Universidade de Brasília

FACULDADE UnB PLANALTINA

LICENCIATURA EM CIÊNCIAS NATURAIS

AUTOMAÇÃO DE TELESCÓPIO: UTILIZANDO UM APONTADOR DE ESTRELAS AUTOMÁTICO

AUTOR: LEANDRO MACEDO GUEDES

ORIENTADOR: PROF. PAULO EDUARDO DE BRITO

Planaltina-DF

Abril de 2022.

Universidade de Brasília

FACULDADE UnB PLANALTINA

LICENCIATURA EM CIÊNCIAS NATURAIS

AUTOMAÇÃO DE TELESCÓPIO: UTILIZANDO UM APONTADOR DE ESTRELAS AUTOMÁTICO

AUTOR: LEANDRO MACEDO GUEDES

ORIENTADOR: PROF. PAULO EDUARDO DE BRITO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora, como exigência parcial para a obtenção de título de Licenciado do Curso de Licenciatura de Ciências Naturais, da Faculdade UnB Planaltina, sob orientação do Professor Dr. Paulo Eduardo de Brito.

Planaltina-DF

Abril de 2022.

DEDICATÓRIA:

Dedico este trabalho a minha avó Herculina que esteve na torcida por esta conquista, esteve em todos os momentos da minha vida e cuidou de mim na infância, ao meu avô Elias que partiu em 2021 e sempre me ensinou princípios e a amar a vida, a minha avó Ambrósia que ensinou o significado do amor, a meus pais: Carmosina e Galvani que sempre estiveram ao meu lado, a minha irmã Karina que sempre acreditou em mim, a minha madrinha Amélia por tornar meus dias mais leves e a minha madrinha Edinólia que vibrou quando entrei no curso, a minha tia Vânia e prima Mayara que nos momentos mais difíceis estiveram ao meu lado e a toda minha família. Aos meus amigos: João Lucas, Diorgenis, Letícia Medeiros, Pedro Guilherme, Lorrany Fernanda, Gabriel Rufo, Davi Brasil, Pablo Felipe, Victor Augusto e Marcos Adriano e também ao meu orientador que me acompanhou e auxiliou durante toda a minha jornada na graduação.

"A mente que se abre a uma nova ideia, jamais voltará ao seu tamanho original."

(Albert Einstein)

AUTOMAÇÃO DE TELESCÓPIO: UTILIZANDO UM APONTADOR DE ESTRELAS AUTOMÁTICO

Leandro Macedo Guedes[1]

Paulo Eduardo de Brito[2]

RESUMO:

Este trabalho consiste em usar um dispositivo que irá apontar um laser verde para o céu de acordo com as coordenadas das estrelas ou astro. Um laser verde, também conhecido como apontador de estrelas, que será anexado a dois motores de passo com os quais serão controlados por um microcontrolador Arduino. Serão trabalhadas as habilidades de fazer mudança de coordenadas, e fazer a simulação da montagem do laser acoplado aos dois motores de passo já que a pandemia impossibilita de fazer a montagem mecânica do instrumento. Este trabalho futuramente poderá ser acoplado ao telescópio automatizando-o.

PALAVRAS-CHAVE: Sistema de coordenadas astronômicas, automação, motor de passos, Arduino.

ABSTRACT:

This work consists of using a device that will point a green laser to the sky according to the coordinates of the stars or astro. A green laser, also known as a star pointer, which will be attached to two stepper motors which will be controlled by an Arduino microcontroller. The skills of changing coordinates will be worked on, and simulating the assembly of the laser coupled to the two stepper motors as the pandemic makes it impossible to assemble the instrument mechanically. This work in the future can be coupled to the telescope automating it.

KEYWORDS: Astronomical coordinate system, automation, stepper motor, Arduino.

---

[1] Licenciatura em Ciências Naturais - UnB

[2] Universidade de Brasília – UnB

1. INTRODUÇÃO

Na disciplina de Universo fora estudada a utilização do telescópio manual. E desde essa época, o professor da disciplina falara da possibilidade de automatizar a busca de objetos celestes. A automatização passou a ser mais real com o uso do Arduino, um hardware próprio para controle automatizado de diversos tipos de sensores.

A possibilidade de programar a automatização de um telescópio passa pela necessidade de facilitar o uso e a precisão na busca dos diversos objetos celestes: a lua, os planetas, as estrelas, aglomerados estrelados e nebulosas. Todos estes objetos têm sua posição bem determinada em relação ao centro do planeta, sendo necessário fazer transformações nos sistemas de coordenadas, quando o referencial passa a ser um determinado ponto da superfície da Terra.

Este trabalho inédito possibilita conciliar diversas áreas do conhecimento, tais como: Física, onde se estuda o comportamento dos corpos celestes (Oliveira Filho, 2004); Astronomia, onde se objetiva a observação do céu (Lima Neto, 2002); Matemática, que descreve as transformações dos sistemas de coordenadas do centro da Terra para a superfície da mesma (Lima Neto, 2002; Oliveira Filho, 2004 e Anton, 2012); Computação, onde fornece a possibilidade de codificar toda a programação necessária (Damas, 2014); Eletrônica, no uso do Arduino com os componentes eletrônicos (Monk, 2014) e Mecânica, para motorizar o comportamento mecânico do telescópio (https://www.robocore.net/tutoriais/controlando-motor-de-passo).

Desse modo, é possível demonstrar que no sistema coordenadas equatorial, a posição das estrelas está tabelada, isto é, as estrelas estão razoavelmente em posições fixas. Porém, para observar aonde o observador está é necessário do sistema de coordenadas locais que informa o azimute e a altura.

Sabendo-se fazer as transformações de um sistema para outro, o Arduino utilizará da programação com o motor de passos. Dado a ascensão reta e a declinação do sistema equatorial ou azimute e altura do sistema local, nessas transformações de sistema, o dispositivo, calculará: o dia, o mês, o ano, a hora, o minuto, o segundo, a longitude e o fuso, mostrando, portanto, aonde a posição do astro ou observador, por exemplo, se encontram.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

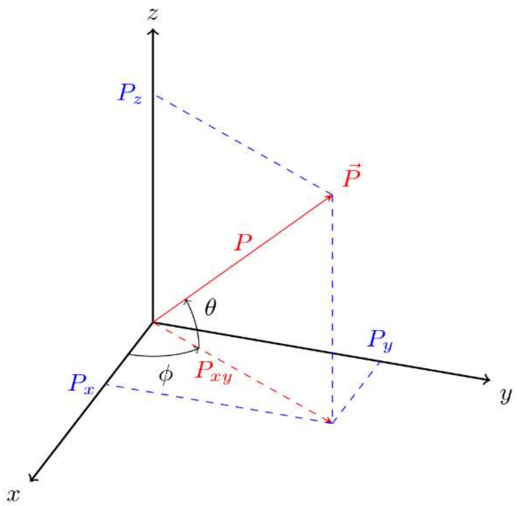
2.1 Sistema de Coordenadas Astronômicas

Um sistema de coordenadas astronômicas apresenta a definição partindo de um plano esférico e o eixo vertical delimita os dois extremos celestes.

