

Desenvolvimento de rastreador solar para concentrador térmico parabólico Offset de baixo custo



<https://doi.org/10.56238/interdiinnovationscresce-021>

Bruno Lourenço Alcatrão

Graduação em Bacharelado
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho,
UNESP, Brasil.
E-mail: bruno.alcatrao@unesp.br

Carmo Santos Alcatrão

Técnico Mecânico
Técnica São Francisco de Bórgia
E-mail: carmo.alcatrao@gmail.com

César Augusto Galvão de Moraes

Doutorado em Engenharia Mecânica
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho,
UNESP, Brasil.
E-mail: cesar.morais@unesp.br

Alexandre Jorge Duarte de Souza

Doutorado em Engenharia Mecânica
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho,
UNESP, Brasil.
E-mail: alexandre.duarte@unesp.br

RESUMO

O uso da energia solar vem crescendo por conta de o mundo estar voltado à sustentabilidade, desse modo, o projeto busca um melhor aproveitamento da energia vinda do sol. Consistindo de um

mecanismo de rastreamento solar com dois eixos de rotação (horizontal e vertical) de baixo custo, onde são utilizados dispositivos eletroeletrônicos como o microcontrolador (Arduino UNO), motores de vidro elétrico automotivos, sensor fotoresistor (LDR), potenciômetros, Pontes H (L296n e 43a) e fins de curso. Além desses componentes tradicionais, temos a presença de uma inovação na parte mecânica, no campo dos rastreador solar, como furos em oblongo radial e reto, o uso do aumento axial da altura dos motores e ajustes finos. Para compor a parte mecânica foi utilizado softwares de modelagem e fatiamento de peças como o Autodesk Inventor, Fusion 360 e o Ultimaker Cura, juntamente com a impressora 3D Anycubic I3 Mega S para a fabricação de peças. Ademais a isso, softwares como o SmoothDraw4 e Tinkercad foram cruciais para compor ideias conceituais sobre o início do projeto e, por fim, o Arduino IDE, o software onde foi desenvolvido o código controlador do projeto, no formato C++. Como resultado foi obtida uma configuração otimizada usando um espelho parabólico para aquecimento de água procurando aliar maior eficiência de conversão de energia com um custo acessível a populações carentes.

Palavras-chave: Energia solar, Rastreador solar, Aquecimento.

1 INTRODUÇÃO

A alta repentina da energia ocorreu na época do início da Primeira Revolução Industrial com a criação das máquinas a vapor, a efetividade do uso da eletricidade em indústrias, locomotivas e navios. Dessa maneira descobriram novas formas de energia, como o petróleo, gás natural e hidroelétricas (ENERGIA E SOCIEDADE, 2014), sendo assim cresceu fortemente a necessidade do uso da energia para a sociedade. Todavia muitas energias que são utilizadas podem ocasionar problemas ao meio ambiente e isso foi sendo visto pela população como algo pejorativo, em razão disso a sociedade começou a pensar meios de como empregar a tecnologia trazendo desenvolvimento e inovação de



energias limpas e sustentáveis já criadas - como exemplo os moinhos de vento - e novos meios de captação de energia limpa e sustentável, como a energia ondomotriz.

Alguns dos pontos negativos da energia limpa e sustentável é que elas podem não ser tão eficientes e a sua fabricação se baseia em preços altos, ou seja, não sendo viável para as famílias carentes adquirirem. Entretanto algumas dessas energias podem ser inovadas e desenvolvidas para conseguir atingir altos índices de eficiência da sua captação e com custos baixos na fabricação, sendo uma delas a energia solar.

Um dos grandes problemas da energia solar é que com a rotação da terra durante o dia, há várias posições incidentes dos raios luminosos e quando se tem um sistema fixo de captação solar só existe apenas um pico máximo de rendimento dessa captação. Entretanto, uma das maneiras de resolver esse problema é com os rastreadores solares, pois os pontos máximos podem ser atingidos a todo momento conforme a posição do sol, durante o dia todo o captador solar estará voltado para ele.

O trabalho apresentado pelo Jacob Filho (2016) mostra o rendimento de um concentrador solar parabólico revestida por paletas refletoras onde, em seus testes, apresentou rendimentos significativos em dias que a radiação solar em torno de $1000 \text{ W/m}^2 \pm 10 \%$ e $200 \text{ W/m}^2 \pm 10 \%$, com vento menor que 2 m/s , temperatura ambiente ao sol entre $29 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ e $36 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ e os resultados chegaram, após 20 medições, valores superiores a $80 \text{ }^\circ\text{C}$ da água. No entanto esse projeto não possui mecanismos automáticos de identificação dos picos dos raios solares e, como exemplo, um seguidor solar com dois eixos de rotação pode obter maiores temperaturas.

A utilização de softwares de desenho como o SmoothDraw4 e softwares de desenhos mais dinâmicos, como o Inventor, e para o esboço da parte eletrônica o Tinkercad, da Autodesk, ajudaram a ter maiores horizontes para conseguir identificar possíveis erros de execução, conseguindo resolvê-los antes de ir na parte prática e compra de componentes.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Sabemos que nos primórdios a fonte de energia vinda do fogo era de extrema importância para cozinhar e aquecer os hominídeos. Conforme o tempo foi se passando se criaram novas maneiras de captar fontes de energia, haja vista que uma das primeiras civilizações (Incas e Maias) só foi sustentada por conta das grandes irrigações dos cereais plantados, a energia dos cursos de água e a tração animal para o transporte e moção desses grãos (DECARVALHO, 2014).

