## Universidade de São Paulo Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas Departamento de Astronomia

Ubiratan de Campos

# Ensino de Astronomia: Dispositivo de Apontamento e Acompanhamento Automático de Objetos Celestes

São Paulo 2019 Ubiratan de Campos

## Ensino de Astronomia: Dispositivo de Apontamento e Acompanhamento Automático de Objetos Celestes

Versão Corrigida. O original encontra-se disponível na Unidade.

Dissertação apresentada ao Departamento Astronomia do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de Concentração: Ensino de Astronomia

Orientador: Prof. Dr. Ramachrisna Teixeira

São Paulo

Autoriz	zo a reprodução	e divulgação tot	al ou parcia	l deste tra	ıbalho, por	qualquer	meio
convencional o	ou eletrônico, pai	ra fins de estudo	e pesquisa,	desde que	e citada a f	onte.	

## Catalogação na publicação Serviço de Biblioteca e Documentação

Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo

#### Campos, Ubiratan de

Ensino de Astronomia: Dispositivo de Apontamento e Acompanhamento Automático de Objetos Celestes / Ubiratan de Campos; orientador Ramachrisna Teixeira. -- São Paulo, 2019. 99 p.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Ensino de Astronomia) -· Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, 2019.

1. Ensino de Astronomia. 2. Observação. 3. Movimento diário. 4. Ensino de Astronomia. 5. Coordenadas celestes. I. Teixeira, Ramachrisna, orient. II. Título.

Nome: Ubiratan de Campos	
Título: Ensino de Astronomia: Dispositivo de	Apontamento e Acompanhamento de Objetos
Celestes.	
	Dissertação apresentada ao Departamento de Astronomia do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências.
Aprovado em:/	
BANCA EX.	AMINADORA
Prof. Dr	
Instituição:	
Julgamento:	
Prof. Dr	
Instituição:	
Julgamento:	
Prof. Dr	
Instituição:	
Julgamento:	

"Dedico este trabalho à minha querida mãe (in memoriam), meu querido pai (in memoriam) e a minha querida filha."

#### **AGRADECIMENTOS**

Agradeço todas as pessoas que de alguma forma contribuíram na minha jornada, mas principalmente:

Ao meu Orientador pela paciência e incentivo;

Ao Carlos Eduardo Mariano do Polo Astronômico de Amparo, pelas sugestões de montagem;

Ao Adilson Dias pelas dicas de eletrônica e mecânica;

Aos colegas do trabalho, que me ajudaram muito com conselhos e sugestões;

Aos professores, que dedicam sua vida na missão de ensinar;

As pessoas maravilhosas que me ajudaram a vencer essa jornada.

"And I believe it is also the fault of the educational system. We do not teach how to think. This is a very serious failure that may even, in a world rigged with 60,000 nuclear weapons, compromise the human future" (SAGAN, 1987).

#### **RESUMO**

CAMPOS, Ubiratan de. **Ensino de Astronomia: Dispositivo de Apontamento e Acompanhamento Automático de Objetos Celestes.** 2019. 99 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Astronomia) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

O processo de ensino-aprendizagem tem se tornado uma tarefa complicada para as escolas já que diversos "Provedores de Informação" (Youtube, FaceBook e outras Redes Sociais) têm concorrido significativamente para disseminar informação, muitas vezes de forma sensacionalista e/ou errônea. Por outro lado, cabe aos agentes escolares elaborarem estratégias que promovam um ambiente mais desafiador e criativo capaz de conectar os alunos de forma mais atraente e motivadora aos conhecimentos oferecidos. Nesse contexto surge a ideia de desenvolver um dispositivo automatizado de baixo custo, que auxilie o professor de Física no desenvolvimento de temas de física experimental, de observações do céu, de conceitos de Astronomia, História, Geografia, Filosofia, Mecânica, Eletrônica e Programação. Concebemos um dispositivo de tal forma a permitir que um telescópio ou uma mira laser a ele acoplado seja apontado automaticamente para um alvo previamente selecionado no planetário virtual *Stellarium*. Dessa forma, qualquer pessoa, mesmo sem conhecimentos prévios, poderá encontrar e observar objetos de seu interesse no céu. Permite também, compensar o movimento de rotação da Terra de maneira que o alvo permaneça no campo do telescópio durante o processo observacional. Como uma das premissas desse desenvolvimento é o baixo custo, a parte eletrônica é composta de hardware simples, barato e de fácil aquisição, como a placa RaspberryPi (centro de controle de todo o sistema), a bússola eletrônica, motores de passo e seus *drivers*. Todo o algoritmo foi desenvolvido em aplicativos de código aberto<sup>1</sup>, como a linguagem de programação Python, o Sistema Operacional Raspbian e o planetário virtual Stellarium. Para desenvolver o dispositivo, usamos a montagem altazimutal. Essa decisão foi tomada para facilitar a compreensão do algoritmo por professores que optarem em usar e/ou aprimorar o sistema, já que o plano horizontal nos parece mais familiar e mais intuitivo para esse público.

Palavras-chave: Astronomia. Observação. Movimento diário. *Stellarium*. Coordenadas celestes. Ensino de Astronomia.

<sup>1</sup> Um aplicativo de código aberto ou *opensource*, tem seu código-fonte aberto, dessa forma qualquer usuário pode verificar suas funcionalidades internas, e até mudá-las se for necessário.

#### **ABSTRACT**

CAMPOS, Ubiratan de. **Astronomy Teaching: Automatic Pointing and Tracking Device for Celestial Objects.** 2019. 99 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Astronomia) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas , Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

The teaching-learning process has become a complicated task for schools, as several "Information Providers" (Youtube, FaceBook and other Social Networks) have been competing significantly to disseminate information, usually in a sensational or erroneous way. On the other hand, it is up to the school agents to devise strategies that promote a more challenging and creative environment capable of connecting students in a more attractive and motivating way to the knowledge offered. In this context, the idea of developing a low-cost automated device that assists the physics teacher in the development of themes of experimental physics arises, as well as observations of the sky, concepts of Astronomy, History, Geography, Philosophy, Mechanics, Electronics and Programming. The device is designed to allow a telescope attached to it to be automatically aimed at a previously selected target in the Stellarium virtual planetarium. Considering this, anyone without even prior knowledge can find and observe objects in the sky. It also allows tracking the earth's rotation movement so that the target remains in the telescope's field during the observational process. As one of the premises of this development is the low cost, the electronics are made up of simple, inexpensive and easily purchased hardware such as the RaspberryPi (whole system control center) card, the electronic compass, stepper motors and their drivers. The entire algorithm was developed in open source applications, such as Python, the Raspbian Operating System, and the Stellarium virtual planetarium. In order to develop the device we use the altazimuth mount. This decision was made to facilitate the understanding of the algorithm by teachers who choose to use and / or improve the system, since the horizontal plane seems more familiar to this audience.

**Keywords**: Astronomy. Observation . Daily Movement. Stellarium. Celestial Coordinates. Astronomy Teaching.

#### LISTA DE FIGURAS

Figura 1	-Montagem altazimutal	31
Figura 2	-Sistema de acompanhamento altazimutal fabricado pela ORION	32
Figura 3	-Desenho em 3 D do dispositivo mecânico	34
Figura 4	-Motor de passo unipolar 28BYJ-48	35
Figura 5	-Redutor interno do motor 28BYJ-48	36
Figura 6	-Diagrama de bloco do circuito de controle do motor de passo	38
Figura 7	-Pinagem da GPIO da Raspberry Pi	40
Figura 8	-Interface do <i>Script</i> de acertar a data e hora.	41
Figura 9	-Diagrama da construção do sensor magnético	43
Figura 10	-Marcação no corpo do sensor magnético	44
Figura 11	-Posição do sensor magnético no dispositivo	44
Figura 12	-Movimento realizado durante a calibração do sensor	45
Figura 13	-Dispersão das medições do sensor magnético na trajetória de 360º (Valores	46
	em contagem)	
Figura 14	-Medições realizadas após correção. (Valores em contagem)	47
Figura 15	-Esquema de ligação da Placa Controladora do dispositivo	48
Figura 16	-Placa Controladora do dispositivo	49
Figura 17	-Diagrama da estrutura interna do algoritmo	50
Figura 18	-Tabela que relaciona valores encontrados pelo sensor magnético com o	55
	Ponto cardeal	
Figura 19	-Dispersão entre o ângulo do vetor resultante no plano XY em relação	57
	ângulo do vetor resultante no plano XZ, medidos ao longo de uma trajetória	
	circular de 360°	
Figura 20	-Interface principal do dispositivo	59
Figura 21		60
J	-Janela usada para encontrar a origem das coordenadas horizontais	61
•	-Interface <i>Localiza Objeto</i> , utilizada no apontamento	64
Figura 24	-Alvo utilizado para determinar a precisão da origem das coordenadas horizontais	67

#### LISTA DE TABELAS

Tabela 1	_	Visão dos Professores com relação aos objetos do céu	20
Tabela 2	_	Intensidade das escalas <i>Likert</i> de interesse de Astronomia.	21
Tabela 3	_	Lista de Artigos publicados por tema; pesquisa realizada em	
		25/03/2019	23
Tabela 4	_	Valor do ângulo de desnivelamento usado nas medições	58
Tabela 5	_	Valores dos Dados estatísticos da coleta de dados	69
Tabela 6	_	Valores das probabilidades do primeiro apontamento ocorrer na região	
		do campo de visão de uma luneta hipotética, nas duas coletas de dados	71
Tabela 7	_	Valores das probabilidades dos demais apontamentos ocorrerem na	
		região do campo de visão de uma luneta, nas duas coletas de dados	71

#### SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	ASTRONOMIA NO ENSINO	18
2.1	DEFICIÊNCIA NA FORMAÇÃO DOS PROFESSORES	19
2.2	INTERESSE DOS ALUNOS EM ASSUNTOS RELACIONADOS À	
	ASTRONOMIA	21
2.3	FALTA DE RECURSOS OBSERVACIONAIS DE ASTRONOMIA BÁSICA	22
2.3.1	Desenvolvimento de Modelos Experimentais	23
2.3.2	Conceitos de Astronomia para modelos experimentais	24
2.3.2.1	Esfera Celeste	25
2.3.2.2	Norte geográfico e norte magnético	26
2.3.2.3	Coordenadas Celestes	27
2.3.2.3.1	Sistema de Coordenadas Horizontal	28
2.3.2.3.2	Sistema de Coordenada Equatorial	28
3	DISPOSITIVO DE APONTAMENTO E ACOMPANHAMENTO	
	AUTOMÁTICO DE OBJETOS CELESTES	30
3.1	ESCOLHA DA MONTAGEM	31
3.2	DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO	32
3.2.1	A mecânica do protótipo	33
3.2.1.1	Resposta mecânica dos motores	34
3.2.1.2	Engrenagens	36
3.2.1.3	Demais peças do dispositivo	37
3.2.2	Eletrônicos	37
3.2.2.1	Controle eletrônico do motor	38
3.2.2.2	Raspberry Pi	39
3.2.2.2.1	Ajuste da data e hora do sistema	41
3.2.2.3	Sensor Magnético – Magnetômetro QMC5883L	
3.2.2.3.1	Princípio de funcionamento do sensor magnético QM58831	42
3.2.2.3.2	Determinação da direção do campo magnético da Terra	43
3.2.2.3.3	Calibração do sensor magnético	45
3.2.3	Placa Controladora do dispositivo	17

3.3	ALGORITMO	49
3.3.1	Base para elaboração do algoritmo	49
3.3.2	Stellarium	50
3.3.2.1	Plugin Remote Control	52
3.3.2.1.1	API do Plugin Remote Control	52
3.3.3	Módulo de controle do sensor magnético	53
3.3.3.1	Determinar a origem das coordenadas horizontais	53
3.3.3.2	Utilizando a origem das coordenadas horizontais	55
3.3.3.2.1	Plano XY (Azimute)	55
3.3.3.2.2	Plano XZ (Nível)	56
3.3.3.2.3	Teste da hipótese	56
3.3.3.2.4	Determinação da dispersão entre o ângulo do vetor resultante do campo	
	magnético e os planos XY e XZ	57
3.3.3.2.5	Determinando o desnivelamento	58
3.3.4	Interface da Janela Principal	59
3.3.5	Interface de controle dos motores de passo	60
3.3.6	Interface utilizada para encontrar a origem das coordenadas horizontais	61
	Interface utilizada para encontrar a origem das coordenadas horizontais  Utilizando as informações do <i>Stellarium</i> no algoritmo	61 62
3.3.7	•	
3.3.7 3.3.8	Utilizando as informações do <i>Stellarium</i> no algoritmo	62
3.3.7 3.3.8 4	Utilizando as informações do Stellarium no algoritmo         Interface Localiza Objeto	62 63
3.3.7 3.3.8 4 4.1	Utilizando as informações do Stellarium no algoritmo.  Interface Localiza Objeto.  CALIBRAÇÃO E UTILIZAÇÃO DO DISPOSITIVO	62 63 66
3.3.7 3.3.8 4 4.1	Utilizando as informações do Stellarium no algoritmo.  Interface Localiza Objeto.  CALIBRAÇÃO E UTILIZAÇÃO DO DISPOSITIVO.  MÉTODO DE VALIDAÇÃO DO DISPOSITIVO.  PRECISÃO DO APONTAMENTO NA DIREÇÃO DO NORTE GEOGRÁFICO.	62 63 66
3.3.7 3.3.8 4 4.1 4.2	Utilizando as informações do Stellarium no algoritmo.  Interface Localiza Objeto.  CALIBRAÇÃO E UTILIZAÇÃO DO DISPOSITIVO.  MÉTODO DE VALIDAÇÃO DO DISPOSITIVO.  PRECISÃO DO APONTAMENTO NA DIREÇÃO DO NORTE	62 63 66 66
3.3.7 3.3.8 4 4.1 4.2 4.2.1	Utilizando as informações do Stellarium no algoritmo.  Interface Localiza Objeto.  CALIBRAÇÃO E UTILIZAÇÃO DO DISPOSITIVO.  MÉTODO DE VALIDAÇÃO DO DISPOSITIVO.  PRECISÃO DO APONTAMENTO NA DIREÇÃO DO NORTE GEOGRÁFICO.	62 63 66 66
3.3.7 3.3.8 4 4.1 4.2 4.2.1 4.2.2	Utilizando as informações do Stellarium no algoritmo.  Interface Localiza Objeto.  CALIBRAÇÃO E UTILIZAÇÃO DO DISPOSITIVO.  MÉTODO DE VALIDAÇÃO DO DISPOSITIVO.  PRECISÃO DO APONTAMENTO NA DIREÇÃO DO NORTE GEOGRÁFICO.  Interpretando as medições	62 63 66 66 66
3.3.7 3.3.8 4 4.1 4.2 4.2.1 4.2.2 4.3	Utilizando as informações do Stellarium no algoritmo	62 63 66 66 68 68
3.3.7 3.3.8 4 4.1 4.2 4.2.1 4.2.2 4.3	Utilizando as informações do Stellarium no algoritmo  Interface Localiza Objeto	62 63 66 66 68 68
3.3.6 3.3.7 3.3.8 4 4.1 4.2 4.2.1 4.2.2 4.3.1 4.3.1	Utilizando as informações do Stellarium no algoritmo.  Interface Localiza Objeto.  CALIBRAÇÃO E UTILIZAÇÃO DO DISPOSITIVO.  MÉTODO DE VALIDAÇÃO DO DISPOSITIVO.  PRECISÃO DO APONTAMENTO NA DIREÇÃO DO NORTE GEOGRÁFICO.  Interpretando as medições  Resultados obtidos na coleta de dados  COLETA DE DADOS REALIZADOS EM CAMPO.  Método utilizado para estimar a distância angular entre o apontamento	62 63 66 66 68 68 69

REFERÊNCIAS	74
APÊNDICES	79

#### 1 INTRODUÇÃO

A partir da democratização dos diversos meios de comunicação a informação científica e tecnológica deixou de ser exclusividade das grandes corporações e passou a circular livremente em diversos nichos da sociedade. Esta democratização também permitiu que muitas tecnologias se tornassem acessíveis, revolucionando a forma de aprender e fazer, estimulando a criatividade e o empreendedorismo inatos das pessoas. Somos privilegiados em viver em um tempo em que a ciência e a tecnologia estão sendo aplicadas para possibilitar, por exemplo, conectar o mundo real ao mundo virtual.

Podemos citar como exemplo dessa conexão o fato de que atualmente temos sondas no planeta Marte estudando sua sismologia (GREICIUS, 2015), temos telescópios espaciais que obtêm imagens do espaço profundo (WILLIAMS; HUBBLE DEEP FIELD TEAM, 1996), e um novo conceito de carros autônomos (OHNSMAN, 2017). Essas tecnologias inovadoras têm em comum três componentes: sensores, algoritmos e motores.

Apesar das revoluções tecnológicas apresentadas acima, ainda há, na comunidade escolar uma certa resistência em se adotar novos recursos. Uma das principais razões dessa resistência decorre da percepção de que a tecnologia envolve altos investimentos financeiros e/ou pessoais, e, portanto, seria intangível ao ambiente escolar. Isso acarreta a adoção, pelo professor, de metodologias convencionais.

É nesse cenário que surge a ideia desse trabalho: a introdução da tecnologia de baixo custo em sala de aula, abordando temas interessantes, motivadores e multidisciplinares, como é o estudo da Astronomia (PRADO; FARHA; LARANJEIRA, 1997).

Embora tentados a construir um pequeno telescópio para ser acoplado a um motor também construído no âmbito desse trabalho, fizemos a opção de substituir o telescópio pela interface do motor com o *Stellarium*<sup>2</sup>. Essa troca pareceu nos conduzir a um trabalho mais interessante e motivador. Mais interessante, pois apontar um telescópio não é nada simples, sobretudo para quem não tem experiência. Mais motivador, pois um dispositivo de apontamento e acompanhamento não é tão comum a despeito de existirem no comércio.

Um primeiro passo no desenvolvimento do projeto foi decidir entre a utilização de

<sup>2</sup> Aplicativo de código aberto, que simula um planetário virtual, com um extenso banco de dados de objetos celestes

uma montagem equatorial ou altazimutal. No final, ficamos com a segunda opção por parecer mais familiar para o público-alvo<sup>3</sup> desse trabalho.

Um segundo passo foi a integração do sistema ao *Stellarium* utilizando o *plugin*<sup>4</sup> *Remote Control* que habilita o acesso remoto a esse aplicativo.

Em seguida escolhemos um motor de passo já fornecido com *drive*, sensor magnético (bússola eletrônica), placa *Raspberry Pi* modelo 3 e confeccionamos as peças mecânicas em impressora 3D com exceção dos rolamentos e do eixo que controla o movimento vertical da base do dispositivo.

Com o protótipo montado, iniciamos a pesquisa e o desenvolvimento dos algoritmos. Todo o código foi escrito em *Python* e centralizamos todos os módulos em uma pasta, para possibilitar a interação entre eles. O desenvolvimento do algoritmo obedeceu à seguinte ordem:

- a) Controle dos motores;
- b) Posicionamento da base do dispositivo na origem das coordenadas horizontais<sup>5</sup>;
- c) Obter a posição do objeto no céu e deslocar a base do dispositivo para essa posição.
- d) Acompanhar o objeto selecionado por algum tempo.

A última etapa da pesquisa foi elaborar um método que possibilitasse validar o sistema e consequentemente definir a precisão do apontamento. A validação do sistema que consiste em verificar se os botões das janelas do aplicativo estão funcionando corretamente. A precisão do apontamento foi dividida em três análises bem definidas, que verificarão as margens de erro do apontamento final:

- a) A precisão do primeiro apontamento, quando a posição de referência é determinada pelo sensor magnético;
- b) os demais apontamentos, quando a posição de referência passa a ser o objeto anterior;

<sup>3</sup> Nesse contexto publico alvo seria os professores e os alunos.

<sup>4</sup> É um complemento adicionado ao programa principal, melhorando algumas funcionalidades.

<sup>5</sup> A origem das coordenadas horizontais, é a posição onde a base do dispositivo está nivelada e direcionada para o ponto cardeal norte.

c) a precisão do acompanhamento em um determinado intervalo de tempo.

Foram realizadas duas coletas de dados e os resultados das margens de erro de cada uma dessas etapas comparados utilizando-se ferramentas estatísticas.

O texto a seguir apresenta ainda 4 capítulos além dessa breve introdução.

No Capítulo 2, Astronomia no Ensino, discorremos sobre a presença do Ensino de Astronomia na Educação Básica no Brasil, realizamos uma pesquisa demonstrando um panorama das publicações na área de Educação de Astronomia e sugerimos alguns conceitos de Astronomia a serem utilizados junto com o dispositivo proposto nesse trabalho.

No Capítulo 3, Dispositivo de Apontamento e Acompanhamento Automático de Objetos Celestes, apresentamos o contexto, os aspectos e as várias etapas do trabalho aqui desenvolvido.

No Capítulo 4, Calibração e Utilização do Dispositivo, discutimos todos os métodos utilizados para validar as funcionalidades do protótipo construído. Destacamos o método de calibração do sensor magnético, e o método estatístico para determinar a precisão do apontamento e acompanhamento do dispositivo.

No último Capítulo, Conclusão, analisamos os resultados alcançados, descrevemos algumas inovações e indicamos possíveis melhorias do sistema que poderão ser implementadas em trabalhos futuros.

#### 2 ASTRONOMIA NO ENSINO

Há muito tempo a humanidade usa a Astronomia para compreender a natureza. Foi observando o céu que elaboramos, por exemplo, os primeiros calendários baseados em fenômenos celestes cíclicos. Com o aprimoramento dos calendários, obtivemos uma melhor compreensão dos ciclos da natureza, conhecimento essencial para que o Homem desenvolvesse a Agricultura.

Na obra *O Fascínio do Universo* os autores Damineli e Steiner (2010) comentam a influência da Astronomia na cultura humana. Citam como exemplo as descobertas de Galileu Galilei, que com sua luneta demonstrou que o Universo real não era como imaginávamos, revolucionando alguns paradigmas, principalmente aqueles ligados a algumas religiões. Atualmente, a Astronomia segue como uma das ciências mais disruptivas, impulsionando o desenvolvimento cultural e tecnológico da humanidade.

Entretanto, mesmo a Astronomia sendo tão relevante, é um campo da ciência pouco explorado no ensino básico brasileiro (CARNEIRO; LONGHINI, 2015), o que torna necessário investigar as causas da baixa penetração que a Astronomia tem em nosso ensino.

Alguns autores indicam em seus trabalhos as possíveis causas, podendo-se destacar três, que serão exploradas mais detalhadamente neste capítulo:

- a) A deficiência na formação dos professores (COSTA; EUZÉBIO; DAMASIO, 2016);
- b) Interesse dos alunos em assuntos relacionados a Astronomia (PEIXOTO; KLEINKE, 2016);
- c) Falta de recursos observacionais para Astronomia Básica (LANGHI; NARDI, 2010);

Segundo a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), a Astronomia é um dos temas norteadores do ensino de ciências nas séries iniciais do ensino fundamental. Esse documento sugere que a introdução à Astronomia pode fundamentar os avanços tecnológicos alcançados, inserindo o aluno em um ambiente investigativo e proporcionando sentido a alguns fenômenos observados. Temas simples e de fácil percepção, como a transição do dia para a

noite, devem ser explorados, criando um ambiente onde a curiosidade e o questionamento direcionam as discussões em sala de aula (PRADO; FARHA; LARANJEIRA, 1997).

Obras como a de Copérnico e Galileu, que baseiam os estudos de Astronomia no ensino básico, devem ser utilizadas pelo professor de forma mais completa buscando estabelecer uma relação entre os fatos históricos e a revolução científica promovida por eles. Não devemos ser meros espectadores criando concepções baseadas na imaginação, mas sim investigar as ocorrências, formular hipóteses e determinar quais as causas de tais fenômenos (PRADO; FARHA; LARANJEIRA, 1997).