2.1.1 Sistema de Coordenadas Esféricas

Um sistema de coordenadas esféricas é um sistema com cujo qual possibilita a descoberta de um dado ponto no espaço com configuração esférica por meio de um conjunto de três valores os quais se chamam de Coordenadas Esféricas. (Venturi, 1949)

Figura 1: Representação de Coordenada Esférica



Fonte: Autoria própria

Para fazer uma descrição da posição do objeto no sistema de coordenada esférica, precisamos de três números essenciais: o raio (P), a altura: theta (θ) e o azimute: phi (ϕ). O raio é considerado igual a 1, pois estamos considerando a posição das estrelas, todas fixas no mesmo ponto. Desse modo, a partir da figura 1, obtemos as seguintes equações:

$$sen(\theta) = \frac{P_z}{P} \Rightarrow P_z = P\, sen(\theta) \quad (1)$$

$$cos(\theta) = \frac{P_{xy}}{P} \Rightarrow P_{xy} = P\, cos(\theta) \quad (2)$$

$$cos(\phi) = \frac{P_x}{P_{xy}} \Rightarrow P_x = P_{xy}\, cos(\phi) \quad (3)$$

$$sen(\phi) = \frac{P_y}{P_{xy}} \Rightarrow P_y = P_{xy}\, sen(\phi) \quad (4)$$

$$P_x = P\, cos(\theta)\, cos(\phi) \quad (5)$$

$$P_y = P\, cos(\theta)\, sen(\phi) \quad (6)$$

$$P_z = P\, sen(\theta) \quad (7)$$

$$P = 1 \quad (8)$$

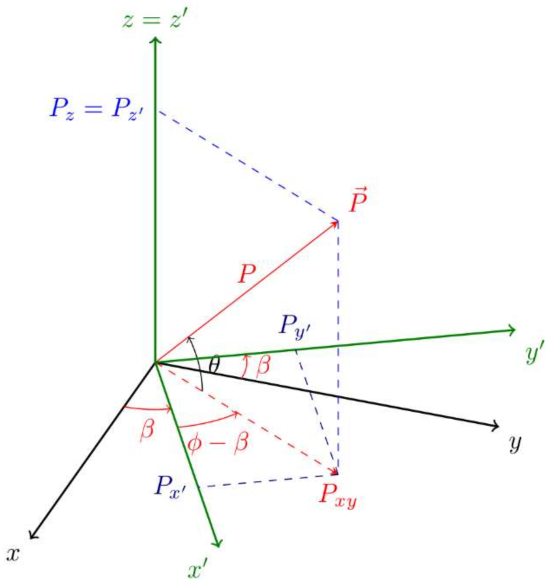
Sendo assim, a posição do ponto I (ϕ , θ) é dada da forma vetorial:

$$I = \begin{pmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} cos\,(\theta) \quad cos(\phi) \\ cos(\theta) \quad sen(\phi) \\ sen(\theta) \end{pmatrix} \quad (9)$$

2.1.2 Mudança de coordenadas

Uma mudança de coordenada ocorre quando rotacionamos o plano de um sistema de coordenadas.

Figura 2: Mudança de Coordenada



Fonte: Autoria própria.

Para mudarmos a coordenada de um sistema de coordenadas esférico, precisamos rotacionar o plano dessa coordenada. Dessa forma:

> "[...] Dado um par de coordenadas em um sistema qualquer, devemos encontrar a ou as rotações necessárias para transformá-las em outro sistema de coordenadas." (Lima Neto, 2002, pág. 16):

De maneira que a partir da figura 2, encontramos as seguintes equações:

$$\theta' = \theta \tag{10}$$

$$P_Z{}' = P_z = P\ sen(\theta) \tag{11}$$

$$P_x{}' = P\ cos(\theta)\ \cos\ (\phi') \tag{12}$$

$$P_y{}' = P\ cos(\theta)\ \mathrm{sen}\ (\phi') \tag{13}$$

$$P_z{}' = sen\ (\theta) \tag{14}$$

Da figura 2 temos que $\phi' = \phi - \beta$

Aplicando as regras de cossenos e senos de soma e subtração de ângulos para ϕ' temos que:

$$\cos(\phi') = \cos(\phi - \beta) = \cos(\phi)\cos(\beta) + \text{sen}(\phi)\,\text{sen}\,(\beta) \tag{15}$$

$$sen(\phi') = \text{sen}(\phi - \beta) = \text{sen}(\phi)\cos(\beta) - \cos(\phi)\,\text{sen}\,(\beta) \tag{16}$$

Usando (12) em (15) temos:

$$P_x{}' = \cos(\theta)\,(\cos(\phi)\cos(\beta) + \text{sen}(\phi)\,\text{sen}(\beta))$$

$$P_x{}' = \cos(\theta)\cos(\phi)\cos\,(\beta) + \cos(\phi)\,\text{sen}\,(\phi)\text{sen}\,(\beta)$$

$$P_x{}' = P_x\,cos(\beta) + P_y\,\text{sen}\,(\beta) \tag{17}$$

Usando (13) em (16) temos:

$$P_y{}' = \cos(\theta)\,(\text{sen}(\phi)\cos(\beta) - \cos(\theta)\,\text{sen}(\beta))$$

$$P_y{}' = \cos(\theta)\,\text{sen}(\theta)\cos(\beta) - \cos(\theta)\,\text{sen}\,(\phi)\text{sen}\,(\beta)$$

$$P_y{}' = P_y\,cos(\beta) - P_x\,sen(\beta) \tag{18}$$

$$P_z{}' = P_z \tag{19}$$

Logo, representamos a mudança de coordenada pelo produto matricial:

$$\begin{pmatrix} P_x{}' \\ P_y{}' \\ P_z{}' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\,(\beta) & \text{sen}\,(\beta) & 0 \\ -\text{sen}\,(\beta) & \cos\,(\beta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{pmatrix} \tag{20}$$

ou

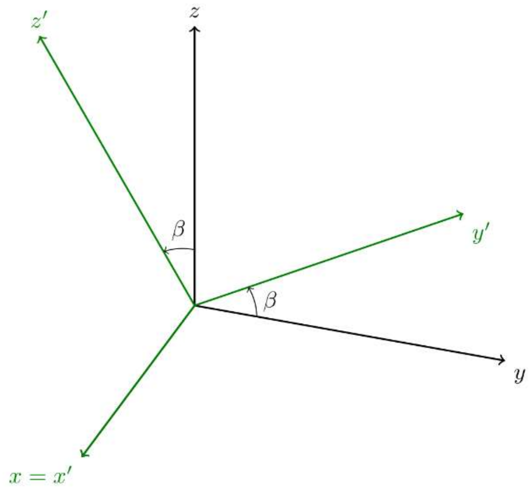
$$\overrightarrow{\mathrm{P}'} = \overline{\overline{\mathrm{R}}}_z(\beta)\,\vec{\mathrm{P}}$$

Portanto, as respectivas matrizes de rotação são:

Rotação eixo X:

$$R_x\ (\beta) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\,(\beta) & \text{sen}\,(\beta) \\ 0 & -\text{sen}\,(\beta) & \cos\,(\beta) \end{pmatrix} \tag{21}$$

