

# Trena Digital para Medições de Distância e Ângulo em Três Eixos

Eduardo Araújo Batista (15/0008872)  
Faculdade do Gama - FGA  
Universidade de Brasília - UnB  
Brasília, Brasil  
Email: eduardo.araujob@outlook.com

Victor Oliveira Corrieri de Macedo (14/0164961)  
Faculdade do Gama - FGA  
Universidade de Brasília - UnB  
Brasília, Brasil  
Email: victormacedo10@yahoo.com.br

**Resumo**—O trabalho trata de um pré-projeto de uma trena digital inteligente, utilizando elementos como sensores rotativos e de angulação além de um microcontrolador MSP430, para determinar e apresentar em um display valores de distâncias e ângulos medidos a partir de uma fita.

## I. INTRODUÇÃO

Desde a invenção dos números, o ser humano tenta quantificar o mundo para melhor compreender e descrever o seu comportamento. Já nas primeiras civilizações da história, foram encontrados indícios de instrumentos e sistemas de medição como forma de auxiliar na agricultura, no comércio e em construções. Conforme as sociedades foram se desenvolvendo, fez-se a necessidade de padronizar essas medições. É nesse contexto que surge o sistema métrico.

Dentre as diferentes formas de medida, uma das mais importantes é a distância. Ela serviu para descrever desde as dimensões de pequenos objetos até o deslocamento necessário para ir de uma cidade à outra. Um de seus principais instrumentos de medida é a trena. A trena é um instrumento retrátil de medida para curtas distâncias. Entretanto, por ser um medidor extremamente simples, surgem limitações e dificuldades, dependendo da aplicação desejada. Ainda assim, a trena é um dos instrumentos de medição mais utilizados, principalmente na construção civil, além de diversos outros contextos.

Com os avanços tecnológicos, foi possível aumentar consideravelmente a precisão dos instrumentos de medida. Além da precisão, a velocidade de medição também foi aumentada. Isso possibilitou a automatização e o aperfeiçoamento de diversos sistemas, principalmente no setor industrial.

## II. JUSTIFICATIVA

Tendo em vista a importância primordial de se realizar medições de forma rápida e precisa, especialmente no âmbito da Engenharia, faz-se necessária a criação de uma solução prática e eficiente para facilitar o processo. Com esse propósito, foi pensado o desenvolvimento de uma trena inteligente que permita a aquisição de diferentes medidas, distâncias e ângulos, e sua digitalização. O intuito principal do projeto é de contribuir para a construção civil, devido à alta demanda por uma otimização dentro de seus processos de medição.

## III. OBJETIVOS

O projeto visa a implementação de uma trena digital capaz de determinar distâncias e ângulos com base em um sistema referencial previamente calibrado. Também serão realizados cálculos para a conversão dos valores obtidos, em coordenadas esféricas, para um sistema de coordenadas cartesiano com três eixos representando altura, largura e comprimento. Todos os dados de medição e configurações estarão presentes na interface do dispositivo de forma simples e interativa.

## IV. REQUISITOS

A trena digital será implementada para calcular distâncias com uma precisão milimétrica. Para o cálculo do deslocamento da fita, será utilizado um encoder rotativo de alta resolução. Os dados desse sensor serão associados à leitura de um giroscópio por meio do microcontrolador MSP430 para se determinar os componentes de distância para os três eixos calibrados inicialmente. Os dados medidos, assim como as configurações de medição, serão apresentados em um display LCD e controlados por botões acoplados ao dispositivo. Além disso, será possível acessar as últimas medições que devem ser salvas na memória do microcontrolador.

## V. ELABORAÇÃO DO SISTEMA

### A. Bill of Materials

- Dois microcontroladores MSP430G2553
- Um módulo MPU9250
- Um encoder rotativo E6B2-CWZ6C 2000P/R
- Um módulo Bluetooth HC-05
- Um display Nokia 5110
- Um Step-Up Boost converter XI6009
- Um regulador de tensão 3.3v AMS1117
- Uma bateria de Lítio
- Um módulo de carga TP4056
- Uma placa perfurada
- Uma estrutura impressa 3D
- Dois botões

### B. Identificação de Deslocamento

Para determinar a distância percorrida pela trena, foi utilizado um encoder rotativo acoplado à fita. Este sensor é um transdutor eletromecânico capaz de converter movimento de rotação em impulsos elétricos de onda quadrada. Ele gera uma quantidade previamente definida de pulsos por revolução, sendo estes espaçados igualmente no decorrer dos 360° do giro. Além disso, ele é capaz de determinar o sentido da rotação. Para isso, sua estrutura interna é composta por áreas com e sem janela, um emissor de onda eletromagnética e dois sensores fotossensíveis, desse modo, ao proporcionar o giro os sensores geram uma sequência de pulsos que indicam o movimento, e, ao observar a ordem dos pulsos nos diferentes sensores é possível determinar o sentido do giro. Na figura 1 é mostrado um esquema da posição dos sensores com relação às janelas e o foto-emissor, enquanto na figura 2 é mostrada a diferença observada entre os sensores para a obtenção do sentido.



