

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 da Velocidade 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	17
Figura 2.8 – Fotografia com a captura de um <i>Star Trail</i> (Rastro de Estrelas)	17
Figura 2.9 – Efeito da combinação de imagens.	20
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 – Nyx Tracker	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Comparativo das Soluções de Mercado.....	24
---	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	DESENVOLVIMENTO TEÓRICO	12
2.1	ASTROFOGRAFIA	12
2.1.1	Equipamentos	12
2.1.1.1	<i>Câmeras</i>	<i>12</i>
2.1.1.2	<i>Lentes</i>	<i>13</i>
2.1.1.2.1	Distância Focal	13
2.1.2	Exposição	14
2.1.2.1	<i>Velocidade</i>	<i>15</i>
2.1.2.2	<i>Abertura</i>	<i>15</i>
2.1.2.3	<i>Sensibilidade (ISO)</i>	<i>16</i>
2.1.3	Formatos de Arquivos	17
2.1.4	Rastro de Estrelas	17
2.1.4.1	<i>Tempo de Exposição Máximo</i>	<i>18</i>
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>	<i>19</i>
2.1.5.1.1	<i>Dark Frames</i>	<i>20</i>
2.1.5.1.2	<i>Bias (Offset) Frames</i>	<i>21</i>
2.1.5.1.3	<i>Flat Frames</i>	<i>21</i>
2.1.6	Métodos de Rastreamento	21
2.1.6.1	<i>Alt-Azimutal</i>	<i>21</i>
2.1.6.2	<i>Equatorial</i>	<i>22</i>
2.2	PLATAFORMAS EQUATORIAIS	23
2.2.1	Métodos de Alinhamento Polar	23
2.2.1.1	<i>Ajuste de Azimute</i>	<i>23</i>
2.2.1.1.1	Localização da Estrela Polar	23
2.2.1.1.2	Alinhamento com o Polo Norte	23
2.2.1.2	<i>Ajuste de Elevação</i>	<i>23</i>
2.2.1.3	<i>Método Drift</i>	<i>23</i>
2.2.2	Soluções Comerciais Existentes	23
2.3	OBJETIVOS	24
2.4	PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO	25
2.4.1	Serial	25
2.4.1.1	<i>UART</i>	<i>25</i>
2.4.1.2	<i>I2C</i>	<i>25</i>
2.4.2	Bluetooth	25
2.5	SENSORES E ATUADORES	25
2.5.1	Acelerômetro	25
2.5.2	Giroscópio	25
2.5.3	Magnetômetro	25
2.5.4	GPS	25
2.5.5	Motor de Passo	25

2.6	MICROCONTROLADORES	26
2.6.1	Arduino Nano	26
2.7	INTERFACE GRÁFICA	26
2.7.1	Princípios e Diretrizes	26
2.7.1.1	<i>Visibilidade dos status do sistema</i>	26
2.7.1.2	<i>Comunicar-se com o mundo real</i>	26
2.7.1.3	<i>Liberdade de Controle do Usuário</i>	27
2.7.1.4	<i>Consistências e Padrões</i>	27
2.7.1.5	<i>Prevenção de erros</i>	27
2.7.1.6	<i>Relembrar o usuário é mais fácil do que o usuário relembrar</i>	28
2.7.1.7	<i>Torne o sistema flexível e eficiente</i>	28
2.7.1.8	<i>Tenha um projeto minimalista</i>	28
2.7.1.9	<i>Ajude o usuário a entender e se recuperar de erros</i>	28
2.7.1.10	<i>Tire dúvidas e documente o sistema</i>	29
2.7.2	Android	29
2.7.2.1	<i>Ambiente de Desenvolvimento</i>	29
2.7.2.2	<i>Linguagens de Programação</i>	29
2.7.2.3	<i>Material Design</i>	30
3	DESENVOLVIMENTO DA PLATAFORMA	31
3.1	HARDWARE	31
3.1.1	Módulos Comerciais	31
3.1.1.1	<i>Módulo Bluetooth HC05</i>	31
3.1.1.2	<i>Módulo de sensores GY87</i>	31
3.1.2	Motor 28BYJ-48	31
3.1.2.1	<i>Driver ULN2003</i>	31
3.1.3	Placa de Circuito Impresso	32
3.1.3.1	<i>Diagrama Elétrico</i>	32
3.1.3.2	<i>Layout</i>	32
3.1.3.3	<i>Manufatura</i>	32
3.2	PROJETO ESTRUTURAL	32
3.2.1	Requisitos de Projeto	32
3.2.2	Peças	32
3.2.2.1	<i>Frame Principal</i>	32
3.2.2.2	<i>Engrenagens</i>	32
3.2.2.3	<i>Barra de Elevação</i>	32
3.2.3	Manufatura	33
3.2.4	Montagem	33
4	DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO	34
4.1	NECESSIDADES DOS USUÁRIOS	34
4.2	PROTOTIPAÇÃO DAS TELAS	34
4.3	IMPLEMENTAÇÃO DO APLICATIVO ANDROID	34
4.3.1	Requisitos de Sistema	34
4.3.2	Arquitetura do Funcionamento	34
4.3.2.1	<i>Activity</i>	34
4.3.2.2	<i>Room Database</i>	34
4.3.2.3	<i>Fragments</i>	35
4.3.2.3.1	<i>View Model</i>	35
4.3.2.4	<i>Protocolo de Comunicação Bluetooth</i>	35

