

Kit didático para medição de posição utilizando Arduino

Alfredo Lima

Instituto de Computação (IC)

Universidade Federal de Alagoas (UFAL)

Maceió, Brasil

alfredolms@ic.ufal.br

Edvonaldo Horácio

Instituto de Computação (IC)

Universidade Federal de Alagoas (UFAL)

Maceió, Brasil

edvonaldohs@ic.ufal.br

Leony Oliveira

Instituto de Computação (IC)

Universidade Federal de Alagoas (UFAL)

Maceió, Brasil

lobernardo@ic.ufal.br

Lucas Peixoto

Instituto de Computação (IC)

Universidade Federal de Alagoas (UFAL)

Maceió, Brasil

lpdac@ic.ufal.br

Resumo—A medição de posição é crucial em aplicações de automação residencial e industrial. Assim, este trabalho tem como objetivo a medir a posição de um elevador utilizando sensor ultrassônico e apresentando técnicas de calibração de sensores para ajuste na aplicação citada. Conceitos vistos na disciplina de Instrumentação Eletrônica foram usados e os resultados obtidos são apresentados ao longo do trabalho.

Index Terms—sensores, calibração, posição, instrumentação.

I. INTRODUÇÃO

Ao longo do tempo e por conta diversos outros fatores, tais como a utilização incorreta, aplicações específicas, entre outros, os sensores precisam ser calibrados. Naturalmente o sensor de posição ultrassônico é um deles. Serão mostrados, dentre outros aspectos relevantes, o ajuste do dispositivo que faz parte do Kit Arduino, o HC-SR04 cuja aplicação é a medir a distância, em centímetros, a fim de se configurar corretamente o mesmo para que a cabine do elevador possa estacionar no andar requisitado. Dos aspectos relevantes que serão expostos no projeto destaca-se a curva de calibração, observando que também foram avaliados outros sensores, tais como **reed switch**, **chave fim de curso (ou switch)** e **infravermelho**, bem como características relevantes para o trabalho: **modo de operação**, **range**, **span** e **resolução**. Após as avaliações e ponderações acerca da escolha do sensor ultrassônico são mostrados os resultados obtidos em teste.

II. DESENVOLVIMENTO

Foi feita uma maquete da estrutura de elevador com madeira, parafusos de metro, MDF, porcas, arruelas, roldanas, microcontroladores e circuitos eletrônicos (Ponte H, chaves, sensores e Leds). As subseções a seguir descrevem de cada uma das partes que compõem o elevador.

A. Estrutura

A estrutura foi desenvolvida com:

- Madeira
- MDF

- Parafusos de metro
- Porcas
- Arruelas
- Roldanas
- Corda

A estrutura foi feita com madeira, a cabine foi desenhado utilizando o *software LibreCad* e confeccionado em uma folha de MDF de 3mm, os parafusos de metro foram colocados na estrutura para serem os trilhos da cabine e roldanas para segurar a cabine e deslizar entre os parafusos que foram presos com porcas e arruelas.



Figura 1. Maquete do elevador com as partes eletrônica e estrutural.

B. Circuitos

Foram utilizados no projeto os componentes abaixo:

- Chaves
- Display 7-segmentos
- Led

- Motor DC
- Ponte H (L298N)
- Arduino
- Diodos
- Resistores
- Transistor
- Conversor binário para *display* 7 - segmentos (CD4511)
- Sensor Ultrassônico (HC-SR04)

As chaves para fazer a seleção dos andares, os displays e leds para indicar o andar atual do elevador e o estado da porta (aberta ou fechada), a ponte H para controlar o sentido e a velocidade do motor, o Arduino para fazer o controle geral do sistema, e os demais componentes para limitar, amplificar ou controlar o fluxo de corrente no circuito. O esquema elétrico utilizado pode ser observado na figura 2.

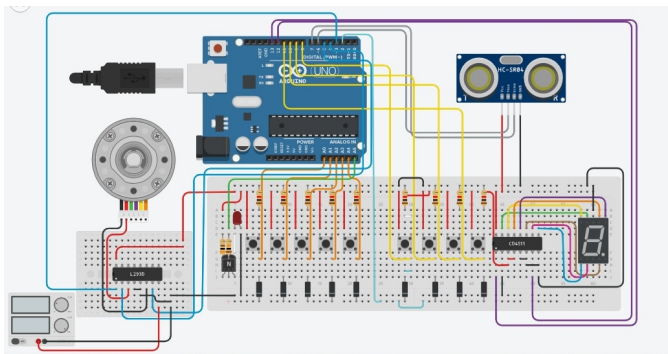


Figura 2. Esquemático do circuito utilizado no projeto.

