

Alexandre Aveiro Marchi

Implementação de uma Bússola Digital

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Escola de Engenharia de
São Carlos, da Universidade de São Paulo

Curso de Engenharia Elétrica com ênfase
em Eletrônica

ORIENTADOR: Prof. Edson Gesualdo

São Carlos

2009

Agradecimentos

A realização desse projeto ocorreu graças ao apoio de minha família e dos meus colegas de turma Flávio Pascoal e André Marim. A troca de idéias e experiências foi fundamental para o andamento do projeto e o funcionamento da bússola. A orientação do professor Edson Gesualdo também foi de suma importância para a conclusão tanto da parte teórica como da parte prática do projeto.

Dedicatória

Dedico esse trabalho a meu pai Marcos Marchi e minha mãe Solange Marchi que sempre me apoiaram nas minhas decisões e me ajudaram a superar os desafios da Universidade.

Resumo

O objetivo principal desta monografia é apresentar o desenvolvimento de *interface* para uma bússola digital. Da mesma forma que a bússola tradicional, essa versão tem como objetivo indicar a direção usando o norte como referência. No entanto, a versão digital tem algumas vantagens. A bússola digital é baseada em dois sensores magneto-resistivos que medem as coordenadas. Algumas características são importantes neste projeto. Os sensores são rápidos, precisos e à prova de choque mecânico. Essas características são devidas ao sensor monolítico de silício. Portanto, devido a essas especificidades a bússola digital tem muitas aplicações além de meramente indicar direções. Ela pode ser incorporada em celulares, robôs ou veículos provendo o direcionamento e até mesmo podendo gerar mapas que auxiliam o usuário no seu cotidiano.

Palavras chaves:

+ Bússola digital

+ Efeito Magneto-resistivo

Abstract

The main objective of this monograph is to present the development of an interface to the digital compass. As the traditional version its main purpose is to indicate directions using the north as a reference, although this innovative model may present some advantages. The digital compass is based on two magnetic-resistive sensors to measure the coordinates which makes it easier, faster and secure to operate. Some characteristics are prominent in this project. Sensors, for example, are faster, more precise and choke proof. These features are due to a monolithic semiconductor package included on the project. Therefore, this digital compass has many applications other than simply indicating the cardinal points. Cell phones, robots and cars are using this appliance to provide directions and *mapping*, helping people in their daily life.

Keywords:

+Digital Compass

+Magnetic-resistive effect

Lista de abreviaturas e siglas

SMD - *Superficial monting device*

MRO - Magnetorresistência ordinária

MRG - Magnetorresistência gigante

CMPS03 - Módulo da bússola

GPS – *Global positioning system*

MR - Magneto-resistência

AMR - Magneto-resistivo anisotrópico

Índice

Agradecimentos	3
Dedicatória.....	3
Resumo	5
Abstract	7
Lista de abreviaturas e siglas.....	9
Índice.....	11
1. Introdução.....	17
1.1. Motivação	17
1.2. Objetivo	18
1.3. Organização do texto.....	18
2. Conceitos Iniciais.....	19
2.1. Geomagnetismo - O Campo Magnético da Terra	20
2.2. Efeito Hall x Magneto-Resistivo (MR)	22
2.3. Efeito magneto-resistivo	23
2.4. Os blocos da bússola eletrônica	25
2.5. O elemento sensor Magnetoresistivo	26
2.6. CMPS03 Bússola Magnética - Especificações.....	28
2.7. Módulo CMPS03 Magnetic Compass	29
3. Materiais e Métodos	31
3.1. Philips KMZ51 magnetic field sensor	31
3.2. PIC16F87XA.....	33

3.3.	MCP23S17	34
3.4.	TECH1602B	35
4.	Resultados	37
4.1.	DataLogger	40
4.2.	Recursos disponíveis na bússola digital - <i>Features</i>	41
4.3.	<i>Software</i>	43
4.4.	Configuração dos IO <i>Expander</i> via SPI	45
4.5.	Como ler a bússola	48
4.6.	Mapeamento.....	50
4.7.	Soluções.....	54
4.8.	Ensaio.....	57
5.	Conclusão.....	63
6.	Trabalhos futuros.....	65
7.	Referências Bibliográficas	67
8.	Apêndice.....	69