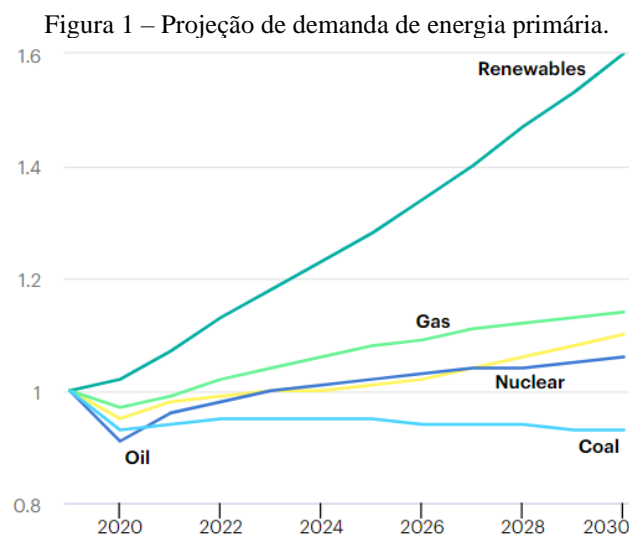
Atualmente a energia é um dos bens mais preciosos do mundo. Todavia, o mundo vem adquirindo uma nova cultura sobre os recursos energéticos, focando mais no meio ambiente, sobre os aspectos da sustentabilidade, menor emissão dos gases do efeito estufa, menor agressão ao meio ambiente e a redução do desmatamento. Desse modo o interesse e a utilização das fontes de energia renovável e limpa vem crescendo tanto para os países desenvolvidos quanto aos países emergentes,



mesmo que o fator econômico ainda seja um grande mandante sobre quais energias aquele país irá utilizar, mas com o avanço da tecnologia e novas pesquisas sobre esse campo do desenvolvimento de técnicas para captar energia limpa e renovável aos poucos os países com menor poder aquisitivo vão adotando recursos energéticos mais sustentáveis (MORAIS, 2015).

Não distante a isso, uma grande fonte de energia sustentável e limpa que cresceu de 1996 a 2006 em 2000% no mundo é a energia solar, pois essa energia vem de uma fonte quase inesgotável e que todos os países tem acesso. No Brasil a energia solar está sendo mais utilizada nos grandes centros urbanos como São Paulo, Rio de Janeiro e Santa Catarina, sendo convertida ou em eletricidade (utilizam painéis fotovoltaicos) ou em energia térmica (utilizam concentradores térmicos). Há uma grande tendência de adotar esse recurso energético no Brasil porque ele se situa em uma região privilegiada de raios solares, haja vista que a radiação solar depende fortemente da latitude, atmosfera e a estação do ano (MORAIS, 2015).

O uso da energia no mundo tem um aumento contínuo, como indicado na Figura 1. O crescimento deverá ser liderado pelo uso de energias renováveis solar fotovoltaica e eólica (IEA, 2020) em detrimento do uso do carvão.

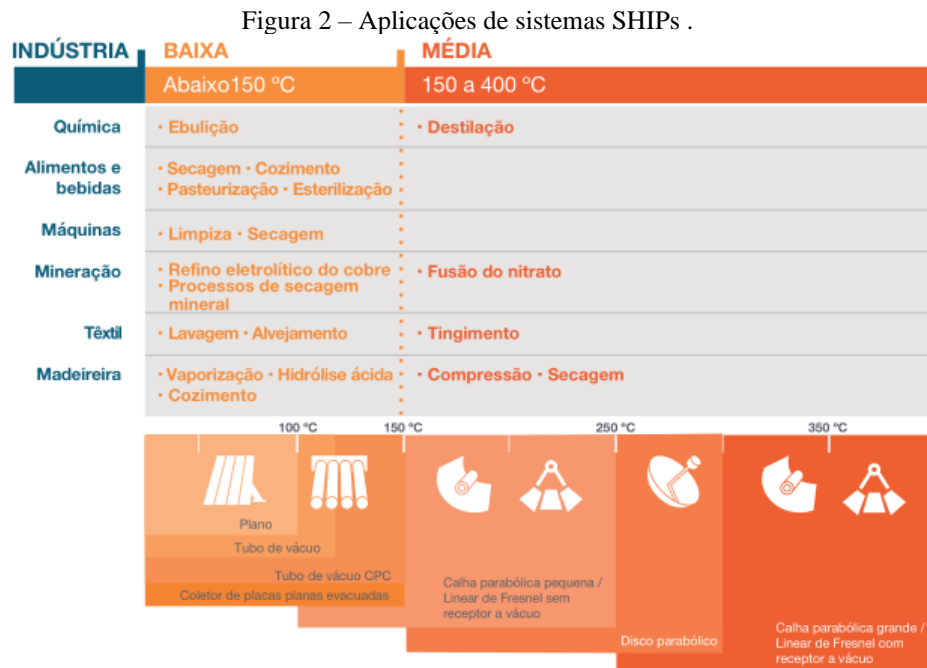


Fonte: IEA, 2020

O aproveitamento da energia se dá principalmente em dois processos que são o térmico e fotovoltaico, sendo este último o que mais aumentou em uso nos últimos anos. Até 2017 os coletores térmicos foram os mais usados, principalmente no setor de aquecimento residencial, depois disso foram deslocados pela tecnologia fotovoltaica (IEA-SCH, 2020). O aquecimento solar para processos industriais varia desde plantas de demonstração de pequena escala até sistemas grandes da ordem dos 100 MW_h (IEA-SHC, 2020). A única planta com concentrador solar atualmente instalada no Brasil é de demonstração e é do tipo cilindro-parabólico, instalada no laboratório CEFET-MG (Neto *et al.*, 2019).



A Figura 2 mostra esquematicamente algumas possíveis aplicações de sistemas de aquecimento solar de uso industrial.