C. Sensores

O uso de sensores nesse projeto foi necessário para calcular a posição do elevador. Dentre os possíveis dispositivos para se utilizar, haviam as seguintes opções: *reed switch*, chave fim de curso, óptico e ultrassônico. As subseções seguintes descrevem de modo sucinto cada um deles. Além disso, na seção IV, é mostrado melhor o motivo pelo qual não foi possível a utilização do *reed switch*, da chave fim de curso e do sensor óptico. Dentre as opções o único factível foi o sensor ultrassônico.

1) *Reed switch* : Algumas características do *reed switch*:

- Modo de operação: on/off
- Range de temperatura: [-40°C, 125°C]
- Span de temperatura: 165°C
- Range da sensibilidade magnética: [10AT, 38AT]
- Span da sensibilidade magnética: 28AT

Devido a maquete não ter sido feita para suportar um peso elevado, não foi possível adicionar um ímã na cabine do elevador e *reed switches* na estrutura de suporte. Dessa forma, o uso desse sensor foi descartado.

2) *Chave fim de curso* : É um pouco difícil obter alguns dados que dizem a respeito da característica desses tipos de instrumentos. Pode-se dizer que ele é um sensor cujo modo de operação é o on/off, mas pouco se sabe a respeito do range, span e resolução.

Como a estrutura não foi inicialmente projetada para comportar chaves fim de curso o uso dele foi descartado.

3) *Óptico* : Abaixo são listadas algumas características do sensor óptico infravermelho:

- Modo de operação: deflexão
- Range: [0,12]cm
- Span: 12cm
- Resolução: aproximadamente 0cm

Devido a largura da cabine do elevador ser maior do que 12cm (range máximo do infravermelho que se tinha), e tendo em vista que sensores infravermelhos mais potentes eram muito caros, foi concordado o não uso deste para o projeto.

4) *Ultrassônico* : A seguir são descritas algumas características do sensor ultrassônico utilizado:

- Modo de operação: deflexão
- Range: [2cm,400cm]
- Span: 398cm
- Resolução: 0.3 cm
- Ângulo de abertura: 30°

O sensor apresentava erros na medição. Contudo, como a estrutura o comportava bem e devido a possibilidade de calibrá-lo, a utilização dele foi viável. O processo de calibração do sensor é descrito na seção III.

III. ERROS NA MEDIÇÃO

O sensor utilizado para mensurar a posição do elevador foi o ultrassônico. Contudo, sabe-se que existem dois tipos de erros de medição: sistemáticos e aleatórios. Esta seção trata do procedimento utilizado para solucionar esses erros de medição. O erro sistemático foi resolvido com base em curvas de calibração e o segundo com base na média dos valores lidos.

As curvas de calibrações foram geradas a partir do *Toolbox* do *MATLAB* chamado *Curve Fitting Toolbox* e utilizou-se uma fita métrica como sistema de referência, ou seja, os valores esperados foram baseados nela.

A. Erro sistemático

Primeiramente se fez necessário fazer uma amostragem de algumas distâncias para conferir se o sensor realmente apresentava erro sistemático significativo para a aplicação. O resultado dessa amostragem está descrito na tabela I.

Diante do resultado percebeu-se que o erro era relevante e que seria necessário fazer a calibração do sensor. Inicialmente buscou-se utilizar apenas uma curva de calibração, mas ao fim percebeu-se que o resultado seria melhor se utilizasse duas curvas de calibração para ajustar o sensor, com cada uma atuando num intervalo diferente. As duas curvas escolhidas foram a polinomial de 1° grau e a polinomial de 8° grau.

- **Polinomial de 1° grau:** A curva de calibração polinomial de 1° grau foi dada pela equação 1 e pode ser visualizada na figura 3.

$$f(x) = 1.068x + 1.314 \quad (1)$$

Tabela I
PONTOS AMOSTRADOS DO SENSOR DESCALIBRADO.

