

UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PELOTAS
CENTRO POLITÉCNICO
CURSO DE ENGENHARIA ELETRÔNICA
DISCIPLINA DE INSTRUMENTAÇÃO ELETRÔNICA

Trena Ultrassônica

Desenvolvido por
Thiago Ferreira Pontes

Relatório Final da Disciplina de
Instrumentação Eletrônica
<http://olaria.ucpel.tche.br/ie2013>

Pelotas, Julho de 2013

1 Introdução

1.1 Motivação

Este projeto é motivado pela oportunidade de, durante a disciplina de Instrumentação Eletrônica, projetar, testar e validar um sistema de identificação de distância pelo uso de ultrassom para a verificação de viabilidade técnica visando utilização no sistema desenvolvido como Trabalho de Conclusão de Curso (TCC).

1.2 Objetivos

O principal objetivo deste projeto está focado no desenvolvimento de um meio para a detecção da proximidade de obstáculos, em uma faixa de até dois metros e meio, de modo semiautomático, ou seja, sem que haja a necessidade de uma CPU para iniciar o processo de medição.

2 Princípio de Funcionamento

2.1 Sensor Base

O sensor base deste projeto é um transdutor ultrassônico HC-SR04, mostrado na Figura 1, este sensor é amplamente utilizado pelo fato de ser extremamente simples e preciso, suas principais características são:

- Tensão de trabalho de 5V (CC);
- Corrente (medição) $\approx 15\text{mA}$;
- Corrente (Stand-by) $\approx 2\text{mA}$;
- Distância de medição de 0,02 até 5m;
- Resolução de 3mm;
- Frequência do pulso: 40KHz.

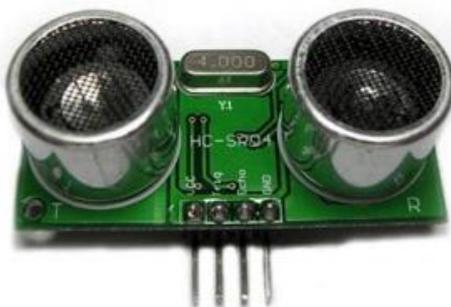


Figura 1- Transdutor ultrassônico HC-SR04.

A realização de uma medição com este sensor respeita os seguintes passos: (i) primeiramente um pulso de $10\mu\text{s}$ é aplicado ao pino de disparo, (ii) o sensor então transmite oito pulsos de 40KHz e aplica nível alto (5V - TTL) no pino denominado ECHO, (iii) quando o sensor detecta que estes pulsos retornaram, o pino ECHO volta para nível baixo (0V). Então, a distância medida será igual ao tempo que o pino ECHO ficou em nível alto, multiplicado pela velocidade do som ($\approx 340\text{m/s}$) e dividido por dois.

O funcionamento exemplificado acima, prevê que uma CPU esteja ligada ao sensor para a aplicação do pulso de disparo e para a medição do tempo que o pino ECHO esteve em nível alto. Este tipo de aplicação torna-se dispendiosa quando não se usa uma CPU dedicada ao sensor devido ao fato desta ter de esperar, no pior dos casos (nenhum objeto detectado), 38ms até que esta possa realizar outra operação e, este problema é agravado quando se deseja ter mais de um sensor deste tipo trabalhando em paralelo.

A aplicação proposta nesse trabalho visa retirar a necessidade da CPU do processo de medição, fazendo com que esta só seja necessária para a leitura do valor medido, processo este que, dependendo da CPU e da interface de comunicação utilizada, pode ser feito de forma extremamente rápida.

O hardware desenvolvido para atender esta proposta é apresentado a seguir.

2.2 Diagrama esquemático

Nesta seção serão apresentados os sub circuitos que compõem a aplicação proposta. Começamos com o circuito gerador do pulso de disparo, este é composto de um circuito temporizador LM555 funcionando em modo astável, frequência de 15Hz e ciclo de trabalho menor que 50%. Este circuito é apresentado na Figura 2, os valores dos componentes R3, R4, C3 e C4 são, respectivamente 100Ω, 470KΩ, 10nF e 220nF, e os diodos D1 e D2 são dois 1n4148.