#### 2.1 DEFICIÊNCIA NA FORMAÇÃO DOS PROFESSORES

O Novo Ensino Médio (NEM) estabelece como documento estruturante para o ensino a Base Nacional Curricular Comum (BNCC), que traz uma nova orientação aos professores, na qual deve-se propor menos aulas expositivas e mais projetos, cursos, oficinas e atividades práticas significativas (BRASIL, 2018). Essas novas orientações permitem criar uma cultura para o ensino de Astronomia, no qual as atividades experimentais deixam de ser coadjuvantes no processo ensino-aprendizagem, para se tornarem ferramentas fundamentais na exploração desse conhecimento. Langhi e Nardi (2010) justificam essa abordagem:

"A Astronomia possui um grau altamente motivador e **popularizável**, uma vez que o seu laboratório é natural e o céu está `a disposição de todos, favorecendo a cultura científica" (LANGHI; NARDI, 2010, p. 8, grifo nosso).

Para que essa nova dinâmica de ensino se torne realidade, será necessário, não só preparar melhor os professores, mas também criar materiais didáticos que possibilitem essa nova forma de interação escolar.

Uma sugestão é dada por Langhi e Nardi (2010) em que as atividades de observação devem ser realizadas com o apoio de determinados grupos de educação informal, como associações de astrônomos amadores, que muitas vezes levam seus equipamentos para as escolas e realizam atividades práticas com alunos e professores.

O ato de observar o céu, com ou sem o auxílio de um telescópio, cria uma nova perspectiva para o aprendizado, pois é a partir dela que o aluno passa a se situar no espaço,

fato fundamental para a compreensão do conteúdo de Astronomia Básica (GONZATTI et al., 2013).

A pesquisa realizada por Leite e Hosoume (2007), com professores de ciências do Ensino Fundamental, aponta que a maioria dos participantes sentia-se incapaz de suprir as expectativas dos alunos quando o assunto tratado era Astronomia, e, para aqueles que tentavam discorrer sobre o tema, utilizavam o livro didático como referência. Os autores detalham mais alguns pontos importantes da pesquisa, entre eles:

- a) A maioria dos professores nunca teve contato com a Astronomia durante sua formação;
  - b) A maioria exercia a profissão há mais de 10 anos;
  - c) A maioria tinha formação em Biologia. Nenhum deles tinha formação em Física.

Nesse contexto Leite e Hosoume (2007) elaboram uma hipótese na qual a formação dos professores pode explicar a insegurança em se ensinar Astronomia, visto que na maior parte nunca teve uma disciplina específica em sua formação.

A pesquisa foi modelada de forma interativa na qual os professores usaram objetos para apresentar suas respostas. As constatações mais relevantes da pesquisa estão dispostas na Tabela 1. O universo amostral da pesquisa foi de 17 professores, o que pode não ser tão representativo quanto gostaríamos, mas que, de qualquer forma, é alarmante.

Tabela 1 – Visão dos Professores com relação aos objetos do céu

Tema Abordado	Visão	% de Professores
Forma da Terra	-Terra tem forma Plana	41%
Estrelas	-Encontramos no Sistema Solar	24%
Forma do Sol	-É plano	64%
Forma das Estrelas	-São planas	94%

Fonte: Elaborada pelo autor com base nos dados de Leite e Hosoume (2007).

"Verificamos que muitos dos elementos encontrados nas representações dos professores advêm de uma visão exclusivamente geocêntrica e muitas vezes associada apenas à percepção imediata dos fenômenos e dos elementos que compõem o Universo" (LEITE; HOSOUME, 2007, p. 65).

Mesmo sendo uma pequena amostra de profissionais, o resultado apresentado demonstra que muitos deles não estão preparados para ensinar Astronomia.

### 2.2 INTERESSE DOS ALUNOS EM ASSUNTOS RELACIONADOS À ASTRONOMIA.

Em Peixoto e Kleinke (2016), os autores apresentam uma pesquisa com o objetivo de esclarecer quais temas de Astronomia que os alunos acham realmente interessante. No trabalho também há comentários à literatura específica do Ensino de Astronomia, pois há um consenso inferindo que Astronomia é um tema muito interessante, no entanto não há investigação para determinar quais os temas de Astronomia que os alunos acham realmente interessante.

A pesquisa foi realizada com 80 alunos do ensino médio da rede pública do Estado de São Paulo, com idades variando entre 14 e 17 anos, todos participantes da Olimpíada Brasileira de Astronomia (OBA). Utilizou-se o método de Análise dos Componentes Principais, aplicando um questionário com 5 alternativas, escala *Likert* (CUNHA, 2007), em que o aluno aponta qual é o grau de seu interesse pelo tema. Os resultados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Intensidade da escala *Likert*, de interesse em Astronomia.

Fatores	Média
-Vida e Universo	4,4
-Fronteiras da Ciência	4,0
-Viagens Espaciais	3,8
-Escolar (Astronomia Básica)	3,5

Fonte: (PEIXOTO; KLEINKE, 2016, p. 30)

O resultado revela que os temas ligados à vida fora da Terra e às novas fronteiras da

ciência são os que mais estimulam a curiosidade dos alunos que participaram dessa pesquisa. Peixoto e Kleinke (2016) comentam o resultado da pesquisa:

"O fator escolar apresentou o menor interesse, entre "interesse médio" e "algum interesse". Porém, apesar de esse tema estar associado à Astronomia introdutória, a qual aparentemente é de menor interesse, foi o fator com o maior número de pessoas envolvidas. De certa forma, os estudantes reconhecem a Astronomia introdutória como menos interessante que a Astronomia interdisciplinar, contudo a Astronomia introdutória é muito mais conhecida, sendo o primeiro fator a surgir nas análises estatísticas" (PEIXOTO; KLEINKE, 2016, p. 31).

Analisando o resultado da pesquisa, podemos inferir que a Astronomia Introdutória, na qual se insere a observação do céu, é um tema de pouco interesse para os alunos do Ensino Médio, principalmente naqueles que de alguma forma tiveram contato com a Astronomia.

Com os resultados das duas pesquisas apresentadas, podemos sugerir que o ensino de Astronomia deve ser reformulado em todas as etapas do ensino formal. Se almejamos implementar um novo rumo para o ensino de Astronomia no Brasil devemos iniciar um processo pelo qual os agentes compartilhem informações e criem novos métodos para que alunos e professores se interessem mais pela Astronomia Básica.

Outro ponto importante é que, como educadores, não podemos desprezar os conhecimentos prévios dos alunos sobre Astronomia, contudo não devemos aceitar que algumas concepções alternativas confundam os alunos, descartando os conceitos científicos apresentados em sala de aula (SANZOVO; LABURÚ, 2016).

#### 2.3 FALTA DE RECURSOS OBSERVACIONAIS EM ASTRONOMIA BÁSICA

A literatura utilizada nesse capítulo para analisar a questão do ensino de Astronomia foi, em sua maioria, publicada na *Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia*. Na página oficial da revista há ferramentas que auxiliam indexar trabalhos por edição, autor, título e por palavra-chave, o que agiliza e organiza a pesquisa. Utilizando essa ferramenta em 25/03/2019, indexamos a palavra-chave "Ensino de Astronomia", o que nos retornou um total de 48 trabalhos, que foram agrupados por temas conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Lista de artigos publicados por tema, pesquisa realizada em 25/03/2019

Assuntos Abordados	Quantidade	%
Inserção de temas modernos	9	19
Construção de modelos experimentais	9	19
Análises Sociais	8	16
Utilização de Computador e Livro didático	6	12
Pesquisa com professores	5	11
Cursos de divulgação científica	5	11
Pesquisas com estudantes	4	8
Planetários e Parques	2	4

Fonte: Elaborado pelo Autor; as informações foram retiradas da Revista Latino Americana de Educação em Astronomia.

Conforme a Tabela 3, os artigos pesquisados abordam diversos temas, sendo 19% relacionados a trabalhos de *construção de modelos experimentais*. Embora seja um assunto explorado, as diretrizes do NEM sugerem que as pesquisas sobre esse tema se intensifiquem e novos trabalhos sejam elaborados, aumentando significativamente esse percentual.

#### 2.3.1 Desenvolvimento de Modelos Experimentais

Para seguir os preceitos deste trabalho e cumprir as sugestões do NEM, recomendamos que os modelos experimentais a serem elaborados por professores e/ou pesquisadores deverão contemplar conceitos chaves, como:

- a) usar recursos computacionais de baixo custo;
- b) serem intuitivas e de fácil utilização;
- c) serem eficientes nas áreas que se propuserem a investigar.

Para orientar a confecção deste modelo experimental recomendamos um exemplo de

estrutura para que o projeto possa ser executado:

- a) Os esquemas de construção, mecânico e eletroeletrônico;
- b) Manual de utilização;
- c) Fóruns de discussão para melhorias;
- d) Divulgação dos resultados de sua aplicação.
- e) A criação de uma comunidade, que acompanhe a utilização dessas ferramentas, e forneça suporte técnico.

#### 2.3.2 Conceitos de Astronomia para modelos experimentais

Naturalmente, o foco principal desse projeto é o ensino de Astronomia. De posse de um telescópio acoplado a um dispositivo como esse aqui desenvolvido, o professor poderá desenvolver uma série de atividades com seus alunos fartamente encontradas nas várias mídias disponíveis. Entretanto, além disso, no desenvolvimento do dispositivo os envolvidos, tomarão contato com vários outros conceitos Astronômicos, mais técnicos e em geral pouco explorados. Justamente, abordamos agora, sem sermos exaustivos, uma série deles visando simplesmente introduzi-los aos potenciais usuários.

A utilização de um telescópio muito simples, não automático e sem acompanhamento, é muito difícil, sobretudo para o leigo, e em geral acaba se tornando um elemento desencorajador com consequência de uma até provável, experiência negativa. Um telescópio já um pouco mais sofisticado, com acompanhamento e eventualmente, apontamento automático, como é o caso do dispositivo aqui desenvolvido, resolve muitos desses problemas e facilita a vida do observador.

Entretanto, um tal dispositivo, antes de ser utilizado, necessita ser calibrado: nivelado e orientado. Por outro lado, justamente, a utilização de um motor de acompanhamento, exige uma boa compreensão do movimento diário dos astros somado ao perfil do usuário, será decisiva na escolha da plataforma a ser utilizada: equatorial ou altazimutal.

Os conceitos mais fundamentais e essenciais na compreensão e utilização do dispositivo aqui desenvolvido, são apresentados a seguir, iniciando pelo conceito de "esfera

celeste" e definições de alguns de seus elementos.

#### 2.3.2.1 Esfera Celeste

Tanto para o desenvolvimento de um dispositivo como aquele aqui proposto, como para realizar observações com ou sem telescópios com fins educativos ou profissionais, um primeiro passo, diz respeito a uma série de conceitos de base. Em geral, trata-se de elementos definidos em função da gravidade da Terra e dos movimentos aparentes dos astros.

- a) Esfera celeste: Dada as grandes distâncias em que se encontram os astros, ao observá-los, mesmo com os maiores telescópios do mundo, não temos noção de profundidade, temos apenas uma visão bidimensional, ou seja, da direção onde os vemos, mas não da posição que ocupam no espaço. Além disso, também não conhecemos as distâncias da quase totalidade dos astros o que nos leva a trabalhar com suas projeções na superfície interna de uma esfera imaginária de raio infinitamente grande e unitário tendo o observador ao seu centro, denominada "esfera celeste". Trata-se de um conceito de base utilizado em todos os níveis, por astrônomos profissionais, amadores e público leigo.
- b) Zênite, nadir e horizonte celeste: A vertical de um observador qualquer ao interceptar a esfera celeste define dois pontos de uso corrente em Astronomia: zênite, acima do observador e nadir, diametralmente oposto. Se imaginarmos um plano, perpendicular à vertical e contendo o centro da esfera, ao interceptá-la definirá um círculo, chamado horizonte celeste. Para simplificar pode-se pensar que o horizonte celeste é um "prolongamento do horizonte terrestre até encontrar o céu". Note que esses elementos são atrelados ao observador uma vez que são definidos em função de sua vertical.
- c) Movimento diário (diurno) aparente dos astros: Devido à rotação da Terra, ao observarmos os astros, salta aos olhos o movimento que todos executam de leste para oeste em um período de aproximadamente 23h 56min. A esse movimento nos referimos inadequadamente como "movimento diurno" em vez do preferível "movimento diário". Podese, em vez de se pensar nos astros, falar em movimento de rotação da esfera celeste de leste para oeste.

- d) Polos e equador celestes: O momento angular da rotação da Terra mais comumente chamado "eixo de rotação da Terra", define em sua superfície dois pontos chamados polos. O polo norte no sentido do momento angular e o sul na direção oposta. Os polos celestes seriam seus correspondentes na esfera celeste. Ou se quisermos seriam as intersecções da esfera celeste com seu eixo de rotação. Um observador dirigindo seu olhar na direção do polo sul celeste, verá, naturalmente, os astros girando de leste para o oeste, mas neste caso no sentido horário. Se estiver voltado para o norte, verá esse movimento no sentido anti-horário. Um plano perpendicular ao eixo de rotação e contendo o centro da esfera celeste definirá na mesma, o equador celeste que pode ser imaginado como um "prolongamento do equador terrestre até encontrar o céu". O equador divide a esfera celeste em dois hemisférios: hemisfério sul celeste, que contem o polo Sul e hemisfério norte celeste que contém o polo Norte.
- e) Meridiano do lugar: Um grande círculo contendo a vertical do lugar e o eixo de rotação da esfera celeste, portanto definindo uma circunferência que passa pelos polos, zênite e nadir, é chamado de meridiano do lugar, meridiano local ou ainda meridiano do observador. Ao passar pelo meridiano de um observador, qualquer astro em seu movimento diário, atinge sua máxima altura. O meridiano local divide a esfera celeste em dois hemisférios: oriental onde nascem os astros e ocidental onde se põem.
- f) Pontos cardeais: Os pontos cardeais são definidos em função desses elementos, portanto, da posição do observador e da rotação da Terra. Os pontos cardeais Leste e Oeste são as intersecções do equador com o horizonte celeste, sendo o leste aquele ponto do hemisfério oriental e oeste no hemisfério ocidental. Já os pontos cardeais sul e norte são definidos pelas intersecções do meridiano local com o horizonte celeste. O ponto cardeal sul corresponde àquela intersecção que se encontra no hemisfério sul e o norte na intersecção que se encontra no hemisfério norte.

#### 2.3.2.2 Norte geográfico e norte magnético

O primeiro passo na utilização de um dispositivo automático é sua orientação, que se resume em nivelar o dispositivo e "encontrar o norte geográfico". O nivelamento, significa

alinhar a base do dispositivo com o plano horizontal. Esse processo é descrito em detalhes mais adiante.

O "norte geográfico" pode ser obtido de várias maneiras. A estratégia aqui adotada para tal, desenvolvida em detalhes mais adiante, foi lançar mão do que chamamos "norte magnético". Como sabemos, desde 1600 o cientista chamado William Gilbert descobriu que Terra se encontra envolvida e protegida por um campo magnético, ou seja, a Terra se comporta como um grande ímã.

Os polos magnéticos não estão alinhados com os polos geográficos, consequentemente o norte geográfico e magnético também não. Entretanto, a partir de observações e teorias, é possível conhecer a distância angular entre esses pontos - declinação magnética. De posse desses valores que pode ser facilmente encontrado na literatura para uma dada latitude e sabendo a posição do norte magnético, obtém-se o polo geográfico.

O norte magnético é indicado por dispositivos simples sendo o mais comum, uma bússola, que possui uma pequena agulha magnetizada que se orienta segundo o campo magnético. Com o avanço da tecnologia surgiram os sensores magnéticos (magnetômetros), que utilizam componentes como magneto resistores e transistores para quantificar a intensidade do campo magnético em todas as direções, possibilitando determinar a direção dos polos magnéticos do campo onde está imerso.

Em outras palavras, devido à nossa opção, para determinar a direção do norte geográfico necessitamos encontrar o norte magnético e conhecer o valor da declinação magnética para a latitude em questão.

#### 2.3.2.3 Coordenadas Celestes

A posição de um objeto no céu ou em qualquer lugar do Universo, é definida por suas coordenadas, retangulares, polares, esféricas, etc., dependendo das circunstâncias e conveniências. No caso da Astronomia, a palavra posição tem um significado um tanto quanto restrito. Na maioria das vezes essa palavra significa apenas, como dito, a direção na qual vemos o astro e não sua posição no espaço. Em outras palavras, a palavra posição significa em geral, a posição na esfera celeste.

Convenientemente, nesse caso utiliza-se portanto, para localizar um astro, um sistema de coordenadas esféricas: uma coordenada latitudinal que fornece a distância angular do astro a um plano de referência e outra longitudinal, medida sobre o grande círculo de referência a partir de uma origem convencional. Facilmente, essas coordenadas podem ser convertidas em coordenadas retangulares.

As posições assim definidas são utilizadas tanto para se localizar um astro no céu como também, para estudos dinâmicos e cinemáticos no Sistema Solar, na Galáxia e em outras galáxias. São utilizadas também para se determinar distâncias e definir a escala de distâncias do Universo, massas, idades, formas etc., de objetos estelares e subestelares.

#### 2.3.2.3.1 Sistema de Coordenadas Horizontal

Aqui, toma-se o horizonte celeste como plano de referência. Ao afastamento angular do astro em relação a esse plano, medido sobre um plano vertical, damos o nome de altura em geral representada pela letra "h", variando de -90 ° a + 90 °, sendo os valores positivos para os astros acima e negativos para aqueles abaixo do horizonte. A segunda coordenada, azimute "A", que nos permite localizar o círculo vertical que contém o astro, é medida sobre o horizonte celeste a partir do norte geográfico na direção leste. Em geral, variando de 0° a 360°.

#### 2.3.2.3.2 Sistema de Coordenadas Equatorial

Neste caso o plano de referência é o equador celeste. A coordenada latitudinal, separação angular do astro em relação ao equador celeste é chamada declinação, representada pela letra grega " $\delta$ " e a exemplo da altura, variando de -90 ° a 90 ° e medida sobre o meridiano que contém o astro. Sendo positiva para os astros no hemisfério celeste norte e negativa para aqueles que se encontram no hemisfério sul celeste. A segunda coordenada, ascensão reta " $\alpha$ ", que irá localizar o meridiano que contém o astro, medida sobre o equador celeste, no sentido contrário à rotação da esfera celeste e tradicionalmente a partir do ponto vernal. O ponto vernal é definido pelo nodo ascendente da eclíptica (trajetória anual aparente do Sol) sobre o

equador.

Desde 1998 a União Astronômica Internacional decidiu que as ascensões retas seriam medidas a partir da direção do "eixo x" do "*International Celestial Reference System - ICRS*" (Arias et al. ,1995), que embora tenha sido alinhado com o ponto vernal das 12h do dia 01 de Janeiro de 2000, já não depende da eclíptica, sendo um ponto fixo do equador.

### 3 DISPOSITIVO DE APONTAMENTO E ACOMPANHAMENTO AUTOMÁTICO DE OBJETOS CELESTES

Apesar da riqueza e da importância da observação do céu noturno a olho nu no ensino de Astronomia, os alunos e o público em geral buscam também observar os astros através de telescópios. Essas observações também encantam e devem ser exploradas na divulgação e no ensino. Também, nos testes aqui realizados, mas sobretudo na experiência do orientador com atendimento ao público, o apontamento de um astro com um "laser" revela-se excitante e extremamente didático para o público em geral.

Além da observação, a construção de um telescópio tem sido um aspecto do ensino e divulgação, bastante explorado dado ao seu potencial de atração e motivação. Não é por menos, que muitos profissionais da Astronomia de hoje iniciaram seus sonhos justamente construindo um telescópio, em geral um telescópio refrator, mais simples e de custos mais baixos.

Entretanto, são muitas as dificuldades enfrentadas pelos leigos ao utilizarem um desses telescópios mais acessíveis em termos de custos. Essas dificuldades, acabam frustrando e desencorajando a observação, com exceção, é claro, daqueles aficionados. Entre essas dificuldades podemos citar o apontamento que requer um certo conhecimento do céu.

Outro ponto, diz respeito ao acompanhamento (compensação do movimento diário dos astros) quase sempre inexistente obrigando assim, o observador a manusear o instrumento durante o processo observacional com resultados inadequados.

O que buscamos aqui, é ampliarmos o alcance dessas atividades observacionais, acrescentando o desenvolvimento de um dispositivo auxiliar compreendendo um motor de acompanhamento de baixo custo e uma interface com o *Stellarium* para facilitar o apontamento. Dessa forma, abrimos as portas para minimizar as dificuldades citadas e ao mesmo tempo, acrescentar outros aspectos a essas atividades, não tão comuns, que acreditamos, são também motivadores e vão muito além da Astronomia: programação, componentes eletrônicos, conceitos mecânicos e eletrônicos, movimentos aparentes dos astros etc.

#### 3.1 ESCOLHA DA MONTAGEM

Como uma das premissas do trabalho era escrever um algoritmo simples e de fácil compreensão, optamos por utilizar a montagem altazimutal. Tal montagem tem como referência o plano do horizonte, bastante familiar para o público em geral e materializa o sistema horizontal de coordenadas celestes (BOCZKO, 1984). Neste caso, o apontamento se dá segundo dois movimentos: um movimento horizontal (movimento em azimute) de 0° a 360° a partir do ponto cardeal norte para leste ou 180° a -180° (positivo na direção norte-leste e negativo na direção norte-oeste). Um segundo movimento, em altura, de 0° a 90° (em direção ao zênite) segundo um círculo vertical, portanto perpendicular ao primeiro movimento.

Naturalmente, a utilização do dispositivo utilizando essa montagem, exige o nivelamento da plataforma e a determinação do norte geográfico no local. Na Figura 1, podemos ver uma representação de uma plataforma altazimutal.



Figura 1 – Montagem altazimutal

Fonte: Autor

#### 3.2 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

Para nortear o projeto, realizamos uma pesquisa de equipamentos já disponíveis no mercado que utilizam montagem altazimutal para verificar quais seriam as funções necessárias para construirmos um dispositivo semelhante, simples e de baixo custo.

Na revista *Sky & Telescope Magazine* ®, especializada em telescópios e acessórios, encontramos diversos sistemas de acompanhamento. Um dos principais anunciantes desse produto, apresentado na Figura 2, é a empresa *ORION*.

Esse dispositivo (Figura 2) possui estrutura metálica e dois motores (não há referência ao tipo de motor utilizado), pode ser utilizado com ou sem conexão com um computador e é construído para suportar telescópios ou câmera fotográficas. O preço desse equipamento nos Estados Unidos é de 200 dólares ("PRODUCT SUPPORT - ORION STARBLAST AUTOTRACKER ALTAZIMUTH MOUNT", 2019).

Outra característica deste dispositivo é que ele possui um painel de controle e um banco de dados incorporados, além disso o apontamento pode ser controlado remotamente, via aplicativo. Esse aplicativo, que é fornecido separadamente custa, nos Estados Unidos, em torno de 205 dólares.



Figura 2 – Sistema de acompanhamento altazimutal fabricado pela ORION

Fonte: ("Product Support - Orion StarBlast AutoTracker Altazimuth Mount", 2019)

A partir desta referência comercial iniciamos o projeto do protótipo. O projeto foi dividido em três partes:

- a) Mecânica: sistema de engrenagens e peças fixas, construídas utilizando o sistema de impressão 3D, com exceção da base de madeira, dos rolamentos e do eixo do movimento vertical. O projeto do protótipo foi concebido para suportar equipamentos de até 250 gramas;
- b) Eletrônica: Placa Controladora, que faz a ligação entre o centro de processamento e o dispositivo mecânico;
- c) Algoritmo: É parte lógica do sistema, o aplicativo foi desenvolvido na linguagem *Python* e está instalada no centro de processamento que é a *Raspberry Pi*.

#### 3.2.1 A mecânica do protótipo

Para projetar as peças mecânicas, foi utilizado um aplicativo de código aberto chamado *Freecad*, que além do desenho, possibilita verificar o ajuste dos componentes durante o projeto. Também é possível criar um arquivo com extensão **.stl** usada pelas impressoras 3D (*THE FREECAD TEAM*, 2018).