Índice de figuras

Figura 1 – Analogia do comportamento terrestre com um ímã [3]	20
Figura 2 – Eixo de rotação e eixo magnético terrestre [2]	21
Figura 3 - Efeito AMR aplicado em um elemento sensor [5].....	23
Figura 4 - Construção de um elemento sensor com elementos AMR em ponte [5]	24
Figura 5 - Diagrama de blocos de uma bússola digital [2]	25
Figura 6 - Tira de elemento sensor Permaloi [2]	26
Figura 7 - Dimensões do módulo CMPS03 [6]	28
Figura 8 - Foto do módulo CMP03 e sua pinagem [6]	29
Figura 9 – Representação do <i>CHIP</i> com o sensor magnetoresitivo e sua disposição em ponte de Wheatstone [2].....	32
Figura 10 - Pinagem do PIC16F877a [7].....	33
Figura 11 - Io Expander e sua pinagem [8]	34
Figura 12 - Diagrama de blocos do IO <i>expander</i> e suas entradas e saídas [8]	35
Figura 13 - <i>Display</i> de LCD.....	35
Figura 14 - Montagem da <i>Protoboard</i> com o LCD,a bússola e o PIC.....	37
Figura 15 - Montagem da <i>Protoboard</i> com o LCD, a bússola,o PIC e os IO <i>expanders</i> ligados aos LEDS	38
Figura 16 - Bússola no modo PC se comunicando serialmente com programa no <i>Windows</i>	39
Figura 17 - PenBS da Tato [9]	40
Figura 18 - Configuração do IO <i>expander</i> [8]	45
Figura 19 - <i>Byte</i> de controle [8].....	46
Figura 20 - Comunicação I2C com a bússola [6].....	49

Figura 21 - Trajeto feito de carro com a bússola no modo <i>mapping</i>	51
Figura 22 - Gráfico construído seguindo a trajetória descrita na Figura 21 . Notar que acima temos o gráfico de ida e abaixo o gráfico de volta pelo mesmo trecho (as rodovias são paralelas).....	52
Figura 23 - Janela mostrando os dados (á esquerda) que geraram o gráfico	53
Figura 24 - Montagem em <i>protoboard</i> da bússola. Notar que o LCD estava muito perto do módulo da bússola.....	54
Figura 25 - <i>Display</i> lmr5407EW da Densitron [10]	55
Figura 26 - <i>Display</i> lmr5407EW da Densitron [10]	55
Figura 27 - Dimensões do <i>display</i> da Densitron [10].....	56
Figura 28 - <i>Display</i> lmr5407EW da Densitron [10].....	57
Figura 29 – Exemplo de um <i>display</i> incorporado a painel [10]	57
Figura 30 - Objetos utilizados para medir o efeito de materiais ferromagnéticos na bússola	59
Figura 31 - Ligação da bússola ao PC	60
Figura 32 - Montagem final da <i>protoboard</i> , vista superior	61
Figura 33 - Montagem final da <i>protoboard</i> , vista lateral	61

Índice de tabelas

Tabela 1 - Registradores da bússola digital [6]	29
Tabela 2 - Conversão de unidades	32
Tabela 3 - Características do sensor	32
Tabela 4 - Registradores do IO <i>expander</i> [8]	45
Tabela 5 - Registradores da bússola [6].....	48

Índice de equações

Equação 1.....27

Equação 227

1. Introdução

Uma necessidade sempre presente na humanidade é a localização. Há centenas de anos a bússola vem sendo usada como ferramenta mais importante nesta tarefa.

Atualmente, devido à popularização dos GPS, a bússola perde espaço para essa tecnologia. No entanto, o que é possível perceber atualmente nas tecnologias mais recentes é uma mistura entre GPS e bússola (magnetômetro) possibilitando o posicionamento perfeito do usuário. Portanto podemos dizer que um celular como o Iphone pode indicar o posicionamento e a direção do usuário graças a uma sinergia entre o GPS e a bússola digital.

Esta monografia descreve a construção de uma *interface* para a bússola digital com o usuário.

As aplicações sugeridas expandem a funcionalidade da bússola tradicional. A função mapeamento, por exemplo, gera um mapa de uma região percorrida por um usuário. Esse mapa pode se gravado em *pendrive* para uma construção de mapa de uma determinada região.