Figura 3: Rotação em X

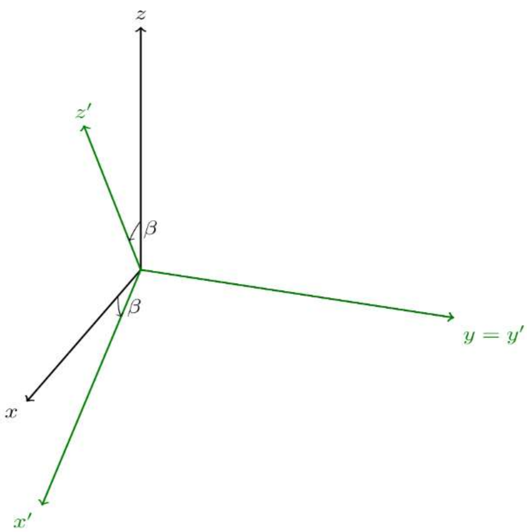


Fonte: Autoria própria

Rotação Eixo Y:

$$R_y(\beta) = \begin{pmatrix} \cos(\beta) & 0 & -\text{sen}(\beta) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(\beta) & 0 & \cos(\beta) \end{pmatrix} \tag{22}$$

Figura 4: Rotação em Y

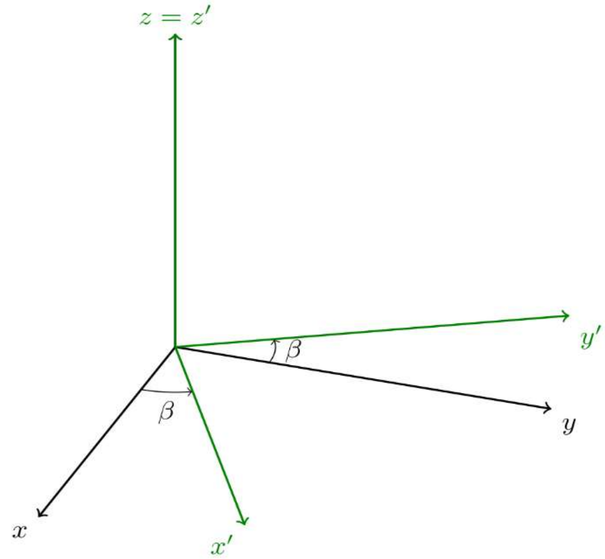


Fonte: Autoria própria

Rotação Eixo Z:

$$R_z(\beta) = \begin{pmatrix} \cos(\beta) & \text{sen}(\beta) & 0 \\ -\text{sen}(\beta) & \cos(\beta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \tag{23}$$

Figura 5: Rotação em Z



Fonte: Autoria própria

Onde β_x, β_y e β_z são os ângulos das matrizes de rotação R_x, R_y e R_z e sabendo se o par ordenado é o possível calcular a rotação: $I\ (\phi\ ,\ \theta) = R_x R_y R_z I\ (l,\ b)$.

Em um sistema de coordenadas é importante definir a posição dos astros na esfera celeste, assim a obra de Lima Neto traz informações precisas a respeito, como:

> "No Universo os astros se distribuem em um espaço tridimensional." e "A posição de um astro qualquer na esfera celeste pode ser definida (...) através de dois ângulos em relação ao sistema de coordenadas adotadas, que por sua vez é definido a partir de um ponto central.". Para projetar o apontador automático no Arduino precisaremos saber fazer as mudanças de coordenadas esféricas através de rotação de dos eixos cartesianos representados pela coordenada esférica (página 16, Lima Neto, 2002).

2.1.3 Sistema Local (Horizontal)

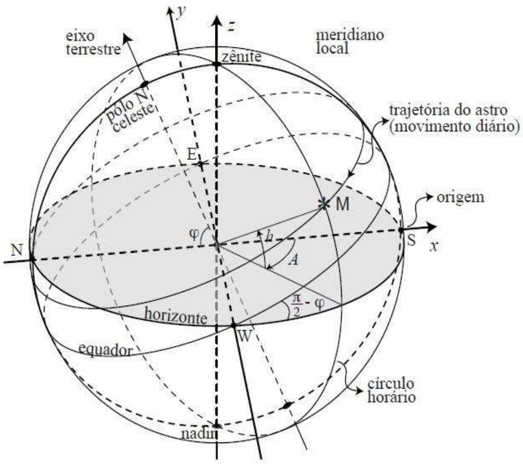
Em um sistema de coordenadas locais são considerados dois pontos essenciais para a determinação da posição de um astro, são eles: a altura e o azimute.

O azimute apresenta uma variação angular entre 0º e 360º. Já a altura variação entre -90º e +90º no eixo vertical.

Sendo assim, a posição do ponto I (A , h) é dada da forma matricial:

$$I = \begin{pmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} cos\ (h) \quad cos(A) \\ -cos(h) \quad sen(A) \\ sen(h) \end{pmatrix} \tag{24}$$

Figura 6: Sistema de Coordenada Local



Fonte: Lima Neto, 2002, pág. 10

2.1.4 Sistema de Coordenadas Equatoriais

Um sistema de coordenadas equatoriais é um sistema em que o equador celeste é considerado como plano principal para a obtenção da posição de um astro. Nesse sistema, há dois pontos essenciais: ascensão reta e a declinação. Por ter o equador celeste fixo na esfera celeste, independe do local e também do tempo de observação.

Ascenção reta (α) é um arco que é medido em torno do equador e varia de 0° a 360° ou 0 a 24h (uma nova medida de ângulos). Já a declinação (δ) varia de -90º a +90° e é um arco que é medido em torno da vertical.

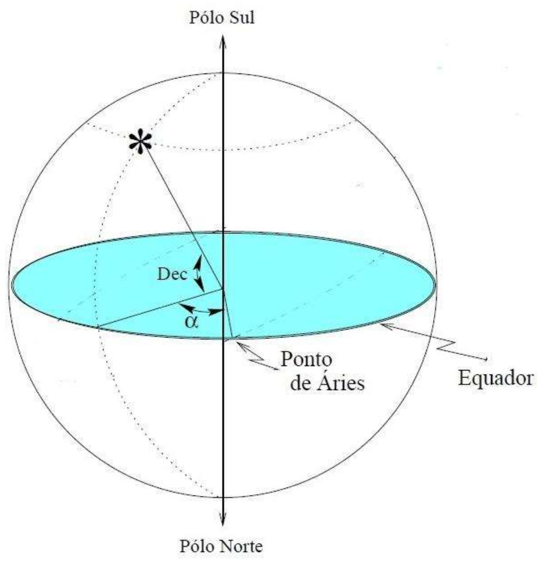
Ponto de Áries é um ponto do Equador com cujo qual é ocupado pelo Sol que passa de um hemisfério celeste ao outro. (Oliveira Filho, 2004)

Sendo assim, a posição do ponto I (α, δ) é dada da forma matricial:

$$I = \begin{pmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} cos\,(\delta) \quad cos(\alpha) \\ -cos(\delta) \quad sen(\alpha) \\ sen(\delta) \end{pmatrix}$$

Devido ao movimento de rotação da Terra e ao mesmo tempo ao movimento de translação da Terra em torno do Sol e da longitude é possível mudar, por exemplo, do sistema de coordenadas equatoriais para sistema de coordenadas horárias.

Figura 7: Sistema de Coordenada Equatorial



Fonte: Oliveira Filho, 2004

2.1.5 Sistema de Coordenadas Geográficas

Para fazer uma descrição da posição de um dado objeto na superfície da Terra precisamos de dois pontos essenciais dentro do sistema de coordenadas geográficas que são: a longitude (λ) e a latitude (φ).