Figura 1. Posicionamento dos sensores

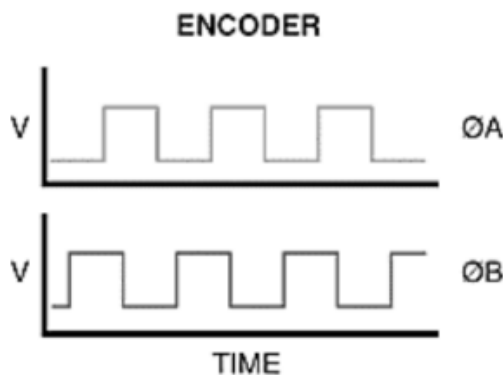


Figura 2. Leitura dos sensores distintos

A partir da quantidade de pulsos e do sentido de rotação torna-se simples estimar o deslocamento matematicamente. Para o projeto foi utilizado um encoder de 2000 PPR (pulsos por revolução), do modelo E6B2-CWZ6C. Devido a sua alta quantidade de pulsos por revolução a medição se torna precisa o suficiente para o projeto, que utiliza medições em milímetros, sendo que o encoder fornece cerca de 14 pulsos por milímetro. Para efetuar a calibração do sistema de medição de deslocamento foi utilizada a metodologia experimental, em que, utilizando a fase z como referência, mediu-se a

posição, em centímetros, da trena e a quantidade de pulsos equivalente. Ao total mediu-se 24 pontos nos 3 metros de comprimento, que então foram plotados em um gráfico com o auxílio do Excel. Foi traçada então uma linha de tendência da distribuição dos pontos, e observou-se que a mais adequada, assim como o esperado, era uma curva polinomial, sendo possível então utilizá-la para determinar a distância a partir de uma quantidade qualquer de pulsos. Os pontos medidos e a curva de tendência são apresentados abaixo na figura 3.

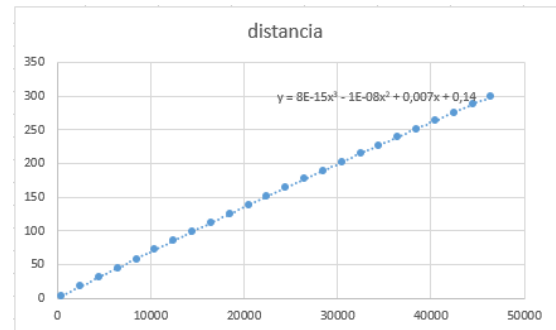


Figura 3. Curva de tendência encoder rotativo

Após a implementação da equação polinomial descrita acima, novas medições foram feitas para aferir a precisão na distancia calculada, que se mostrou satisfatória. Caso observe-se a necessidade de aumentar a precisão, basta adicionar mais pontos na determinação da equação polinomial.

### C. Medição de Ângulos

Para a obtenção dos ângulos é necessário a utilização de um módulo de sensores do tipo IMU, que faz medições em um sistema inercial. O módulo contém um giroscópio de 3 eixos, um acelerômetro de 3 eixos e um magnetômetro de 3 eixos, além de um sensor de temperatura. O acelerômetro e o giroscópio são sensores capacitivos com diferentes graus de liberdade, que utilizam tecnologia MEMS, sistemas microeletromecânicos, para interpretar forças específicas, velocidades angulares e campos magnéticos atuando sobre ele.

O giroscópio é sensível à movimentos de rotação em seu eixo e apresenta valores já convertidos de velocidade angular em radianos por segundo. O acelerômetro percebe a aceleração própria, sendo causada por uma força específica atuando sobre ele, como a força da gravidade. Sua medição de aceleração é normalizada a partir da aceleração gravitacional e apresentada em função da constante  $g$ . Já o magnetômetro é um sensor de Hall que capta campos magnéticos a partir de diferenças de potencial geradas em suas placas condutoras. Sua medição é apresentada em micro Tesla. Para a comunicação com esse módulo é utilizado o protocolo I2C.

