

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Marco Antônio Auad

PROJETO DE DIPLOMAÇÃO

CRONÓGRAFO BALÍSTICO DIGITAL

Porto Alegre

2009

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

CRONÓGRAFO BALÍSTICO DIGITAL

Projeto de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para Graduação em Engenharia Elétrica.

ORIENTADOR: Dr Valner Brusamarello

Porto Alegre

2009

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Marco Antônio Auad

CRONÓGRAFO BALÍSTICO DIGITAL

Este projeto foi julgado adequado para fazer jus aos créditos da Disciplina de “Projeto de Diplomação”, do Departamento de Engenharia Elétrica e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: _____

Prof. Dr. Valner Brusamarello, UFRGS

Doutor pela PGMAT-UFSC – Florianópolis, Brasil

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Valner Brusamarello, UFRGS

Doutor pela UFSC – Florianópolis, Brasil

Prof. MSc. Tiarajú Vasconcellos Wagner

Mestre pela UFRGS – Porto Alegre, Brasil

Prof. Dr. Alexandre Balbinot, UFRGS

Doutor pela UFRGS – Porto Alegre, Brasil

Porto Alegre, Outubro de 2009

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais e especialmente à minha namorada Renata, pelo apoio e carinho ao longo desta caminhada.

AGRADECIMENTOS

Eu gostaria de agradecer inicialmente à minha família pelo incentivo e paciência ao longo de minha graduação. Também agradeço aos engenheiros Rogerio Auad, meu orientador Valner Brusamarello e especialmente ao engenheiro de computação Ismael Grehs, pelo apoio e ajuda no desenvolvimento deste projeto.

RESUMO

Este trabalho consiste no desenvolvimento de um cronógrafo digital, cuja função é a medição de velocidade de projéteis para carabinas de pressão pelo efeito de variação de luminosidade em foto sensores. A motivação do trabalho em questão é baseada em não existir fabricação nacional deste tipo de equipamento além de o custo de importação do dispositivo em questão ser muito alto. Existe também uma grande procura do equipamento por esportistas dessa área tendo em vista a necessidade do instrumento para se verificar melhorias em modificações no sistema de pressão de carabinas de pressão (o que é muito comum para praticantes desse esporte). No trabalho, é abordado projeto mecânico bem como a concepção e a usinagem de peças de nylon que suportam o conjunto de sensores e emissores luminosos. Essas peças podem ser acopladas ao cano de diversas carabinas disponíveis no mercado. Também é apresentado o projeto eletrônico bem como o microcontrolador e outros componentes eletrônicos utilizados. A lógica do *software* e as funções que o equipamento dispõe também são abordadas ao longo do texto. É demonstrado também o resultado dos testes de validação do produto utilizando-se como base de comparação um cronógrafo profissional do fabricante ProChrono, adquirido especialmente para a realização deste trabalho. Por fim, foi verificado que o instrumento construído se demonstrou superior ao dispositivo adquirido, no que tange a incerteza de medições e resultados de média e de desvio padrão gerados por cada equipamento.

ABSTRACT

This paper presents a digital chronograph development, which function is to measure the air gun projectile velocity by the luminosity variation effect in photo sensors. This paper approaches the machining of Nylon pieces that support the sensors and light emitter sets. These pieces are coupled to the pipe of several rifle models available on the market. It is also addresses the electronic project as well as the micro controller and the electronic components used. The software logic and the equipment functions are also reported. Finally, the validation test results are demonstrated with a comparison method using a professional chronograph (Prochono), acquired specially for the execution of the project.

Sumário

1	Introdução	13
1.1	Objetivo Geral:	14
1.2	Objetivos Específicos:	15
2	Revisão Bibliográfica	16
2.1	Armas de pressão.....	16
2.2	Cronógrafos.....	19
3	Materiais e Métodos	21
3.1	Hardware	21
3.1.1	Sensores.....	20
3.1.2	Microprocessador.....	24
3.1.3	LCD	25
3.2	Circuito.....	26
3.2.1	Tratamento dos sinais dos foto transistores	28
3.2.2	Envio serial.....	30
3.2.3	Placa de Circuito Impresso	31
3.3	Software.....	32
3.3.1	Menus	33
3.3.2	Configuração de interrupção do comparador	34

3.3.3	Configuração do timer.....	35
3.4	Projeto Mecânico.....	37
3.4.1	Gabinete Plástico.....	37
3.4.2	Peças de acoplamento.....	38
4	Validação do produto.....	40
4.1	Testes efetuados.....	41
4.2	Análise de incerteza do equipamento.....	48
5	Conclusões.....	51
6	Referências Bibliográficas.....	53

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 - Cronógrafo ProChrono (Prochron, 2009).....	13
Figura 1.2 - Cronógrafo Chrony Beta (Chrony, 2009).....	13
Figura 2.1 - Vista explodida de uma Gamo Viper Express 5,5mm compressão por mola (Gamo, 2009).....	18
Figura 3.1 - Diagrama de blocos Hardware.	21
Figura 3.2 - Sensibilidade por comprimento de onda do foto transistor TEFT4300 (Vishay, 1999).....	23
Figura 3.3 – Potência relativa irradiada por comprimento de onda do emissor TSUS4300 (Vishay, 2008).	23
Figura 3.4 - LCD's disponíveis (Winstar, 2009)	25
Figura 3.5 - Esquemático do circuito criado para o projeto.....	27
Figura 3.6 - Circuito de ligação dos sensores	28
Figura 3.7 - - Visualização dos sinais de um disparo em direção a foto transistores espaçados de 50mm pelo osciloscópio PicoScope.....	29
Figura 3.8 - Amplificador somador inversor de sinais AC.....	30
Figura 3.9 - Circuito de ligação do MAX232 (Maxim, 2000).....	30
Figura 3.10 - Layout da placa de circuito impresso (duas camadas).....	31
Figura 3.11 - Diagrama de blocos do software desenvolvido	32
Figura 3.12 - Disparo com o canal (azul) na saída do AMPOP e o canal (vermelho) na referência.....	35
Figura 3.13 - Fotos do gabinete plástico escolhido	37

Figura 3.14 - Peça de acoplamento	38
Figura 3.15 - Peça de acoplamento acoplada ao cano	39
Figura 3.16 - Peça dos sensores e capa	39
Figura 4.1 - Resultado montagem do equipamento	40
Figura 4.2 - Disposição dos cronógrafos para testes.....	41
Figura 4.3 - Carabina Montenegro Super 5,5mm.....	41
Figura 4.4 - Munição Snyder 5,5mm	42
Figura 4.5 - Gráfico de 50 disparos com CBC Montenegro Super 5,5mm com cronógrafos em série	42
Figura 4.6 - Histograma referente a 50 disparos com munição 5,5mm com dados gerados pelos 2 cronógrafos.	43
Figura 4.7 - Carabina Rossi Dione 96	45
Figura 4.8 - Munição Premier Pellets 4,5mm	45
Figura 4.9 - Gráfico de 50 disparos com Rossi Dione 96 4,5mm com cronógrafos em série..	45
Figura 4.10 - Histograma referente a 50 disparos com munição 4,5mm com dados gerados pelos 2 cronógrafos	46
Figura 4.11 - Distribuição retangular.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Comparativo entre foto transistores encontrados no mercado (Farnell Newark, 2009).....	22
Tabela 3.2 - Comparativo entre microcontroladores PIC (Microchips, 2005)	25
Tabela 4.1 - Especificações cronógrafo ProChrono (Competition Electronics, 2008).....	40
Tabela 4.2 - Dados estatísticos gerados pelos instrumentos para os 50 disparos.....	44
Tabela 4.3 - Dados estatísticos calculados via Excel para os 50 disparos gravados por cada instrumento.	44
Tabela 4.4 - Dados estatísticos gerados pelos instrumentos para os 50 disparos.....	47
Tabela 4.5 - Dados estatísticos calculados via Excel para os 50 disparos gravados por cada instrumento.	47

1 Introdução

No estudo de balística se torna indispensável o uso de cronógrafos para medição de velocidade de projéteis. Isto porque a velocidade de projéteis disparados por um certo equipamento é um dado de extrema importância quando se deseja avaliar o desempenho de diferentes munições, comparar modelos de carabinas de pressão, analisar perdas de energia cinética ao longo de uma trajetória em um determinado ambiente, prever o grau de perfuração em alvos constituídos de variados materiais, entre outros (Mestre, 1990).

Nos dias atuais, os cronógrafos mais conhecidos mundialmente são os da marca Chrony (Figura 1.1) e o ProChrono (Figura 1.2). Estes produtos são de fácil acesso nos Eua, Canadá e Europa. Porém, conforme pesquisa de mercado efetuada pelo autor em 2009, estes equipamentos dificilmente são encontrados no mercado brasileiro. Por isso, importadores desses produtos os comercializam com valores que chegam até quatro vezes o seu custo real, tornando-os inacessíveis para grande parte dos esportistas de armas de pressão (Fórum Airgun, 2009).



Figura 1.1 - Cronógrafo ProChrono (Prochron, 2009).



Figura 1.2 - Cronógrafo Chrony Beta (Chrony, 2009).

Os modelos como os demonstrados nas Figuras 1.1 e 1.2, necessitam de certa quantidade de luminosidade (não comentado pelo fabricante) incidindo em suas abas brancas, que por sua vez possuem a função de emissores de luz em direção aos foto sensores. Por essa peculiaridade, esses equipamentos possuem o inconveniente de não funcionarem em locais de baixa luminosidade, ou à noite. Outro ponto importante é o fato de que a grande maioria dos cronógrafos encontrados no mercado carecerem em termos de funções estatísticas para a análise de uma seqüência de disparos e memória para armazenamento de dados. Poucos modelos como o Prochrono possuem tais utilidades.

1.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho resume-se, portanto, na construção e a análise de incertezas de um cronógrafo digital, utilizando como comparativo um equipamento que é uma referência comercial conhecida na área de balística. Como requisitos de projeto, o equipamento deve possuir maior mobilidade e um valor mais acessível que os equipamentos encontrados no mercado. Dentre as principais características de projeto, destaca-se:

- Maior mobilidade que os dispositivos disponíveis no mercado;
- Preço mais acessível que dispositivos disponíveis, visando a sua comercialização no mercado brasileiro;
- Possuir funções para análise estatística de uma seqüência de disparos (média e desvio padrão);

1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do trabalho consistem no desenvolvimento das etapas necessárias para a construção do equipamento, são eles:

- Desenvolvimento do projeto mecânico;
- Desenvolvimento do projeto elétrico;
- Desenvolvimento do software;
- Validação do equipamento;
- Documentação do projeto;

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Armas de pressão

Como o projeto visa à construção de um cronógrafo para armas de pressão, será abordado de forma rápida e qualitativa o funcionamento de uma carabina de pressão.