Longitude (λ) é o ângulo cuja medida é dada ao longo do equador terrestre e apresentando como origem o meridiano de Greenwich. Variando de 0° a 180° de leste a oeste no seguinte intervalo:

$$-180° \ (leste) \leq \ \lambda \leq \ +180° \ (oeste)$$

Ou variando de em Greenwich de 0h a -12h (oeste) ou de 0h a +12h (leste)

$$-12h \ (oeste) \leq \lambda \leq +12 \ (leste)$$

Latitude (φ) é o ângulo cuja medida é dada ao longo do meridiano de origem no equador terrestre e extremidade no local. Variando de -90° a + 90° no seguinte intervalo:

$$-90° \ (sul) \leq \varphi \leq +90° \ (norte)$$

2.1.6 Sistema de Coordenadas Horárias

Assim como no sistema de coordenadas equatoriais, no sistema de coordenadas horárias:

> "a projeção do equador é o círculo principal e as declinações apresentam medidas semelhantes, no entanto, a origem está no meridiano local (medida horizontal) com cujo qual o ângulo é denominado ângulo horário (H). Diferente do sistema equatorial em que a ascensão reta não varia, o ângulo horário varia." (Lima Neto, 2002, pág.12)

Tempo sideral (T_S): é o ângulo do ponto vernal (H) com cujo qual varia ao longo do dia terrestre. É dado pela seguinte equação:

$$T_S = H + \alpha \tag{25}$$

Onde (T_S) é o tempo sideral, (H) o ângulo horário e (α) a ascensão reta.

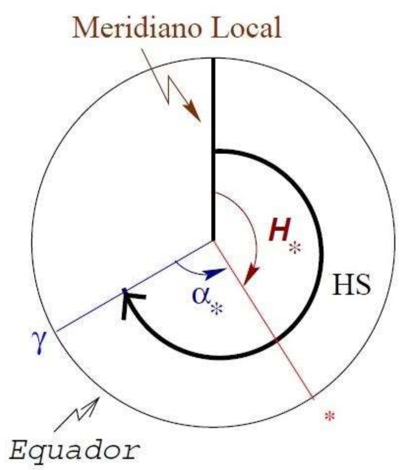
Utilizando o cálculo do tempo sideral que não é simples, mas existe algoritmo pronto para isso. Será utilizado um algoritmo (Anexo II) que dado o dia, o mês, o ano, a hora, o minuto, o segundo, a longitude e o fuso em relação ao meridiano de Greenwich que é usado como referência, o programa calcula, o T_S.

Hora sideral (H_S): é o ângulo do ponto de Áries dada pela seguinte equação:

$$H_S = H + \alpha \tag{26}$$

Onde (H_S) é a hora sideral, (H) o ângulo horário e (α) a ascensão reta.

Figura 8: Representação da hora sideral



Fonte: Oliveira Filho, 2004

Sendo assim, a posição do ponto I (H , δ) é dada da forma matricial:

$$I = \begin{pmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} cos\ (\delta) \quad cos(H) \\ -cos(\delta) \quad sen(H) \\ sen(\delta) \end{pmatrix} \tag{27}$$

Para passar do sistema de coordenadas horárias para o sistema de coordenadas locais é preciso fazer uma rotação que vai depender da latitude (φ).

$$I(A,h) = \overline{\overline{\mathrm{R}}}_y(90° - \varphi)\, I(H,\delta) \tag{28}$$

que na forma matricial é:

$$\begin{pmatrix} cos\ (h) \quad cos(A) \\ -cos(h) \quad sen(A) \\ sen(h) \end{pmatrix}$$
$$= \begin{pmatrix} \cos\ (90° - \varphi) & 0 & -\mathrm{sen}\ (90° - \varphi) \\ 0 & 1 & 0 \\ \mathrm{sen}\ (90° - \varphi) & 0 & \cos\ (90° - \varphi) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} cos\ (\delta) \quad cos(H) \\ -cos(\delta) \quad sen(H) \\ sen(\delta) \end{pmatrix}$$

Aplicando o produto de matrizes, uma vez que a lei dos cossenos para cos (90° − φ) é sen (φ), já que cos 90° é 0 e sen 90° é 1, portanto, temos que:

$$\cos(90° - \varphi) = \cos 90°\, cos\ (\varphi) + \mathrm{sen}\ 90°\, \mathrm{sen}(\varphi) = \mathrm{sen}\ (\varphi) \tag{29}$$

Então,

$$\begin{pmatrix} \mathrm{sen}(\varphi) & 0 & -\cos(\varphi) \\ 0 & 1 & 0 \\ \cos(\varphi) & 0 & \mathrm{sen}(\varphi) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} cos\ (\delta) \quad cos(H) \\ -cos(\delta) \quad sen(H) \\ sen(\delta) \end{pmatrix} =$$
$$\begin{pmatrix} cos\ (\delta)\ cos\ (H)\, \mathrm{sen}(\varphi) - \cos(\varphi)\, sen(\delta) \\ -cos(\delta)\ sen(H) \\ cos\ (\delta) sen(H) \cos(\varphi) + sen(\delta) \mathrm{sen}\ (\varphi) \end{pmatrix} \tag{30}$$

$$sen(h) = cos\ (\delta) sen(H) \cos(\varphi) + sen(\delta) \mathrm{sen}\ (\varphi) \tag{31}$$

Portanto, a altura (h) é:

$$h = arcsen(cos\ (\delta)\ sen(H)\cos(\varphi) + sen(\delta)\ \text{sen}\ (\varphi)) \quad (32)$$

$$tg\ A = \frac{-cos(\delta)\ sen(H)}{cos\ (\delta)\ sen(H)\cos(\varphi) + sen(\delta)\ \text{sen}\ (\varphi)} \quad (33)$$

Logo o azimute (A) é:

$$A = arctg\ \left(\frac{-cos(\delta)\ sen(H)}{cos\ (\delta)\ sen(H)\cos(\varphi) + sen(\delta)\ \text{sen}\ (\varphi)}\right) \quad (34)$$

Dessa maneira dado a ascensão reta e declinação, coordenadas razoavelmente fixas para uma determinada estrela. Com as equações (32) e (34) calcula-se o azimute e a altura (Coordenadas Locais da estrela que muda continuamente com o tempo).

2.1.7 Teodolito[3]

O teodolito é um dispositivo com cujo qual tem a capacidade de medir angulação horizontal (azimute) e vertical (altura) de um dado astro. (Veiga, et. al., 2007).

