



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

PROJETO DE SUPORTE COM INCLINAÇÃO VARIÁVEL PARA
PLACAS SOLARES RESIDENCIAIS

MARCELO ALLAN DE MELO SILVA

ORIENTADOR:

FRANCISCO FERNANDO ROBERTO PEREIRA

RECIFE

2023

MARCELO ALLAN DE MELO SILVA

PROJETO DE SUPORTE COM INCLINAÇÃO VARIÁVEL PARA
PLACAS SOLARES RESIDENCIAIS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de
Engenharia Mecânica da Universidade
Federal de Pernambuco, como requisito
parcial para a obtenção do título de
Graduação em Engenharia Mecânica.

Área de concentração: Projetos

Orientador: Prof. Dr. Francisco Fernando Roberto Pereira

RECIFE

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Silva, Marcelo Allan de Melo.

Projeto de suporte com inclinação variável para placas solares residenciais /
Marcelo Allan de Melo Silva. - Recife, 2023.

70p : il., tab.

Orientador(a): Francisco Fernando Roberto Pereira
(Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e
Geociências, , 2023.

Inclui referências, apêndices.

1. Desenvolvimento de produto. 2. Energia Solar. 3. Prototipagem. 4.
Projetos. I. Pereira, Francisco Fernando Roberto. (Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)



**Universidade Federal de Pernambuco
Departamento de Engenharia Mecânica Centro de
Tecnologia e Geociências- CTG/EEP**



**ATA DE SESSÃO DE DEFESA DE
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – TCC2**

Ao 28º dia do mês de abril do ano de dois mil e vinte e três, às 13:00 horas, de forma virtual através da plataforma google meet, reuniu-se a banca examinadora para a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco, intitulado **Projeto de suporte com inclinação variável para placas solares residenciais**, elaborado pelo aluno **Marcelo Allan de Melo Silva**, matrícula 118.259.664/94, composta pelos avaliadores Prof. **Francisco Fernando Roberto Pereira** (orientador), Profa. **Marcele Elisa Fontana** (avaliadora) e Prof. **Justo Emilio Alvarez Jacobo** (avaliador). Após a exposição oral do trabalho, o candidato foi arguido pelos componentes da banca que em seguida reuniram-se e deliberaram pela sua aprovação, atribuindo-lhe a média 9,0, julgando-o apto(✓) / inapto() à conclusão do curso de Engenharia Mecânica. Para constar, redigi a presente ata aprovada por todos os presentes, que vai assinada pelos membros da banca.

Orientador: Prof. Francisco Fernando Roberto Pereira Nota: 9,0

Assinatura _____

Avaliadora Interna: Profa. Marcelle Elisa Fontana Nota: 9,0

Assinatura _____

Avaliador Interno: Prof. Justo Emilio Alvarez Jacobo Nota: 9,0

Assinatura _____

Recife, 28 de abril de 2023.

Prof. Marcus Costa de Araújo
Coordenador de Trabalho de Conclusão de curso - TCC
Curso de Graduação em Engenharia Mecânica – CTG/EEP-UFPE

RESUMO

A transição para fontes de energia renováveis é fundamental para que o Brasil alcance suas metas de desenvolvimento sustentável. Nesse sentido, o uso de energia solar nas residências vem se mostrando uma alternativa viável. Porém, a sua adesão é bastante pequena pelas famílias brasileiras. Isso se deve principalmente pelo alto investimento inicial necessário para instalar o sistema fotovoltaico. Por isso, esse trabalho desenvolve um mecanismo de seguidor solar que mantém as placas tratadas para o sol durante todo o dia, aumentando a energia gerada pelo sistema e permitindo a instalação de sistemas menores sob seu custo inicial. Através do projeto, foi possível obter um aumento de 44% na incidência solar sobre as placas e reduzir o investimento em 12%.

Palavras-chave: Desenvolvimento de produto. Energia solar. Prototipagem. Projetos.

ABSTRACT

The transition to renewable energy sources is critical for Brazil to achieve its sustainable development goals. In this sense, the use of solar energy in homes has been proving to be a profitable and ecological alternative. However, its adherence is quite small by Brazilian families. This is mainly due to the high initial investment required to install the photovoltaic system. Therefore, this work seeks to develop a Solar Tracker mechanism that keeps the plates facing the sun throughout the day, to increase the energy generated by the system and, therefore, allow the installation of smaller systems and reduce their initial cost. Through the project, it was possible to obtain a 44% increase in solar incidence on the plates and, for the specific case considered, reduce the investment by 12%.

Keywords: Product development. Solar energy. Prototyping. Projects.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Componentes da radiação solar.	13
Figura 2. Sistema de aquecimento de água por meio da irradiação solar.....	14
Figura 3. Concentrador parabólico longitudinal (a) e circular (b).....	15
Figura 4. Conjunto de painéis solares em laje industrial.	16
Figura 5. Representação de célula, módulo e painel solar.....	17
Figura 6. Células em série (a) e paralelo (b).	17
Figura 7. Componentes de um painel fotovoltaico.	18
Figura 8. Comparativo da Irradiância entre um sistema de placa solar fixo e móvel.	20
Figura 9. Etapas de desenvolvimento de produto.	21
Figura 10. Modelagem 3D da casa modelo.....	23
Figura 11. Irradiância solar média da região de estudo para o ano de 2020.	25
Figura 12. Suportes para Inclinação de Placas Solares. Eixo comum (a), Giro 360° (b) e Inclinação via pistão (c).	28
Figura 13. Perfil em Alumínio para fixação de painel solar fotovoltaico (a) com <i>Mid Clamp</i> Intermediário (b).....	30
Figura 14. Montagem (a) End Clamp (b) em perfil de fixação para painel solar fotovoltaico.	30
Figura 15. Presilha para fixação de antena parabólica.	31
Figura 16. Painel fotovoltaico inclinado com pistão hidráulico no ângulo mínimo (a) e máximo (b).	32
Figura 17. Arduino UNO (a), Sensor LDR (b), Módulo regulador de tensão (c).	33
Figura 18. Perfis estruturais da grade de sustentação das placas (a) e perfis de fixação (b).	36
Figura 19. Montagem da base sobre a cumeeira.	37
Figura 20. Poste de sustentação do seguidor solar.	37
Figura 21. Pontos de apoio e carga da simulação do eixo.	38

Figura 22. Tensão de von Misses na barra (a) e no tubo (b).....	39
Figura 23. Deformação equivalente na barra (a) e no tubo (b).	39
Figura 24. Mecanismo de Giro das Placas.....	41
Figura 25. Mecanismo de rotação das placas.	41
Figura 26. Extensão mínima e máxima do atuador.	42
Figura 27. Modelo para testes do subsistema de automação. Modelo 3D (a), modelo físico (b).....	43
Figura 28. Disposição dos sensores LDR.	44
Figura 29. Esquema eletrônico do subsistema de automação do protótipo.	45
Figura 30. Captação de luz com o modelo de placas móveis.	46
Figura 31. Resultados captação de luz com Placas Móveis e Estáticas.	47
Figura 32. Gráfico do ângulo de inclinação das placas ao longo do dia (a). Representação do ângulo no modelo 3D (b).....	47
Figura 33. MG 01 - Detalhamento Geral.	49
Figura 34. Esquema eletrônico do subsistema de automação do seguidor solar.....	50

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2.1	FUNDAMENTOS DA ENERGIA SOLAR.....	12
2.1.1	Radiação Solar	12
2.2	FORMAS DE APROVEITAMENTO DA ENERGIA SOLAR.....	13
2.2.1	Sistemas de Aquecimento de Água	14
2.2.2	Concentrador Solar	14
2.2.3	Sistemas Fotovoltaicos	15
2.3	PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	16
2.3.1	Arranjo de Células Fotovoltaicas	16
2.3.2	Tipos de Sistemas Fotovoltaicos	18
2.4	Relação entre Eficiência e o Ângulo de Inclinação da Placa	19
3	METODOLOGIA	21
4	RESULTADOS	23
4.1	PROJETO INFORMACIONAL	23
4.1.1	Necessidades, Requisitos e Especificações-Meta	23
4.1.1.1	Definição da Casa Modelo.....	23
4.1.1.2	Estimativa do Consumo e Despesa Mensal com Energia Elétrica	23
4.1.1.3	Dimensionamento do Sistema de Energia Solar	25
4.1.1.4	Tabela de Especificações-meta.....	26
4.1.2	Pesquisa de Tecnologias Similares	27
4.2	Projeto Conceitual	29
4.2.1	Subsistema de Fixação do Pannel	29
4.2.2	Subsistema de Fixação na Estrutura	30
4.2.3	Subsistema de Giro	31

4.2.4	Subsistema de Automação	32
4.2.5	Resumo das tecnologias escolhidas para os subsistemas	34
4.3	Projeto Preliminar	35
4.3.1	Subsistema de Fixação do Painel	35
4.3.2	Subsistema de Fixação da Estrutura	36
4.3.3	Subsistema de Giro	37
4.3.3.1	Dimensionamento do eixo	37
4.3.3.2	Escolha do mancal	40
4.3.3.3	Dimensionamento do Atuador	40
4.3.4	Construção do Protótipo	42
4.3.5	Testes com o Protótipo	45
4.4	Projeto Detalhado	48
4.4.1	Visão Geral	49
4.4.2	Esquema Eletrônico de Automação	50
4.4.3	Custo do Seguidor Solar	50
5	CONCLUSÃO	53
6	BIBLIOGRAFIA	54

1 INTRODUÇÃO

Entre 2015 e 2021 o custo da energia elétrica residencial sofreu aumentos médios anuais de 16,3% (PORTAL ENERGIA, 2022). Esse valor tem superado até mesmo a média da inflação, que foi de 6,3% ao ano, para o mesmo período. Já em 2022 a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) aprovou aumentos que chegaram a 24% em alguns estados brasileiros. Esse cenário contribui para que o impacto dessa conta seja cada vez maior no orçamento das famílias brasileiras. Em um contexto como esse é cada vez mais necessário optar por fontes alternativas de energia, como a energia solar.

Outro ponto importante a ser considerado é que, apesar do enorme potencial do Brasil na geração de energia hidrelétrica, que hoje corresponde a 53,4% da energia consumida (BEN, 2022), seguida do gás natural 12,8% e eólica 10,6%, a crise hídrica afeta nossa matriz energética gerando aumento de preços e sub abastecimento (NASSIF, 2021). Por isso surge a necessidade de diversificar as fontes de energia, trazendo para o meio outras opções, de preferência as que são sustentáveis, como a solar e eólica.

Porém, por mais que a energia solar se mostre uma opção mais barata e sustentável que a elétrica, seu uso ainda não é expressivo nas residências brasileiras, apenas 2,5% (BEN, 2022). Isso se deve ao fato dessa tecnologia enfrentar problemas como: alto custo inicial de instalação, geração intermitente e baixa eficiência, chegando a 20% nos sistemas residenciais (FROSI, 2018).

Para solucionar alguns desses problemas, as empresas têm desenvolvido diversas tecnologias, uma delas é o ajuste automático da inclinação da placa solar ao longo do dia. O Manual de Energia Fotovoltaica demonstra que os ganhos desta implementação são de até 30% no inverno, podendo chegar a 300% no verão (PORTAL ENERGIA, 2022). Apesar disso, essa solução ainda é bastante incomum nos projetos residenciais, por causa do custo e indisponibilidade de espaço.

Nesse contexto, o presente trabalho busca desenvolver e prototipar um suporte com inclinação variável (seguidor solar) para placas solares residenciais com o objetivo de: verificar se essa é alternativa é capaz de aumentar a eficiência do sistema o suficiente para compensar seu custo e reduzir o investimento inicial de instalação

do sistema fotovoltaico. Para isso, foram apresentados os principais pontos considerados para projetar a estrutura de suporte, desenvolver o sistema de rotação e avaliar o retorno financeiro.

Adicionalmente, esse projeto desenvolve aspectos gerenciais fundamentais para o engenheiro mecânico na medida que aplica uma metodologia de desenvolvimento de produtos e trabalha a análise de viabilidade do mesmo do ponto de vista econômico e técnico. Além disso possui forte relação com o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 7 fixado pela ONU, que trata da transição do país para o uso fontes de energia sustentáveis.

Após os testes foi verificado um ganho de 44% na captação de luz pelo sistema e uma redução de 12% no investimento inicial, já considerando os gastos com o seguidor solar. Por fim, o projeto teve como entregas finais: o projeto mecânico para a estrutura de rotação em 1 grau de liberdade juntamente com a especificação de todas as peças, o projeto eletrônico da automação utilizada e o estudo de viabilidade econômica, apresentando os ganhos de eficiência e o gasto estimado para implementação.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção, realizou-se uma pesquisa bibliográfica visando esclarecer como funciona a energia solar fotovoltaica, como esse sistema é instalado nas residências, quais os mecanismos existem para ajuste de inclinação, qual a eficiência de um sistema de energia solar fotovoltaica e quais plataformas podem ser utilizadas para projetos de automação residencial.

2.1 FUNDAMENTOS DA ENERGIA SOLAR

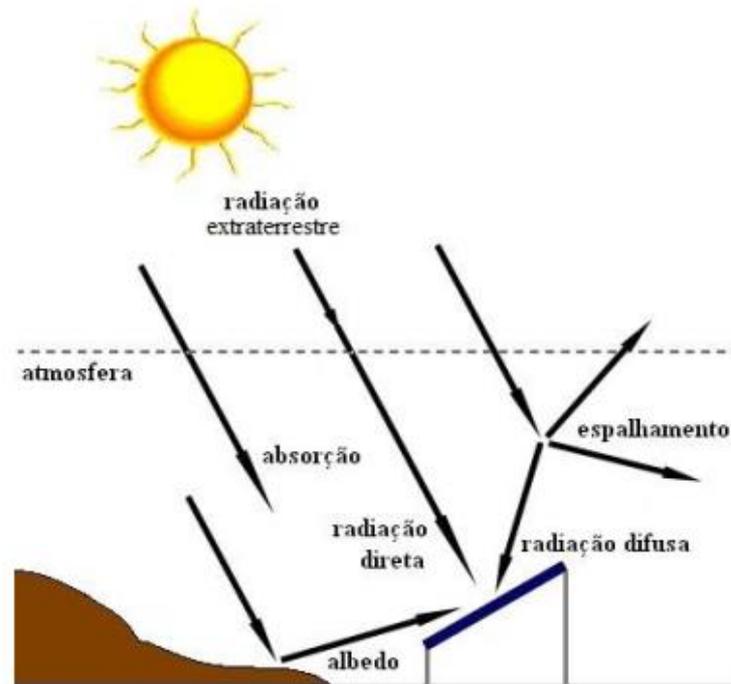
2.1.1 Radiação Solar

O sol é responsável pela manutenção da vida na terra, possuindo um enorme potencial de fonte de energia para os mais diversos sistemas, como por exemplo, a térmica e a elétrica. Nele a energia é liberada a partir de reações termonucleares, onde quatro prótons são fundidos em um núcleo de hélio. Essa energia chega à terra através de um processo de radiação (CRESESB, 2014).

A constante solar é definida como a densidade média anual do fluxo energético proveniente da radiação solar medida num plano perpendicular à direção de propagação dos raios solares e corresponde ao valor de 1.367 W/m^2 . Considerando que a terra tenha 6.371 km , calcula-se que a potência total disponibilizada pelo sol seja de 174 mil terawatts anualmente. Desse valor, 46% são absorvidos ou refletidos pela atmosfera enquanto do 54% restante 7% são refletidos e 47% são absorvidos pela superfície terrestre (CRESESB, 2014).

A diferença entre a radiação direta e difusa está ilustrada na Figura 1.

Figura 1. Componentes da radiação solar.



Fonte: Pereira et al. (2017)

A radiação solar ainda pode ser classificada como:

- Radiação direta: provém diretamente do sol sem sofrer nenhuma alteração da sua direção original. Ela é a responsável por produzir sombras nítidas quando direcionada contra os objetos.
- Radiação difusa: pode provir de qualquer direção através da reflexão dos objetos. Em áreas abertas a presença ou não de nuvens é determinante para a predominância ou não de radiação difusa, podendo chegar a 100% em dias nublados enquanto em dias sem nuvens não chegar a 20%. (PEREIRA, et al., 2017)

O Brasil está localizado, em sua maior extensão, na região intertropical e possui alto índice de aproveitamento da energia solar durante o ano. Incidindo sobre nós entre 4.444 Wh/m² a 5.483 Wh/m² diariamente. Graças a isso, há grande potencial de geração de energia renovável através do sol (PEREIRA, et al., 2017).

2.2 FORMAS DE APROVEITAMENTO DA ENERGIA SOLAR

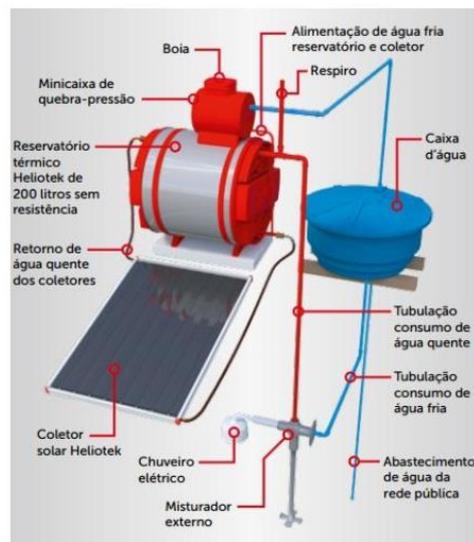
O sol é uma das principais fontes de energia disponíveis ao planeta terra e ao

longo dos anos foram sendo desenvolvidas diversas formas de aproveitar essa energia com o objetivo de reduzir custos e caminhar para uma matriz energética mais sustentável. Dentre as tecnologias utilizadas para utilizar a energia solar estão: os sistemas de aquecimento de água, as paredes solares e os sistemas fotovoltaicos (BEN, 2022).

2.2.1 Sistemas de Aquecimento de Água

O sistema de aquecimento solar, ilustrado na Figura 2, é um sistema convencional que produz água quente expondo a água ao calor do sol ou aquecendo-a através de um fluido que percorre um sistema fechado. Esse aquecimento acontece por meio da energia proveniente da radiação solar e pode ou não ser complementada por uma fonte alimentar por energia elétrica em caso de longos períodos sem incidência de luz (RODRIGUES, 2010).

Figura 2. Sistema de aquecimento de água por meio da irradiação solar.



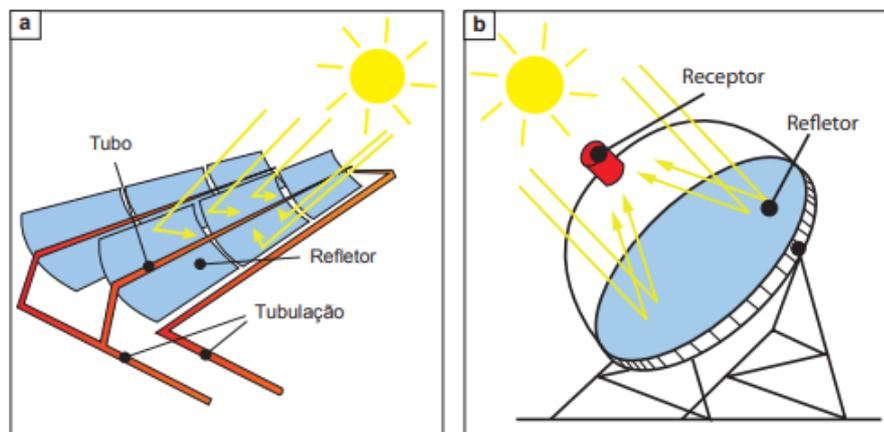
Fonte: Rodrigues (2010)

2.2.2 Concentrador Solar

Os sistemas de concentrador solar utilizam grandes quantidades de superfícies parabólicas e reflexivas no intuito de direcionar a energia solar para um único ponto, produzindo assim um intenso calor, que possibilita a conversão em eletricidade.

Quando se discute o sistema de concentrador solar, dois métodos são mais comumente utilizados na conversão da energia térmica em elétrica. Um dos sistemas utiliza concentradores parabólicos no aquecimento de água para produzir vapor, Figura 3. Um outro tipo de sistema são superfícies reflexivas e uma torre central de energia que transfere calor para um fluido para gerar vapor. Em ambos os casos, o vapor é utilizado para movimentar turbinas realizando assim a conversão em energia elétrica (CRESESB, 2014).