Uma arma de pressão tem um funcionamento semelhante ao de uma arma de fogo. A idéia básica por trás de quase todas as armas é criar uma pequena explosão exatamente atrás de um projétil posicionado no início de um cilindro. Quando ocorre a explosão, o gás tenta se expandir em um espaço pequeno e confinado. A expansão não ocorre em qualquer direção porque as paredes desse espaço são mais fortes que o projétil localizado no início do cilindro. A única maneira possível é haver uma expansão ao longo do cano da arma. Com isso, o gás é expandido empurrando o projétil que fará um trajeto para fora do cano da arma.

Em uma arma de pressão, no entanto, não ocorre explosão. O material expandido é ar normal, dióxido de carbono ou algum outro gás. Antes do disparo, o gás é comprimido ficando conseqüentemente com uma pressão maior que a da atmosfera. O gás comprimido é armazenado em um recipiente impermeável até que o atirador puxe o gatilho. Logo após este evento, o recipiente de gás é aberto fazendo com que o gás se expanda até o projétil. Como a pressão atrás do projétil se torna momentaneamente maior que a da atmosfera, o gás é empurrado para fora levando o projétil junto ao longo do cano (HowStuffWorks, 2009).

Existe uma grande variedade de modelos de armas de ar comprimido, que diferem principalmente na origem da compressão de ar. Pela classificação utilizada por esportistas de armas de pressão, estas se classificam em três grupos:

Compressão Manual (PCP's) – possuem um reservatório de gás comprimido para armazenar ar provido por um bombeamento manual ou por compressores de alta pressão. Este tipo possui uma alavanca móvel na base da arma que ao ser movimentada, desloca um pequeno pistão em um tubo. Dentro do tubo existe uma válvula de retenção que deixa o ar entrar, porém não o deixa sair. Desta forma, cada bombeada nesta arma aumenta a quantidade de ar no reservatório, o qual possui um volume fixo. Uma vez que a massa de ar no reservatório aumenta e o volume permanece constante, a pressão aumenta em cada bombeada (HowStuffWorks, 2009).

Compressão Mola (Springer's) – neste tipo de sistema, a alavanca de bombeamento é empurrada para trás uma única vez, fazendo com que um pequeno pistão comprima uma mola. A mola comprimida é presa por um dispositivo chamado de mola de gatilho segurando o pistão na posição de disparo. Quando o gatilho é apertado, a mola do gatilho se solta e a mola principal é descomprimida, empurrando o pistão. Este evento rapidamente comprime o ar na câmara por trás do projétil fazendo com que se obtenha uma pressão suficiente para empurrá-lo para fora do cano da arma (Wikipédia, 2009).

Pré Compressão (CO₂) – neste sistema não se observa uma ação de bombeamento. O gás utilizado é pré-comprimido e armazenado em cilindros de ar comprimido. O atirador adquire então os cilindros (geralmente de CO₂) em casas especializadas e os acopla no compartimento de sua arma. Para disparar o projétil, o mecanismo da arma abre o caminho entre o cilindro pressurizado e a câmara por trás do projétil por determinado tempo. Com

isso, a pressão atrás do projétil aumenta repentinamente fazendo com que este seja disparado. O melhor exemplo desta aplicação são as armas de Paintball (HowStuffWorks, 2009).

A Figura 2.1 mostra uma vista explodida de uma arma de pressão do tipo compressão por mola:

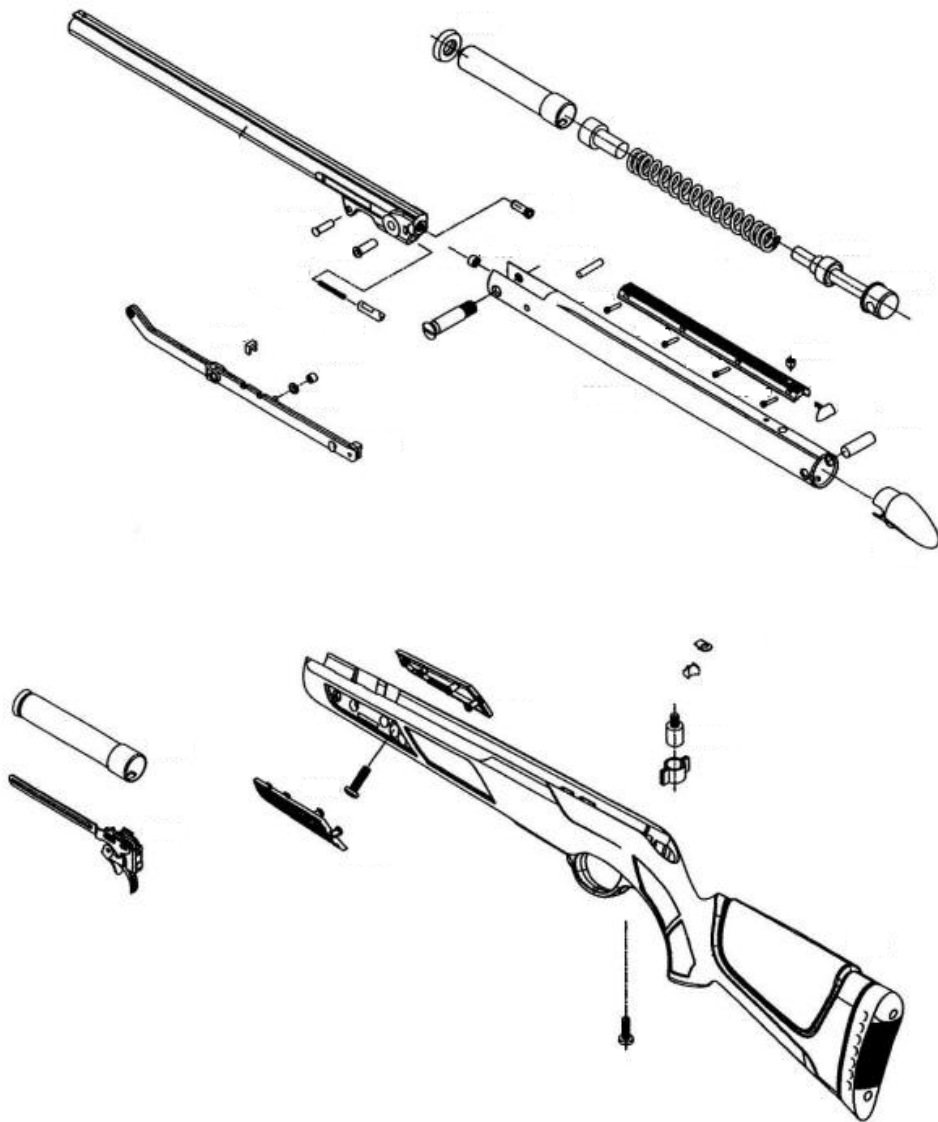


Figura 2.1 - Vista explodida de uma Gamo Viper Express 5,5mm compressão por mola (Gamo, 2009).

2.2 Cronógrafos

Um medidor de velocidade de projéteis pode ser construído a partir de diversos fenômenos físicos, tais quais transferência de energia cinética em deslocamento, medição de tempo entre uma distância fixa por variação de campo magnético, luminosidade, capacitância, entre outras grandezas. A maioria dos modelos de cronógrafos existentes no mercado (inclusive o Chrony e Prochron) funcionam pelo efeito de variação de luminosidade em foto sensores. Baseado nesse efeito, emissores de luz são direcionados para foto sensores que captam a luminosidade emitida. O projétil é disparado em uma direção que o permite interceptar dois feixes luminosos precisamente espaçados de certa distância ao longo de sua trajetória. Quando o projétil intercepta o primeiro feixe, o foto sensor correspondente gera um pico de tensão que depois de amplificado, dispara uma interrupção de *timer* em um micro controlador. Após mais um certo intervalo de tempo, o projétil intercepta o segundo feixe. O foto sensor correspondente gera então outra variação de tensão que é amplificada disparando novamente uma interrupção de *timer*. Com isso, tem-se o tempo que o projétil levou para percorrer a distância de espaçamento entre os sensores. Então, o calculo da velocidade é demonstrado na expressão (1).

$$\text{Velocidade}_{\text{projétil}} = \frac{\text{Distância entre sensores}}{\text{Tempo entre interrupções}} \quad (1)$$

2.3 Sensores

Existem diversos tipos de transdutores ópticos disponíveis no mercado. Os mais comuns são sensores do tipo LDR, foto diodo, e foto transistor. A seguir, uma breve explicação sobre cada tipo de sensor, tendo em vista de que no trabalho serão utilizados foto sensores como sensores do equipamento.

LDR: (Light depending resistor) é um tipo de resistor cuja resistência varia conforme a intensidade de radiação eletromagnética que incide sobre ele. Quando luz incide sobre certos materiais como o sulfeto de cádmio (CdS), ocorre liberação de portadores de carga que ajudam na condução de corrente elétrica, ocasionando uma diminuição na resistência elétrica do material (Thomazini; Albuquerque, 2007).

Foto diodo: um foto diodo é uma junção PN designada para responder a uma entrada óptica. Este componente possui sua junção exposta à luz, o que permite que a energia luminosa incidida desloque elétrons para a banda de condução. Com isso, é reduzida a barreira de potencial pelo aumento do número de elétrons que podem circular se utilizado em polarização reversa (Pallás-Areny; Webster, 1991).

Foto transistor: um foto transistor é, essencialmente, nada mais que um transistor bipolar que está encapado em uma capa transparente para que a luz possa atingir a base coletora da junção. O foto transistor funciona como um foto diodo, mas com uma sensibilidade muito maior à luz, pois os elétrons que são gerados pelos fótons incidentes na junção da base-coletora são aplicados na base. A corrente é então amplificada pela operação do transistor. É importante ressaltar que um foto transistor possui um tempo de comutação menor que de um foto diodo (Thomazini; Albuquerque, 2007).

3 Materiais e Métodos

3.1 Hardware

O projeto do Hardware utilizado consistiu na escolha dos componentes, na montagem de um circuito para a interligação dos sensores ao micro-controlador, a interface serial para envio de dados a um PC e as IHMs disponíveis no produto.

Na Figura 3.1 é apresentado um diagrama de blocos resumido a seqüência desde o instante o qual o disparo é efetuado até a visualização dos dados no LCD.