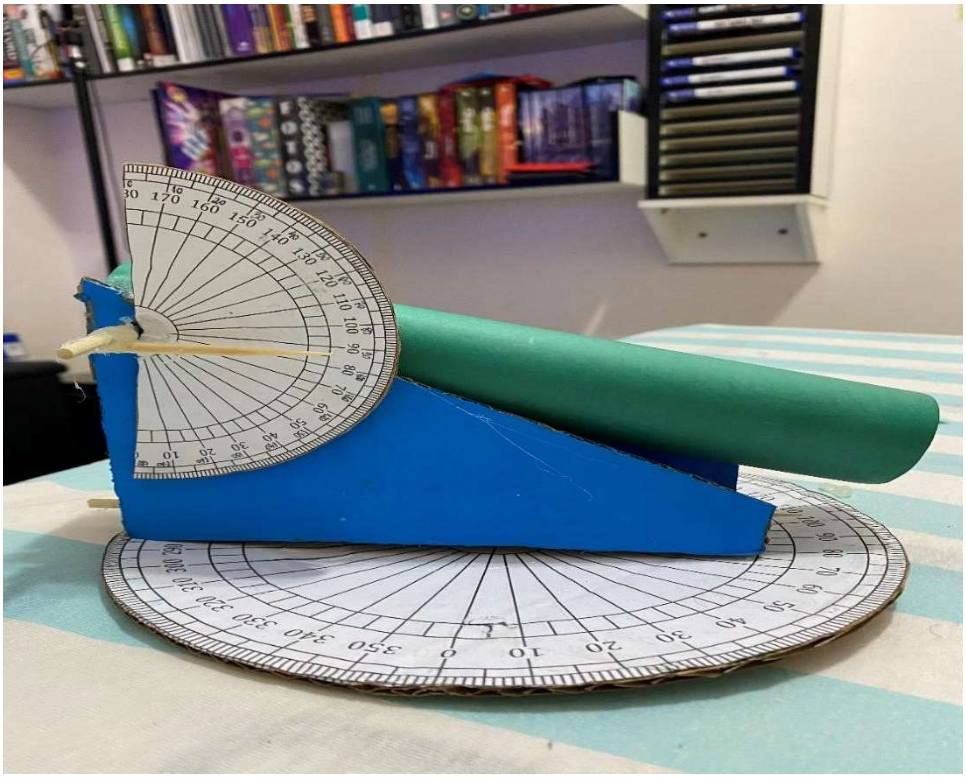
Desde os primórdios, mais precisamente na era egípcia e romana, eram utilizados produtos para medir os ângulos com os quais faziam-se as grandes construções arquitetônicas, tais como as pirâmides e ferramentas tecnológicas primitivas. Com o passar do tempo, segundo NOAA, 2021, a precisão para fazer essa medição teve um considerável desenvolvimento, onde essa angulação passou a ter ênfase na marcação e leitura de subdivisões que os determinam.

Em 1571, foi construído o teodolito primitivo onde a medição não era tão precisa, pois faltava algo muito importante, o telescópio. Somente a partir dos anos 1700, na segunda metade do século XVIII, com a construção do telescópio, os estudos instigaram o desenvolvimento do teodolito. No início desse século, as medidas eram feitas a mão, no final, passaram a ser motorizadas o que fez expandir o interesse pelo estudo do universo e cartografia. A partir de então, este aparelho virou um importante objeto de pesquisa e estudo.

Atualmente há uma infinidade de modelos desses aparelhos que demonstram uma gama de precisões, usos e aplicações. O óptico, por exemplo, pode ser controlado via software e atuar na construção de mapas bem como mapear um local utilizando coordenadas de posições.

O modelo abaixo é um recurso didático construído pelo autor como ferramenta a ser utilizada no ensino de Ciências Naturais dos anos finais do ensino fundamental, podendo também ser usado no ensino médio, de maneira a introduzir como se mede a altura e o azimute da posição das estrelas no céu. Onde o transferidor de baixo mede o azimute (medida horizontal) e o ângulo de cima mede a altura (medida vertical).

Figura 9: Teodolito



Fonte: Autoria própria

Vide no Anexo I, o passo a passo da construção do teodolito e os materiais utilizados na confecção do mesmo. Fora utilizado um vídeo no Youtube como base da construção deste Teodolito.

[3] Como construir um teodolito caseiro - https://www.youtube.com/watch?v=i_CV98A8fLQ

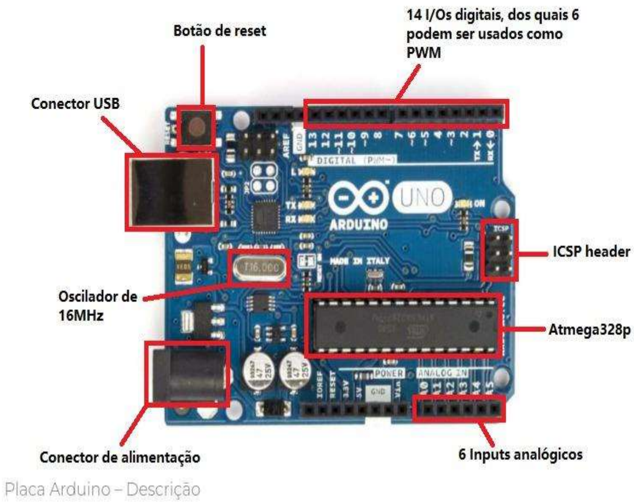
2.2 Arduino

2.2.1 O que é o Arduino?

O Arduino é um dispositivo de hardware utilizado por diversos estudantes e profissionais que possibilita fazer projetos eletrônicos de forma simples e acessível. Este microcontrolador opera em linguagem de programação C e C++ e pode ser programável para diversos projetos dentre os quais podem ou não fazer a manipulação de sensores, motores.

A figura abaixo demonstra a construção de um microcontrolador Arduino Uno, um Arduino de custo-benefício no qual será utilizado futuramente para programar o telescópio com os motores de passo.

Figura 10: Representação de um Arduino



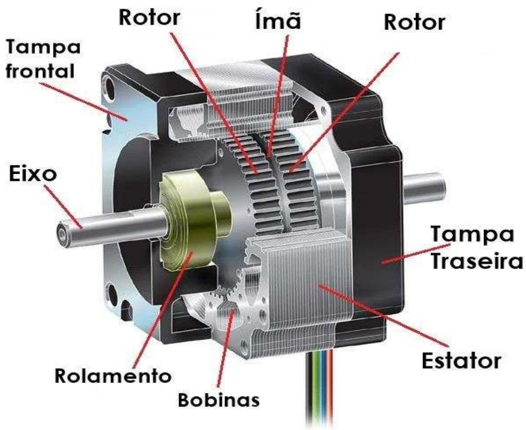
Fonte: Eletrogate, 2020.

2.2.2 Motor de Passo

Um motor de passo é um dispositivo elétrico que tem a propriedade de converter energia elétrica em movimento discreto. (Neo Motion, 2017)

A figura a seguir demonstra como um motor de passo é por dentro.

Figura 11: Representação de um Motor de passo



Fonte: Curto Circuito, 2017.

2.2.3 Como usar o Motor de passo

No caso deste trabalho, a utilização dos motores de passo, dar-se-á, através da programação do Arduino que, ao receber os dados das coordenadas equatoriais: ascensão reta e a declinação e das coordenadas locais: azimute e a altura, realiza os cálculos das transformações e faz os motores girarem.

3. OBJETIVOS

Aprender a transformar sistemas de coordenadas astronômicas, simular a montagem dos motores de passos com o laser verde, para futuramente com o auxílio da programação do Arduino, deixá-lo automatizado e por fim acoplar no telescópio. Neste trabalho, espera-se alcançar o resultado esperado ao simular a montagem do protótipo e poder utilizá-lo futuramente para o ensino de Astronomia (LIMA NETO, 2002 e OLIVEIRA FILHO, 2004).

4. METODOLOGIA

Este trabalho visa simular a construção de um protótipo que irá utilizar o microcontrolador Arduino como ferramenta principal para a automatização de um laser automático no qual é acoplado ao telescópio de maneira que o mesmo gire e seja direcionado para a posição desejada. Não é utilizado nenhum tipo de análise quantitativa ou qualitativa.