Figura 3. Concentrador parabólico longitudinal (a) e circular (b).



Fonte: Rodrigues (2010)

A necessidade e grandes espaços, a elevada geração de calor concentrado ao redor das placas e o alto custo dos equipamentos inviabiliza esse tipo de aplicação para fins residenciais, mas é amplamente utilizado em indústrias como fonte barata e renovável de energia uma vez que o investimento inicial rapidamente é recuperado (RODRIGUES, 2010).

2.2.3 Sistemas Fotovoltaicos

Um sistema fotovoltaico de geração de energia, Figura 4, converte a energia da radiação solar em energia elétrica. Seu principal componente são os módulos fotovoltaicos que são compostas por inúmeras células fotovoltaicas que são responsáveis em fazer a conversão da radiação solar em energia elétrica (LIMA, 2017).

Neste processo, são utilizados materiais semicondutores como o silício, o arsenieto de gálio, teluriato de cádmio ou disselenieto de cobre e índio, com

predominância do silício cristalino que representa cerca de 85% do mercado de módulos fotovoltaicos (PORTAL ENERGIA, 2022).

Figura 4. Conjunto de painéis solares em laje industrial.



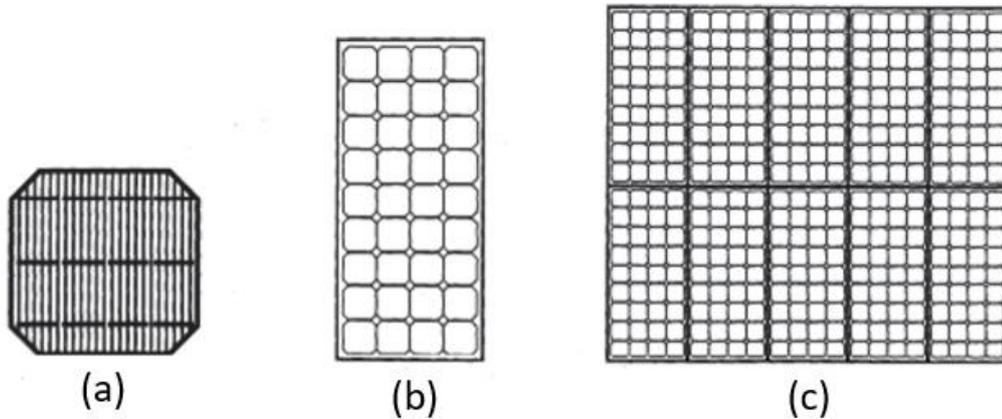
Fonte: Rodrigues (2010)

2.3 PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

2.3.1 Arranjo de Células Fotovoltaicas

Através do efeito fotovoltaico uma célula é capaz de produzir entre 3 e 5 amperes com uma tensão de aproximadamente 0,7V, valores muito inferiores a uma pilha comercial. Portanto, para serem capazes de produzir uma quantidade significativa de energia, é necessário agrupar várias células em série ou paralelo. A combinação dessas células é chamada de módulo fotoelétrico e o conjunto de módulos recebe o nome de painel (LIMA, 2017). A Figura 5 apresenta cada um desses componentes.

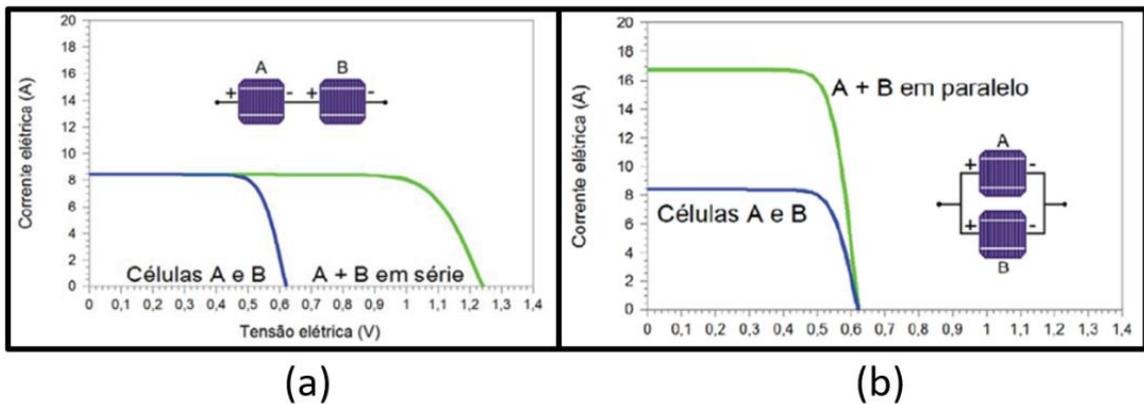
Figura 5. Representação de célula (a), módulo (b) e painel solar (c).



Fonte. Lima (2017)

Assim como outros componentes elétricos, as características de tensão e corrente do sistema mudam consideravelmente quando organizamos os módulos em série e paralelo. Quando associamos os módulos em série, Figura 6, a corrente do circuito será limitada pela menor entre elas, mas a tensão elétrica é somada. O oposto acontece quando fazemos a associação em paralelo, (CRESESB, 2014).

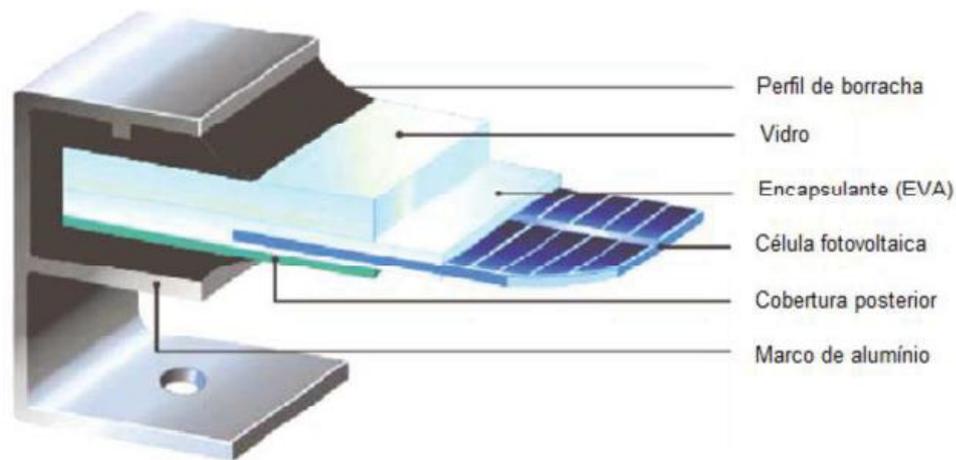
Figura 6. Células em série (a) e paralelo (b).



Fonte: Cresesb (2014)

Além das células fotovoltaicas diversos outros componentes são utilizados para formar o painel, com o intuito de garantir resistência e facilitar a montagem, um exemplo pode ser visto na Figura 7.

Figura 7. Componentes de um painel fotovoltaico.



Fonte: Lima (2017)

Além dos módulos fotovoltaicos, existem outros componentes que integram o sistema, permitindo seu pleno funcionamento (LIMA, 2017):

- O inversor de frequência: uma vez que a energia gerada pelo módulo fotovoltaico é corrente contínua (CC) é necessário utilizar um inversor para transformá-la em corrente alternada (CA) e assim utilizá-la na maioria das aplicações domésticas.
- Dispositivos de interrupção de energia: são utilizados nos condutores CC e CA para possibilitar a interrupção em caso de necessidade de manutenção da linha pela concessionária de energia elétrica.
- Dispositivos de proteção: servem para resguardar o sistema contra curtos-circuitos e sobretensões.

2.3.2 Tipos de Sistemas Fotovoltaicos

Quanto à sua interação com a rede elétrica, os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados em 3 categorias:

- Sistema Isolado: também conhecidos com *off-Grid*. Um sistema fotovoltaico isolado é aquele que não possui contato com a rede de distribuição de eletricidade das empresas fornecedoras de energia. Sendo, nesse caso, necessário o uso de sistemas de armazenamento para manter o

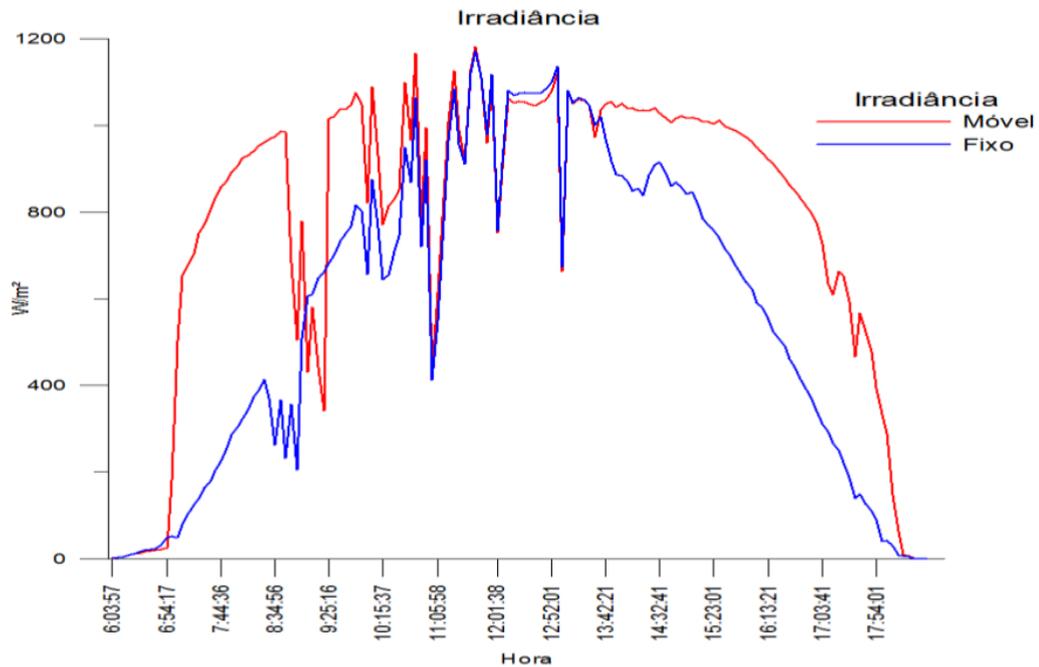
fornecimento de energia durante os períodos de geração insuficiente devido à ausência de luz ou manutenções no sistema (SILVA; ABREU, 2017). A desvantagem desse tipo de sistema é o alto custo de instalação, uma vez que é necessário adquirir bancos de baterias capazes de suprir a demanda durante o período noturno além de montar um sistema fotovoltaico que seja capaz de carregar o banco além de fornecer energia ao sistema.

- Sistema interligado à rede: esse sistema trabalha conectado à rede de empresas distribuidoras de energia, fazendo com que o excedente seja distribuído para outras instalações e gerando um crédito junto à distribuidora que, por sua vez, fornece energia durante os períodos em que a energia solar é insuficiente para suprir a demanda da instalação. Por dispensarem o uso de baterias, esses sistemas são mais baratos e predominantes nas aplicações residenciais (SILVA; ABREU, 2017).
- Sistemas Híbridos: é a combinação dos sistemas fotovoltaicos isolados e conectados à rede. Ele está ligado à rede elétrica, mas também possui uma bateria que funciona caso a rede elétrica venha a falhar durante períodos de ausência de luz. Esse sistema tem como vantagem a maior confiabilidade, porém apresenta custos maiores de instalação e manutenção (SILVA; ABREU, 2017).

2.4 RELAÇÃO ENTRE EFICIÊNCIA E O ÂNGULO DE INCLINAÇÃO DA PLACA

A energia gerada pela placa solar depende diretamente da perpendicularidade entre sua superfície e os raios incidentes sobre ela. Para isso, são utilizados sistemas que modifiquem a inclinação das placas várias vezes ao longo do dia. Fazendo com que a Irradiância se mantenha próxima ao valor de pico por períodos mais longos e não só ao meio-dia. Essa tecnologia já foi testada academicamente diversas vezes, como por exemplo num estudo realizado por (SILVA, 2012) na cidade de Braga, Portugal. Obtendo uma geração aproximadamente 50% maior de energia pelo sistema móvel com 2 graus de liberdade quando comparado ao sistema fixo.

Figura 8. Comparativo da Irradiância entre um sistema de placa solar fixo e móvel.



Fonte: Frosi (2018)

De maneira geral, o ganho de eficiência fica em torno de 20 a 50% a depender da região e da época do ano a ser considerada, pois estes fatores influenciam na duração dos dias e da variação da posição solar no período (FROSI, 2018).

Apesar do uso nos parques solares, essa tecnologia ainda é incomum no uso doméstico, devido ao elevado investimento inicial para obter o equipamento e a falta de soluções de mercado para atender esse público.

3 METODOLOGIA

Para garantir que o projeto será desenvolvido de forma sistemática e eficaz e que os resultados estejam alinhados com as necessidades dos usuários, será utilizada a metodologia conhecida como Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP) (OGLIARI, 2007). Essa metodologia divide o processo de desenvolvimento de um produto em etapas, conforme pode ser visto na Figura 9, e determina quais são as atividades desenvolvidas em cada uma e quais as entregas obtidas ao concluí-las.

Figura 9. Etapas de desenvolvimento de produto.



Fonte: Ogliari (2023)

As etapas dessa metodologia são descritas da seguinte forma:

- **Projeto Informacional:** busca definir o problema e as necessidades dos usuários para transformá-los em especificações-meta que precisaram ser alcançadas pela solução desenvolvida. Ao fim dessa etapa obtém-se uma lista com as principais especificações às quais o projeto deve atender e uma análise dos principais produtos já implementados no mercado para determinar quais das especificações do projeto são atendidas pelas soluções comerciais. Com isso o projetista adquire uma visão geral dos objetivos do projeto e como eles deverão ser alcançados (OGLIARI, 2007).
- **Projeto Conceitual:** busca definir a estrutura funcional do produto, dividindo o problema em subsistemas e procurando possíveis soluções existentes no mercado para cada uma das funcionalidades, elaborando com isso o melhor conceito para o produto a ser desenvolvido. A principal entrega dessa etapa é uma lista com a solução mais adequada para cada um dos subsistemas do projeto (OGLIARI, 2007).
- **Projeto Preliminar:** destina-se ao estabelecimento do leiaute final do produto, elaboração de esboços, modelos, protótipos, definições de materiais e

dimensionamento dos componentes mecânicos. Além disso, é elaborado um orçamento preliminar para avaliar a viabilidade econômica do projeto. E, finalmente, um protótipo é desenvolvido para testar o funcionamento de cada subsistema (OGLIARI, 2007).

- Projeto Detalhado: nessa etapa é feita a integração final dos subsistemas numa montagem completa. Com base nela os desenhos técnicos são produzidos e é gerada uma lista de componentes. Por fim, é avaliada a adesão do produto a cada uma das especificações determinadas na etapa de projeto informacional. Como entregas finais tem-se: as fichas técnicas de cada componente; o manual de montagem e o esquema eletrônico (OGLIARI, 2007).

4 RESULTADOS

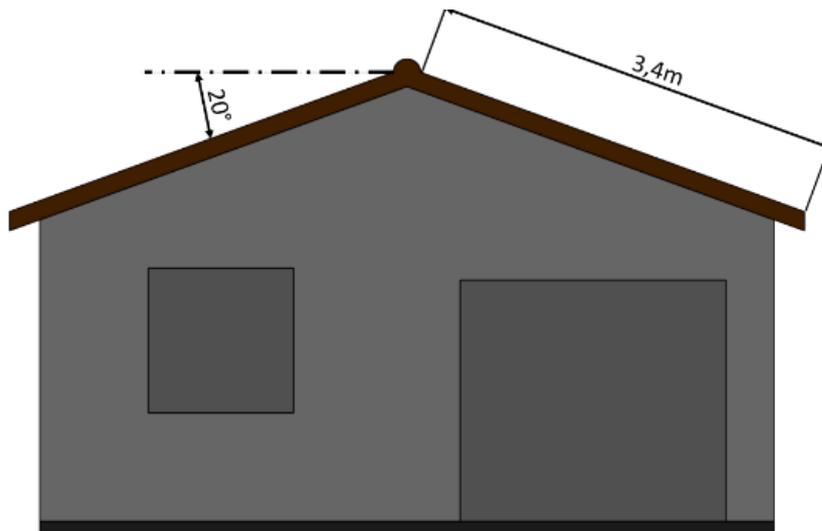
4.1 PROJETO INFORMACIONAL

4.1.1 Necessidades, Requisitos e Especificações-Meta

4.1.1.1 Definição da Casa Modelo

A casa utilizada para estudo busca representar da melhor forma o formato e dimensões dos telhados presentes nas residências brasileiras. Seu telhado pode ser visto na Figura 10.

Figura 10. Modelagem 3D da casa modelo.



Fonte: Autor (2023)

Foi considerada uma família de classe média com 4 pessoas, sendo 2 adultos e 2 adolescentes. Além disso a residência vai ser alimentada por um sistema fotovoltaico ligado à rede, que vai garantir a sua alimentação nos períodos em que a energia solar não foi suficiente.

4.1.1.2 Estimativa do Consumo e Despesa Mensal com Energia Elétrica

Para estimar o consumo mensal de energia, foram listados na Tabela 1 os principais itens presentes em uma residência de classe média juntamente com o seu consumo médio obtido no site da (PROCEL, 2023).

Tabela 1. Consumo médio mensal dos aparelhos elétricos residenciais.

Aparelhos Elétricos	Dias Estimados	Média	Consumo Médio Mensal
	Uso/Mês	Utilização/Dia	(kWh)
Ferro elétrico automático a seco - 1050 W	12	1 h	2,4
Forno micro-ondas - 25 L	30	20 min	13,98
Geladeira 2 portas	30	24 h	48,24
Lavadora de roupas	12	1 h	1,76
Liquidificador	15	15 min	0,8
Notebook	30	8 h	4,8
Roteador	30	8 h	1,44
Sanducheira	30	10 min	3,35
TV em cores - 40" (LED)	30	5 h	12,45
Ventilador de mesa	30	8 h	17,28
Chuveiro	30	1	204
Total			310,43

Fonte: Procel (2023) (Adaptado)

O cálculo da despesa com energia elétrica, apresentado na Tabela 2, leva em consideração a tarifa aplicada no estado de Pernambuco em 2023.

Tabela 2. Cálculo da despesa média mensal com energia elétrica.

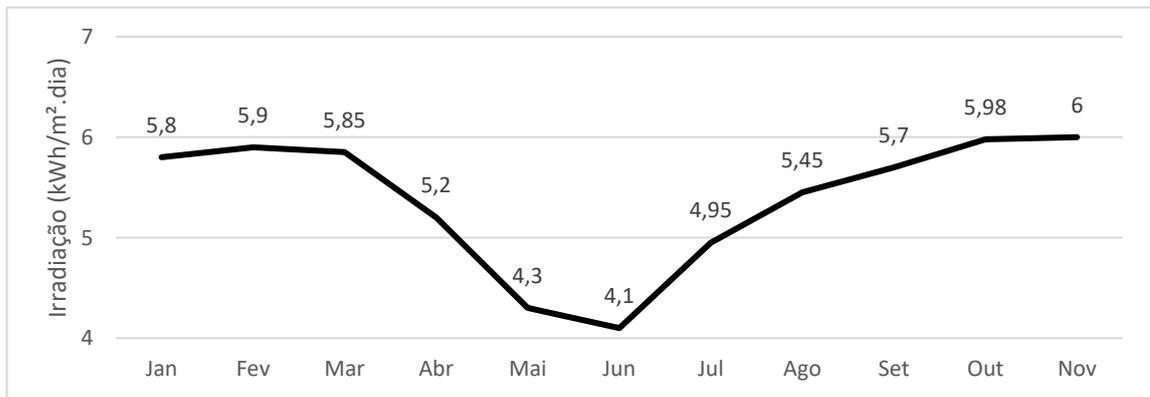
Período	kWh	Tarifa	Despesa [R\$]
Consumo Diário	10,35	0,74	7,66
Consumo Mensal	310,43		229,71
Consumo Anual	3725,16		2756,62

Fonte: Neoenergia (2023) (Adaptado)

4.1.1.3 Dimensionamento do Sistema de Energia Solar

Para saber quantas placas solares serão necessárias para suprir a demanda da residência, é necessário conhecer o potencial de Irradiação solar da região onde serão instaladas. Para isso foi utilizado o banco de dados do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sergio Brito, que informa a média de irradiação solar ao longo do ano de acordo com a latitude e longitude especificadas (CRESESB, 2014).