Esse projeto mecânico foi desenvolvido tomando como referência o sistema de montagem altazimutal, sendo que o deslocamento dos eixos do dispositivo deve ocorrer em duas direções (azimute e altura).

Na Figura 3, temos o desenho do dispositivo.

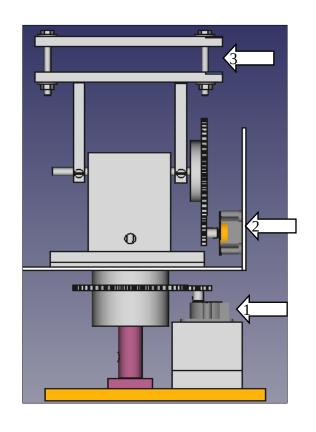


Figura 3 – Desenho do dispositivo mecânico

Fonte: Autor

A seta 1 indica o motor responsável pelo movimento horizontal (azimute), a seta 2 indica o motor responsável pelo movimento vertical (altura) e a seta 3 indica a base onde será posicionado o equipamento a ser acoplado, que pode ser um telescópio ou uma mira laser.

Utilizou-se uma base de madeira de duas camadas com o objetivo de deixá-la pesada o suficiente para suportar vibrações indesejadas.

#### 3.2.1.1 Resposta mecânica dos Motores

Para a escolha dos motores utilizados para movimentar os eixos horizontal e vertical, foram priorizados alguns fatores como: precisão de parada, facilidade de uso e preço. Portanto, os motores de passo são adequados para essa aplicação.

O motor de passo escolhido é o modelo 28BYJ-48 de 5 Volts da empresa Kiatronics,

ao custo de 12 reais já com *driver*<sup>6</sup>, apresentando melhor custo-benefício (Figura 4).

A sgura 1 World de passo dimporal 2

Figura 4 – Motor de passo unipolar 28BYJ-48

Fonte: (KIATRONICS, 2001)

Contudo faremos algumas ponderações sobre a escolha desse motor, uma vez que sua construção interna poderá influenciar na precisão do apontamento.

Na literatura específica, podemos encontrar referências sobre a relação entre as tolerâncias internas dos componentes do motor e os erros de parada, conforme justificativa abaixo, da empresa fabricante deste tipo de componente, que afirma que tais erros devem ser considerados para aplicações que demandam maior precisão.

"Systematic angle tolerance' is caused by manufacturing tolerances in the motor (i.e. differing winding resistances or turns, unequally magnetized magnets, air gaps etc.) and drive electronics. Although with modern manufacturing techniques these tolerances are negligible, for extreme accuracy they may need to be considered" (MRO, 1996).

Com isso em vista, temos que a ficha de dados (*datasheet*<sup>7</sup>) do motor escolhido não apresenta informações relacionadas aos erros inerentes à construção do motor. Esses erros podem influenciar diretamente a precisão das paradas. Além disso, o valor utilizado como referência do ângulo de cada passo foi calculado apenas com os alguns dados apresentados na ficha de dados, o que pode resultar em diferenças no posicionamento durante o apontamento. Também é possível identificar alguns fatores negativos na construção desse motor, entre eles,

<sup>6</sup> Dispositivo eletrônico utilizado para controlar um componente específico.

<sup>7</sup> Uma folha ou um catálogo que contém todas as características mecânicas ou elétricas de um determinado componente.

a redução interna apresentada na Figura 5. Nessa mesma Figura, temos um desenho com o conjunto de engrenagens internas do motor. Esse redutor é construído em plástico e apresenta muita folga. Os mancais também são de plástico.

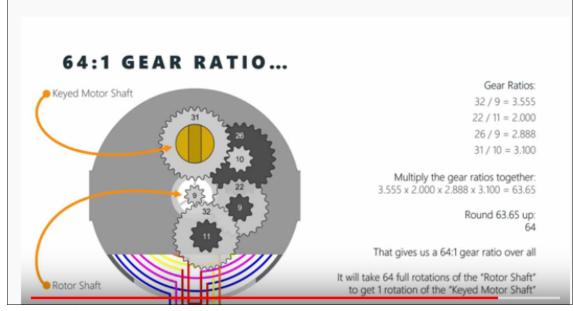


Figura 5 – Redutor interno do motor 28BYJ-48

Fonte: (BRET STATEHAM, 2015)

#### 3.2.1.2 Engrenagens

São componentes fundamentais na construção de máquinas, pois com elas é possível mudar a velocidade angular, o torque e o deslocamento, bastando apenas determinar a relação de dentes entre duas ou mais engrenagens, mantendo sempre o mesmo módulo<sup>8</sup>, conforme justifica a empresa *Quality Transmission Components* especializada no setor, citada abaixo:

"Gears are some of the most important elements used in machinery. There are few mechanical devices that do not have the need to transmit power and motion between rotating shafts. Gears not only do this most satisfactorily, but can do so with uniform motion and reliability. In addition, they span the entire range of applications from large to small" (*QUALITY TRANSMISSION COMPONENTS*, 2004, p. T5).

As engrenagens do protótipo foram projetadas visando um ajuste adequado das folgas,

<sup>8</sup> É o diâmetro primitivo de uma engrenagem dividido pelo número de dentes.

já que seria utilizado o plástico *ABS* que tem pouca resistência ao desgaste por atrito. Apesar de ser pouco resistente, mostrou-se adequado para ser utilizado na maioria das peças dessa aplicação devido ao baixo custo.

Para maior precisão do apontamento, foi necessário reduzir o deslocamento angular da rotação fornecida pelo motor, dessa forma as engrenagens foram projetadas em duas configurações, a primeira que está ligada ao motor com 5 dentes, e a segunda que está ligada à base com 50 dentes, o que diminui o deslocamento angular em 10 vezes.

#### 3.2.1.3 Demais peças do dispositivo

A maior parte das peças foi fabricada em impressoras 3D, utilizando plástico *ABS*. No entanto, algumas peças não foram fabricadas com esse material, já que o plástico *ABS* não é apropriado para utilização nas peças que suportam mancais. Por esse motivo, utilizamos Polietileno no eixo horizontal (azimute) e aço no eixo vertical (altura). O custo total para confecção das peças impressas em 3D foi de 125 reais, já somando o preço do frete. As demais peças mecânicas como rolamentos e parafusos foram compradas em lojas especializadas ao preço de 45 reais, uma lista completa com o preço dos materiais é encontrado no Apêndice H.

#### 3.2.2 Eletrônicos

As placas e componentes eletrônicos escolhidos no projeto, além de serem de baixo custo, também não necessitam de dispositivos externos, tendo seu funcionamento independente de quaisquer outras tecnologias. Dessa forma, não será necessário nenhum outro computador ou forma de conexão à rede. Essa escolha tem como finalidade possibilitar o uso do dispositivo em qualquer escola, garantindo autossuficiência ao dispositivo, uma vez que determinadas limitações poderiam inviabilizar sua utilização.

#### 3.2.2.1 Controle eletrônico do motor

O algoritmo de controle do motor de passo depende principalmente das necessidades da aplicação, da construção interna do motor e do *driver* de controle. O *driver* do motor utilizado no protótipo é baseado no *chip ULN 2003A*. Em Souza (2006), o autor descreve com detalhes as características dos motores de passo, seus tipos, e as formas com que os mesmos devem ser acionados por um controlador de pulsos.

Na Figura 6, temos um diagrama de bloco do circuito que aciona o motor de passo. O controlador *Raspberry Pi* envia uma sequência de pulsos para cada fase do *driver*, obedecendo uma lógica sequencial para que o motor se movimente da forma desejada.

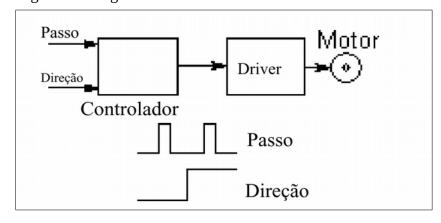


Figura 6 – Diagrama de bloco do circuito de controle do motor de passo

Fonte: (SOUZA, 2006)

A lógica sequencial escolhida foi o modo meio passo que tem como principal característica maior precisão no ângulo de cada passo e menor torque.

Caso os equipamentos utilizados em futuras implementações tenham massa acima de 250 g, os motores e seus *drivers* poderão ser substituídos, ou simplesmente pode-se alterar a relação das engrenagens responsáveis pelos movimentos, aumentando o torque aplicado ao eixo do movimento horizontal e vertical. No entanto, com uma eventual mudança da relação de engrenagens, surge, como efeito colateral, a diminuição da velocidade de rotação de forma proporcional.

# 3.2.2.2 Raspberry Pi

A placa *Raspberry Pi* é o centro de processamento, pois é, na verdade, um computador miniaturizado que possui: um processador de 1,2 GHz de quatro núcleos, 1 Gb de memória *RAM*, conexão de rede, *GPIO*<sup>9</sup> de 40 pinos, algumas portas *USB*<sup>10</sup>. Todos os componentes são soldados na placa; apesar disso é possível fazer expansão de suas funções com placas externas, fornecidas pelo próprio fabricante ou por terceiros. Há diversas versões de placas *Raspberry Pi* disponíveis no mercado, a que utilizamos nesse projeto foi do modelo 3B (*PI—TEACH*, 2016). Esse modelo fornece as características necessárias para o projeto, a um preço de aproximadamente 250 reais. Apesar de não constar das especificações, a placa possui um *driver* de vídeo com aceleração gráfica, requisito fundamental para o funcionamento do *Stellarium*, como veremos mais adiante.

A fim de reduzir os custos, não utilizamos a tela padrão da *Raspberry Pi*, que é conectada diretamente na saída do *display* da placa, já que seu preço é de aproximadamente 400 reais. Para manter a independência do dispositivo, foi utilizado um monitor antigo *VGA*, conectado à *Raspberry Pi* utilizando um adaptador *VGA* para *HDMI*, pois monitores antigos, apesar de serem encontrados facilmente em qualquer escola, não tem saída *HDMI*. O dispositivo também poderá ser utilizado remotamente, através do *hardware* de rede da placa. O acesso remoto poderá ser realizado através do servidor *VNC*, que vem instalado por padrão no *Raspbian*<sup>11</sup> ou por servidor *SSH*.

Uma das diferenças do *Raspberry Pi* de outros computadores é a interface *GPIO* (entradas e saídas digitais) que tem como principal finalidade enviar e receber informações de sensores e acionar algum dispositivo, como: motores, lâmpadas, resistências e relés.

A *GPIO* é composta por uma série de 40 pinos, como podemos ver na Figura 7, cada qual com uma função específica.

<sup>9</sup> É a parte da placa que contem os pinos que serão configurados como saídas ou entradas digitais.

<sup>10</sup> *Universal Serial Bus*, são saídas específicas para conexão com periféricos.

<sup>11</sup> É a distribuição Linux adaptada para o Raspberry Pi

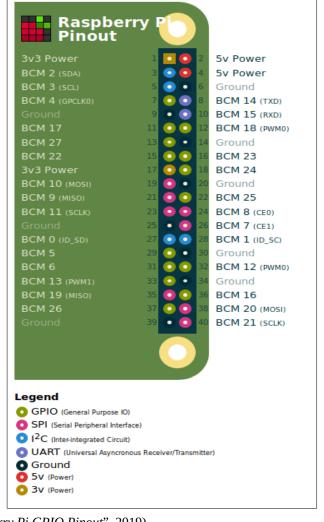


Figura 7 – Pinagem da GPIO da Raspberry Pi

Fonte: ("Raspberry Pi GPIO Pinout", 2019)

Há diversos tipos de sensores que podem ser conectados a *Raspberry P*i, entre eles, acelerômetros, magnetômetro, termômetros, giroscópios, pressiométrico e outros como podemos verificar em *tutorials-raspberrypi* (2017), apenas sendo necessário elaborar algoritmos para interagir e fazer leituras. O sensor utilizado nesse trabalho foi o magnetômetro, uma vez que o tipo de montagem escolhida (altazimutal) necessita do alinhamento com o norte geográfico. Mais a frente veremos que implementamos além da bússola, uma função de nivelamento.

A versão oficial do Sistema Operacional *Raspbian* é facilmente encontrada, porém configurar esse sistema desde o início pode não ser uma tarefa trivial. Dessa forma,

elaboramos um tutorial para auxiliar o trabalho de instalação, que é apresentado no Apêndice A. Nesse tutorial é demonstrado como e onde baixar uma imagem do Sistema Operacional e todos os aplicativos necessários. Além disso, no Apêndice A disponibilizamos um manual de instalação, no qual é descrito o método para descompactar a imagem e instalar a mesma em um cartão de memória, que é a forma mais simples e rápida de obter todas as funcionalidades necessárias para controlar o dispositivo. Caso seja necessário é apresentado no Apêndice C o método detalhado para configurar a aceleração gráfica, após a instalação do Sistema Operacional.

# 3.2.2.2.1 Ajuste da data e hora do sistema

Esse procedimento é fundamental, pois o *Stellarium* necessita interagir com o sistema para a partir da hora local calcular as coordenadas do objeto celeste. A *Raspberry Pi* não tem bateria interna, portanto não armazena informações quando desenergizada, deixando a hora desatualizada. Caso a *Raspberry PI* seja conectada a uma rede com internet, a data e a hora são ajustadas automaticamente, mas caso esteja fora de uma rede, será necessário ajustar a data e a hora manualmente. Para solucionar esse problema, elaboramos um *script*<sup>12</sup> em *bash*<sup>13</sup> que automatiza o ajuste. O aplicativo é executado em linha de comando em uma sequência lógica de perguntas e respostas. Na Figura 8 é apresentada a interface desse *script*.

Arquivo Editar Ver Pesquisar Terminal Ajuda

bira@SistemaSolar:~/Área de trabalho/script\$ ./teste\_rasp
Esse programa deve ser utilizado para corrigir o horário e a data
Só digite números, não digite nenhum outro caractere
digite o mes com 2 digitos (ex. 02)
10
digite o dia com 2 digitos (ex. 01)
08
digite a hora com dois digitos(ex. 15)
20
digite os minutos com 2 digitos
16
digite o ano com 4 digitos
2019
digite o segundos com 2 digitos
12
A data digitada foi: 100820162019.12
[sudo] senha para bira:

Figura 8 – Interface do *Script* de acertar a data e hora.

Fonte: Autor

<sup>12</sup> O script permite ao sistema operacional iniciar a execução do código de forma automática.

<sup>13</sup> Standard Linux shell, é um interpretador de comando em linha de comando.

# 3.2.2.3 Sensor Magnético - Magnetômetro QMC5883L

O sensor magnético é fundamental para o apontamento do primeiro objeto. Portanto conhecer os detalhes de seu funcionamento ajudará a elaborar um algoritmo mais eficiente, que encontre, de forma rápida e precisa, a origem das coordenadas horizontais.

#### 3.2.2.3.1 Princípio de funcionamento do sensor magnético QMC5883L

O sensor magnético QMC5883L possui 3 magnetos resistores<sup>14</sup>, que tem a função de quantificar a intensidade de um campo magnético. Essa tecnologia foi desenvolvida e licenciada por *Honeywell AMR technology*®.

O sensor tem precisão e sensibilidade para quantificar campos magnéticos de baixa intensidade, como o campo magnético da Terra ( $25x10^{-6}$  a  $65x10^{-6}$  Tesla). Dessa forma o mesmo pode ser configurado para funcionar como uma bússola, sendo muito utilizado em sistemas de orientação de *drones*, robôs e dispositivos móveis (*CORPORATION*, 2016).

Possui características importantes, como: capacidade de quantificar campos magnéticos com intensidade de até 8 Gauss com resolução de 2x10<sup>-7</sup> Tesla, tamanho e peso reduzidos, comunicação rápida e facilidade de integração com algoritmos. Na Figura 9 temos o diagrama da construção interna do *chip* em que podemos verificar como os magnetos resistores estão distribuídos no circuito e o caminho que os sinais elétricos percorrem nesse circuito até chegarem aos terminais de leitura.

<sup>14</sup> É um componente cuja resistência varia de acordo com a intensidade e direção do campo magnético no qual está imerso (RESISTORGUIDE, 2019).

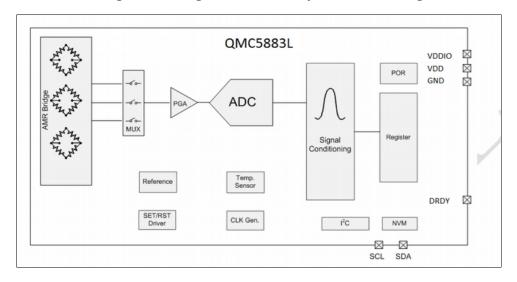


Figura 9 – Diagrama da construção do sensor magnético

Fonte: (CORPORATION, 2016)

# 3.2.2.3.2 Determinação da direção do campo magnético da Terra

Os magnetos resistores quantificam a intensidade do vetor campo magnético da Terra em cada direção do espaço. Com esses valores é possível determinar a direção em que a base do dispositivo está apontada, apenas projetando dois vetores em um plano, e assim determinando o ângulo do vetor resultante do campo magnético da Terra. Esse ângulo será determinante para o correto posicionamento na direção do norte magnético e o nivelamento.

Para determinar o ângulo do vetor resultante no plano, utilizamos a função trigonométrica arco tangente:  $\alpha = \operatorname{arctg} y/x$  ou  $\beta = \operatorname{arctg} z/x$ .

O norte magnético é o ponto onde o ângulo do vetor resultante no plano XY é nulo, e para encontrar o norte geográfico, basta somar o valor da declinação magnética do local, que para São Paulo, é de aproximadamente - 21° 27'.

No corpo do sensor, há uma indicação (seta na Figura 10) onde podemos verificar a orientação de cada magneto resistor. Essa indicação é essencial para a montagem do sensor magnético no dispositivo, pois o plano formado pelos vetores X e Y será utilizado para indicar o norte magnético (*ELECTRONICWINGS*, 2019).

No protótipo, o eixo X da indicação do corpo do sensor magnético, conforme Figura 10, foi instalado paralelamente à linha formada pela luz incidente da mira a laser.

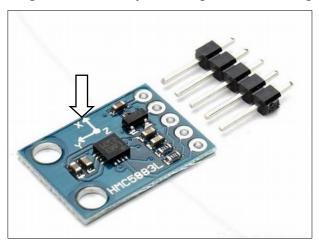


Figura 10 – Marcação no corpo do sensor magnético

Fonte: Mercado Livre

Essa montagem, conforme Figura 11, se faz necessária porque eventual defasagem entre a direção do sensor magnético e a luz incidente da mira laser ou do campo de visão da luneta causará um aumento no erro do apontamento. O sensor magnético foi fixado na parte inferior central da base.

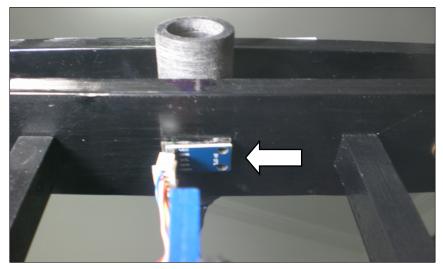


Figura 11 – Posição do sensor magnético no dispositivo

Fonte: Autor

Durante os testes do sensor magnético, encontramos alguns problemas que podem

comprometer seu correto funcionamento, para sanar esses problemas indicamos alguns procedimentos que devem ser adotados durante sua instalação, que estão descritos mais detalhadamente no Apêndice D.

# 3.2.2.3.3 Calibração do sensor magnético

Para melhorar a precisão do sensor magnético é necessário calibrá-lo, pois diversos fatores podem influenciar negativamente o seu funcionamento. Tal calibração é imprescindível para esse tipo de sensor, conforme destaca Rigacci (2018):

"Values returned by the magnetic sensor may be altered by several factors, like misalignment of sensor's axes, asimmetries in the sensor sensitivity, magnetic fields and magnetic (ferrous) metals in the proximity of the sensor "(RIGACCI, 2018).

A calibração avalia o comportamento do sensor magnético ao longo de uma trajetória circular ao redor do eixo do movimento horizontal do dispositivo. Esse procedimento deve ser realizado enviando comandos ao motor de passo acoplado ao eixo horizontal do dispositivo, para que o mesmo desloque o eixo em um ângulo previamente determinado, como indicado na Figura 12.

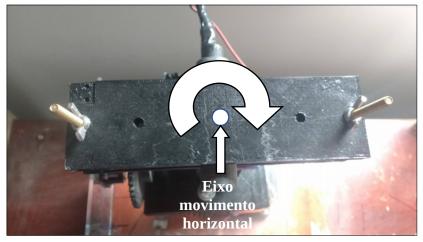


Figura 12 – Movimento realizado durante a calibração do sensor

Fonte: Autor

O gráfico de dispersão dos eixos X e Y, apresentado na Figura 13, foi construído

utilizando as medições realizadas nos eixos X e Y, conforme Tabela do Apêndice E que possui algumas medições em uma rotação $^{15}$ .

Figura 13 – Dispersão das medições do sensor magnético na trajetória de 360° (Valores em contagem¹6)

Fonte: Autor

O gráfico acima demonstra que o plano formado pelos eixos X e Y está fora de simetria em relação à origem, estando deslocado para o terceiro quadrante. Essa assimetria deverá ser corrigida somando-se ou subtraindo-se valores em cada medição, através do algoritmo desenvolvido.

A calibração deverá ser realizada em cada sensor magnético utilizado, pois os valores das medições podem variar de *chip* para *chip* e também é importante que seja realizada no dispositivo em que o sensor será utilizado, pois algum componente pode estar magnetizado afetando as medições e alterando os valores obtidos. Caso isso ocorra o componente

<sup>15</sup> Nesse contexto, rotação é uma volta completa em torno do eixo do movimento horizontal.

<sup>16</sup> Contagem é o valor decimal da palavra convertida pelo conversor Analógico Digital (AD). Para esse conversor AD o valor de uma contagem corresponde à 73 x 10<sup>-6</sup> Tesla.

magnetizado deve ser substituído.

Com os valores adequadamente corrigidos utilizando método empírico, construímos outros gráficos (Figura 14). Esses gráficos foram construídos a partir de duas medições, uma em cada sentido de rotação, e apresentados na Figura 14.

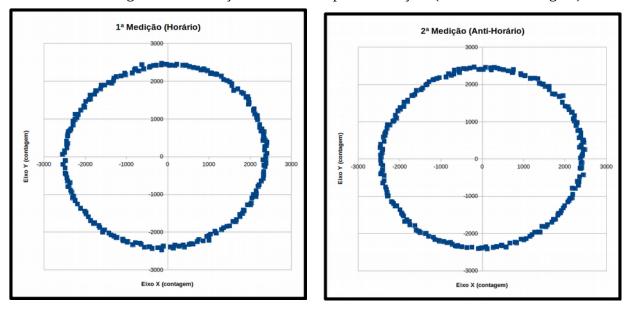


Figura 14 – Medições realizados após a correção. (Valores em contagem)

Fonte: Autor

O resultado indica que a dispersão foi simétrica, o que elimina qualquer influência negativa que eventuais componentes poderiam inserir nas medições.

#### 3.2.3 Placa Controladora do dispositivo

A Placa Controladora consiste numa interface eletrônica entre a *Raspberry Pi* e os componentes eletrônicos do dispositivo e foi montada em uma placa padrão tipo ilha. A Placa Controladora possui duas saídas: uma utiliza um conector de 20 vias que recebe o *flatcable* conectado aos componentes eletrônicos do mecanismo e a outra utiliza um conector de 40 vias que recebe o *flatcable* conectado a *Raspberry Pi*. O aplicativo utilizado para a elaboração do circuito foi o *Fritzing*, aplicativo de código aberto especializado em projetos de circuitos eletrônicos (*FRIENDS-OF-FRITZING FOUNDATION*, 2017). O diagrama de montagem está

detalhado na Figura 15.