5	RESULTADOS OBTIDOS.....	36
5.1	ANÁLISE DE VIBRAÇÃO	36
5.1.1	Método	36
5.1.2	Discussão	36
5.2	CUSTO TOTAL DO SISTEMA	36
5.3	ANÁLISE DE DESEMPENHO DO APLICATIVO	36
5.4	FOTOGRAFIAS	36
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	37
6.1	PROJETO <i>OPEN-SOURCE</i>	37
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38
	APÊNDICE A – DESENHO TÉCNICO DAS PEÇAS	41
	APÊNDICE B – DIAGRAMA DE MONTAGEM	43

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, Rafael, 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 (CABAU JÚNIOR, S. D., 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, N. S., 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, N. S., 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 (CABAU JÚNIOR, S. D., 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) (CABAU JÚNIOR, S. D., 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, SkyGuiderTM Pro, PolarisTM, 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: (iOptron Corporation, c2021)

2 DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

2.1 ASTROFOGRAFIA

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 de fotografia 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 de que essas imagens conseguem uma grande ampliação, foco e definição, devido aos grandes espelhos que compõem suas montagens. Porém, isso se torna um problema para a captura de imagens mais amplas e conseguir observar outros detalhes; 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 para a prática da observação celeste.

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 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 com uma densidade de

pixels por polegada (dpi) diversa entre os modelos, mas via de regra, 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 lente e podem funcionar bem de dia e de noite para capturar imagens da Via Láctea, galáxias e nebulosas. 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

Lentes são um equipamento acoplado no corpo das câmeras que é responsável por ordenar a luz que entra no sensor das câmeras. As lentes podem ser rígidas no corpo da câmera no caso de modelos semiprofissionais 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.

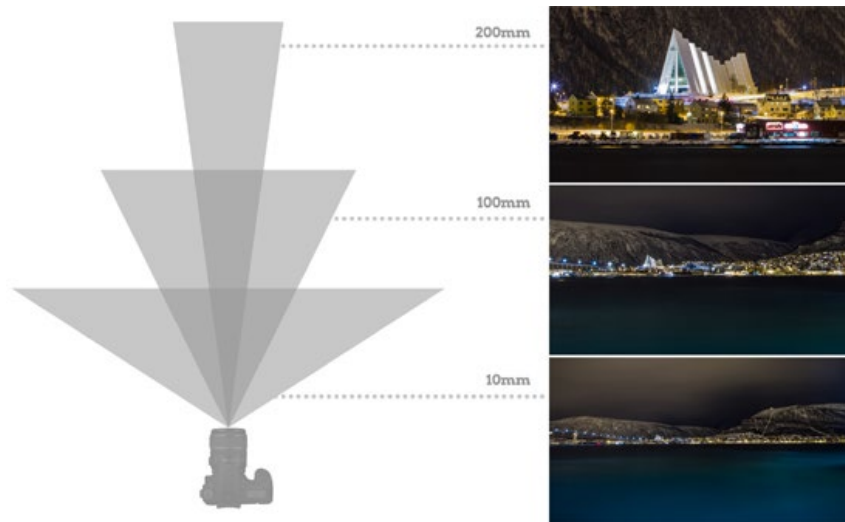
Esses modelos podem ser lentes fixas ou zoom. O primeiro é um modelo de lente que possui uma distância focal fixa, conseguindo ler apenas um ângulo de visão único. Já as lentes *zoom* permitem uma variação na distância focal o que acaba gerando o *zoom* óptico (REGINA, 2013).