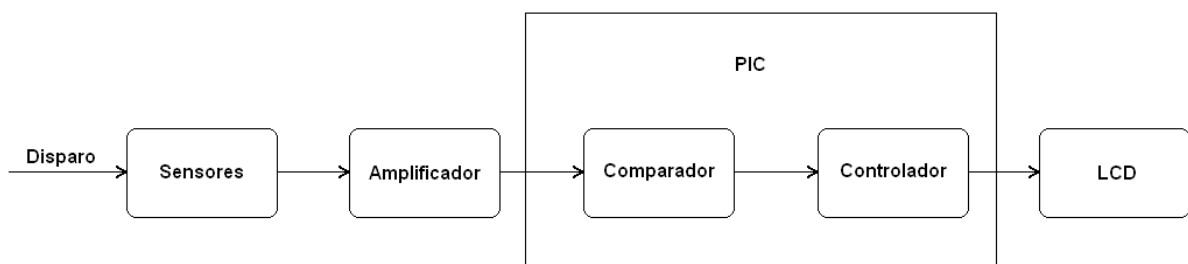


Figura 3.1 - Diagrama de blocos Hardware.

3.1.1 Sensores

A escolha do transdutor ótico utilizado foi baseada em características de velocidade (t_{rise} e t_{fall}) e custo que os modelos disponíveis apresentaram.

Supondo um projétil de 2mm de comprimento, disparado a uma velocidade de 700m/s; caso este projétil intercepte totalmente um feixe de luz direcionado a um foto sensor, isto causará uma sombra de $2,85\mu s$ no foto sensor:

$$\text{Tempo de sombra} = \frac{0,002 \text{ m}}{700 \text{ m/s}} = 2,85 \mu\text{s} \quad (2)$$

Portanto, seria interessante que as características de t_{rise} e t_{fall} dos sensores utilizados fossem menores que esse parâmetro calculado na Equação 2. Atendendo este requisito, é garantido que os sensores são rápidos o suficiente para que percebam uma variação de luminosidade para os piores casos de velocidade e comprimento do projétil (parâmetros utilizados no exemplo citado).

O foto sensor escolhido na utilização deste trabalho foi um foto transistor NPN modelo TEFT4300 da VISHAY. Este componente foi adquirido por possuir alta velocidade, alta sensibilidade e baixo custo unitário, como pode ser observado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Comparativo entre foto transistores encontrados no mercado (Farnell Newark, 2009).

	Tipos de foto transistores encontrados no mercado					
	TEFT4300	TIL81	BPW42	L51P3C	PT-202B	PT-204-6C
Tempo de subida (tr)	2 μs	8 μs	X	3 μs	15 μs	15 μs
Tempo de descida (tf)	2.3 μs	8 μs	X	3 μs	15 μs	15 μs
Sensibilidade máxima	925nm	900nm	830nm	940nm	980nm	940nm
Custo R\$	R\$ 0,80	R\$ 1,20	R\$ 1,20	R\$ 0,90	R\$ 0,90	R\$ 0,90

Como se pode observar na Figura 3.2, a maior sensibilidade espectral para este componente se dá na faixa de comprimento de onda entre (900nm < λ < 950nm).

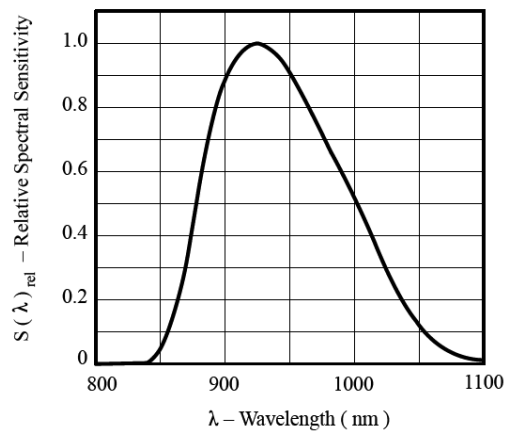


Figura 3.2 - Sensibilidade por comprimento de onda do foto transistor TEFT4300 (Vishay, 1999).

Tendo em vista os valores de comprimento de onda para a maior sensibilidade do foto transistor escolhido, foi adquirido o diodo emissor infravermelho modelo TSUS4300 que possui sua máxima potência relativa irradiada na faixa dos 950 nm, como pode ser observado na Figura 3.3.

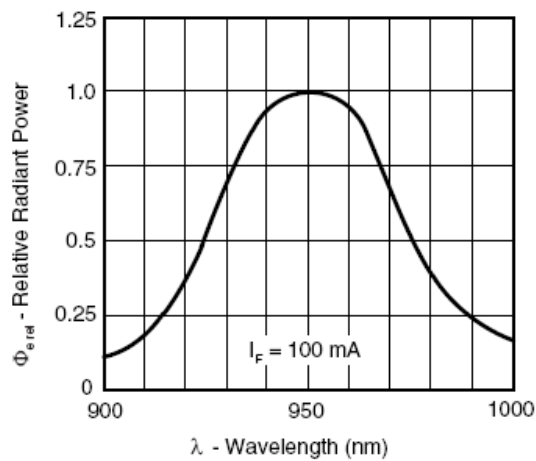


Figura 3.3 – Potência relativa irradiada por comprimento de onda do emissor TSUS4300 (Vishay, 2008).

3.1.2 Microprocessador

Inicialmente foi utilizado o micro-controlador PIC 16f628A para a implementação do software em C deste trabalho. Esta escolha foi motivada pela fácil obtenção do componente no mercado, simples forma de programação do dispositivo e também pela experiência prévia e familiaridade do autor com o componente.

A seguir, alguns recursos de hardware do PIC16f628A:

- clock de até 20 MHz;
- encapsulamento DIP (18 pinos);
- 2048 bytes de memória de programa (flash);
- 256 bytes de memória ROM;
- 16 portas de entrada e saída independentes;
- comparador analógico;
- 1 timer de 16 bits;
- 2 timers de 8 bits;
- USART;
- facilmente programável via SERIAL;
- fácil acesso em lojas especializadas em eletrônica;
- custo acessível;

Ao longo do desenvolvimento do software, notou-se necessária a utilização de um componente com mais memória flash. Optou-se então por se trabalhar com o micro-controlador 16f648A. Como se pode observar na tabela 3.2, o 16f648A possui o dobro de

memória de programa (4096 bytes de flash) e memória de dados (256 bytes de EEPROM) quando comparado com a versão 16f628A, inicialmente proposta neste trabalho.

Tabela 3.2 - Comparativo entre microcontroladores PIC (Microchips, 2005)

Device	Program Memory	Data Memory		I/O	CCP (PWM)	USART	Comparators	Timers 8/16-bit
	Flash (words)	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)					
PIC16F627A	1024	224	128	16	1	Y	2	2/1
PIC16F628A	2048	224	128	16	1	Y	2	2/1
PIC16F648A	4096	256	256	16	1	Y	2	2/1

3.1.3 LCD

Para que o dispositivo pudesse ser utilizado em locais de baixa luminosidade, foi decidida a escolha de um LCD com Back Light. Por se tratar de um dos componentes de maior custo do projeto, foi feita uma pesquisa de mercado em diversas lojas de eletrônicos de Porto Alegre, São Paulo, Farnell e Digikey. O menor custo se deu em uma importadora de LCDs de Porto Alegre onde se pôde escolher dentre três modelos de displays.

WH-1602A-TGH-JT#	Back light Azul Claro – Letras Brancas
WH-1602A-TMI-JT#020	Back light Branco – Letras Azuis
WH-1602A-YYH-JT#	Back light Azul Escuro – Letras Amarelas

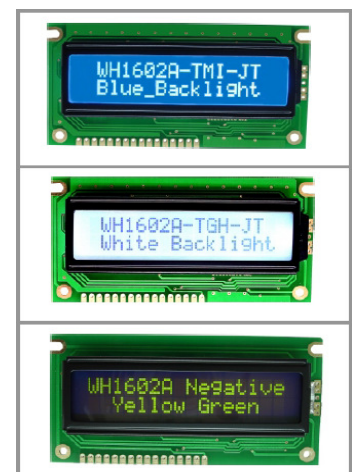


Figura 3.4 - LCD's disponíveis (Winstar, 2009)

Prevendo a utilização do equipamento em lugares de alta luminosidade, como exposto ao sol, por exemplo, o LCD de letras amarelas se mostrou o menos visível em relação aos outros. Como a importadora estava com dificuldade de adquirir o LCD com Back light branco, foi escolhido o LCD de letras brancas com Backlight Azul claro (WH-1602A-TGH-JT#). Este LCD é do tipo *Transflective*, e é produzido pela Winstar Display CO.

3.2 Circuito

O projeto do circuito consistiu no projeto da parte analógica (tratamento de sinais dos foto transistores) e da parte digital (interligação do micro controlador com Max232, LCD, Botões). A seguir, será demonstrado o esquemático do circuito projetado na Figura 3.5.