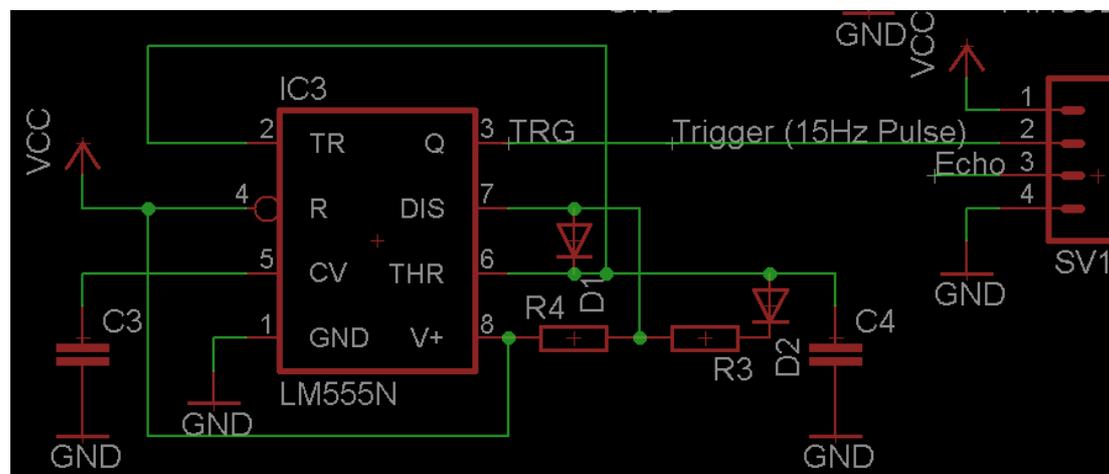


Figura 2 - Circuito gerador do pulso de disparo (TRIGGER) e conexão com o HC-SR04.

O segundo circuito a ser apresentado é o gerador de base de tempo, este é composto de um circuito temporizador LM555 funcionando em modo astável, frequência de 10KHz e ciclo de trabalho igual a 50%. Este circuito é apresentado na Figura 3, os valores dos componentes R1, R2, C1 e C2 são, respectivamente 3KΩ, 7.2KΩ, 10nF e 10nF.

Esta base de tempo alimenta o contador de oito bits (74HC590), responsável pela contagem do tempo que o pino ECHO esteve em nível alto, por tratar-se de um contador de oito bits operando a uma frequência de 10Khz, temos que a contagem máxima de tempo será dada por, $255 \times \frac{1}{10000} = 25,5ms$, o que irá reduzir a distância máxima de medição para aproximadamente 4,3

metros o que não será um grande inconveniente tendo em vista o ganho que teremos em tempo de processamento.

A conexão da saída do contador poderá ser feita à própria CPU, a um conversor digital/analógico, ou algum conversor paralelo/serial para ser acessado através de um protocolo de comunicação específico.

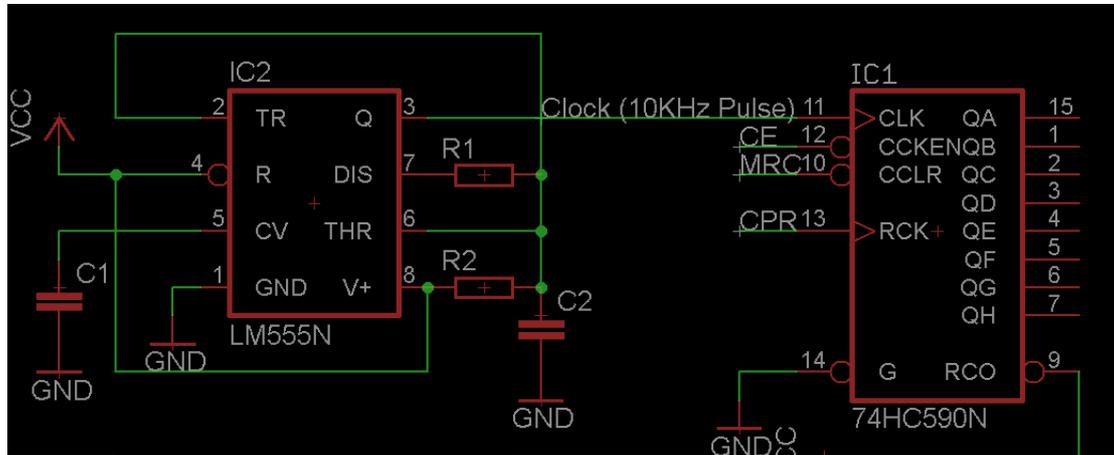


Figura 3 – Circuito gerador de base de tempo (CLOCK).

Na Figura 4 temos parte da lógica de controle que irá impedir que o contador continue a contagem caso o pino ECHO fique habilitado por mais de 25,5ms. Isto é possível através de um Latch S-R que irá ser resetado caso o contador estoure sua contagem, impedindo que este continue através de uma lógica NAND com o pino ECHO.