Sendo assim, a metodologia adotada é:

Usar os dois tipos básicos de coordenadas e a transformação de um sistema para o outro. Sistema de coordenadas equatorial (apoiado no centro da Terra) para o sistema de coordenadas local (centrado em um ponto específico da superfície da Terra).

Descrição do programa do *Arduino* (Monk, 2014) para controlar dois motores de passo, onde cada motor será associado a um dos ângulos do sistema de coordenadas local. E controlar o botão liga/desliga do laser verde.

Simulação da construção do protótipo para o acoplamento do laser verde (apontador de estrelas) aos dois motores de passos.

Dadas as coordenadas equatoriais da posição do astro dado, a latitude e longitude local, o dia e horário local, o sistema automático irá apontar o objeto e acompanhá-lo durante todo o tempo.

4.1 Descrição do dispositivo (protótipo)

O protótipo é dividido em 2 partes.

1ª Parte: Arduíno + ULN2003

2ª Parte: Motores de Passo

ULN2003 é um driver para conectar o Arduino aos motores de passo. Este driver impede que o Arduino forneça energia para os motores de passo, já que estes consomem muita energia. Desta maneira uma fonte externa irá fornecer energia para os motores de passo.

Dentro de cada motor de passo existem 4 conjuntos de bobinas, de tal maneira, que dependendo da sequência com que eles são ligados, o motor dá um passo, ou no sentido horário ou no sentido anti-horário. O Arduino irá controlar cada conjunto de bobinas, isto é, 4 variáveis por motor de passo.

Quem são estas variáveis? São controladas pelo Arduino, podendo valer 0 volts ou 5 volts. Funcionam como um bit. Bit = 0, corresponde a tensão de 0 V, e Bit = 1, corresponde a tensão de 5,0 V. Quando o Bit que controla aquela bobina for igual a 0, tem-se que desativar este conjunto de bobinas do motor de passo, e quando o bit for igual a 1, tem-se que ativar este conjunto de bobinas. O esquema para cada bobina do motor de passo é o seguinte:

- saída 2 do Arduino é a variável M1, que pode valer 0 ou 5,0 V. Está ligada a um resistor e a um led. Quando for 0, o led estará apagado, e quando for 5,0 V, o led estará aceso. Este led é apenas para controle visual. A saída 2 do Arduino é ligada no pino 1 do CI (circuito integrado) ULN2003.

- quando a entrada 1 do ULN2003 for igual a 0 volts, no pino 9 irá aparecer 15 V e quando a entrada 1 do ULN2003 for igual a 5 volts, no pino 9 irá aparecer 0 V. Como o pino 9 está conectado diretamente na primeira bobina do motor de passo, do outro lado da bobina tem-se 15 volts, assim, quando na saída 2 do Arduino for 0, não haverá ddp (diferença de potencial) na bobina do motor, e quando na saída 2 do Arduino for 5V, haverá ddp de 15 volts na bobina do motor.

- esta sequência de ligação é repetida para as outras 3 bobinas do motor 1 e para as 4 bobinas do motor 2.

Assim, as saídas do Arduino serão conectadas da seguinte maneira:

Saída 2 --> Bobina 1 do Motor 1

Saída 3 --> Bobina 2 do Motor 1

Saída 4 --> Bobina 3 do Motor 1

Saída 5 --> Bobina 4 do Motor 1

Saída 6 --> Bobina 1 do Motor 2

Saída 7 --> Bobina 2 do Motor 2

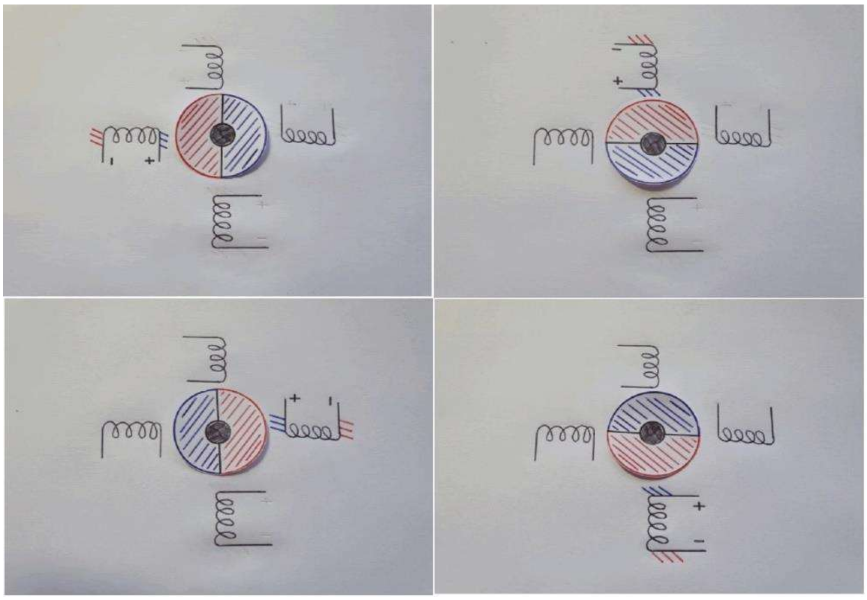
Saída 8 --> Bobina 3 do Motor 2

Saída 9 --> Bobina 4 do Motor 2

Para o Motor 1 movimentar no sentido horário, a sequência das bobinas deve ser da seguinte maneira: 1000 --> 1100 --> 0100 --> 0110 --> 0010 --> 0011 --> 0001 --> 1001 --> volta para o início.

O que quer dizer 1000? Que a bobina 1 está ligada e as outras desligadas. 0110, quer dizer que a bobina 1 está desligada, a bobina 2 e a bobina 3 estão ligadas e a bobina 4 está desligada.

Figura 12: Giro do Motor de passo



Fonte: FILIPEFLOP, 2020.

4.2 Descrição do algoritmo

Algoritmo para trabalhar com o Arduino e motores de passo.

-Ascenção reta e declinação da estrela (estes ângulos são razoavelmente fixos para as estrelas e também devidamente tabelados). Se o interesse for as estrelas mais brilhantes, pode-se criar uma tabela em que quando fornecido o nome da estrela, a tabela faz a leitura destes dois ângulos.

-Serão usados a latitude, longitude e fuso horário do local de observação. Estes valores depois de dados não mudam com o tempo. Vale ressaltar que o local de observação está fixo.

-Dado o dia e hora, ocorre mudança nessas unidades de tempo de maneira constante já que o tempo não para. Desse modo será utilizado um relógio interno para acompanhar a hora inicial de observação.

Usando o algoritmo de cálculo do tempo sideral que será fornecido anexo II, será calculado o ângulo horário.

-Utilizando as equações (32) e (34), calcula-se as coordenadas locais, azimute e altura.

Dado o azimute e altura, o Arduino fará girar os dois motores de passos. Lembrando que o motor de passo utilizado no protótipo, utilizava 400 passos para dar uma volta completa, assim, tem-se que fazer a devida correção para o giro dos motores de passo.

No anexo III, está exposto o programa do Arduino que controla os motores de passo.