2.1.1.2.1 Distância Focal

A distância focal de uma lente é um fator medido em milímetros e é o fator que determina seu ângulo de visão. Quanto maior ele for, mais fechado será o ângulo de visão, 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. (Figura 2.3)

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

2.1.2 Exposição

A exposição de uma imagem se refere a quantidade de luz captada pelo sensor da câmera. Uma imagem muito clara é uma imagem superexposta, um caso onde o sensor recebeu muita luz; ao contrário, uma imagem subexposta é uma fotografia escura que recebeu pouca luz. Existem 3 parâmetros configuráveis em uma câmera profissional que são determinantes para a quantidade de luz a ser captada pelo sensor e também para a qualidade da foto final (VIERO, E., 2018). De forma geral, conseguir a exposição ideal é o

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



Fonte: Autor

principal desafio da astrofotografia de céu profundo (ANDOLFATO, 2017).

2.1.2.1 Velocidade

Para captar uma imagem, a câmera possui um dispositivo que permite a entrada de luz no sensor interno que capta a imagem. O tempo que a câmera permite a passagem de luz determina a velocidade do disparador dela. 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, uma paisagem, ao contrário, pode ser capturada durante mais de um segundo se a câmera estiver imóvel em um tripé.

Figura 2.4 – Impacto da Velocidade de captura para objetos em movimento



Fonte: Adaptado de (VIERO, E., 2018)

2.1.2.2 Abertura

Esse é o diâmetro da abertura 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,

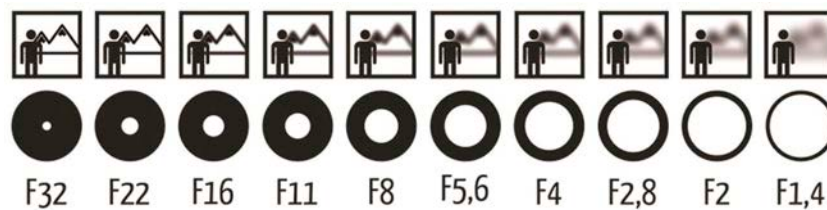
indica um alto valor de abertura e significa dizer que a câmera irá receber mais luz (LOCHUN et al., 2015). A abertura também impacta na profundidade de campo (Figura 2.6), o que significa que um valor baixo também apresenta o ônus da dificuldade de focar em objetos.

Figura 2.5 – Variações de Abertura de uma lente



Fonte: Adaptado de (VIERO, E., 2018)

Figura 2.6 – Impacto da abertura na profundidade de campo

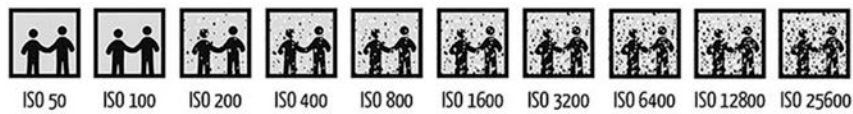


Fonte: Adaptado de (VIERO, E., 2018)

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 como 3200 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 saturação das imagens, o que também pode levar a posterização, implicando no 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, E., 2018)