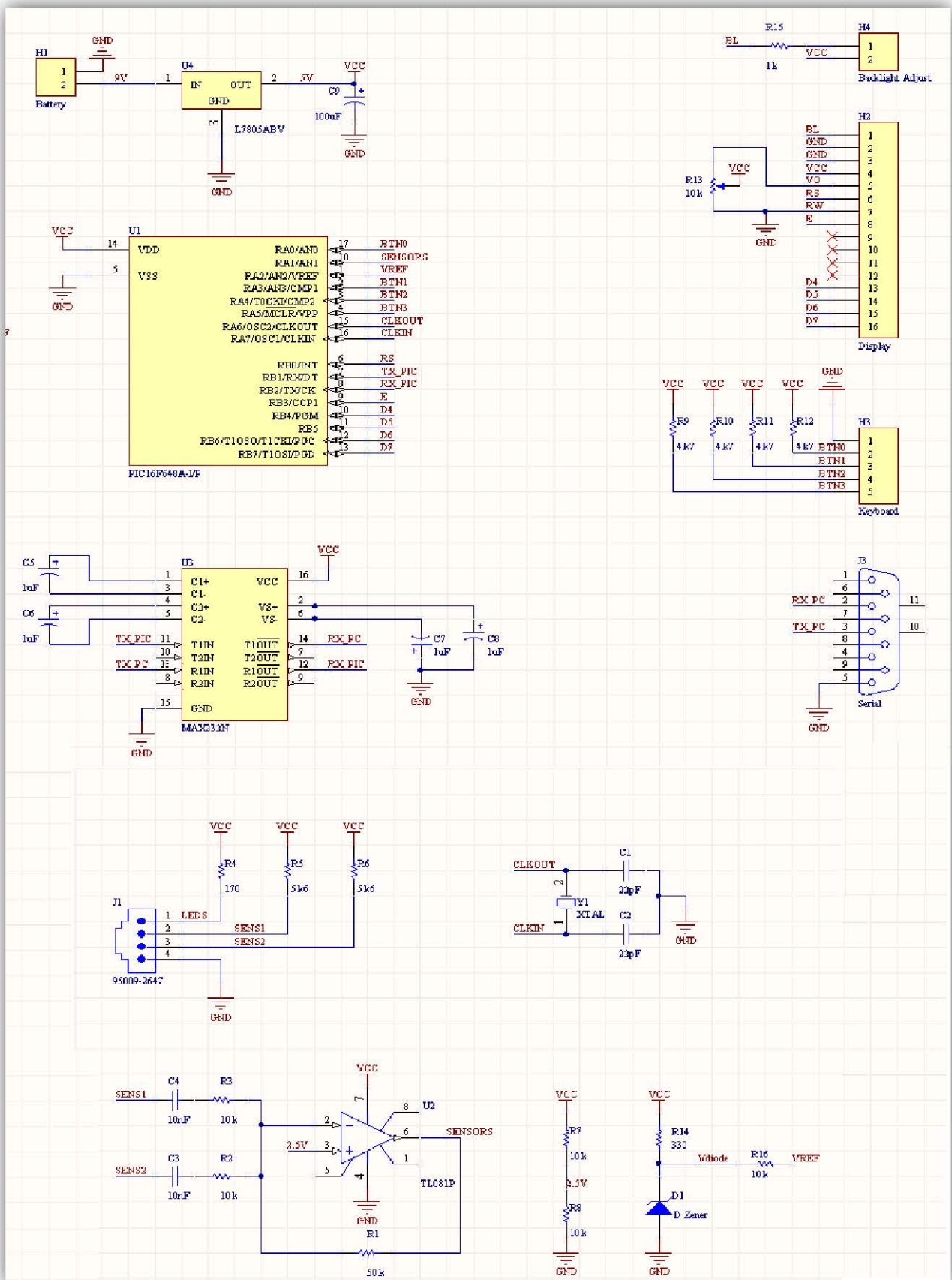


Figura 3.5 - Esquemático do circuito criado para o projeto.

3.2.1 Tratamento dos sinais dos foto transistores

De acordo com o datasheet do foto transistor e emissores utilizados, projetou-se os resistores de 180Ω e 1800Ω , utilizados na configuração mostrada no circuito da Figura 3.6.

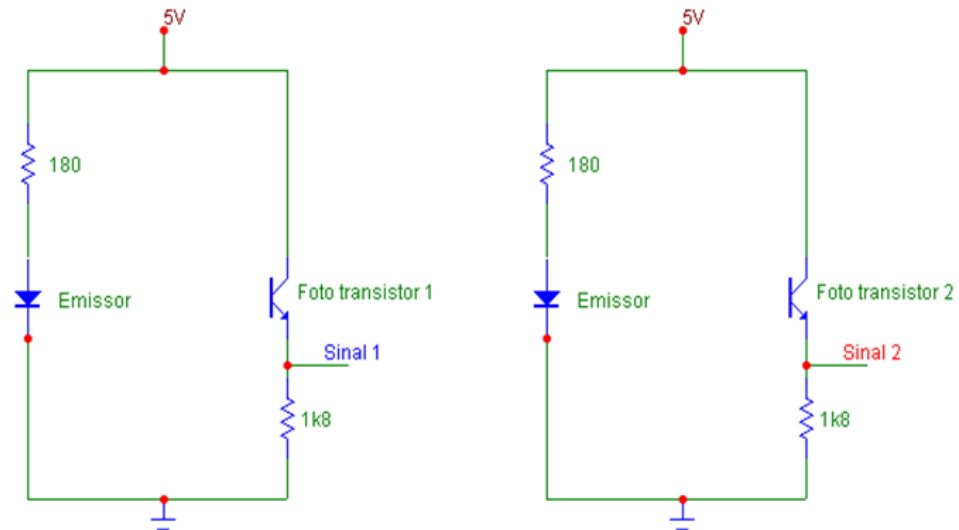


Figura 3.6 - Circuito de ligação dos sensores

Normalmente, os foto transistores encontram-se na situação de condução (com incidência de luz em sua base). Com isto, o “Sinal 1” e “Sinal 2” representados na Figura 3.6 encontram-se com o valor da tensão de alimentação, descontando-se a queda em cima do foto transistor de $0,7V$, pois este está aberto. Ao perceberem uma variação de luminosidade, os foto transistores produzem variações no “Sinal 1” e “Sinal 2” que variam de $5V$ até um determinado valor de tensão. Este valor depende da intensidade e velocidade de variação de luminosidade sentida na base do foto transistor. Caso o tempo e o tamanho da sombra produzida seja suficiente para o foto transistor ter sua máxima excursão, o “Sinal 1” e “Sinal 2” variarão do seu valor máximo à aproximadamente $0V$. Na Figura 3.7 é possível observar a excursão dos sinais 1 e 2 ao ser disparado com uma carabina Montenegro Super um projétil

de 5,5mm interceptando os feixes dos emissores em direção aos foto sensores espaçados de 50mm.

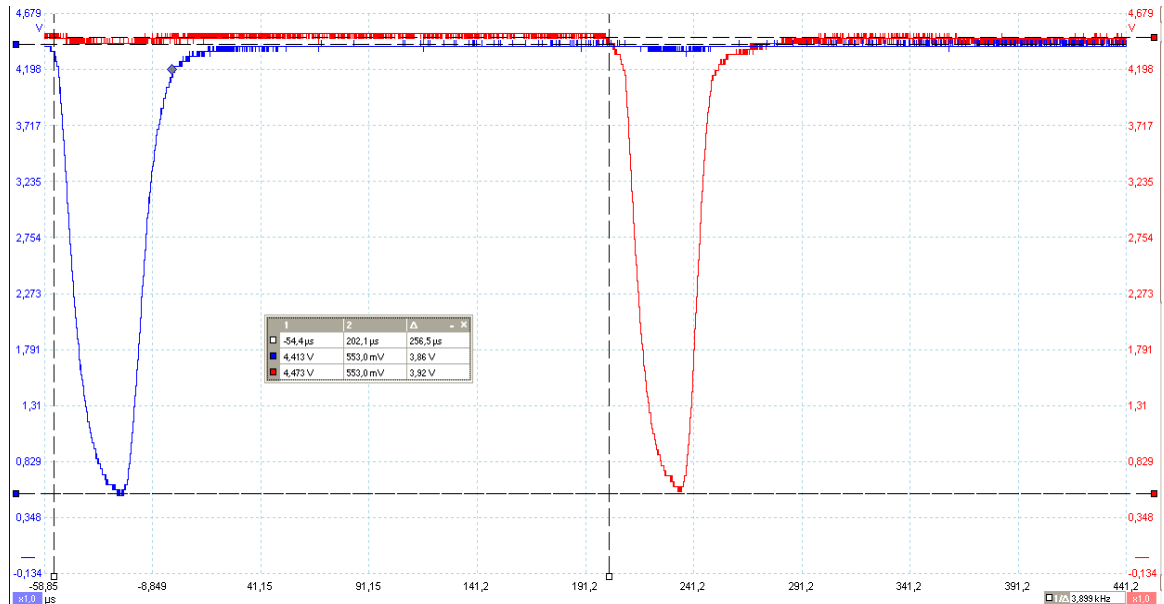


Figura 3.7 - - Visualização dos sinais de um disparo em direção a foto transistores espaçados de 50mm pelo osciloscópio PicoScope.

Neste trabalho, utilizou-se um amplificador operacional (TL081), na configuração de amplificador somador inversor de sinais AC, visando amplificar com um ganho de cinco vezes os sinais gerados pelos foto transistores (“Sinal 1” e “Sinal 2”). Como se pode observar na Figura 3.8, os capacitores C4 e C3 possuem função de filtro passa alta, visando rejeitar variações muito pequenas de luminosidade, e sinais DC. Portanto, as variações de tensão no “Sinal 1” e “Sinal 2” geradas pelo projétil cortando os feixes infra-vermelhos em direção à base dos foto transistores, são transmitidas através dos capacitores C4 e C3, sendo estas amplificadas inversamente pelo amplificador operacional. A saída do amplificador operacional foi ligada ao pino referente ao sinal de entrada do comparador do micro controlador. O pino de referência de tensão do mesmo comparador foi então conectada a

um ponto de tensão constante de 3,3V, produzida pela queda de tensão de um diodo Zener modelo C3V3ST utilizado.

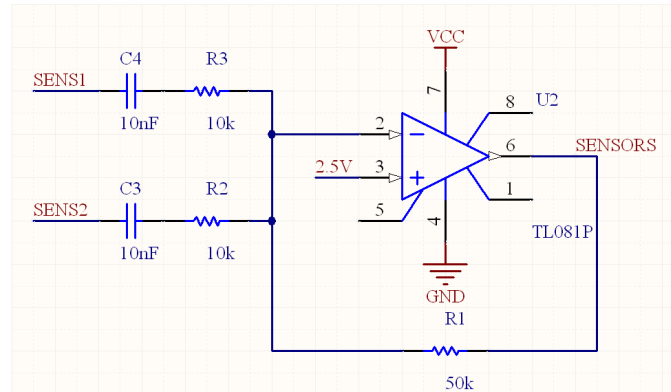


Figura 3.8 - Amplificador somador inversor de sinais AC

3.2.2 Envio serial

Como no projeto é disponível apenas a tensão de 5V, gerada pelo TL8705, foi utilizado o componente MAX232 da Texas Instrument para que fosse possível o envio de dados via protocolo serial à um PC. Utilizando-se o MAX232 com o circuito proposto em seu datasheet, este é capaz de gerar tensões de +10V e -10V a partir de uma alimentação de 5V, permitindo suprir os requisitos de tensão deste protocolo.

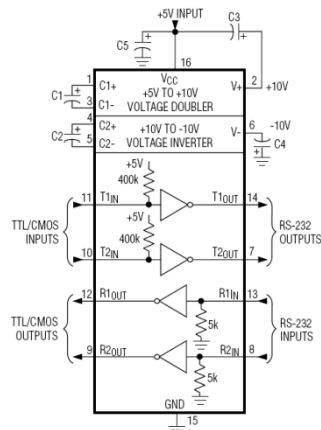


Figura 3.9 - Circuito de ligação do MAX232 (Maxim, 2000)

3.2.3 Placa de Circuito Impresso

Após serem efetuados testes realizados com um protótipo portando o circuito projetado, foi confeccionado um layout para que se fossem encomendadas placas de circuito impresso em empresa especializada. Como o gabinete plástico que será comentado na seção de Projeto Mecânico já havia sido escolhido, a placa de circuito impresso foi projetada para que os IO's e furações de fixação coincidisse com os recortes e apoios disponíveis no gabinete. Utilizou-se o software Altium para a criação do layout de duas camadas apresentado na Figura 3.10.