Figura 11. Irradiância solar média da região de estudo para o ano de 2020.



Fonte. CRESESB (2022)

Assim, a Irradiância solar média na região da residência é 5,28 kWh/m².dia. Este valor é medido com base num plano inclinado. Dividindo o consumo diário da residência pela média de irradiação solar, obtém-se o valor do kW/pico que o sistema precisa alcançar: 1,96 kW/pico. O painel solar utilizado para o dimensionamento será o Painel Solar Fotovoltaico 330W (NEOSOLAR, 2022), por ser o modelo mais comum utilizado nas instalações fotovoltaicas domésticas, cujas principais especificações estão listadas na Tabela 3.

Tabela 3. Especificações painel solar.

Painel Solar Fotovoltaico 330W - OSDA - ODA330-36-P		
Geração de Energia	330	W/pico
Dimensões	1960 x 992 x 40	mm
Peso	22,5	Kg

Fonte. Neosolar (2022)

Portanto, para saber quantos painéis seriam necessários nesse caso, basta dividir esse valor pela demanda em W/pico da residência. Fazendo esse cálculo, estima-se que o sistema solar precisa ter 6 placas, o que, conforme especificado no modelo, representa uma largura de 6 metros, comprimento de 2 metros e pesa aproximadamente 135kg.

4.1.1.4 Tabela de Especificações-meta

Seguindo a metodologia de desenvolvimento de produtos, as especificações são ponto chave para o projeto, pois é com base nelas que serão desenvolvidas as funcionalidades e definidas as metas de projeto. Para o produto em questão, foram definidas as seguintes necessidades do usuário que se traduzirem em metas:

- Ser financeiramente viável: o seguidor solar se propõe a aumentar a eficiência do sistema fotovoltaico de forma a reduzir o seu custo. Portanto é fundamental que o seguidor tenha um baixo custo para o ganho gerado com a sua instalação supere o seu preço. Portanto, com base no proporcionado pelo seguidor solar segundo a literatura, foi definida uma meta de que o produto não pode superar 20% do valor do sistema fotovoltaico.
- Possuir uma construção simples que suporte o peso dos painéis: o seguidor precisa possuir uma estrutura de fácil montagem e instalação, mas que seja resistente o suficiente para suportar o peso das placas e as intempéries a que estão submetidas.
- Aumentar a eficiência do sistema fotovoltaico: o objetivo do projeto é reduzir o custo da instalação fotovoltaica tornando-a mais atrativa para a

população. Isso é feito aumentando a eficiência do sistema fotovoltaico por meio do seguidor solar de forma que um sistema menor consiga fornecer a mesma quantidade de energia, reduzindo assim o investimento inicial. Portanto, com base no ganho estimado descrito na literatura, foi definida a meta de que o sistema com seguidor solar gere no mínimo 30% mais energia que o sistema fotovoltaico padrão.

Por fim, a Tabela 4 lista as principais necessidades, requisitos e metas a serem alcançadas no projeto.

Tabela 4. Necessidades, requisitos e especificações-meta do projeto.

Necessidades dos Usuários	Requisitos	Especificações	Meta	Unidades
Ser financeiramente viável	Preço	O suporte não deve aumentar substancialmente o custo inicial para instalação do sistema	Aumento máximo de 20%	%
Suportar o peso dos painéis	Resistência	Ser capaz de suportar o peso dos painéis que o vento incidente sobre eles	Suportar 6 painéis 25kg	kg
Aumentar a eficiência dos painéis solares	Eficiência	Aumentar a quantidade de luz recebida pelas placas	Ganho mínimo de 30%	%

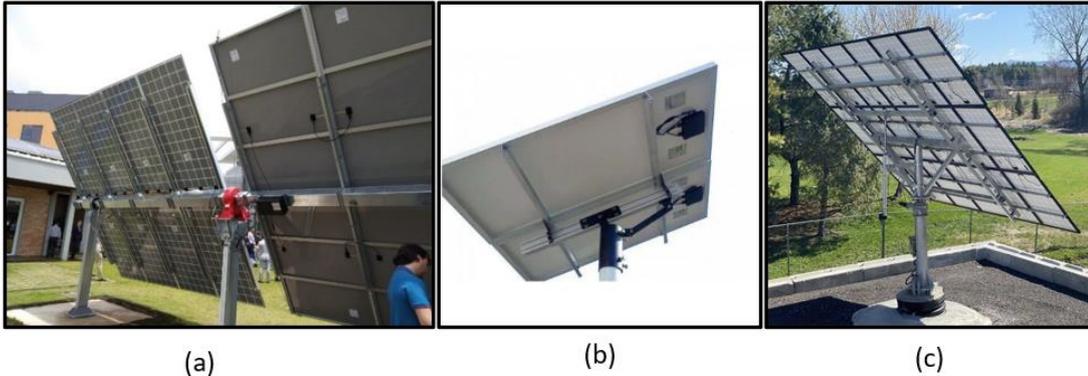
Fonte: Autor (autor)

4.1.2 Pesquisa de Tecnologias Similares

Para desenvolver solução mais adequada para o projeto, é necessário estudar quais alternativas já estão sendo aplicadas no mercado e entender seus pontos positivos e negativos. Ao buscar por sistemas de placas solares rotativos foram encontrados produtos de diversos fabricantes, porém com princípios de funcionamento bastante similares, de forma que podem ser resumidos a 3 modelos,

que são apresentados na Figura 10.

Figura 12. Suportes para Inclinação de Placas Solares. Eixo comum (a), Giro 360° (b) e Inclinação via pistão (c).



Fonte: (a) Atacado Solar (2022), (B) Redimax (2022), (C) Taina Xinpeng Energy Technology (2022)

Sobre os sistemas apresentados é possível concluir o seguinte:

- Eixo comum para rotação: nessa solução, foi construída uma estrutura robusta capaz de suportar o peso de grades painéis solares. O ajuste de ângulo é feito por meio de um eixo comum que é suportado por mancais e movimentador por um motor. A principal vantagem dessa solução é possibilitar um giro dos painéis de quase 360° e como desvantagem o uso de componentes caros, o peso elevado e o grande espaço necessário para sua implementação. O modelo pode ser visto na Figura 12 (a).
- Suporte para rotação vertical 360°: um suporte desenvolvido pela Redimax para placas solares capaz de ajustar a inclinação da placa e rotacionar a estrutura no eixo Z em 360°, Figura 12 (b). Porém, o movimento não é automático, sendo necessário o ajuste manual pelo usuário. Esse princípio poderia ser aproveitado no projeto do suporte utilizando um motor e um sistema de engrenagem para girar o suporte ao redor do eixo vertical.
- Suporte com inclinação ajustável via pistão: na solução apresentada na Figura 12 (c) substitui o motor e o eixo por um sistema de barras equipado com um pistão, o que reduz muito o custo do projeto e permite um ajuste de ângulo satisfatório. Esse conceito pode ser muito bem aproveitado para o projeto de instalação de placas nos tetos das residências.

4.2 PROJETO CONCEITUAL

Segundo a metodologia de desenvolvimento de projeto (OGLIARI, 2007), o projeto precisa ser dividido em subsistemas para simplificar o processo de desenvolvimento e permitir uma abordagem direcionada as principais funcionalidades do produto. Além disso, ao definir as soluções aplicadas para cada um dos subsistemas é fundamental dar preferência à itens já presentes no mercado. Isso permite reduzir significativamente os custos, pois não será necessário fabricar todos os componentes.

Visto isso, o produto foi dividido nos seguintes subsistemas:

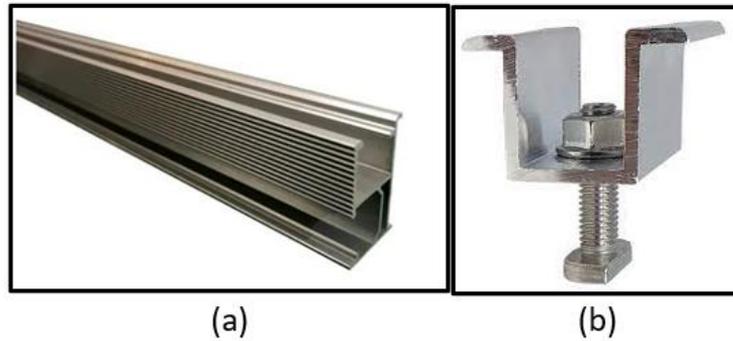
- Subsistema de Fixação do Painel
- Subsistema de Fixação na Estrutura
- Subsistema de Giro
- Subsistema de Automação

4.2.1 Subsistema de Fixação do Painel

O subsistema de fixação do painel é responsável por prender o painel ao seguidor solar. Esse sistema não difere muito do presente nas instalações fotovoltaicas convencionais, portanto é possível utilizar as peças já presentes no mercado.

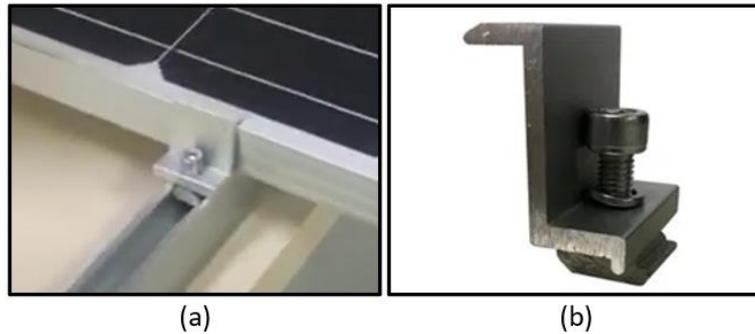
A solução mais comum é o uso de perfis em formato de trilho (Figura 13) juntamente com presilhas que são posicionadas nas extremidades e entre as placas. Com isso é possível fazer uma montagem mais rápida e que permitir ajustes na posição dos painéis. O formato dos trilhos e presilhas varia de acordo com o fabricante, mas princípio é praticamente o mesmo entre todos eles. Portanto, foi escolhida a marca com maior disponibilidade no mercado.

Figura 13. Perfil em Alumínio para fixação de painel solar fotovoltaico (a) com *Mid Clamp* Intermediário (b).



Fonte: Embar (2022)

Figura 14. Montagem (a) End Clamp (b) em perfil de fixação para painel solar fotovoltaico.



Fonte: Embar (2022)

4.2.2 Subsistema de Fixação na Estrutura

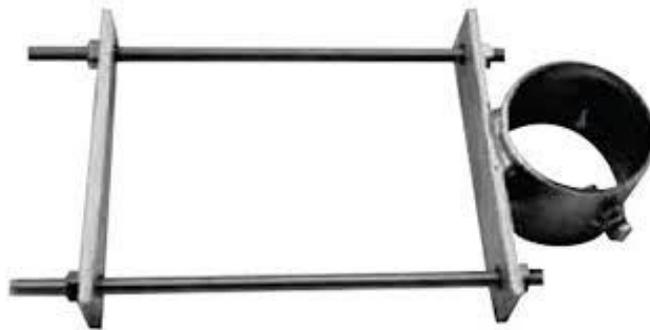
O Subsistema de Fixação da montagem na estrutura deve permitir a fixação do conjunto nos telhados das casas que tenham laje ou não. Por isso, foi decidido prendê-lo às vigas do telhado sem depender da presença da laje, com isso não foi necessário desenvolver uma solução para cada caso.

A fixação na viga, por sua vez, é mais simples quando feita através de parafusos, mas seria necessário lidar com o inconveniente de ter que furar a estrutura. Uma alternativa é a fixação por pressão, utilizando um sistema semelhante ao de uma morsa. Porém essa solução tem como desvantagem o seu preço, uma vez que é necessário fabricar componentes robustos o suficiente para suportar a pressão necessária para prender a montagem.

Para contornar essa desvantagem foi decidido utilizar uma solução já plicada

na fixação de antenas parabólicas, que pode ser vista na Figura 15. Essa peça dispensa o furo na viga, por meio do uso de dois parafusos ligados com chapas metálicas. Além disso, a sua geometria reduz muito a pressão necessária para a fixação, pois a base do seguidor solar não conseguiria “girar” ao redor da viga, por causa do seu formato quadrangular.

Figura 15. Presilha para fixação de antena parabólica.



Fonte: Sparta Ferragens (2022)

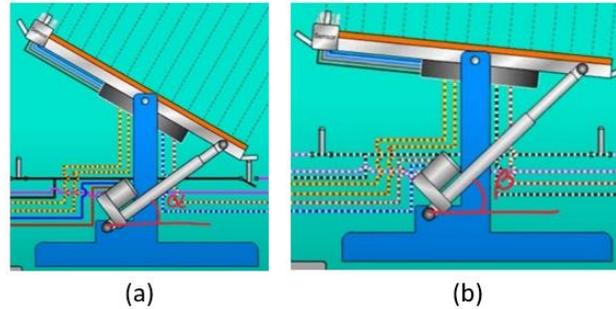
4.2.3 Subsistema de Giro

O subsistema de Giro tem como função ajustar o ângulo do painel solar em relação ao plano horizontal. O principal requisito desse subsistema é que seja possível controlá-lo eletronicamente para fazer o giro automático dos painéis ao longo do dia.

Seria possível utilizar um motor acoplado diretamente ao eixo de suporte dos painéis, nesse caso, seria necessário um elevado torque, uma vez que não estaríamos fazendo uso da relação de momentos que obteríamos aplicando a força na ponta do painel. Essa solução é aplicada em alguns modelos comerciais, o que pode ser visto na Figura 12 (a).

Uma alternativa mais viável seria utilizar um pistão para aplicar a força na extremidade do painel, aproveitando a braço de alavanca para aumentar a força aplicada. Nesse caso, seria necessário que a base do pistão também girasse, para compensar a mudança de ângulo da placa, conforme pode ser visto na Figura 16.

Figura 16. Painel fotovoltaico inclinado com pistão hidráulico no ângulo mínimo (a) e máximo (b).



Fonte: Fernandes (2022)

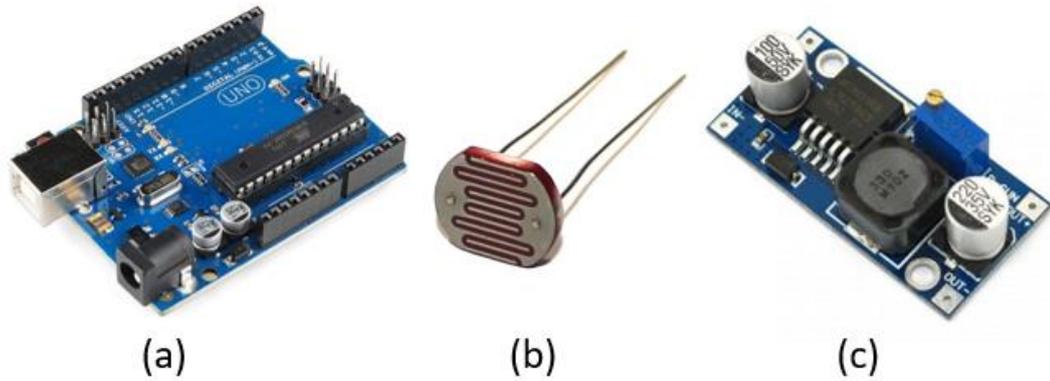
4.2.4 Subsistema de Automação

A plataforma de automação mais simples e barata para desenvolver este projeto é o Arduino. Uma vez que possui uma interface amigável e compatibilidade com a maior parte dos eletrônicos e sensores do mercado.

Para medir a luz incidente sobre a placa e enviar essa informação ao o Arduino, serão utilizados sensores LDR. Também conhecido como fotoresistor, é um componente eletrônico capaz de variar sua resistência de acordo com a intensidade da luz que incide sobre ele (ELETROGATE, 2022).

O servo utilizado para rotacionar a estrutura precisa receber uma tensão específica dependendo do seu tamanho. Essa tensão pode danificar o Arduino com o tempo, por isso é necessário utilizar módulos controladores de tensão para criar um circuito que ligue diretamente a alimentação do motor à fonte sem passar pelo Arduino. O módulo utilizado neste projeto é o Lm2529, que opera em um intervalo de 1,5 a 35V. Todos os componentes citados acima estão representados na Figura 17.

Figura 17. Arduino UNO (a), Sensor LDR (b), Módulo regulador de tensão (c).



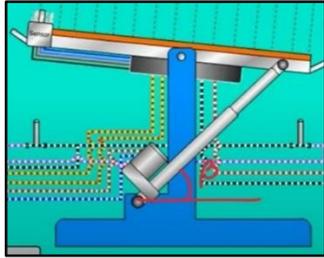
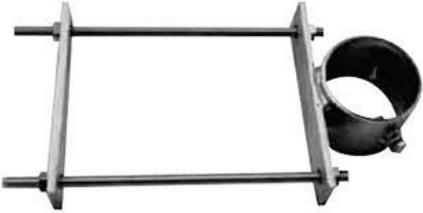
Fonte: Eletrogate (2022)

A ideia principal por trás da automação do sistema é utilizar os sensores para medir a incidência de luz sobre as placas e controlar os motores com o Arduino de forma a maximizar essa incidência.

4.2.5 Resumo das tecnologias escolhidas para os subsistemas

Com base no que foi exposto nos tópicos anteriores, as soluções que mais se adequam aos objetivos se projeto estão resumidos na Tabela 5:

Tabela 5. Soluções para os subsistemas

Subsistema	Solução
Rotação das Placas	<p>Pistão elétrico</p> 
Fixação dos Painéis	<p>Conjunto de trilho com presilha</p> 
Fixação do Seguidor Solar	<p>Morsa de fixação adaptada</p> 
Automação	<p>Arduino</p> 

Fonte: Autor (2023)

4.3 PROJETO PRELIMINAR

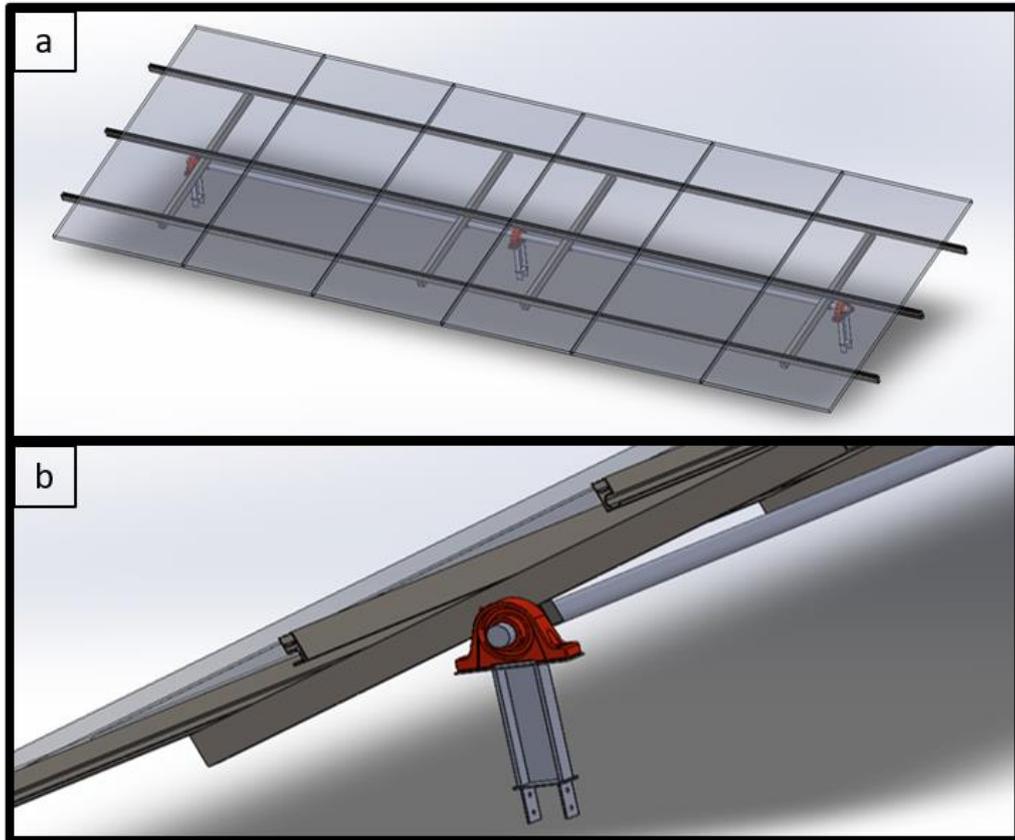
Essa seção destina-se a apresentar cada um dos subsistemas desenvolvidos no projeto juntamente com os dimensionamentos e justificativas para cada decisão. Por sua vez, os detalhes das peças e montagem serão descritos na seção de Projeto Detalhado.

