

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

Eugênio Piveta Pozzobon

**DESENVOLVIMENTO DE UMA PLATAFORMA EQUATORIAL DE BAIXO
CUSTO PARA ASTROFOTOGRAFIA**

Santa Maria, RS
2022

Eugênio Piveta Pozzobon

**DESENVOLVIMENTO DE UMA PLATAFORMA EQUATORIAL DE BAIXO CUSTO PARA
ASTROFOTOGRAFIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Computação da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Engenheiro de Computação**.

ORIENTADOR: Prof. Rafael Concatto Beltrame

Santa Maria, RS
2022

Eugênio Piveta Pozzobon

**DESENVOLVIMENTO DE UMA PLATAFORMA EQUATORIAL DE BAIXO CUSTO PARA
ASTROFOTOGRAFIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Computação da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Engenheiro de Computação**.

Aprovado em 00 de de 2022:

Rafael Concatto Beltrame, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Santa Maria, RS
2022

RESUMO

DESENVOLVIMENTO DE UMA PLATAFORMA EQUATORIAL DE BAIXO CUSTO PARA ASTROFOTOGRAFIA

AUTOR: Eugênio Piveta Pozzobon

ORIENTADOR: Rafael Concatto Beltrame

Atualmente, a astrofotografia é realizada por grandes telescópios e também por um crescente número de astrofotógrafos amadores, os quais contam com diversas limitações. A principal reside no fato de que objetos celestes, de forma geral, demandam elevados tempos de exposição. Infelizmente, caso a câmera esteja imóvel sobre um tripé, o movimento de rotação da Terra não permite que os astros sejam expostos ao sensor por muito tempo, pois as imagens acabam borradas. Por esse motivo, é necessário o uso de uma ferramenta que movimente a câmera no sentido de rotação aparente do céu, compensando esse movimento e permitindo um registro fotográfico de alta qualidade. Para isso, existem inúmeras ferramentas comerciais para o rastreamento do céu, porém, todas elas são comercializadas no hemisfério Norte e com um custo expressivo para o brasileiro médio. Então, a fim de simplificar e reduzir o custo associado à astrofotografia, tornando-a mais acessível, objetiva-se neste trabalho desenvolver uma plataforma equatorial para astrofotografia que seja portátil, robusta, precisa, de fácil configuração e utilização, de peso e volume compatíveis com tripés fotográficos, e com custo inferior às soluções comerciais existentes. A plataforma tem como diferencial um aplicativo *mobile* que auxilia a configuração da plataforma para a obtenção de registros fotográficos. O sistema final passou por testes de rastreamento (erro de velocidade) e de vibração para garantir que a montagem estaria adequada para o uso, e também com testes em campo, onde foram obtidas fotografias da Via-Láctea.

Palavras-chave: Astrofotografia. Plataforma Equatorial. Sistema Eletrônico. Aplicativo Android. Bluetooth.

ABSTRACT

DESENVOLVIMENTO DE UMA PLATAFORMA EQUATORIAL DE BAIXO CUSTO PARA ASTROFOTOGRAFIA

AUTHOR: Eugênio Piveta Pozzobon

ADVISOR: Rafael Concatto Beltrame

Currently, astrophotography remains practiced by large telescopes and also by astrophotographers that have countless challenges. The main one relies on the fact that celestial bodies, in general, demand long exposure times. Unfortunately, despite the camera being on a tripod, the rotational movement of the Earth doesn't allow the stars to be exposed to the sensor for a long time, resulting in blurry images. For this reason, it is necessary to use a tool that moves the camera in the apparent rotation direction of the sky, compensating for this movement and obtaining a high-quality photographic record. For this, there are numerous commercial tools for tracking the sky. However, all of them are commercialized in the Northern hemisphere and with an exorbitant cost for the average Brazilian. So, in order to simplify and reduce the cost associated with astrophotography, making it accessible, the objective of this work was to develop an equatorial platform for astrophotography that is portable; robust; precise; easy to set up and use; of weight and volume compatible with photographic tripods; and at a lower cost than commercial solutions. The platform's differential is a mobile application that makes it easy to use these tools for the configuration of the platform to obtain photographic records. The final system has been passed into vibration tests to ensure that the assembly would be suitable for use. Also, the system got tested with long exposure photography.

Keywords: Astrophotography. Equatorial Mount. Electronic System. Android Application. Bluetooth.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Exemplo de solução comercial empregada em astrofotografias.	11
Figura 2.1 – Efeito de zoom gerado pela variação da distância focal	14
Figura 2.2 – Fotografia da Via Láctea com lente <i>zoom</i> em configuração de 4mm.	14
Figura 2.3 – Fotografia de Júpiter e as Luas de Galileu com lente <i>zoom</i> em configuração de 205mm.	15
Figura 2.4 – Impacto do tempo de exposição de captura para objetos em movimento	15
Figura 2.5 – Variações de abertura de uma lente	16
Figura 2.6 – Impacto da abertura na profundidade de campo	16
Figura 2.7 – Variações do ISO e o ruído agregado	16
Figura 2.8 – Fotografia com a captura de um <i>star trail</i>	17
Figura 2.9 – Efeito da combinação de imagens.	19
Figura 2.10 – Diagrama do processo de calibração do empilhamento sem o uso de <i>Dark Flat Frames</i>	20
Figura 2.11 – O enquadramento não rotaciona com o astro na montagem Alt-Azimutal	22
Figura 2.12 – O enquadramento se mantém constante na montagem equatorial	22
Figura 2.13 – A posição do polo norte/sul celestial, no céu, depende da posição geográfica (latitude) da pessoa/equipamento de observação e é alinhado com o eixo de rotação da terra.	23
Figura 2.14 – Exemplo de Montagem Barn Door	24
Figura 2.15 – Barn Door com Braço Simples	24
Figura 2.16 – Diagrama de montagem do mecanismo de Braço Duplo	25
Figura 2.17 – Modelo de Montagem Curva	25
Figura 2.18 – Alinhamento por laser	26
Figura 2.19 – Visor de uma luneta para astrofotografia, contendo marcadores para alinhar as estrelas	27
Figura 2.20 – Alinhamento impossível sem colaboração do tempo limpo	28
Figura 2.21 – Marcação da latitude para ajuste de elevação	29
Figura 2.22 – Estrela centralizada na grelha do visor da câmera	30
Figura 2.23 – Estrela apresentando fuga para a direita, que neste caso, aponta para o sul	30
Figura 2.24 – Cabeça de Tripé com possibilidade para ajuste de precisão	31
Figura 2.25 – Nyx Tracker	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Ajustes do Método <i>Drift</i> mediante cada caso.....	30
Tabela 2.2 – Comparativo das Soluções de Mercado.....	31

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	DESENVOLVIMENTO TEÓRICO	12
2.1	ASTROFOTOGRAFIA	12
2.1.1	Equipamentos	12
2.1.1.1	<i>Câmeras</i>	12
2.1.1.2	<i>Lentes</i>	13
2.1.1.2.1	Distância Focal	13
2.1.2	Exposição	13
2.1.2.1	<i>Tempo de Exposição</i>	15
2.1.2.2	<i>Abertura</i>	15
2.1.2.3	<i>Sensibilidade (ISO)</i>	16
2.1.3	Formatos de Arquivos	17
2.1.4	Rastro de Estrelas	17
2.1.4.1	<i>Tempo de Exposição Máximo</i>	17
2.1.4.1.1	Regra dos 500	18
2.1.4.1.2	Regra NPF	18
2.1.5	Empilhamento de Fotos	19
2.1.5.1	<i>Imagens de Calibração</i>	20
2.1.5.1.1	<i>Dark Frames</i>	20
2.1.5.1.2	<i>Bias (Offset) Frames</i>	20
2.1.5.1.3	<i>Flat Frames</i>	21
2.1.6	Métodos de Rastreamento	21
2.1.6.1	<i>Alt-Azimutal</i>	21
2.1.6.2	<i>Equatorial</i>	22
2.2	PLATAFORMAS EQUATORIAIS	22
2.2.1	Modelos de Montagem	23
2.2.2	Métodos de Alinhamento Polar	26
2.2.2.1	<i>Localização da Estrela Polar</i>	26
2.2.2.2	<i>Instrumentação</i>	27
2.2.2.2.1	Ajuste de Azimute	28
2.2.2.2.2	Ajuste de Elevação	28
2.2.2.3	<i>Método Drift</i>	29
2.2.3	Soluções Comerciais Existentes	31
2.3	OBJETIVOS	32
2.4	PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO	32
2.4.1	Serial	32
2.4.1.1	<i>UART</i>	32
2.4.1.2	<i>I2C</i>	32
2.4.2	Bluetooth	33
2.5	SENSORES E ATUADORES	33
2.5.1	Acelerômetro	33
2.5.2	Giroscópio	33
2.5.3	Magnetômetro	33
2.5.4	GPS	33
2.5.5	Motor de Passo	33

2.6	MICROCONTROLADORES	33
2.6.1	Arduino Nano	33
2.7	INTERFACE GRÁFICA	33
2.7.1	Princípios e Diretrizes	33
2.7.1.1	<i>Visibilidade dos status do sistema</i>	34
2.7.1.2	<i>Comunicar-se com o mundo real</i>	34
2.7.1.3	<i>Liberdade de Controle do Usuário</i>	34
2.7.1.4	<i>Consistências e Padrões</i>	35
2.7.1.5	<i>Prevenção de erros</i>	35
2.7.1.6	<i>Relembrar o usuário é mais fácil do que o usuário relembrar</i>	35
2.7.1.7	<i>Torne o sistema flexível e eficiente</i>	35
2.7.1.8	<i>Tenha um projeto minimalista</i>	36
2.7.1.9	<i>Ajude o usuário a entender e se recuperar de erros</i>	36
2.7.1.10	<i>Tire dúvidas e documente o sistema</i>	36
2.7.2	Android	36
2.7.2.1	<i>Ambiente de Desenvolvimento</i>	36
2.7.2.2	<i>Linguagens de Programação</i>	37
2.7.2.3	<i>Material Design</i>	37
2.7.3	Usuários	38
3	DESENVOLVIMENTO DA PLATAFORMA	39
3.1	HARDWARE	39
3.1.1	Módulos Comerciais	39
3.1.1.1	<i>Módulo Bluetooth HC05</i>	39
3.1.1.2	<i>Módulo de sensores GY87</i>	39
3.1.2	Motor 28BYJ-48	39
3.1.2.1	<i>Driver ULN2003</i>	39
3.1.3	Placa de Circuito Impresso	40
3.1.3.1	<i>Diagrama Elétrico</i>	40
3.1.3.2	<i>Layout</i>	40
3.1.3.3	<i>Manufatura</i>	40
3.2	PROJETO ESTRUTURAL	40
3.2.1	Requisitos de Projeto	40
3.2.2	Peças	40
3.2.2.1	<i>Frame Principal</i>	40
3.2.2.2	<i>Engrenagens</i>	40
3.2.2.3	<i>Barra de Elevação</i>	40
3.2.3	Manufatura	41
3.2.4	Montagem	41
4	DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO	42
4.1	NECESSIDADES DOS USUÁRIOS	42
4.2	PROTOTIPAÇÃO DAS TELAS	42
4.3	IMPLEMENTAÇÃO DO APLICATIVO ANDROID	42
4.3.1	Requisitos de Sistema	42
4.3.2	Arquitetura do Funcionamento	42
4.3.2.1	<i>Activity</i>	42
4.3.2.2	<i>Room Database</i>	42
4.3.2.3	<i>Fragments</i>	43
4.3.2.3.1	<i>View Model</i>	43