Fonte: SOLAR PAYBACK, 2017

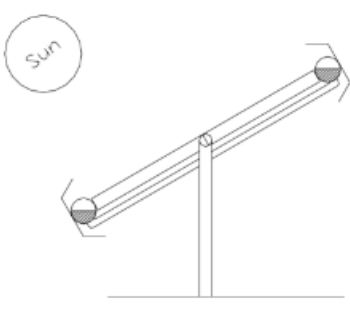


Os coletores solares podem ser classificados segundo seu uso em baixas ($< 100\text{ }^{\circ}\text{C}$), médias ($100 - 400\text{ }^{\circ}\text{C}$) e altas temperaturas ($> 400\text{ }^{\circ}\text{C}$) (KENEDY, 2002), para médias e altas temperaturas o coletor solar deve possuir concentrador. Entre as tecnologias disponíveis para uso solar na temperatura $< 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ tem-se os coletores estacionários (plano, tubo evacuado), concentrador parabólico composto (CPC), já com sistemas de rastreamento têm-se o coletor cilindro-parabólico, Fresnel, disco parabólico e Scheffler (DUFFIE e BECKMAN, 2013). Todos os coletores mencionados, exceptuando o coletor plano e tubo evacuado, são concentradores, isto é, possuem área de abertura maior que a área de recepção (absorção) de radiação conseguindo assim elevadas temperaturas no receptor. Assim, o receptor deve suportar elevados fluxos de radiação e temperaturas pouco maiores que $400\text{ }^{\circ}\text{C}$, nas aplicações SHIP. A maioria dos coletores solares que podem ser usados no setor industrial funcionam com radiação solar direta, devido a isso se faz necessário sistemas de rastreamento solar para direcionar o refletor do coletor para o sol e assim concentrar a radiação direta em pequenas áreas de absorção com isso atingir temperaturas elevadas. É possível classificar os rastreadores solares de acordo ao número de eixos giratórios, sendo que um rastreador solar de um eixo fará com que a absorção de radiação solar seja menor que no caso de rastreamento em dois eixos, geralmente os eixos de rotação são posicionados um na horizontal e outro na vertical, com o rastreador de dois eixos é possível ter sempre a máxima captação de radiação solar direta ao longo do dia durante todos os dias do ano.



Também podem ser classificados se ele for passivo ou ativo. Alguns tipos de rastreadores solares são descritos na continuação.

O *Rastreador passivo*, não utiliza nenhum equipamento eletroeletrônico para a sua movimentação como indicado na Figura 3. Neste tem-se um mecanismo de movimentação por líquidos que fazem a evaporação e a condensação. Nessa figura mostra-se um rastreador solar de apenas um eixo.

No *Rastreador ativo*, são usados equipamentos eletroeletrônicos para fazer girar os eixos e manter maior eficiência durante todo o período do dia. O rastreamento pode ser em um ou dois eixos. A Figura 4 mostra o rastreamento em um eixo, posicionado na horizontal. Já a Figura 5 mostra um esquema de rastreamento em dois eixos.

Figura 3 – Rastreador passivo por líquidos.	Figura 4 – Rastreador solar com um eixo de movimentação.	Figura 5 – Rastreador solar com dois eixos de movimentação.
	 Rotação do Eixo Horizontal	 Rotação do Eixo Vertical Rotação do Eixo Horizontal
Fonte: (QUEIROZ <i>et al.</i> , 2018)	Fonte: Adaptado de (LIFE, 2021).	Fonte: Adaptado de (LIFE, 2021).

O rastreamento solar é necessário para os sistemas de concentração solar térmica. No Brasil não existem empresas que trabalhem com sistemas de rastreamento, assim esse trabalho pretende desenvolver uma proposta de sistema de rastreamento solar.

Uma das partes mais importantes do concentrador solar é a parabólica, pois ela servirá como o equipamento que irá concentrar os raios solares em uma região onde conterà algum fluido, sendo que a forma parabólica geralmente é utilizada nos meios de captação de sinal para televisões, ou seja, a partir de sinais de satélites é emitido para as antenas parabólicas, captando a imagem pela televisão. Isto acontece porque a parabólica é um paraboloide e todo sinal que entra de forma paralela ao eixo dela é refletida (de uma forma concentrada) - quando bate na sua superfície desse paraboloide - em uma região chamada foco.

3 OBJETIVOS

Os objetivos desse projeto foram construir um dispositivo que consiga captar as melhores posições dos raios solares de forma automática, sendo que a partir dos raios solares, estes seriam concentrados em uma região aquecendo algum fluido.



O trabalho foi realizado na Unesp - Instituto de Ciências e Engenharia (ICE), Câmpus de Itapeva, com os seguintes objetivos:

- Desenvolver uma proposta de seguidor solar automático em dois eixos para um refletor parabólico offset de coletor solar;
- Usar materiais de baixo custo;
- Incentivar mais o uso de energia solar por populações carentes.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento dos conceitos teóricos iniciais foi necessário projetar possíveis maneiras de movimento do seguidor solar e selecionar quais peças de baixo custo iriam compor esse projeto, sendo assim utilizou-se o software SmoothDraw4 [Figura 6]. Uma vez que foram realizados os primeiros testes conceito do seguidor, prosseguiu-se a realizar os desenhos em Autodesk Inventor que permitiu a simulação de todas as peças constituintes do seguidor em seu gêmeo digital, como o suporte de fixação da base da estrutura [Figura 7], a parabólica offset, o suporte do absorvedor [Figura 8], e, a estrutura conceitual completa [Figura 9].

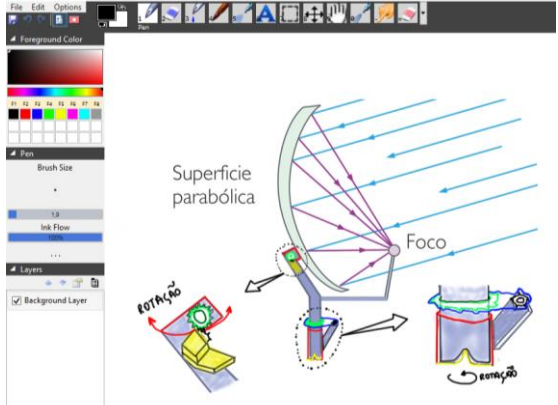
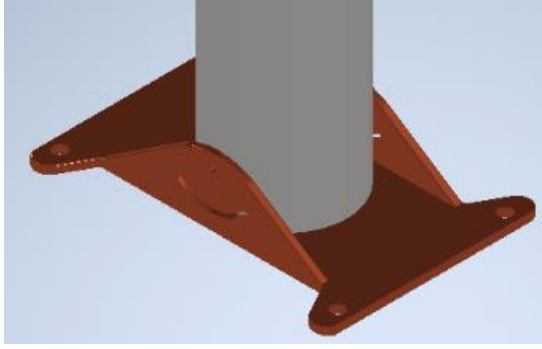

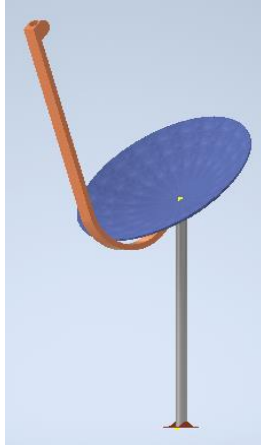
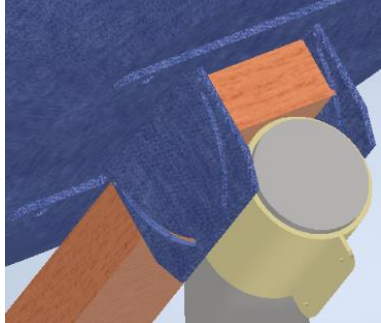
Figura 6 – Ideias primordiais no software SmoothDraw4.	Figura 7 – Estrutura inicial de fixação da base do rastreador.
	