4.3.1 Subsistema de Fixação do Painel

O subsistema de Fixação do Painel baseia-se no uso de elementos estruturais simples e comerciais para reduzir custos e facilitar a montagem. Visto isso, a Figura 18 (a) apresenta a montagem desenvolvida para suportar as placas.

A grade de sustentação é formada por dois perfis, um quadrangular metálico que se apoia sobre o eixo de rotação e é responsável por suportar a maior parte do peso das placas e um perfil comercial específico para ser usado na fixação das placas solares conforme já apresentado na seção de projeto preliminar. Essa montagem pode ser vista na Figura 18 (b). Com isso foi possível obter uma estrutura robusta para suportar a carga proposta e garantir a fácil montagem das placas.

Figura 18. Perfis estruturais da grade de sustentação das placas (a) e perfis de fixação (b).

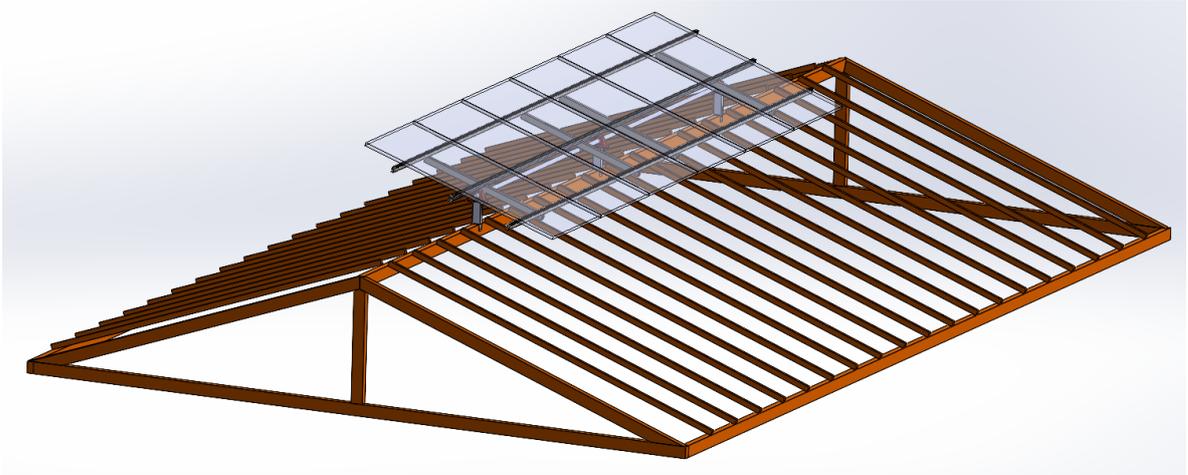


Fonte: Autor (2023)

4.3.2 Subsistema de Fixação da Estrutura

Toda a montagem foi desenvolvida para ser posicionada sobre a cumeeira do telhado, conforme pode ser visto na Figura 19. Dessa forma é possível aproveitar a inclinação do próprio telhado para obter um maior ângulo de giro sem elevar muito as placas. Evitando, assim, problemas com vento e maximizando o período em que as placas estarão perfeitamente voltadas para o sol.

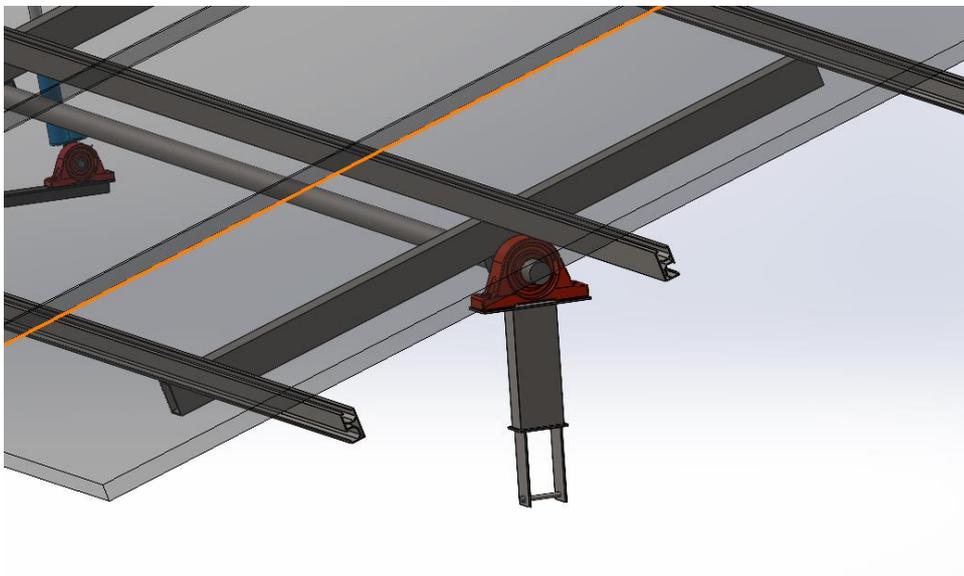
Figura 19. Montagem da base sobre a cumeeira.



Fonte: Autor (2023)

O seguidor solar se apoia sobre a viga principal por 3 postes fixados com parafuso, Figura 20. O formato da peça foi desenvolvido de forma que a sua geometria ajude a suportar a força horizontal exercida pelo vento, com isso é possível utilizar parafusos menores.

Figura 20. Poste de sustentação do seguidor solar.



Fonte: Autor (2023)

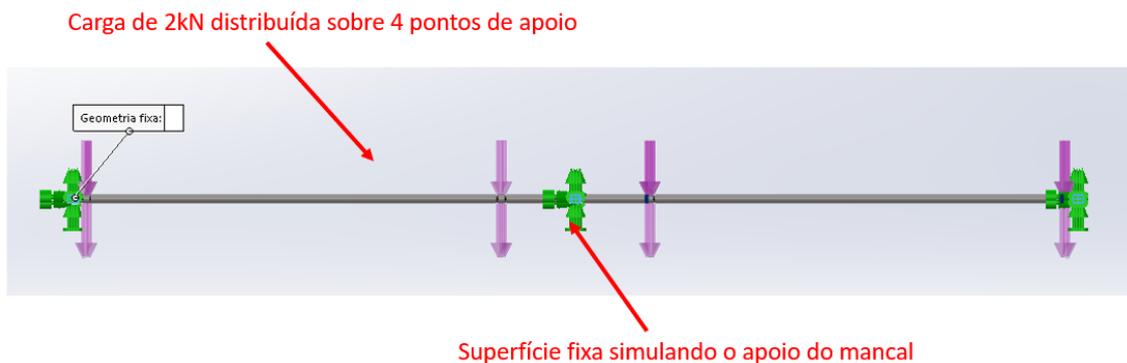
4.3.3 Subsistema de Giro

4.3.3.1 Dimensionamento do eixo

O eixo de rotação do seguidor solar deve ser capaz de suportar o peso das placas. Ele é apoiado sobre 3 postes que ficam sobre a cumeeira do telhado. Para dimensioná-lo, foi utilizado o SolidWorks Simulation.

Para simplificar a análise o eixo foi isolado e os mancais foram substituídos por superfícies fixadas no modelo. Já o peso das placas (aproximadamente 2000N) foi distribuído nos pontos onde a grade está apoiada, conforme pode ser visto na Figura 21.

Figura 21. Pontos de apoio e carga da simulação do eixo.

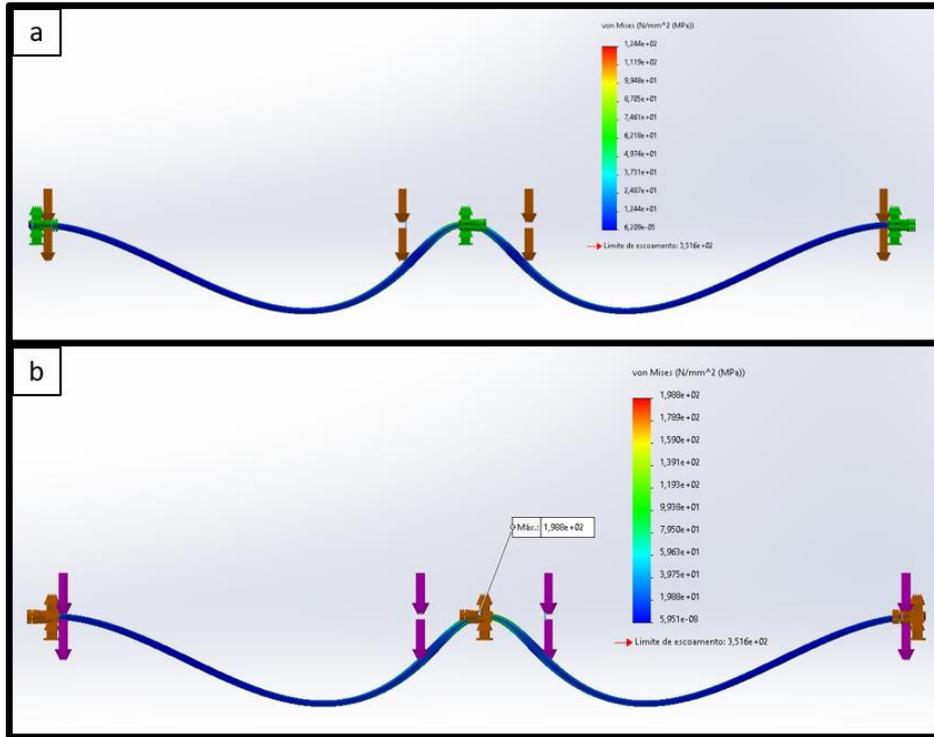


Fonte: Autor (2023)

Dois geometrias foram testadas para o eixo, a primeira é uma barra maciça de 1,5 polegadas e a segunda um tubo com o mesmo diâmetro, mas com espessura de parede de 1/8 de polegada. O material de ambos é o ASTM A36.

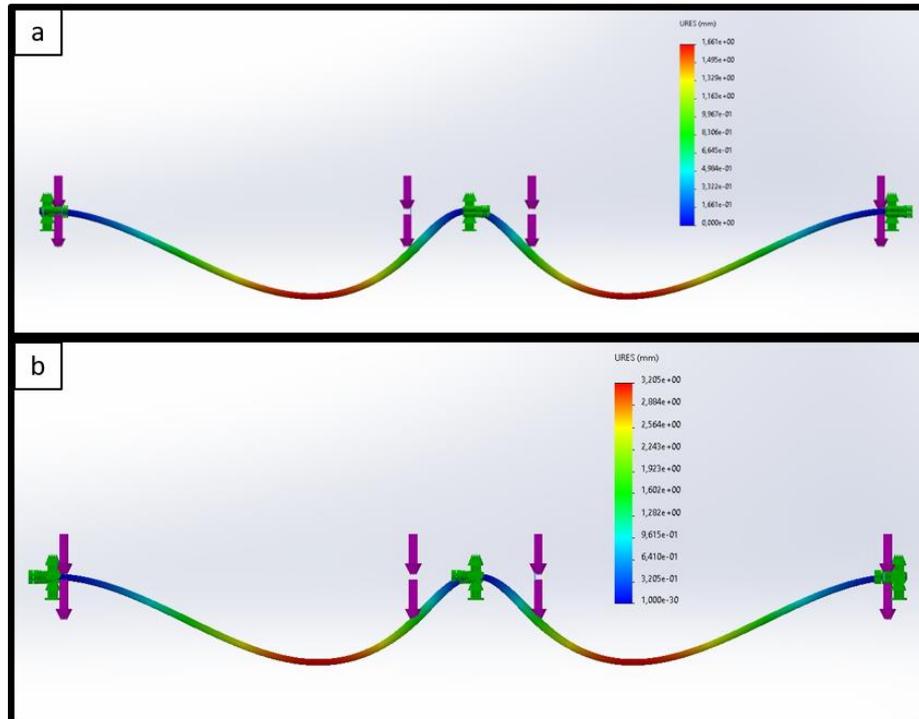
A simulação mostrou que a barra deforma menos quando submetida ao peso das placas solares e apresenta menor tensão de pico. Porém a tensão e deformação apresentada no tubo foram bem satisfatórias o que justifica a escolha da segunda geometria, uma vez que ela é uma solução mais barata. As Figura 22 e Figura 23 mostram o comparativo dos resultados das duas geometrias.

Figura 22. Tensão de von Mises na barra (a) e no tubo (b).



Fonte: Autor (2023)

Figura 23. Deformação equivalente na barra (a) e no tubo (b).



Fonte: Autor (2023)

Uma decisão importante para o projeto, foi modelar a grade que sustenta as placas para se apoiar o mais próximo possível do ponto onde o eixo encontra o mancal, isso diminui muito a flexão do eixo e permitiu utilizar tubos menores. Por isso, a deformação vista na está mais perto do poste central, onde a distância entre o apoio da grade e o mancal é maior. Além disso, a flexão máxima no eixo está dentro do limite aceitável para a operação do mancal que foi utilizado.

4.3.3.2 Escolha do mancal

Para escolher o mancal correto é necessário levar em consideração 3 fatores principais: a geometria de apoio, o diâmetro do eixo e a carga suportada.

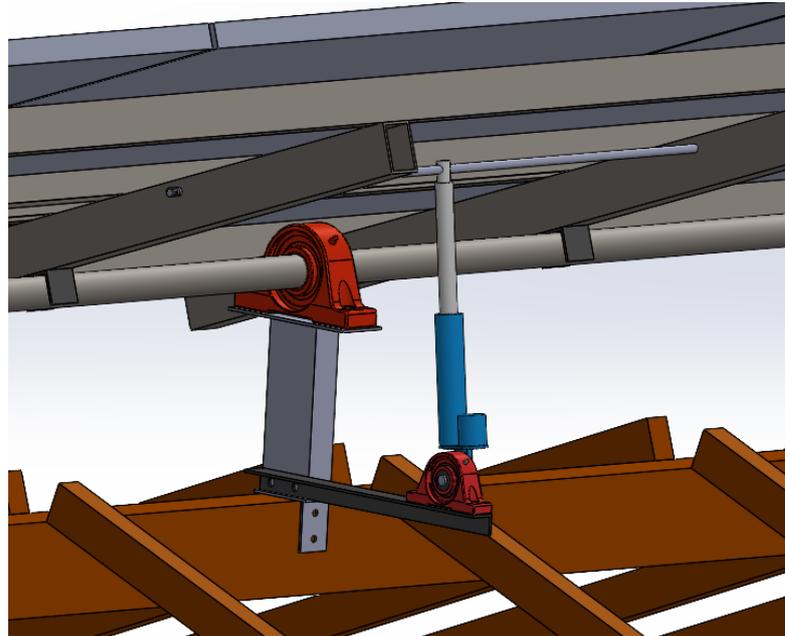
Com isso em mente, o mancal escolhido foi o modelo UCP208-24 do catálogo da fabricante TIMKEN. Esse mancal possui apoio horizontal, acopla-se a eixos de 1,5 polegadas e suporta uma carga dinâmica de 29,1kN. O conjunto completo das suas especificações consta no catálogo (TIMKEN, 2022).

4.3.3.3 Dimensionamento do Atuador

Dois parâmetros são fundamentais para definir o atuador elétrico que será utilizado: a força aplicada e o comprimento. Esses parâmetros também são determinantes para o seu preço, por isso foi utilizada uma estratégia para reduzir esses 2 parâmetros.

Diferente do que é feito comercialmente, no mecanismo proposto o pistão é deslocado para longe do eixo de rotação e se aproxima o máximo possível do ponto mínimo de inclinação das placas, gerando um braço de alavanca maior e reduzindo o seu comprimento. Isso pode ser visto na Figura 24.

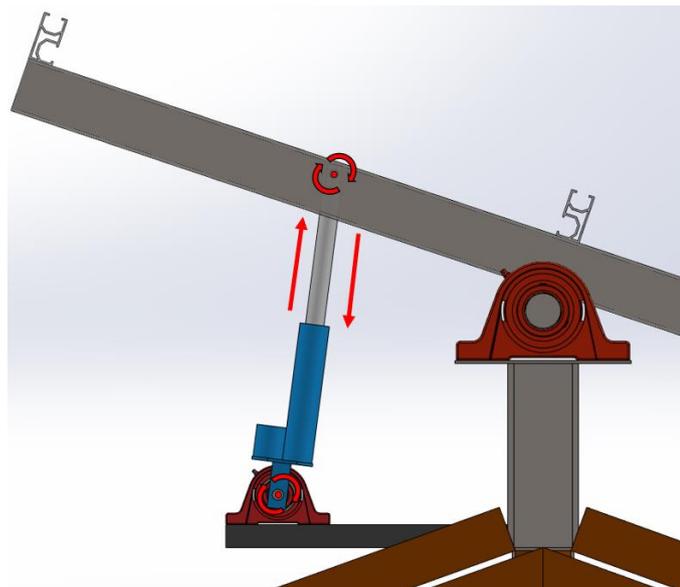
Figura 24. Mecanismo de Giro das Placas.



Fonte: Autor (2023)

Para tornar a movimentação possível, é necessário permitir o giro do atuador nos 2 pontos de apoio, pois o ângulo de aplicação da força muda conforme as placas rotacionam.

Figura 25. Mecanismo de rotação das placas.

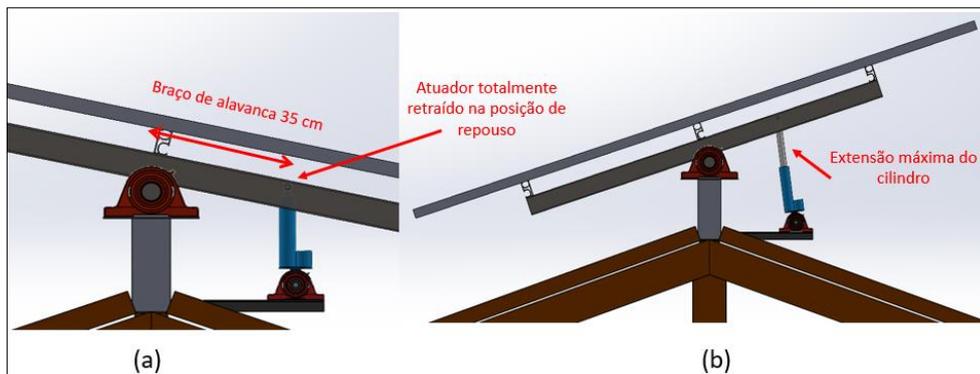


Fonte: Autor (2023)

A aplicação desse mecanismo traz ganhos nos seguintes aspectos:

- Aumenta o braço de alavanca para aplicação da força resultando numa carga menor;
- A força é aplicada de forma quase perpendicular ao eixo durante a maior parte do giro, gerando maior estabilidade e garantido que o sistema aproveite quase 100% da força do atuador;
- Os pontos máximo e mínimo de rotação das placas corresponde aos pontos máximo e mínimo do curso do atuador fazendo com que o sistema para automaticamente sem necessidade de aplicar sensores para parar o movimento como demonstrado na Figura 26 (a).
- É possível garantir um giro de 218° nas placas utilizando apenas um atuador com curso de 150mm. Isso pode ser visto na Figura 26 (b).

Figura 26. Extensão mínima e máxima do atuador.



Fonte: Autor (2023)

Com isso, o atuador selecionado foi: LA-YR-Type150n, cuja ficha técnica pode ser vista na Tabela 6.