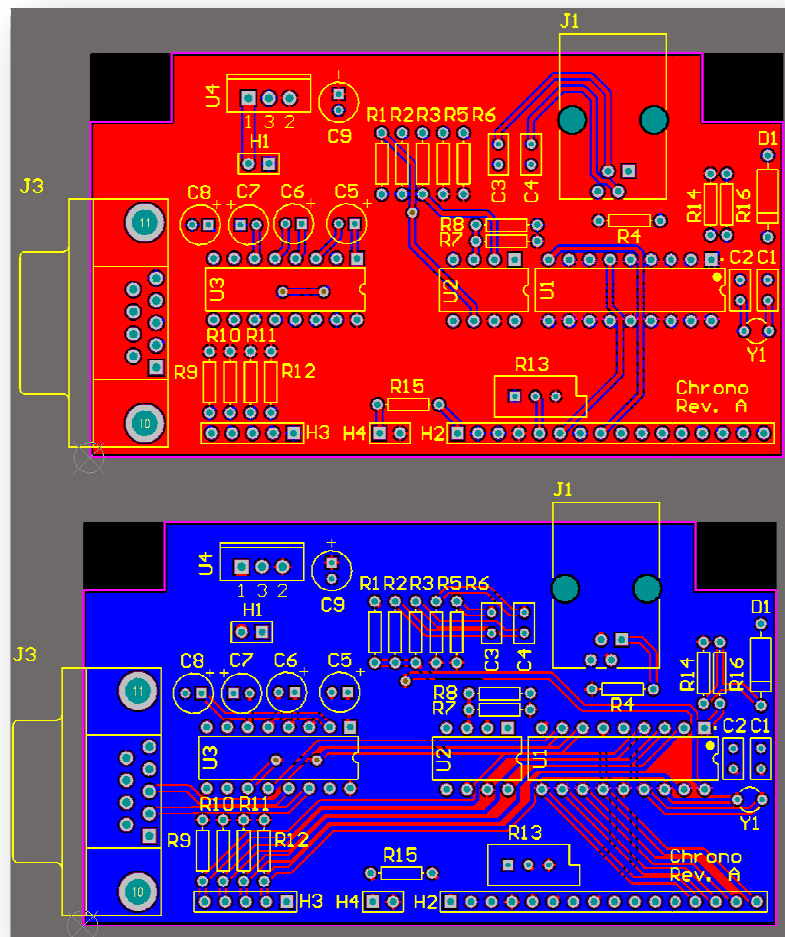


Figura 3.10 - Layout da placa de circuito impresso (duas camadas)

3.3 Software

O desenvolvimento do software foi baseado no fluxograma demonstrado na Figura 3.11:

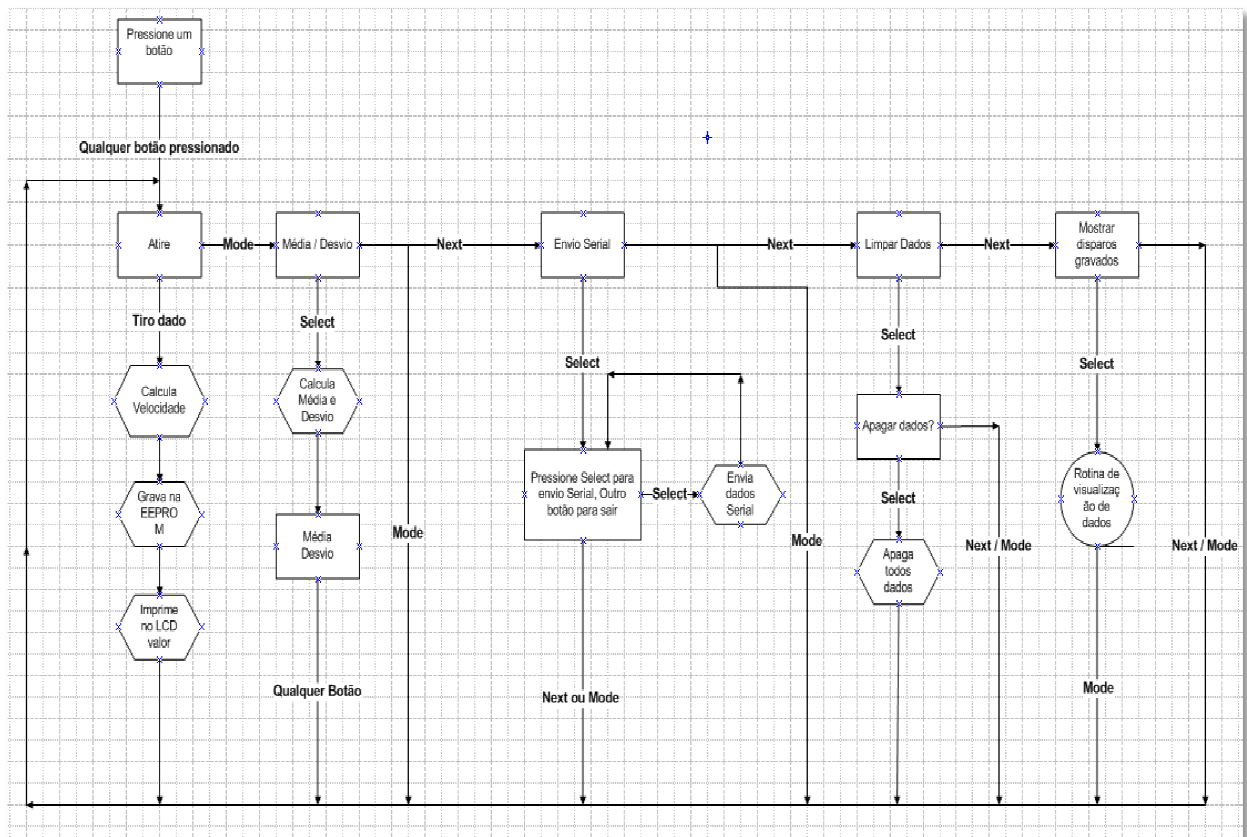


Figura 3.11 - Diagrama de blocos do software desenvolvido

Como é possível observar no fluxograma da Figura 3.11, ao equipamento ser ligado, este espera que o usuário pressione alguma tecla. Efetuado este procedimento, é então informado “Atire” para o usuário. Neste ponto, as configurações de timer e comparador já foram realizadas e o programa fica aguardando uma interrupção gerada por um disparo ou um sinal do botão *Mode*.

3.3.1 Lógica dos menus

Os menus do programa foram criados com lógica condicional, proporcionando uma navegação simples ao usuário. Utilizando os botões Mode, Up, Down e Select. Os modos disponíveis para o acesso do usuário são:

Média e Desvio – Foi implementada uma rotina que lê todos os dados armazenados na EEPROM, efetua os cálculos de média e desvio padrão da seqüência armazenada com floats de 32 bits e imprime essas duas medidas estatísticas no LCD para a visualização dos resultados.

Envio Serial – Foi implementada uma rotina que lê os dados armazenados na EEPROM e os envia em ordem cronológica para a interface serial. Como existe um limite de memória de 125 disparos, após o disparo de número 125, o programa começa a reescrever os valores nas posições 1, 2, 3 e assim sucessivamente. Um vetor circular para a gravação e envio de dados na ordem correta foi criado. Para isso, após uma gravação de medida na EEPROM, é salvo a posição atual do vetor e o seu tamanho, possibilitando então se saber se já ocorreu um enchimento do vetor de 125 posições (Schildt, 1997).

Neste menu, o usuário recebe uma mensagem para conectar o cabo serial a um PC e pressionar o botão Select para iniciar o envio. Caso algum problema seja constatado pelo usuário, ele pode simplesmente pressionar o botão Select para o reenvio dos dados, ou o botão menu para retornar ao modo de aquisição de dados.

Limpar dados – Neste menu, o usuário tem a possibilidade de apagar todos os dados salvos na EEPROM do micro controlador. É exibida uma mensagem de alerta, informando que caso seja pressionado o botão Select, todos os disparos armazenados serão apagados.

Para o usuário sair deste menu sem efetuar a limpeza de dados, basta pressionar Mode ou Up ou Down.

Mostrar dados armazenados – Neste menu, primeiramente é informado o valor de dados armazenados até o momento. Além disso, o usuário tem a possibilidade de visualizar via LCD, todos os dados armazenados utilizando os botões Up e Down. Cada disparo é exibido com o número referente à ordem cronológica a qual ocorreu a seqüencia.

3.3.2 Configuração de interrupção do comparador

Como já comentado anteriormente, o micro controlador utilizado possui dois comparadores analógicos. Neste trabalho, desabilitou-se o CCP1 e fez-se uso do comparador CCP2 simplesmente pela conveniência da posição dos pinos. Um sinal de referência de 3,3V foi conectado ao pino A1 de referência do comparador, enquanto o sinal da saída do amplificador operacional foi conectado ao pino A2 do comparador. Como a saída do amplificador operacional se encontra normalmente com 2,5V, para que uma interrupção por comparador seja gerada, esta saída deve chegar no mínimo a 3,3V. A Figura 3.11 apresenta uma tela gerada com o osciloscópio PicoScope modelo 2204 quando efetuado um disparo com uma carabina CBC Montenegro Super com munição Sniper 5,5mm. O canal A em azul foi conectado à saída do amplificador operacional enquanto o canal B foi conectado ao sinal de referência do comparador.

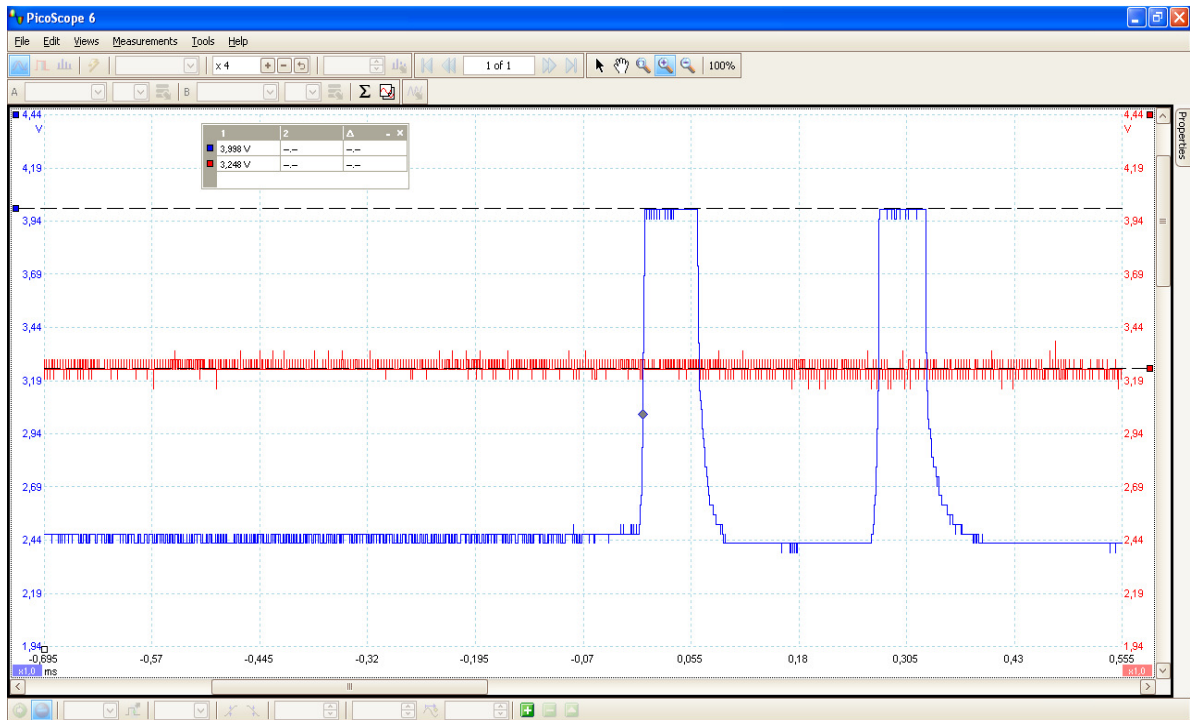


Figura 3.12 - Disparo com o canal (azul) na saída do AMPOP e o canal (vermelho) na referência

Na Figura 3.12 é possível observar que para cada disparo, quatro interrupções são geradas. Porém, apenas a primeira e a terceira interrupção (referente à subida dos sinais) são utilizadas para o cálculo de velocidade. Para isso, na rotina de interrupção do comparador foi criada uma lógica para que se habilite e desabilite o timer na primeira e terceira interrupção recebida, respectivamente.