Bateria de SV

AAA Battory

Forteia Laser

Forter Motor de Passo ULN2003A

Sensor Magnética

Sensor Magnética

Figura 15 – Esquema de ligação da Placa Controladora do dispositivo

Fonte: Autor

A Placa Controladora foi instalada em uma caixa de acrílico na qual a estrutura inferior foi projetada para permitir uma boa acomodação dos cabos de ligação, protegendo todas as soldas de qualquer contato com um corpo externo, conforme apresentado na Figura 16. Foram acrescentados à Placa Controladora dois *leds* indicadores: o verde indica que a placa está energizada e o vermelho indica que a *Raspberry Pi* está em funcionamento.





Figura 16 – Placa Controladora do dispositivo

Fonte: Autor

#### 3.3 ALGORITMO

O algoritmo foi desenvolvido objetivando a simplicidade e a praticidade, a fim de possibilitar que professores e alunos desenvolvam e implementem facilmente novas funcionalidades. Consideramos que a Astronomia deve ser o foco central dessa proposta de ensino, porém a criatividade e a inovação fazem parte do universo tecnológico no qual a Astronomia se insere. Nesse sentido a possibilidade de o professor interagir com o dispositivo permite-lhe expandir seus horizontes, agregando novos conhecimentos na sala de aula.

# 3.3.1 Base para elaboração do algoritmo

Na Figura 17 há um diagrama de bloco que facilita a visualização e compreensão de todas interações que ocorrem entre as partes do algoritmo, assim como as ligações com *APIs*<sup>17</sup> e módulos de terceiros.

<sup>17</sup> Uma implementação que permite outras aplicações usarem algumas funcionalidades

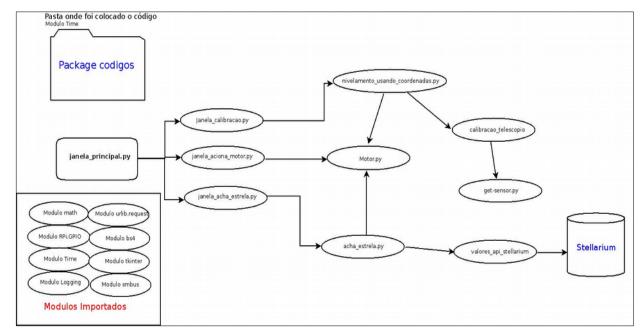


Figura 17 – Diagrama de Bloco do Funcionamento do Algoritmo

Fonte: Autor

Explicaremos as principais características de cada parte do algoritmo. Não será foco desse trabalho explorar a característica dos módulos de terceiros como o módulo *get\_sensor.py* e o bloco *Módulos importados*. Entretanto demonstraremos como tais módulos são instalados no Sistema Operacional, no Apêndice C. Vale ressaltar que no bloco *Módulos Importados* encontram-se todos os módulos importados para execução do algoritmo, que são escritos por terceiros. Já o módulo *get\_sensor.py* foi desenvolvido por Rigacci (2018), sendo disponibilizado sob a licença *GPLv3*<sup>18</sup>, o que permitiu uma pequena alteração no código para corrigir falhas do sensor magnético, como pode ser visto no Apêndice D.

#### 3.3.2 Stellarium

O planetário virtual *Stellarium*, é um aplicativo de código aberto que possui diversos recursos, entre eles:

a) Banco de dados com as informações de objetos astronômicos visíveis;

<sup>18</sup> Licença de utilização, cópia e modificação de software.

- b) Possibilidade de deslocamento temporal;
- c) Exibição das características dos objetos selecionados;
- d) A possibilidade de aproximação (*zoom*) para verificar particularidades etc.

O algoritmo como um todo está integrado ao *Stellarium*, dessa forma a base de dados e todas as informações sobre os objetos celestes serão obtidas diretamente deste aplicativo.

O *Stellarium* está disponível para vários Sistemas Operacionais e para funcionar corretamente necessita de uma placa de vídeo com aceleração gráfica. Há uma versão *web*, que não necessita de aceleração gráfica, podendo ser acessado por qualquer equipamento que possua acesso à internet e um navegador atualizado (MATTHEW GATES, 2000). Pode ser utilizado facilmente por professores e alunos, pois existem vários tutoriais explicando seu funcionamento, uma vasta documentação na página oficial e também é possível encontrar diversos vídeos com exemplos de aula.

O *Stellarium* versão 0.15.0 encontra-se nos repositórios *Stretch*<sup>19</sup> do *Raspbian*, e pode ser instalado utilizando a ferramenta *apt*<sup>20</sup>, para isso, é necessário abrir o *bash* e digitar o comando *sudo apt-get install stellarium*\*. Com esse comando todos os arquivos necessários serão instalados.

A configuração inicial é realizada de forma automática, desde que o usuário esteja conectado a uma rede com *acesso à internet*. Porém caso o equipamento esteja fora do alcance de uma rede, algumas configurações, como a localização, deverão ser realizadas manualmente. Para configurar a localização, pode-se utilizar o banco de dados onde tem as coordenadas das cidades ou inserindo a latitude e longitude local manualmente. Também será necessário conferir se a data e a hora estão corretas. Essas informações são necessárias para o correto funcionamento, pois caso alguns desses dados tenham sido inseridos de maneira incorreta, o resultado do apontamento poderá ser comprometido. O usuário pode definir uma série de recursos úteis para visualizar a interface que simula o céu na tela de maneira mais didática, entre eles:

a) Retirar o efeito das distorções causado pela refração atmosférica;

<sup>19</sup> É o nome dado a versão estável do Raspbian, esses nomes são simbólicos.

<sup>20</sup> Ferramenta usada para instalação de arquivos, em distribuições baseadas no Debian (Distribuição Linux).

- b) Retirar o horizonte local e visualizar toda a esfera celeste, como se estivesse solto no espaço.
  - c) Habilitar o nome das Constelações;
  - d) Configurar as informações apresentadas na tela etc.

Nesse trabalho, não será explorado o potencial desse aplicativo para o aprendizado; focaremos apenas o escopo da proposta inicial, usar o *Stellarium* para controlar o dispositivo de apontamento. Nesse contexto vamos explorar as funcionalidades do *plugin*, *Remote Control* que tem como função disponibilizar um servidor *web*, possibilitando que o *Stellarium* seja operado remotamente (SCHAUKOWITSCH; ZOTTI, 2015).

#### 3.3.2.1 Plugin Remote Control

*Esse plugin* pode ser configurado através de um arquivo criado na interface do usuário pelo *Raspbian*, ou através da interface do *Stellarium*. Caso seja necessário, há um tutorial do Apêndice C, explicando esse procedimento.

#### 3.3.2.1.1 API do plugin Remote Control

O *plugin* foi desenvolvido para habilitar acesso remoto à interface do *Stellarium* em qualquer equipamento conectado a mesma rede. A interface é executada em um navegador *web*, possibilitando inserir os comandos e acessar todas as informações mostradas localmente em tempo real. O *Webserver*<sup>21</sup> responde na porta 8090 e disponibiliza algumas *APIs* que podem ser acessadas por outros aplicativos via requisição *HTTP*. Nesse trabalho usamos a *API* /api/objects/info, que disponibiliza as informações dos objetos selecionados no *Stellarium*, como nome do objeto, magnitude e coordenadas.

A documentação na página do *plugin* foi escrita por Schaukowitsch e Zotti (2015), e demonstra como é possível acessar todas informações de um objeto selecionado através de uma aplicação externa.

<sup>21</sup> É um aplicativo servidor, que tem como função disponibilizar recursos a serem acessados por navegadores da internet.

Nesse trabalho utilizamos o módulo *urlib.request* que recebe as informações do *Webserver* em *HTML*. *O* módulo armazena essas informações em uma variável no formato *HTML*. *O*utro módulo chamado *bs4* converte as informações *HTML* em um arquivo de texto e os insere em uma variável que será tratada como matriz.

Após a transformação das informações disponibilizadas pelo *Stellarium* em uma matriz, cada linha dessa matriz carrega as informações fragmentadas. Utilizamos apenas as linhas com as informações relevantes como nome do objeto e coordenadas horizontais, por exemplo.

O módulo *valores\_api\_stellarium.py*, é o módulo responsável em tratar essas informações e enviá-las para o módulo *acha\_estrela.py* que será o módulo que converterá as coordenadas de texto, disponibilizadas pelo *Stellarium*, para ângulos decimais para depois convertê-las em quantidade de passos e enviá-los para os motores.

Todavia, o tratamento das informações utilizadas nesse algoritmo está vinculado a versão 0.15.0 do *Stellarium*, pois caso seja outra versão, o tratamento das informações deverá ser corrigido, visto que em outras versões as informações podem retornar em posições diferentes na conversão do texto com as informações do objeto para as linhas da matriz.

#### 3.3.3 Módulo de controle do sensor magnético

O módulo *get\_sensor.py* foi desenvolvido por Rigacci (2018) e tem como função estabelecer uma conexão entre a *Raspberry Pi* e o sensor magnético, transferindo os dados relativos ao campo magnético do ambiente onde o sensor está inserido. Nesse módulo utilizamos apenas a função *get\_magnet\_raw()* que retorna os valores medidos em cada eixo.

#### 3.3.3.1 Determinar a origem das coordenadas horizontais

O módulo *calibracao\_telescopio.py* recebe o valor das medições realizadas pelo sensor magnético e determina o ângulo do vetor resultante do campo magnético no plano formado pelos eixos x e y e pelos eixos x e z. O ângulo do vetor resultante do campo magnético em cada plano será utilizado para encontrar o norte magnético e nivelar a base do

dispositivo.

Para realizar os cálculos foi importado um módulo do *Python* chamado *math*, e foi utilizada a função atan2(y, x) que devolve o valor do ângulo em radianos. Para facilitar a integração com o algoritmo utilizamos a função degreess(atan2(y,x)), para converter o ângulo em graus decimais.

Como as leituras do sensor flutuam muito, foi implementada uma matriz de n linhas e 3 colunas [n,3], nas quais as leituras de cada eixo são armazenadas nas colunas. Dessa forma, pode-se calcular a média de várias leituras na mesma posição, obtendo valores mais estáveis.

Para se determinar a quantidade de linhas da matriz é necessário avaliar a precisão desejada, pois quanto maior a quantidade de linhas maior será o tempo que o dispositivo ficará parado em uma posição. Portanto em situações em que a precisão da medição não impacta o resultado final é possível fixar um valor menor de linhas, mas nunca inferior a 5. Em outros casos nos quais é necessário maior precisão, a quantidade de linhas deve ser superior a 15.

Em síntese, o módulo calibracao\_telescopio.py tem como finalidade:

- a) Retornar o ângulo do vetor resultante em cada plano;
- b) Retornar o valor da medição realizada em cada eixo, de forma isolada.

Na função que determina o ângulo do vetor resultante do campo magnético em azimute, foi necessário implementar um ajuste, pois quando o sensor está próximo da direção do norte magnético, os valores das medições variam entre 0° e 360°, dificultando o cálculo da média.

Para corrigir esse problema elaboramos uma função que exclui todos valores que estão próximos a 0° ou que estão próximos de 360° utilizando como parâmetro a menor quantidade, sendo excluídas as medições em menor número, utilizando os valores restantes para calcular a média. Por exemplo, numa eventual medição cujos ângulos do vetor resultante com relação ao plano XY sejam { 358°, 359°, 360°, 1°, 357°, 0°} os valores considerados para calcular a média serão {358°, 359°, 360°, 357°} descartando-se os valores {1°, 0°}.

# 3.3.3.2 Utilizando a origem das coordenadas horizontais

O módulo *nivelamento\_utilizando\_coordenadas.py* é utilizado para posicionar a base do dispositivo na origem das coordenadas horizontais. A utilização do sensor magnético para posicionar um dispositivo na direção dos pontos cardeais é bem conhecido, porém para fazer o nivelamento foi necessário desenvolver um algoritmo específico. Podemos afirmar que este é um dos módulos mais complexos do algoritmo, pois envolve conceitos de polinômios e de trigonometria.

## 3.3.3.2.1 *Plano XY (Azimute)*

A utilização desse plano para encontrar a direção do Polo Norte Magnético, é amplamente difundida na literatura. Existem trabalhos demonstrando a construção de bússolas eletrônicas utilizando *leds* para indicar os pontos cardeais. Também podemos encontrar em alguns trabalhos, como na Figura 18, relacionando o ângulo do vetor resultante do plano XY com os pontos cardeais e sua respectiva variação angular.

Figura 18 – Tabela que relaciona valores encontrados pelo sensor magnético com o Ponto Cardeal

Direction	Degree corresponding to Direction	Range for that Direction
NORTH	0° / 360°	>338° or < 22°
NORTH-EAST	45°	22° to 68°
EAST	90°	68° to 113°
SOTUH-EAST	135°	113° to 158°
SOUTH	180°	158° to 203°
SOUTH-WEST	225°	203° to 248°
WEST	170°	248° to 293°
NORTH-WEST	315°	293° to 338°

Fonte: (RAJ, 2018)

Na Figura 18 encontramos uma variação angular de aproximadamente 40º para cada

ponto cardeal. Uma variação angular dessa magnitude tornaria inviável utilizar esse sensor no protótipo. Entretanto, com a aplicação do já citado modulo *calibracao\_telescopio.py*, conseguimos maior precisão.

#### 3.3.3.2.2 *Plano XZ (Nível)*

O nivelamento da base do dispositivo é essencial para o correto posicionamento na origem das coordenadas horizontais. Esse nivelamento pode ser feito de forma manual, utilizando um nível de bolha (de água) ou automaticamente com o auxílio de sensores específicos, como por exemplo, o sensor de nivelamento utilizado em impressoras 3D. Contudo, esse tipo de sensor tem um custo elevado o que diverge com uma das premissas do projeto, inspirando-nos a buscar outra opção para viabilizar a automação.

Pesquisando as características do sensor magnético, deparamos com a possibilidade de desenvolver um algoritmo para nivelar a base, utilizando apenas os valores obtidos pelo sensor. Essa hipótese surgiu, quando foi acessado o trabalho de *Electronicwings* (2019), que explica o funcionamento do sensor magnético com auxílio de uma projeção espacial de três planos perpendiculares entre si x\_y, x\_z e y\_z, direcionando a imaginar que as leituras realizadas pelo sensor formam a projeção de um cubo.

Dessa forma é possível inferir que haverá diferenças perceptíveis nas leituras do sensor magnético quando esse cubo imaginário se encontrar em posições diferentes, possibilitando determinar qual é a posição das faces do cubo em relação ao plano formado pelas linhas do campo magnético da Terra.

#### 3.3.3.2.3 Teste da hipótese

Para comprovar a hipótese seguimos a seguinte metodologia:

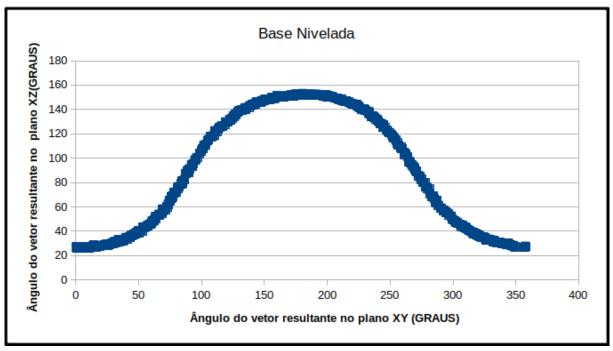
- a) Realizamos diversas medições com a base nivelada e com a base desnivelada;
- b) Construímos os gráficos de dispersão entre os planos de todas as medições;
- c) Verificamos se existe alguma relação entre os planos quando a base está nivelada;

- d) Verificamos as variações existentes quando a base está desnivelada;
- e) Analisamos os resultados em busca de padrões;
- f) Elaboramos as regras a serem implementadas no algoritmo;
- g) Testamos o algoritmo.

# 3.3.3.2.4 Determinação da dispersão entre o ângulo do vetor resultante campo magnético e os planos XY e XZ

A fim de se determinar a dispersão entre os planos XY e XZ foi necessário girar o eixo horizontal do dispositivo em 360° divididos em 430 posições. O ângulo do vetor resultante do campo magnético foi calculado em cada uma das 430 posições com relação aos planos supracitados. Posteriormente utilizaram-se esses valores para construir o gráfico da Figura 19.

Figura 19 – Dispersão entre o ângulo do vetor resultante (graus) do campo magnético com relação plano XY em relação ângulo do vetor resultante (graus) do campo magnético no plano XZ, medidos ao longo de uma trajetória circular de 360°.



Fonte: Autor

Podemos detectar uma correlação, e a partir disso ajustamos a curva utilizando um polinômio de grau 9. Com esse polinômio de grau 9 é possível correlacionar a posição do vetor de um plano para o outro plano e assim a curva resultante desse ajuste será um padrão para as demais verificações.

#### 3.3.3.2.5 Determinando o desnivelamento

Iniciamos uma série de testes, desnivelando a base do dispositivo em ângulos previamente conhecidos e girando o eixo horizontal do dispositivo em 360° em azimute. Os ângulos e a direção do desnivelamento estão descritos na Tabela 4. Padronizamos o deslocamento da base, para acima do nível quando o motor movimenta a base na direção do zênite, e para baixo do nível quando o motor movimenta a base na direção do nadir.

Tabela 4 – Valor do ângulo de desnivelamento usado nas medições.

Ângulo do deslocamento acima do nível	Ângulo do deslocamento abaixo do nível		
14°	14°		
28°	28°		
42°	42°		
56°	56°		

Fonte: Autor

Foram realizadas 4 rotações de 360° em azimute, totalizando 1640 medições em cada desnível. Esses dados foram utilizados para construir os gráficos do Apêndice F. Com os gráficos disponíveis neste Apêndice foi possível analisar a influência do desnivelamento e se essa influência poderia gerar padrões bem definidos.

Consequentemente, constatamos que os valores do plano XZ diminuem quando a base é deslocada para cima do nível e aumentam quando a base é deslocada abaixo do nível, até chegar nos 42º quando ocorre uma deformação em ambos os gráficos.

Apesar de o padrão ser bem definido, os valores envolvidos eram irregulares o que dificultou a elaboração de uma estrutura lógica para o algoritmo. Dessa forma foi necessário

elaborar uma metodologia matemática que detectasse se o sensor está desnivelado e qual o valor desse desnivelamento.

Essa metodologia é detalhada no Apêndice G e foi a base para criarmos as regras utilizadas na função *corrige\_nivel()* do módulo *nivelamento\_utilizando\_coordenadas.py*.

# 3.3.4 Interface da Janela Principal

A interface *janela principal*, apresentado na Figura 20 é a primeira a ser aberta quando o aplicativo é iniciado. Nela o usuário poderá escolher qual será a próxima interface a ser aberta, sendo necessário apenas clicar no botão correspondente.



Figura 20 – Interface principal do aplicativo.

Fonte: Autor

O código dessa interface é um *script* em *Python* vinculado a um ícone na área de trabalho, bastando clicar nesse ícone para iniciar a execução do aplicativo. O ideal é iniciar essa interface somente depois de o *Stellarium* ser iniciado.

# 3.3.5 Interface de controle dos motores de passo

O módulo *motor\_half\_step.py* é o responsável por acionar as saídas digitais do *Raspberry Pi* que enviam os pulsos para acionar os *drives* dos motores. Nesse módulo há duas funções utilizadas para definir o sentido de rotação do motor, mas para que as mesmas sejam acionadas, é necessário:

- a) Determinar quais saídas digitais estão ligadas ao *drive* do motor;
- b) O tempo em milissegundos de cada pulso (velocidade angular);
- c) A quantidade de passos do movimento.

Por uma limitação do motor e do *drive* o tempo de cada pulso não deve ser menor que 100ms e a quantidade de passos mínima para que o motor se movimente é de 6 passos. O módulo *aciona\_motor.py* é a interface gráfica utilizada para movimentar os motores, como podemos ver na Figura 21.

Essa janela será usada para testar os motores

Só digite numeros Inteiros

Digite aqui o tempo em ms de cada passo (>=100)

Digite aqui a quantidade de passos

Controle motor horizontal

horário

anti-horário

Controle motor vertical

horário

anti-horário

anti-horário

Figura 21 – Interface de controle dos motores.

Fonte: Autor

Essa interface é utilizada para testar os motores ou para movimentar a base do dispositivo em posições específicas: tem dois campos de entrada para inserir valores:

- a) De tempo em milissegundos de cada passo;
- b) Da quantidade de passos desejada.

Esses campos devem ser preenchidos com números inteiros, caso contrário aparecerá uma mensagem de erro. Também possui quatro botões, que possibilitam enviar os dados a um motor específico, assim como definir o sentido de rotação.

#### 3.3.6 Interface utilizada para encontrar a origem das coordenadas horizontais

A interface *Calibração do Telescópio*, apresentada na Figura 22 é utilizada para posicionar a base do dispositivo na origem das coordenadas horizontais.

A calibração é uma etapa fundamental para observação

É necessário inserir o valor da declinação Magnética da sua região

Use esse site: https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/calculators/magcalc.shtml#declination

Insira o valor da declinação

Acha o Norte Geografico

Ajuste fino do nivelamento

Usar apenas se necessário

1 passo para cima

1 passo para baixo

Figura 22 – Janela usada para encontrar a origem das coordenadas horizontais

Fonte: Autor

Essa interface possui um campo de entrada onde é inserido o valor do ângulo da

declinação magnética do local. Há quatro botões sendo um para iniciar o processo, dois para ajuste fino do nível e um para sair da interface. Há também uma mensagem que indica uma página da internet em que é possível consultar o valor da declinação magnética do local onde o dispositivo será montado.

Essa interface será utilizada sempre que for necessário fazer o apontamento para a origem das coordenadas horizontais. Todavia, em alguns locais, há a possibilidade de ocorrerem influências externas, impossibilitando o correto nivelamento. Nesse caso poderá realizar-se um ajuste fino utilizando os botões da interface e um nível de água. No intuito de facilitar os trabalhos e agilizar as medições, implementou-se no corpo do dispositivo uma chave de fim de curso que executa automaticamente o ajuste fino do nivelamento.

Depois do primeiro apontamento não será mais necessário utilizar essa interface, uma vez que a referência para outros apontamentos passa a ser o último objeto apontado. Porém, caso haja algum erro durante os trabalhos, essa operação deverá ser repetida para corrigir o posicionamento.

#### 3.3.7 Utilizando as informações do Stellarium no algoritmo

O módulo *acha\_estrela.py* é responsável em executar algumas funções, entre elas:

- a) Receber os valores das coordenadas (valores\_api\_stellarium.py, item 3.3.2.1);
- b) Converter os valores recebidos em ângulos decimais;
- c) Converter os ângulos decimais para passos;
- d) Determina a direção do menor caminho para chegar até o azimute do objeto;
- e) Enviar os comandos para os motores de passo.

É importante relembrar que para o apontamento ocorrer é obrigatório haver algum objeto selecionado na interface do *Stellarium*. Esse deverá ser o primeiro passo para começar o apontamento.

O módulo *acha\_estrela.py*, além das funções de apontamento, também tem a função de acompanhar o objeto em tempo real, convertendo as coordenadas recebidas do *Stellarium* e

enviando comandos continuamente aos motores pelo tempo que for necessário.

Esse algoritmo segue dois conceitos: utilizar as coordenadas em tempo real, e armazenar as coordenadas recebidas em matrizes de uma linha e n colunas [1,n].

As matrizes têm a função de memórias que quando recuperadas permitem saber onde a base do dispositivo está posicionada. Portanto, a memória orienta o algoritmo a tomar a próxima ação, seja de acompanhar o objeto selecionado, ou seja, de posicionar o dispositivo nas coordenadas de outro objeto.

Para compensar a limitação dos motores e seus *drives*, a correção da posição durante o acompanhamento só vai ocorrer quando a diferença da posição inicial e final da memória forem iguais a um ângulo preestabelecido que deve ser igual ou maior do que o ângulo de 10 passos (0° 41' 24").

# 3.3.8 Interface Localiza Objeto

A interface Localiza Objeto, apresentada na Figura 23 utiliza as funções do módulo *acha\_estrela.py* para fazer os apontamentos e possui apenas botões e mensagens. Os botões são agrupados por funções: no lado direito da interface estão os botões de ajuste fino, que tem como finalidade deslocar a base do dispositivo nas 4 direções, possibilitando centralizar o objeto no campo de visão de uma luneta; no lado esquerdo da interface estão os botões de controle, que executam as operações de achar e acompanhar o objeto.