Fonte: Próprio autor.	Fonte: Própria do autor.



Figura 8 – Suporte do absorvedor.	Figura 9 – Estrutura inicial completa.	Figura 10 – Estrutura de fixação entre a parabólica e a estrutura de sustentação do rastreador solar.
		
Fonte: Própria do autor.	Fonte: Própria do autor.	Fonte: Própria do autor.

O eixo vertical deve rotacionar em torno de um pino montado na base da estrutura. Uma ideia inicial foi soldar uma superfície semiesférica na parte inferior da estrutura vertical, sendo que essa superfície gira em torno do pino. A Tabela 1 mostra os materiais necessários para a parte mecânica do seguidor solar.

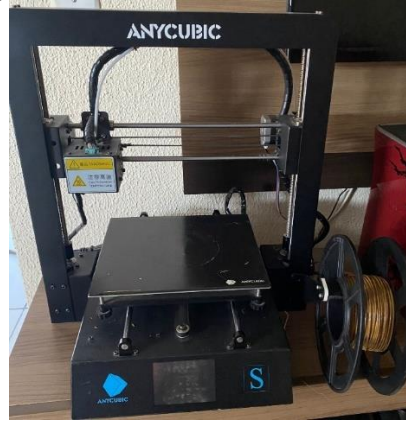
Para conseguir uma menor velocidade de rotação dos eixos da estrutura, é necessária uma redução de velocidade entre o eixo do motor e o eixo da estrutura. Essa redução é provida por engrenagens as quais foram manufaturadas em impressora 3D Anycubic I3 Mega S [Figura 11]

Tabela 1 – Componentes mecânicos da estrutura.

Itens	Qtde.	Unid. (R\$)	Detalhe
TUBO DE AÇO DE Ø80MM X 500MM	1	20,00	Reciclagem
CHAPA DE AÇO	1	30,00	Reciclagem
ENGRENAGEM DE REDUÇÃO	4	12,00	Plástico em impressora 3D
ABSORVEDOR DE ALUMÍNIO	5 m	49,00	3/8" (9,52 mm)
SUPOORTE DO ABSORVEDOR (PANELA DE ALUMÍNIO)	1	30,00	Comprado na cidade
PARAFUSOS	22	16,50	Comprado na cidade
SUPOORTE DE SENSORES DE LUMINOSIDADE	1	5,00	Plástico em impressora 3D



Figura 11 – Impressora Anycubic I3 Mega S.



Fonte: Própria do autor.

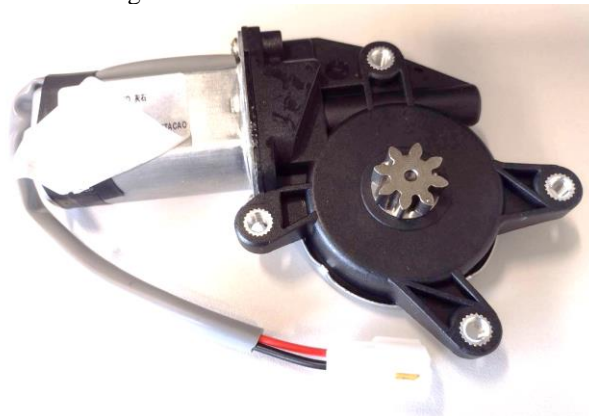
O seguidor solar deve possuir giro em dois eixos os quais são providos por motores. A Tabela 2 mostra algumas alternativas de motores elétricos que podem ser usados.

Tabela 2 – Características dos motores utilizados.

Característica	Vidro (Mabuchi)	Para-brisa (caminhão)	Para-brisa (carro)
Tensão	12Vcc	12 Vcc	15 Vcc
Engrenagem	8 dentes	0 dentes	0 dentes
Torque	3 Nm	100 kg/cm	100 kg/cm
Velocidade nominal	65 +/- 15 rpm	Alta e Baixa	37 (Baixa) a 58 (Alta) rpm
Velocidade sem carga	80 rpm		
Preço	R\$ 53,80	R\$ 756,24	R\$ 92,15
Corrente Máxima	7,5A	10A	10A

Dentre essas três possibilidades foi selecionado o motor de vidro automotivo por apresentar um menor custo. A Figura 12 mostra o motor selecionado.

Figura 12: Motor de vidro de carro.



Fonte: Própria do autor.



Para seguir o sol, o mecanismo deve possuir sensores de luminosidade, motores e controlador de acionamento. Foi usada uma placa Arduino para controlar os motores de movimentação, uma lista completa de componentes que foram usados é indicada na Tabela 3.

Tabela 3 – Componentes eletrônicos.

	Itens	Qtde.	Unid. (R\$)	Total
1	Arduino uno R3 - ATmega328	1	39,51	39,51
2	Ponte H L298 5 ^a	1	24,00	24,00
3	Jumpers MxM 110-240 mm	25	2,10	11,88
4	LDR 5mm	4	0,70	2,80
5	Protoboard 830 Pontos MB-102	1	15,00	15,00
6	Resistor 10k Ω – 1/4 W	10	0,15	1,50
7	Resistor 150 Ω - 1/4W	10	0,27	2,78
8	Potenciômetro	4	3,15	12,60
9	Fonte chaveada 12V, 10A	1	49,78	49,78
10	Motor de Vidro Elétrico	2	35,00	70,00
11	Fios	1	19,40	19,40
12	Fim de Curso	2	3,29	6,58

Em razão da exposição de sol e chuva que os componentes eletrônicos irão ficar expostos foi necessário a fabricação de uma caixa de aço galvanizado.



