	12:17	17:53	18:17
8	6:17	6:40	12:17	17:54	18:17
9	6:17	6:40	12:17	17:54	18:17
10	6:17	6:40	12:17	17:54	18:18
11	6:17	6:40	12:17	17:55	18:18
12	6:17	6:40	12:17	17:55	18:18

Julho					
Dia	Crep.	Nasc.	Apogeu	Pôr	Crep.
13	6:16	6:40	12:17	17:55	18:18
14	6:16	6:40	12:18	17:56	18:19
15	6:16	6:39	12:18	17:56	18:19
16	6:16	6:39	12:18	17:56	18:19
17	6:16	6:39	12:18	17:56	18:20
18	6:16	6:39	12:18	17:57	18:20
19	6:16	6:39	12:18	17:57	18:20
20	6:16	6:39	12:18	17:57	18:20
21	6:16	6:39	12:18	17:58	18:21
22	6:15	6:38	12:18	17:58	18:21
23	6:15	6:38	12:18	17:58	18:21
24	6:15	6:38	12:18	17:59	18:21
25	6:15	6:38	12:18	17:59	18:22
26	6:15	6:37	12:18	17:59	18:22
27	6:14	6:37	12:18	17:59	18:22
28	6:14	6:37	12:18	18:00	18:22
29	6:14	6:36	12:18	18:00	18:23
30	6:14	6:36	12:18	18:00	18:23
31	6:13	6:36	12:18	18:00	18:23
	Med	6:39			

Tabela A-8 - Mês Agosto

Agosto					
Dia	Crep.	Nasc.	Apogeu	Pôr	Crep.
1	6:13	6:35	12:18	18:01	18:23
2	6:13	6:35	12:18	18:01	18:23
3	6:12	6:35	12:18	18:01	18:24
4	6:12	6:34	12:18	18:01	18:24
5	6:11	6:34	12:18	18:02	18:24
6	6:11	6:33	12:18	18:02	18:24
7	6:11	6:33	12:17	18:02	18:24
8	6:10	6:32	12:17	18:02	18:25
9	6:10	6:32	12:17	18:02	18:25
10	6:09	6:31	12:17	18:03	18:25
11	6:09	6:31	12:17	18:03	18:25
12	6:08	6:30	12:17	18:03	18:25
13	6:08	6:30	12:16	18:03	18:25
14	6:07	6:29	12:16	18:03	18:26
15	6:07	6:29	12:16	18:04	18:26
16	6:06	6:28	12:16	18:04	18:26
17	6:06	6:28	12:16	18:04	18:26
18	6:05	6:27	12:15	18:04	18:26
19	6:04	6:26	12:15	18:04	18:26
20	6:04	6:26	12:15	18:04	18:26
21	6:03	6:25	12:15	18:05	18:26
22	6:03	6:25	12:15	18:05	18:27
23	6:02	6:24	12:14	18:05	18:27
24	6:01	6:23	12:14	18:05	18:27
25	6:01	6:23	12:14	18:05	18:27
26	6:00	6:22	12:13	18:05	18:27
27	5:59	6:21	12:13	18:05	18:27
28	5:59	6:20	12:13	18:05	18:27
29	5:58	6:20	12:13	18:06	18:27
30	5:57	6:19	12:12	18:06	18:27
31	5:57	6:18	12:12	18:06	18:27
	Med	6:28			

Tabela A-9 - Mês Setembro

Setembro					
Dia	Crep.	Nasc.	Apogeu	Pôr	Crep.
1	5:56	6:18	12:12	18:06	18:28
2	5:55	6:17	12:11	18:06	18:28
3	5:55	6:16	12:11	18:06	18:28
4	5:54	6:15	12:11	18:06	18:28
5	5:53	6:15	12:10	18:06	18:28
6	5:52	6:14	12:10	18:06	18:28
7	5:52	6:13	12:10	18:06	18:28
8	5:51	6:12	12:09	18:06	18:28
9	5:50	6:12	12:09	18:07	18:28
10	5:49	6:11	12:09	18:07	18:28
11	5:49	6:10	12:08	18:07	18:28
12	5:48	6:09	12:08	18:07	18:28
13	5:47	6:08	12:08	18:07	18:28
14	5:46	6:08	12:07	18:07	18:28
15	5:45	6:07	12:07	18:07	18:29
16	5:45	6:06	12:06	18:07	18:29
17	5:44	6:05	12:06	18:07	18:29
18	5:43	6:05	12:06	18:07	18:29
19	5:42	6:04	12:05	18:07	18:29
20	5:41	6:03	12:05	18:07	18:29
21	5:41	6:02	12:05	18:08	18:29
22	5:40	6:01	12:04	18:08	18:29
23	5:39	6:01	12:04	18:08	18:29
24	5:38	6:00	12:04	18:08	18:29
25	5:37	5:59	12:03	18:08	18:29
26	5:37	5:58	12:03	18:08	18:29
27	5:36	5:57	12:03	18:08	18:30
28	5:35	5:57	12:02	18:08	18:30
29	5:34	5:56	12:02	18:08	18:30
30	5:34	5:55	12:02	18:08	18:30
	Med	6:06			