1.1. Motivação

O interesse no desenvolvimento do projeto da bússola digital foi decorrente da necessidade atual de desenvolvimento de instrumentos para a localização. Vemos atualmente o surgimento de uma indústria de GPS e instrumentos relacionados que se propõe a facilitar a geo-localização para o usuário. A opção pela bússola ocorreu devido aos sensores magneto-resistivos disponíveis atualmente. Os sensores magneto-resistivos se assemelham aos sensores hall, no entanto apresentam maior sensibilidade, possibilitando captar o campo magnético terrestre.

1.2. Objetivo

O objetivo deste projeto de bússola digital é a geração de uma interface que indique as coordenadas concedidas pelo módulo da bússola digital.

Essa interface foi feita com um *display* LCD e LEDS de 3 mm que acenderão indicando a direção do norte para o usuário.

Aplicações para a bússola serão apresentadas. Exemplo de uma aplicação interessante é a indicação por parte do usuário de uma direção a ser seguida. Por exemplo, à medida que um veículo saia dessa direção, um sinal sonoro é ativado notificando o usuário que ele está se desviando de sua direção.

Outra função interessante da bússola é a criação de mapas através da função *mapping*. Esses mapas podem ser visualizados no PC utilizando um programa que recebe um arquivo do *pendrive* e desenha o mapa do trajeto realizado com a bússola.

1.3. Organização do texto

Esta monografia está organizada de forma expositiva para uma compreensão geral do trabalho. Todo o *hardware* usado foi indicado e a justificativa da escolha desses componentes é dada. Quanto à parte de *software*, os programas mais importantes feitos em C para o PIC estão comentados. Muitas bibliotecas auxiliares não foram comentadas devido ao seu tamanho. Esse enfoque foi escolhido para enfatizar a bússola digital, o foco dessa monografia.

O texto a seguir está dividido em uma etapa de introdução dos conceitos referentes ao histórico da bússola tradicional, seu princípio de funcionamento, os materiais e métodos utilizados no projeto, uma breve descrição do *software*, uma exposição dos resultados alcançados e algumas sugestões para projetos futuros.

2. Conceitos Iniciais

A bússola é uma descoberta chinesa de 2000 a.c, que foi levada pelos árabes à Europa e revolucionou a navegação, melhorando muito o comércio marítimo. As viagens passaram a ser mais seguras e eficientes. No século XV os portugueses descobriram a declinação magnética, ou seja, a diferença entre o norte magnético e o norte verdadeiro.

A bússola consiste em um ponteiro magnetizado livre que se alinha de maneira precisa com o campo magnético da Terra. Qualquer instrumento com uma barra magnetizada girando livremente sobre um pivô, apontando para o norte, pode ser considerado uma bússola.

Nesta monografia é mostrada a construção de interfaces e aplicações para esse instrumento. O efeito que possibilita a bússola digital é o mesmo que vem sendo usado pela bússola tradicional: o campo magnético terrestre; no entanto o sensor que capta esse efeito é magnético-resistivo. Dois *chips* de silício possuem sensores magneto-resistivos que captam o campo magnético em dois eixos. Após uma complexa etapa de tratamento de sinal e amplificação o resultado dessa medição do campo pode ser visualizado no LCD, em um sistema com LEDS e também no PC.

2.1. Geomagnetismo - O Campo Magnético da Terra

A Terra possui um campo magnético, os efeitos da sua existência já eram conhecidos pela civilização antiga chinesa, esse campo foi também usado para orientação na época dos descobrimentos. No seu livro *De Magnet*, de 1600, Gilbert [1] considerou, pela primeira vez, que a Terra comportava-se como um gigantesco ímã permanente.

O campo magnético terrestre assemelha-se por isso a um dipolo magnético e pode ser visualizado em termos de um conjunto de linhas de força que saem de um extremo do ímã, chamado pólo norte e reentram no outro extremo, o pólo sul. O eixo desse dipolo magnético faz um ângulo aproximado de 11° com o eixo de rotação da Terra [2].