3.3.3 Configuração do timer

Como comentado anteriormente, o micro controlador utilizado possui 3 timers sendo dois de 8 bits e um de 16 bits. Para se adquirir o tempo entre interrupções geradas pelo disparo de um projétil entre os sensores, utilizou-se o Timer 1, de 16 bits. Utilizando um *clock* de 20MHz no controlador, este timer possui resolução de 13,107 ns e uma atualização

de contagem de 0,2us (Silva, 2007). Com isso, o erro gerado pelo timer será referente à no máximo, uma contagem, ou seja, $\pm 0,2\mu s$. Tendo-se um espaçamento de 50 mm entre os sensores e supondo uma velocidade empírica máxima de disparo de 700 m/s tem-se:

$$Tempo_{interrup} = \frac{Distância_{sensores}}{Velocidade_{Máx}} = 71,4 \mu s \pm 0,2 \mu s \quad (3)$$

$$Erro_{Timer} = 0,28\% = 2m/s \quad (4)$$

Para carabinas de pressão, uma velocidade típica de disparo é de 250 m/s como pode ser conferido na maioria das especificações destas armas. Supondo esta velocidade, tem-se:

$$Tempo_{interrup} = \frac{Distância_{sensores}}{Velocidade_{Típica}} = 200 \mu s \pm 0,2 \mu s \quad (5)$$

$$Erro_{Timer} = 0,1\% = 0,25m/s \quad (6)$$

Nota-se, como demonstrado na expressão (6), que uma estimativa para o erro máximo causado pelo Timer de 16 bits utilizado com um *clock* de 20MHz no micro controlador é de 0,25m/s.

3.4 Projeto Mecânico

O projeto mecânico consiste na escolha do gabinete plástico que porta a placa com a eletrônica do produto junto com as IHM's disponíveis e também as peças de acoplamento torneadas para a fixação do dispositivo ao cano das espingardas e fixação dos sensores.

3.4.1 Gabinete Plástico

Tendo em vista que a confecção de uma matriz para injeção plástica para se produzir um gabinete ideal para esta aplicação estaria fora do orçamento para este trabalho, procurou-se por gabinetes já confeccionados. A escolha do gabinete plástico para o projeto teve como requisito possuir um compartimento para bateria e uma janela para o display. Foi verificado junto a Patola, Cabex, Phoenix-Mecanoentre outros fornecedores, os gabinetes disponíveis. Foi escolhido um produto da Cabex pelo seu baixo custo e por possuir as furações adequadas para a fixação da placa e do LCD, um local para a fixação de um teclado de membrana, um compartimento de bateria e o recorte para o visor do LCD. A figura 3.13 ilustra diferentes ângulos do gabinete escolhido.



Figura 3.13 - Fotos do gabinete plástico escolhido

3.4.2 Peças de acoplamento

O material utilizado para a usinagem das peças nesse trabalho é o Nylon 10. Apesar de o Polipropileno ser um material de menor custo, o Nylon 10 tem uma melhor qualidade e é usinado mais facilmente. Além disso, o PP é mais macio que o Nylon. Conseqüentemente, a usinagem em tornearias se torna mais trabalhosa e demorada utilizando este material.

O acoplamento do cronógrafo às carabinas é gerado através da peça de acoplamento (Figura 3.14).

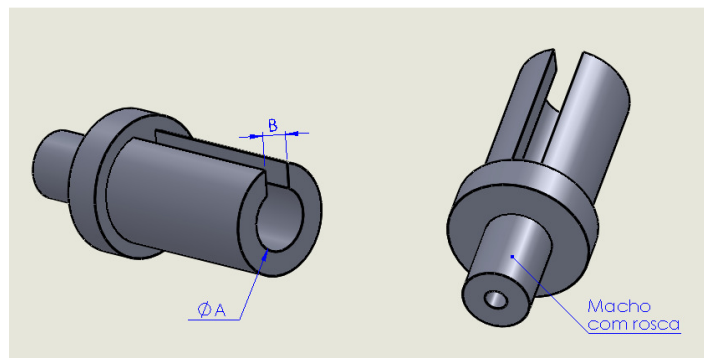


Figura 3.14 - Peça de acoplamento

Esta peça foi projetada para que o furo “A” possua aproximadamente o mesmo diâmetro do cano da espingarda a ser instrumentada. O rasgo “B” por sua vez é projetado para que permita o avanço da alça de mira à medida que a peça de acoplamento é deslizada através do cano da carabina. Como existem diversos modelos de espingardas com diferentes diâmetros de canos, é necessária a usinagem especial da peça de acoplamento para cada tipo de carabina. Todavia, a maioria dos modelos que podem ser encontrados no mercado brasileiro possuem canos com 15 mm de diâmetro. Além disso, para diâmetros diferentes deste valor, faz-se necessário apenas as modificações nas medidas “A” e “B” da peça de acoplamento.



Figura 3.15 - Peça de acoplamento acoplada ao cano

A peça que comporta os sensores foi projetada para que seja única para qualquer tipo de carabina. Esta peça é acoplada ao prolongamento com rosca da peça de acoplamento (Figura 3.14) através de um furo com rosca. É nessa peça que se localizam os foto transistores e foto emissores, espaçados cada par por uma distância fixa de 50mm com precisão de $\pm 0.1\text{mm}$.



Figura 3.16 - Peça dos sensores e capa



Figura 3.17 - Peça de acoplamento usada acoplada ao cano

4 Validação do sistema

Após a montagem do equipamento, como ilustra a Figura 4.1, foi abordada a validação do equipamento.



Figura 4.1 - Resultado montagem do equipamento

A validação do instrumento foi efetuada através de um método comparativo utilizando-se como referência comercial o cronógrafo ProChrono. Este equipamento é um cronógrafo balístico profissional e representa um dos mais completos instrumentos destinados à medição de velocidade de projéteis encontrado no mercado. A Tabela 4.1 mostra as especificações retiradas do manual do equipamento.

Tabela 4.1 - Especificações cronógrafo ProChrono (Competition Electronics, 2008)

Faixa de Velocidade	6,4008 m/s - 2133,6 m/s
Faixa de temperatura	0°C - 37,78°C
Tempo mínimo entre disparos	500 ms
Resolução do timer por disparo	750 ns
Precisão	± 1%
Consumo	15 mA

4.1 Testes efetuados

O procedimento consistiu em efetuar cinquenta disparos através do equipamento construído (Cronshot) em série com o cronógrafo Prochrono conforme Figura 4.2,



Figura 4.2 - Disposição dos cronógrafos para testes

Utilizou-se primeiramente uma carabina CBC Montenegro Super (Figura 4.3) suprida com munição Rifle 5,5mm (Figura 4.4).



Figura 4.3 - Carabina Montenegro Super 5,5mm



Figura 4.4 - Munição Sniper 5,5mm

Para que não houvesse uma diminuição significativa de velocidade do projétil ao longo da trajetória de espaçamento entre os equipamentos, foi mantida uma distância entre os instrumentos de 20 centímetros em todos os disparos. Além disso, procurou-se manter um ângulo normal ao plano formado pelos feixes do ProChrono em todos os disparos, evitando-se assim um erro de medição do equipamento utilizado como referência comercial por inclinação indevida no disparo. Na Figura 4.5 são demonstrados os resultados obtidos.

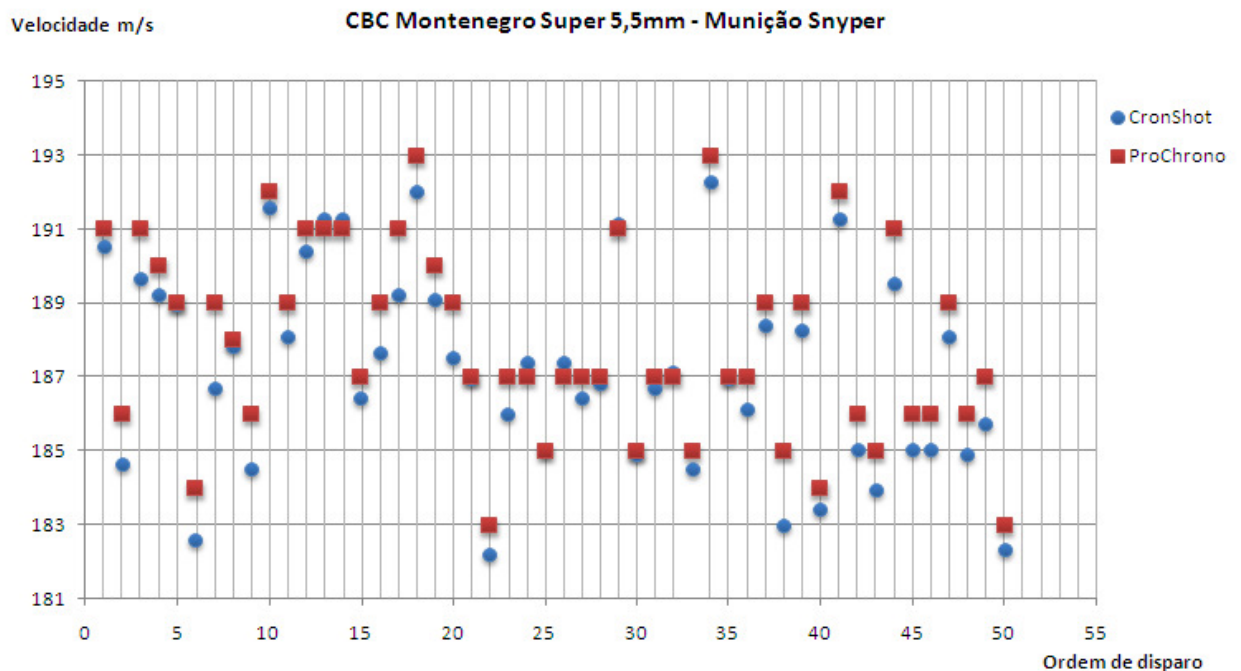


Figura 4.5 - Gráfico de 50 disparos com CBC Montenegro Super 5,5mm com cronógrafos em série