Tabela 6. Características do atuador elétrico

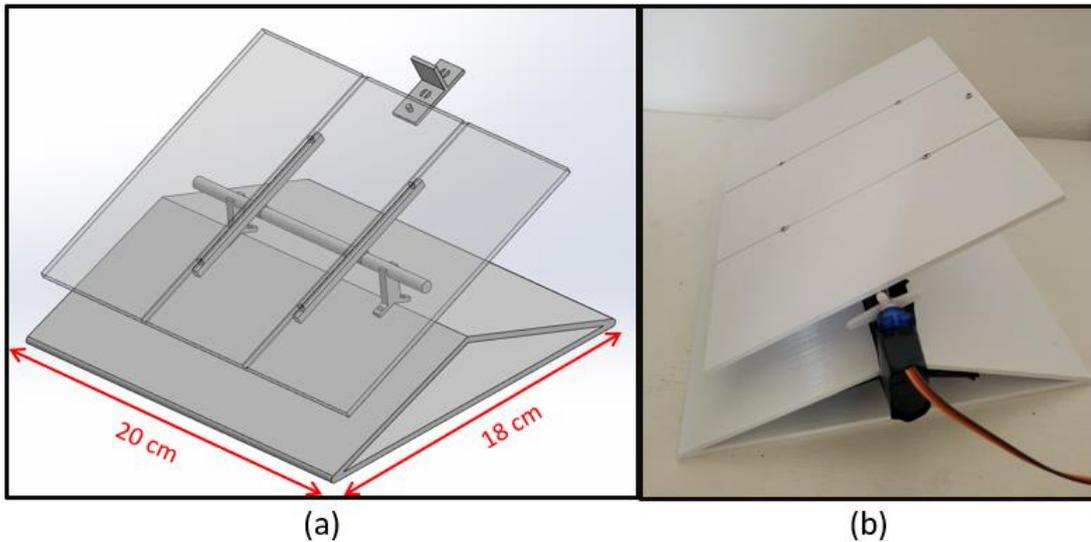
Micro Atuador LA-WR-Type 150n	
Força	150N
Alimentação	12V
Marca	CNMAWAY

(CNMAWAY, 2022)

4.3.4 Construção do Protótipo

Para testar o sistema de automação foi necessário construir um protótipo para representar o seguidor solar real. Ele foi modelado no SolidWorks e Impresso numa impressora 3D. A Figura 27 (a) apresenta a modelagem 3D e a Figura 27 (b) mostra o protótipo impresso.

Figura 27. Modelo para testes do subsistema de automação. Modelo 3D (a), modelo físico (b).



Fonte: Autor (2023)

A principal diferença entre o projeto real e o que foi usado para fazer os testes de automação é o uso de um servo motor para rotacionar as placas, ao passo que no projeto real foi decidido utilizar um atuador elétrico.

Para possibilitar a sua fabricação numa impressora 3D convencional, a escala de redução do protótipo foi de 1:30 e o material de construção é o PLA, amplamente utilizado na área de prototipagem 3D.

Por fim, as fichas técnicas de cada componente podem ser encontradas no Apêndice. E a Tabela 7 lista os componentes eletrônicos e os respectivos custos junto ao fabricante, resultando no total de R\$ 216,10 para fabricar o protótipo.

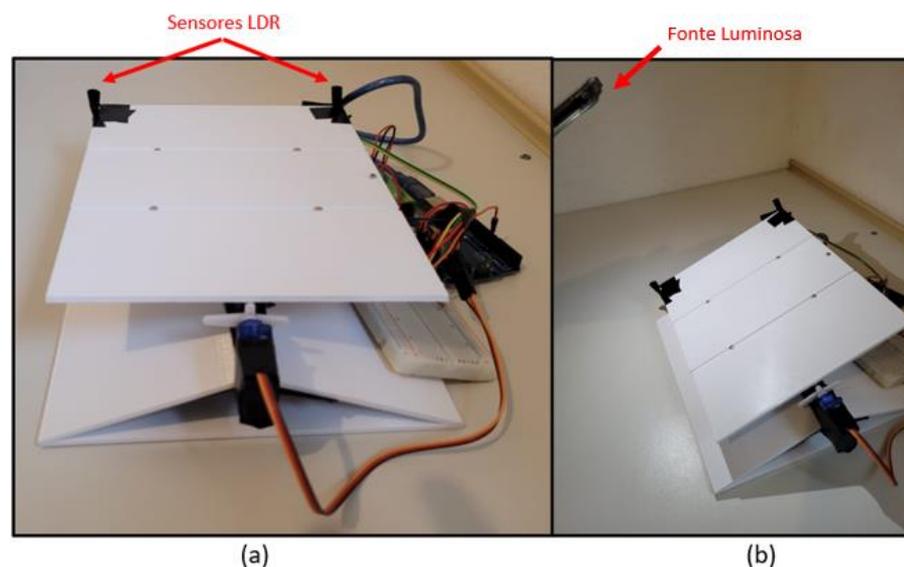
Tabela 7. Componentes do protótipo

Componente	Qtd.	Preço	Fabricante
Arduino Uno	1	R\$ 55,36	Eletrogate
Relé 5V	1	R\$ 8,85	Eletrogate
Sensor LDR	2	R\$ 1,80	Eletrogate
Servo Motor 5V SG90	1	R\$ 20,00	Cnmaway
Custos de Impressão	1	R\$ 130,00	Autor
Total		R\$ 216,10	

Fonte: Autor (2023)

Já o sistema de automação funciona da seguinte maneira: 2 sensores de luz são posicionados nos extremos da placa solar de forma que captem a intensidade da luz na sua respectiva posição e envie para o Arduino. O posicionamento dos LDR (*Light Dependent Resistor*) pode ser visto na Figura 28 (a). Se o valor captado pelos sensores for diferente, o Arduino manda um sinal para Servo Motor rotacionar as placas na direção adequada até que não haja diferença entre a luz recebida pelos 2 sensores. Dessa forma as placas sempre estarão voltadas para a fonte luminosa, conforme pode ser visto na Figura 28 (b).

Figura 28. Disposição dos sensores LDR (a) e movimento em direção à fonte luminosa (b).

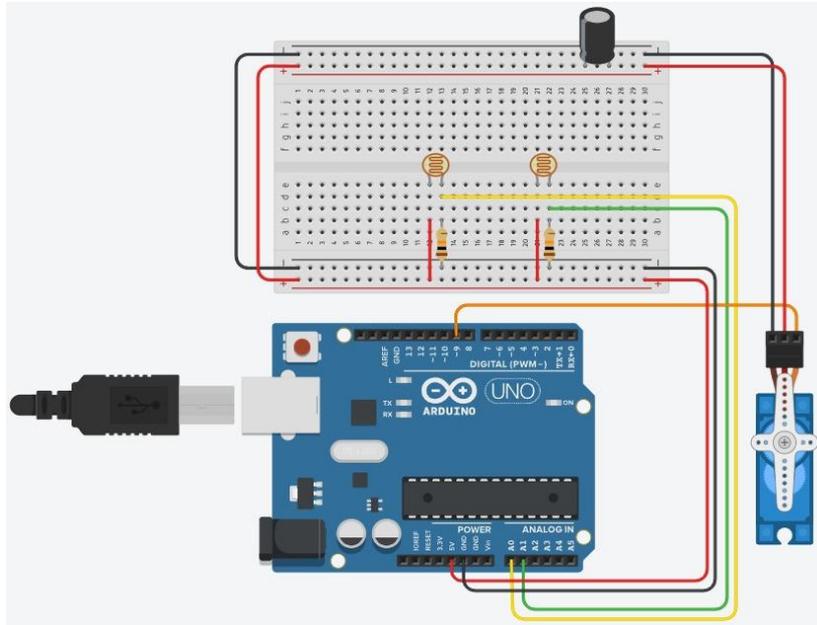


Fonte: Autor (2023)

O esquema eletrônico usa os resistores na configuração *Pull-Down*, de forma que quanto maior a intensidade da luz recebida, maior será o sinal lido na porta da Arduino. Esse esquema é apresentado na Figura 29. Além disso, foi implementado no

código um algoritmo de médias móveis para atenuar o “ruído” na leitura dos sensores e evitar acionamentos indesejados do mecanismo de giro.

Figura 29. Esquema eletrônico do subsistema de automação do protótipo.



Fonte: Autor (2023)

4.3.5 Testes com o Protótipo

Para estimar o ganho obtido pelo uso do sistema de placas móveis, foram realizados testes que mediam a incidência de luz sobre o protótipo com e sem rotação na direção do sol, conforme pode ser visto na Figura 30.

Figura 30. Captação de luz com o modelo de placas móveis.

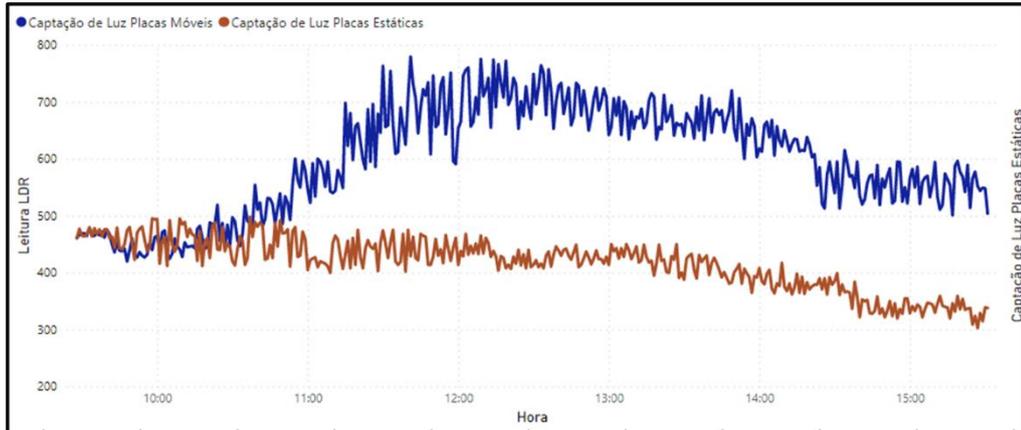


Fonte: Autor (2023)

Os dados apresentados na Figura 31 são a leitura média dos LDR ao longo do tempo. A magnitude do valor pode variar com a tensão e resistência aplicados ao circuito, mas servem de base comparativa para avaliar a incidência de luz sobre as placas quando o sistema de rotação está ativo ou não.

Dessa forma, é possível perceber que a luz recebida nos 2 modelos inicia igual, mas ao longo do tempo a intensidade do sol aumenta e ele passa a se mover, nesse instante o modelo rotativo acompanha o deslocamento solar e aproveita esse ganho, ao passo que o modelo estático permanece recebendo a mesma quantidade de luz. Após o meio-dia o sol já está posicionado na direção oposta às placas do modelo estático, fazendo com que a luz recebida diminua significativamente, já o modelo rotativo continua a receber a luz de forma estável.

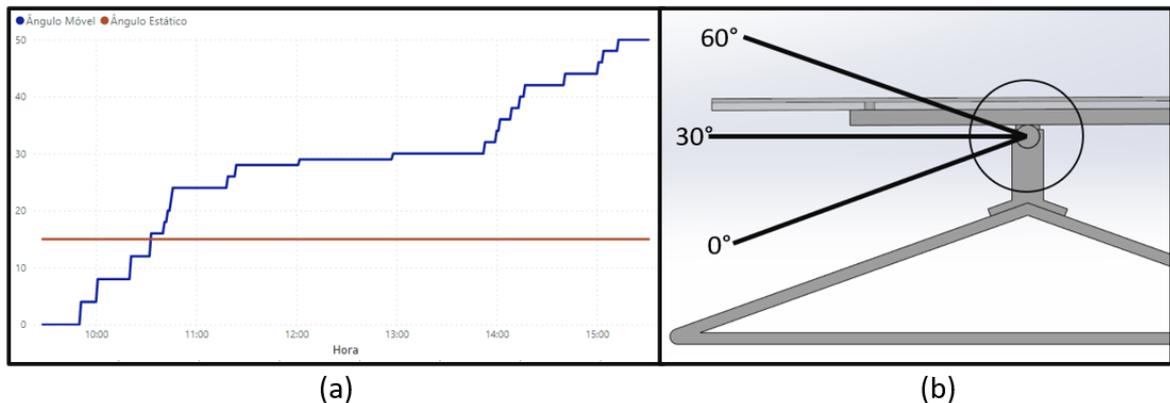
Figura 31. Resultados captação de luz com Placas Móveis e Estáticas.



Fonte: Autor (2023)

A Figura 32 (a) apresenta o ângulo do servo motor ao longo do tempo. No modelo rotativo o ângulo pode variar entre 0 e 60°, de forma que a posição das placas na horizontal corresponde ao ângulo de 30°.

Figura 32. Gráfico do ângulo de inclinação das placas ao longo do dia (a). Representação do ângulo no modelo 3D (b).



Fonte: Autor (2023)

Usando a leitura dos LDR como parâmetro comparativo, o uso do modelo rotativo apresentou um ganho de 44% na quantidade de luz incidente sobre as placas, este valor ficou dentro do intervalo encontrado na literatura, que foi discutido nas seções anteriores.

Reproduzindo a metodologia usada para calcular o número de placas necessário para atender à demanda de energia da residência na Seção 4.1.1, o aumento a incidência solar nos permite suprir a demanda de energia da residência

com apenas 4 placas e não mais 6.

Tabela 8. Quantidade de painéis solares para o Suporte Estático e Rotativo.

Tipo de Suporte	Estático	Rotativo
Demanda de potência do sistema	1,96 kW/pico	1,36 kW/pico
Geração de Energia por painel	330 W/pico	
Quantidade de painéis	6	4

Fonte: Autor (2023)

Além disso, durante os testes com o protótipo foram observados alguns pontos que precisam ser ajustados no projeto do seguidor solar real:

- A variação de intensidade de luz num mesmo ponto sofre grande oscilação, fazendo com que o modelo fique constantemente alterando a sua angulação para estabilizar a leitura. Para evitar isso, foi implementado um desvio mínimo de 50 unidades entre as leituras de cada sensor e uma taxa de atualização de 10 minutos. Com isso, evita-se que o sistema seja acionado muitas vezes ao longo do dia, reduzindo consumo de energia e evitando o desgaste prematuro
- As intempéries às quais o seguidor solar estará submetido vão gerar desgaste acelerado nos sensores. Por isso, os LDR utilizados no projeto tiveram que ser trocados por modelos apropriados para receber chuva. A versão escolhida foi a BH1750FVI, que possui uma cobertura de proteção e já é aplicada em projetos de automação de jardinagem.
- Para evitar que possíveis falhas na leitura impedissem que as placas solares acompanhassem o sol da forma correta, o código do seguidor também deve levar em consideração a hora do dia. Dessa forma é possível garantir o alinhamento, mesmo que aproximado, caso algum problema aconteça.

4.4 PROJETO DETALHADO

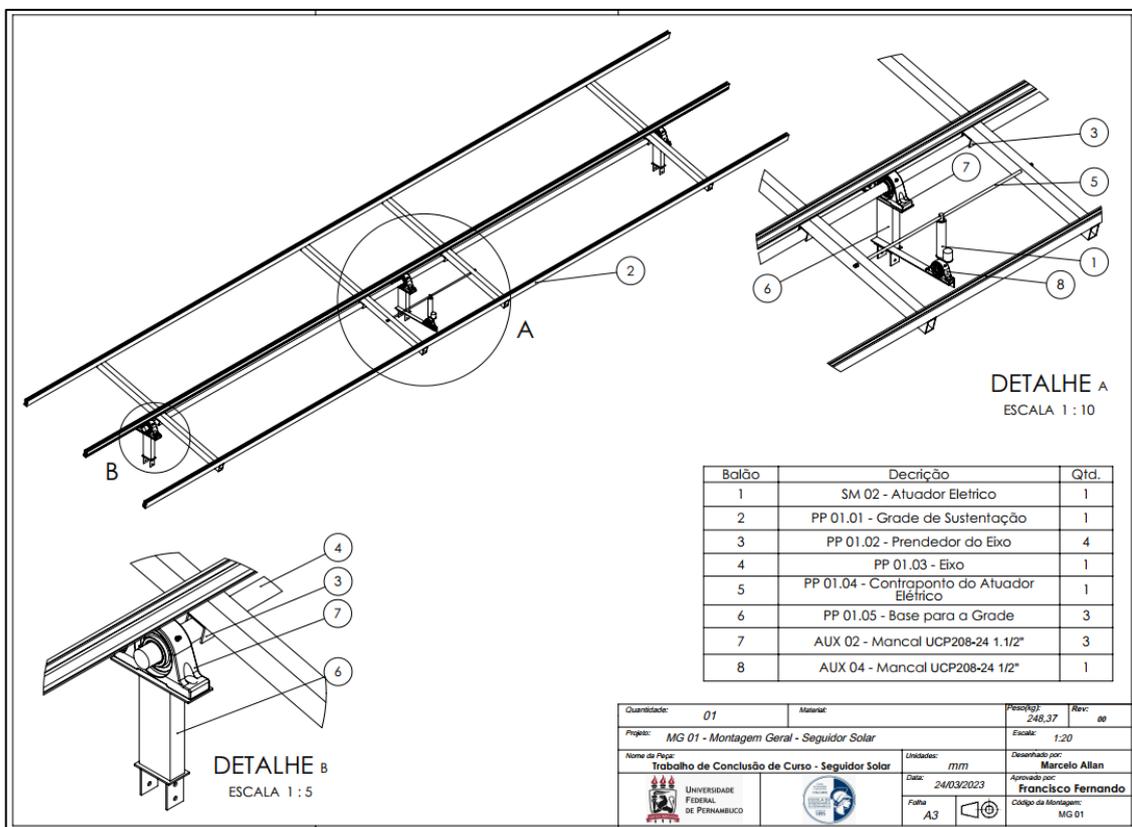
Essa seção destina-se a apresentar a visão geral do projeto referenciando as

fichas técnicas que foram elaboradas e avaliar a sua viabilidade econômica com base nos custos estimados.

4.4.1 Visão Geral

A Figura 33 representa o desenho técnico da versão final do seguidor solar juntamente com sua lista de componentes. O detalhamento de todas as outras peças pode ser encontrado no Apêndice.

Figura 33. MG 01 - Detalhamento Geral.

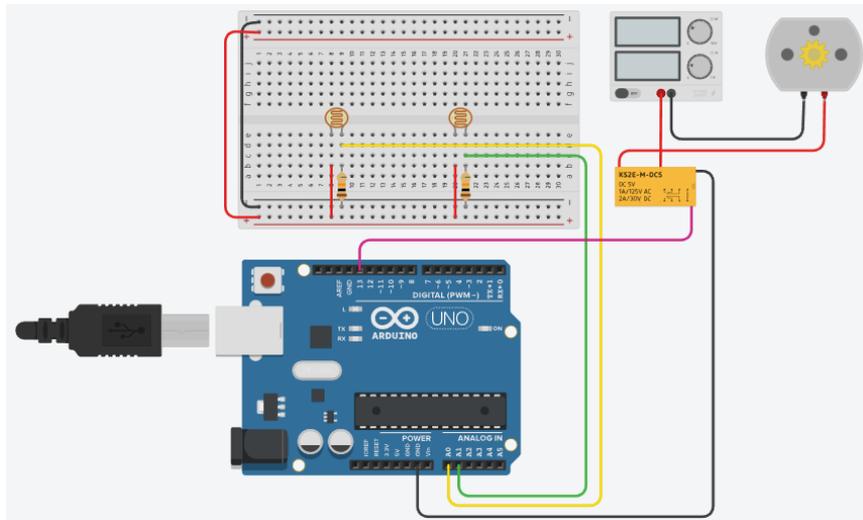


Fonte: Autor (2023)

4.4.2 Esquema Eletrônico de Automação

Como a alimentação recebida pelo atuador elétrico é 48V, o esquema eletrônico utilizado no protótipo precisa ser modificado de forma a separar os circuitos de alimentação e controle. Isso é feito por meio de um relê, conforme pode ser visto na Figura 34.

Figura 34. Esquema eletrônico do subsistema de automação do seguidor solar.