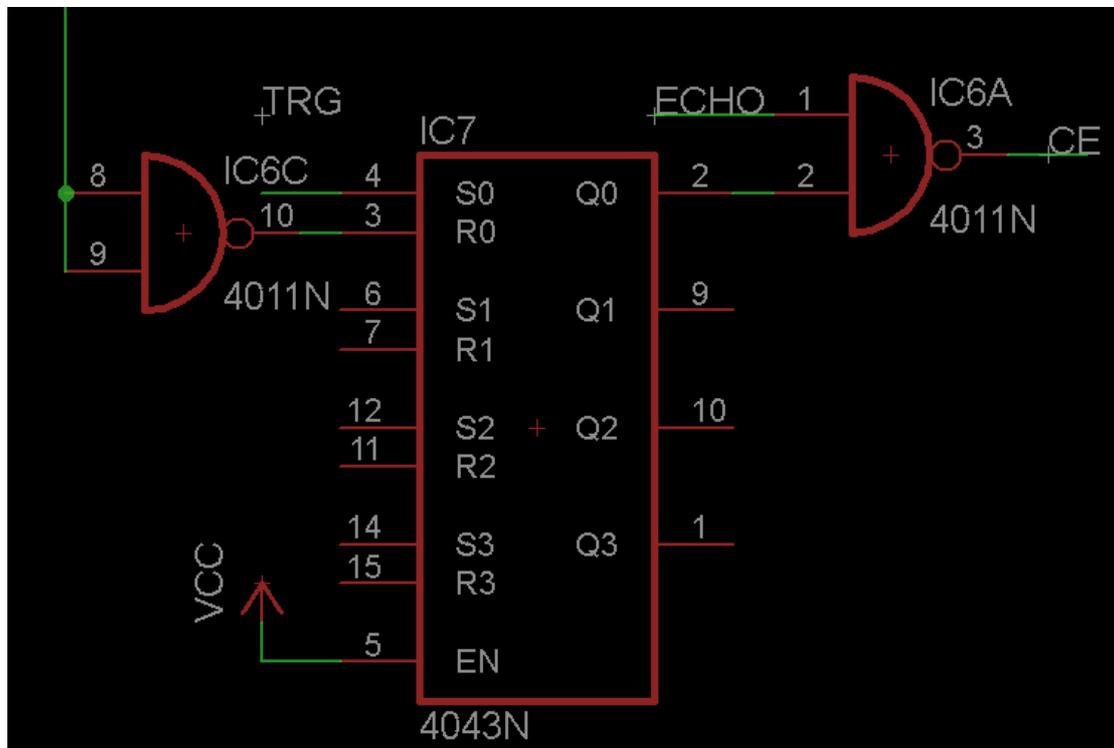


Figura 4 – Latch S-R para a lógica de controle.

Finalmente, na Figura 5 temos a parte final da lógica de controle, composta de um inversor construído com uma porta NAND e um circuito

detector de borda de subida que irá gerar o pulso responsável pela passagem do valor da contagem para os pinos de saída do contador.

Com estes circuitos poderemos desenvolver a trena ultrassônica proposta, capaz de atualizar sua leitura 15 vezes a cada segundo sem a necessidade de intervenção de uma CPU.

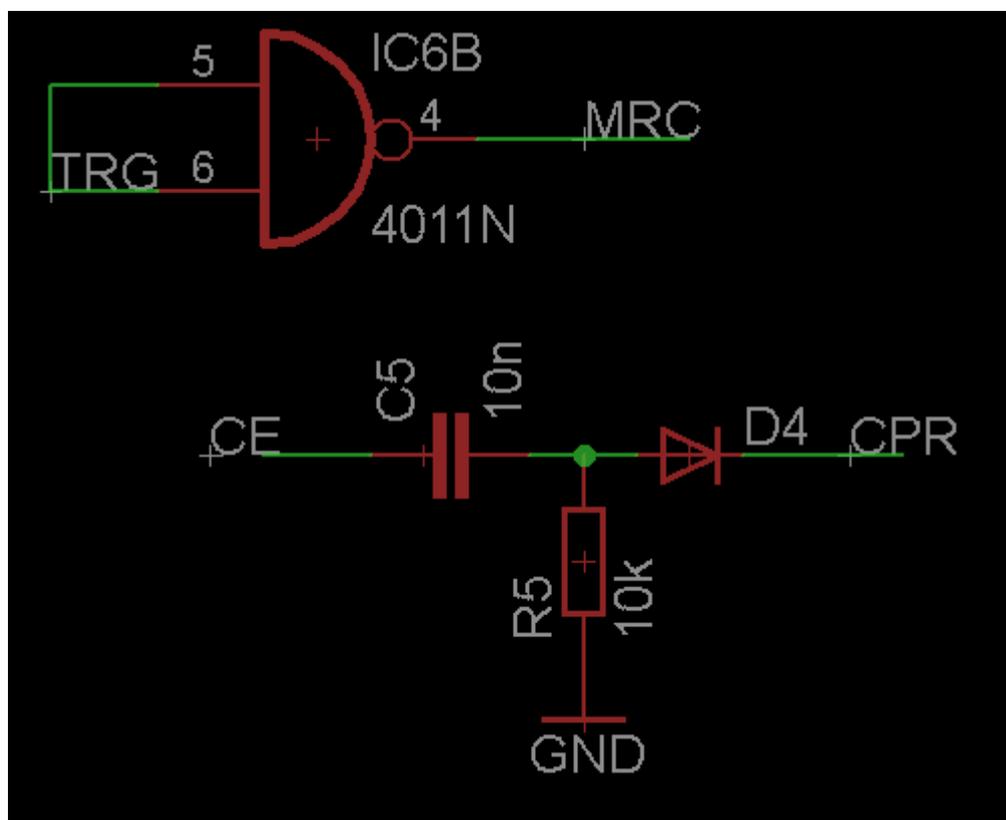


Figura 5 – Inversor e circuito detector de borda.

3 Comportamento do Instrumento

Os resultados das medições realizadas com o instrumento proposto são apresentadas nas seções seguintes.