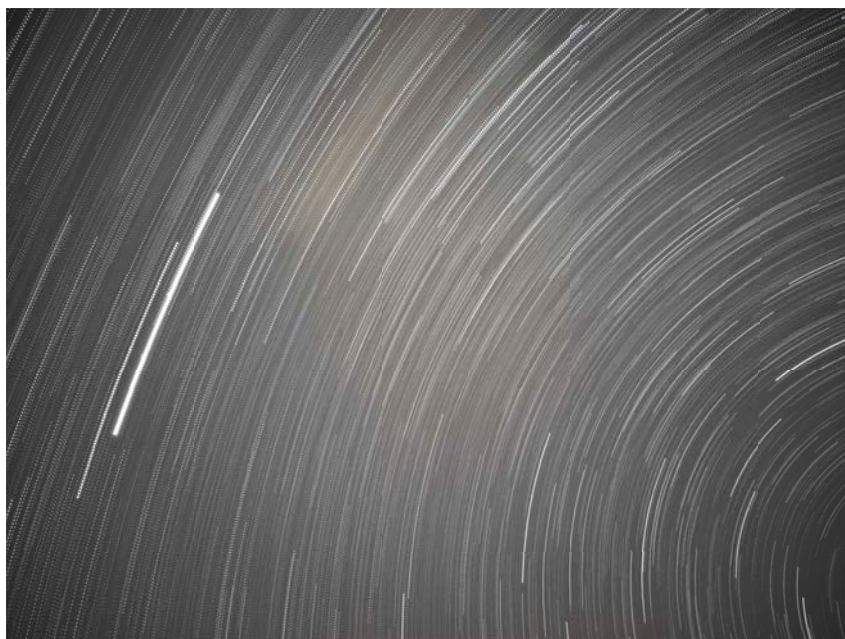
2.1.3 Formatos de Arquivos

As câmeras profissionais possibilitam salvar as imagens em diferentes formatos de arquivos, que inclui formato RAW, JPG e Ambos os formatos. 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 pura do sensor, sem nenhum tipo de compactação e acabam sendo muito pesados porém permitem uma pós produção mais precisa que acaba finalizando 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* (Rastro de Estrelas)



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 no céu.

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 nomeada F , uma fórmula capaz de aproximar o limite do tempo de exposição é dada em 2.1 (COVINGTON, 2006). Existem ainda outras fórmulas que buscam aproximar o tempo máximo de exposição.

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

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, S., 2021).

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

2.1.4.1.2 Regra NPF

A regra NPF é uma evolução da fórmula dada em 2.1, que considera múltiplos fatores para recalcular a constante do numerador. (COX, S., 2021). O tempo de exposição máximo é calculado pela equação 2.3 com base na abertura da lente (N), a distância focal (F), o tamanho em micrometros do sensor da câmera (p), a 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 $k=3$ para obter imagens mais nítidas e contrastantes (COX, S., 2021).

$$t_{max}(s) = k \cdot \frac{16.9N + 0.1F + 13.7p}{F \cos(\sigma)} \quad (2.3)$$

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 meio de 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 tipo de 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 mais 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 um maior tempo exposição (DEEP SKY STACKER, c2021a). As figuras 2.9a e 2.9b comparam o resultado final de uma imagem que passou pelo processo de empilhamento.

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 numa quantidade razoável e posteriormente adicionadas no software durante o processo de empilhamento (DEEP SKY STACKER, c2021a). O resultado final entregue pelo software será uma imagem final calibrada como demonstra o diagrama da Figura 2.10.

Figura 2.9 – Efeito da combinação de imagens.

(a) Imagem original

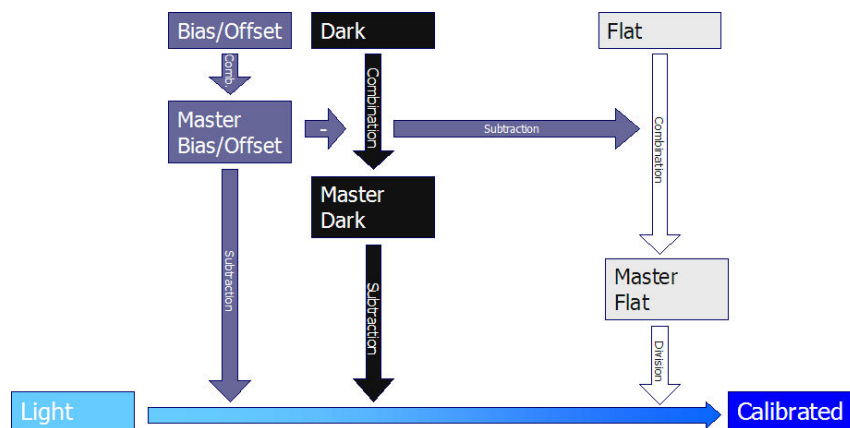


(b) Empilhamento de 32 imagens



Fonte: (DEEP SKY STACKER, c2021a)

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 o sinal de ruído das fotografias escuras, dadas as condições dos *Light Frames*. São necessárias de 10 a 20 fotos com a lente tampada para criar a calibração, as quais devem necessariamente ser fotografadas com ISO, velocidade e temperatura iguais. (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 dos sensores que captam as imagens. Essas fotografias devem ser capturadas na maior velocidade de obturador possível, com lente tampada, na mesma configuração de ISO dos *Light Frames*. São necessárias cerca de 10 a 20 fotos para que a calibração funcione adequadamente. A temperatura da câmera não é um fator relevante (DEEP SKY STACKER, c2021b).