Janela de Apontamento

Antes de começar o trabalho, não esqueça de selecionar o objeto na interface do Stellarium

Se quiser mudar de objeto, tem que selecioná-lo no Stellarium

Ajuste Fino

Posiciona Telescópio

Acha 1º Objeto

Acha Proximo Objeto

Acompanha Objeto

SAIR

Figura 23 – Interface *Localiza Objeto*, utilizada no apontamento.

Fonte: Autor

Quando o botão *Acha Primeiro Objeto* é acionado, a base do dispositivo se desloca até a posição do objeto selecionado no *Stellarium*. O deslocamento ocorre obedecendo à seguinte sequência:

- a) O algoritmo envia a informação do azimute do objeto, e desloca a base para essa posição;
- b) Como esse deslocamento pode levar algum tempo, o algoritmo reenvia a posição do azimute, e desloca a base até a nova posição, caso tenha havido alguma diferença;
- c) Por fim o algoritmo envia a informação da altura do objeto e desloca a base até essa posição.

Vale ressaltar que os motores não se movimentam simultaneamente. A sequência apresentada acima tem como finalidade evitar erros de posicionamento devido a atrasos de informação. Mesmo com esse procedimento é provável que seja necessário um ajuste fino para centralizar o objeto no campo de visão uma vez que esse apontamento depende da precisão do sensor magnético.

O botão Acha Próximo Objeto deverá ser acionado somente após a troca do objeto no

*Stellarium.* Nesse caso o algoritmo recebe as novas coordenadas, faz os cálculos, envia as informações para os motores e posiciona a base nas novas coordenadas. O tempo será um limitador dessa operação, pois basta alguns minutos sem a correção das coordenadas para que se tenha um posicionamento insatisfatório.

O botão *Acompanha Objeto* é o responsável por acionar a função de acompanhamento do objeto, que por sua vez recebe os dados do *Stellarium* em tempo real, corrigindo as coordenadas simultaneamente. O acompanhamento não é automático, pois após o apontamento será necessário posicionar corretamente o objeto no campo de visão antes de acompanhá-lo.

É recomendado que antes de fazer a troca do objeto, se planeje todas as ações a serem executadas, pois o tempo de transição de um objeto para outro deve ser o mínimo possível, uma vez que qualquer demora impactará na precisão do apontamento. Caso ocorra algum problema que comprometa a precisão do apontamento será necessário fechar a interface *Localiza Objeto*, e retornar o dispositivo para a origem das coordenadas horizontais, refazendo o primeiro apontamento, utilizando a interface *Calibração do Telescópio*.

Os botões de ajuste fino deslocam a base do dispositivo em um ângulo específico, que pode ser definido previamente pelo usuário na variável *passos\_minimos\_acompanhamento* no módulo *acha\_estrela.py*.

Existe uma trava lógica nos botões de apontamento, pois caso fosse clicado no botão *Acha Próximo Objeto* antes do primeiro apontamento, o algoritmo iria se perder, já que não teria valores em memória e posicionaria a base em uma posição desconhecida. Essa segurança lógica, tem a finalidade de prevenir erros e perda de tempo. Tanto a interface *Localiza Objeto* quanto a interface do *Stellarium* devem ser visualizadas simultaneamente.

# 4 CALIBRAÇÃO E UTILIZAÇÃO DO DISPOSITIVO

Após a montagem do protótipo e de testes em laboratório, realizamos testes no campo, sobretudo de apontamento e acompanhamento.

# 4.1 MÉTODO DE VALIDAÇÃO DO DISPOSITIVO

O teste de validação foi realizado em quatro etapas, seguindo a ordem das tarefas necessárias para a execução de um apontamento utilizando o dispositivo:

- I. Localização da origem das coordenadas horizontais;
- II. Apontamento para o primeiro objeto;
- III. Acompanhamento do objeto;
- IV. Apontamento para o próximo objeto;

Os apontamentos foram realizados utilizando uma mira laser da cor verde, pois esse tipo de laser cria um rastro bem definido, facilitando a visualização. Com o laser verde é possível localizar o ponto do apontamento, permitindo observar a distância angular entre o apontamento e o objeto.

# 4.2 PRECISÃO DO APONTAMENTO NA DIREÇÃO DO NORTE GEOGRÁFICO

A fim de se determinar a probabilidade de um apontamento acontecer em uma região próxima à direção do norte geográfico, elaboramos uma técnica simples, que consiste em fazer repetidos apontamentos visando um alvo específico. Cada apontamento gera um ponto, e uma sequência de apontamentos gera uma distribuição de pontos ao redor de um centro comum.

Essa distribuição deverá conter uma quantidade mínima de pontos para formar espaço amostral confiável, permitindo determinar-se qual a probabilidade que um apontamento ficará em uma certa região (CORREA, 2003). Para que a coleta de dados seja a mais próxima da

realidade, definimos que a região de direcionamento será o círculo vertical que contenha o Polo Norte Geográfico, em outras palavras, o meridiano local.

Para encontrá-lo observa-se a direção da sombra de uma haste qualquer quando da passagem meridiana do Sol. Com o *Stellarium* configurado corretamente, é possível saber o momento que o Sol passa pelo meridiano superior do lugar. Com o Sol nessa posição basta traçar uma reta paralela à sombra formada por qualquer objeto, que em nosso caso foi a barra de uma janela voltada para o norte.

A partir dessa reta traça-se outra reta perpendicular, sobre um anteparo, onde incidirá a luz do laser, fixado na base do dispositivo. Para assinalar os pontos, foi utilizada uma folha de papel milimetrado presa ao anteparo, como na Figura 24.

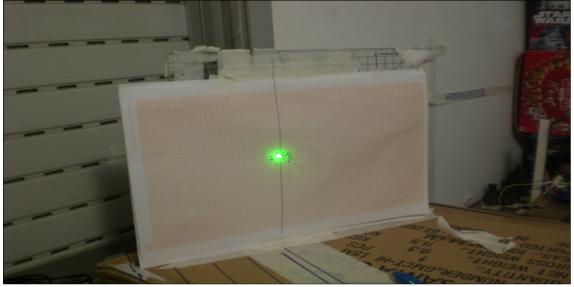


Figura 24 – Alvo utilizado para determinar a precisão da origem das coordenadas horizontais

Fonte: Autor

Para obter um espaço amostral adequado, as medições foram realizadas seguindo uma regra de posicionamento, na qual a base do dispositivo é deslocada de 70° em azimute e 50° em altura. Com a base nessa posição, o procedimento de achar o norte é iniciado (a janela de calibração é aberta, o valor da declinação magnética é inserido e o botão "Acha o Norte Geográfico" é acionado). Após o apontamento marca-se a posição de incidência do feixe de luz. O próximo passo é repetir o procedimento, deslocando a base -70° em azimute e 50° em

altura.

Esse procedimento foi repetido 100 vezes, sendo 50 vezes deslocando a base 70° em azimute e 50° em altura e 50 vezes deslocando a base -70° em azimute e 50° em altura.

#### 4.2.1 Interpretando as medições

A grandeza medida é justamente o afastamento linear de cada ponto em relação ao centro da distribuição. A partir da distância conhecida, entre a base e o anteparo e do ângulo em azimute, determina-se a escala que, em nosso teste, resultou em 3,438'/mm.

A realização de 3 coletas de dados nos permitiu aprimorar a estratégia de forma a considerar confiáveis os resultados do terceiro evento. O aprimoramento resultante da experiência adquirida em cada coleta de dados resultou em algumas alterações a fim de melhorar a precisão entre as coletas de dados, como por exemplo:

- a) Alteração no projeto das engrenagens. No primeiro projeto, o módulo<sup>22</sup> das diferentes engrenagens foi distinto, resultando em um acoplamento inadequado, sendo necessário haver readequações quanto ao projeto mecânico;
- b) Melhorar a precisão das leituras. As leituras do sensor magnético oscilaram excessivamente, dificultando a obtenção de um valor adequado em uma determinada posição. Para se obter valores estáveis, aumentamos o número de linhas da matriz [n,3] que armazena os valores das medições realizadas pelo sensor magnético na mesma posição, portanto o cálculo da média ponderada ficou mais confiável. Entretanto, essa alteração gerou um efeito colateral, pois o tempo que o sensor magnético fica parado em cada posição será maior. O tempo médio para achar a origem das coordenadas horizontais na terceira coleta de dados foi três vezes maior do que as anteriores.

#### 4.2.2 Resultados obtidos na coleta de dados

Os resultados estatísticos nas três coletas de dados foram determinados com auxílio do aplicativo matemático *Geogebra* e são apresentados na Tabela 5. Para determinar as 22 É o diâmetro primitivo de uma engrenagem dividido pelo número de dentes.

probabilidades, definimos os limites da distribuição normal como sendo de ± 0,5 grau, que representa um terço do campo de visão de uma luneta hipotética, como veremos mais a frente. A última coluna da Tabela 5, indica a probabilidade de um apontamento ocorrer a uma distância angular de ± 0,5 grau do meridiano local.

Tabela 5 – Valores dos dados estatísticos da coleta de dados

1 -0,11 0,52 71 2 -0,13 0,52 72	Coleta de dados		Média (graus)	Desvio Padrão (graus)	Probabilidade (%)
2 -0,13 0,52 72	-	1	-0,11		71
•		2	•	0.52	72
3 0,04 0,37 82		3	0,04	0,37	82

Fonte: Autor

Nos resultados percebemos uma melhora significativa nos valores estatísticos da última coleta de dados, fato que se relaciona com as melhorias apresentadas no item 4.2.1. Apesar dessa evolução, podemos inferir que 18% dos apontamentos ficarão a uma distância maior do que a tolerância estabelecida que foi de ± 0,5 grau.

#### 4.3 COLETA DE DADOS REALIZADAS EM CAMPO

As coletas de dados foram realizadas em locais com pouca poluição luminosa, para facilitar a visualização dos objetos menos brilhantes e foram divididos da seguinte forma:

- a) Primeiro apontamento, cuja referência é a origem das coordenadas horizontais;
- b) Demais apontamentos, cuja referência é a coordenada do último objeto apontado;
- c) Acompanhamento do objeto, cuja métrica será o tempo máximo que um objeto encontrado fica no campo visual da luneta.

# 4.3.1 Método utilizado para estimar a distância angular entre o apontamento da luz do laser e o objeto celeste

O método utilizado para determinar a distância angular do apontamento dividiu-se em duas etapas:

- a) Observa-se a distância entre o apontamento do laser verde e o objeto selecionado;
- b) Utiliza-se os botões de ajuste fino da interface *Localiza Objeto*, para centralizar a luz do laser no objeto selecionado.

As medidas que nos permitiram ajustar a posição do alvo do apontamento foram obtidas utilizando os botões de ajuste fino que permitem movimentar a base através de "cliques" com escala conhecida. A contagem do número de "cliques" nos fornece a distância angular entre a posição inicialmente apontada e aquela almejada. Nesses ajustes foram anotadas as direções dos deslocamentos e a quantidade de cliques necessários para encontrar o objeto. Para definir uma ordem nas direções a serem corrigidas, sempre iniciamos a correção pelo azimute seguido pela altura.

#### 4.3.2 Resultados obtidos nas coletas de dados

No Apêndice E estão as planilhas com todas informações referentes as coletas de dados realizadas. Analisamos os resultados dessas coletas em dois tipos de apontamentos.

- a) Dados referentes ao 1º apontamento do dispositivo, que tem como referência a origem das coordenadas horizontais, apresentados na Tabela 6.
- b) Dados referentes aos demais apontamentos que tiveram como referência o objeto anteriormente encontrado, apresentados na Tabela 7.

Com base nessas coletas, determinamos as probabilidades dos apontamentos ocorrerem no campo de visão de 1,5° de uma luneta hipotética compatível, portanto, como

muitas lunetas de baixo custo encontradas no mercado.

Tabela 6 – Valores das probabilidades do primeiro apontamento ocorrer na região do campo de visão de uma luneta hipotética, nas duas coletas de dados

Coleta de	Azimute			Altura		
Dados	Média	Desvio Padrão	Probabilidade	Média	Desvio Padrão	Probabilidade
1	0,63°	1,89°	54,7 %	-0.12°	0,71°	96,6 %
2	0,06°	1,0°	86,4 %	0,52°	0,97°	82,5 %

Fonte: Autor

Tabela 7 – Valores das probabilidades dos demais apontamentos ocorrerem na região do campo de visão de uma luneta, nas duas coletas de dados

Coleta	Azimute			Altura		
de Dados	Média	Desvio Padrão	Probabilidade	Média	Desvio Padrão	Probabilidade
1	0,82°	1,57°	66,7%	-0,17°	0,60°	98,3%
2	0,16°	1,39°	71,9%	0°	1,00°	86,8%

Fonte: Autor

Os dados das Tabelas 6 e 7 demonstram que a probabilidade de um apontamento ocorrer no campo visão da luneta hipotética é superior a 70%.

A função de acompanhar o objeto foi testada e os resultados foram satisfatórios, uma vez que todos os objetos selecionados foram acompanhados por um período de 20 minutos sem saírem do campo de visão da luneta hipotética usada nessa simulação (não foram realizados testes com tempo acima de 20 minutos).

#### 5 CONCLUSÃO

O texto apresentado é um descritivo do trabalho realizado e se destina à banca julgadora e ao público especializado em geral. É possível e temos como perspectiva, a elaboração de um texto enxuto e didático que possa guiar com certa facilidade, professores e estudantes que queiram seguir esses passos e tomar o protótipo aqui desenvolvido como exemplo.

Como proposto e apresentado, desenvolvemos aqui um dispositivo automatizado de baixo custo (aproximadamente 511 reais em 14/11/2019) que utiliza o banco de dados do *Stellarium* para encontrar e acompanhar objetos no céu. Este dispositivo foi construído utilizando o conceito de *hardware* e *software* livres, permitindo que qualquer pessoa possa copiar, modificar e mesmo, aprimorar o projeto como um todo.

Destacamos aqui, algumas características fundamentais desse projeto:

- a) Utilização do sensor magnético não apenas para direcionamento, mas também para nivelamento.
  - b) A integração do dispositivo com o aplicativo Stellarium.
  - c) Método para encontrar o ponto cardeal norte utilizando o Stellarium;
- d) Métodos de calibração do dispositivo, em especial aquele relativo ao apontamento de um astro.

Conforme vimos no Capítulo 4, mais de 70% dos apontamentos seriam bem sucedidos no caso de um campo de visão 1,5 graus o que para nós é bastante satisfatório para esse protótipo e consequentemente para esse trabalho de mestrado. Para eventuais aperfeiçoamentos desse quesito, recomendamos os seguintes:

- a) otimização do sistema de transmissão de movimento, aumentando quantidade ou relação das engrenagens ou até mesmo substituindo as engrenagens por correias dentadas, restringindo as folgas e diminuindo o deslocamento angular;
  - b) substituição dos motores de passo, alterando-os para um modelo de maior potência

e que não possua um redutor interno, visando minimizar os efeitos das folgas;

c) substituição do *driver* do motor, alterando-o para um modelo que possibilite a utilização de micropassos, melhorando a precisão das paradas.

Destacamos ainda, que o funcionamento do algoritmo executou satisfatoriamente todas funções requisitadas bem como as peças mecânicas suportaram adequadamente os testes de funcionamento.

Evidentemente, o protótipo aqui desenvolvido, mesmo que aperfeiçoado, será sempre bastante limitado se comparado com muitos dos produtos oferecidos no mercado a preços, na maioria das vezes, inacessíveis para a grande maioria da população. O objetivo aqui, é também a observação, mas muito mais que isso, é o desenvolvimento do dispositivo a baixo custo e claro, o aprendizado daqueles que se dispuserem a enfrentar esse desafio.

No âmbito educacional esse trabalho almeja atingir as diretrizes estabelecidas pelo Novo Ensino Médio, na qual enfatiza que a proposta experimental será o norte do processo ensino-aprendizagem. Naturalmente, o fator tecnológico agrega valor ao produto final, possibilitando conectar tópicos teóricos em várias disciplinas abordados em sala de aula, com aplicação e desenvolvimentos práticos além de um resultado final altamente prazeroso e recompensador, o apontamento e acompanhamento de um objeto celeste.

O foco desse trabalho é trazer uma contribuição significativa para enriquecer e motivar o ensino de maneira geral em vários domínios e em particular em Astronomia. Um tal desenvolvimento incute conceitos de investigação científica, metodologia e experiências práticas.

Claro, se imagina aqui, que essa aventura se transforme em uma opção, em uma ferramenta a mais, que possa atrair grupos de professores e alunos interessados e permitir ir muito além de um trabalho escolar, com saldos dos mais positivos a nível de interdisciplinaridade e sociabilidade.

#### REFERÊNCIAS

**Amazon**. Disponível em: <a href="https://www.amazon.com/Nikula-Zoomable-Pocket-Size-Monocular-Telescopes/dp/B07HJ63TYT/ref=sr\_1\_fkmr1\_1?keywords=Nikula+Modelo+10-30x25&qid=1574561423&s=electronics&sr=1-1-fkmr1>. Acesso em: 24 nov. 2019.

ARIAS, E. F. et al. The extragalactic reference system of the International Earth Rotation Service, ICRS. **Astronomy and Astrophysics**, v. 303, p. 604–608, 1995.

BOCZKO, R. **Conceitos de Astronomia**. 1ª ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher LTDA, 1984.

BRASIL. **Novo Ensino Médio**. Disponível em:

<a href="http://novoensinomedio.mec.gov.br/#!/pagina-inicial%23animation">http://novoensinomedio.mec.gov.br/#!/pagina-inicial%23animation</a>>. Acesso em: 19 out. 2019.

BRET STATEHAM. **(41) 28BYJ-48 Stepper Motor and ULN2003 Driver Intro - YouTube**. Disponível em: <a href="https://www.youtube.com/watch?v=B86nqDRskVU&feature=youtu.be">https://www.youtube.com/watch?v=B86nqDRskVU&feature=youtu.be</a>. Acesso em: 6 out. 2019.

BRETONES, P. S.; COMPIANI, M. a Observação Do Céu Como Ponto De Partida E Eixo Central Em Um Curso De Formação Continuada De Professores. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, v. 12, n. 2, p. 173–188, 2015.

CARNEIRO, D. L. C. M.; LONGHINI, M. D. DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA: AS REPRESENTAÇÕES SOCIAIS DE PESQUISADORES BRASILEIROS QUE ATUAM NO CAMPO DA ASTRONOMIA. **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia**, p. 7–35, 2015.

CARVALHO, T. F. G. DE; PACCA, J. L. DE A. A OBSERVAÇÃO DO CÉU COMO UM OBJETO DE ENSINO: O QUE DIZ A PESQUISA EM ENSINO DE CIÊNCIAS. XVI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. Anais. Natal: Banco de Dados Bibliográficos da USP, 2016 Disponível em:

<a href="http://dedalus.usp.br/F/39JB2YP3FTAY4PYXVJ1LLU5AKHXPMGD4S3S218VSMB5IDPVFF1-48625?func=full-set-set&set\_number=029814&set\_entry=000001&format=999">http://dedalus.usp.br/F/39JB2YP3FTAY4PYXVJ1LLU5AKHXPMGD4S3S218VSMB5IDPVFF1-48625?func=full-set-set&set\_number=029814&set\_entry=000001&format=999></a>

CARVALHO, T. F. G.; PACCA, J. L. DE A. A importância da observação do céu no cotidiano escolar: o ponto de vista do professor. **Simpósio Nacional de Ensino de Física**, n. 2001, p. 1–8, 2013.

CORPORATION, Q. **3-Axis Magnetic Sensor QMC5883L**, 2016. Disponível em: <a href="https://nettigo.pl/attachments/440">https://nettigo.pl/attachments/440></a>

CORREA, S. M. DE B. Probabilidade e estatística. p. 116, 2003.

COSTA, S.; EUZÉBIO, G. J.; DAMASIO, F. A Astronomia na Formação Inicial de Professores de Ciências. **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia**, p. 59–80, 2016.

CUNHA, L. M. A. DA. Rasch models and Likert and Thurstone scales in measuring attitudes [Modelos Rasch e escalas de Likert e Thurstone na medição de atitudes]. **Ciências, Faculdade D E**, 2007.

DAMINELI, A.; STEINER, J. **O Fascínio do Universo**. 1. ed. São Paulo: Odysseus Editora, 2010.

DIAS, C. A. C. M.; RITA, J. R. S. Inserção da astronomia como disciplina curricular no ensino médio. **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia**, v. 6, p. 55–65, 2008.

ELECTRONICWINGS. **HMC5883L Magnetometer Module** | **Sensors & Samp; Modules**. Disponível em: <a href="http://www.electronicwings.com/sensors-modules/hmc5883l-magnetometer-module">http://www.electronicwings.com/sensors-modules/hmc5883l-magnetometer-module</a>>. Acesso em: 11 maio. 2019.

FRIENDS-OF-FRITZING FOUNDATION. **Fritzing Fritzing**. Disponível em: <a href="http://fritzing.org/home/">http://fritzing.org/home/</a>>. Acesso em: 1 maio. 2019.

GEORG ZOTTI. Refraction - Grupos do Google. Disponível em:

<a href="https://groups.google.com/forum/#!searchin/stellarium/ubiratan%7Csort:date/stellarium/wnGBDCQY4Zg/Mte\_IEXJEQAJ">https://groups.google.com/forum/#!searchin/stellarium/ubiratan%7Csort:date/stellarium/wnGBDCQY4Zg/Mte\_IEXJEQAJ</a>. Acesso em: 15 out. 2019.

GITHUB. **GitHub: Where open source communities live**. Disponível em:

<a href="https://github.com/open-source">https://github.com/open-source</a>. Acesso em: 22 abr. 2019.

GONZATTI, S. E. M. et al. ENSINO DE ASTRONOMIA: CENÁRIOS DA PRÁTICA DOCENTE NO ENSINO FUNDAMENTAL. **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia**, v. 16, p. 27–43, 2013.

GOOGLE. **Sky Map – Apps no Google Play**. Disponível em: <a href="https://play.google.com/store/apps/details?id=com.google.android.stardroid">https://play.google.com/store/apps/details?id=com.google.android.stardroid</a>. Acesso em: 11 abr. 2019.

GOOGLE. **Sites prof.educacao.sp.gov.br - Google Sites**. Disponível em: <a href="https://sites.google.com/a/prof.educacao.sp.gov.br">https://sites.google.com/a/prof.educacao.sp.gov.br</a>>. Acesso em: 23 abr. 2019.

GREICIUS, T. InSight Mars Lander | Missions. 2015.

HONEYWELL. Magnetic Sensors Product Catalog COMPASSING, MAGNETOMETRY AND DEAD RECKONING SOLUTIONS Sensing Earth's magnetic field, 2015.

INSTITUTE, I. G. https://www.geogebra.org/. Disponível em:

<a href="https://www.geogebra.org/">https://www.geogebra.org/</a>>. Acesso em: 12 maio. 2019.

JANGEOX. Jangeox' blog: Stepper motor 28BYJ-48. Disponível em:

<a href="http://www.jangeox.be/2013/10/stepper-motor-28byj-48\_25.html">http://www.jangeox.be/2013/10/stepper-motor-28byj-48\_25.html</a>>. Acesso em: 18 out. 2019.

KIATRONICS. 28BYJ-48 – 5V Stepper Motor. p. 8231, 2001.

LANGHI, R.; NARDI, R. Ensino da astronomia no Brasil: educação formal, informal, não formal e divulgação científica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n. 4, p. 4402–4412, 2010.

LEITE, C.; HOSOUME, Y. Os professores de ciências e suas formas de pensar a astronomia. **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia**, v. 4, n. 1806–7573, p. 47–68, 2007.

LIVI, S. H. B. Abra sua janela para o céu. **Caderno Catarinense de Ensino d eFpisica**, v. 4, n. 3, p. 158–163, 1987.