Fonte: Autor (2023)

Tabela 9. Componentes subsistema de automação

Componente	Qtd.	Fabricante
Arduino Uno	1	Eletrogate
Relé 1 C5V	1	Eletrogate
Sensor LDR BH1750FVI	2	Eletrogate
Atuador elétrico LA-YR-Type150n	1	Cnmaway
Placa de Circuito	1	Eletrogate

Fonte: Autor (2023)

4.4.3 Custo do Seguidor Solar

O custo do projeto foi estimado tomando como base a Tabela 10 que lista os materiais no manual de montagem do seguidor solar e o valor comercial das peças que serão compradas.

Tabela 10. Custo dos componentes do seguidor solar.

Componente	Qtd.	Custo Total	Fabricante
PP 01.01 - Tubo para Grade de Sustentação	1	R\$ 1.263,29	Gerdau
PP 01.02 - Prendedor do Eixo	4	R\$ 234,00	Gerdau
PP 01.03 - Eixo	1	R\$ 1.122,20	Gerdau
PP 01.04 - Contraponto do Atuador Elétrico	1	R\$ 25,00	Gerdau
PP 01.05 - Base para a Grade	3	R\$ 385,25	Gerdau
PP 02.01 - Base para o mancal 12	1	R\$ 125,38	Gerdau
PP 02.02 - Eixo Mancal 12	1	R\$ 12,00	Gerdau
PP 02.03 - Atuador elétrico LA-YR-Type150n	1	R\$ 529,30	Cnmaway
AUX 02 - Mancal UCP208-24 1.1/2"	3	R\$ 92,98	Timken
AUX 04 - Mancal UCP208-24 1/2"	1	R\$ 22,40	Timken
AUX 05 - Controlador e componentes eletrônicos	1	R\$ 685,83	Eletrogate
Mão de Obra (32% do custo do material)	1	R\$ 1.439,24	Ramontec
Total		R\$ 5.936,87	

Fonte: Autor (2023)

Segundo pesquisas da revista (EXAME, 2023), o custo médio para instalar um sistema de energia solar numa residência que consome em média 300 KW/mês na região nordeste é cerca de R\$ 27,8 mil. Portanto, o custo da implementação do seguidor solar corresponde a 21% do custo da instalação. Considerando que o custo do projeto será reduzido uma vez que só será necessário instalar 4 placas solares ao invés de 6, o custo de instalação cai para R\$ 18,6 mil (EKKOGREEN, 2023). Com isso, o custo do seguidor solar já é coberto pela redução do custo do sistema de energia solar, resultando num investimento de aproximadamente R\$ 24.500 (sistema com 4 placas + seguidor solar).

Para calcular o tempo de retorno do investimento foi estimado um gasto com energia elétrica mensal de R\$ 229,21 ou R\$ 2.750,52 ao ano (Neoenergia, 2023) com base no perfil familiar traçado ao definir a casa modelo para o projeto. Além disso é preciso considerar o valor do reajuste da energia elétrica ao longo dos anos, que está estimado em 8% ao ano (Neoenergia, 2023). Usando esses dados é possível calcular a economia da residência com energia elétrica ao longo dos anos, o que pode ser visto na Tabela 11. A partir dela é possível perceber que ao fim do 7º ano o saldo passa a ser positivo indicando que todo o investimento já foi amortizado pela economia com energia.

Tabela 11. Economia de Energia e Retorno do investimento com o uso do seguidor solar

Ano	Economia	Economia Acumulada	Investimento	Saldo
0	-	-	24.500,00	- 24.500,00
1	2.750,20	2.750,20	-	- 21.749,80
2	2.970,22	5.720,42	-	- 18.779,58
3	3.207,83	8.928,25	-	- 15.571,75
4	3.464,46	12.392,71	-	- 12.107,29
5	3.741,62	16.134,33	-	- 8.365,67
6	4.040,95	20.175,27	-	- 4.324,73
7	4.364,22	24.539,49	-	39,49
8	4.713,36	29.252,85	-	4.752,85
9	5.090,43	34.343,28	-	9.843,28
10	5.497,66	39.840,94	-	15.340,94
11	5.937,48	45.778,42	-	21.278,42
12	6.412,47	52.190,89	-	27.690,89
13	6.925,47	59.116,36	-	34.616,36

Fonte: Autor (2023)

Repetindo os mesmos cálculos para o sistema sem o uso do seguidor solar, obtém-se que o tempo de retorno do investimento seria 8 anos, conforme pode ser visto na Tabela 12.

Tabela 12. Tempo de retorno do investimento com o seguidor solar.

Tipo de sistema	Sem seguidor solar	Com Seguidor Solar
Custo Total	R\$ 27,8 mil	R\$ 24,5 mil
Gasto Mensal com Energia	R\$ 229,71	
Tempo de retorno do investimento	8 anos	7 anos

Fonte: Autor (2023)

5 CONCLUSÃO

A partir do que foi desenvolvido, pode-se concluir que:

As soluções encontradas no projeto do suporte rotativo possibilitam um bom funcionamento no giro das placas, garantindo um ângulo de rotação acima de 180° com fim de curso mecânico, ou seja, sem recorrer à sensores anticollisão. Além disso, o protótipo permitiu o teste do sistema de automação de forma eficaz, possibilitando a comparação da captação de luz com e sem o uso do seguidor solar.

Foi possível aumentar a captação de luz em 44% e reduzir os custos de implementação em 12%. Apesar do alto ganho na captação de luz a redução de custos iniciais não foi tão expressiva pelos seguintes motivos: o seguidor solar possui elevado custo de implementação e os testes comparativos entre a captação de luz com e sem o seguidor solar foram feitos em dias de baixa iluminação solar.

Os custos de implementação do seguidor solar podem ser significativamente reduzidos com a sua implementação recorrente pelas empresas que instalam painéis fotovoltaicos. Uma vez que elas podem produzi-lo em larga escala e com isso reduzir os gastos com mão de obra e materiais.

Já o ganho na captação de luz precisa ser testado em épocas do ano com maior incidência do sol. Assim, se as projeções da literatura se confirmarem e for realmente possível aumentar os índices de geração de energia em mais de 100%, seria possível oferecer aos consumidores a opção de instalar um sistema fotovoltaico menor, e utilizar a energia da rede pública para suprir a demanda nos dias com menor ação solar.

Por fim, vale destacar que os ganhos com a instalação do seguidor aumentam significativamente quanto maior for a demanda energética, dessa forma a solução passa a ser mais interessante para imóveis que consomem muita energia, mas que possuem pouca área disponível para a instalação convencional das placas, como é o caso de pequenos prédios e estabelecimentos comerciais.

6 BIBLIOGRAFIA

ANDRÉ OGLIARI, A. D. (2007). *Projeto Integrado de Produtos: planejamento, concepção e modelagem*. Barueri: Manole.

ATACADO SOLAR. (27 de 08 de 2022). *Painéis de energia solar bifaciais chegam ao Brasil e podem gerar até 25% mais energia*. Fonte: Atacado Solar: <https://atacadosolar.com.br/artigo/paineis-de-energia-solar-bifaciais-chegam-ao-brasil-e-podem-gerar-ate-25-mais-energia.html>

AUTOR. (2022).

BEN. (12 de Janeiro de (2022)). Relatório Síntese 2022. *Balanço Energético Nacional*, 1(1), p. 30.

BIANCO, C. F. (2016). *Parede Trompe: estudo experimental comparativo de desempenho térmico para aquecimento e arrefecimento na cidade de São Paulo*. FAU - USP: Faculdade.

CRESESB. (30 de 09 de 2022). *Potencial Solar*. Fonte: Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sergio Brito: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>

CRESESB, C. d. (2014). *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. Rio de Janeiro: CEPEL-CRESESB.

EKKOGREEN. (23 de 03 de 2023). *Quanto Custa Instalar Energia Solar?* Fonte: Portal Ekko Green: <https://ekkogreen.com.br/energia-solar-preco/>

ELETROGATE. (03 de 09 de 2022). *Eletrogate Catálogo*. Fonte: Eletrogate: https://www.eletrogate.com/arduino?gclid=CjwKCAjw9suYBhBIEiwA7iMhNA1IbYeMsuKVgBlp4wqQXoHd4OwD-wL-IFYGITSGOLvReqvLGxFYzRoCoKgQAvD_BwE

EMBAR. (03 de 09 de 2022). *Estrutura para painel solar fotovoltaico*. Fonte: Embrar Climatização e Refrigeração: <https://www.embrar.com.br/solar-e-fotovoltaico>

EXAME. (23 de 03 de 2023). *Quanto custa instalar energia solar?* Fonte: EXAME NEGÓCIOS: <https://exame.com/negocios/custa-instalar-energia-solar/>

FERNADESFO, F. (03 de 09 de 2022). *Funcionamento básico seguidor solar de eixo único*. Fonte: Funcionamento básico seguidor solar de eixo único:

<https://drive.google.com/file/d/1Da97IM4UDNoEc-yTGV-HG-s5WAhAzbns/view>

FILIFELOP. (03 de 09 de 2022). *Comprar ou montar uma impressora 3D*. Fonte: FilipeFloP: <https://www.filipeflop.com/blog/comprar-ou-montar-uma-impressora-3d/>

Frosi, D. C. (2018). *ANÁLISE COMPARATIVA DA PRODUÇÃO DE ENERGIA DE UM*. Farroupilha: Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul.

GHENSEV, A. (2006). *MATERIAIS E PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS*. Minas Gerais: UFLA.

GOETZE, F. (2017). *PROJETO DE MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA RESIDENCIAL: ESTUDO DE*. Porto Alegre: Lume Repositório Digital.

IBERDROLA. (21 de 08 de 2022). *Arquitetura bioclimática, as construções que respeitam o meio ambiente*. Fonte: IBERDROLA: <https://www.iberdrola.com/inovacao/o-que-e-arquitetura-bioclimatica#:~:text=A%20arquitetura%20bioclimática%20consiste%20em,integração%20estética%20ao%20ambiente%20circundante>.

LIMA, B. E. (2017). *ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE IMPLANTAÇÃO DE UM*. Santa Maria: UFSM.

Nassif, R. (10 de 11 de 2021). Universidade Federal de Ouro Preto. *A crise hídrica e energética no Brasil*, p. 1.

Neoenergia. (19 de 04 de 2023). *Tarifa de Energia*. Fonte: NEOENERGIA: <https://servicos.neoenergiapernambuco.com.br/residencial-rural/Pages/tarifa-de-energia.aspx>

NEOSOLAR. (30 de 09 de 2022). *Painel Solar Fotovoltaico 330W - OSDA - ODA330-36-P*. Fonte: NeoSolar: https://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar-fotovoltaico-330w-osda-oda330-36-p.html?gclid=CjwKCAjwp9qZBhBkEiwAsYFsb8f59H4-8J5YJT880jttUgYV3wD7cuYWYnBqxBnSXSbt_YrU9aNrhoCizkQAvD_BwE

PEREIRA, E. B., MARTINS, F. R., GONÇALVES, A. R., COSTA, R. S., LIMA, F. L., RÜTHER, R., . . . SOUZA, J. G. (2017). *Atlas brasileiro de energia solar*. São José dos Campos: INPE.

PORTAL ENERGIA. (22 de fevereiro de 2022). *Manual de Energia Fotovoltaica* (1 ed.,

Vol. 1). São Paulo: Portal Energia.

PORTAL SOLAR. (27 de 08 de 2022). *Estrutura de Suporte para Fixação de Painel Solar Fotovoltaico*. Fonte: Portal Solar: <https://www.portalsolar.com.br/guia-rapido-estrutura-de-suporte-para-fixacao-de-painel-solar-fotovoltaico.html>

PROCEL. (19 de 04 de 2023). *EQUIPAMENTO*. Fonte: PROCELINFO: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BE6BC2A5F-E787-48AF-B485-439862B17000%7D>

REDIMAX. (27 de 08 de 2022). *SUPORTE COM POSTE PARA PAINEIS FOTOVOLTAICOS REDIMAX*. Fonte: REDIMAX: https://www.redimax.com.br/suporte-com-poste-para-paineis-fotovoltaicos-redimax-3-paineis-de-ate-150w?gclid=CjwKCAjwgaeYBhBAEiwAvMgp2n4e8jkrblQYobhw-g2Uv1v6pfLdXOG-6kx9RpK6f3PAFykNYI16UBoCq0AQAuD_BwE

RODRIGUES, D. (2010). *Introdução ao Sistema de Aquecimento Solar*. Brasília: EKOS-BRASIL.

ROZENFELD, H. (2006). *Gestão de Desenvolvimento de Produtos*. São Paulo: Saraiva.

SILVA, B. M., & ABREU, E. J. (2017). *ANÁLISE DE VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DE UMA MICRO USINA*. Caratinga: FIC.

Silva, M. C. (2012). *Estudo Comparativo de um Painel Solar Fotovoltaico Fixo vs Móvel*. Escola de Engenharia da Universidade do Minho.

SPARTA FERRAGENS. (03 de 09 de 2022). *Loja do Mecânico*. Fonte: Morsa Torno de Bancada 3 Pol. 75mm - SPARTA-185115: <https://www.lojadomecanico.com.br/produto/105242/11/158/morsa-torno-de-bancada-3-pol-75mm-sparta-185115>

TAINA XINPENG ENERGY TECHNOLOGY. (27 de 08 de 2022). *Sistema de rastreamento de eixo duplo*. Fonte: Taian Xinpeng Energy Technology: https://xinpeng-solar.en.alibaba.com/pt_PT/company_profile.html

TIMKEN. (14 de 12 de 2022). *TIMKEN*. Fonte: Cálogo Rolamentos TIMKEN: <https://www.timken.com/resources/catalogo-de-mancais-de-rolamentos-de-esferas-serie-u/>

Apêndice 1

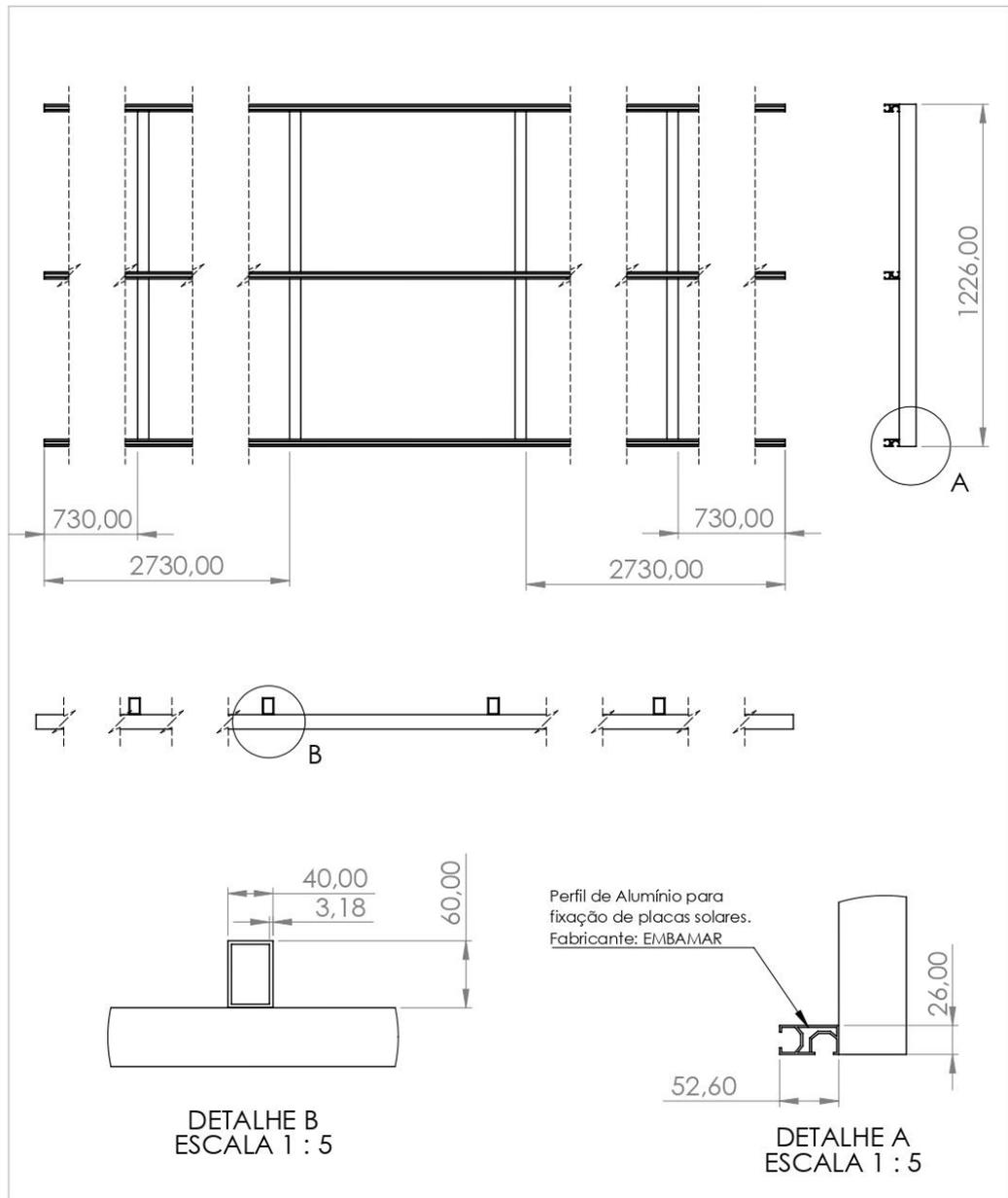
DETALHE A
ESCALA 1 : 10

Balão	Descrição	Qtd.
1	SM 02 - Atuador Elétrico	1
2	PP 01.01 - Grade de Sustentação	1
3	PP 01.02 - Prendedor do Eixo	4
4	PP 01.03 - Eixo	1
5	PP 01.04 - Contraponto do Atuador Elétrico	1
6	PP 01.05 - Base para a Grade	3
7	AUX 02 - Mancal UCP208-24 1.1/2"	3
8	AUX 04 - Mancal UCP208-24 1/2"	1

DETALHE B
ESCALA 1 : 5

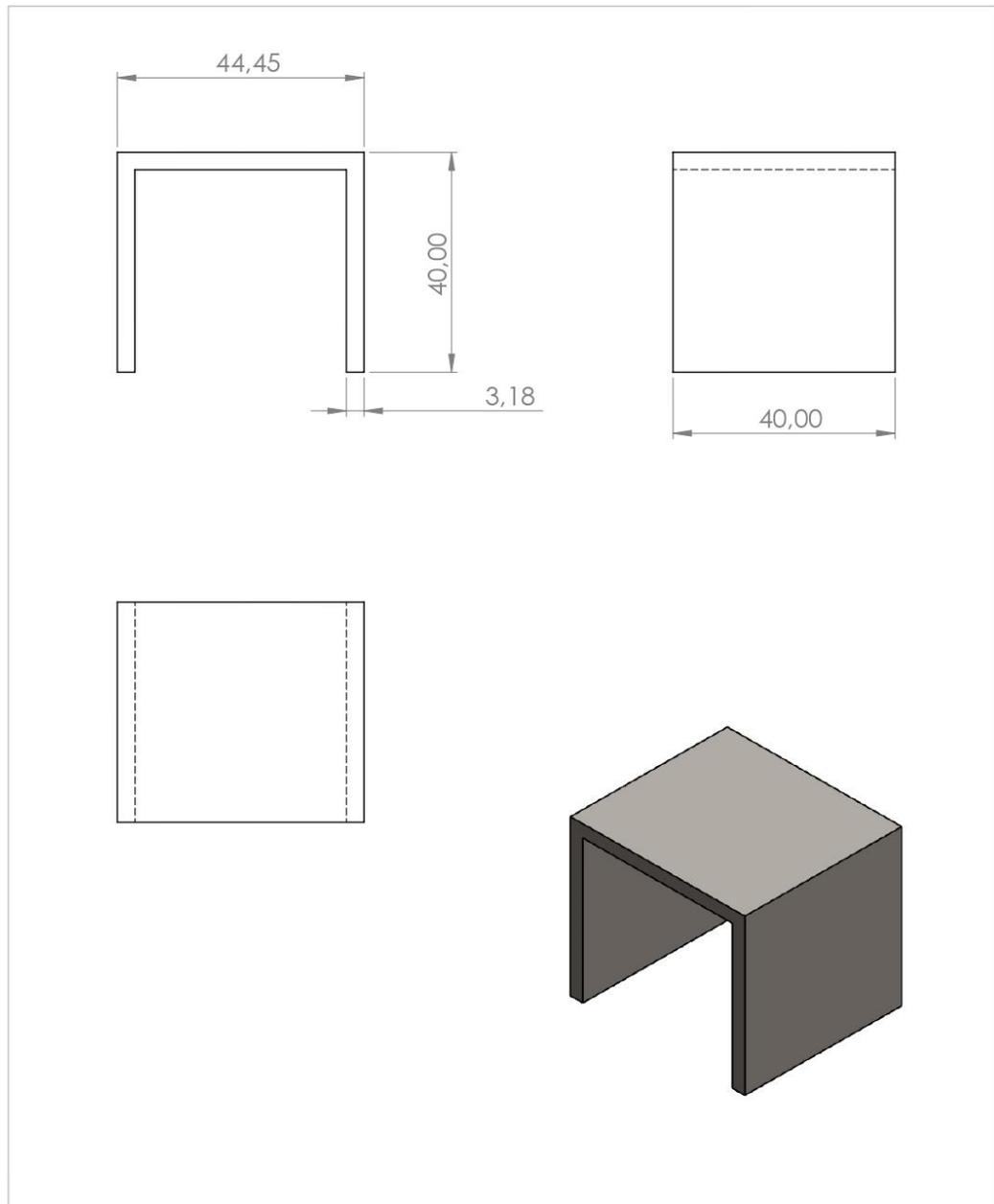
Quantidade	01	Material		Peso(kg)	248,37	Rev:	00
Projeto	MG 01 - Montagem Geral - Seguidor Solar			Escala:	1:20		
Nome da Peça	Trabalho de Conclusão de Curso - Seguidor Solar	Unidades	mm	Desenhado por:	Marcelo Allan		
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO	INSTITUTO DE FÍSICA	Date:	24/03/2023	Aprovado por:	Francisco Fernando		
		Folha	A3	Código de Montagem:	MG 01		