4.3.2.4	<i>Protocolo de Comunicação Bluetooth</i>	43
5	RESULTADOS OBTIDOS	44
5.1	ANÁLISE DE VIBRAÇÃO	44
5.1.1	Método	44
5.1.2	Discussão	44
5.2	CUSTO TOTAL DO SISTEMA	44
5.3	ANÁLISE DE DESEMPENHO DO APLICATIVO	44
5.4	FOTOGRAFIAS	44
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
6.1	PROJETO <i>OPEN-SOURCE</i>	45
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
	APÊNDICE A – DESENHO TÉCNICO DAS PEÇAS	50
	APÊNDICE B – DIAGRAMA DE MONTAGEM	52

1 INTRODUÇÃO

Desde os primeiros registros datados, civilizações já observavam o céu e, desse modo, podiam contabilizar a passagem do tempo, identificar as estações do ano, os ciclos sazonais de chuvas e/ou secas, etc. Assim, por exemplo, era possível realizar um planejamento mais assertivo acerca da melhor época de plantio e colheita de diferentes culturas. Cada civilização tinha seu meio e técnica de observação. Por exemplo, em 4000 a.C., os povos da Mesopotâmia utilizavam zigurates para observar o céu noturno; já em 2500 a.C., foi construída a estrutura de pedras Stonehenge, na Inglaterra, para registrar os solstícios. Foi somente em 1609 d.C. que Galileu conseguiu aperfeiçoar e utilizar um telescópio refrator para observar os planetas e as estrelas pela primeira vez (HELERBROCK, c2021).

A astrofotografia consiste no emprego de técnicas fotográficas para registrar objetos astronômicos, como planetas, estrelas, galáxias, nebulosas, etc. A primeira astrofotografia é datada de 1840 e é um registro da Lua (JÚNIOR, 2016). Desse período em diante, a fotografia teve um papel muito importante na observação celeste e no registro do céu para análise científica. Essa técnica foi evoluindo gradualmente de forma que, por volta de 1960, já havia equipamentos que permitiam realizar registros mais concretos e eficientes, possibilitando fotos com mais definição e nitidez (SANTOS, 2010).

No fim do século XX, telescópios maiores e mais complexos, instalados na Terra ou a orbitando no espaço (como o telescópio espacial Hubble), ampliaram a capacidade da ciência em estudar fenômenos astronômicos ou mesmo a origem do próprio universo (SANTOS, 2010). Paralelamente, as ferramentas amadoras para astronomia (como telescópios de baixo custo), ou mesmo para astrofotografia (câmeras de custo mais acessível e equipamentos para rastreamento do céu) continuaram a ser desenvolvidas, de forma que um grande número de astrônomos e, especificamente, astrofotógrafos amadores continuassem exercendo seu *hobby* ou mesmo contribuindo à ciência.

Nesse sentido, o desenvolvimento de equipamentos acessíveis voltados ao público amador tem um papel fundamental para despertar o interesse pela ciência em cada vez mais pessoas. Atualmente, o custo de muitas ferramentas classificadas como “amadoras” ainda é elevado, principalmente para a realidade brasileira. Como exemplo, hoje podem ser empregados pequenos telescópios comerciais ou artesanais acoplados a câmeras digitais (de celular ou DSLRs-(Digital Single Lens Reflex). No entanto, os principais desafios de se fotografar galáxias, nebulosas, etc., é que esses corpos, de forma geral, demandam elevados tempos de exposição (JÚNIOR, 2016). Infelizmente, o movimento de rotação da Terra não permite que os astros sejam expostos ao sensor por muito tempo, pois as imagens ficariam borradas. Por esse motivo, é necessário o uso de uma ferramenta que movimente a câmera (acoplada ou não a um telescópio) no sentido de rotação aparente do céu, compensando o movimento e permitindo que o sensor da câmera possa receber luz

por longos períodos de tempo (de minutos a horas) (JÚNIOR, 2016). Assim, consegue-se obter um registro fotográfico de alta qualidade e com um baixo custo computacional de pós-processamento.

Por isso, existem inúmeras ferramentas comerciais para o rastreamento do céu voltadas ao público amador, como Nyx Track, SkyGuider™ Pro, Polaris™, entre outras (conforme Figura 1.1). Porém, todas elas são comercializadas no hemisfério norte e com um custo excessivo para brasileiro médio (considerando taxa de câmbio, taxas de importação e frete). Assim, de modo a contribuir à popularização da astrofotografia no Brasil, incentivando cada vez mais jovens a seguirem na carreira científica, propõe-se o desenvolvimento de uma plataforma equatorial de baixo custo para astrofotografia.

Figura 1.1 – Exemplo de solução comercial empregada em astrofotografias.



Fonte: (CORPORATION, c2021)

2 DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

2.1 ASTROFOTOGRAFIA

A astrofotografia é um ramo da astronomia e da fotografia que combina toda a ciência envolvida na documentação e registro de estrelas, constelações, planetas, meteoros, etc., com a arte da fotografia. Dentro da astrofotografia, existem variantes como planetária, solar e céu profundo (ANDOLFATO, 2017). Além disso, existem diferenças entre a astrofotografia praticada profissionalmente por cientistas, em grandes telescópios, da praticada por amadores. Porém, ambas as atividades são importantes e se complementam.

As fotografias capturadas por telescópios profissionais possuem vantagens no fato como uma grande ampliação, além de foco e definição, devido aos grandes espelhos que compõe suas montagens. Contudo, isso se torna um problema para a captura de imagens mais amplas. Essas fotografias são registradas, em sua maioria, por astrofotógrafos amadores (ANDOLFATO, 2017).

Além disso, a astrofotografia amadora também precisa de equipamentos que, no Brasil, custam um preço que acaba afastando uma boa parcela da população dessa prática.

2.1.1 Equipamentos

Além de uma câmera e uma lente, existem alguns equipamentos periféricos que são fundamentais para a prática da astrofotografia: tripé e disparador remoto (intervalômetro) para a câmera. O tripé é responsável por manter a câmera estável durante o registro das estrelas; o Disparador tem a função de operar a câmera remotamente para evitar que haja o operador faça a câmera tremer ao apertar algum botão e/ou também permitir a utilização do modo *Bulb* das DSLR. O modo *Bulb* consiste em permitir um controle total do tempo de exposição pelo operador (LOCHUN et al., 2015).

2.1.1.1 Câmeras

As câmeras digitais possuem sensores CMOS (*Complementary Metal-Oxide Semiconductor*) de imagem que substituem o filme das máquinas fotográficas mais antigas. O sensor CMOS pode ter diversos tamanhos físicos diferentes e uma densidade de *pixels* por polegada (dpi) diversa entre os modelos. Por norma, quanto maior for o sensor físico,

mais qualidade terá a imagem final (ALVES, 2018).

Existem diversos modelos de câmeras para fotografia: compacta, super-zoom, *mirrorless*, DSLR e por fim as câmeras em celulares. As câmeras *mirrorless* atualmente são equiparáveis às DSLR e ambas são as mais usadas para astrofotografia, possibilitam trocar lentes e podem ser utilizadas para capturar de céu noturno. Além disso, possibilitam uma série de configurações em modo manual que não são possíveis em câmeras semi-profissionais, compactas ou de super-zoom (LOCHUN et al., 2015).

2.1.1.2 Lentes

A lente é um equipamento acoplado no corpo da câmera que é responsável por focalizar a luz que invade o sensor. As lentes podem ser rígidas no corpo da câmera, no caso de modelos semi-profissionais e compactos; ou podem ser removíveis para o caso de modelos profissionais. Nesse último caso, as lentes removíveis são itens que podem ser obtidos por escolha do fotógrafo e existe uma variedade de modelos.

Esses modelos podem ser lentes fixas ou *zoom*. O primeiro é um modelo de lente que possui uma distância focal fixa. Já as lentes *zoom* permitem uma variação na distância focal, o que acaba gerando o *zoom* óptico (REGINA, 2013).

2.1.1.2.1 Distância Focal

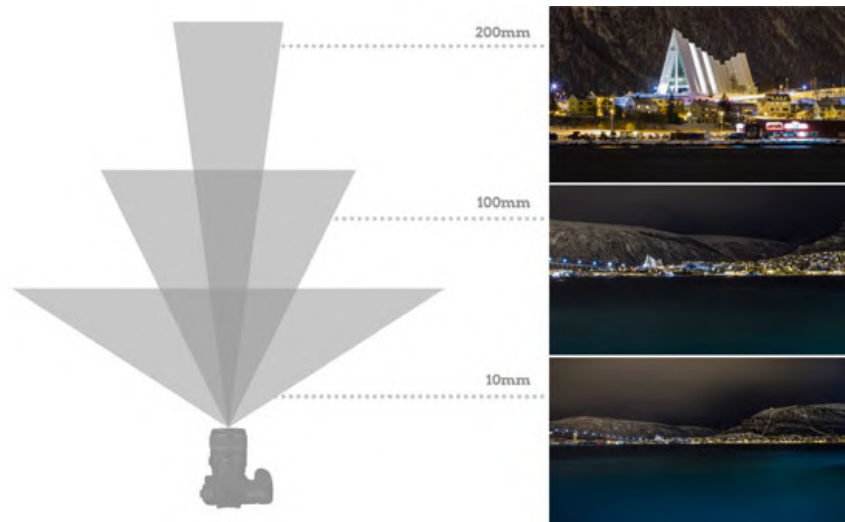
A distância focal de uma lente é um fator medido em milímetros e é o que determina seu ângulo de visão. Quanto maior ele for, mais fechado será o ângulo, gerando um zoom. Do contrário, quanto menor for a distância focal, maior será o ângulo de visão e consequentemente menor será o zoom da lente. A figura 2.1 ilustra essa relação da distância focal (REGINA, 2013).