LONGHINI, M. D. OBJETO VIRTUAL DE APRENDIZAGEM NO ENSINO DE ASTRONOMIA: ALGUMAS SITUAÇÕES PROBLEMA PROPOSTAS A PARTIR DO SOFTWARE STELLARIUM. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 3, p. 433–448, 2010.

**Mapa do céu**. Disponível em: <a href="https://www.heavens-above.com/skychart.aspx?">https://www.heavens-above.com/skychart.aspx?</a> SL=1&SN=1&lat=-23.533&lng=-46.617&loc=S%E3o+Paulo&alt=637&tz=EBST>. Acesso em: 11 abr. 2019.

MARTIOLI, E. **Apostila do curso de construção de telescópios** São José dos CamposINPE, 2009.

MATTHEW GATES. Stellarium Astronomy Software. Disponível em:

<a href="http://stellarium.org/pt\_BR/">http://stellarium.org/pt\_BR/</a>>. Acesso em: 5 maio. 2019.

Motions of the Sun Simulator - Motions of the Sun - NAAP. Disponível em:

<a href="https://astro.unl.edu/naap/motion3/animations/sunmotions.html">https://astro.unl.edu/naap/motion3/animations/sunmotions.html</a>. Acesso em: 11 abr. 2019.

MRO, I. S. Step motors: torque, angle tolerance, resonance, ripple, frecuency.

Disponível em: <a href="http://www.sapiensman.com/step\_motor/stepping">http://www.sapiensman.com/step\_motor/stepping motors.htm#tolerance</a>. Acesso em: 20 ago. 2019.

NICCOLO RIGACCI. py-qmc5883l/calibration at master · RigacciOrg/py-qmc5883l · GitHub. Disponível em:

<a href="https://github.com/RigacciOrg/py-qmc5883l/tree/master/calibration">https://github.com/RigacciOrg/py-qmc5883l/tree/master/calibration</a>>. Acesso em: 28 abr. 2019.

Observatório Astronômico - Página Inicial. Disponível em:

<a href="http://www.fis.unb.br/observatorio/">http://www.fis.unb.br/observatorio/</a>>. Acesso em: 20 out. 2019.

OHNSMAN, A. **Google's Self-Driving Car Moonshot Looks Like A Bargain**. Disponível em: <a href="https://www.forbes.com/sites/alanohnsman/2017/09/15/at-1-1-billion-googles-self-driving-car-moonshot-looks-like-a-bargain/#2662d34857bb">https://www.forbes.com/sites/alanohnsman/2017/09/15/at-1-1-billion-googles-self-driving-car-moonshot-looks-like-a-bargain/#2662d34857bb</a>. Acesso em: 31 out. 2019.

ORTIZ, R. Conceitos Básicos em Astronomia de Posição São Paulo, 2011.

PEIXOTO, D. E.; KLEINKE, M. U. Expectativas de Estudantes sobre a Astronomia no Ensino Médio. **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia**, v. 1, p. 21–34, 2016.

PI—TEACH, R. learn, and make with Raspberry Pi. Raspberry Pi [Internet].[cited 23 Mar 2017]. https://www.raspberrypi.org, 2016.

PICAZZIO, E. et al. **O Céu que nos Envolve**. 1º ed. São Paulo: [s.n.].

**Portal do Professor**. Disponível em: <a href="http://portaldoprofessor.mec.gov.br/perfil.html?ua="%2Flink.html%3Fcategoria%3D12">http://portaldoprofessor.mec.gov.br/perfil.html?ua="%2Flink.html%3Fcategoria%3D12">http://portaldoprofessor.mec.gov.br/perfil.html?ua="%2Flink.html%3Fcategoria%3D12">http://portaldoprofessor.mec.gov.br/perfil.html?ua="%2Flink.html%3Fcategoria%3D12">http://portaldoprofessor.mec.gov.br/perfil.html?ua="%2Flink.html%3Fcategoria%3D12">http://portaldoprofessor.mec.gov.br/perfil.html?ua="%2Flink.html%3Fcategoria%3D12">http://portaldoprofessor.mec.gov.br/perfil.html?ua="%2Flink.html%3Fcategoria%3D12">http://portaldoprofessor.mec.gov.br/perfil.html?ua="%2Flink.html%3Fcategoria%3D12">http://portaldoprofessor.mec.gov.br/perfil.html?ua="%2Flink.html%3Fcategoria%3D12">http://portaldoprofessor.mec.gov.br/perfil.html?ua="%2Flink.html%3Fcategoria%3D12">http://portaldoprofessor.mec.gov.br/perfil.html?ua="%2Flink.html%3Fcategoria%3D12">http://portaldoprofessor.mec.gov.br/perfil.html?ua="%2Flink.html%3Fcategoria%3D12">http://portaldoprofessor.mec.gov.br/perfil.html?ua="%2Flink.html%3Fcategoria%3D12">http://portaldoprofessor.mec.gov.br/perfil.html?ua="%2Flink.html%3Fcategoria%3D12">http://portaldoprofessor.mec.gov.br/perfil.html?ua="%2Flink.html%3Fcategoria%3D12">http://portaldoprofessor.mec.gov.br/perfil.html?ua="%2Flink.html%3Fcategoria%3D12">http://portaldoprofessor.mec.gov.br/perfil.html%3Fcategoria%3D12">http://portaldoprofessor.mec.gov.br/perfil.html%3Fcategoria%3D12">http://portaldoprofessor.mec.gov.br/perfil.html%3Fcategoria%3D12">http://portaldoprofessor.mec.gov.br/perfil.html%3Fcategoria%3D12">http://portaldoprofessor.mec.gov.br/perfil.html%3Fcategoria%3D12">http://portaldoprofessor.mec.gov.br/perfil.html%3Fcategoria%3D12">http://portaldoprofessor.mec.gov.br/perfil.html%3Fcategoria%3D12">http://portaldoprofessor.mec.gov.br/perfil.html%3Fcategoria%3D12">http://portaldoprofessor.mec.gov.br/perfil.html%3Fcategoria%3D12">http://portaldoprofessor.mec.gov.br/perfil.html%3Fcategoria%3D12">http://port

PRADO, I. G. A.; FARHA, V. Z. DE A. R.; LARANJEIRA, M. I. **PARÂMETROS CURRICULARES NACIONAIS: Ciências Naturais**. Brasília: [s.n.]. Disponível em: <a href="http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/livro04.pdf">http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/livro04.pdf</a>>.

**Principal** | **Fab Lab Livre SP**. Disponível em: <a href="http://fablablivresp.art.br/">http://fablablivresp.art.br/</a>. Acesso em: 27 abr. 2019.

**Product Support - Orion StarBlast AutoTracker Altazimuth Mount**. Disponível em: <a href="https://www.telescope.com/catalog/product.jsp?productId=102892">https://www.telescope.com/catalog/product.jsp?productId=102892</a>. Acesso em: 20 out. 2019.

QUALITY TRANSMISSION COMPONENTS. **Elements of Metric Gear Technology: Section 15**, 2004. Disponível em: <a href="http://scholar.google.com/scholar?">http://scholar.google.com/scholar?</a> hl=en&btnG=Search&q=intitle:ELEMENTS+OF+METRIC+GEAR+TECHNOLOGY#0>

RAJ, A. **Digital Compass using Arduino and HMC5883L Magnetometer**. Disponível em: <a href="https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/digital-compass-with-arduino-and-hmc5883l-magnetometer">https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/digital-compass-with-arduino-and-hmc5883l-magnetometer</a>. Acesso em: 11 maio. 2019.

**Raspberry Pi GPIO Pinout**. Disponível em: <a href="https://pinout.xyz/#">https://pinout.xyz/#>. Acesso em: 21 out. 2019.

RESISTORGUIDE. **Magneto resistor - Magnetic Dependent Resistor » Resistor Guide**. Disponível em: <a href="http://www.resistorguide.com/magneto-resistor/">http://www.resistorguide.com/magneto-resistor/</a>>. Acesso em: 1 maio. 2019.

ROSSUM, G. VAN. Installing Python Modules. **Python**, p. 1–50, 2017.

Sagan, C. (2017). Cosmos. (C. das Letras, Org.) (1a). São Paulo.

Sagan, C. (1987). **The Burden of Skepticism by Carl Sagan.** Skeptical Inquirer, 12. Recuperado de https://skepticalinquirer.org/1987/10/the\_burden\_of\_skepticism/

SANZOVO, D. T.; LABURÚ, C. E. NÍVEIS INTERPRETANTES POR ALUNOS DE ENSINO SUPERIOR SOBRE AS ESTAÇÕES DO ANO. **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia**, v. 22, p. 35–58, 2016.

SCHAUKOWITSCH, F.; ZOTTI, G. **Stellarium: Remote Control Plug-in documentation**. Disponível em: <a href="http://stellarium.org/doc/0.15/remoteControlDoc.html">http://stellarium.org/doc/0.15/remoteControlDoc.html</a>. Acesso em: 5 maio. 2019.

SMITH, P. D.; ZWART, J. **Pratical Astronomy with your Calculator or Spreadsheet**. Quanta ed. New Work: [s.n.].

SOUZA, O. DE; GREGORIO-HETEM, J.; AMON, M. C. I. Atividades Práticas Do Projeto Telescópios Na Escola : **7 Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, p. 11, 2009.

SOUZA, P. J. A. DE. **Motor de Passo Motor de Passo** Belo Horizonte Universidade Federal de Minas Gerais, 2006.

#### **Stellarium: Refraction Class Reference**. Disponível em:

<a href="http://stellarium.org/doc/0.15/classRefraction.html">http://stellarium.org/doc/0.15/classRefraction.html</a>. Acesso em: 28 out. 2019.

TEIXEIRA, R. O Céu ao Alcance de Todos. Caderno de Ensino de Ciências e Saúde do projeto Pedagogia Cidadã da UNESP, 2015.

THE FREECAD TEAM. **FreeCAD: Your Own 3D Parametric Modeler**, 2018. Disponível em: <a href="https://www.freecadweb.org/">https://www.freecadweb.org/</a>. Acesso em: 22 abr. 2019

**tutorials-raspberrypi**. Disponível em: <a href="https://tutorials-raspberrypi.com/raspberry-pi-sensors-overview-50-important-components/">https://tutorials-raspberrypi.com/raspberry-pi-sensors-overview-50-important-components/</a>. Acesso em: 27 abr. 2019.

#### Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em:

<a href="http://www.if.ufrgs.br/~fatima/planisferio/celeste/Planisfe.htm">http://www.if.ufrgs.br/~fatima/planisferio/celeste/Planisfe.htm</a>. Acesso em: 11 abr. 2019.

VASILIEF, I. **QtiPlot**. Disponível em: <a href="https://www.qtiplot.com/">https://www.qtiplot.com/>. Acesso em: 12 maio. 2019.

WILLIAMS, R.; HUBBLE DEEP FIELD TEAM, T. **Hubble Deep Field Image Unveils Myriad Galaxies Back to the Beginning of Time**, 1996. Disponível em:

<a href="https://www.jpl.nasa.gov/spaceimages/details.php?id=PIA12110">https://www.jpl.nasa.gov/spaceimages/details.php?id=PIA12110</a>>. Acesso em: 31 out. 2019

# APÊNDICE A – TUTORIAL PARA OBTER E DESCOMPACTAR A IMAGEM (.ISO) QUE CONTÉM O SISTEMA OPERACIONAL E OS ARQUIVOS NECESSÁRIOS PARA O FUNCIONAMENTO DO DISPOSITIVO

#### 1. ENCONTRANDO E COPIANDO A IMAGEM (.iso)

A imagem (.iso) com todos os arquivos necessários para o funcionamento do Dispositivo está disponibilizada no link:

https://drive.google.com/drive/folders/1-8t38dVEHFIACykCEkaOUg9-IHpkiAlt

#### 2. COMO DESCOMPACTAR A IMAGEM

- I. A imagem tem 64 *Gb*;
- II. Para criar o disco inicializável no Sistema Operacional *Windows*, é necessário usar o *Rufususb*, e seguir o tutorial da página <a href="https://pt.wikihow.com/Usar-o-Rufus">https://pt.wikihow.com/Usar-o-Rufus</a>.
- III. Para criar o disco inicializável no Sistema Operacional Linux, devemos seguir os passos abaixo:
- a) Entre no *bash* e vá até o diretório onde o arquivo foi armazenado, o comando usado é o *cd* "*diretorio\_onde \_o\_arquivo\_foi\_salvo*";
- b) Após entrar nesse diretório utilize o comando *ls* para verificar se o *.iso* está salvo nesse local;
- c) Insira o cartão em um leitor de cartão, e insira o leitor de cartão em uma porta USB da máquina, onde o arquivo foi salvo;
- d) Digite o comando *lsblk*, e veja qual foi o local sdx que o cartão foi montado, o x deve ser uma letra inicial do alfabeto;
- e) Com o sdx do cartão, digite o comando no *bash*: *sudo dd if=arquivo.iso of= / dev/sdx status=progress*. Esse procedimento pode demorar várias horas.
  - f) Ao terminar, insira na Raspberry Pi.

Na seta da Figura 1, temos o local onde deve-se inserir o cartão com a imagem.

A partir dai a *Raspberry Pi* esta pronta para uso.

Figura 1– Conector de encaixe do cartão microSD da Raspberry Pi



Fonte: Raspberrypi.org

#### APÊNDICE B: UTILIZANDO OS APLICATIVOS DO DISPOSITIVO

Antes de iniciar a *Raspberry Pi* é necessário conectar os dois *flatcables* da Placa Controladora, sendo um para a *Raspberry Pi* e o outro para o dispositivo de apontamento. Esse procedimento é necessário para se evitar problemas elétricos. Também é necessário conectar o monitor, mouse e teclado. Para iniciar acione as duas chaves da Placa Controladora, sendo a primeira para energizá-la e a segunda para energizar a *Raspberry Pi*, conforme a Figura 1.

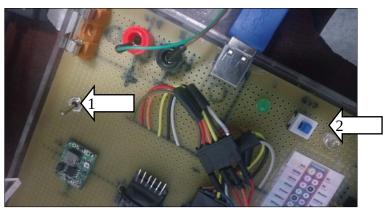


Figura 1-Chaves da placa controladora.

Fonte: Autor

O Sistema Operacional *Raspbian* deverá iniciar e exibir a interface da Figura 2 que é a área de trabalho.

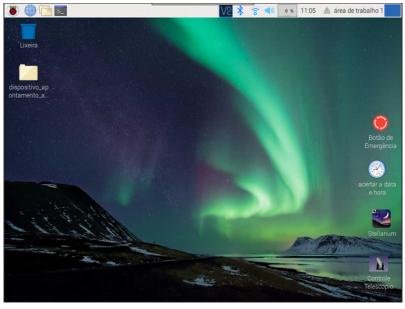


Figura 2: Área de trabalho do Raspbian.

Conforme a Figura 2, a área de trabalho apresenta no lado direito, quatro ícones, sendo o primeiro um botão de emergência, que tem como finalidade cessar todos movimentos do protótipo. O segundo ícone é o ajuste de data, caso o equipamento esteja instalado em um local sem acesso à internet, a inserção manual da data e hora é obrigatória. Ao clicar nesse ícone é executado o *bash*, sendo necessário apenas inserir os valores solicitados em ordem sequencial. É essencial que se verifique, depois de algum tempo, se o valor inserido está correto, observando o relógio no topo direito da tela. O terceiro ícone inicia o *Stellarium*, e o quarto ícone inicia o aplicativo utilizado para fazer o apontamento e o acompanhamento dos objetos celestes.

Os passos a seguir devem ser seguidos para executar o primeiro apontamento:

- a) Abrir o *Stellarium*, pelo ícone da área de trabalho, localizado abaixo do ícone de ajuste do relógio;
- b) Verifique nas configurações do *Stellarrium* se as coordenadas geográficas estão corretas, conforme item *Utilizando os dados do Stellarium*. Essa informação é essencial;
- c) O botão que ativa a atmosfera no *Stellarium* deve estar habilitado para que o valor da altura fornecido por esse software seja o mais próximo possível daquele em que se

#### encontra o astro;

- d) Selecione o objeto celeste na interface do *Stellarium*, certifique que esse objeto está acima do horizonte, a uma altura possível de ser observada;
- e) Abra a interface de apontamento pelo ícone na área de trabalho, a janela da interface principal será exibida, conforme Figura 3;



Figura 3: Janela principal do aplicativo.

Fonte: Autor

f) Nessa interface, selecione a opção Encontra o Norte; essa janela será utilizada para posicionar a base do dispositivo na origem das coordenadas horizontais e é apresentada na Figura 4.

Figura 4: Janela usada para posicionar a base do dispositivo na origem das coordenadas horizontais.



- g) Para que esse procedimento ocorra corretamente, o dispositivo deve estar montado o mais longe possível de campos magnéticos externos. Portanto, recomendamos que não se monte o dispositivo próximos a cabos elétricos energizados ou estruturas metálicas;
- h) Na janela representada na Figura 4 há uma mensagem indicando o site que poderá ser utilizado para obter o valor da declinação magnética local. Esse valor deverá ser inserido no campo indicado com uma seta: esse valor deverá conter uma casa decimal separada por "ponto" (exemplo: 15.6).
- i) Após a inserção da declinação magnética, deve-se clicar no botão acha o norte geográfico, que o processo se iniciará automaticamente;
- j) Esse processo levará entre 5 a 8 minutos. Durante esse período a tela da interface ficará travada;
- l) Após encontrar o norte geográfico pode-se então iniciar o apontamento. Para isso, feche a janela Calibração do Telescópio voltando à Janela Principal e selecione a opção Acha Estrela, essa janela é apresentada na Figura 5.

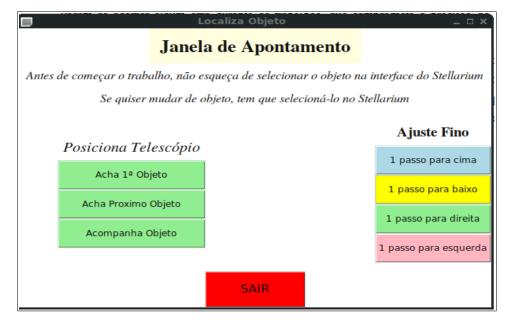


Figura 5: Janela utilizada nos apontamentos.

- m) Na janela *Localiza Estrela* há dois conjuntos de botões, os da esquerda serão os utilizados para fazer os apontamentos e os da direita, serão os botões utilizados para centralizar o objeto no campo de visão.
- n) Quando selecionarmos a opção Acha 1º Objeto, a base do dispositivo irá se deslocar para a posição do objeto selecionado no *Stellarium*;
- o) Com a base posicionada, devemos utilizar os botões de ajuste fino para centrar o objeto no campo de visão;
- p) Assim que o objeto for centralizado no campo de visão, devemos iniciar o acompanhamento selecionando a opção Acompanha Objeto;
- q) Para apontar para outro objeto, é necessário primeiro selecionar o objeto na interface do *Stellarium*, para depois selecionar a opção acha próxima estrela.

Todo o código utilizado nessa aplicação é encontrado no link abaixo: https://github.com/udcampos/Device-Autotracker-Altazimuth-Mount-for-education-userses.git

#### APÊNDICE C – TUTORIAL PARA DIVERSAS CONFIGURAÇÕES DO RASPBIAN

Esse tutorial tem a finalidade de orientar como devem ser realizadas algumas configurações da *Raspberry Pi* para ser utilizada no dispositivo de apontamento e acompanhamento desse projeto, caso não seja utilizado o procedimento do Apêndice A.

É importante seguir todos os passos desse tutorial, pois há alguns detalhes que podem comprometer o bom funcionamento deste componente.

A fonte de alimentação e o cabo USB que conecta a fonte à *Raspberry Pi* devem possuir as especificações mínimas necessárias, para que não ocorra queda de tensão e consequentemente o funcionamento inadequado da placa.

Caso seja necessário autenticação para executar alguma tarefa, o padrão do sistema é **usuário:** pi e **senha:** raspberry.

#### 1 CONFIGURANDO A REDE NO RASPBIAN

Após entrar na área de trabalho do *Raspbian* é possível configurar a rede, mesmo não sendo um requisito necessário para o funcionamento do dispositivo. Caso deseje utilizar uma rede cabeada, basta conectar o cabo que a configuração será executada automaticamente, desde que a rede possua um servidor *DHCP*. Caso utilize uma rede *WiFi* protegida com senha, a configuração deverá ser realizada nas configurações de rede da interface gráfica.

#### 2 CONFIGURANDO O FIRMWARE DA RASPIBERRY PI

Para entrar na configuração da *Raspberry Pi*, será necessário abrir o *bash* e executar o comando *sudo raspi-config*. Na Figura 1 temos a janela principal de configuração da placa que será executada após o comando acima.

pi@raspberrypi: ~/Desktop/projeto\_mestrado/codigos aspberry Pi 3 Model B Rev 1.2
Raspberry Pi Software Configuration Tool (raspi-config) Change password for the curren configure network settings Configure options for start-up Set up language and regional sconfigure connections to perip Configure overclocking for you Configure advanced settings Update this tool to the latest Information about this configu Network Options Network Options
Boot Options
Localisation Options
Interfacing Options
Overclock
Advanced Options Update About raspi-config <Select> <Finish>

Figura 1 - Janela de configuração da placa.

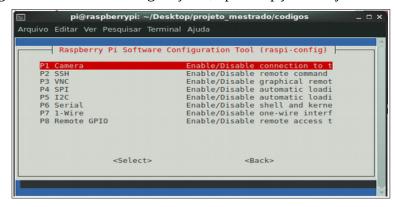
Fonte: Autor

Se em alguma etapa for solicitado para iniciar o sistema Raspbian, o mesmo deverá ser feito, retornando para a janela principal assim que o Raspbian iniciar.

Na janela principal selecionamos a opção 5. A partir dessa janela seremos direcionados para janela da Figura 2. Nessa janela devemos habilitar quatro opções:

- a) P2- Servidor SSH
- b) P3 Servidor *VNC*;
- c) P5- Conexão com o sensor;
- d) P8- Entradas e saídas digitais

Figura 2 - Janela de configuração 2, após a opção 5 da janela inicial



#### 3 CONFIGURANDO AS FUNÇÕES DE VÍDEO

Na janela principal escolhemos a opção 7. Com isso, seremos direcionados para a janela da Figura 3, onde encontramos as opções para configurar o vídeo.

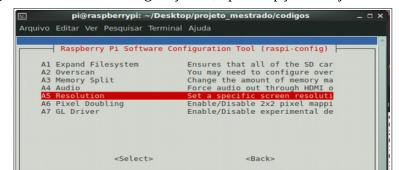


Figura 3 - Janela de configurações 3, após a opção 7 da janela inicial.

Fonte: Autor

Nessa janela selecionamos a opção A7. Com isso seremos direcionados para a janela de seleção do *driver* de aceleração gráfica, como podemos ver na Figura 4.

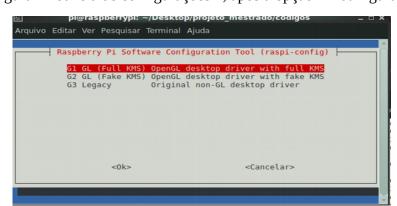


Figura 4 - Janela de configurações 4, após a opção A7 da figura 3.

Fonte: Autor

Nessa janela há três opções. Deveremos escolher a opção G1. Para verificar se a aceleração gráfica está funcionando corretamente, basta abrir o *bash* e digitar o comando

*glxgears*. Caso apareça uma tela com engrenagens rodando, significa que o *driver* foi instalado corretamente.

#### 4 INSTALAÇÃO DE MÓDULOS DE TERCEIROS DO PYTHON

O programador que utiliza *Python* geralmente cria um ambiente virtual de desenvolvimento. Dessa forma ele instala somente os módulos necessários para aquele ambiente, e passa para o ambiente de produção apenas os módulos que são aprovados nos testes.

Portanto o ambiente de produção deve ter todos os módulos necessários instalados; para isso podemos usar dois caminhos, o primeiro é utilizando a ferramenta *apt* e a outra é utilizando a ferramenta *pip*. Nesse trabalho focaremos apenas a instalação utilizando a ferramenta *pip*, pois se mostrou ser a mais simples e completa.