Tabela A-10 - Mês Outubro

Outubro					
Dia	Crep.	Nasc.	Apogeu	Pôr	Crep.
1	5:33	5:54	12:01	18:09	18:30
2	5:32	5:54	12:01	18:09	18:30
3	5:31	5:53	12:01	18:09	18:30
4	5:30	5:52	12:00	18:09	18:30
5	5:30	5:51	12:00	18:09	18:31
6	5:29	5:51	12:00	18:09	18:31
7	5:28	5:50	11:59	18:09	18:31
8	5:27	5:49	11:59	18:10	18:31
9	5:27	5:48	11:59	18:10	18:31
10	5:26	5:48	11:59	18:10	18:32
11	5:25	5:47	11:58	18:10	18:32
12	5:25	5:46	11:58	18:10	18:32
13	5:24	5:46	11:58	18:10	18:32
14	5:23	5:45	11:58	18:11	18:32
15	5:22	5:44	11:57	18:11	18:33
16	5:22	5:44	11:57	18:11	18:33
17	5:21	5:43	11:57	18:11	18:33
18	5:20	5:42	11:57	18:11	18:33
19	5:20	5:42	11:57	18:12	18:34
20	5:19	5:41	11:56	18:12	18:34
21	5:19	5:41	11:56	18:12	18:34
22	5:18	5:40	11:56	18:12	18:35
23	5:17	5:39	11:56	18:13	18:35
24	5:17	5:39	11:56	18:13	18:35

Outubro					
Dia	Crep.	Nasc.	Apogeu	Pôr	Crep.
25	5:16	5:38	11:56	18:13	18:35
26	5:16	5:38	11:56	18:14	18:36
27	5:15	5:37	11:56	18:14	18:36
28	5:15	5:37	11:55	18:14	18:37
29	5:14	5:36	11:55	18:15	18:37
30	5:14	5:36	11:55	18:15	18:37
31	5:13	5:35	11:55	18:15	18:38
	Med	5:44			

Tabela A-11 - Mês Novembro

Novembro					
Dia	Crep.	Nasc.	Apogeu	Pôr	Crep.
1	5:13	5:35	11:55	18:16	18:38
2	5:12	5:35	11:55	18:16	18:38
3	5:12	5:34	11:55	18:16	18:39
4	5:11	5:34	11:55	18:17	18:39
5	5:11	5:33	11:55	18:17	18:40
6	5:11	5:33	11:55	18:18	18:40
7	5:10	5:33	11:55	18:18	18:41
8	5:10	5:32	11:55	18:19	18:41
9	5:10	5:32	11:55	18:19	18:42
10	5:09	5:32	11:56	18:19	18:42
11	5:09	5:32	11:56	18:20	18:43
12	5:09	5:31	11:56	18:20	18:43
13	5:08	5:31	11:56	18:21	18:44
14	5:08	5:31	11:56	18:21	18:44
15	5:08	5:31	11:56	18:22	18:45
16	5:08	5:31	11:56	18:22	18:45
17	5:08	5:31	11:57	18:23	18:46
18	5:07	5:30	11:57	18:23	18:46
19	5:07	5:30	11:57	18:24	18:47
20	5:07	5:30	11:57	18:24	18:48
21	5:07	5:30	11:58	18:25	18:48
22	5:07	5:30	11:58	18:26	18:49
23	5:07	5:30	11:58	18:26	18:49
24	5:07	5:30	11:58	18:27	18:50
25	5:07	5:30	11:59	18:27	18:50
26	5:07	5:30	11:59	18:28	18:51
27	5:07	5:30	11:59	18:28	18:52
28	5:07	5:30	12:00	18:29	18:52
29	5:07	5:31	12:00	18:29	18:53
30	5:07	5:31	12:00	18:30	18:54
	Med	5:31			