Em um contexto de astrofotografia, lentes mais abertas são úteis para capturar a Via-Láctea (Figura 2.2). Para fotografias de constelações, nebulosas e planetas distantes da Terra, é necessário uma lente mais fechada, que possibilite o enquadramento com o zoom necessário, conforme o tamanho do astro a ser fotografado. (Figura 2.3)

2.1.2 Exposição

A exposição de uma imagem se refere à quantidade de luz captada pelo sensor da câmera. Uma imagem muito clara é considerada superexposta, um caso onde o sensor recebeu muita luz. Ao contrário, uma imagem subexposta é uma fotografia escura que

Figura 2.1 – Efeito de zoom gerado pela variação da distância focal



Fonte: (REGINA, 2013)

Figura 2.2 – Fotografia da Via Láctea com lente *zoom* em configuração de 4mm.



Fonte: Autor

recebeu pouca luz. Existem 3 parâmetros configuráveis em uma câmera profissional que são determinantes para a exposição e também para a qualidade da foto final (VIERO, 2018). De forma geral, conseguir a exposição ideal é o principal desafio da astrofotografia de céu profundo (ANDOLFATO, 2017).

Figura 2.3 – Fotografia de Júpiter e as Luas de Galileu com lente *zoom* em configuração de 205mm.



Fonte: Autor

2.1.2.1 Tempo de Exposição

Para captar uma imagem, a câmera possui um dispositivo que permite a passagem de luz em direção ao sensor interno que capta a imagem. Uma fotografia de longa exposição significa que a câmera permaneceu captando luz por um longo intervalo de tempo (LOCHUN et al., 2015). Porém, não é possível abusar de longas exposições em alguns casos, pois a imagem pode sair "borrada" (Figura 2.4). uma pessoa correndo precisa ser fotografada em uma fração de segundo e uma paisagem, ao contrário, pode ser capturada durante mais de um segundo se a câmera estiver imóvel em um tripé.

Figura 2.4 – Impacto do tempo de exposição de captura para objetos em movimento



Fonte: Adaptado de (VIERO, 2018)

2.1.2.2 Abertura

Esse é o diâmetro do diafragma da lente, que permite a passagem de luz para o sensor (Figura 2.5). Isso determina um valor "f/número". Um baixo "f/número" como f/1.8, indica um alto valor de abertura e significa dizer que a câmera irá receber mais luz (LOCHUN et al., 2015). A abertura também impacta na profundidade de campo (Figura 2.6), o que significa que um valor baixo também apresenta o ônus da dificuldade focalizar.

Figura 2.5 – Variações de abertura de uma lente



Fonte: Adaptado de (VIERO, 2018)

Figura 2.6 – Impacto da abertura na profundidade de campo



Fonte: Adaptado de (VIERO, 2018)

2.1.2.3 Sensibilidade (ISO)

O ISO é um padrão internacional para a sensibilidade do sensor das câmeras. Essa sensibilidade também é configurável no sistema da câmera no momento da fotografia. Um valor baixo de ISO significa que o sensor precisa de mais tempo de exposição para captar mais luz, ao mesmo tempo, que reduz o ruído na imagem. (Figura 2.7) Um valor de ISO alto implica que a imagem final terá muito ruído, mas possibilita que ela seja registrada com um baixo tempo de exposição (LOCHUN et al., 2015). O ruído agregado pelo ISO também acaba prejudicando a fotografia, reduzindo o contraste e a saturação das imagens, o que também pode levar a posterização, que é o comprometimento total da fotografia, pois a foto perde resolução e criam-se falhas nos *pixels* da imagem.

Figura 2.7 – Variações do ISO e o ruído agregado



Fonte: Adaptado de (VIERO, 2018)

2.1.3 Formatos de Arquivos

As câmeras profissionais possibilitam salvar as imagens em diferentes formatos de arquivos, que inclui formato RAW, JPG ou ambos. Os arquivos JPG são uma versão reduzida dos formatos RAW, onde se aplica um algoritmo de compressão de imagens que acaba gerando perda de informações. Desse modo, arquivos RAW possuem a informação completa do sensor, sem nenhum tipo de compactação e acabam sendo muito grandes, mas permitem uma pós-produção mais precisa que acaba resultando em uma imagem com mais qualidade e detalhes (LOCHUN et al., 2015).

2.1.4 Rastro de Estrelas

O movimento de rotação da terra gera um movimento aparente no céu. Ao realizar uma fotografia de longa exposição, esse movimento será visível criando o efeito de rastro de estrelas ou *star trail*. (Figura 2.8)

Figura 2.8 – Fotografia com a captura de um *star trail*



Fonte: Autor

2.1.4.1 Tempo de Exposição Máximo

Existe um limite de tempo máximo para que uma câmera fixa permaneça capturando luz sem que ocorra o fenômeno de *star trail*. Esse tempo máximo depende de vários fatores, mas os dois principais são a distância focal da lente e a posição da estrela.

A distância focal é importante pois uma lente com um longo comprimento amplia a imagem, da mesma forma que amplia o rastro das estrelas. Do contrário, lentes com ângulo mais aberto, de menor comprimento focal, fazem tudo parecer pequeno, incluindo o movimento das estrelas, e isso permite um tempo de exposição maior (COVINGTON, 2006).

A distância de um astro até a linha do equador celestial é chamada de declinação estelar, sendo medida em graus. Quanto menor for essa distância, mais rápido a estrela aparenta se movimentar no céu. Seja a declinação simbolizada por σ , e a distância focal nomeado F , em milímetros, uma equação capaz de aproximar o limite do tempo de exposição é dada em (2.1) (COVINGTON, 2006). Existem ainda outras metodologias que buscam aproximar o tempo máximo de exposição.

$$t_{max} = \frac{343}{F \cos(\sigma)} [s] \quad (2.1)$$

2.1.4.1.1 Regra dos 500

A regra dos 500 é uma fórmula que se baseia apenas distância focal, e o cálculo do tempo máximo é dado pela equação 2.2. É uma regra muito simples, mas que permite uma aproximação razoável sobre o tempo máximo de exposição. Existem variantes dessa regra que alteram a constante no numerador, como a regra dos 300 ou a regra dos 400 (COX, 2021).

$$t_{max} = \frac{500}{F} [s] \quad (2.2)$$

2.1.4.1.2 Regra NPF

A regra NPF é uma evolução da equação (2.1), que considera múltiplos fatores para recalcular a constante do numerador (COX, 2021). O tempo de exposição máximo é calculado pela equação 2.3 com base na abertura da lente (N), na distância focal (F), no tamanho em micrômetros do sensor da câmera (p), na declinação da estrela para onde a câmera será apontada (σ), e um fator de multiplicação (k). O fator k é mantido em 1, porém pode ser aumentado até 3 para obter imagens mais nítidas e contrastantes (COX, 2021).

$$t_{max} = k \cdot \frac{16,9N + 0,1F + 13,7p}{F \cos(\sigma)} [s] \quad (2.3)$$

2.1.5 Empilhamento de Fotos

O fenômeno de *star trail* gera a necessidade do uso de ferramentas para compensar o movimento da Terra e permitir uma fotografia de longa exposição sem que se crie rastro. Essa compensação pode ser feita por *software*, realizando-se o empilhamento de fotos de curta exposição (ANDOLFATO, 2017).

O empilhamento consiste na junção de múltiplas imagens capturadas com a câmera montada em um tripé ou em uma montagem motorizada, que possibilita o somatório da luz capturada com essas fotos. Esse método de processamento é relevante para qualquer astrofotografia e possibilita a redução de ruído usando imagens de calibração (LOCHUN et al., 2015). Existem inúmeros programas capazes de realizar esse processo como *Deep Sky Stacker*, *Sequator*, entre outros.

A combinação das imagens no pós-processamento não gera uma imagem mais luminosa ou colorida, o objetivo da combinação é o aumento da Relação Sinal Ruído (SNR). A única forma de gerar uma imagem final com mais luz e cores é realizando uma sequência de fotografias com maior tempo de exposição (DEEP SKY STACKER, c2021a). As figuras 2.9a e 2.9b comparam o resultado de uma imagem que passou pelo processo de empilhamento.

Figura 2.9 – Efeito da combinação de imagens.

(a) Imagem original



(b) Empilhamento de 32 imagens

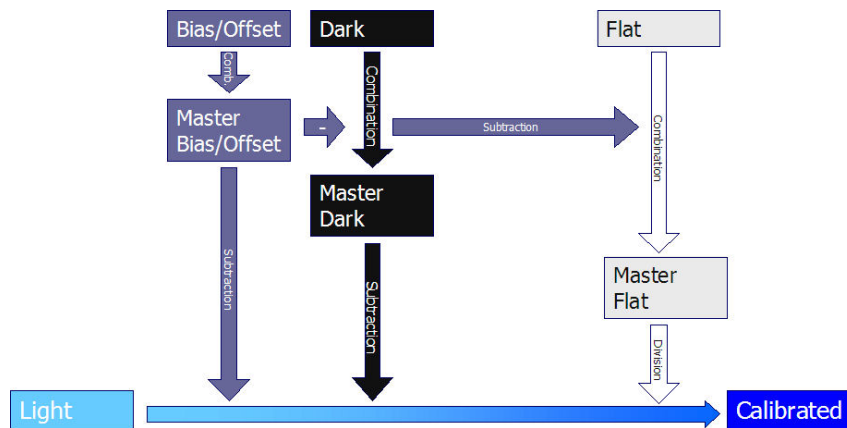


Fonte: (DEEP SKY STACKER, c2021a)

2.1.5.1 Imagens de Calibração

As fotografias registradas sobre um alvo celeste são chamadas de *Light Frames* e estas podem ser empilhadas como escrito anteriormente. No entanto, é possível realizar um processo de calibração do empilhamento, fornecendo imagens de calibração (DEEP SKY STACKER, c2021b). O processo é feito combinando fotos chamadas de *Dark Frames*, *Bias Frames*, *Flat Frames* e *Dark Flat Frames* (não muito utilizado). Essas imagens são extras e precisam ser fotografadas com a câmera em condições específicas e posteriormente adicionadas ao *software* durante o processo de empilhamento (DEEP SKY STACKER, c2021a). O resultado entregue pelo *software* será uma imagem final calibrada, como demonstra o diagrama da Figura 2.10.

Figura 2.10 – Diagrama do processo de calibração do empilhamento sem o uso de *Dark Flat Frames*



Fonte: (DEEP SKY STACKER, c2021a)

2.1.5.1.1 Dark Frames

Os *Dark Frames* são fotografias que indicam ao software a localização do sinal de ruído das fotografias. São necessárias de 10 a 20 fotos com a lente tampada para criar a calibração, as quais devem necessariamente ser fotografadas com ISO, tempo de exposição e condições ambientais iguais aos *light frames*. (DEEP SKY STACKER, c2021b)

2.1.5.1.2 Bias (Offset) Frames

Os *Bias/Offset Frames* são usados para remover sinais de ruído na leitura do sensor da câmera. Essas fotografias devem ser capturadas no menor tempo de exposição possível, com lente tampada, na mesma configuração de ISO dos *Light Frames*. São necessá-

rias cerca de 10 a 20 fotos para que a calibração funcione adequadamente. A temperatura da câmera não é um fator relevante nesse caso (DEEP SKY STACKER, c2021b).