As alterações de velocidades notadas entre cada disparo são resultados da mudança da constante elástica da mola ao longo dos disparos e ou alterações na geometria e peso dos projéteis utilizados. Na Figura 4.5 são demonstrados os histogramas correspondentes às medições dos dois equipamentos:

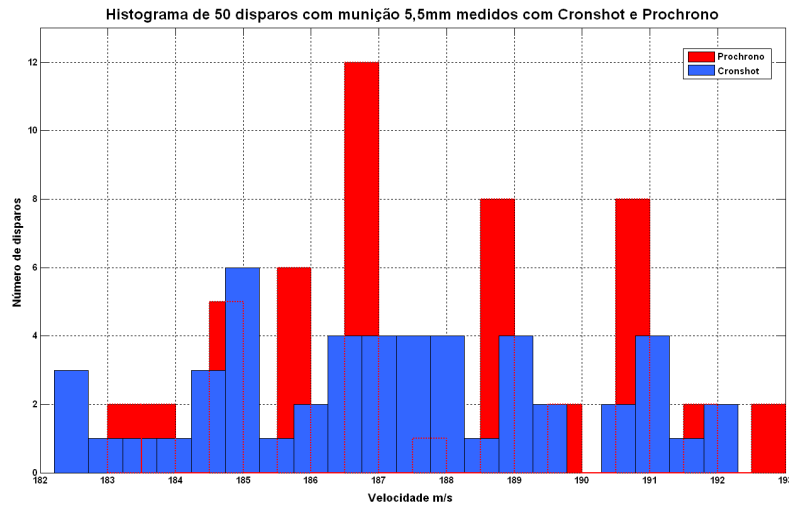


Figura 4.6 - Histograma referente a 50 disparos com munição 5,5mm com dados gerados pelos 2 cronógrafos.

Pode-se observar na Figura 4.6 que os dois equipamentos obtiveram medidas semelhantes, distribuídas em um intervalo que variou de 182 m/s até 193 m/s. Além disso, pode-se notar que a média de velocidade dos dois equipamentos foi praticamente a mesma, em torno de 187 m/s. O pico em vermelho gerado no histograma da Figura 4.5 no valor de 187 m/s deve-se ao fato do equipamento ProChrono gerar medidas de velocidade em números inteiros.

Nos 50 disparos efetuados, notou-se uma variação máxima nas medições entre os dois equipamentos de 2,3 m/s. Além disso, 74% dos disparos apresentaram uma variação de velocidade entre as medidas dos dois equipamentos inferiores a 1 m/s, (resolução do equipamento ProChrono).

A seguir são ilustrados os dados estatísticos gerados pelos dois cronógrafos, levando em conta os 50 disparos:

Tabela 4.2 - Dados estatísticos gerados pelos instrumentos para os 50 disparos.

	CronShot	ProChrono
Média	186.91 m/s	187 m/s
Desvio Padrão	2,67	2

Notou-se que tanto os dados de média como os de desvio padrão gerados pelo cronógrafo ProChrono são fornecidos como algarismos inteiros (Tabela 4.2). Foi então calculado via Excel os valores de média e desvio a partir dos 50 valores de velocidades gerados pelos dois equipamentos (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 - Dados estatísticos calculados via Excel para os 50 disparos gravados por cada instrumento.

	CronShot	ProChrono
Média	187.23 m/s	187,94
Desvio Padrão	2,69	2,61

Observou-se que não é efetuada nenhuma técnica de arredondamento para os valores estatísticos gerados pelo equipamento ProChrono. As medidas estatísticas como média e desvio padrão são apresentadas como valores inteiros, o que pode gerar um erro muito grande em determinadas situações. Observando-se a tabela 4.2 e a tabela 4.3, os valores de média e desvio padrão gerados pelo ProChrono apresentam 0,50% e 23,4% de erro respectivamente, quando comparados aos valores calculados via Excel. De maneira análoga, os valores de média e desvio padrão gerados pelo equipamento construído (Cronshot) apresentaram 0,17% e 0,85% de erro quando comparados aos valores calculados no Excel. Estes erros são gerados por questões de arredondamento e de truncamento nos cálculos de média e desvio padrão nos dois equipamentos.

O mesmo procedimento foi repetido utilizando-se uma carabina Rossi Dione 96 (Figura 4.7), suprida com munição Premier Pellets Crosman 4,5mm (Figura 4.8).



Figura 4.7 - Carabina Rossi Dione 96



Figura 4.8 - Munição Premier Pellets 4,5mm

Na Figura 4.9 é apresentado o gráfico com os dados gerados:

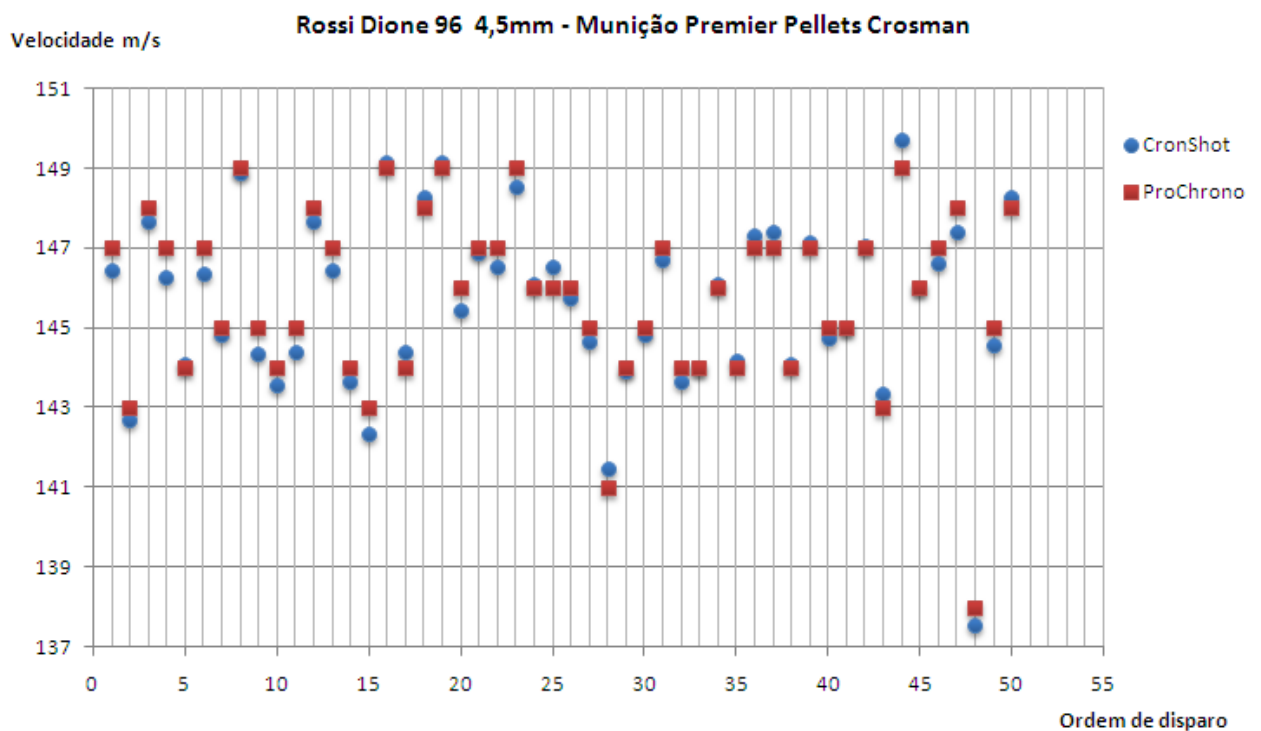


Figura 4.9 - Gráfico de 50 disparos com Rossi Dione 96 4,5mm com cronógrafos em série

Na Figura 4.9, são demonstrados em uma mesma ilustração, os histogramas correspondentes às medições dos dois equipamentos:

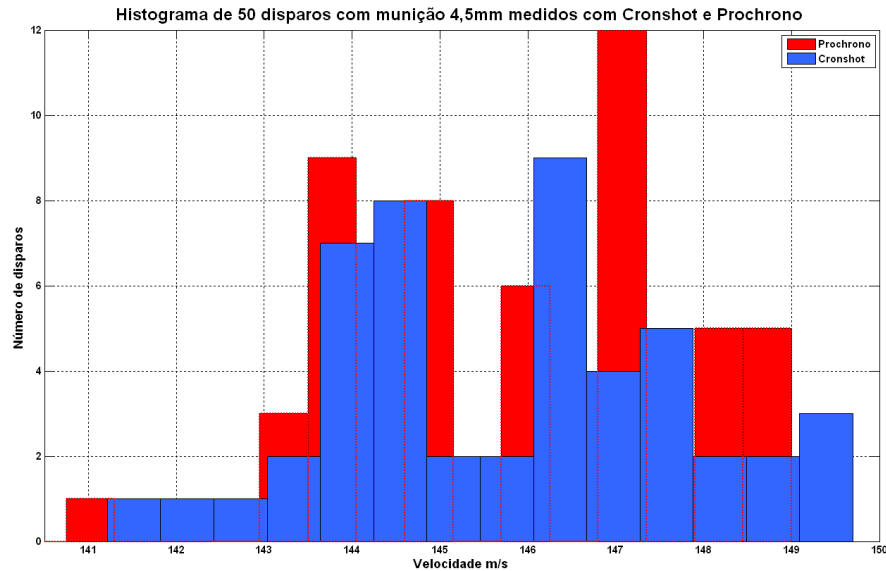


Figura 4.10 - Histograma referente a 50 disparos com munição 4,5mm com dados gerados pelos 2 cronógrafos

Como pode-se observar na Figura 4.10 uma grande semelhança nos histogramas gerados para os dois equipamentos. Além disso, os dois equipamentos obtiveram medidas semelhantes, distribuídas em um intervalo que variou de 141 m/s até 150 m/s, com a média em torno de 147 m/s.