Tabela A-12 - Mês Dezembro

Dezembro					
Dia	Crep.	Nasc.	Apogeu	Pôr	Crep.
1	5:07	5:31	12:01	18:31	18:54
2	5:08	5:31	12:01	18:31	18:55
3	5:08	5:31	12:01	18:32	18:55
4	5:08	5:31	12:02	18:32	18:56
5	5:08	5:32	12:02	18:33	18:57
6	5:08	5:32	12:03	18:34	18:57
7	5:09	5:32	12:03	18:34	18:58
8	5:09	5:32	12:04	18:35	18:58
9	5:09	5:33	12:04	18:35	18:59
10	5:09	5:33	12:04	18:36	19:00
11	5:10	5:33	12:05	18:36	19:00
12	5:10	5:34	12:05	18:37	19:01

Dezembro					
Dia	Crep.	Nasc.	Apogeu	Pôr	Crep.
13	5:10	5:34	12:06	18:38	19:01
14	5:11	5:35	12:06	18:38	19:02
15	5:11	5:35	12:07	18:39	19:02
16	5:12	5:35	12:07	18:39	19:03
17	5:12	5:36	12:08	18:40	19:04
18	5:12	5:36	12:08	18:40	19:04
19	5:13	5:37	12:09	18:41	19:05
20	5:13	5:37	12:09	18:41	19:05
21	5:14	5:38	12:10	18:42	19:06
22	5:14	5:38	12:10	18:42	19:06
23	5:15	5:39	12:11	18:43	19:07
24	5:15	5:39	12:11	18:43	19:07
25	5:16	5:40	12:12	18:44	19:08
26	5:16	5:40	12:12	18:44	19:08
27	5:17	5:41	12:13	18:45	19:08
28	5:18	5:41	12:13	18:45	19:09
29	5:18	5:42	12:14	18:45	19:09
30	5:19	5:42	12:14	18:46	19:10
31	5:19	5:43	12:15	18:46	19:10
	Med	5:35			

Apêndice A

Abaixo segue o código desenvolvido em *Delphi* contendo a lógica baseada na movimentação do sol.

```
unit Unit1;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Simport, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  ExtCtrls, StdCtrls, Buttons, jpeg, ComCtrls;

type
  TForm1 = class(TForm) // Interface do Programa
    Label9: TLabel;
    Label11: TLabel;
    Timer25: TTimer;
    Label2: TLabel;
    Label3: TLabel;
    Image1: TImage;
    SpeedButton1: TSpeedButton;
    Label6: TLabel;
    Label4: TLabel;
    Label7: TLabel;
    Image2: TImage;
    StatusBar1: TStatusBar;
    SpeedButton2: TSpeedButton;

    procedure Timer25Timer(Sender: TObject);
    procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);
    procedure SpeedButton2Click(Sender: TObject);

  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  Form1: TForm1;
  x: integer;
  rota1 : string; // Variáveis de Controle
  rota2 : string;
  rota3 : string;
  rota4 : string;
```

```

rota5 : string;
rota6 : string;
rota7 : string;

implementation

{$R *.DFM}

function MesAno(Data:TDateTime): String; // Função identifica mês corrente no ano

var
  Meses : array [1..12] of String;
  Dia, Mes, Ano : word;
begin
  { Meses do ano }
  Meses [1] := 'Janeiro';
  Meses [2] := 'Fevereiro';
  Meses [3] := 'Março';
  Meses [4] := 'Abril';
  Meses [5] := 'Maio';
  Meses [6] := 'Junho';
  Meses [7] := 'Julho';
  Meses [8] := 'Agosto';
  Meses [9] := 'Setembro';
  Meses [10]:= 'Outubro';
  Meses [11]:= 'Novembro';
  Meses [12]:= 'Dezembro';

  DecodeDate (Data, Ano, Mes, Dia);
  Result := Meses[Mes];
end;

function SomaHoras(Hora, HoraSoma :String):String; // Função Soma Hora
var
  hh, mm :integer;
  vHora, vMinuto :integer;
begin
  hh:= StrToInt(Copy(Hora, 1, 2)) + StrToInt(Copy(HoraSoma, 1, 2));
  mm:= StrToInt(Copy(Hora, 4, 2)) + StrToInt(Copy(HoraSoma, 4, 2));

  vMinuto:= mm mod 60;
  vHora:= hh + (mm div 60);

  Result:= FormatFloat('00:', vHora) + FormatFloat('00', vMinuto)+':00';
end;

function Media(Data:TDateTime): string; // Função Retorna Media do Nascimento do Sol

var
  Meses : array [1..12] of String;