2.1.5.1.3 *Flat Frames*

Flat Frames são imagens de calibração capturadas com mesmo ISO e abertura dos *light frames* colocando uma folha branca na frente da lente, incidindo luz na folha. Elas têm o objetivo de indicar a vinheta da lente (escurecimento nas bordas da imagem), além da distribuição não uniforme de luz provocada por pó ou riscos na lente. Novamente, são necessários de 10 a 20 imagens (DEEP SKY STACKER, c2021b).

2.1.6 Métodos de Rastreamento

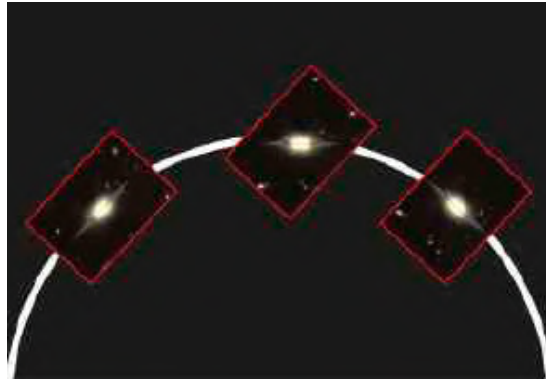
Tendo em vista o limite do tempo de exposição e o movimento de rotação da Terra, discutidos na seção 2.1.4.1, os *softwares* de empilhamento possuem algoritmos que compensam a rotação das estrelas, rotacionando as imagens fotografadas no sentido oposto, e realizando o empilhamento dessas imagens após esse ajuste das fotos. Esse método compensa o ruído, mas como os tempos de exposições são curtos, torna-se mais difícil obter cor e contrastes nos objetos celestes. Isso só é possível capturar aumentando o tempo de exposição.

Então, para realizar astrofotografias de longa exposição, é necessário o uso de um rastreador físico que movimenta a câmera no sentido de rotação aparente das estrelas, garantindo que não ocorrerá o efeito de *star trail*. Existem dois métodos de rastreamento: Alt-Azimutal e Equatorial (LOCHUN et al., 2015).

2.1.6.1 *Alt-Azimutal*

Uma montagem Alt-Azimutal funciona movendo uma câmera ou um telescópio por meio dos eixos vertical e horizontal, alterando o azimute e a altitude simultaneamente. Isso requer um sistema com dois motores para realizar o rastreamento, o que torna essa montagem mais cara e complexa. Além disso, para astrofotografias, essa montagem acaba não sendo indicada pois ela não consegue compensar a rotação aparente dos astros, que também é gerado pelo movimento de rotação da terra (Figura 2.11) (LOCHUN et al., 2015).

Figura 2.11 – O enquadramento não rotaciona com o astro na montagem Alt-Azimutal

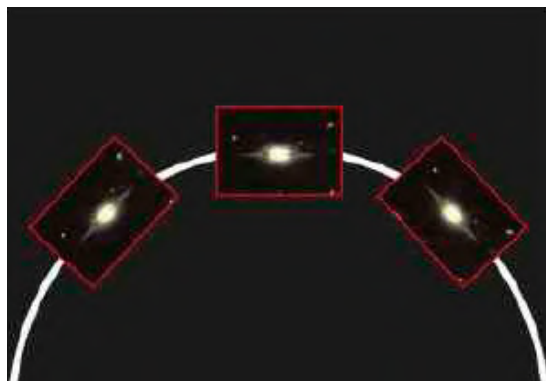


Fonte: Adaptado de (LOCHUN et al., 2015)

2.1.6.2 Equatorial

Ao contrário do modelo de montagem comentado na seção anterior, uma montagem equatorial consegue compensar a rotação aparente dos astros (Figura 2.12) e, por esse motivo, é a melhor opção de mecanismo para realizar astrofotografias. Isso ocorre pois essa construção realiza o movimento da câmera de forma circular, na mesma velocidade de rotação aparente da Terra, após alinhar o eixo de altitude junto com o meridiano polar (eixo norte-sul) (LOCHUN et al., 2015). Esse sistema requer somente um motor, porém, precisa também de um método acurado de alinhamento com o meridiano e isso será explorado na próxima seção.

Figura 2.12 – O enquadramento se mantém constante na montagem equatorial



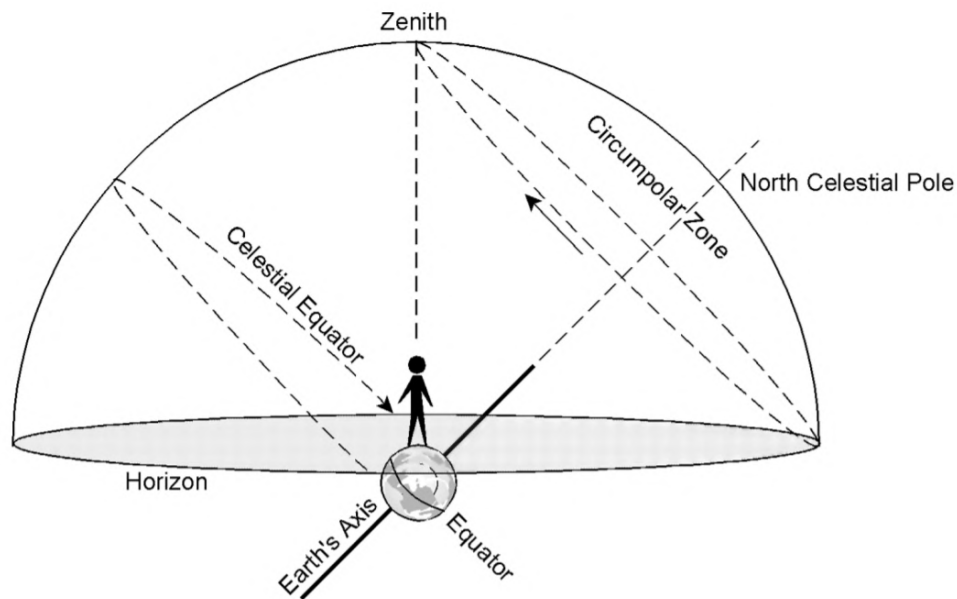
Fonte: Adaptado de (LOCHUN et al., 2015)

2.2 PLATAFORMAS EQUATORIAIS

Plataformas Equatoriais são mecanismos que se baseiam em uma montagem equatorial e podem ter os mais diversos tamanhos. Existem modelos para telescópios e outros

específicos para astrofotografia, sendo este último que será o foco deste trabalho. Essa montagem requer o alinhamento do eixo de rotação da plataforma, com o eixo de rotação celeste que, para uma pessoa localizada no hemisfério norte, será o polo norte polar, e para alguém no hemisfério sul, será o polo sul polar (Figura 2.13).

Figura 2.13 – A posição do polo norte/sul celestial, no céu, depende da posição geográfica (latitude) da pessoa/equipamento de observação e é alinhado com o eixo de rotação da terra.



Fonte: (MACK, 2008)

Depois que o eixo da plataforma está alinhada com o polo celeste, ela começa a rotacionar no sentido da rotação do planeta, e isso pode ser feito em diferentes modelos de estrutura.

2.2.1 Modelos de Montagem *Barn Door*

Barn Doors são um modelo de montagem que se caracterizam por funcionar com duas bases acopladas, onde uma é fixada no tripé do fotógrafo, e a outra é móvel, fixando a câmera que será rotacionada para acompanhar o movimento aparente do céu (Figura 2.14). O funcionamento é igual à abertura de uma porta com dobradiças (DAVID, K., 2015).

Esses modelos são tradicionalmente conhecidos pela comunidade de astrofotografia por serem de baixo custo, pois é possível automatizar o movimento da câmera sem a necessidade de um motor demasiadamente potente e caro. Além disso, comparando a modelos de montagem usado em sistemas comerciais, um sistema *Barn Door* pode ser facilmente modificado ou reparado, e é, geralmente mais estável. Perdem para modelos comerciais no quesito transportabilidade e precisão (DAVID, K., 2015).

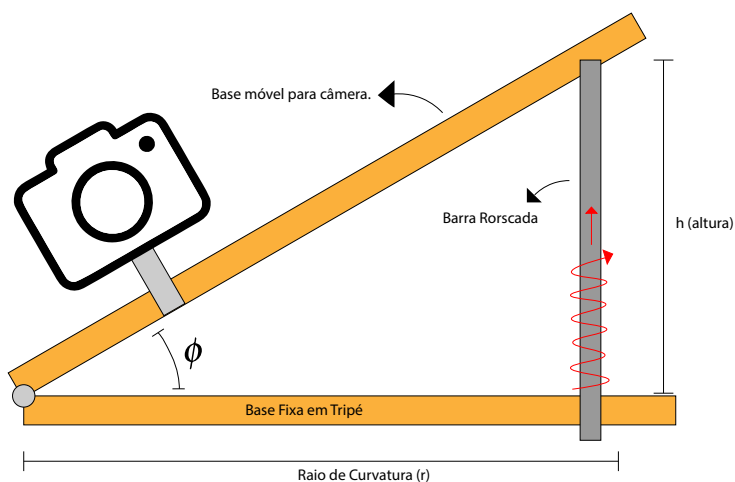
Figura 2.14 – Exemplo de Montagem Barn Door



Fonte: (SERONIK, 2007)

Dentre os modelos de *Barn Door*, os mais comuns são: Montagem com braço simples, com braço Duplo e montagem Curva. A primeira (Figura 2.15) é composta por uma base fixa conectada a base da câmera que é movida por um eixo perpendicular à parte fixa. Esse sistema acaba tendo algumas limitações para manter uma variação constante no ângulo de rotação da câmera, que, apesar da elevação do eixo ser constante, o ângulo de rotação não é, o que acumulará erro de rastreamento. Isso gera erros de rastreamento que limitam o uso desse modelo para exposições com, no máximo, 15 minutos (TROTT, 1989).

Figura 2.15 – Barn Door com Braço Simples

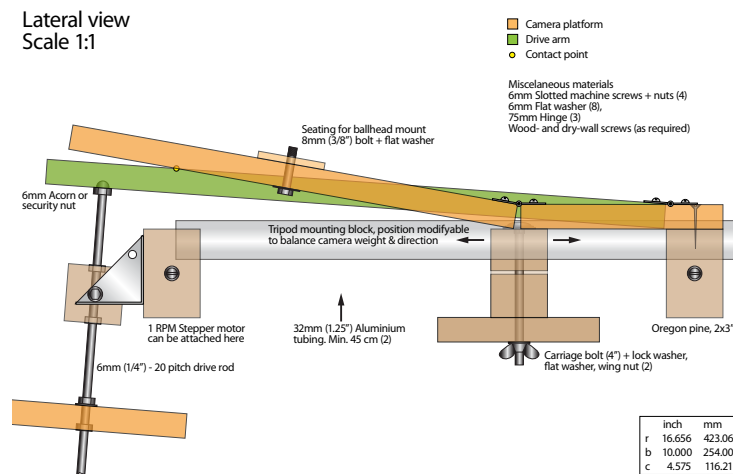


Fonte: Adaptado de (TROTT, 1989)

David Trot desenvolveu um mecanismo de Braço Duplo (Figura 2.16) que consegue aumentar para até 1h o tempo máximo de exposição, em comparação com o modelo anterior. Contudo, tem como desvantagem a complexidade do sistema, que exige várias peças

em um diagrama que pode se tornar demasiadamente complexo.