3.1 Medições no Circuito Eletrônico

O circuito proposto foi prototipado em uma matriz de contatos (*protoboard*), Figura 6, visando uma maior facilidade e rapidez para a etapa de projeto, uma vez consolidado o hardware, este deverá ser implementado de maneira permanente em uma placa de circuito impresso.

Na prototipação, houve a necessidade de que a saída do circuito fosse analógica, para isto, recorreu-se ao uso de um conversor DA (digital/analógico) comercial mas, não foi possível sua obtenção no mercado local, portanto decidiu-se pela implementação de um conversor DA “*hand made*” utilizando uma rede R-2R com oito bits, Figura 7.

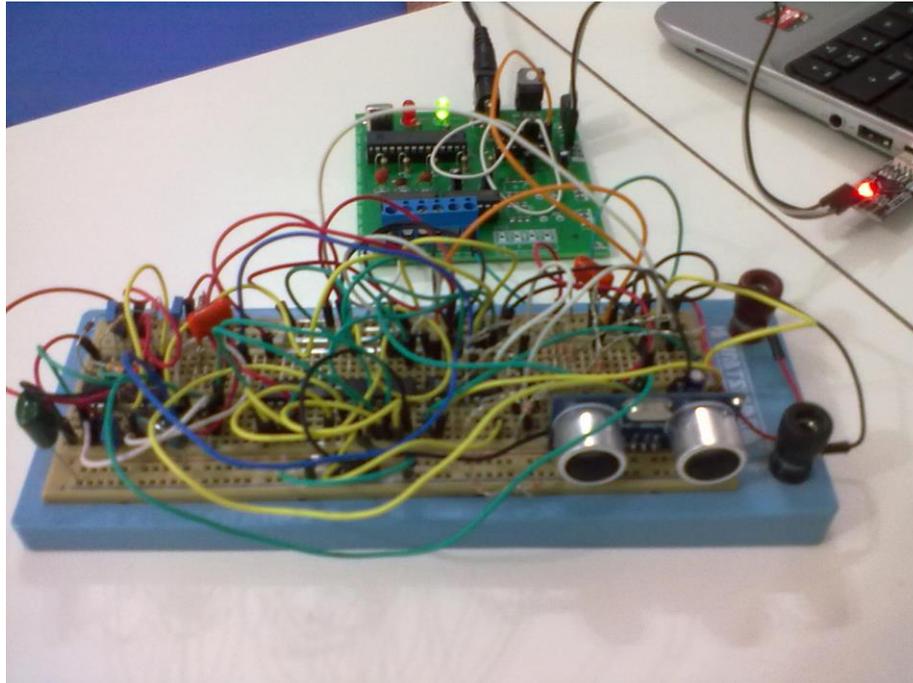


Figura 6 - Visão geral da montagem em matriz de contatos.

Apesar da faixa de tolerância dos resistores utilizados no DA não serem as ideais, 1% ou menos, o circuito apresentou uma boa linearidade em sua resposta, diferença menor que 0,35 mV na faixa de 150 mV até 1,5 V, o que compreende a faixa de medidas de 20 cm até aproximadamente 2 m.

Vale salientar que esta linearidade é conseguida enquanto a temperatura ambiente permanece constante, havendo a necessidade de calibração do instrumento a cada nova temperatura ambiente. Obviamente, este empecilho é facilmente solucionado pelo uso de um conversor DA comercial, um conversor paralelo-série ou, a utilização imediata das saídas digitais do contador.

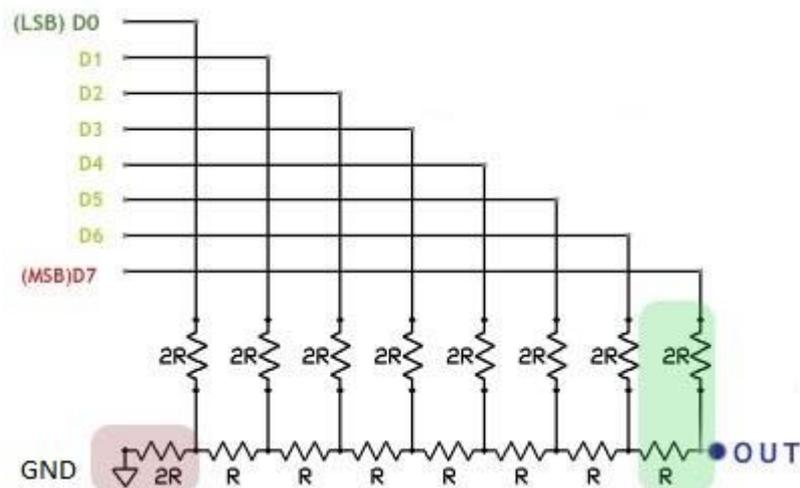


Figura 7 - Topologia da rede R-2R implementada.