Para que essa seja possível encontrar o ângulos do sensor para um sistema referencial fixo é necessário a associação dos parâmetros de cada um dos sensores da IMU por meio de relações físicas e modelos matemáticos, o que é conhecido como fusão de sensores. Um dos métodos mais utilizados para esse propósito é o filtro de Kalman. Esse filtro consiste de

uma análise probabilística dos valores adquiridos, utilizando parâmetros físicos e de calibração para estimar dinamicamente a resposta real do sistema.

O último estágio para se chegar nos ângulos é a obtenção dos ângulos de Euler. Esses são os ângulos entre um sistema que gira junto com o objeto e um sistema inercial fixo. Eles podem ser observados na figura 4 como  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ . Assim, aplicando uma transformação de coordenadas, obtém-se os ângulos desejados.

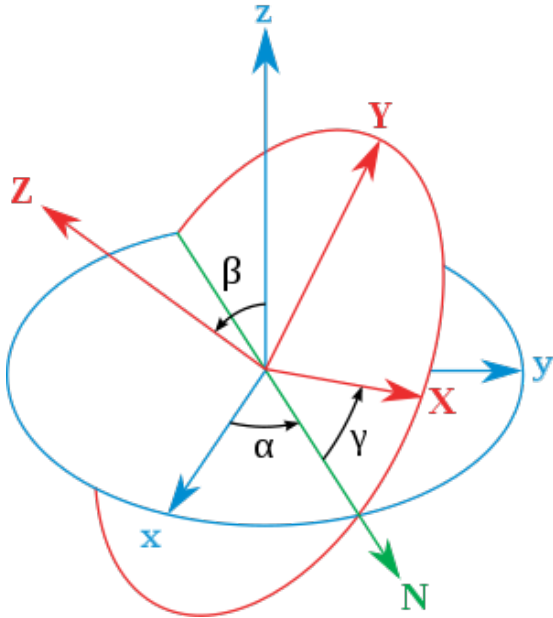


Figura 4. Ângulos de Euler

#### D. Mudança de Coordenadas

A obtenção dos parâmetros de descolamento e dos ângulos referentes a um sistema de referência fixo pré-estabelecido, permitem a análise das medições em função de coordenadas esféricas, como representado no gráfico da figura 5. Esse é um sistema muito útil para analisar inclinações de objetos ou identificar se objetos estão paralelos ou perpendiculares.

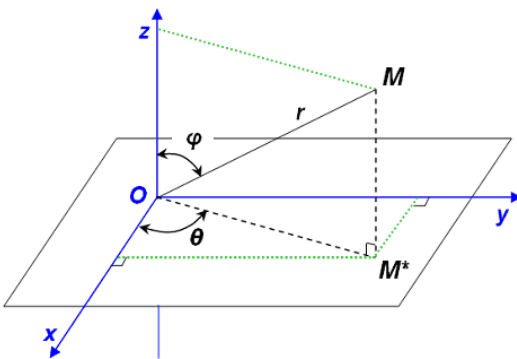


Figura 5. Sistema de coordenadas esféricas

Ainda assim, a forma mais comum e prática de se analisar uma medida é utilizando o sistema cartesiano de coordena-

das retangulares em 3 eixos representado na figura 6. Para converter as medidas para esse sistema basta aplicar outra transformação de coordenadas nos parâmetros das coordenadas esféricas já obtidas. Com isso, é possível adquirir valores de altura, largura e comprimento de um espaço com apenas uma medição.

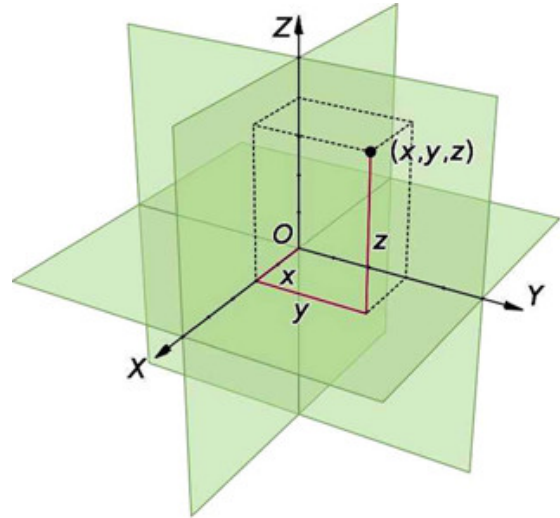


Figura 6. Sistema de coordenadas cartesianas

#### E. Interface

Para realizar a passagem de informações processadas ao usuário, foi utilizado um display LCD Nokia 5110, que mostra principalmente os dados de distância percorrida e a inclinação nos eixos x e y. Além disso, a interface começou a ser estruturada para aceitar diferentes configurações, a partir do uso de um menu. Algumas funções iniciais de seleção do menu foram implementadas como mostrado na figura 7.