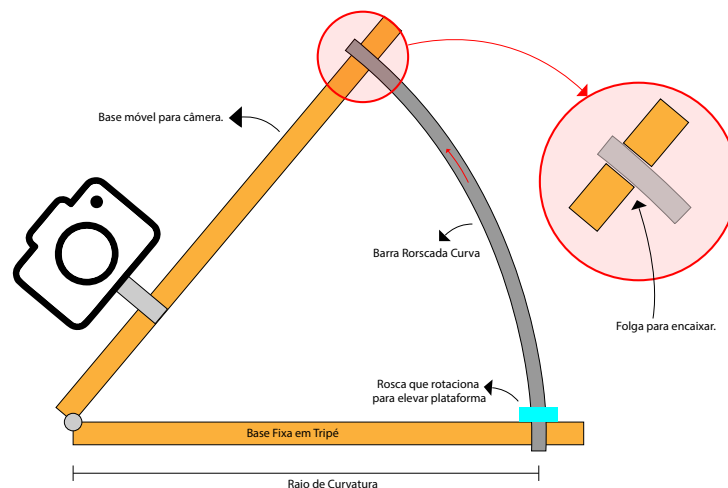
Figura 2.16 – Diagrama de montagem do mecanismo de Braço Duplo



Fonte: Adaptado de (TROTT, 1989)

Por fim, a Montagem Curva é composta por uma barra roscada curva, que não possui o problema de compensação de velocidade, pois ela acompanha a curvatura do movimento da plataforma. A problemática dessa montagem provém da curvatura do eixo de rotação, que pode trazer questões relacionadas a estabilidade, devido à necessidade de folga nas bases (Figura 2.17). Outro detalhe é que a barra não pode ser rotacionada; a movimentação deve ser feita através de uma rosca que é rotacionada na base, e realiza o deslocamento da barra roscada para cima ou para baixo (DAVID, K., 2015).

Figura 2.17 – Modelo de Montagem Curva e o problema da folga no mecanismo



Fonte: Adaptado de (JONES, 1980)

Comparando os atributos dos modelos de Barn Door, a montagem curva é a mais apropriada para o projeto proposto, visto que não demanda a construção de um mecanismo demasiadamente complexo. Dessa forma, ela reduz a quantidade de materiais e

processos, bem como a lógica de controle do motor, minimizando ainda mais os custos, ao passo que potencializa o resultado do projeto.

2.2.2 Métodos de Alinhamento Polar

O alinhamento com o polo norte/sul celeste é fundamental para a execução da astrofotografia através de uma plataforma equatorial, e erros podem comprometer o funcionamento do sistema. Quanto mais bem alinhada está a plataforma, maior será o tempo de exposição que ela conseguirá obter sem gerar rastros nas estrelas. Para realizar esse alinhamento, existem dois métodos: Localizar a estrela Polar que indica a posição do polo celeste, e/ou utilizar de instrumentação para posicionar e inclinar a plataforma nos valores de azimute e inclinação corretos, dada a posição da plataforma no planeta.

2.2.2.1 Localização da Estrela Polar

Existem duas formas de alinhamento por meio da localização no céu da estrela polar. A primeira delas é um *laser*, que é alinhado com a estrela polar para indicar o alinhamento (Figura 2.18). No entanto, o *laser* não é um método extremamente confiável, pois a estrela polar não é exatamente centrada no polo norte celeste, dessa forma o alinhamento não fica preciso. A única vantagem desse método é o custo que é, em média, na casa de 100 reais.¹

Figura 2.18 – Alinhamento por laser

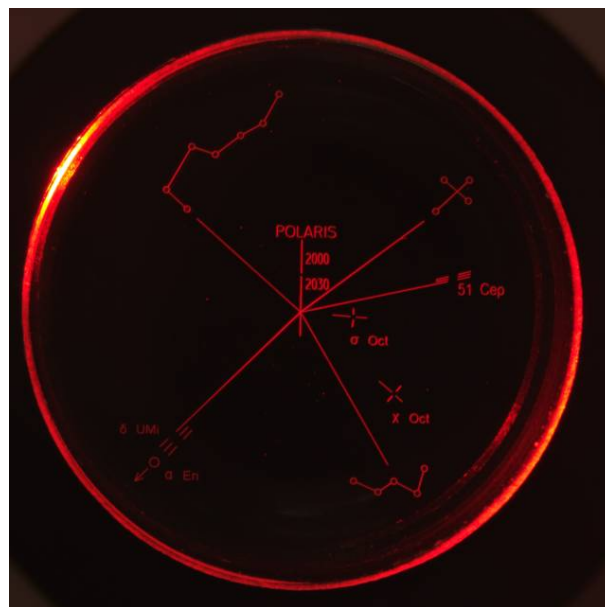


Fonte: (DYER, 2019)

¹Considerando Modelos pesquisados em agosto de 2021

O segundo método envolve uma luneta que permita a identificação das constelações que indicam o polo norte/sul (Figura 2.19). No hemisfério Norte, procura-se a estrela Polaris; no hemisfério Sul, busca-se a constelação de Sigma Octantis e o Cruzeiro do Sul. Ele é um método bem confiável, porém, no hemisfério sul, isso normalmente é mais difícil, pois essas constelações são de alta magnitude. Isso significa dizer que possuem um baixo brilho, tornando-as difíceis de serem localizadas no céu. As lunetas buscadoras têm um custo bem variado, mas são normalmente comercializadas fora do Brasil e tem um custo que começa na casa dos 80 dólares, ou 415 reais.²

Figura 2.19 – Visor de uma luneta para astrofotografia, contendo marcadores para alinhar as estrelas



Fonte: (BRESSER, c2021)

Ambos os métodos possuem a desvantagem de requerer um céu limpo na região polar (Figura 2.20) e baixos níveis de poluição luminosa para identificar as estrelas, porém, apresentam a simplicidade como vantagem. O laser é o menos confiável, pois existe uma defasagem entre as constelações e o polo celeste, que só é possível de ser compensado com o uso da luneta.

2.2.2.2 Instrumentação

Através de instrumentos de medição, é possível realizar o alinhamento da plataforma equatorial separando o processo em duas etapas. Na primeira etapa é feito o Ajuste do Azimute para alinhar a plataforma com o polo norte geográfico. Posteriormente ela

²Considerando Modelos pesquisados em agosto de 2021, com câmbio de US\$ 1 = R\$5,19

Figura 2.20 – Alinhamento impossível sem colaboração do tempo limpo



Fonte: (EGAN, c2021b)

deve ser inclinada até o ângulo referente ao polo norte celeste que é dado pelo ângulo da latitude do local onde a plataforma está localizada, realizando um ajuste de elevação.

2.2.2.2.1 Ajuste de Azimute

O ajuste do azimute pode ser realizado com uma bússola ou um magnetômetro que possibilite indicar o polo norte magnético. No entanto, o polo norte geográfico possui uma diferença com o polo norte magnético devido à oscilação do campo magnético do planeta, essa discrepância é chamada de Declinação Magnética.

Além disso, devido à inconsistência do campo magnético, o valor da declinação é diferente para cada localização do planeta, mas pode ser calculada usando modelos magnéticos globais que são o resultado de pesquisas com medidores em satélites e apresentam valores com acurácia de 0,5 graus (INFORMATION, c2021).

2.2.2.2.2 Ajuste de Elevação

O Ajuste de elevação para uma determinada latitude pode ser feito através de marcações de ângulo em um eixo dobrável (Figura 2.21), ou com sensores de posição inercial: acelerômetro e giroscópio (OBSERVATÓRIO LUPUS, 2014). É evidente que o primeiro método não é preciso, pois depende obrigatoriamente de um bom processo de manufatura e calibração, além da falta de precisão para ângulos de latitude com valores decimais.

Figura 2.21 – Marcação da latitude para ajuste de elevação



Fonte: (OBSERVATÓRIO LUPUS, 2014)

2.2.2.3 Método *Drift*

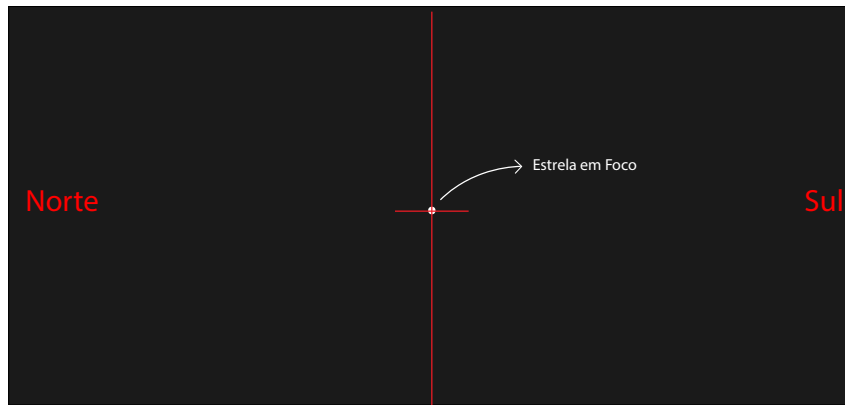
O alinhamento da plataforma com o polo celeste é fundamental para uma longa exposição usando uma lente com grande comprimento focal. Se a montagem não estiver corretamente alinhada, ela não irá conseguir impedir o surgimento de rastro na fotografia por um longo período de tempo, dessa forma, quanto melhor for o alinhamento, maior será o tempo de exposição sem a geração de rastro (LOCHUN et al., 2015).

Plataformas que são alinhadas com uma luneta polar conseguem atingir normalmente 180s de exposição. Se mais tempo for necessário ou for usada uma lente com muita ampliação, então o método *Drift* de alinhamento é mandatório. Ainda que, não é possível realizar esse ajuste de precisão sem que a plataforma já tenha sido previamente alinhada pelos outros métodos de menor acurácia que já foram explicados nas seções anteriores (LOCHUN et al., 2015).

O método consiste em localizar, primeiramente, uma estrela brilhante o suficiente para visualizar no visor da câmera, que esteja na linha do equador polar. Habilitando uma linha de grade no visor, o usuário deve alinhar a estrela escolhida de forma que fique centralizada no cruzamento da grelha (Figura 2.22) e, então, ligar o rastreador, observando se haverá movimentação da estrela para algum dos lados do visor. Na sequência, o usuário deve apontar para uma estrela ao leste ou oeste, no horizonte, e observar para qual lado (Esquerda/Direita ou Norte/Sul) do visor haverá fuga (Figura 2.23). O lado (esquerda ou direita) que indica norte ou sul depende para onde a câmera estiver sendo apontada e a orientação dela (LOCHUN et al., 2015).