Para instalar um módulo, basta abrir o *bash* e digitar o comando "*pip3 install módulo*", e ficar atento nas mensagens exibidas no *bash*, pois caso ocorra algum erro, o mesmo deverá ser verificado.

Caso seja utilizado algum módulo disponível no *GitHub*, basta copiá-lo diretamente no diretório onde foram guardados todos os arquivos dos programas. (ROSSUM, 2017)

### 5 CONFIGURAÇÃO DO *PLUGIN REMOTE CONTROL* E AJUSTE DO TAMANHO E DA POSIÇÃO DAS JANELAS NA TELA

Para a configurar o plugin *Remote Control*, é necessário seguir os próximos passos:

- a) Caso o *Stellarium* esteja aberto, feche- o.
- b) Abra o *bash* e digite *leafpad*<sup>23</sup>. Quando a janela do editor abrir procure no menu principal, na parte superior, a opção arquivo. Selecionando essa opção aparecerá um menu suspenso. Nesse menu selecione a opção abrir. Essa ação abre uma nova janela. No lado

<sup>23</sup> É um editor de texto que vem instalado no Raspbian, porém se o usuário preferir poderá usar qualquer outro editor de texto.

esquerdo dessa janela serão carregadas as pastas do diretório /home, selecione a pasta do usuário pi.

- c) Quando a pasta for carregada, na aba da direita aparecerão todas as pastas e arquivos desse usuário, porém os arquivos ocultos não serão exibidos, para exibi-los será necessário dar um clique no botão direito do mouse na área da janela próximo as pastas do usuário pi. Aparecerá um menu suspenso, nesse menu deverá ser selecionada a opção "mostrar arquivos ocultos".
- d) Agora aparecem todos os arquivos e pastas ocultas, que são identificadas com "." na frente. Selecione a pasta .*stellarium*.
- e) Em seguida selecione o arquivo *config.ini*. Ao selecionar esse arquivo, abrir-se-á um texto editável. Esse texto contém as configurações de inicialização da interface gráfica do *Stellarium*. *M*uito cuidado para editá-lo, pois caso algum carácter seja inserido de forma errada, poderá causar problemas na inicialização do *Stellarium*.

#### 5.1 Configurando o arquivo config.ini

Faremos alterações em três campos distintos: o primeiro vai habilitar o *plugin Remote Control*, o segundo vai desabilitar o início do *Stellarium* em tela cheia e o terceiro vai mudar o tamanho da janela de inicialização.

Cada campo do arquivo inicia com uma ou mais palavras entre colchetes [ .... ], portanto para encontrar os campos que serão alterados, basta procurá-los com a ferramenta de busca do editor, que se encontra na parte superior da janela principal. Os campos para fazer alterações são:

[plugins\_load\_at\_startup] — Essa opção habilita os *plugins* na inicialização, procure a linha *RemoteControl* e altere a opção para *true*;

[video]- Essa opção altera a forma de como o *Stellarium* inicia, procure a linha *fullscreen* e altere a opção para false;

[video]- Ainda nessa opção altere as linhas *screen\_h* para 600 e *screen\_w* para 800.

Salve o arquivo e feche-o. Logo após inicie o *Stellarium* e verifique se a janela inicial está ajustada a tela. Caso queira ajustar melhor o tamanho da janela, basta alterar os itens de vídeo acima.

Para testar o *plugin Remote Control*, basta abrir qualquer navegador e digitar na barra de endereços *localhost:8090* 

Tal comando deve abrir a página inicial do servidor *web*, conforme a Figura 1. Caso a *Raspberry Pi* esteja em alguma rede, o acesso pode ser feito por outro equipamento, bastando trocar o *localhost* pelo endereço IP do *Raspberry Pi*.

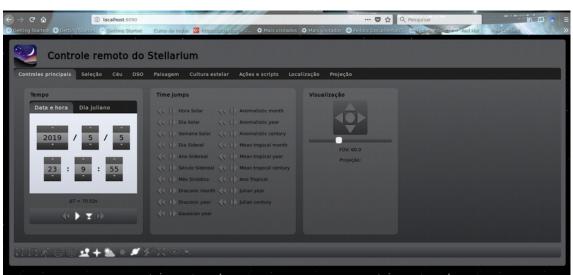


Figura 1- Interface do *plugin* no navegador.

Fonte: Autor

#### 5.2 Bug<sup>24</sup> Encontrado

Quando a janela principal do *Stellarium* está aberta e o usuário aumenta o tamanho de exibição dos objetos, ocorre um *bug*, e a imagem fica instável. Esse *bug* não afeta o funcionamento, pois o aplicativo não trava, bastando reiniciá-lo.

<sup>24</sup> Problemas que deixam o programa instável, ou até mesmo sem funcionar.

### APÊNDICE D – ERROS ENCONTRADOS DURANTE A UTILIZAÇÃO DO SENSOR MAGNÉTICO

Conforme citado no trabalho, foram encontrados alguns problemas que dificultaram o correto funcionamento do magnetômetro. O principal deles foi a influência do *driver* dos motores de passo que de alguma forma interfere nas medições. Para minimizar esses efeitos e garantir um funcionamento adequado, foi necessário tomar algumas ações:

#### 1. LIGAÇÃO NA GPIO

As saídas e entradas digitais são distribuídas na *GPIO* em ambos lados, algumas ficam próximas das pinagens utilizadas para obter informações do sensor magnético. Quando o *driver* do motor de passo que controla o movimento do eixo vertical fica conectado próximo a essas pinagens, em específico, nos pinos 13, 19 e 20, ocorre uma grande instabilidade nas leituras do magnetômetro. Portanto esses pinos devem ser evitados ou utilizados para outras finalidades.

#### MAU CONTATO

Todos os cabos conectados ao magnetômetro deverão ser soldados com estanho, já que qualquer mau contato pode gerar instabilidade na medição. É recomendado que, onde for possível, utilize-se conectores, pois além de terem um excelente contato, facilitam a remoção do sensor quando for necessário.

#### 3. AQUECIMENTO EXCESSIVO DURANTE A SOLDAGEM

O chip do magnetômetro é muito sensível ao calor, portanto caso seja necessário soldar seus terminais, deve ser utilizado um fio de estanho fino de baixa temperatura de fusão. Recomendamos muito cuidado para fazer a soldagem, pois apesar de esse componente ser de

baixo custo (17 reais), é muito difícil retrabalhá-lo sem danificar a placa.

### 4. INCLUSÃO DE TRATAMENTO DE EXCEÇÃO NO ALGORITMO DE LEITURA

Mesmo com todas as ações dos itens anteriores, ainda foram detectadas algumas falhas de leitura, principalmente quando se iniciava o algoritmo para encontrar a origem das coordenadas horizontais. Para resolver esse problema e não ter a execução do código interrompido, foi acrescentado um tratamento de exceção (*try-except*) na função *\_read\_byte*, indicada pela seta na Figura 1.

Figura 1: Trecho do código que ignora os erros de leitura.

### APÊNDICE E – MEDIÇÕES REALIZADAS DURANTE OS TRABALHOS

Tabela 1 - Valores das medições realizadas durante a calibração do sensor magnético.

		Horário		P	Anti-Horário				
Nº	Eixo X	Eixo Y	Eixo Z	Eixo X	Eixo Y	Eixo Z			
0	2441,8	1171,6	2536,4	1914,6	1419,8	2531,6			
1	2443,4	1192	2546,8	1954,4	1345,4	2546,8			
2	2401	1253,4	2527,4	2063,4	1263,8	2536,4			
3	2381,8	1345,8	2519,4	1983,4	1250,4	2616,2			
4	2369,6	1381,2	2574,6	2068,8	1220	2539,4			
5	2319	1496,4	2481,2	2126,6	1157,8	2525,4			
6	2320,8	1540,6	2480,8	2178,6	1101,8	2523			
7	2178,8	1595,8	2419,6	2179,6	1003,2	2569,2			
8	2213,2	1647,8	2410,2	2179,8	958,8	2530,2			
9	2050,6	1745,8	2443	2243,2	897	2548			
10	2082,6	1783,8	2443	2230,6	780,4	2579,2			
11	2007,6	1849,2	2489	2326,2	773	2499,6			
12	1879,2	1932,8	2443,2	2364,8	661	2580,6			
13	1865	1943,4	2415,4	2293,2	640,2	2539			
14	1815,4	2072,4	2376	2318,2	531,2	2603,6			
15	1792,4	2126,2	2426,4	2333,2	461,8	2582,8			
16	1712,8	2188,2	2373,6	2416,2	386,6	2604,6			
17	1679,2	2227,4	2386,8	2372,8	361,2	2585			
18	1607,4	2196,6	2455,8	2385,4	256,8	2573,4			
19	1537,6	2260,8	2445,4	2448,2	220,6	2588,6			
20	1467,8	2322	2356,6	2382,8	74,8	2587,6			
21	1416,8	2394,2	2353,2	2392,2	28,6	2605,2			
22	1322,2	2396,8	2427,2	2400,8	-38,2	2571,4			
23	1262,2	2355,8	2348,2	2332,6	-102,6	2556,4			
24	1195,6	2438,6	2411	2305,8	-169,8	2572			
25	1039,2	2455,2	2383,2	2381,6	-250,4	2665,2			
26	1062,2	2519,4	2351,4	2366,8	-232,6	2634,4			
27	893,4	2493,6	2375,8	2268	-433,8	2619,2			
28	842,8	2566,2	2308	2268,2	-404,8	2637			
29	754,2	2616,6	2323,6	2317,6	-533,4	2630			
30	662,6	2640,8	2286,8	2254,2	-551,6	2627,6			
31	554,8	2586,2	2353,2	2198,2	-590,8	2641,2			
32	509,8	2620,2	2273,2	2251,2	-687,6	2620,6			
33	460,8	2604,8	2294,2	2188,2	-757,2	2662,2			
34	382,2	2601,2	2273,4	2233,6	-873,6	2674,8			
35	213,2	2649,2	2220,2	2155,4	-902,2	2605,8			
36	179,2	2639,6	2218,2	2139,8	-953,2	2755,4			
37	135,4	2672,2	2254	2106,4	-1028,2	2709,8			
38	30,6	2651,2	2243,2	2089	-1134,8	2626			
39	-50,2	2653,8	2281,8	2054,2	-1141,8	2610,6			
40	-142,8	2648,6	2259,8	2030,8	-1237,6	2637,2			
41	-223,2	2635,6	2189,6	1900,4	-1226,2	2656,4			

Tabela 2 - Primeira coleta de dados em campo realizada em 14/09/2019

Resultados do apontamento do dispositivo														
Dados Azimute Altura														
Nº	nome do objeto			apontamento				Ângulo erro (decimal)		altura			Ângulo erro(decima	
2	Altair Altair	Estrela Estrela	18:50:00 19:18:00	1º 1º	38° 12' 30' 28° 24' 10"	0	10 9	0,69 0,621	41' 24" 37' 15"	51° 03' 10" 24° 32' 20"	3 4	0	0,207 0,276	12' 25" 16' 34"
3	Lua	Satélite	19:27:00	10	89° 26' 10"	0	20	1,38	1º 22' 48"	12° 03' 30"	0	5	0,345	20' 42"
4	Jupiter	Planeta	19:37:00	1º	238° 22' 20"	0	10	0,69	41' 24"	45°25' 48"	0	2	0,138	8' 17"
5	Rigil Kentaurus	Estrela	19:44:00	10	211° 33' 20"	10	0	0,69	41' 24"	30°27"30"	0	5	0,345	20' 42"
6 7	Vega Lua	Estrela Satélite	19:53:00 20:06:00	1º 1º	350° 15' 30" 85° 33' 10"	0	15 15	1,035 1,035	1º 2' 6" 1º 2' 6"	27° 33" 32" 20° 45' 40"	0	0	0	
8	Rigil Kentaurus	Estrela	20:17:00	10	211° 50' 25"	0	50	3,45	3º 27' 00"	26° 30' 40"	0	0	0	
9	Saturno	Planeta	20:41:00	1º	267º 42' 22"	8	0	0,552	33' 7"	73° 58' 54"	0	2	0,138	8' 17"
10	Saturno	Planeta	20:51:00	10	267º 04' 01"	25	0	1,725	1º 43' 30"	71° 36′ 52″	0	18	1,242	1º 14' 31"
11 12	Vega Lua	Estrela Satélite	21:00:00 21:08:00	1º 1º	336° 40' 10" 78° 27' 15"	36 20	0	2,484 1,38	2º 29' 2" 1º 22' 48"	23° 08' 43" 34° 25' 18"	0 20	20	1,38 1,38	1º 22' 48" 1º 22' 48"
13	Lua	Satélite	21:17:00	10	77º 16' 18"	20	0	1,38	1º 22' 48"	36° 24' 55"	5	0	0,345	20' 42"
14	Vega	Estrela	21:36:00	1º	330° 17' 08"	34	0	2,346	2º 20' 46"	19° 25' 10"	0	10	0,69	41' 24"
15	Lua	Satélite	21:41:00	1º	73° 48′ 37″	0	0	0	0	41° 38' 10"	0	0	0	
16 17	Vega Saturno	Estrela Planeta	21:46:00 21:49:00	1º 2º	328° 28' 51" 263° 43' 49"	32 18	0	2,208 1,242	2º 12' 29" 1º 14' 31"	18° 15' 34" 58° 19' 20"	0	20 13	1,38 0,897	1º 22' 48" 53' 49"
18	Vega	Estrela	21:52:00	30	327° 41' 30"	0	20	1,38	1º 22' 48"	17º 32' 58"	10	0	0,69	41' 24"
19	Deneb	Estrela	22:06:00	1º	350° 04' 40"	35	0	2,415	2º 24' 54"	20° 49' 27"	0	15	1,035	1º 2' 6"
20	Lua	Satélite	22:10:00	2º	68° 51' 14"	0	30	2,07	2º 04' 12"	47° 47' 35"	0	0	0	
21	satumo	Planeta	22:13:00	3º	262° 22' 64"	36	0	2,484	2º 29' 2"	52° 49" 31"	0	6	0,414	24' 50"
22 23	Altair Lua	Estrela Satélite	22:20:00	1º 2º	314° 34' 45" 66° 15' 15"	22 0	0 20	1,518 1,38	1º 31' 5" 1º 22' 48"	47° 12' 29" 50° 30' 19"	0	24	1,656 0	1º 39' 22"
24	Altair	Estrela	22:26:00	30	312° 58' 12"	26	0	1,794	1° 22 48 1° 47' 39"	46° 12' 45"	0	0	0	
25	Lua	Satélite	22:28:00	4º	65° 11' 10"	0	25	1,725	1º 43' 30"	51° 31' 50"	0	0	0	
26	Altair	Estrela	22:31:00	50	311° 40' 27"	20	0	1,38	1º 22' 48"	45° 21' 36"	0	0	0	
27 28	Achemar	Estrela Satélite	22:40:00	1º 2º	146° 22' 45"	0	0 20	0	1º 22' 48"	39° 10' 32" 54° 33' 00"	0	0 10	0 0,69	41' 24"
28	Lua Altair	Estrela	22:43:00 22:45:00	3º	61° 40' 20" 308° 17' 46"	37	0	1,38 2,553	2º 33' 11"	42° 53' 50	0	15	1,035	1º 2' 6"
30	Peacock	Estrela	23:04:00	1º	206° 00' 12"	0	0	0	2 00 11	49° 06' 21"	0	0	0	120
31	Altair	Estrela	23:08:00	2º	303° 23' 20"	20	0	1,38	1º 22' 48"	38° 34' 40"	0	0	0	
32	Lua	Satélite	23:10:00	30	53° 55' 04"	0	0	0		59° 40' 55"	0	0	0	
33 34	Achemar Alpheratz	Estrela Estrela	23:12:00	4º 1º	148° 42' 39" 21° 02' 30"	35 48	0	2,415 3,312	2º 24' 54" 3º 18' 43"	43° 08' 35" 34° 39' 18"	10 0	0	0,69	41' 24"
35	Altair	Estrela	23:30:00	10	299° 17' 50"	28	0	1,932	1º 55' 55"	34° 39′ 16″ 34° 14′ 16″	0	10	0,69	41' 24"
36	Alpheratz	Estrela	23:37:00	2º	17º 01' 10"	18	0	1,242	1º 14' 31"	35° 49' 10"	5	0	0,345	20' 42"
37	Lua	Satélite	23:46:00	3º	39° 28' 59"	0	15	1,035	1º 14' 31"	65° 34' 25"	0	0	0	
38	Achemar	Estrela	23:54:00	1º 1º	153° 17' 13"	75 40	0	5,175	5° 10' 30"	47° 51' 15"	20	0	1,38	1º 22' 48" 53' 49"
39 40	Menkar Altair	Estrela Estrela	00:06:00	2º	68° 46' 28" 293° 10' 41"	0	40	2,76 2,76	2º 45' 36" 2º 45' 36"	32° 34' 11" 26° 09' 28"	13 0	20	0,897 1,38	1º 22' 48"
41	Menkar	Estrela	00:14:00	1º	67º 32' 45"	10	0	0,69	41' 24"	34° 17' 49"	10	0	0,69	41' 24"
42	Altair	Estrela	00:16:00	2º	292º 12' 14"	60	0	4,14	4º 8' 24"	24° 40' 15"	0	20	1,38	1º 22' 48"
43	Scheat	Estrela	00:21:00	30	347° 13' 40"	0	35	2,415	2º 24' 54"	37° 50' 39"	10	0	0,69	41' 24"
44 45	Rigel Achemar	Estrela Estrela	00:43:00	1º 2º	92º 11' 16" 161º 24' 52"	0	45 20	3,105 1,38	3º 6' 18" 1º 22' 48"	16° 17' 29" 52° 26' 11"	0	0 10	0 0,69	0 41' 24"
46	Rigel	Estrela	01:05:00	10	90° 05' 52"	35	0	2,415	2º 24' 54"	21° 22' 28"	0	0	0,09	41 24
47	Rigel	Estrela	01:13:00	1º	89º 18' 14"	10	0	0,69	41' 24"	23° 12' 47"	0	0	0	
48	Achemar	Estrela	01:16:00	2º	167º 42' 31"	0	0	0		54° 21' 43"	0	10	0,69	41' 24"
49	Sirius	Estrela	01:20:00	3º 1º	105° 10' 42" 59° 00' 40"	0	0	0		7º 19' 40" 23º 06' 25"	0	0	0	
50 51	Aldebaran Rigel	Estrela Estrela	01:28:00	2º	87° 48' 20"	15	0	1,035	1º 14' 31"	26° 40' 48"	0	5	0,345	20' 42"
52	Mintaka	Estrela	01:30:00	3º	81° 31' 59"	0	0	0		20° 02' 52"	0	0	0	
53	Rigel	Estrela	01:31:00	4º	87º 29' 00"	0	0	0		27° 21' 42"	0	0	0	
54	Achemar	Estrela	01:34:00	5º	171° 44' 55"	0	10	0,69	41' 24"	55° 06' 07"	0	9	0,621	37' 16"
55 56	Sirius Rigel	Estrela Estrela	01:35:00 01:37:00	6º 7º	103° 21' 10" 86° 52' 25"	0	10 0	0,69	41' 24"	10° 38' 44" 28° 44" 50"	21 0	0 8	1,449 0,552	1º 26' 57" 33' 7"
57	Mintaka	Estrela	01:40:00	8º	80° 25' 00"	15	0	1,035	1º 14' 31"	22° 19' 40"	0	3	0,332	12' 25"
58	Sirius	Estrela	01:42:00	9º	103° 15' 35'	5	0	0,345	20' 42"	12° 12' 27"	10	0	0,69	41' 24"
59	Sirius	Estrela	01:52:00	10	102° 24' 15"	0	38	2,622	2º 37' 19"	14° 26' 10"	5	0	0,345	20' 42"
60 61	Mirzan Mintaka	Estrela Estrela	01:56:00 01:57:00	2º 3º	101° 26' 30" 78° 26' 15"	0	0	0	1	20° 48' 11" 26° 10' 28"	0	5	0,345	20' 42"
62	Aldebaran	Estrela	01:59:00	4º	53° 42' 04"	0	0	0		20° 10° 28° 29° 26' 10"	0	0	0,345	20 42
63	Sirius	Estrela	02:00:00	5º	101° 43' 10"	10	0	0,69	41' 24"	16° 15' 29"	0	0	0	
64	Rigel	Estrela	02:02:00	6º	84° 10' 45"	0	10	0,69	41' 24"	34° 30' 11"	0	0	0	
65	Mintaka	Estrela	02:04:00	7º 8º	77° 35' 18" 179° 34' 50"	0 10	0	0,69	41' 24"	27° 45' 25" 55° 40' 53"	0	10	0 0,69	41' 24"
66 67	Achemar Adhara	Estrela Estrela	02:07:00	9º	114º 21' 28"	0	20	1,38	1º 22' 48"	18º 50' 05"	10	0	0,69	41' 24"
68	Sirius	Estrela	02:10:00	10°	100° 54' 04"	0	0	0		18° 30' 29"	0	0	0	
69	Alnair	Estrela	02:35:00	1º	227° 31' 55"	30	0	2,07	2º 04' 12"	37º 32' 30"	0	10	0,69	41' 24"
70	Lua	Satélite		2º	303° 36' 40"	0	20	1,38	1º 22' 48"	570 10' 22"	0	10	0,69	41' 24"
71 72	Alnair Sirius	Estrela Estrela	02:39:00	3º 4º	227° 36' 58" 98° 17' 20"	10 5	0	0,69 0,345	41' 24" 20' 42"	36° 51' 55" 25° 46' 55"	5	9	0,621 0,345	37' 16" 20' 42"
73	Lua	Satélite	02:45:00	5º	301° 24' 42"	30	0	2,07	2º 04' 12"	55° 37' 20"	0	10	0,69	41' 24"
74	Almaak	Estrela	02:51:00	6º	356° 48' 44"	35	0	2,415	2º 24' 54"	24° 42' 11"	0	0	0	
75	Sirius	Estrela	02:53:00	7º	97° 23' 54"	40	0	2,76	2° 45' 36"	28° 17" 53"	15		1,035	1º 2' 6"
76 77	Alnair	Estrela	02:57:00	9º	227° 50' 54" 297° 43' 45"	0	10 28	0,69 1,932	41' 24" 1° 55' 55"	33° 47' 25" 52° 38' 10"	5	0 17	0,345 1,173	20' 42" 1º 10' 23"
78	Lua Aldebaran	Estrela Estrela	03:00:00	10°	40° 09' 23"	0	28 50	3,45	3º 27' 00"	40° 27' 25"	0	0	1,173	1. 10 52
79	Sirius	Estrela	03:07:00	11°	96° 15' 23"	0	0	0		31° 30' 17"	15	0	1,035	1º 2' 6"
80	Procyon	Estrela	03:41:00	1º	75° 50' 41"	0	15	1,035	1º 14' 31"	18° 37' 50"	5	0	0,345	20' 42"

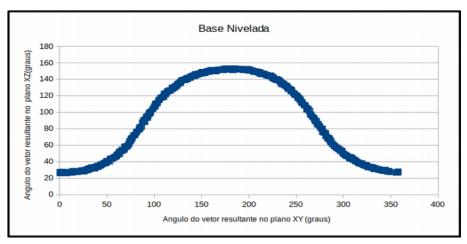
Tabela 3 - Segunda coleta de dados em campo realizada em 12/10/2019