Para este ensaio, notou-se uma variação máxima nas medições entre os dois equipamentos de 0,72 m/s. Além disso, 79% dos disparos apresentaram uma variação de velocidade entre as medidas dos dois equipamentos, inferiores a 0,5 m/s. Esta variação encontrada de 0,5 m/s, representa 0,33% do fundo de escala com a velocidade máxima medida de 150 m/s. Na Tabela 4.4 são ilustrados os dados estatísticos gerados pelos dois cronógrafos, levando em conta os 50 disparos:

Tabela 4.4 - Dados estatísticos gerados pelos instrumentos para os 50 disparos.

	CronShot	ProChrono
Média	145.61 m/s	145 m/s
Desvio Padrão	2,210	2

Foi então calculado via Excel os valores de média e desvio a partir dos 50 valores de velocidades gerados pelos dois equipamentos (Tabela 4.5).

Tabela 4.5 - Dados estatísticos calculados via Excel para os 50 disparos gravados por cada instrumento.

	CronShot	ProChrono
Média	145.65 m/s	145,78
Desvio Padrão	2,23	2,19

Observando-se a Tabela 4.4 e a Tabela 4.5, os valores de média e desvio padrão gerados pelo ProChrono apresentam 0,53% e 8,7% de diferença respectivamente, quando comparados aos valores calculados via Excel. De maneira análoga, os valores de média e desvio padrão gerados pelo equipamento construído (Cronshot) apresentaram 0,027% e 0,85% de diferença quando comparados aos valores calculados no Excel.

4.2 Análise de incerteza do equipamento

Como comentado anteriormente, o cálculo de velocidade é efetuado a partir da expressão a seguir:

$$\text{Velocidade}_{\text{projétil}} = \frac{\text{Distância entre sensores}}{\text{Tempo entre interrupções}} \quad (7)$$

Como pode ser observado na expressão acima, as possíveis fontes de erro no cálculo da velocidade são a contagem do Timer de 16 bits e o espaçamento entre os sensores.

Como comentado na Seção 3.3.3 (Configuração do Timer), a incerteza de medição gerada pelo timer será, para uma velocidade típica de 250m/s, equivalente à $\pm 0,2\mu\text{s}$ (resolução do timer utilizado).

Como comentado na Seção 3.4.2 (Peças de Acoplamento), a tolerância fornecida pelo processo de usinagem no espaçamento dos sensores equivale à $\pm 0,1\text{mm}$.

Sabe-se que a velocidade é função da distância e do tempo gerado pelo intervalo de interrupções.

$$\text{Velocidade} = f(\text{distância}, \text{tempo}) \quad (8)$$

Para o cálculo da incerteza padrão combinada, conforme (Balbinot, Brusamarello, 2006) tem-se a expressão:

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 \times u^2(x_i)} \quad (9)$$

Onde “ f ” é a função dada na equação 8 (velocidade), e “ u ” é a incerteza padrão para cada fator que contribui para a incerteza de “ f ”.

Com isso, obtém-se:

$$u_c = \sqrt{\left[\frac{\partial \text{Velocidade}}{\partial d}\right]^2 \times u_{\text{distância}}^2(d) + \left[\frac{\partial \text{Velocidade}}{\partial t}\right]^2 \times u_{\text{tempo}}^2(t)} \quad (10)$$

Considerando a incerteza do espaçamento entre os sensores como uma distribuição retangular (Figura 4.11) na qual a máxima e mínima variação se dá em +0,0001m e -0,0001m respectivamente, tem-se que:

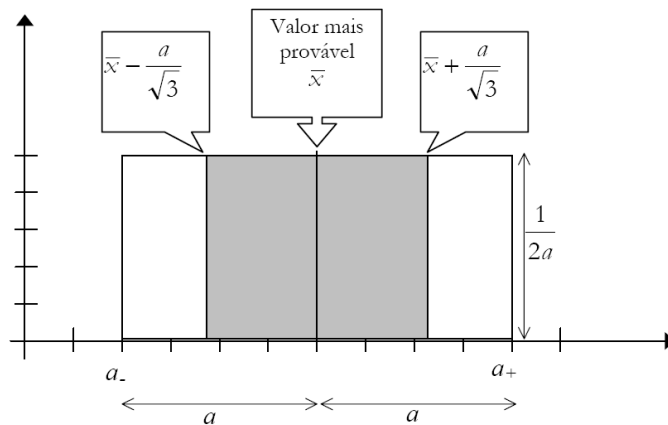


Figura 4.11 - Distribuição retangular

$$a = \pm 0,1 \times 10^{-3}$$

$$u_{\text{distância}} = \frac{a}{\sqrt{3}} = \frac{\pm 0,1 \times 10^{-3}}{\sqrt{3}} = \pm 57,735 \times 10^{-6} \quad (11)$$

Considerando-se também a incerteza da medida de timer como uma distribuição retangular, na qual a máxima e mínima variação se dá em +0,2us e -0,2us respectivamente, tem-se que:

$$a = \pm 0,2 \times 10^{-6}$$

$$u_{tempo} = \frac{a}{\sqrt{3}} = \frac{\pm 0,2 \times 10^{-6}}{\sqrt{3}} = \pm 115,470 \times 10^{-9} \quad (12)$$

Substituindo-se os valores de incerteza padrão calculados em (11) e (12) na expressão (10), tem-se:

$$u_c = \sqrt{\left(\frac{1}{t}\right)^2 \times (57,735 \times 10^{-6})^2 + \left(\frac{-d}{t}\right)^2 \times (115,470 \times 10^{-9})^2} \quad (13)$$

Para uma velocidade típica de 250 m/s, tem-se como visto no capítulo 3.3.3 que:

$$d = 0,05 \text{ m}$$

$$t = 200 \times 10^{-6} \text{ s}$$

Substituindo os valores acima na expressão da incerteza padrão combinada da expressão (10), obtém-se:

$$u_{c250m/s} = 0,289 \text{ m/s}$$

Conclui-se então que a incerteza para um fator de cobertura de cobertura 1, (que representa 68,2% dos casos) é de 0,289 m/s.

5 Conclusões

Nesse projeto, foram abordados a construção de um cronógrafo digital e os testes de validação efetuados com esse equipamento. Ao longo do texto, foram apresentadas as etapas de construção mecânica, o desenvolvimento de um circuito eletrônico e de um software criado para suprir as diversas funções que o equipamento dispõe ao usuário. O equipamento projetado visa a atender a demanda de esportistas de armas de pressão do Brasil, que hoje não contam com a possibilidade de aquisição de um equipamento nacional e de qualidade.

A análise dos resultados obtidos mostrou que as medidas efetuadas pelos dois equipamentos nos cem disparos (cinquenta com cada carabina com diferentes munições) apresentaram poucas diferenças (menores que 1% do fundo de escala). Além disso, foi demonstrado que o equipamento projetado apresenta uma incerteza menor do que o equipamento usado como referência. Ao longo do texto, foi também verificado que os cálculos estatísticos efetuados pelo equipamento de referência apresentavam um erro muito grande, comprometendo a fidelidade dos dados apresentados pelo instrumento ao usuário. Com isso, em termos de análises estatísticas de uma seqüência de disparos, o equipamento construído também se demonstrou muito superior. Além disso, a praticidade, a facilidade de navegação nos menus e a mobilidade do equipamento projetado oferecem ao usuário um diferencial ainda não conhecido no mercado de cronógrafos.

Como sugestões para futuras melhorias, o autor destaca o interfaceamento do dispositivo através do protocolo USB. Isso porque, hoje em dia, dificilmente modelos novos de Desktops e Notebooks possuem interface serial, sendo necessária a utilização de conversores Seriais/USB para a comunicação do dispositivo a estas máquinas. Além disso, a

comunicação dos sensores óticos com o dispositivo pode ser implementado de forma sem-fio, utilizando-se a tecnologia ZigBee. Isso eliminaria os fios que conectam as peças de acoplamento ao gabinete, tornando o dispositivo ainda mais prático. Por fim, uma nova abordagem no projeto mecânico das peças de acoplamento pode ser efetuada, visando atender um maior número de carabinas com diâmetros de canos e tamanhos de alça de mira diferentes.

6 Referências Bibliográficas

Balbinot, A.; Brusamarello, J. V. **Instrumentação e Fundamentos de Medidas**. 1. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2006.

Boylestad, R. L.; Nashelsky, L. **Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos**. 8. ed. Rio de Janeiro: Prentice-Hall do Brasil, 2004.

Competition Electronics. **ProChrono Digital Operating Instructions**. Competition Electronics Inc. Rockford, 2008. CEI-3800.

Farnell Newark. **Phototransistors**. Disponível em: <http://www.farnellnewark.com.br/phototransistor_dept,3252.aspx>. Acesso em: 15 set. 2009.

Fórum Airgun. **Armas de Pressão**. Disponível em: <<http://www.airgun.com.br/forum/>>. Acesso em: 10 set. 2009.

Gamo. **Airguns**. Disponível em: <<http://www.gamousa.com>>. Acesso em: 10 nov. 2009.

HowStuffWorks. **Como funcionam as armas de ar comprimido?**. Disponível em: <<http://lazer.hsw.uol.com.br/questao649.htm>>. Acesso em: 25 out. 2009.

Maxim. **+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers: Max232**. Maxim Integrated Products. Rev 9. Estados Unidos, 2000. 19-4323.

Mestre, N. D. **The mathematics of projectiles in sport**. 1. ed Cambridge: Cambridge University, 1990.

Microchip. **Flash-Based, 8 bit CMOS Microcontrollers with nanoWatt Technology:** PIC16f627A/628A/648A. Microchip Technology Inc. Estados Unidos, 2005. DS40044D.

Pallás-Areny, R.; Webster, J. G. **Sensors and Signal Conditioning.** 1. ed. New York: John Wiley & Sons Inc, 1991.

Schildt, H. **C Completo e Total.** 3. ed. São Paulo: Makron Books, 1997.

Silva, R. A. **Programando Microcontroladores PIC:** Programação em Linguagem C. 2. ed. São Paulo: Ensino Profissional Editora, 2006.

Thomazini, D. T.; Albuquerque, P. U. B. **Sensores Industriais Fundamentos e Aplicações.** 3. ed. São Paulo: Érica Ltda, 2007.

Vishay. **Infrared Emitting Diode:** TSUS4300. Vishay Semiconductors. Rev 1.6. Alemanha, 2008. 81053.

Vishay. **Silicon NPN Phototransistor:** TEFT4300. Vishay Semiconductors. Rev .2. Alemanha, 1999. 81549.

Wikipédia. **Carabinas de Pressão.** Disponível em:
<http://pt.wikipedia.org/wiki/Carabina_de_press%C3%A3o>. Acesso em: 20 out. 2009.