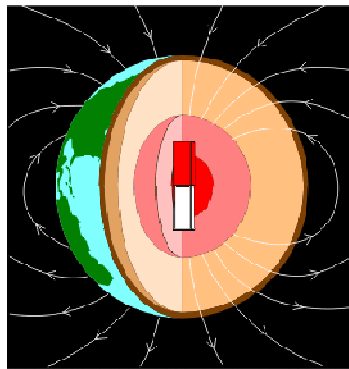


Figura 1 – Analogia do comportamento terrestre com um ímã [3]

O campo magnético deste dipolo, com origem no interior do globo terrestre, explica cerca de 90% do total do campo magnético terrestre. O restante tem origem no exterior, como por exemplo a atividade do Sol sobre a ionosfera e a magnetosfera.

Apesar do campo magnético da Terra parecer-se com o campo gerado por um ímã, isso não significa que o campo da terra e de um ímã tem as mesmas origens. Na realidade as propriedades magnéticas dos materiais não são permanentes para temperaturas acima do ponto de Curie, e pelo conhecimento da propagação das ondas sísmicas originárias de terremotos, sabe-se que o núcleo externo da Terra é líquido, apresentando, portanto, os seus materiais (exemplo: Ferro e Níquel) temperaturas superiores aos correspondentes pontos de Curie.

A explicação atualmente mais plausível para compreender-se como é gerado o campo magnético, é a Teoria do Dínamo [4]. O movimento do fluido bom condutor (principalmente ferro em estado líquido) no núcleo externo, provocado pela rotação da

Terra e pelas correntes de convecção, gera correntes elétricas e por consequência um campo magnético.

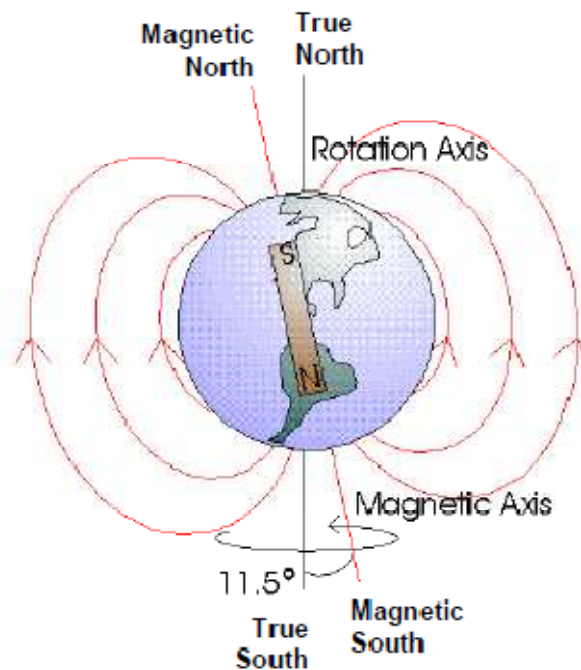


Figura 2 – Eixo de rotação e eixo magnético terrestre [2]

A intensidade do campo magnético da terra varia de 20 a 50 A/m. Fazendo analogia com um ímã de barra as linhas do campo magnético vão do norte magnético (sul geográfico) para o sul magnético (norte geográfico).

As linhas de campo magnético são perpendiculares nos pólos e paralelas na altura do equador a superfície terrestre. No pólo norte geográfico as linhas apontam para baixo enquanto que no sul geográfico as linhas de campo apontam para cima.

2.2. Efeito Hall x Magneto-Resistivo (MR)

Os sensores Hall e magneto-resistivos podem encontrar diferentes aplicações, porém há algumas de suas características que são muito destoantes.

O sensor magneto-resistivo consiste num resistor ou numa ponte resistiva em que a resistência varia com a aplicação de um campo magnético de determinada orientação.

Por outro lado, o sensor de Efeito Hall gera uma pequena tensão conforme a direção do campo magnético aplicado. O arranjo dos elementos no sensor determina tanto a sensibilidade do dispositivo quanto a orientação do campo que deve ser aplicado.

Veja que no caso do sensor Hall é possível identificar a orientação do campo, pois a polaridade da tensão gerada depende dela.

As principais diferenças entre os dois tipos de sensores são:

Sensor Magneto-Resistivo

- * Alta sensibilidade e baixo nível de ruído.
- * Pode operar a uma distância relativamente grande do ímã.
- * Ângulo de medida até 180°.
- * Sofre a influência de campos externos parasitas.

Sensor Hall

- * Tem boa sensibilidade, pois normalmente usa amplificador interno.
- * Opera bem apenas muito próximo do ímã.
- * Ângulo de medida até 360°.
- * Pode sofrer perturbações de campos parasitas bipolares.