3.1 Medições via Software

O software desenvolvido para a leitura do instrumento proposto, Figura 8, conta com as seguintes características:

- Leitura dos cinco canais do conversor AD (analógico/digital) da placa de aquisição CD2000, via conexão USB – UART;
- Indicador de distância (mm) e tensão (V) instantâneas;
- Indicador gráfico de distância em centímetros;
- Taxa de leitura do AD: 10Hz;
- Taxa de atualização da interface: 1 Hz;
- Filtragem por média entre 10 amostras;
- Arquivo de log, formato .txt, com data, hora, tensão e distância, Figura 9.

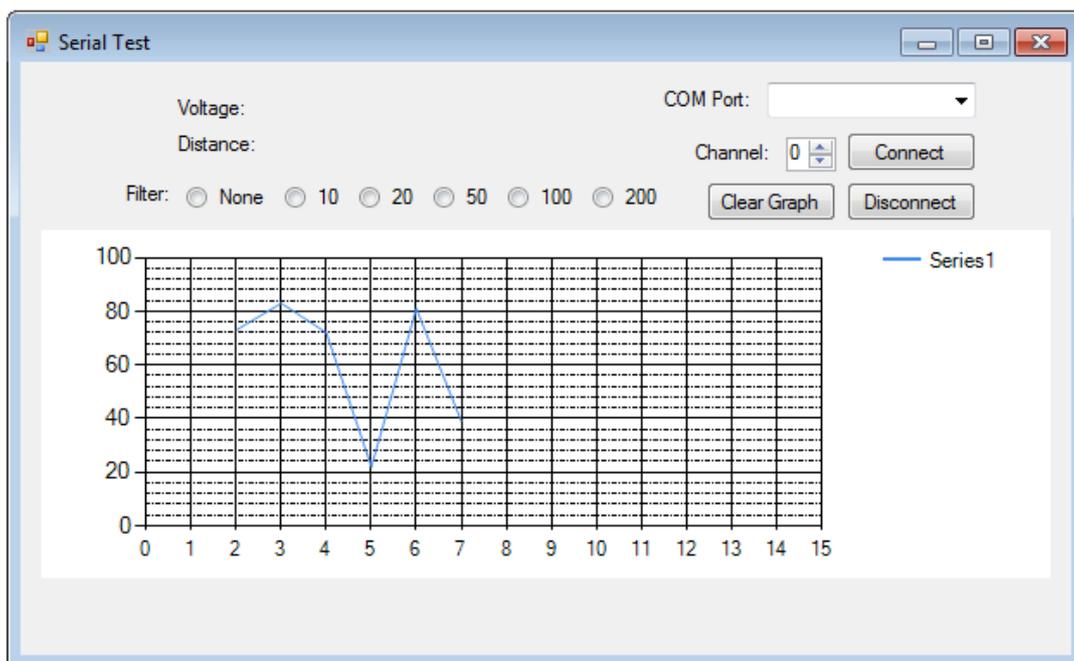


Figura 8 - Interface do Software PC.

Após calibração, média de 10.000 amostras em dois pontos cuja distância do ponto até o sensor é conhecida, sendo que o primeiro ponto representará o início e o outro o fim da faixa de operação ótima do instrumento. Foram realizados dois testes, em duas calibrações diferentes, estes foram:

1. Instrumento calibrado em 200 mm e 2000 m – Faixa linear do conversor AD;
2. Instrumento calibrado em 50 mm e 4000 mm – Faixa máxima de operação.

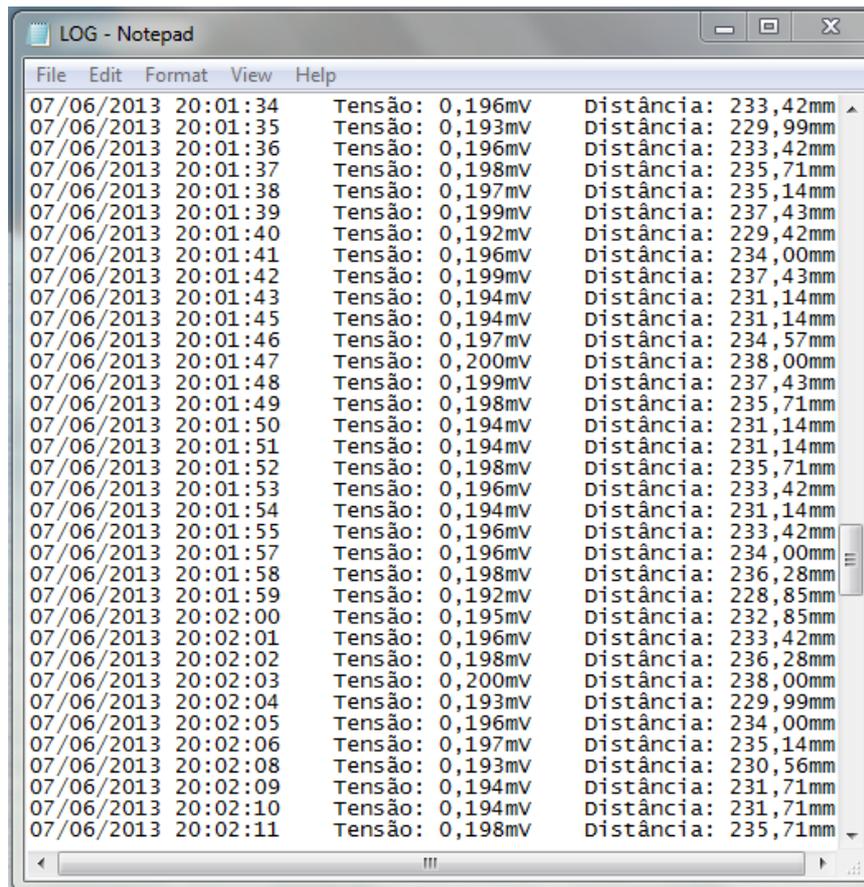


Figura 9 - Amostra do arquivo de log.