5. RESULTADOS

Para calcular o azimute e altura de uma estrela (coordenadas locais), dada a sua ascensão reta e declinação em coordenadas equatoriais, tem-se que primeiramente calcular o Dia Juliano, isto é a contagem em dias desde o 1º de janeiro de 4712 A.C. Esta data se originou de três ciclos conhecidos na antiguidade. O primeiro devido a repetição dos calendários. Como há 7 dias na semana, anos normais e anos bissextos, então, as sequências de repetição de calendários são iguais a 28. Devido ao ciclo de Menton, tempo em que os ciclos lunares repetem dentro dos ciclos solares, este período é igual a 19 anos. Por fim, o tempo que se levava para fazer o recenseamento no Império Romano era de 15 anos.

O ano inicial 4713 A.C, foi escolhido por ser o mais antigo registro histórico conhecido na época. A partir deste cálculo, calcula-se qual é o período entre a data de hoje (com hora e minuto) em relação a 1º de janeiro de 2000 e com este valor, devido as correções do movimento elíptico da Terra, calcula-se o período que a Terra gira em relação as estrelas, chamado de tempo sideral. A partir disso, com a sequência do texto, é calculado o ângulo horário e após rotacionar de acordo com a latitude, é calculado o azimute e altura.

No programa, a função Dia Juliano (retorna a quantidade de dias e frações do dia a partir do meio-dia de 1º de janeiro do ano 4712 A.C.) Lembrando que pelo calendário gregoriano, não houve os dias entre 4 e 14 de outubro de 1582.

Dado as coordenadas locais, azimute e altura, o programa faz com que os dois motores se movimentam.

Como com 400 passos se dá uma volta completa, o ângulo dado é multiplicado por 400/360. Assim faz-se a conversão de graus para o número de passos que precisa ser dado pelos motores.

O Motor 1 controla o azimute e o Motor 2 controla a altura.

Como pode ser alterado apenas uma bobina de vez e pensando que cada conjunto de 4 bits controla as 4 bobinas de um dos motores de passo, temos que a seguinte sequência que faz com que os motores girem de forma adequada. São 4 bobinas, denominadas 0, 1, 2 e 3 que em cada momento será ligada ou desligada.

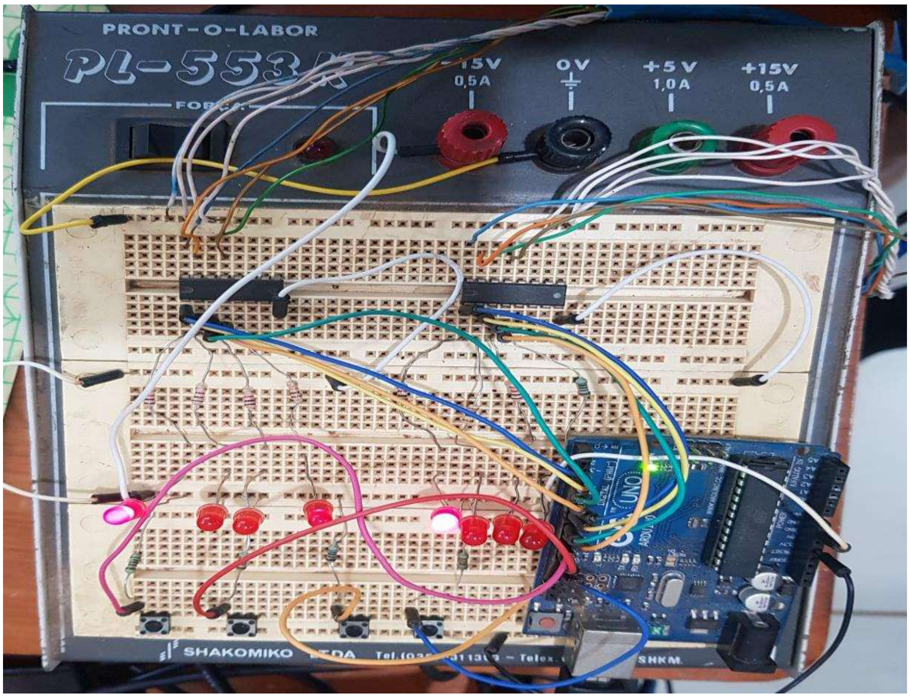
Bobina a ser acionada	-	Estado Anterior das Bobinas	-	Estado Atual das Bobinas
1	-	0 0 0 1	-	0 0 1 1
0	-	0 0 1 1	-	0 0 1 0
2	-	0 0 1 0	-	0 1 1 0
1	-	0 1 1 0	-	0 1 0 0
3	-	0 1 0 0	-	1 1 0 0
2	-	1 1 0 0	-	1 0 0 0
0	-	1 0 0 0	-	1 0 0 1
3	-	1 0 0 1	-	0 0 0 1

Veja que em cada passo apenas uma das bobinas é ligada ou desligada, isso faz com que não tenha atrasos no ato de ligar e desligar bobinas ao mesmo tempo. Quando é acionado nesta sequência, o motor gira no sentido horário e na sequencia inversa, no sentido anti-horário.

Figura 13: Protótipo do motor de passos com a caneta apontadora

Fonte: autoria própria

Figura 14: Protoboard com o circuito eletrônico ligado ao Arduino



Fonte: autoria própria

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi possível desenvolver diversas habilidades e competências necessárias para a consolidação do mesmo. Entre elas:

- Trabalhar com Coordenadas Esféricas e suas possibilidades de transformações

- Construir um teodolito caseiro de forma prática e eficiente

- Trabalhar com programação computacional

- Montar um experimento utilizando o Arduino

- Estudar sobre observação astronômica

- Saber o funcionamento dos motores de passos

Problemas:

A transformação de um sistema de coordenadas para outro não foi simples, como se imaginava a princípio. Envolve uma função aproximada que não é simples de ser obtida, necessitando, assim, obter na literatura, a função matemática que fazia esta transformação (Isso se refere ao cálculo do Tempo Sideral). Outra dificuldade é a limitação do Arduíno quanto a fornecer a hora exata e calcular funções do tipo arctangente.

O anexo II está em Portugol, uma pseudolinguagem escrita sob forma de algoritmo estruturado. Isso é um dos problemas para instalar no Arduino hoje, pois exige algumas coisas que o Arduíno não tem. Como por exemplo, o horário exato e também uma biblioteca funções, tais como o math.h, do tipo arctangente, para ser importadas ao Arduino, e logo, tem que ser desenvolvido via expansão de Taylor. Além disso o Arduino se parece muito com a linguagem C, porém trabalha de forma independente, logo bibliotecas como math.h precisa ser importada de outras linguagens de programação. Talvez seja melhor utilizar o RaspberryPi para fazer este controle do telescópio, pois assim poderá ter armazenado as coordenadas equatoriais de várias estrelas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADMINISTRATION, NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC - NOAA; An Angular Point of View: **A Photo Collection Illustrating the History of Theodolites at the National Geodetic Survey**. U.S. Departament of Commerce, USA, 2021 – Disponível em: https://celebrating200years.noaa.gov/theodolites/welcome.html#intro– Acesso em: 21 de março de 2022.

ANTON, Howard. **Álgebra Linear com Aplicações -** 10ª ed. Bookman, 2012.

CONTROLANDO MOTORES: **Motor de Passo** – Disponível em: https://www.robocore.net/tutoriais/controlando-motor-de-passo – Acesso em: 19 de fevereiro de 2022.

CURTO CIRCUITO. **Introdução ao Motor de Passo**. Blog Curto Circuito, 2021. – Disponível em: https://www.curtocircuito.com.br/blog/motor-de-passo/introducao-ao-motor-de-passo – Acesso em: 14 de março de 2022.