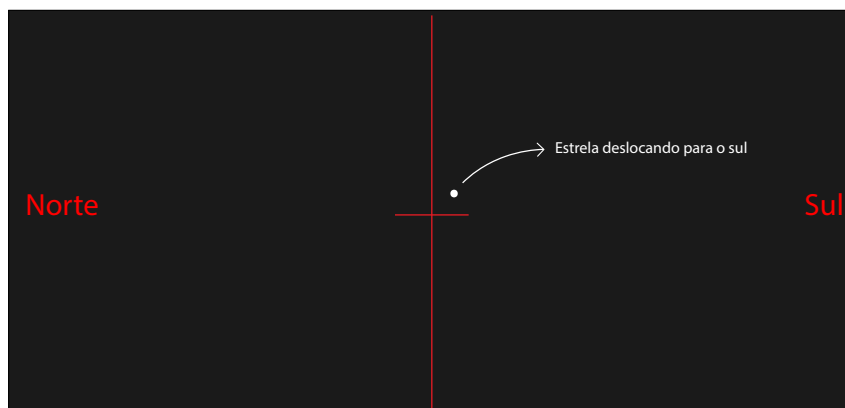
Dependendo para qual lado do visor (norte/sul) houver fuga, deverá ser feito um ajuste específico no alinhamento, que também é diferente para cada hemisfério do planeta. O fotógrafo deve saber para qual lado do visor é norte ou sul, pois será isso que determinará corretamente a correção a ser realizada na plataforma (Tabela 2.1). A primeira estrela ajuda a ajustar o azimute da plataforma, a segunda colabora para uma elevação correta.

Figura 2.22 – Estrela centralizada na grelha do visor da câmera



Fonte: Adaptado de (OBSERVATÓRIO LUPUS, 2014)

Figura 2.23 – Estrela apresentando fuga para a direita, que neste caso, aponta para o sul



Fonte: Adaptado de (OBSERVATÓRIO LUPUS, 2014)

Além disso, a precisão do ajuste dependerá do tempo que a estrela irá levar para sair da marcação do visor, e o processo de repete até que a estrela permaneça parada pelo tempo mínimo desejado pelo fotógrafo para a lente que estiver usando (LOCHUN et al., 2015).

Tabela 2.1 – Ajustes do Método *Drift* mediante cada caso

Localização da estrela	Lado da Fuga	Correção (Hemisfério Sul)	Correção (Hemisfério Norte)
Meridiano	Norte	Azimute para Leste	Azimute para Leste
	Sul	Azimute para Oeste	Azimute para Oeste
Leste	Norte	Altura para cima	Altura para baixo
	Sul	Altura para baixo	Altura para cima
Oeste	Norte	Altura para baixo	Altura para cima
	Sul	Altura para cima	Altura para baixo

Fonte: Adaptado de (OBSERVATÓRIO LUPUS, 2014)

É importante ressaltar que para esse método ser possível, o tripé onde a plataforma é montada deve possuir *knobs* para ajuste mais acurado, como na cabeça de tripé da

Figura 2.24, que possui um *knob* para movimentação somente de azimute, outro para movimento livre, e um terceiro para um ajuste mais preciso de ambas as posições.

Figura 2.24 – Cabeça de Tripé com possibilidade para ajuste de precisão



Fonte: (Optison, c2021)

2.2.3 Soluções Comerciais Existentes

Existem inúmeras soluções comerciais para o problema proposto, porém, todos eles usam uma luneta ou um *laser* como método de alinhamento polar. Existem produtos com diferentes especificações e orçamentos. A Tabela 2.2 ilustra alguns sistemas, dentre os disponíveis no mercado, comparando suas funcionalidades.

Tabela 2.2 – Comparativo das Soluções de Mercado

	Nyx Tracker	iOptron	Vixen Optics	SkyWatcher
Preço (US\$)	115	299	399	299
Carga Máxima (kg)	2.25	3	2	3
Erro periódico (arcsec)	115	100	50	50
Volume (cm^2)	155	490	323	220
Peso (kg)	0,4	1,15	0,79	0,72
Alinhamento	<i>Laser</i>	<i>Polar Scope</i>	<i>Polar Scope</i>	<i>Polar Scope</i>

Fonte: Adaptado de (EGAN, c2021a)

Contudo, na realidade brasileira, o preço mostrado passaria ainda por impostos, tornando a compra mais inviável. O Nyx Tracker (Figura 2.25) é o único da lista que possui uma estrutura de *Barn Door*, e é o sistema mais acessível, porém o método de alinhamento é de difícil execução no hemisfério sul.

Figura 2.25 – Nyx Tracker



Fonte: (EGAN, c2021a)

2.3 OBJETIVOS

Pelo *benchmark* exposto, fixaram-se como objetivos o desenvolvimento de uma solução robusta, visualmente elegante, e que consiga se aproximar das propriedades do modelo comercial mais acessível, com o custo inferior a 115 dólares. Além disso, deve ter como diferencial um aplicativo que permita uma fácil interação do usuário com o sistema, facilitando o processo de configuração e alinhamento polar.

2.4 PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO

2.4.1 Serial

2.4.1.1 UART

Velocidade, Falhas de comunicação, Guidelines de Design de PCB

2.4.1.2 I2C

Endereçamento, Velocidade, Guidelines de Design de PCB

2.4.2 Bluetooth

2.5 SENSORES E ATUADORES

2.5.1 Acelerômetro

2.5.2 Giroscópio

2.5.3 Magnetômetro

2.5.4 GPS

2.5.5 Motor de Passo

Driver, formas de Acionamento...

2.6 MICROCONTROLADORES

2.6.1 Arduino Nano

Justificativa, diagrama do Arduíno

2.7 INTERFACE GRÁFICA

2.7.1 Princípios e Diretrizes

Os princípios e as diretrizes comumente utilizados em interfaces humano-computador giram em torno dos seguintes tópicos: correspondência com as expectativas dos usuários; simplicidade nas estruturas das tarefas; equilíbrio entre controle e liberdade do usuário;

consistência e padronização; promoção da eficiência do usuário; antecipação das necessidades do usuário; visibilidade e reconhecimento; conteúdo relevante e expressão adequada; e projeto para erros (BARBOSA et al., 2021). Esse conjunto de princípios são conhecidos como heurística de Nielsen, pois são aplicáveis em qualquer sistema, independente de casos específicos.

2.7.1.1 Visibilidade dos status do sistema

O sistema deve sempre manter o usuário atualizado sobre as condições de operação com uma taxa de atualização condizente para a informação. Ao informar o status da bateria, por exemplo, o usuário do *smartphone* consegue prever quanto tempo de uso ainda terá e irá conseguir manejar sua interação com base nessa previsibilidade (NIELSEN, 2020).

2.7.1.2 Comunicar-se com o mundo real

O Projeto tem que se comunicar com o usuário na língua do usuário. Se um brasileiro não sabe inglês, ele "ficará perdido" nos Estados Unidos. Da mesma forma, o desenvolvedor não pode assumir que o usuário entenderá o aplicativo somente pelo fato do desenvolvedor ter feito algo que ele próprio entenda. É sempre recomendado conferir a linguagem do sistema com um conjunto grande de pessoas para evitar mal entendidos.

Quando o usuário não entende a língua do sistema, ele se sente afastado e irá deixar de usar a plataforma. É interessante que a plataforma tenha *designs* semelhantes com objetos do mundo real, dessa forma, o usuário se sente "contemplado" e consegue facilmente fazer a conexão entre o mundo real e a plataforma (KALEY, 2018).

2.7.1.3 Liberdade de Controle do Usuário

Por vezes, a pessoa que está realizando um processo em um sistema pode cometer um engano. Esse evento pode levar a situações de erro que não devem comprometer a experiência. Por isso, os usuários precisam de uma "saída de emergência" claramente marcada para sair do estado indesejado. Isso reduz a sua ansiedade e o medo de errar, pois ele sabe que os erros podem ser contornados (BARBOSA et al., 2021).

2.7.1.4 *Consistências e Padrões*

É importante que o sistema mantenha uma consistência entre suas telas, ou mesmo em grandes plataformas, ou seja, que os múltiplos programas tenham o mesmo padrão, com funções localizadas no mesmo lugar, com nomes similares e com um *disign* similar. Exemplo disso são as telas dos aplicativos do Google Docs: todos possuem o mesmo estilo de menu. Idem para o Microsoft Office.

A consistência também se estende aos ícones. O ícone que representa um botão, por exemplo, é importante que seja consistente em estilo com os demais. Eles podem ser mais preenchidos, *clean*, neutros ou suaves. O que importa nesse caso, é que sejam todos padronizados (HARLEY, 2014).

2.7.1.5 *Prevenção de erros*

Uma forma de prevenção é oferecer sugestões numa caixa de pesquisa, por exemplo. Em situações de rotina, como disparar um lembrete, a tela de criação pode oferecer uma sugestão padrão de um modelo que faça sentido para o usuário. Para evitar corrupção de dados pelo usuário durante o cadastro, é possível sugerir ao usuário o preenchimento de números de forma truncada, fazendo o pós-processamento para ler o número corretamente.

2.7.1.6 *Relembrar o usuário é mais fácil do que o usuário relembrar*

Quando o usuário precisa repensar sobre algo incomum na memória, ele despende muito tempo. Então, quando a plataforma exige uma lembrança do usuário para entender algo, isso limita a experiência e incorre em perda de tempo ou confusão.

Por isso, é mais interessante realizar a exigência com uma possível sugestão de resposta correta. A reconhecimento de algo é muito mais prática para a mente humana, pois ao mostrar para o cérebro algo relacionado com o que precisa lembrar-se, dispara-se a memória de forma mais efetiva. Dar uma pista para o cérebro é mais eficiente do que simplesmente perguntar sem oferecer nada (BUDIUI, 2020).

2.7.1.7 *Torne o sistema flexível e eficiente*

Atalhos, personalização e customização. Com esses fatores é possível melhorar a usabilidade para aqueles que não são mais novatos no *software* e isso ajuda a manter

esses usuários ativos. Um fotógrafo experiente, que está acostumado com os atalhos de teclado nos aplicativos da Adobe, teria muita dificuldade se o teclado viesse a falhar, pois a mente já assimilou os atalhos mais usados e eles fazem diferença na velocidade com que o profissional interage com o software (LAUBHEIMER, 2020).

2.7.1.8 Tenha um projeto minimalista

Um projeto é minimalista significa usar elementos simples num arranjo onde desenho e a interface combinem de forma agradável sem chamar a atenção de forma desnecessária, colaborando com que o usuário foque somente naquilo que é necessário (NIELSEN, 2020).