2.3. Efeito magneto-resistivo

O que se denomina de magneto-resistência ocorre em determinados materiais ferrosos, podendo ser utilizada na fabricação de sensores. Se tomarmos uma tira desses materiais, conforme mostra a Figura 3, e aplicarmos um campo magnético perpendicular à circulação da corrente surge uma força que atua sobre os portadores de carga desviando-os de sua trajetória.

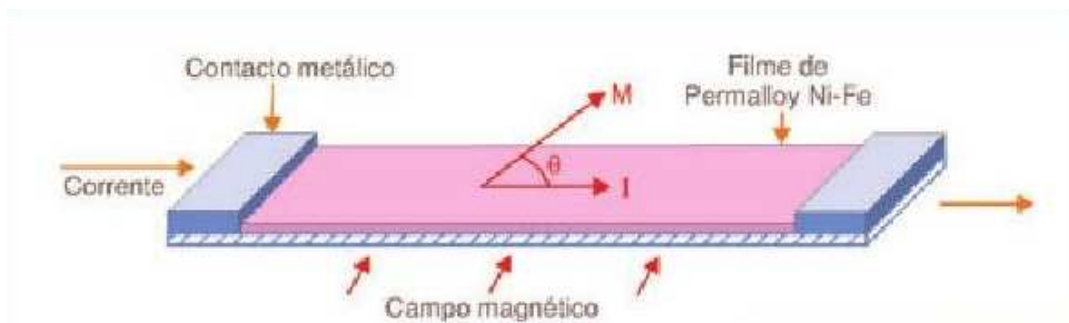


Figura 3 - Efeito AMR aplicado em um elemento sensor [5]

O resultado é uma alteração da mobilidade dos portadores de carga que se reflete na resistência do material. Desta forma, a resistência apresentada depende diretamente da ação do campo magnético externo. Veja que esta ação é maior quando o campo atua perpendicularmente ao elemento sensor.

Uma alternativa para se obter sensores sensíveis e eficientes consiste em se montar seus elementos de modo a formar uma ponte. Assim, em uma construção típica, quatro elementos sensores são orientados de modo a formar um losango e ligados em ponte, conforme mostra a Figura 4.

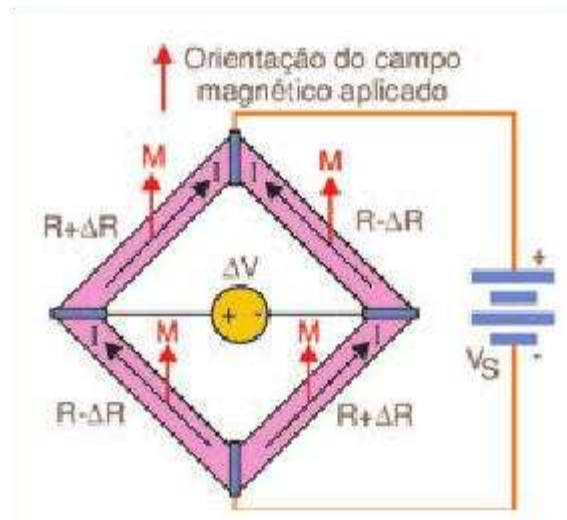


Figura 4 - Construção de um elemento sensor com elementos AMR em ponte [5]

Como em uma ponte de Wheatstone, se os elementos estiverem com suas resistências apresentando determinado valor, haverá o equilíbrio e a saída será uma tensão nula. No entanto, um campo externo pode desequilibrar a ponte que fornecerá um sinal de saída proporcional à sua intensidade e também à tensão aplicada.

As curvas de sensibilidade de um sensor deste tipo são importantes, pois delas dependerá a sua utilização em um projeto. Estes sensores possuem setores em que a saída é linear em relação à intensidade do campo, porém existem os extremos em que ocorre a saturação.

Isso significa que o modo como os sensores são trabalhados é diferente nas aplicações em que mede a intensidade de um campo e as aplicações em que se detecta um campo.

Outro ponto importante a ser considerado é a orientação do campo magnético que deve ser detectado. Conforme vimos, a maior sensibilidade ocorre quando as linhas deste campo são perpendiculares à direção em que a corrente circula.