ELETROGATE. **O que é Arduino: para que serve, vantagens e como utilizar**. Blog Eletrogate, 2020. – Disponível em: https://blog.eletrogate.com/o-que-e-arduino-para-que-serve-vantagens-e-como-utilizar/ – Acesso em: 14 de março de 2022.

FILIPEFLOP. **O que é o motor de passo? Entenda seu funcionamento e aplicações**. Blog FilipeFlop, 2020. – Disponível em: https://www.filipeflop.com/blog/o-que-e-motor-de-passo-entenda-seu-funcionamento-e-aplicacoes/ – Acesso em: 05 de abril de 2022.

LIMA NETO, Gastão Bierrenbach. **Astronomia de Posição**. São Paulo: Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo, 2002.

MONK, Simon. **30 projetos com Arduino** – 2ª ed., Porto Alegre: Bookman, 2014.

NEO MOTION. **Funcionamento do motor de passo**. Santa Catarina, 2017. – Disponível em: https://www.neomotion.com.br/wp-content/uploads/2017/07/Cat%C3%A1logo-Datasheet-dos-motores-de-passo-R01.pdf – Acesso em: 14 de março de 2022.

OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza. **Astronomia e Astrofísica** – 2ª ed., São Paulo: Editora Livraria da Física, 2004.

VEIGA, Luis Augusto Koenig; ZANETTI, Maria Aparecida Z.; FAGGION, Pedro Luis. **Fundamentos de Topografia**. Departamento de Engenharia Agrícola do Centro de

Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, Ceará, 2007. – Disponível em: http://www.gpeas.ufc.br/disc/topo/apost04.pdf – Acesso em: 04 de março de 2022.

VENTURI, Jacir J. – **Álgebra Vetorial e Geometria Analítica**. Universidade Federal do Paraná, 8ª ed., Curitiba, 1949. – Disponível em: http://www.ime.unicamp.br/~deleo/MA141/ld02.pdf – Acesso em: 24 de fevereiro de 2022.

ANEXO I

Materiais utilizados na construção do Teodolito:

- 1 tesoura
- Caixa de papelão
- Cola transparente
- Tubos de cola quente
- Transferidor de 360º impresso de tamanho grande e um transferidor de 360º impresso de tamanho pequeno e cortado ao meio.
- Pistola de cola quente
- Papel colorido da cor verde
- Tinta guache na cor azul
- Vareta de bambu
- Esquadro
- Tubo de papel toalha
- Lápis
- Borracha

Para a construção do teodolito foram cortados os transferidores impressos, depois colados no papelão e, então cortados e reservados.

Fora desenhado o esquadro no papelão, cortou-se e por fim pintou com auxílio dos dedos das mãos e reservou.

Após a secagem dos transferidores, pegou-se o maior e fez-se um furo no centro do mesmo.

Para girar o disco maior fora cortados dois quadrados menores com a caixa de papelão e fixados no centro do disco maior e colados a vareta de bambu.

Cortou-se duas bases e fixados nos triângulos feitos a partir do esquadro. E fez-se furos na base e no topo dos triângulos para por fim colar as varetas de bambu no tubo de papel toalha.

Foi fixado uma ponta de vareta de bambu na base do disco maior e outro na base do disco menor, afim de quando girasse achasse o azimute e a altura dos astros celestes. O disco maior mede o azimute e o disco menor mede a altura.

ANEXO II

Algoritmo de transformação de coordenadas equatoriais em coordenadas locais baseado em http://ghiorzi.org/diasjuli.htm

Entrada: Dia, Mes, Ano, Hora, Minuto, Segundo

Se (Mes < 3) então { Ano = Ano -1 ; Mes = Mes + 12 } # Para deixar o 1º mês como sendo março e o último mês fevereiro, onde pode-se colocar o dia extra devido aos anos bissextos.

Se a data for superior a 14 de outubro de 1582, então {

a1 = int(ano/100) # Verificar se é multiplo de 100

a2 = 2 – a1 + int(a1/4) # A partir de 14 de outubro de 1582, o ano bissexto é contato assim, ser multiplo de 4, desde que não seja multiplo de 100, exceto os casos de serem multiplos de 400.

DiaJuliano = int(365.25 * (ano + 4716)) + int (30.6001*(mes+1))+dia+a2-1524.5+((hora)+(minuto+segundo/60)/60)/24

Saida = DiaJuliano

Função tempo sideral

Entrada: Dia, Mes, Ano, Hora, Minuto, Segundo, longitude, fuso)

dia = DiaJuliano – 2451544.5 (Número de dias em relação a 0 horas do dia 1º de janeiro de 2000.

sec = dia/36525 # Medida de séculos entre o dia de hoje e 1º. De janeiro de 2000)

correcao = 0.000387933*sec^2 – sec^3/28710000 # Correção devido ao movimento eliptico da terra)

interd = 280.46061837 + 0.98565736629*dia + correcao # medida em horas em relação a 1º. De janeiro do ano.

TempoSideral = ((interd + longitude + 15*(hora+minuto/60 + segundo/3600 – fuso)) % 360)

Função Mudança de Coordenada

Entrada: Dia, Mes, Ano, Hora, Minuto, Segundo, Latitude, Longitude, Fuso, Ascensão Reta, Declinação

AnguloHorario = TempoSideral – Ascensão Reta

Vetor = RotaçãoY(90-latitude) Vetor (Angulo Horario, Declinação)

Azimute e Altura = Angulos Coordenadas Esféricas do Vetor

ANEXO III

Programa do Arduino para controle dos dois motores de passo:

```
int B[8]={2,3,4,5,6,7,8,9};
int P[16]={1,0,2,1,3,2,0,3,3,0,2,3,1,2,0,1};
long int i,i1,i2,j,j1,j2,N=100000;
int s1=1,s2=0;
int N1=200,N2=400;
int tempo = 10;
float theta,phi;
int itheta,iphi,sphi,stheta;
char ch;

void setup() {
  for(i=0;i<8;i++)
    pinMode(B[i],OUTPUT);
  for(i=0;i<8;i++)
    digitalWrite(B[i],0);
  digitalWrite(B[0],1);
  digitalWrite(B[4],1);
  Serial.begin(9600);
  i1=0;
  i2=0;
}

void motor01(int ss){
   int p,b;
   p = (i1+1)%2;
```

```
   b = P[i1+ss*8];
   digitalWrite(B[b],p);
   i1 = (i1+1)%8;
   }

void motor02(int ss){
   int p,b;
   p = (i2+1)%2;
   b = P[i2+ss*8];
   digitalWrite(B[b+4],p);
   i2 = (i2+1)%8;
   }

void loop() {

 if (Serial.available())
   {
   phi = Serial.parseFloat();
   Serial.write("Azimute = ");
   Serial.println(phi);
   iphi = 400*phi/360;
   sphi = iphi>0?1:0;
   iphi = abs(iphi);
   }
 for(i=0;i<iphi;i++)
   {
   motor01(sphi);
   delay(tempo);
   }
```

```
if (Serial.available())
  {
  theta = Serial.parseFloat();
  Serial.write("Altura = ");
  Serial.println(theta);
  itheta = 400*theta/360;
  stheta = itheta>0?1:0;
  itheta = abs(itheta);
  }
for(i=0;i<itheta;i++)
  {
  motor02(stheta);
  delay(tempo);
  }
delay(tempo);
}
```