Apêndice 2



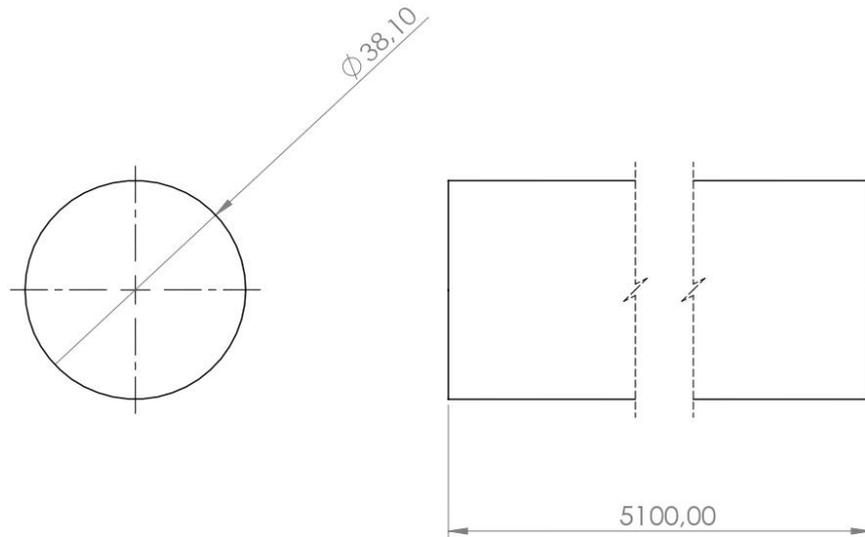
Nome da Peça: PP 01.01 - Grade de Sustentação		Massa(g): 52874,00	Rev: 00
Produto: Trabalho de Conclusão de Curso - Seguidor Solar		Escala: 1:20	
Quantidade: 1	Material: ASTM A36 Aço	Unidades: mm	Desenhado por: Marcelo Allan
 UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO	 ESCOLA DE ENGENHARIA DE PERNAMBUCO 1895	Data: 24/03/2023	Aprovado por: Francisco Fernando
		Folha: A4	

Apêndice 3



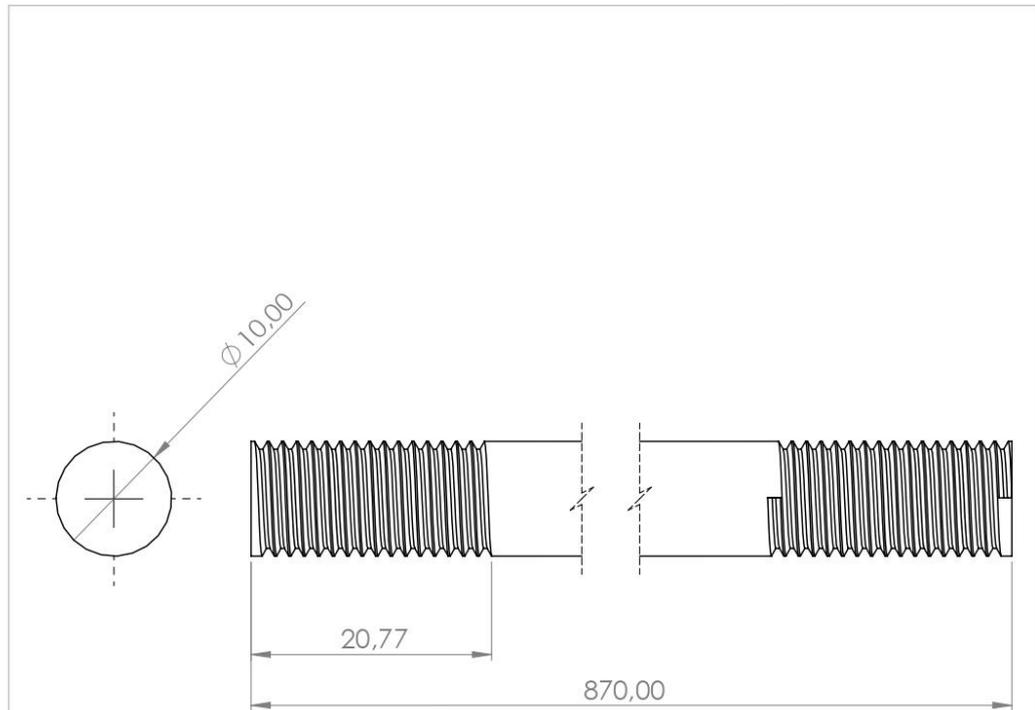
Nome da Peça: PP 01.02 - Prendedor do Eixo		Massa(g): 117.74	Rev: 00
Produto: Trabalho de Conclusão de Curso - Seguidor Solar		Escala: 1:1	
Quantidade: 4	Material: ASTM A36 Aço	Unidades: mm	Desenhado por: Marcelo Allan
 UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO	 ESCOLA DE ENGENHARIA DE PERNAMBUCO 1895	Data: 24/03/2023	Aprovado por: Francisco Fernando
		Folha: A4	

Apêndice 4



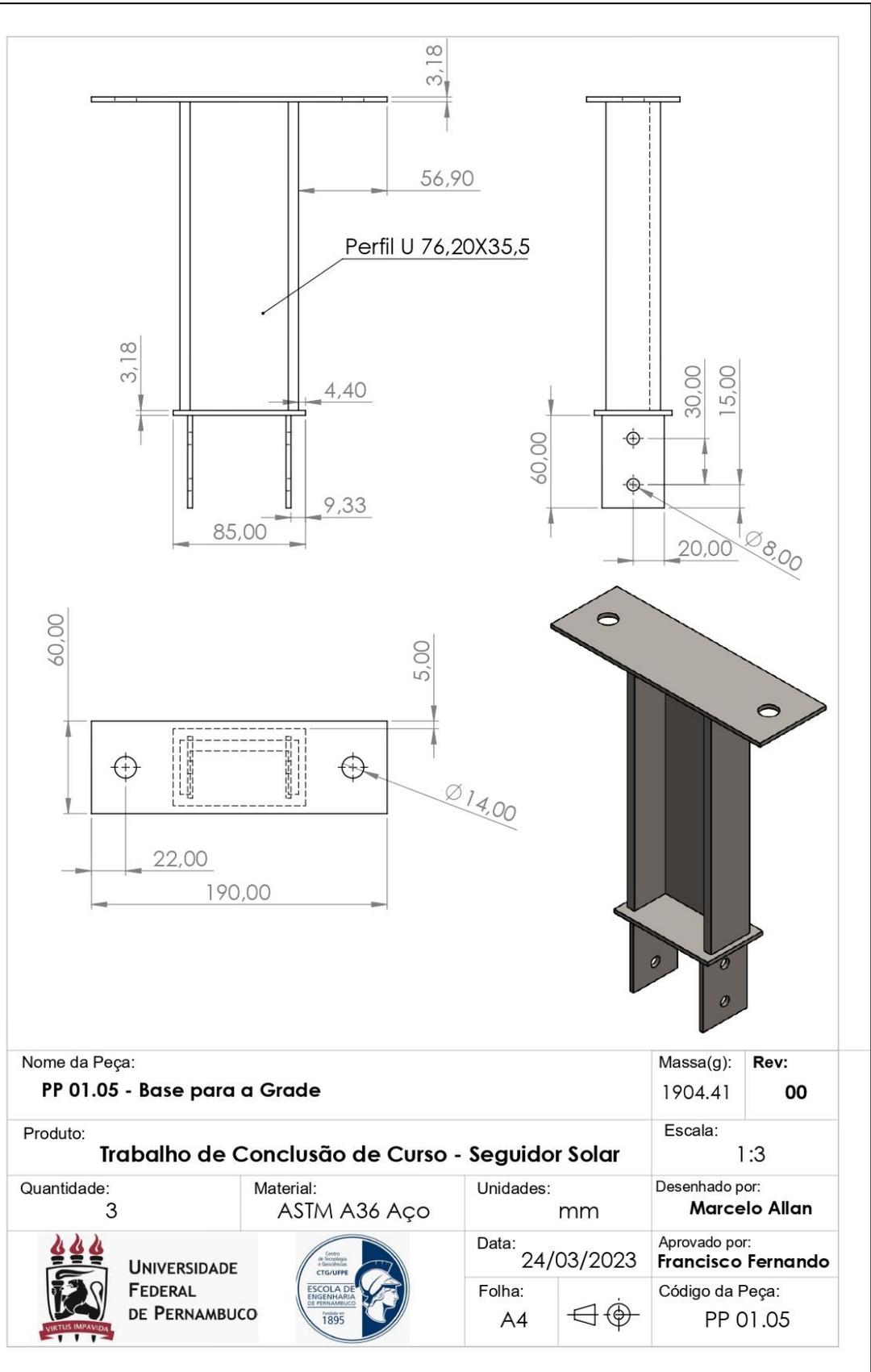
Nome da Peça: PP 01.03 - Eixo		Massa(g): 45643.58	Rev: 00
Produto: Trabalho de Conclusão de Curso - Seguidor Solar		Escala: 1:1	
Quantidade: 1	Material: ASTM A36 Aço	Unidades: mm	Desenhado por: Marcelo Allan
 UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO	 ESCOLA DE ENGENHARIA DE PERNAMBUCO 1895	Data: 24/03/2023	Aprovado por: Francisco Fernando
		Folha: A4	

Apêndice 5

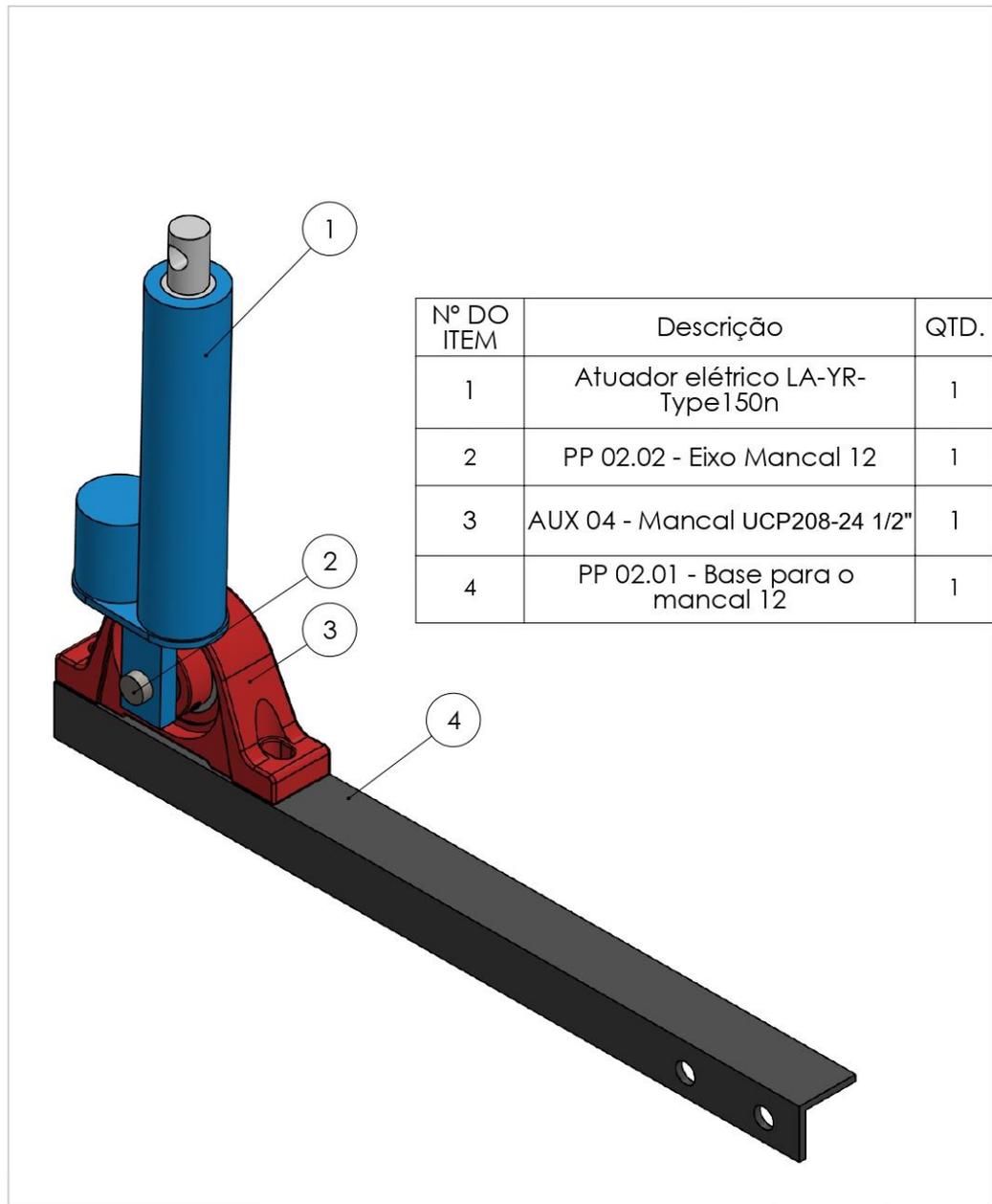


Nome da Peça: PP 01.04 - Contraponto do Atuador Elétrico		Massa(g): 67.88	Rev: 00
Produto: Trabalho de Conclusão de Curso - Seguidor Solar		Escala: 2:0	
Quantidade: 1	Material: Material <não especificado>	Unidades: 1	Desenhado por: Marcelo Allan
 UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO	 ESCOLA DE ENGENHARIA DE PERNAMBUCO <small>1895</small>	Data: 24/03/2023	Aprovado por: Francisco Fernando
		Folha: A4	

Apêndice 6



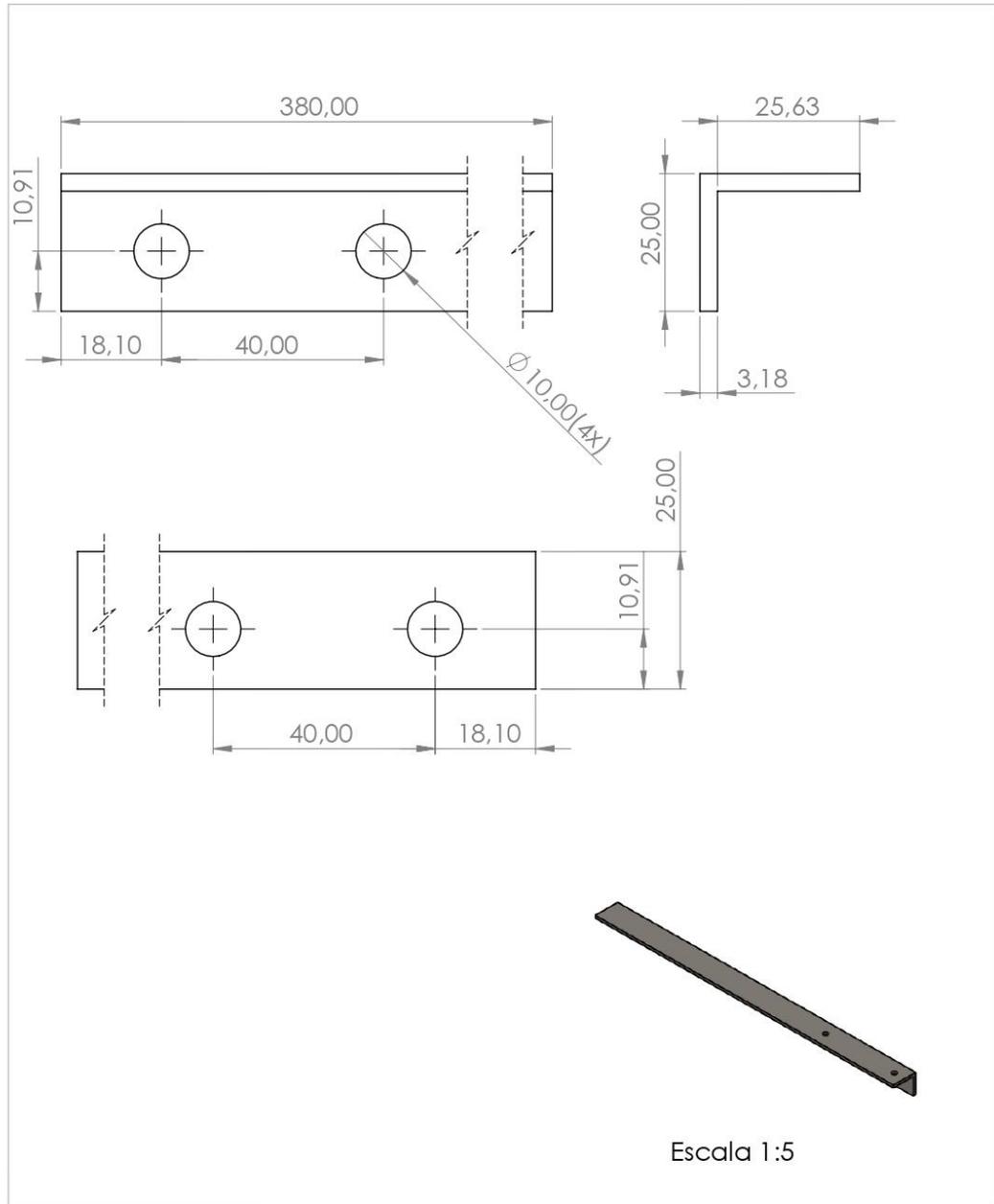
Apêndice 7



Nº DO ITEM	Descrição	QTD.
1	Atuador elétrico LA-YR-Type150n	1
2	PP 02.02 - Eixo Mancal 12	1
3	AUX 04 - Mancal UCP208-24 1/2"	1
4	PP 02.01 - Base para o mancal 12	1