Pontos amostrados	
Valor Esperado(cm)	Sensor descalibrado(cm)
4	3.33
5	4.73
10	7.55
15	12.22
20	16.57
25	21.44
30	26.27
35	31.45
40	36.20
45	41.09
50	46.38
55	50.9
60	55.74
65	60.13
70	65.21

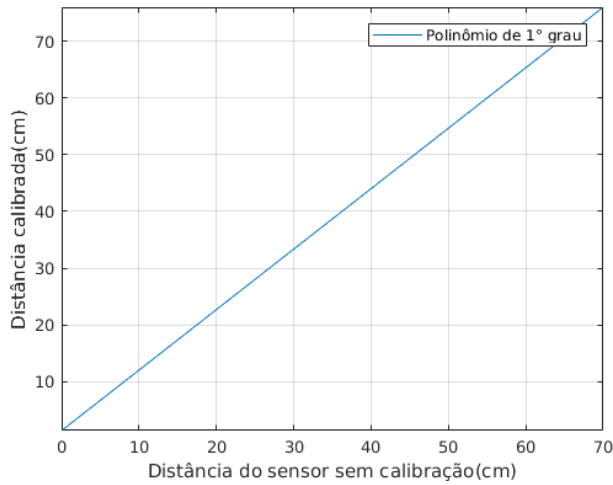


Figura 3. Gráfico da curva de calibração polinomial de 1º grau.

Após construir a curva polinomial de 1º grau, foi amostrado novamente os pontos tal qual a tabela I, sendo que agora utilizando os valores do sensor calibrado com a curva polinomial de 1º grau. O resultado está na tabela II.

- **Polinomial de 8º grau:** A curva de calibração polinomial de 8º grau foi dada pela equação 2 e pode ser visualizada na figura 4.

$$f(x) = 5.298 \cdot 10^{-11}x^8 - 1.415 \cdot 10^{-8}x^7 + 1.553 \cdot 10^{-6}x^6 - 9.032 \cdot 10^{-5}x^5 + 2.993 \cdot 10^{-3}x^4 - 0.05626x^3 + 0.5552x^2 - 1.233x + 3.526 \quad (2)$$

Da mesma forma como ocorreu com a curva de calibração polinomial de 1º grau, foi repetido a amostragem da tabela I, sendo que agora utilizando o sensor calibrado pela curva de calibração polinomial de 8º grau. O resultado pode ser visto na tabela III.

Ao fim, foi percebido que a curva de calibração polinomial de 8º grau fazia uma boa calibração para pequenas e médias

Tabela II
PONTOS AMOSTRADOS DO SENSOR CALIBRADO COM A CURVA POLINOMIAL DE 1º GRAU.

Pontos amostrados	
Valor Esperado(cm)	Polinômio de 1º grau(cm)
4	4.87
5	6.36
10	9.37
15	14.36
20	19.01
25	24.21
30	29.37
35	34.90
40	39.97
45	45.20
50	50.85
55	55.67
60	60.83
65	65.53
70	70.96

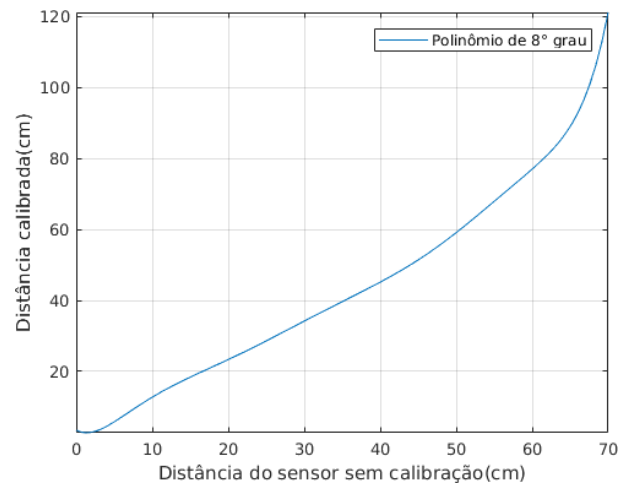


Figura 4. Gráfico da curva de calibração polinomial de 8º grau.

distâncias, mais especificamente para distâncias abaixo de 35cm. Em contrapartida, a curva de calibração de 1º grau fazia uma boa calibração para distâncias mais longas. Dessa forma foi decidido chavear a utilização de cada uma das curvas de ajuste para um intervalo adequado e de melhor proximidade. Para valores menores que 35cm foi utilizada a curva de 8º grau enquanto que para os valores maiores que 35cm se utilizou curvas de 1º grau. Como resultado temos a tabela IV e a figura 5.