Figura 13 - Caixa de aço galvanizado para a parte eletrônica de 40x30x10 cm



Fonte: Própria do autor.

De forma conceitual o rastreador solar irá aquecer água ou óleo e para se conseguir utilizar a energia convertida será necessário utilizar um trocador de calor, em razão disso foi utilizado um radiador de carro também de baixo custo. Os componentes usados foram uma mangueira de 40 mm de diâmetro, reservatório de água do radiador, espigão 1/2“x 1/2””, bucha de redução curta de PVC, porcas e parafusos de 1/4, abraçadeiras 40 mm de diâmetro. Foi necessário a fabricação de uma estrutura extra para conseguir fixar o radiador, na estrutura principal utilizando cantoneiras de aço e perfil de alumínio, mostrado na figura 14.



Figura 14 - Componentes da parte do trocador de calor.	Figura 15 – Radiador montado.
	
Fonte: Própria do autor.	Fonte: Própria do autor.

Após a conclusão das ideias conceituais feitas nos softwares Inventor e SmoothDraw4 começou-se a montagem da estrutura do rastreador solar. Iniciou-se o desenvolvimento da estrutura para fixar a parabólica offset [Figura 16] mostrada na peça azul da Figura 10. Essa peça foi feita com cantoneiras e chapas de aço 1020 as quais foram soldadas.

Figura 16 – Estrutura de fixação da parabólica offset.

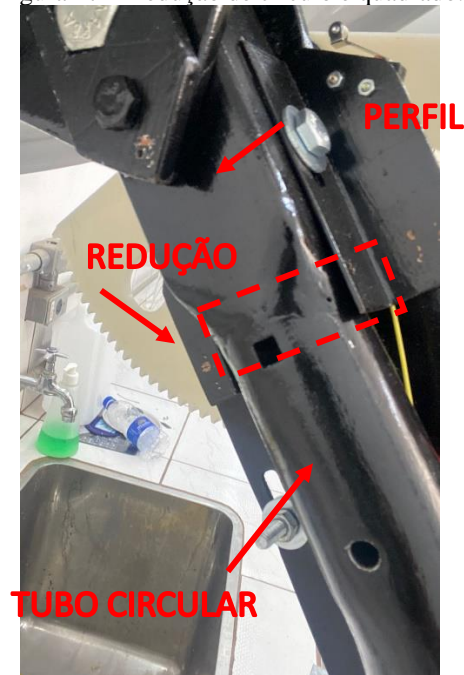


Fonte: Própria do autor.

O suporte vertical da estrutura consiste em um tubo circular que está ligeiramente curvado na parte superior. Essa parte foi soldada a um perfil e tubo quadrado, para isso foi necessário fazer uma redução, cujo detalhe é mostrado na Fig. 17.



Figura 17 – Redução de círculo e quadrado.



Fonte: Própria do autor.

A parte inferior do suporte vertical da estrutura possui um parafuso M6 com ponta que foi esmerilhada [Figura 18], para permitir a rotação do suporte vertical e no final, a rotação de toda a estrutura.

Figura 18 – Parafuso responsável pela rotação da estrutura do rastreador solar.



Fonte: Própria do autor.

A base da estrutura pode ser fixada em um local de forma permanente, para isso foi feita no desenvolvimento por uma placa quadrada soldada chumbada em uma massa de concreto. Nessa placa foram soldados quatro parafusos M10 x 150 mm verticais que fixam a base da estrutura também



quadrada (Fig. 19). Na base da estrutura foram soldadas quatro mão francesas e um tubo central, que é onde o tubo circular do suporte vertical rotaciona.

Figura 19 – Primeira placa de aço.



Fonte: Própria do autor.

Evidentemente, o eixo da parabólica offset deverá apontar ao sol em todo momento, assim foi desenvolvido um suporte que deverá estar sempre perpendicular ao eixo da parabólica. É nesse suporte onde foram fixados os sensores de luminosidade LDR (*Light Dependent Resistor*). O suporte desenvolvido é fixado na parabólica mediante um parafuso M6 e permite ajustes da sua inclinação, como indicado na figura 20.

Figura 20 – Suporte do sensor LDR.



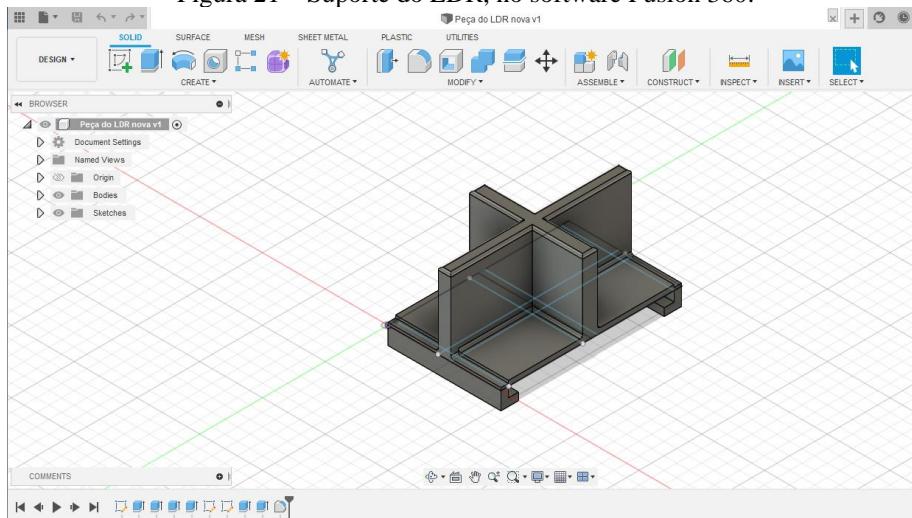
Fonte: Própria do autor.

Pode-se notar que sobre a estrutura metálica de cor preta existe um sombreador na cor marrom. Esse sombreador provoca diferentes luminosidades que são lidas pelos sensores LDR os quais enviam sinais à placa Arduino para movimentar os motores. O sombreador foi manufaturado na impressora



3D, cujo modelo foi realizado no software Fusion 360. Uma foto desse desenho é mostrada na figura 21.