2.1.5.1.3 *Flat Frames*

Flat Frames são imagens de calibração capturadas com mesmo ISO das fotos originais colocando uma folha branca na frente do sensor, incidindo luz na folha. Elas tem o objetivo de indicar a vinheta da lente (escurecimento nas bordas da imagem) natural da lente, além da distribuição não uniforme de luz provocada por pó ou riscos na lente. Novamente são necessários de 10 a 20 *frames* (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 de nível das fotos. Esse método compensa o ruído, mas como os tempos de exposições são curtos, não é possível obter cor, brilho e contrastes nos objetos celestes. Isso só é possível capturar aumentando o tempo de exposição.

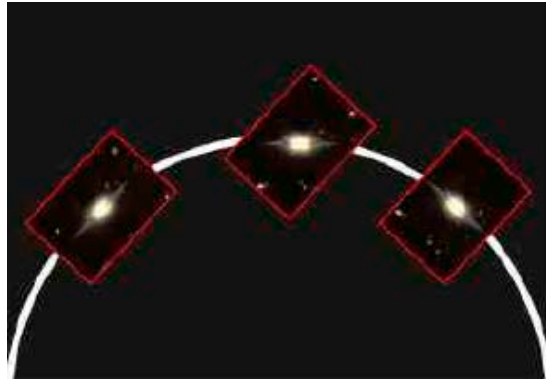
Então, para realizar astrofotografias de longa exposição, é necessário o uso de um rastreador físico que movimenta a câmera no sentido de rotação aparente das estrelas no céu, garantindo que não ocorrerá o efeito de *Star Trail*. Existem dois métodos de rastreamento: Alt-Azimutal e Equatorial (LOCHUN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

2.1.6.1 *Alt-Azimutal*

Uma montagem Alt-Azimutal funciona movendo a 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 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

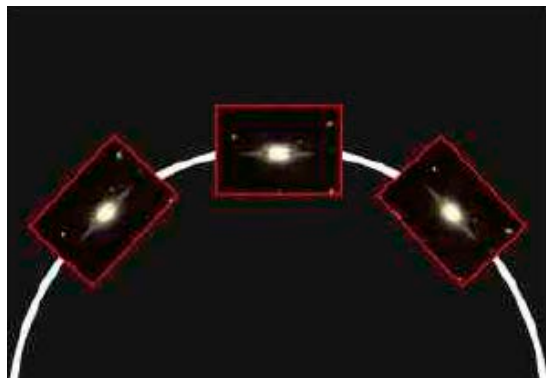


Fonte: Adaptado de (LOCHUN et al., 2015)

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

2.2.1 Métodos de Alinhamento Polar

2.2.1.1 *Ajuste de Azimute*

2.2.1.1.1 Localização da Estrela Polar

Uso de lunetas para alinhamento

2.2.1.1.2 Alinhamento com o Polo Norte

Declinação Magnética

2.2.1.2 *Ajuste de Elevação*

2.2.1.3 *Método Drift*

2.2.2 Soluções Comerciais Existentes

Existem inúmeras soluções comerciais para o problema proposto, porém todos eles usam uma luneta ou *laser* como método de alinhamento polar. Isso só é possível no hemisfério norte devido a presença da estrela polar. Existem produtos com diferentes especificações e orçamentos. A Tabela 2.1 ilustra os principais equipamentos, comparando suas funcionalidades.

Contudo, na realidade brasileira, o preço mostrado passaria ainda por impostos, tornando a compra mais inviável. O Nyx Tracker (Figura 2.13) é o sistema mais acessível, mas com alinhamento difícil no hemisfério sul.

Tabela 2.1 – 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, M., c2021)

Figura 2.13 – Nyx Tracker



Fonte: (EGAN, M., c2021)

2.3 OBJETIVOS

Pelo *benchmark* exposto, fixou-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, J., 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, A., 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 conternados (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 *design* similar. Exemplo disso são as telas dos aplicativos do Google Docs: todos possuem o mesmo extilo 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 extilo com os demais. Eles podem ser mais preenchidos, mais *clean*, mais neturos ou mais suaves. O que importa nesse caso, é que sejam todos padronizados (HARLEY, A., 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 (BUDIU, R., 2020).

2.7.1.7 Torne o sistema flexível e eficiente

Atalhos, personalização e customização. Com esses 3 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, P., 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, J., 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, P., 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 meio de 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, A., 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 dispositivos *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*. A linguagem 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, M., 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 *design* se inspiram no mundo real, facilitando a comunicação com o usuário (MATERIAL FOUNDATION, 2021).