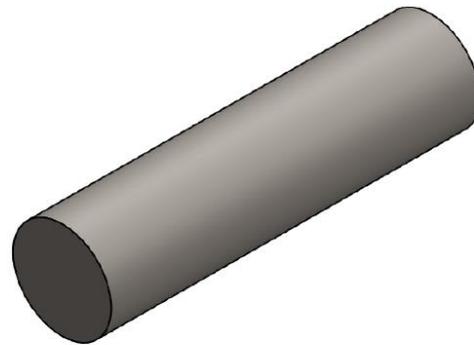
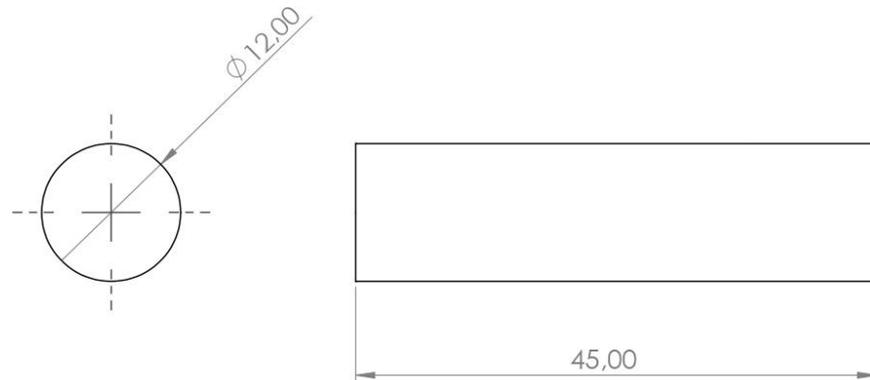
Nome da Peça: SM 02 - Atuador Elétrico		Massa(g): 9.487	Rev: 00
Produto: Trabalho de Conclusão de Curso - Seguidor Solar		Escala: 1:2	
Quantidade: 01	Material: Diversos	Unidades: mm	Desenhado por: Marcelo Allan
 UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO	 ESCOLA DE ENGENHARIA DE PERNAMBUCO 1895	Data: 24/03/2023	Aprovado por: Francisco Fernando
		Folha: A4	

Apêndice 8



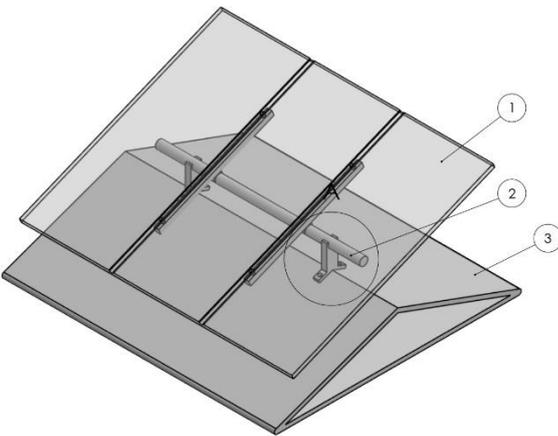
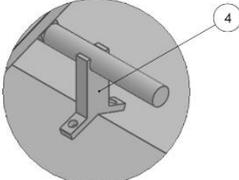
Nome da Peça: PP 02.01 - Base para o mancal 12		Massa(g): 474.15	Rev: 00
Produto: Trabalho de Conclusão de Curso - Seguidor Solar		Escala: 1:1	
Quantidade: 1	Material: ASTM A36 Aço	Unidades: mm	Desenhado por: Marcelo Allan
 UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO	 ESCOLA DE ENGENHARIA DE PERNAMBUCO 1895	Data: 24/03/2023	Aprovado por: Francisco Fernando
		Folha: A4	

Apêndice 9



Nome da Peça: PP 02.02 - Eixo Manca 12		Massa(g): 39.95	Rev: 00
Produto: Trabalho de Conclusão de Curso - Seguidor Solar		Escala: 2:1	
Quantidade: 1	Material: ASTM A36 Aço	Unidades: mm	Desenhado por: Marcelo Allan
 UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO	 ESCOLA DE ENGENHARIA DE PERNAMBUCO 1895	Data: 24/03/2023	Aprovado por: Francisco Fernando
		Folha: A4	

Apêndice 10

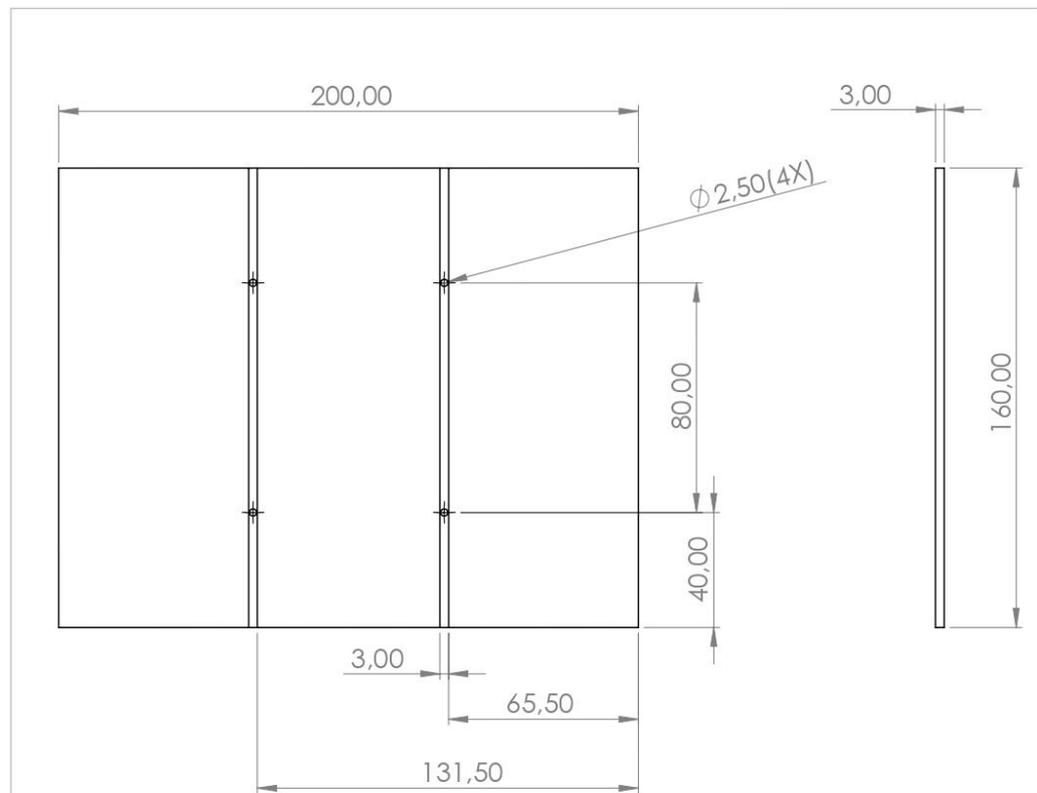



DETALHE A
ESCALA 2 : 1.5

Balão	Descrição	Qtd.
1	PP 01.01 - Placas	1
2	PP 01.02 - Eixo	1
3	PP 01.03 - Telhado	1
4	PP 01.04 - Suporte do eixo	2

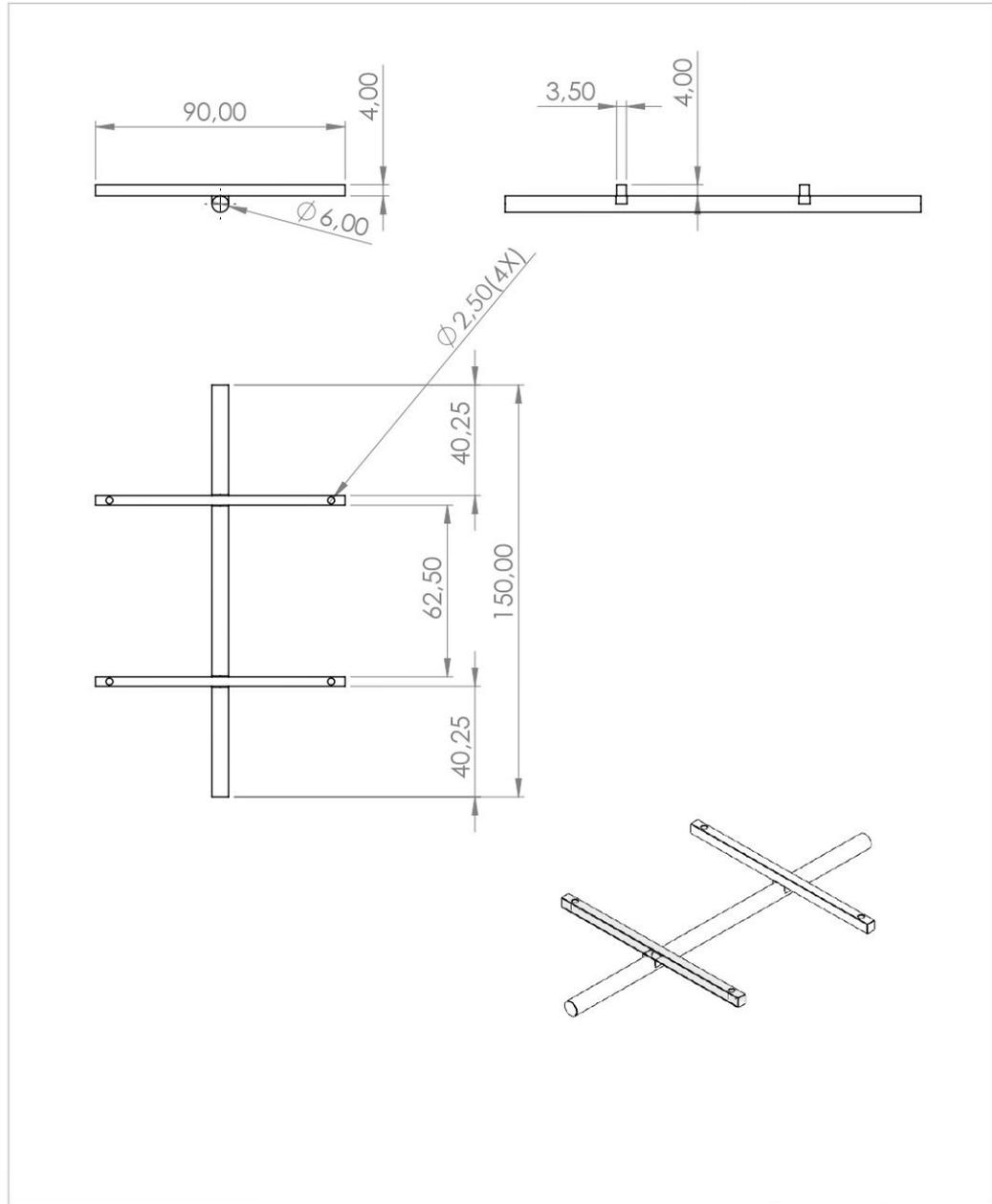
Quantidade:	01	Materia:	PLA	Projeto:	43211	Rev:	00
Projeto:	Trabalho de Conclusão de Curso - Seguidor Solar			Escala:	1:2		
Nome do Projeto:	MG 01 - Montagem Geral - Protótipo Seguidor Solar		Unidades:	mm		Desenhado por:	
 UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO		 INSTITUTO DE FÍSICA		Data: 24/04/2023		Aprovado por: Francisco Fernando	
		Folha		 A3		Código de Montagem: MG 01	

Apêndice 11



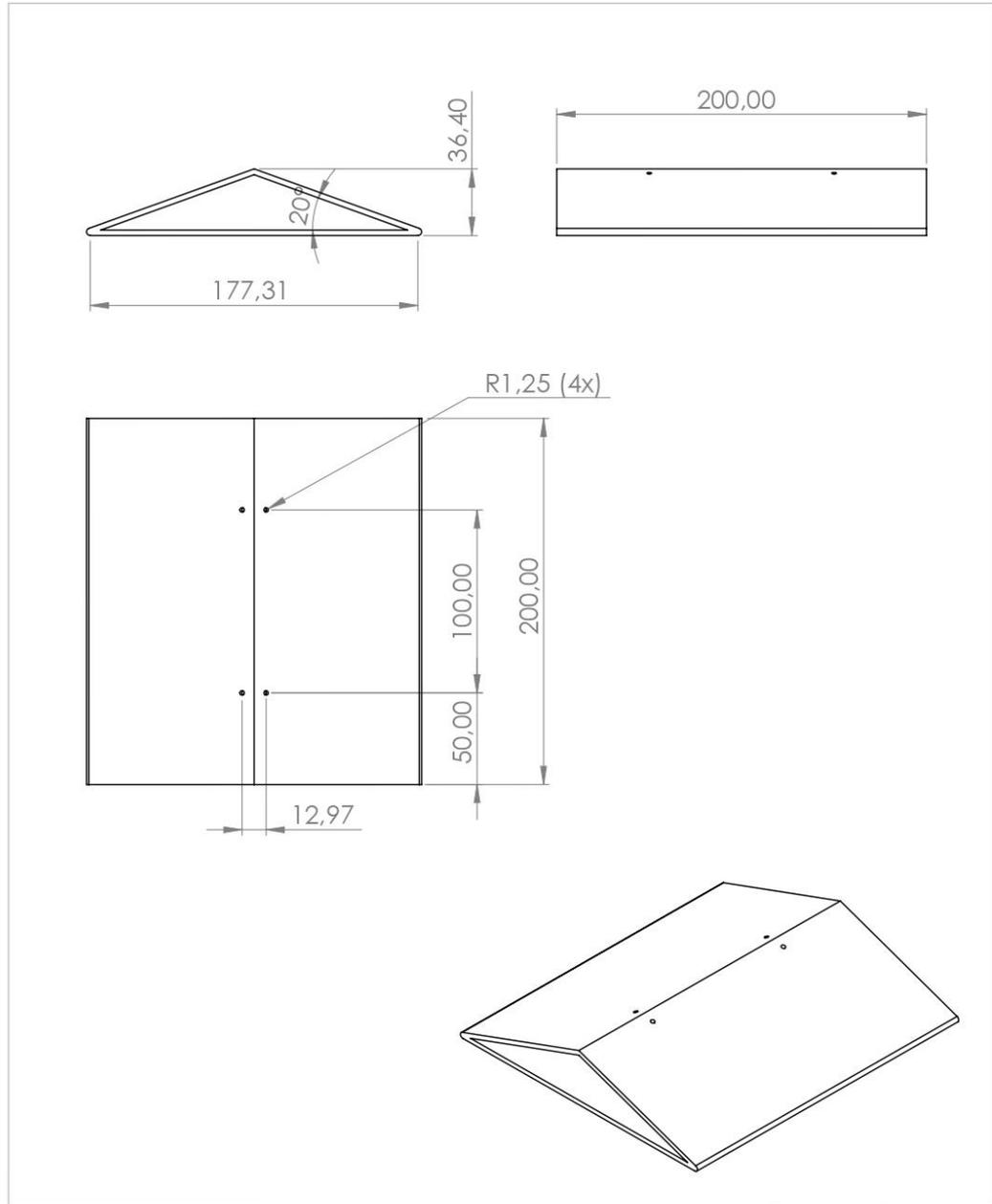
Nome da Peça: 01 - Placas		Massa(g): 134.90	Rev: 00
Produto: Trabalho de Conclusão de Curso - Seguidor Solar		Escala: 1:2	
Quantidade: 1	Material: PLA	Unidades: mm	Desenhado por: Marcelo Allan
 UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO	 ESCOLA DE ENGENHARIA DE PERNAMBUCO 1895	Data: 24/04/2023	Aprovado por: Francisco Fernando
		Folha: A4	

Apêndice 12



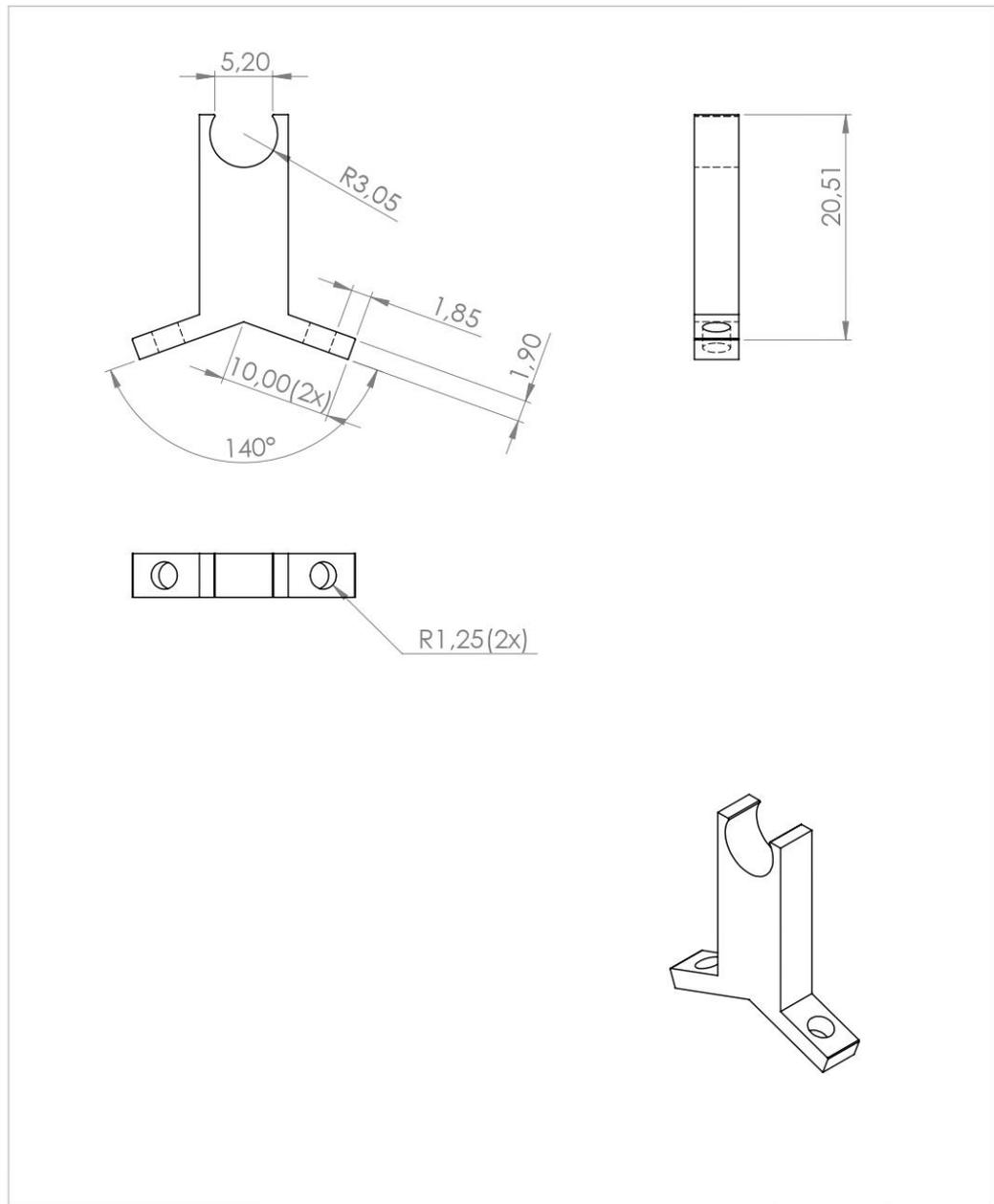
Nome da Peça: 02 - Eixo		Massa(g): 9.53	Rev: 00
Produto: Trabalho de Conclusão de Curso - Seguidor Solar		Escala: 1:2	
Quantidade: 1	Material: PLA	Unidades: mm	Desenhado por: Marcelo Allan
 UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO	 ESCOLA DE ENGENHARIA DE PERNAMBUCO 1895	Data: 24/04/2023	Aprovado por: Francisco Fernando
		Folha: A4	

Apêndice 13



Nome da Peça: 03 - Telhado		Massa(g): 285.65	Rev: 00
Produto: Trabalho de Conclusão de Curso - Seguidor Solar		Escala: 1:3	
Quantidade: 1	Material: PLA	Unidades: mm	Desenhado por: Marcelo Allan
 UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO	 ESCOLA DE ENGENHARIA DE PERNAMBUCO <small>1895</small>	Data: 24/04/2023	Aprovado por: Francisco Fernando
		Folha: A4	

Apêndice 14



Nome da Peça: 04 - Suporte do eixo		Massa(g): 8,37	Rev: 00
Produto: Trabalho de Conclusão de Curso - Seguidor Solar		Escala: 2:1	
Quantidade: 2	Material: PLA	Unidades: mm	Desenhado por: Marcelo Allan
 UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO	 ESCOLA DE ENGENHARIA DE PERNAMBUCO <small>1895</small>	Data: 24/04/2023	Aprovado por: Francisco Fernando
		Folha: A4	