2.7.1.9 Ajude o usuário a entender e se recuperar de erros

O usuário precisa entender quando o sistema não está funcionando bem e como fazê-lo voltar à normalidade. As mensagens de erro devem ser expressas de uma forma simples, indicando o possível problema e a solução. Cores vermelhas e pretas ajudam a demonstrar o sinal de erro para o usuário (LAUBHEIMER, 2015).

2.7.1.10 Tire dúvidas e documente o sistema

Existem duas formas de ajudar o usuário e tirar suas dúvidas. A primeira é de forma proativa, onde a aplicação guia o usuário para se familiarizar com a interface. Outra forma é por uma seção com perguntas e respostas, a qual ajuda os usuários a se tornarem mais independentes com a aplicação, resolvendo seus próprios problemas e filtrando os casos que precisam de suporte para a equipe técnica da plataforma (JOYCE, 2020).

2.7.2 Android

2.7.2.1 Ambiente de Desenvolvimento

O *Android Studio* é o ambiente de desenvolvimento integrado oficial para a criação de aplicativos *Android* e é baseado no *IntelliJ IDEA*. Ele oferece uma série de Recursos que possibilitam a confecção de um aplicativo: Sistema de compilação flexível baseado em

Gradle; Um emulador rápido com suporte a vários recursos; ambiente unificado que possibilita o desenvolvimento para qualquer dispositivo *Android*, incluindo relógios e televisões; integração com *GitHub* para *backup* e documentação do código; entre outras funções que possibilitam analisar o desempenho de um aplicativo em tempo real, bem como fazer *updates*. (GOOGLE DEVELOPERS, 2021)

2.7.2.2 Linguagens de Programação

Existem soluções de desenvolvimento *Android* mais *user-friendly* como *APP Inventor* ou *Kodular*, porém, essas interfaces não garantem ao desenvolvedor um pleno controle do aplicativo, e muitas vezes acabam limitando o projeto da interface. Por isso, usar linguagens de programação nativas é uma abordagem mais interessante para aplicativos mais completos. É possível criar aplicativos com diversas linguagens, mas somente duas são nativas e permitem realizar aplicações que podem usar de todo o poder de processamento de um *smartphone*: Java e *Kotlin*.

Em 2017, *Kotlin* foi definido pela Google como sendo a principal linguagem de desenvolvimento *Android*. Ela é muito mais nova que Java, sendo desenvolvida em pela JetBrains. A grande motivação de se usar *Kotlin* para o desenvolvimento reside no fato de ser uma linguagem segura para prevenção de objetos nulos, operando em paralelo com qualquer código em Java e dando opções de co-rotinas. Além disso, ao comparar dois códigos com a mesma função, um escrito em Java, outro em *Kotlin*, o segundo pode ser até 40% mais compacto, o que implica em uma linguagem mais concisa e compreensível entre desenvolvedores. A desvantagem de se usar *Kotlin*, para este trabalho, é somente a falta de uma comunidade grande, comparando com Java, o que limita o suporte para eventuais problemáticas de desenvolvimento (REDKA, 2021).

Dentro do ambiente de desenvolvimento usa-se também linguagem de arquivos XML para a criação de interfaces gráficas (*layouts*), bem como a escrita dos vetores, animações, e arquivos de configuração do aplicativo e temas de *layout*. Para armazenamento de dados dentro do aplicativo, normalmente usa-se um banco de dados que é operado com códigos de consulta *SQL*.

2.7.2.3 Material Design

Existem uma série de diretrizes de projeto fornecidas pela Google para guiar o desenvolvimento de aplicativos *Android*. Essas informações são fornecidas principalmente pela biblioteca *Material Design*, que fornece pacotes facilmente implementáveis de *layouts* para aplicações responsivas e padronizadas.

A biblioteca colabora com o desenvolvedor fornecendo ícones, tipografia, cores e componentes gráficos que trazem uma imersão para o usuário de forma simples e minimalista. Os *designs* se inspiram no mundo real, facilitando a comunicação com o usuário (MATERIAL FOUNDATION, 2021).

2.7.3 Usuários

3 DESENVOLVIMENTO DA PLATAFORMA

3.1 HARDWARE

3.1.1 Módulos Comerciais

3.1.1.1 Módulo Bluetooth HC05

Justificativa, limitações, pinagem

3.1.1.2 Módulo de sensores GY87

Pinagem

Sensores MPU6050 e HMC

Enderaçamento na rede, velocidades suportadas, filtragem de dados, cálculo dos ângulos.

3.1.2 Motor 28BYJ-48

Justificativa: preço, uso em soluções comerciais.

3.1.2.1 Driver ULN2003

Acionamento escolhido, velocidade e torque

3.1.3 Placa de Circuito Impresso

3.1.3.1 Diagrama Elétrico

3.1.3.2 Layout

3.1.3.3 Manufatura

Foto da placa

3.2 PROJETO ESTRUTURAL

3.2.1 Requisitos de Projeto

Vibração, constância na velocidade, resistência para proteção dos equipamentos.

3.2.2 Peças

3.2.2.1 Frame Principal

3.2.2.2 Engrenagens

Cálculo das dimensões das engrenagens, passo, etc.

3.2.2.3 Barra de Elevação

Dimensionamento

3.2.3 Manufatura

CNC Foto das peças.

3.2.4 Montagem

Observações da montagem, elásticos, etc.

4 DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO

4.1 NECESSIDADES DOS USUÁRIOS

Descrever as necessidades e requisitos mínimos da aplicação. Casos de uso.

4.2 PROTOTIPAÇÃO DAS TELAS

Escrever sobre a prototipação no Adobe XD

4.3 IMPLEMENTAÇÃO DO APLICATIVO ANDROID

4.3.1 Requisitos de Sistema

Requisitos de Sistema, versão mínima do Android, permissões exigidas pelo usuário, etc.

4.3.2 Arquitetura do Funcionamento

4.3.2.1 Activity

4.3.2.2 Room Database

Base de dados criadas e valores armazenados

4.3.2.3 Fragments

4.3.2.3.1 View Model

Databinding

4.3.2.4 Protocolo de Comunicação Bluetooth

Diagrama de comunicação, comandos, timeout, checagem de dados, buffer e delay, taxa de atualização e limitações.

5 RESULTADOS OBTIDOS

5.1 ANÁLISE DE VIBRAÇÃO

5.1.1 Método

5.1.2 Discussão

5.2 CUSTO TOTAL DO SISTEMA

5.3 ANÁLISE DE DESEMPENHO DO APLICATIVO

5.4 FOTOGRAFIAS

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 PROJETO *OPEN-SOURCE*

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, V. **Tipos de máquinas fotográficas**. 4. ed. [S.l.], 2018. 54 p. Acesso em 12 jul. 2021. Disponível em: <<https://fotografiadicas.com.br/wp-content/uploads/2018/07/Tipos-de-M%C3%A1quinas-Fotogr%C3%A1ficas-Fotografia-Dicas-4a-Ed.pdf>>.

ANDOLFATO, R. **Astrofotografia Prática: O guia da Fotografia do Universo**. Brasil: Clube de Autores, 2017. 454 p.

BARBOSA, S. D. J. et al. **Interação Humano-Computador e Experiência do Usuário**. [S.l.]: Autopublicação, 2021.

BRESSER. **BRESSER Polar Finder Scope for StarTracker**. Bressr group of companies, c2021. Acesso em 11 ago. 2021. Disponível em: <<https://www.bresser.de/en/Astronomy/BRESSER-Polar-Finder-Scope-for-StarTracker-PM-100.html>>.

BUDIUI, R. **Memory Recognition and Recall in User Interfaces**. Nielsen Norman Group, 2020. Acessado em 25 de junho de 2021. Disponível em: <<https://www.nngroup.com/articles/recognition-and-recall/>>.

CORPORATION iOptron. **SkyGuiderTM Pro camera mount full package**. IOPTRON, c2021. Acesso em 20 fev. 2021. Disponível em: <<https://www.ioptron.com/product-p/3550.htm>>.

COVINGTON, M. A. **Astrophotography for the Amateur**. [S.l.]: Cambridge University, 2006.

COX, S. **00 Rule vs NPF Rule: Shutter speed for astrophotography**. photography-life, 2021. Acesso em 13 jul. 2021. Disponível em: <<https://photographylife.com/500-rule-vs-npf-rule>>.

DAVID, K. **Astrophotography Part 3 of 6: Making a Barn Door Tracker**. Pentax Forums, 2015. Acesso em 10 ago. 2021. Disponível em: <<https://www.pentaxforums.com/articles/photo-articles/astrophotography-part-3-barn-door-tracker.html>>.

DEEP SKY STACKER. **How to create better images**. [S.l.], c2021. Acesso em 12 jul. 2021. Disponível em: <<http://deepskystacker.free.fr/english/theory.htm>>.

_____. **Light, Dark, Flat, Bias... What are they and how to create them?** [S.l.], c2021. Acesso em 12 jul. 2021. Disponível em: <<http://deepskystacker.free.fr/english/faq.htm#lightdarkflatoffset>>.

DYER, A. **Testing the MSM Tracker**. The Amazing Sky, 2019. Acesso em 10 ago. 2021. Disponível em: <<https://amazingsky.net/2019/08/22/testing-the-msm-tracker/>>.

EGAN, M. **Nyx Tech**. Nyx Tech, c2021. Acesso em 29 mar. 2021. Disponível em: <<https://nyxtech.us/>>.

_____. **Tips and Tutorials**. Nyx Tech, c2021. Acesso em 9 ago. 2021. Disponível em: <<https://nyxtech.us/pages/tips-tutorials>>.

GOOGLE DEVELOPERS. **Android Studio**: Guia do usuário. [S.l.], 2021. Acesso em 16 mar.2021. Disponível em: <<https://developer.android.com/studio/intro>>.

HARLEY, A. **Icon Usability**. Nielsen Norman Group, 2014. Acessado em 25 de junho de 2021. Disponível em: <<https://www.nngroup.com/articles/icon-usability/>>.

HELERBROCK, R. **História da Astronomia**. Brasil Escola, c2021. Acesso em 20 fev. 2021. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/historia-astronomia.htm>>.

INFORMATION, N. C. F. E. **Magnetic Field Calculators**. National Oceanic and Atmospheric Administration, c2021. Acesso em 27 jul. 2021. Disponível em: <<https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/calculators/magcalc.shtml#declination>>.

JÚNIOR, S. D. C. **Introdução à astrofotografia**. Network for Astronomy School Education, 2016. Acesso em 20 fev. 2021. Disponível em: <<http://sac.csic.es/astrosecundaria/complementario/pt/actividades/instrumentos/astrofotografia.pdf>>.

JONES, E. Some experiments with curved bolt drives. **Sky and Telescope Magazine**, 1980.