2. Os resultados obtidos nestes testes, são apresentados nas Tabelas 1 e

Tabela 1 - Resultados Calibração 200 mm - 2000 mm

Distância	Média (10 amostras)	Erro
200 mm	201,23 mm	1,23 mm
500 mm	500,96 mm	0,96 mm
1100 mm	1099,51 mm	0,49 mm
2000 mm	1998,74 mm	1,26 mm

Tabela 2 - Resultados Calibração 50 mm - 4000 mm

Distância	Média (10 amostras)	Erro
50 mm	61,17 mm	11,17 mm
200 mm	208,63 mm	8,63 mm
2000 mm	1992,08 mm	7,92 mm
4000 mm	3020,43 mm	979,57 mm

Nos dados apresentados nas Tabelas 1 e 2, podemos observar que, para o circuito proposto, a melhor faixa de operação é aquela compreendida

entre 200 mm e 2000 m, uma vez que está é a faixa de operação linear do conversor DA utilizado. Nesta faixa, o erro médio é de aproximadamente 1 mm e, caso seja considerada a operação na faixa total do instrumento, o erro médio será de aproximadamente 9 mm na faixa de 50 até 2000 mm e, 500 mm na faixa de 2000 até 4000 mm.

Houve também o interesse de realizar um ensaio de precisão do instrumento, para isto, foi realizada a seguinte rotina:

1. O instrumento foi colocado à uma distância fixa de 345 mm (± 1 mm) de um objeto plano com área maior que 2 m²;
2. Foram realizadas medidas durante um período de aproximadamente 5 minutos utilizando filtros de média móvel de 1 (filtro desligado), 10, 20, 50, 100 e 200 coeficientes, e seguido da média aritmética de 10 amostras.
3. Através do arquivo de log, foram realizados os cálculos da média, do desvio padrão e do erro total das amostras, fornecendo assim um indicador da precisão do instrumento.

Os resultados obtidos neste ensaio são apresentados na Tabela 3, e nas Figuras 10, 11, 12, 13, 14 e 15.

Podemos observar a diminuição da dispersão conforme o aumento do número de coeficientes do filtro de média móvel.

Tabela 3 - Resultados do ensaio de precisão (valores em milímetros).

Filtro	Valor Máximo	Valor Mínimo	Média	Desvio Padrão	Erro Médio	Atraso (seg.)	Amostras
N/A	357,00	331,26	344,05	4,82	0,95	0	277 - (0)
10	355,63	335,09	343,51	4,04	1,49	1	277 - (1)
20	350,11	338,81	344,12	2,45	0,88	2	277 - (2)
50	348,96	338,83	344,17	1,72	0,83	5	277 - (5)
100	346,12	341,79	344,10	1,02	0,90	10	277 - (10)
200	345,88	342,82	344,21	0,56	0,79	20	277 - (20)

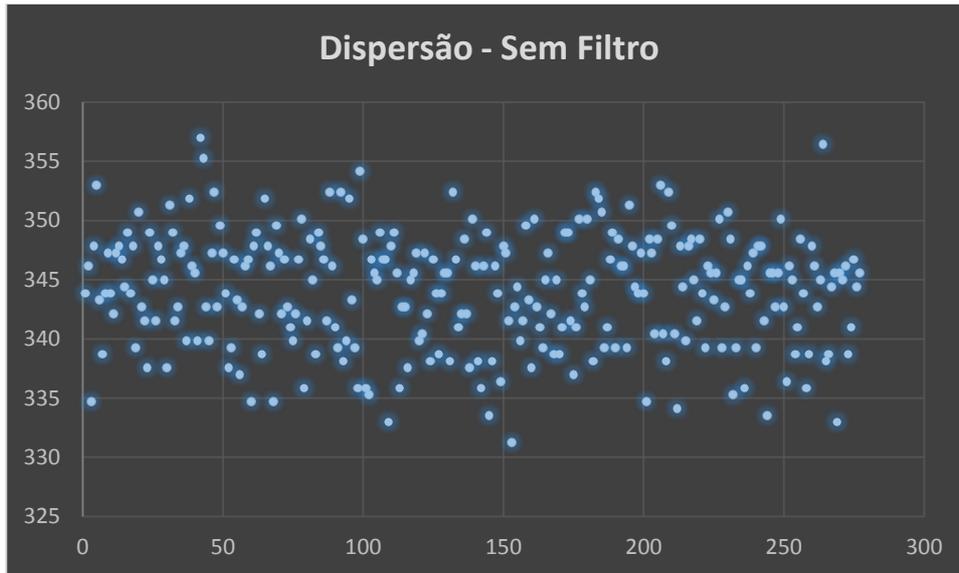


Figura 10 - Gráfico de dispersão (Sem Filtro).