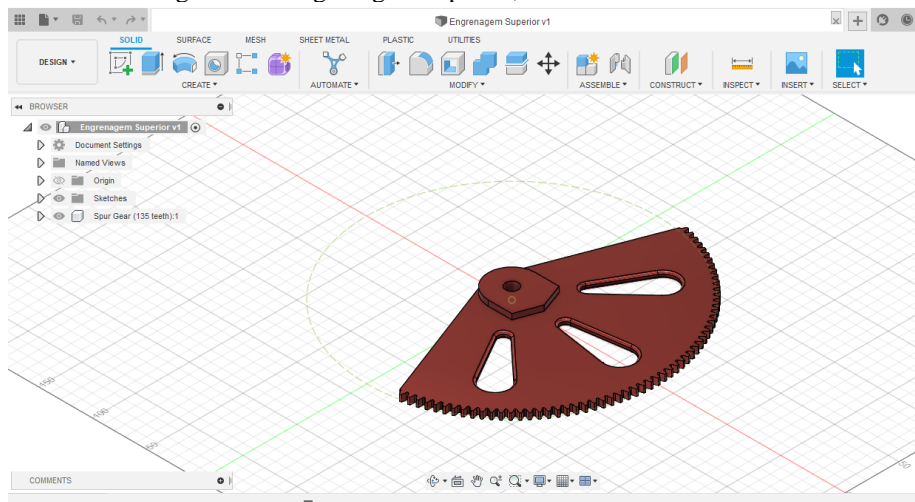
Figura 21 – Suporte do LDR, no software Fusion 360.



Fonte: Própria do autor.

Outras peças que foram feitas no software Fusion 360 foram as engrenagens [Figura 22], tubo centralizador e pinos.

Figura 22 – Engrenagem superior, no software Fusion 360.

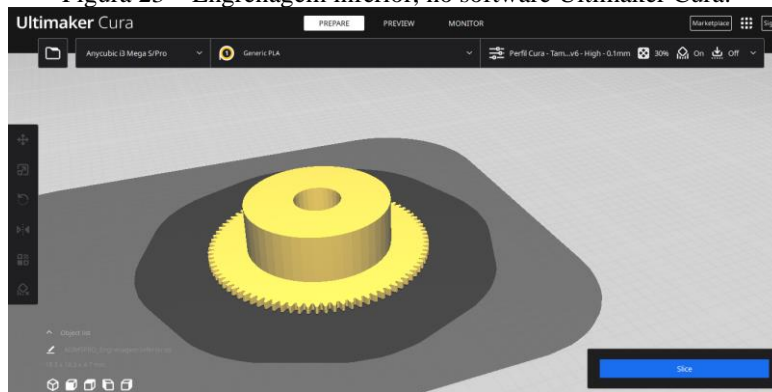


Fonte: Própria do autor.

Para todas as peças, foi realizado um processo de fatiamento feito no software Ultimaker Cura, onde são definidas quantas camadas terá essa peça, qual será a espessura da linha que a impressora irá imprimir, a velocidade de impressão, dentre outros parâmetros. Nas figuras 23, 24 e 25 mostram-se fotos do programa de fatiamento da engrenagem inferior, do tubo centralizador e o pino de revestimento do furo da engrenagem inferior, respectivamente.

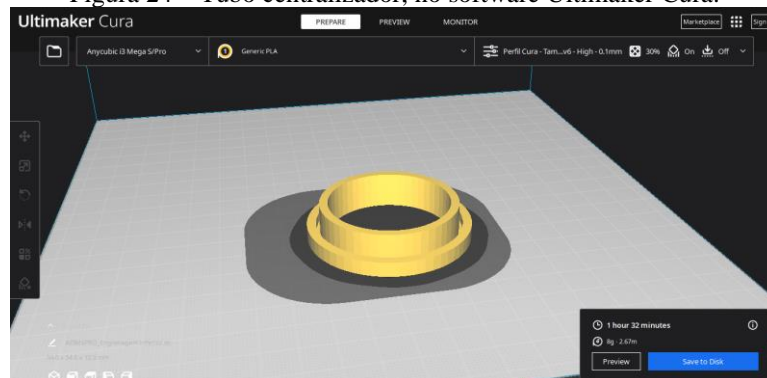


Figura 23 – Engrenagem inferior, no software Ultimaker Cura.



Fonte: Própria do autor.

Figura 24 – Tubo centralizador, no software Ultimaker Cura.



Fonte: Própria do autor.

Figura 25 – Pino, no software Ultimaker Cura.

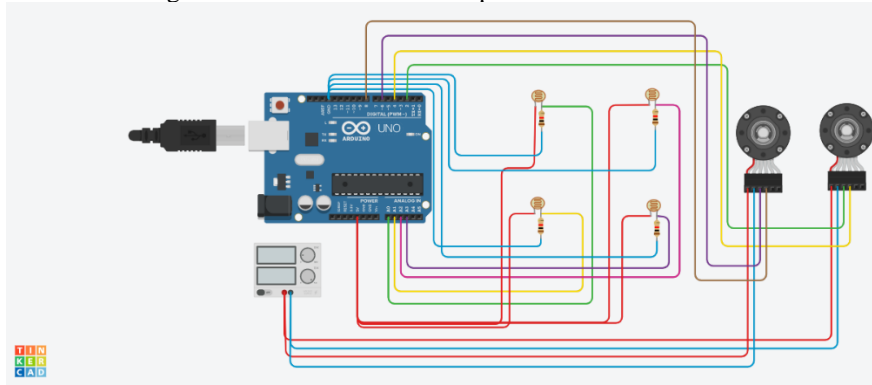


Fonte: Própria do autor.

Ao finalizar a parte mecânica de peças, iniciou-se o desenvolvimento da parte eletrônica usando os componentes que estão na tabela 3. Inicialmente foi realizado um protótipo virtual. Desse modo utilizou o software Tinkercad da Autodesk para esboçar o sistema eletrônico [Figura 26]. Nessa figura mostra-se a placa Arduino, fonte de corrente contínua, LDR, motores e resistores, onde esses componentes são encarregados de controlar toda a parte de rotação do rastreador solar.