B. Erro aleatório

Notou-se que o sensor variava o seu valor para mais ou para menos, mesmo a cabine do elevador parada numa mesma posição. Para resolver esse problema foi feito uma média aritmética simples de 5 amostras.

IV. PROBLEMAS NO PROJETO

Ao longo do desenvolvimento do projeto alguns problemas (dos quais uma parte deles foi descrito até aqui) como a

Tabela III
PONTOS AMOSTRADOS DO SENSOR CALIBRADO COM A CURVA
POLINOMIAL DE 8º GRAU.

Pontos amostrados	
Valor Esperado(cm)	Polinômio de 8º grau(cm)
4	3.83
5	5.46
10	9.43
15	15.45
20	19.98
25	24.82
30	30.02
35	35.79
40	40.96
45	46.42
50	53.37
55	60.62
60	69.24
65	77.22
70	89.72

Tabela IV
PONTOS AMOSTRADOS DO SENSOR CALIBRADO COM A CURVA
POLINOMIAL DE 1º E 8º GRAU.

Pontos amostrados	
Valor Esperado(cm)	Polinômio de 1º e 8º grau(cm)
4	3.83
5	5.46
10	9.43
15	15.45
20	19.98
25	24.82
30	30.02
35	34.90
40	39.97
45	45.20
50	50.85
55	55.67
60	60.83
65	65.53
70	70.96

utilização de alguns sensores. As próximas subseções são para descrever os problemas e erros que ocorreram.

A. Utilização do reed switch

Foi adquirido um ímã de HD e esperava que ele fosse o suficiente para poder ativar o reed switch. Contudo, foi percebido que, até mesmo este dispositivo precisava estar muito perto do reed switch para fazê-lo chavear. Dessa forma, seria necessário uma quantidade maior de ímãs. Além disso, o ímã em si do HD estava preso numa placa metálica, que somava um peso muito grande para fixá-lo na cabine do elevador, e a extração do dispositivo magnético da placa metálica era um pouco complicada e trabalhosa. Diante disso, com a falta de ímãs e sabendo que seria necessário um grande esforço para separar todos eles da placa metálica, concordou-se em não utilizar o reed switch.

B. Utilização do sensor infravermelho

A ideia do sensor infravermelho era utilizá-lo como uma chave on/off. Em cada andar se colocaria um dispositivo

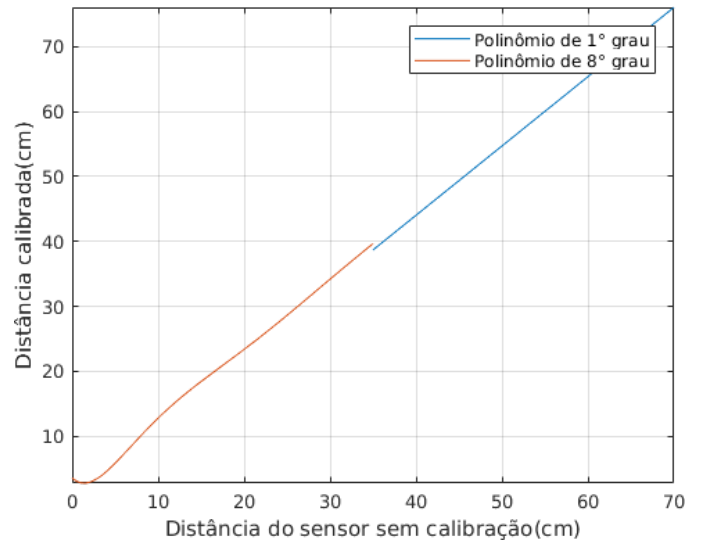


Figura 5. Gráfico da curva de calibração composta por dois polinômios.

desse que, ao elevador passar por ele, seria possível saber sua posição. O problema é que o range máximo infravermelho era de 12cm, e a distância entre o emissor e o receptor da maquete é maior que range máximo citado anteriormente. Dessa forma, a utilização deste sensor não teve sucesso.