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.

BUDI, 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/>>.

CABAU JÚNIOR, S. D. **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>>.

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

COX, S. **500 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>>.

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>>.

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

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

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

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 Worl**. 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.

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/>>.

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>>.

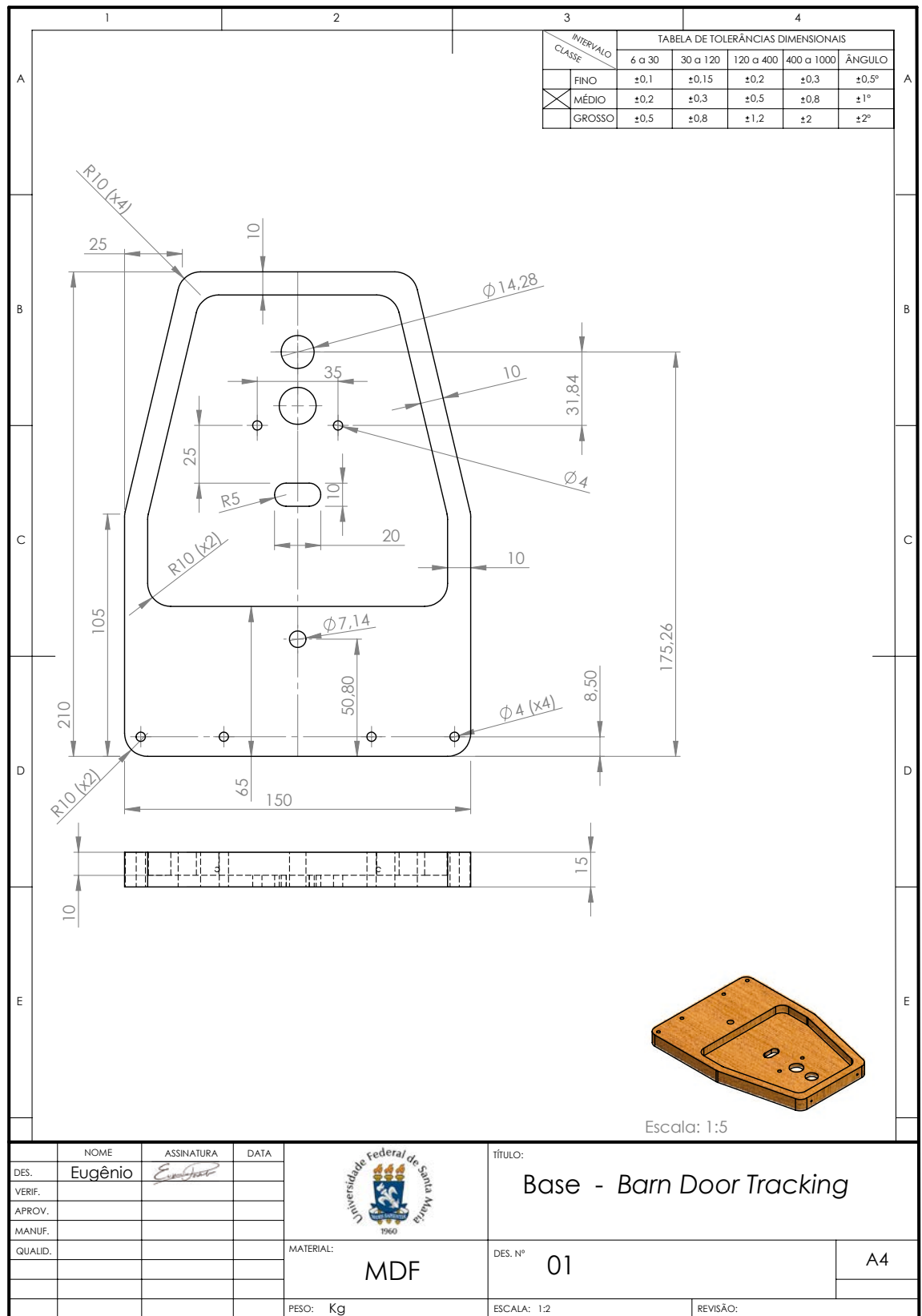
REGINA, C. **Aprenda a Fotografar em 7 Lições**. [S.l.], 2013. 18 p.

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-importncia-para-a-astronomia.pdf>>.

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