Figura 26 – Sistema eletrônico pelo software Tinkercad.



Fonte: Própria do autor.

Depois da simulação eletrônica foi desenvolvido o código em linguagem C++ que fica responsável pelo comando do rastreador solar. Esse código foi realizado no software Arduino IDE. Dessa maneira funções como “#define”, “int”, “pinMode”, e “delay”, foram usados ligar os motores em função dos sinais provenientes dos sensores LDR. Na figura 27 mostra uma parte do código.

Figura 27 – Código em linguagem C++, no software Arduino IDE.

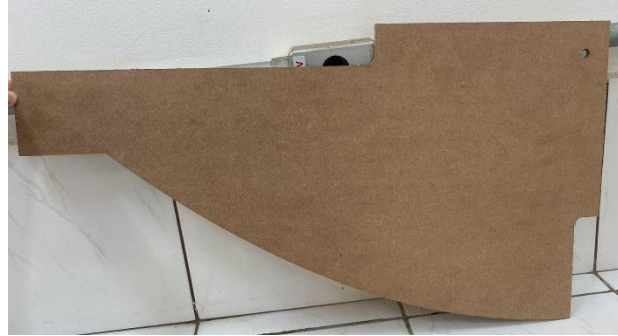
```
Programa_o_final_entre_LDR_e_Motorino
108
169
170 if (Diferenca_do_direito_e_esquerdo > 70) { //Isso significa que o lado direito esta recebendo mais il
171 if (-1 < contagem_antihorario && contagem_antihorario < 25) {
172 digitalWrite(mBaseA, HIGH);
173 digitalWrite(mBaseB, LOW);
174 delay(tempo_Rotacao_mBase);
175 digitalWrite(mBaseA, LOW);
176 digitalWrite(mBaseB, LOW);
177 delay(tempo_para_pensar);
178 contagem_antihorario ++;
179 //Serial.println(contagem_antihorario);
180 }}
181
182 if (contagem_antihorario == 25) {
183 digitalWrite(mBaseA, LOW);
184 digitalWrite(mBaseB, HIGH);
185 delay(tempo_Rotacao_seguranca);
186 digitalWrite(mBaseA, LOW);
```

Fonte: Própria do autor.

Outro equipamento necessário ao projeto foi a máquina CNC. Nesta foi usinada uma peça que serviu como gabarito para alinhar o suporte do sensor LDR ao eixo da parabólica. Além disso, o gabarito possui um perfil parabólico para garantir a geometria e a distância focal correta da parábola.



Figura 28 – Foto do gabarito para alinhar o eixo da parábola ao suporte do LDR.



Fonte: Próprio do autor.

4.1 AJUSTES DOS COMPONENTES

Várias partes da estrutura permitem realizar ajustes para conseguir melhor posição, por exemplo o suporte do LDR permite ajustar o ângulo correto de noventa graus entre o eixo de simetria da parabólica e a placa de suporte do LDR. Outros ajustes estão na fixação dos motores nas placas de suporte, onde foram feitos oblongos alinhados com os furos dos motores [Figura 30] com o objetivo de encaixar de forma mais prática a engrenagem impressa e a engrenagem do motor. Pode-se também variar a altura do motor em relação à placa para alinhar as faces da engrenagem do motor e o componente impresso [Figura 31]. Essa variação é feita com porcas e parafusos.

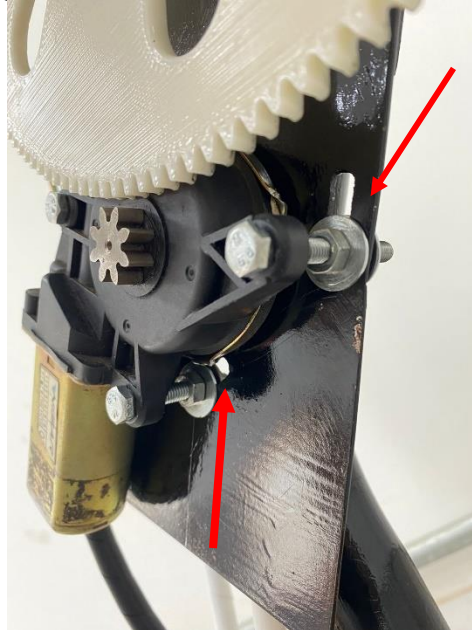
Figura 29 – Ajuste do suporte do LDR.



Fonte: Própria do autor.

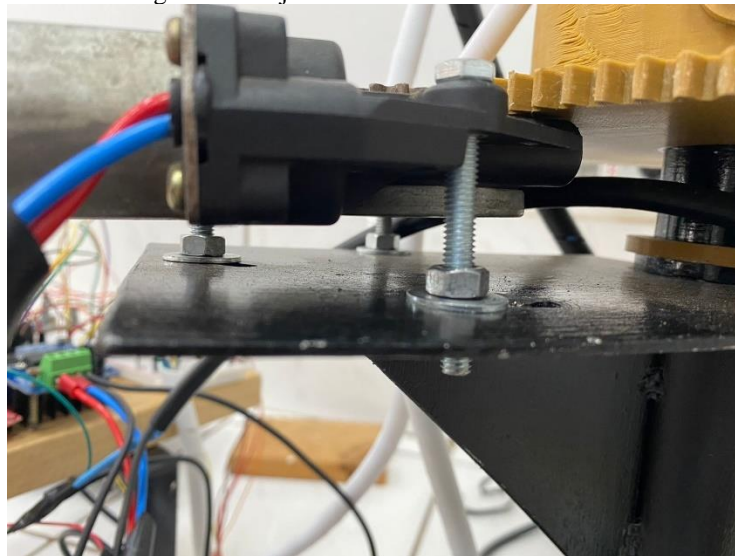


Figura 30 – Oblongos radiais dos furos do motor.



Fonte: Própria do autor.

Figura 31 – Ajustes axiais da altura do motor.



Fonte: Própria do autor.