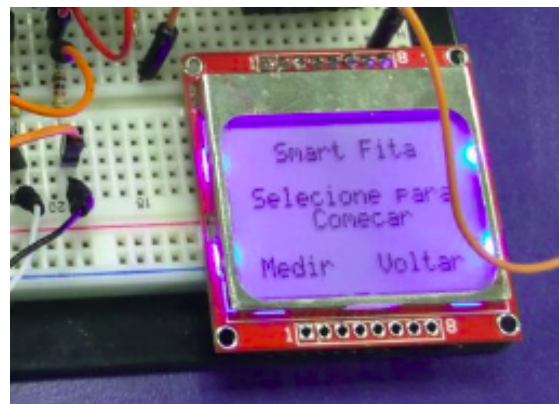


Figura 7. Interface implementada no display

Para o controle do menu pelo usuário, foi decidido usar um conjunto de dois botões para controlar as opções de selecionar, voltar e navegar pelo menu. A utilização dos botões permitem por uma melhor distribuição na base da estrutura.

## F. Estrutura

Com o intuito de possibilitar uma medição confiável e reproduzível, foi necessário a implementação de uma estrutura física rígida para segurar a trena e manter o encoder fixo. Para isso, foi desenhado uma estrutura em CAD, representada na figura 8, utilizando o software Tinkercad.

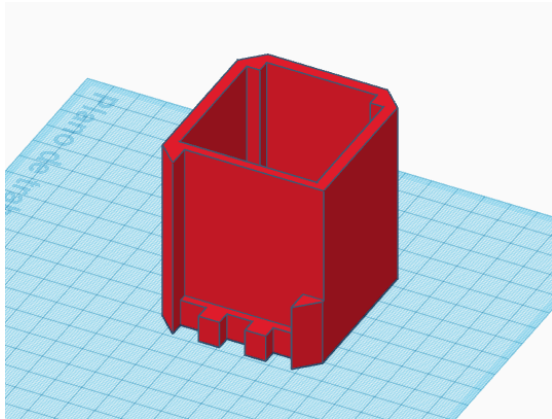


Figura 8. Estrutura modelada no CAD

A estrutura foi implementada em uma impressora 3D e acoplada ao encoder rotativo e à uma trena comercial. O resultado se encontra na figura 9.



Figura 9. Estrutura da trena impressa em 3D

## G. Montagem

Nesse ponto de controle foi acoplado a estrutura impressa com o encoder rotativo ao circuito do MSP. A montagem completa na protoboard está representada na figura 10

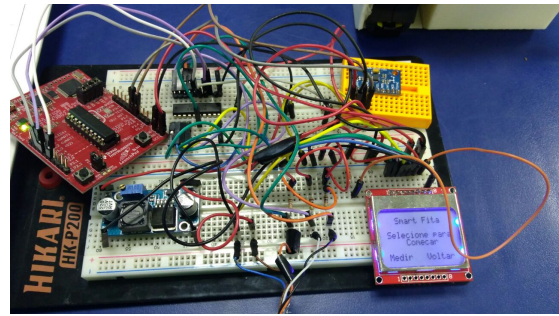


Figura 10. Montagem do MSP na protoboard

Foram utilizados dois microprocessadores MSP430G2553, um para o controle das funções do display e a interpretação dos pulsos do encoder, enquanto o outro adquire as informações do módulo inercial MPU9250 e interpreta as informações, convertendo-as para os ângulos equivalente. Como a comunicação decidida entre os MSP430 foi o protocolo SPI, utilizamos a comunicação I2C para o MPU. O código de aquisição e conversão dos ângulos está passando por alterações finais para se adequar à pequena memória disponível no MSP430G2553.

## VI. CONCLUSÃO

O projeto tem como finalidade a implementação de um instrumento de medição capaz de determinar distâncias e ângulos com precisão milimétrica. Conclui-se que o projeto é viável quanto aos seus objetivos e requisitos, apresentando uma solução prática e eficiente para o problema disposto. Dessa forma, o desenvolvimento de uma trena tecnológica demonstra um alto potencial de inovação como ferramenta para o auxílio na construção civil.

## REFERÊNCIAS

- [1] André, Jacques (1993). "Font Metrics". In Hersch, Roger D. Visual and technical aspects of type. Cambridge, England: Cambridge University Press. p. 64. ISBN 0-521-44026-