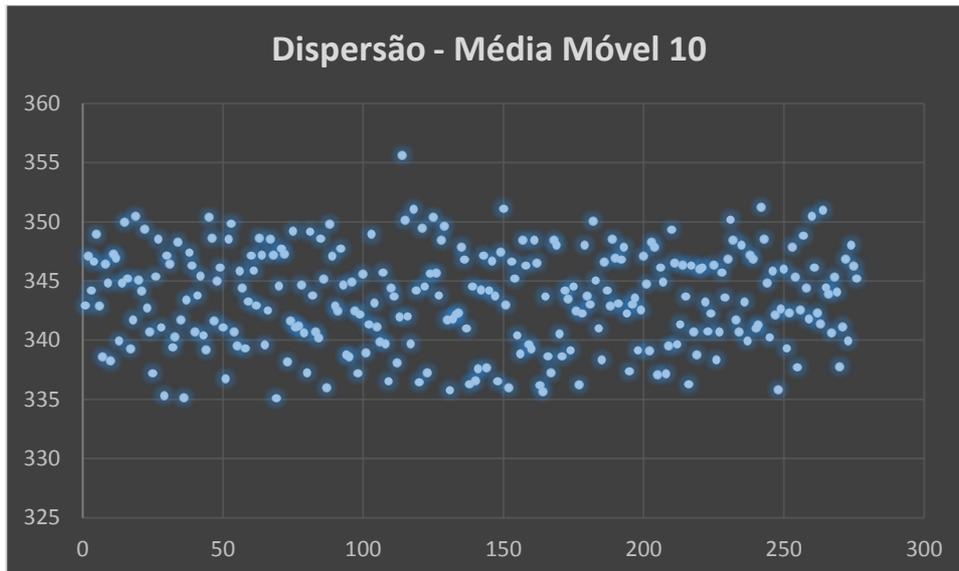


Figura 11 - Gráfico de dispersão (Média Móvel 10 Coef.).

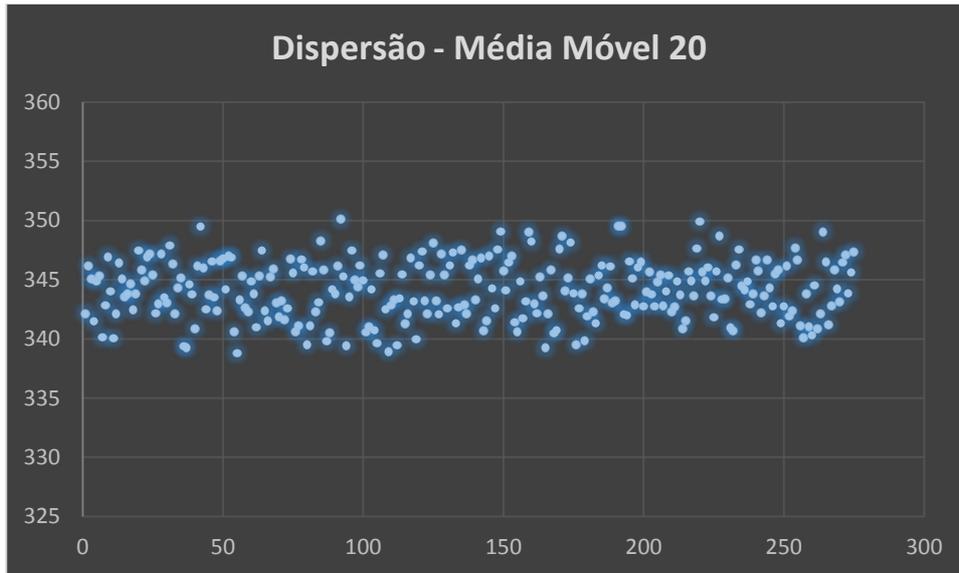


Figura 12 - Gráfico de dispersão (Média Móvel 20 Coef.).