```

```

Dia, Mes, Ano : word;
begin
{ Meses do ano }
  Meses [1] := '05:53:00';
  Meses [2] := '06:07:00';
  Meses [3] := '06:15:00';
  Meses [4] := '06:19:00';
  Meses [5] := '06:27:00';
  Meses [6] := '06:39:00';
  Meses [8] := '06:28:00';
  Meses [9] := '06:06:00';
  Meses [10]:= '05:44:00';
  Meses [11]:= '05:31:00';
  Meses [12]:= '05:35:00';

  DecodeDate (Data, Ano, Mes, Dia);
  Result := Meses[Mes];
end;

function RMotor(loops:Integer): Integer; // Função rotaciona motor a cada hora

```

```

var
  Cont : Integer;
begin
  Cont := 0;
  repeat
    port[$378]:=3;
    Sleep(100);
    port[$378]:=6;
    Sleep(100);
    port[$378]:=12;
    Sleep(100);
    port[$378]:=9;
    Sleep(100);

    cont := cont + 1

  until (cont = loops);

  result := cont;
end;

function RMotor_volta(loops:Integer): Integer; // Função rotaciona motor a posição inicial

```

```

var
  Cont : Integer;
begin

```

```

Cont := 0;
repeat
    port[$378]:=9;
    Sleep(100);
    port[$378]:=12;
    Sleep(100);
    port[$378]:=6;
    Sleep(100);
    port[$378]:=3;
    Sleep(100);

    cont := cont + 1

until (cont = loops);

result := cont;

end;

procedure TForm1.BitBtn1Click(Sender: TObject);
begin
timer25.enabled:=true;
end;

procedure TForm1.Timer25Timer(Sender: TObject); // Alimentação dos timers

begin
label9.caption:= FormatDateTime('HH:MM:SS', NOW);
label1.caption := MesAno(date);
label2.caption := Media(date);
rota1 := SomaHoras(label2.caption, '05:00:00');
rota2 := SomaHoras(label2.caption, '06:00:00');
rota3 := SomaHoras(label2.caption, '07:00:00');
rota4 := SomaHoras(label2.caption, '08:00:00');
rota5 := SomaHoras(label2.caption, '09:00:00');
rota6 := SomaHoras(label2.caption, '10:00:00');
rota7 := SomaHoras(label2.caption, '12:00:00');

if label9.caption = label2.caption then // Lógica de movimentação do sol
begin
messagebeep(0);
label3.Caption := 'Horário de rotação do Motor '+ rota1;
end
else
if label9.caption = rota1 then
begin
messagebeep(0);
x := rmotor(3);
label3.caption := ";
label3.Caption := 'Horário de rotação do Motor '+ rota2;

```

```

    end
else
if label9.caption = rota2 then
    begin
        messagebeep(0);
        x := rmotor(3);
        label3.caption := "";
        label3.Caption := 'Horário de rotação do Motor '+ rota3;
    end
else
if label9.caption = rota3 then
    begin
        messagebeep(0);
        x := rmotor(3);
        label3.caption := "";
        label3.Caption := 'Horário de rotação do Motor '+ rota4;
    end
else
if label9.caption = rota4 then
    begin
        messagebeep(0);
        x := rmotor(3);
        label3.caption := "";
        label3.Caption := 'Horário de rotação do Motor '+ rota5;
    end
else
if label9.caption = rota5 then
    begin
        messagebeep(0);
        x := rmotor(3);
        label3.caption := "";
        label3.Caption := 'Horário de rotação do Motor '+ rota6;
    end
else
if label9.caption = rota6 then
    begin
        messagebeep(0);
        x := rmotor(3);
        label3.caption := "";
        label3.Caption := 'Aguardando voltar a posição inicial';
    end
else
if label9.caption = rota7 then
    begin
        messagebeep(0);
        x := rmotor_volta(18);
        label3.caption := "";
        label3.Caption := 'Aguardando nascer do sol';
    end;
end;
end;

```

```
procedure TForm1.SpeedButton2Click(Sender: TObject); // Função desliga motor
begin
port[$378]:=0;
end;

end.
```