4.2 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao iniciar os testes com os sensores LDR foi verificado a necessidade de se colocar potenciômetros de $10k\Omega$ para igualar as resistências na mesma intensidade luminosa. É interessante citar que os fios que ligam os sensores LDR aos potenciômetros devido ao seu comprimento levam ruídos devido as interferências de campos eletromagnéticos, devendo possuir blindagem.

Outro problema constatado foi em relação a ponte H que serve para acionamento dos motores, devendo ter capacidade mínima de 43A,

Um curto circuito foi identificado entre a comunicação da fonte tipo colmeia e o computador, pois a fonte tipo colmeia estava gerando uma voltagem diferente para os motores e Arduino, dessa



maneira o microcontrolador (Arduino UNO) prejudicava a porta COM7 do computador, gerando erros de leitura e não permitindo que o computador fizesse a comunicação entre o software e microcontrolador,

Durante a fase de testes foi percebido que o rastreador solar as vezes se perdia durante o rastreamento solar e por conta disso o motor superior (encarregado pela rotação do eixo horizontal) chegava em um ponto extremo que batia entre a estrutura da parabólica e a estrutura central (responsável por sustentar todo o rastreador solar), em razão disso foi necessário colocar um fim de curso tanto na parte superior quanto na parte inferior [Figura 32 e 33], pois eles restringem a rotação da parabólica até um ponto máximo de rastreamento.



Figura 32 – Fim de curso superior.	Figura 33 – Fim de curso inferior.
	
Fonte: Própria do autor.	Fonte: Própria do autor.

Figura 34 – Novo suporte do LDR.



Fonte: Própria do autor.



Ao citar o sombreamento nos LDR é interessante apontar para se colocar esses fotoresistores perto das paredes do suporte do LDR, haja vista que, caso eles forem colocados de maneira afastados dessas paredes, estas não farão sombra o suficiente para cobrir totalmente os fotoresistores e deixará impreciso a leitura dos valores.

O projeto é complexo e várias dificuldades foram resolvidas. O rastreador solar foi colocado em funcionamento em condições reais exposto ao sol e apresentou funcionamento satisfatório.

Como resultado foi obtido o projeto do rastreador que atua como conversor de energia solar para energia térmica que foi otimizado em função dos testes

5 CONCLUSÕES

Ao desenvolver o projeto constatou-se que os valores das resistências dos LDR não eram iguais, sendo assim foi necessário usar potenciômetros ao invés de resistores com valores fixos de 10K, pois dessa maneira conseguiu-se controlar a resistência e deixá-los iguais. Entretanto, quando foram conferidos os valores do LDR no monitor serial do software Arduino IDE viu-se que as vezes os valores tinham uma grande oscilação e um dos responsáveis fatores desse acontecimento era a presença da interferência eletromagnética vindo de nossas mãos ou dos equipamentos eletrônicos.

Maior esforço será necessário para disponibilizar-se ou eliminar-se alguns itens fabricados em equipamentos de alto custo, mas esta proposta apresenta um bom potencial para se transformar numa alternativa econômica para a geração de aquecimento de médias e altas temperaturas considerando-se as populações de baixa renda.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus professores Alexandre Jorge Duarte de Souza, Augusto Batagin Neto, César Augusto Galvão de Moraes e Daniel Zini Rossatto pela orientação, ao meu pai Carmo Santos Alcatrão pela ajuda do desenvolvimento estrutural mecânico, ao Isaque Samir por contribuir com ideias sobre os equipamentos eletrônicos e a Guiovanna Alves Cortijo pelo apoio de ideias no projeto.



REFERÊNCIAS

DUFFIE, J.; BECKMAN, W. Solar engineering of thermal processes, 4ª Ed., New Jersey: Wiley, 2013. IEA – International Energy Agency. World Energy Outlook 2020, report extract - outlook for energy demand, 2020. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020/outlook-for-energy-demand>. Acesso em: 02 fev. 2021.

IEA-SCH. Solar heat worldwide. 2020. Disponível em: <https://www.iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/Solar-Heat-Worldwide-2020.pdf>. Acesso em: 03 fev. 2021.

KENEDY, C. E. Review of mid- to high-temperature solar selective absorber materials. Reporte NREL/TP-520-31267, 2002.

NETO, J. H. M. M.; PESSOA, M. A.; BORGES, E. B.; LIMA, F. R. S. Experimental test of the parabolic trough solar collectors of the first demonstration testing facility of Brazil using the QDT model, Appl Therm Eng, v. 163, pp. 1-13, 2019.

SOLAR PAYBACK. Energia termossolar para a indústria. Solrico, 2017.

DECARVALHO, Joaquim Francisco. Energia e sociedade. São Paulo: Scielo, 2014.

MORAIS, Luciano Cardoso de. ESTUDO SOBRE O PANORAMA DA ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL E TENDÊNCIAS FUTURAS. 2015. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Unesp, Bauru, 2015.

QUEIROZ, Juliano da Rocha; SOUZA, Anacreone da Silva; ANDRADE, Cid Marcos Gonçalves. CLASSIFICAÇÃO DE RASTREADORES SOLARES: UMA BREVE REVISÃO. Simpósio Paranaense de Modelagem. Curitiba, p. 152-159. mar. 2018.

LIFE, Better Your. Ilustração de desenho vetorial de antena parabólica. Disponível em: <https://pt.vecteezy.com/arte-vetorial/1844857-satelite-prato-vetor-design-ilustracao-isolado-no-fundo-branco>. Acesso em: 25 jun. 2021.

ENERGIA E SOCIEDADE. São Paulo: Scielo, dez. 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/GYqnmvDvtGtr8N5zdsYdj5j/>. Acesso em: 04 out. 2023.

JACOB FILHO, Pedro. ESTUDO DO RENDIMENTO TÉRMICO DE UM AQUECEDOR SOLAR PARABÓLICO REDONDO PARA VIABILIDADE DE USO COMERCIAL E RESIDENCIA. 2016. 67 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Unesp, Guaratinguetá, 2016. Disponível em: [chrome-extension://oemmnadbldboiebfnladdacbfmadadm/https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/d6a10e3f-a020-4d36-abb5-3e444a789e8b/content](https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/d6a10e3f-a020-4d36-abb5-3e444a789e8b/content). Acesso em: 04 out. 2023.