C. Contra-peso

Foi preciso fazer uma roldana específica para o motor utilizado. Diante dessa necessidade, a roldana foi feita por meio de uma impressora 3D. O problema foi que no desenho feito da roldana não houve a preocupação se ela teria torque o suficiente para mover a cabine do elevador e o contrapeso. O mais coerente deveria ter sido a construção ou alocação de dentes no raio interno da roldana o que certamente sanaria essa dificuldade uma vez que elevaria grandemente o atrito entre a corda e a superfície interna da polia.

Diante desse problema o contrapeso não foi utilizado e assim foi possível movimentar a cabine do elevador de uma forma direta, apenas acumulando corda na roldana.

D. Roldanas e parafusos de metro

Como já foi dito na seção IV-C, ocorreram problemas com a roldana. Com relação aos parafusos de metro, a função inicial deles seria para servir de suporte a possíveis sensores que se pensasse em colocar no elevador. Contudo o uso deles foi preferível para movimentar a cabine do elevador. O problema foi que os parafusos de metro geravam um atrito as roldanas da cabine do elevador, o que dificultava a sua movimentação.

V. RESULTADOS

Considerando a equação 3, sendo x_i o valor esperado e \hat{x}_i o valor aproximado:

$$erro(x, \hat{x}) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)^2} \quad (3)$$

Tabela V
ERRO CALCULADO PARA CADA MODO DE MEDIÇÃO.

Erros apresentados nas medições	
Modo de medição	Erro apresentado
Descalibrado	13.7716
Calibrado pelo polinômio de 1º grau	2.9238
Calibrado pelo polinômio de 8º grau	25.9095
Calibrado pelo polinômio de 1º e 8º grau	1.9862

Com os valores da tabela V, é possível afirmar que o erro foi reduzido consideravelmente.

VI. CONCLUSÃO

O projeto foi uma combinação dos conhecimentos aprendidos em sala de aula das disciplinas de *MICROCONTROLADORES E APLICAÇÕES* e *INSTRUMENTAÇÃO ELETRÔNICA*. Diante disso, no projeto ocorreram desafios relacionados a ambas as disciplinas.

Falando em relação a *INSTRUMENTAÇÃO ELETRÔNICA*, através desse projeto foi possível sentir na prática os problemas de um sensor descalibrado. Por exemplo, quando não se tinha resolvido ainda o problema dos erros aleatórios, não era possível parar a cabine do elevador numa determinada altura, visto que a todo instante as leituras davam valores um pouco acima ou um pouco abaixo. Diante desses problemas clássicos de erros sistemáticos e aleatórios, foi colocado em prática todos os passos aprendidos em sala de aula para a construção de curvas de calibração que resolvessem o erro sistemático e, além disso, a utilização de alguma técnica aprendida também em sala para resolução dos erros aleatórios.

Outrossim, ocorreu ainda a experiência de passar por todas as etapas necessárias para um projeto de instrumentação eletrônica: desde o início do projeto, no qual foi feito um estudo sobre quais sensores utilizar, verificação do sensor escolhido para detecção de erros sistemáticos ou aleatórios, seguido do desenvolvimento do projeto de calibração do sensor.

Portanto, esse projeto sobretudo mostrou a importância de um bom planejamento com relação a instrumentação eletrônica em qualquer sistema que precise de sensores.

VII. APÊNDICE

Os códigos (.ino e .m) utilizados no projeto pode ser encontrado no *Github* no link: <https://github.com/Thundermancers/Elevador-Assembly>. Também é possível encontrar o desenho da cabine do elevador e dos furos da estrutura na madeira e o desenho 3D da roldana acoplada ao motor.

REFERÊNCIAS

- [1] AGUIRRE, Luis Antonio. Fundamentos de instrumentação. Luis Antonio Aguirre, 2013.
- [2] BALBINOT, A.; BRUSAMARELLO, V. J. Instrumentação e Fundamentos de Medidas–Vol. 1 (Vol. 1). Rio de Janeiro, Brazil: LTC, 2010.
- [3] BEGA, Egídio Alberto. Instrumentação industrial. Interciência, 2006.