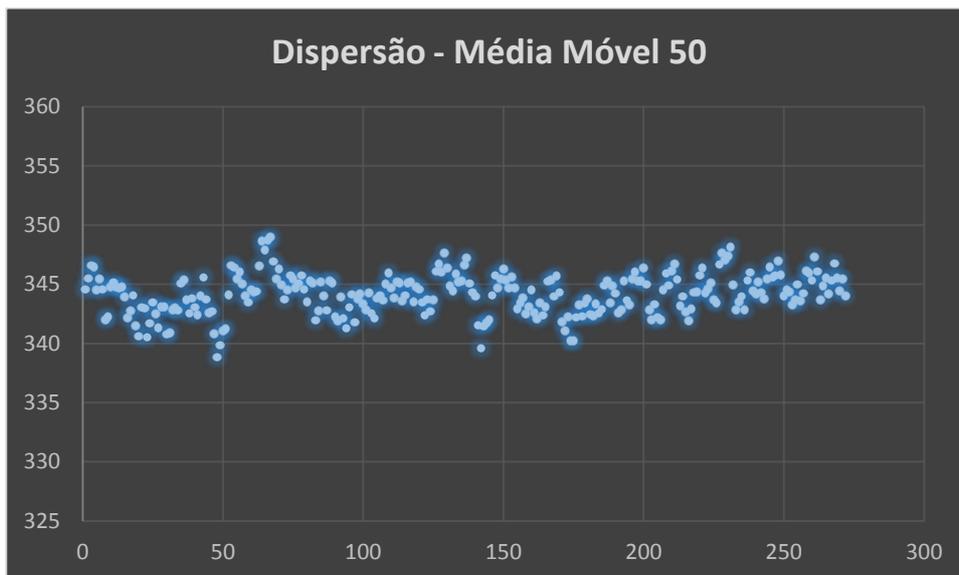


Figura 13 - Gráfico de dispersão (Média Móvel 50 Coef.).

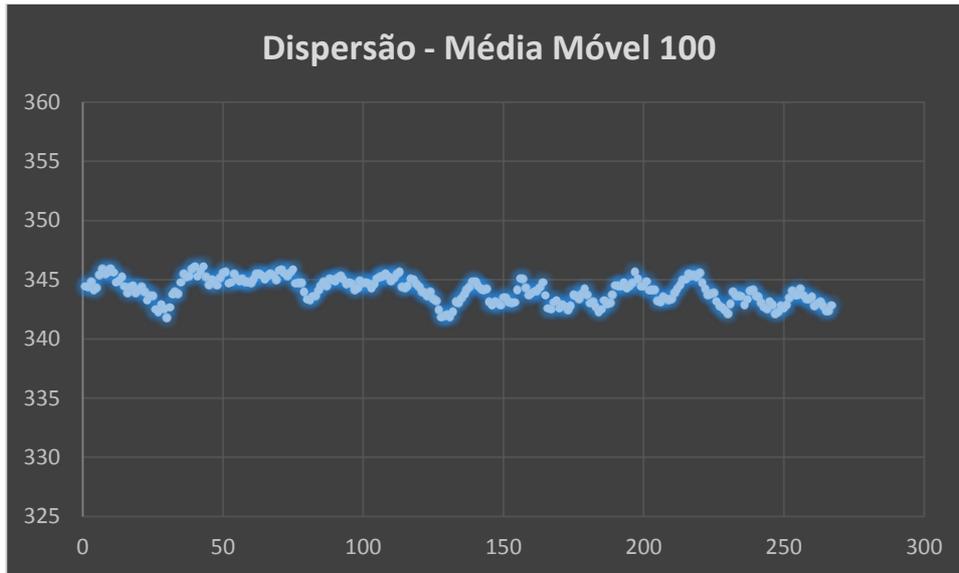


Figura 14 - Gráfico de dispersão (Média Móvel 100 Coef.).

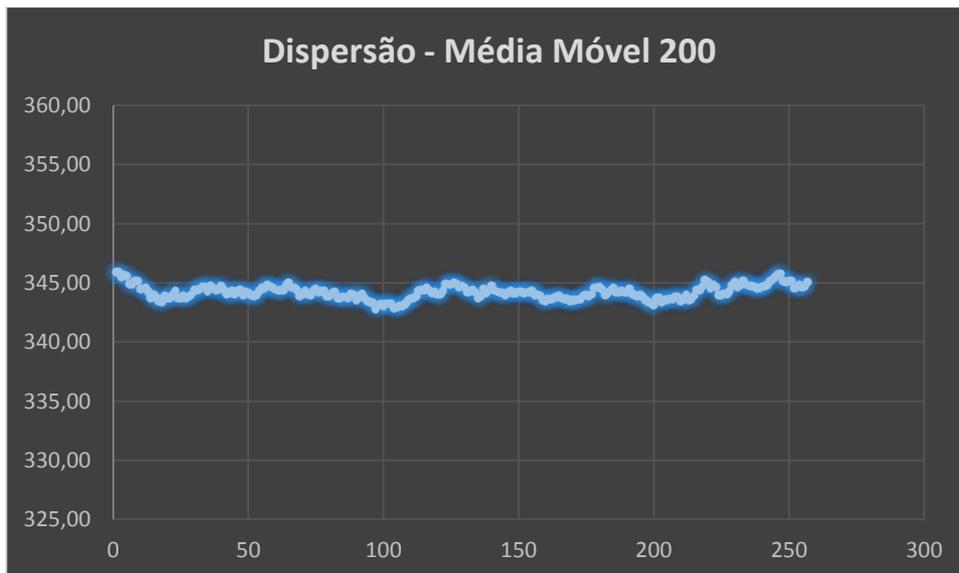


Figura 15 - Gráfico de dispersão (Média Móvel 200 Coef.).

Finalmente, na Figura 16 temos o esquemático completo do circuito.