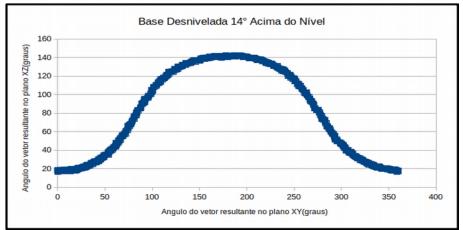
	Resultados do apontamento do dispositivo													
		Dados					Azimute					Altura		
Nº	nome do objeto	tipo	hora	apontamento	azimute	passos `a direita	passos à esquerda		Ângulo erro	altura	passos à cima	Passos à baixo		
1	Alpheratz	Estrela	21:44:00	1°	17° 35' 34"	7	0	0,4922	0° 29' 32"	34° 59'22"	7	0	0,4922	0° 29' 32"
2	Hamal		21:46:00	2º	46° 33' 55"	9	0	0,6328	0° 37' 58"	25° 21' 30"	0	1	0,0703	0° 4' 13"
3	Alpheratz		21:49:00	3°	298° 08' 39"	0	0	0,0000	0	32° 04' 55"	0	0	0,0000	0
4	Alnair		23:37:00	1º	224° 20' 50"	16	0	1,1250	1° 7' 30"	49° 10'46"	17	0	1,1953	1º 11' 43"
5	Alpheratz		23:40:00	2º	346° 14' 45"	13	0	0,9141	0° 54' 51"	36° 01' 20"	0	16	1,1250	1° 7' 30"
6	Markab	Estrela	23:44:00	3°	320° 20' 19"	37	0	2,6016	2° 36' 6"	41ª 39' 10"	10	0	0,7031	0° 42' 11"
7	Alpheratz	Estrela	23:50:00	4º	343° 40' 15"	20	0	1,4063	1° 24' 23"	35° 25' 51"	0	6	0,4219	0° 25' 18"
8	Mirach	Estrela	23:51:00	5° 6°	359° 53' 40" 342° 39' 02"	23	0 20	1,6172	1º 37' 2"	30° 54' 11"	0	0	0,0000	0
_	Alpheratz	Estrela	23:54:00	_		_		1,4063	1º 24' 23"	35° 09' 26"	_	_	0,0000	_
10 11	Mirach Alpheratz	Estrela Estrela	00:00:00	1° 2°	357° 45' 13" 339° 53' 16"	16	7	1,1250 0.4922	1° 07' 30" 0° 29' 32"	30° 51" 16" 34° 20'2"	0	0	0,2813 0.0000	0° 16' 52"
12			00:05:00	3°		0	0			34° 20' 2" 30° 47' 15"	0	0	0,0000	0
13	Mirach	Estrela	00:06:00	3° 4°	356° 20' 10"	16 0	0	1,1250	1° 07' 30"			0	0,000	0° 25' 18"
14	Markab Sadalmelik	Estrela Estrela	00:07:00 00:12:00	5°	314° 47' 44" 287° 21' 00"	0	0	0,0000	0	38° 05' 05' 35° 03' 08"	6	30	2,1094	2º 06' 33"
15	Deneb Algedi	Estrela	00:17:00	6°	266° 38' 45"	0	29	2,0391	2º 02' 20"	35° 54' 38"	10	0	0,7031	0° 42' 11"
16	Sadalmelik		00:17:00	7°	286° 03' 17"	12	0	0,8438	0° 50' 38"	33° 05' 10"	0	33	2,3203	2º 19' 13"
17	Markab	Estrela	00:21:00	1°	310° 54' 19"	0	0	0,0000	0-50-36	35° 03' 08"	6	0	0,4219	0° 25' 18"
18	Alpheratz	Estrela	00:23:00	2º	333° 15' 47"	0	7	0,4922	0° 29' 32"	31° 46' 15"	0	0	0,0000	0 25 16
19	Mirach	Estrela	00:35:00	3°	349° 34' 13"	0	0	0,0000	0 29 32	29° 58' 25"	0	0	0.0000	0
20	Alpheratz	Estrela	00:35:00	4º	332° 21' 45"	7	0	0,4922	0° 29' 32"	31° 22' 23"	0	0	0,0000	0
21	Markab	Estrela	00:41:00	5°	307° 46' 32"	0	ō	0,0000	0	32° 13' 40"	17	0	1,1953	1° 11' 43"
22	Sadalmelik	Estrela	00:44:00	6°	282° 58' 41"	1	0	0.0703	0° 4' 13"	27° 58' 30"	20	0	1,4063	1° 24' 22"
23	Fomalhaut	Estrela	01:02:00	1º	250° 52' 10"	1	0	0,0703	0° 4' 13"	44° 21' 20"	25	0	1,7578	1° 45' 28"
24	Markab		01:10:00	2º	302° 42' 50"	0	11	0,7734	0° 46' 24"	26° 46' 10"	10	0	0,7031	0° 42' 11"
25	Alpheratz		01:11:00		325° 12' 20"	12	0	0,8438	0° 50' 38"	27° 18' 00"	0	0	0,0000	0
26	Aldebaran	Estrela	01:14:00	4º	39° 45' 00"	0	0	0,000		39° 56"10"			-,,,,,,,	
27	Mintaka	Estrela	01:17:00	5°	67° 53' 20"	0	37	2,6016	2° 36' 6"	41° 26' 30"	0	0	0,0000	0
28	Alnitak	Estrela	01:19:00	6°	70° 55' 30"	0	0	0,0000	0	40° 50' 40"	0	0	0,0000	0
29	Sirius	Estrela	01:23:00	7°	95° 19' 40"	0	13	0,9141	0° 54' 51"	32° 58' 50"	5	0	0,3516	0° 21' 6"
30	Rigel	Estrela	01:27:00	8º	72° 52' 50"	0	0	0,0000	0	51° 19' 00"	13	0	0,9141	0° 54' 50"
31	Lua	Satélite	01:41:00	1º	302° 07' 00"	0	0	0,0000	0	50° 06' 10"	3	0	0,2109	0° 12' 39"
32	Lua		01:55:00	1º	298° 59' 40"	0	0	0,0000	0	47° 21' 50"	2	0	0,1406	0° 8' 26"
33	Hamal	Estrela	02:00:00	2º	338° 13' 55"	0	0	0,0000	0	39° 53' 10"	9	0	0,6328	0° 37' 58"
34	Capella	Estrela	02:12:00	1º	18° 46' 00"	0	0	0,0000	0	16° 37' 20"	9	0	0,6328	0° 37' 58"
35	Mirphak		02:45:00	1º	353° 18' 10"	0	15	1,0547	1° 03' 17"	16° 11' 30"	0	30	2,1094	2° 06' 33"
36	Procyon		03:14:00	1º	63° 44' 50"	0	3	0,2109	0° 12' 39"	36° 31' 10"	10	0	0,7031	0° 42' 11"
37	Sirius		03:17:00	2º	83° 29' 10"	0	7	0,4922	0° 29' 32"	59° 15' 20"	20	0	1,4063	1° 24' 22"
38	Mintaka		03:20:00	3º	30° 32' 30"	6	0	0,4219	0° 25' 18"	63° 39' 40"	0	17	1,1953	1° 11' 43"
39	Sirius	Estrela	03:22:00	4º	82° 45' 50"	0	14	0,9844	0° 59' 4"	60° 23' 00"	13	0	0,9141	0° 54' 50"
40	Lua	Satélite	03:26:00	5°	284° 25' 10"	47	0	3,3047	3° 18' 17"	28° 08' 20"	0	10	0,7031	0° 42' 11"
41	Capella	Estrela	03:35:00	6°	4° 07' 30"	0	7	0,4922	0° 29' 32"	20° 26' 40"	0	6	0,4219	0° 25' 18"
42	Sirius	Estrela	03:38:00	7°	80° 07' 40"	0	26	1,8281	1º 49' 41"	64° 02' 50"	17	0	1,1953	1º 11' 43"
43	Procyon	Estrela	03:45:00	8°	57° 45' 00"	41	0	2,8828	2° 52' 58"	42° 44' 10"	0	20	1,4063	1° 24' 22"
44	Procyon		04:01:00	1º	57° 09' 20"	0	24	1,6875	1° 41' 15"	45° 47' 30"	27	0	1,8984	1° 53' 54"
45	Capella		04:04:00	2°	358° 43' 40"	44	0	3,0938	3° 05' 37"	20° 36' 40"	0	16	1,1250	1° 07' 30"
46	Polux	Estrela	04:10:00	3°	34° 18' 50"			0,0000		29° 08' 50"				
47	Capella	Estrela	04:14:00		356° 52' 00"	5	0	0,3516	0° 21' 6"	20° 31' 10"	0	0	0,0000	0
48	Menkalinan	Estrela	04:16:00	5°	4° 34' 20"	0	15	1,0547	1° 03' 17"	21° 28' 30"	0	3	0,2109	0° 12' 39"
49	Regulus	Estrela	04:18:00	6°	67° 34' 40"	0	0	0,0000		15° 10' 45"				
50	Menkalinan	Estrela	04:21:00		3° 35' 50"	7	0	0,4922	0° 29' 32"	21° 33' 40"	3	0	0,2109	0° 12' 39"
51	Capella	Estrela	04:25:00	8º	354° 50' 00"	24	0	1,6875	1° 41' 15"	20° 20' 20"	0	0	0,0000	0
52	Alphard		04:28:00	9°	83° 55' 20"	0	46	3,2344	3° 14' 4"	35° 37' 40"	0	9	0,6328	0° 37' 58"
53	Capella	Estrela	04:32:00	10°	353° 33' 10"	37	0	2,6016	2° 36' 6"	20° 10' 20"	0	6	0,4219	0° 25' 18"
54	Alnath	Estrela	04:40:00	11°	350° 43' 20"	17	0	1,1953	1º 11' 43"	37° 22' 50"	0	0	0,0000	0
55	Lua	Satélite	04:44:00	12°	275° 56' 10"	0	12	0,8438	0° 50' 38"	10° 52' 00"	16	0	1,1250	1° 07' 30"
56	Aldebaran		04:47:00	13°	328° 48' 50"	2	0	0,1406	0° 8' 26"	44° 18' 30"	0	4	0,2813	0° 16' 52"
57	Menkar	Estrela	04:52:00	14°	294° 28' 30"	3	0	0,2109	0° 12' 39"	36° 11' 50"	0	0	0,0000	0
58	Aldebaran	Estrela	04:53:00	15°	327° 04' 00"	0	0	0,0000	0	43° 33' 10"	0	0	0,0000	0
59	Mintaka	Estrela	04:56:00	16°	333° 34' 10"	0	2	0,1406	0° 8' 26"	64° 32' 10"	0	0	0,0000	0
60	Aldebaran	Estrela	05:03:00	1º	324° 18' 40"	13	0	0,9141	0° 54' 51"	42° 16' 20"	10	0	0,7031	0° 42' 11"
61	Capella	Estrela	05:07:00	2°	347° 15' 35"	0	18	1,2656	1º 15' 56"	18° 50' 12"	0	4	0,2813	0° 16' 52"
62	Aldebaran		05:10:00	3°	322° 27' 12"	19	0 21	1,3359	1º 20' 9"	41° 18' 50"	0	3	0,2813	0° 16' 52"
63	Capella	⊏sueiā	05:14:00	4º	346° 01' 35"	U	21	1,4766	1° 28' 35"	18° 28' 14"			0,2109	0° 12' 39"

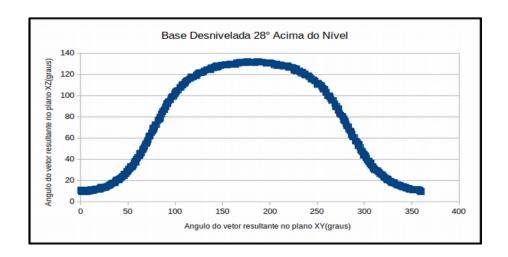
Obs. Linhas vermelhas não houve medição.

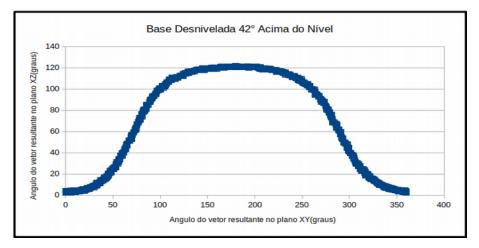
### APÊNDICE F – GRÁFICOS DE DISPERSÃO DO ÂNGULO DO VETOR RESULTANTE DO CAMPO MAGNÉTICO ENTRE PLANOS XY E XZ

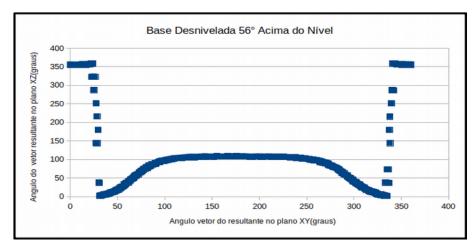
Gráficos de dispersão do ângulo do vetor resultante do campo magnético no plano XY em relação ao ângulo do vetor resultante do campo magnético no plano XZ. ( Ângulos em graus)

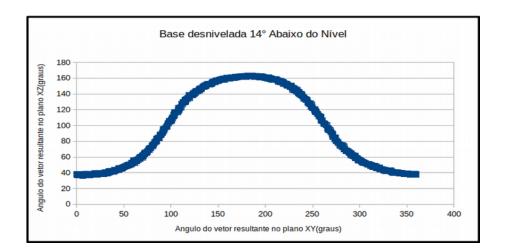


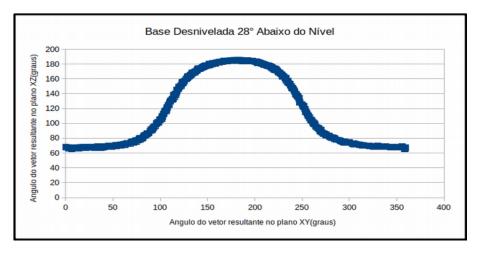












### APÊNDICE G – METODOLOGIA UTILIZADA PARA NIVELAR A BASE UTILIZANDO O SENSOR MAGNÉTICO

### 1. ADEQUAÇÃO DOS VALORES OBTIDOS NA MEDIÇÃO COM A BASE NIVELADA

No gráfico de dispersão da base nivelada do Apêndice F, encontramos uma correlação entre os valores do ângulo do vetor resultante do campo magnético em cada plano. Para padronizar esses valores utilizamos uma correção polinomial de grau 9. Esse ajuste possibilita estimarmos valores do vetor resultante do campo magnético de um plano, se conhecermos os valores desse mesmo vetor no outro plano.

O polinômio de grau 9, utilizado para adequação, foi calculado com o auxílio do aplicativo *Geogebra*, e por convenção adotamos que a variável x contém os valores do ângulo vetor resultante do campo magnético com relação ao plano XY e a variável y desse vetor com relação ao plano XZ.

Abaixo polinômio de grau 9 que ajusta a curva dos planos XY e XZ

$$y=88,1575-0,6466 x-0,0387 x^2+0,0015 x^3-24,7364.10^{-6} x^4+21,2639.10^{-8} x^5$$
  
-10,4073.10<sup>-10</sup>  $x^6+29,0217.10^{-13} x^7-42,9921.10^{-16} x^8+26,2869.10^{19} x^9$ 

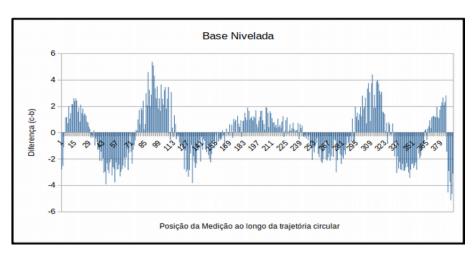
Fonte: Autor

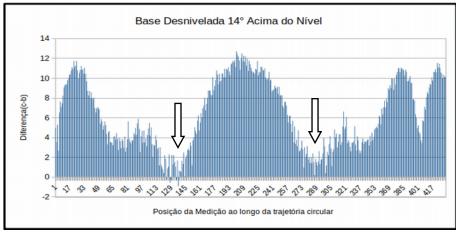
Com esse polinômio, e utilizando-se da metodologia expressa na Tabela 1 é possível calcular um valor do ângulo do vetor resultante do campo magnético para cada ponto do plano XZ. Com os valores da diferença, obtidos em cada coleta de dados, foi possível construir os gráficos com os valores da diferença angular, assim como construir um gráfico do quadrado dessa diferença angular. A diferença entre o valor real (medições) e o valor calculado (polinômio), foi utilizada para construir os gráficos da Figura 1.

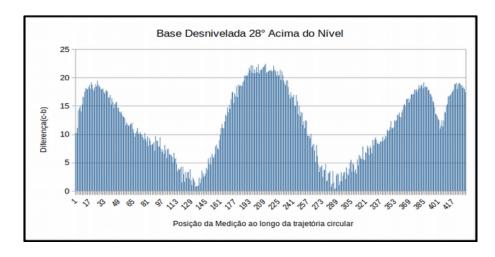
Tabela: Exemplo dos cálculos realizados.

Nº da	Medições Re	alizadas	Valor Calculado	Quadrado	
Medição	Plano XY (a) (graus)	Plano XZ(b) (graus)	Plano XZ(c) (graus)	c-b (graus)	(c-b) <sup>2</sup>
	(graus)	(graus)	(graus)	(graus)	
1	255,82	143,53	141,95	-1,58	2,49

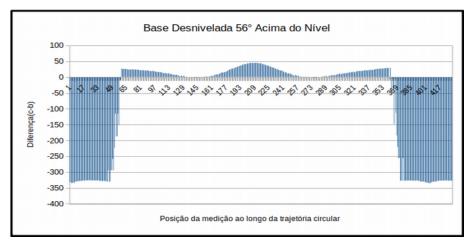
Figura 1: Gráficos da diferença entre o valor do ângulo do vetor resultante no plano XZ **medido,** pelo valor do ângulo do vetor resultante do plano XZ **calculado** utilizando a regressão polinomial de grau 9.

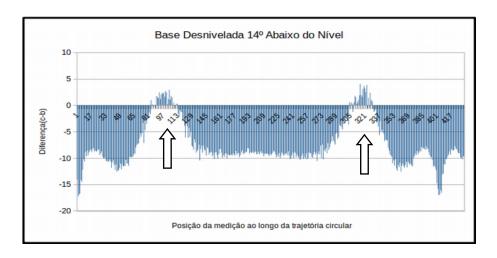


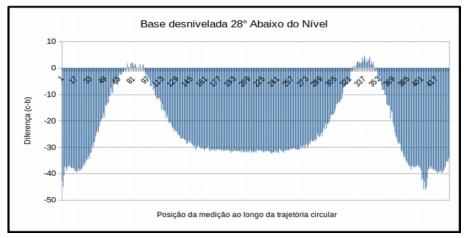












Em todos os gráficos com desnivelamento encontramos uma região com dois vales onde a amplitude fica próxima a zero. Os valores desses vales são, portanto, muito próximos dos valores encontrados na Figura 1 com a base nivelada.

Sendo assim as posições de vales não poderão ser utilizadas, uma vez que não seria possível identificar qualquer desnivelamento utilizando o sensor magnético. Dessa forma, por analogia, definimos que a região do primeiro pico seria utilizada para realizar as medições, pois é melhor percebida pelo sensor magnético.

Esta região de pico, fica entre as posições de medição 18 e 35, que correspondem aos ângulos 340° a 350° em azimute medido pelo sensor magnético, conforme gráficos do Apêndice F, em qualquer desnível da base.

Para utilizar o sensor nos ângulos em azimute desejados, há o algoritmo do módulo

*nivelamento\_utilizando\_coordenadas.py*, onde a função *corrige\_posicao()* posiciona da base entre os ângulos necessários.

Figura 2: Função corrige\_posicao()

```
##Essa função coloca o sensor na posição calibrada para o nivelamento.

def corrige_posicao(self):
    amostras=5
    velocidade=100
    teste=self.le_sensor_posicao(amostras)
    print(teste)
    while teste<340 or teste>350:
        if teste<340 and teste>=170:
            diferenca=340-teste
            passos=round (diferenca/0.0087890625)
            self.motor_horizontal.horario(velocidade,passos)
            teste=self.le_sensor_posicao(amostras)
        print ("Esta na posição 1")

elif teste>350:
            diferenca=teste-350
            passos= round (diferenca/0.0087890625)
            self.motor_horizontal.anti_horario(velocidade,passos)
            teste=self.le_sensor_posicao(amostras)
            print ("Esta na posição 2")

else:
            diferenca=teste+10
            passos=round(diferenca/0.0087890625)
            self.motor_horizontal.anti_horario(velocidade,passos)
            teste=self.le_sensor_posicao(amostras)
            print ("Esta na posição 3")

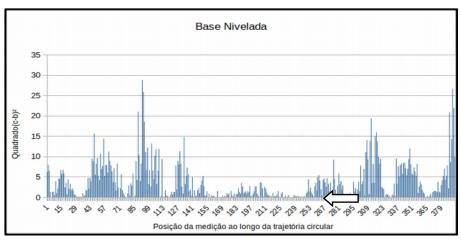
return True
```

Fonte: Autor

Entretanto, somente utilizando os valores da diferença em cada ponto, não foi possível elaborar uma regra eficiente que determine corretamente o lado do desnivelamento e o seu valor.

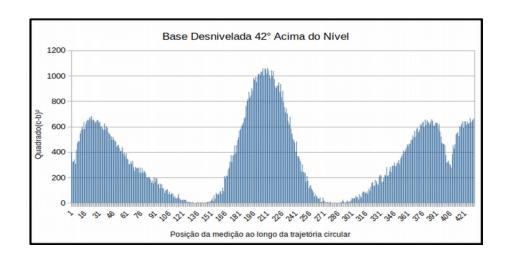
Isso acontece porque quando a base fica desnivelada acima de 42°, os valores das medições ficam confusos. Devido a essa dificuldade, utilizamos mais uma informação, o quadrado da diferença, que é apresentado na Figura 3. Comparando as amplitudes podemos observar que seus valores são muito mais evidentes do que nos gráficos apresentados na Figura 1 facilitando, assim, determinar o quanto a base está desnivelada.

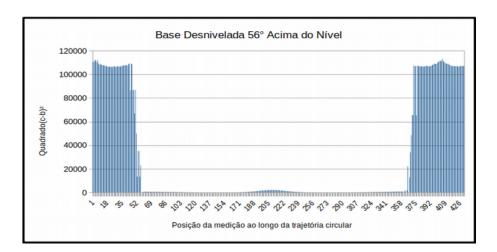
Figura 3: Gráficos do quadrado da diferença entre o valor do ângulo do vetor resultante no plano XZ **medido,** pelo valor do ângulo do vetor resultante do plano XZ **calculado** utilizando a regressão polinomial de grau 9.



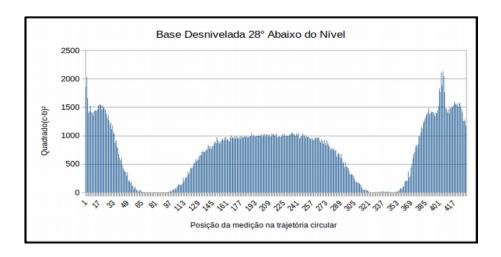












Assim, de posse dessas informações elaboramos regras de comparação que são utilizadas em conjunto com as medições do sensor magnético em tempo real, definindo os movimentos do motor vertical. Podemos descrever o funcionamento do algoritmo do módulo *nivelamento\_utilizando\_coordenadas.py* da seguinte forma:

- O sensor magnético faz uma leitura de posição e determina qual o ângulo em azimute que a base está;
- A partir dessa etapa, o motor de passo é acionado até encontrar a posição entre os ângulos em azimute entre 340° e 350°;
- Nesse ponto o sensor faz uma leitura do nível e determina qual é o ângulo do desnivelamento da base;
- Então a correção ocorre de forma gradual, pois a cada medição o motor é acionado deslocando a base alguns passos no sentido anti-horário;
  - Uma nova sequência ocorre recursivamente, até que a base esteja nivelada.

As regras estão no trecho do algoritmo, apresentado na Figura 4.

Figura 4: Trecho do algoritmo com as regras de nivelamento.

## APÊNDICE H – LISTA DE MATERIAIS UTILIZADOS PARA CONSTRUIR O DISPOSITIVO.

Tabela 1: Lista dos materiais utilizados e seus preços

Número	Material	Preço (reais)
1	Raspberry Pi	250
2	Peças Impressas	125
3	Rolamentos	25
4	Parafusos, porcas e arruelas de aço	8
5	Parafusos, porcas e arruelas de latão	12
6	2 Motores e <i>Drivers</i>	24
7	Sensor Magnético	17
8	Componentes eletrônicos, flatcables e conectores	35
9	Acrílico e cola	15
	TOTAL	511