JOYCE, A. **Help and Documentation**. Nielsen Norman Group, 2020. Acessado em 25 de junho de 2021. Disponível em: <<https://www.nngroup.com/articles/help-and-documentation/>>.

KALEY, A. **Match Between the System and the Real World**. Nielsen Norman Group, 2018. Acessado em 25 de junho de 2021. Disponível em: <<https://www.nngroup.com/articles/match-system-real-world/>>.

LAUBHEIMER, P. **Preventing User Errors**. Nielsen Norman Group, 2015. Acessado em 25 de junho de 2021. Disponível em: <<https://www.nngroup.com/articles/slips/>>.

_____. **Flexibility and Efficiency of Use**. Nielsen Norman Group, 2020. Acessado em 25 de junho de 2021. Disponível em: <<https://www.nngroup.com/articles/flexibility-efficiency-heuristic/>>.

LOCHUN, K. et al. **The Complete Guide to Astrophotography**. [S.l.]: BBC Sky at Night Magazine, 2015.

MACK, J. E. **Star Watch**: The amateur astronomers guide to finding observing and learning about over 125 celestial objects. London: White Crow Books, 2008. v. 1, 304 p.

MATERIAL FOUNDATION. **Material Design**: Introduction. [S.l.], 2021. Acesso em 16 mar. 2021. Disponível em: <<https://material.io/design/introduction>>.

NIELSEN, J. **Usability Heuristics for User Interface Design**. Nielsen Norman Group, 2020. Acessado em 25 de junho de 2021. Disponível em: <<https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/>>.

OBSERVATÓRIO LUPUS. **Alinhamento pelo Método Drift**. Observatório Astronômico Lupus, 2014. Acesso em 26 jul. 2021. Disponível em: <<http://observatoriolupus.blogspot.com/2014/10/alinhamento-pelo-metodo-drift-derivacao.html?m=1>>.

REDKA, M. **Kotlin vs. Java**: Which programming language to choose for your android app. MLSDev, 2021. Acesso em 16 mar. 2021. Disponível em: <<https://mlsdev.com/blog/kotlin-vs-java>>.

REGINA, C. **Aprenda a Fotografar em 7 Lições**. [S.l.], 2013. 18 p.

SANTOS, N. S. **A astrofotografia e sua importância para a astronomia**. Educação Espacial, 2010. Acesso em 19 fev. 2021. Disponível em: <<https://educacaoespacial.files.wordpress.com/2010/10/a-astrofotografia-e-sua-importancia-para-a-astronomia.pdf>>.

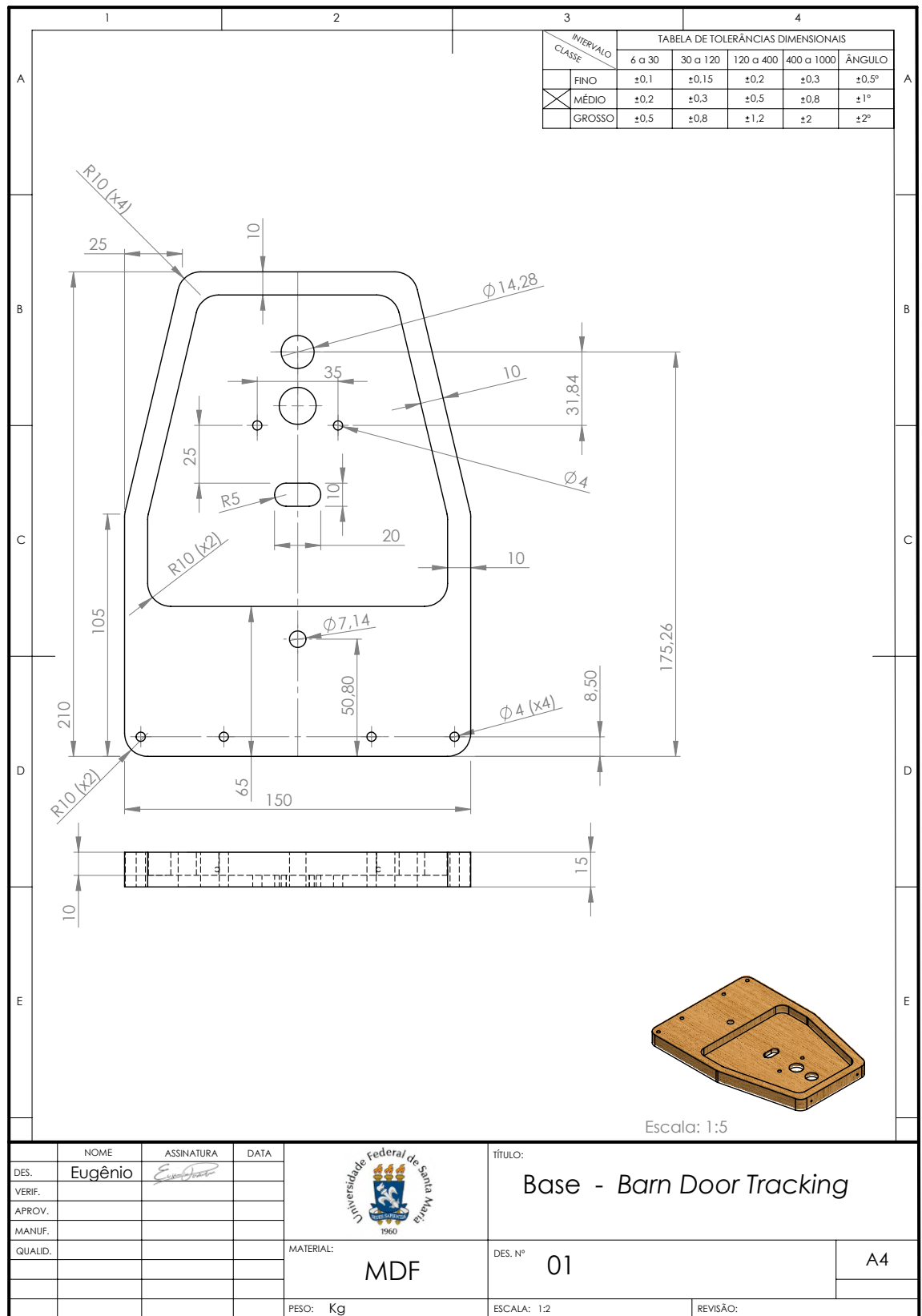
SERONIK, G. A tracking platform for astrophotography. **Sky and Telescope Magazine**, 2007.

TROTT, D. Double arm barn-door drive. **Sky and Telescope Magazine**, p. 436–441, 1989.

VIERO, E. **Os 3 pilares da fotografia**. Eduardo e Mônica, 2018. Acessado em 5 de julho de 2021. Disponível em: <<https://www.eduardo-monica.com/new-blog/iso-velocidade-abertura-exposicao-fotografia>>.

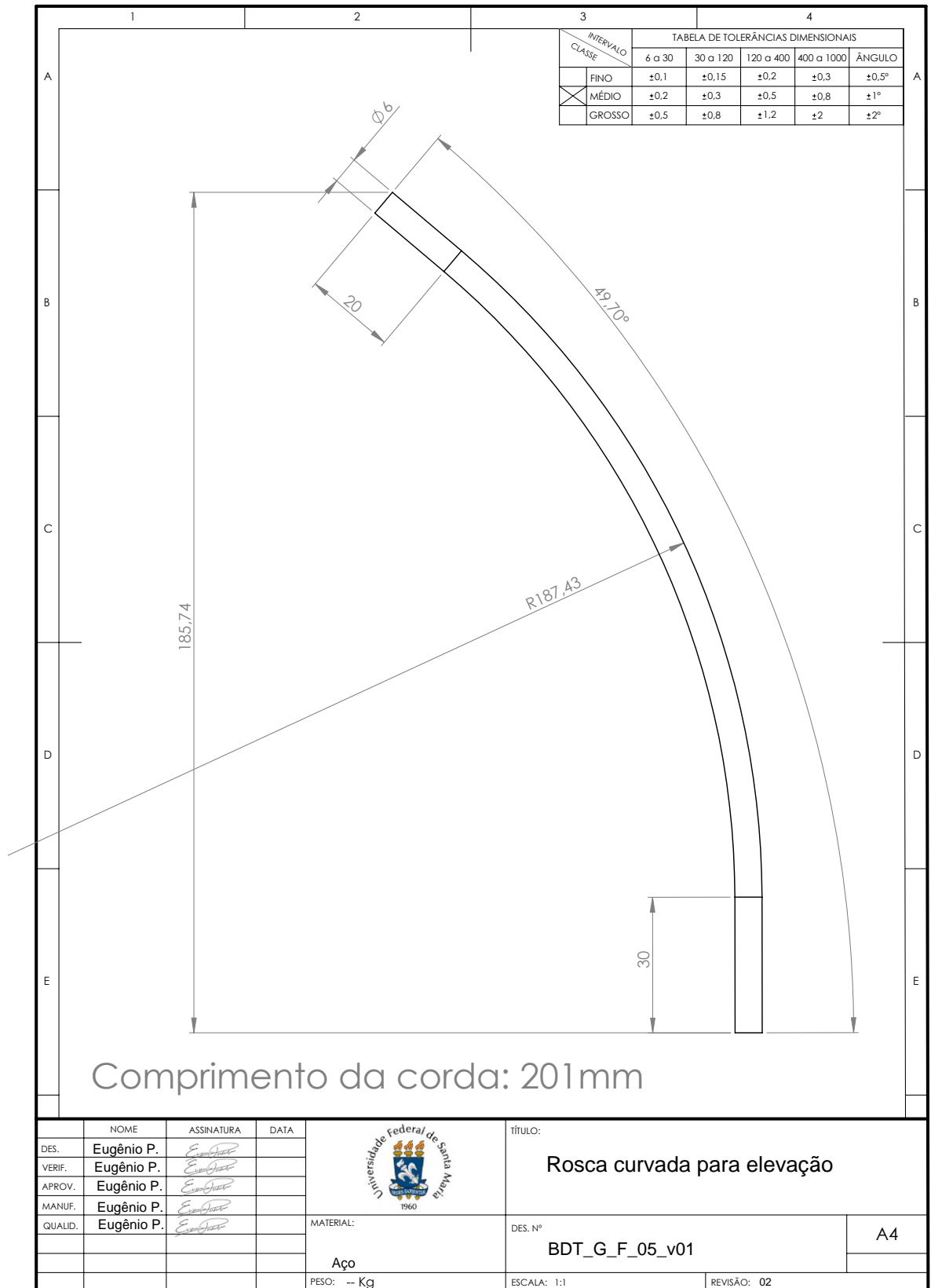
APÊNDICE A – DESENHO TÉCNICO DAS PEÇAS

A.1 – BASE



A.2 – PARTE MÓVEL

A.3 – BARRA CURVADA



APÊNDICE B – DIAGRAMA DE MONTAGEM