O efeito AMR é usado em uma ampla variedade de bússolas eletrônicas, em medidores de corrente (pelo campo gerado em torno do condutor), em detectores de tráfego de veículos e em sensores de posição linear e rotacional. Os maiores fabricantes de transdutores com esse tipo de sensor são: Honeywell, NXP e Sensitec.

2.4. Os blocos da bússola eletrônica

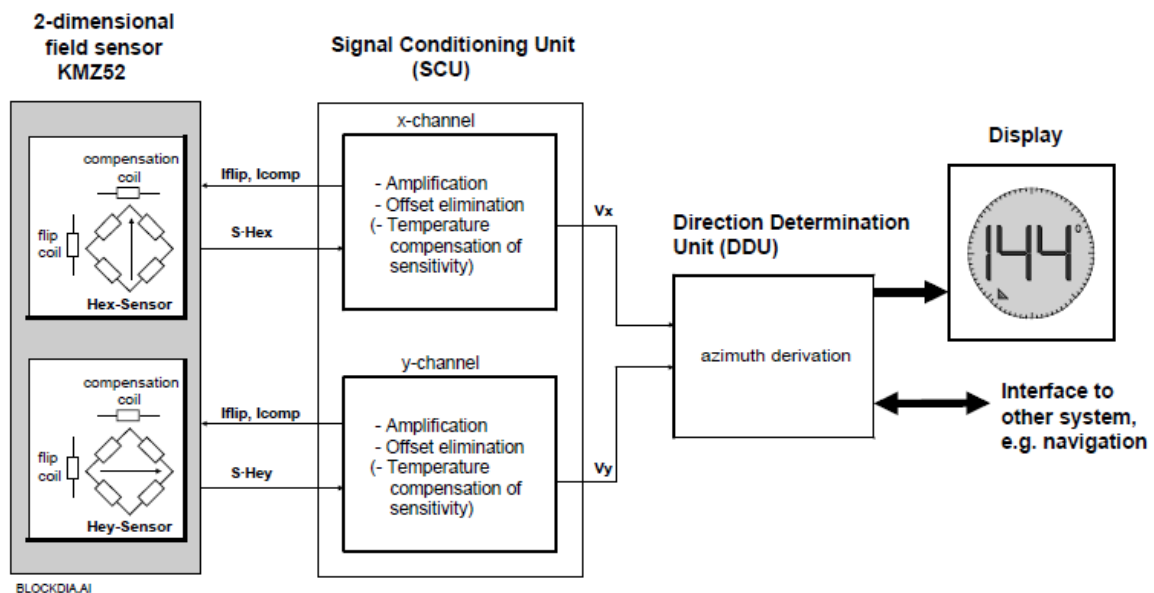


Figura 5 - Diagrama de blocos de uma bússola digital [2]

A Figura 5 mostra o diagrama funcional de uma bússola eletrônica. É uma ilustração didática do mínimo de dispositivos necessários para uma bússola digital. Todos os blocos funcionais exceto o sensor de campo podem ser implementados via *software* ou via *hardware*.

O bloco mais à esquerda é o sensor magneto-resistivo, essa tecnologia é otimizada para medir campos magnéticos muito fracos. O KMZ52 é perfeito para uma aplicação de bússola, pois é capaz de captar dois eixos magnéticos. Nesse projeto foram usados dois sensores de campo (KMZ51) presente no módulo de bússola CMPS03.

Qualquer um desses modelos possui internamente uma bobina de *reset* e eliminação de *offset* e outra bobina para compensação de temperatura.

O próximo bloco funcional (à direita) é o de condicionamento de sinal (SCU- *Signal conditioning unit*). Esse bloco tem como propósito entregar saídas de tensões

proporcionais ao campo nas suas direções X e Y (H_{ex} e H_{ey}). O sinal do sensor deve ser amplificado e o *offset* retirado.

O SCU é a parte do projeto que mais influencia na precisão da bússola, portanto é uma parte importante do projeto. O módulo CMPS03 integra a etapa de condicionamento dos sinais.

O bloco de determinação da direção (*direction determination unit* - DDU) é o responsável pela operação matemática que entrega o ângulo equivalente em um número hexa de 8 bits.

O interfaceamento com o *display* vai ser construído nesse projeto de diversas formas. A interface poderá ser via LCD, via LED ou mesmo via PC.

2.5. O elemento sensor Magnetoresistivo

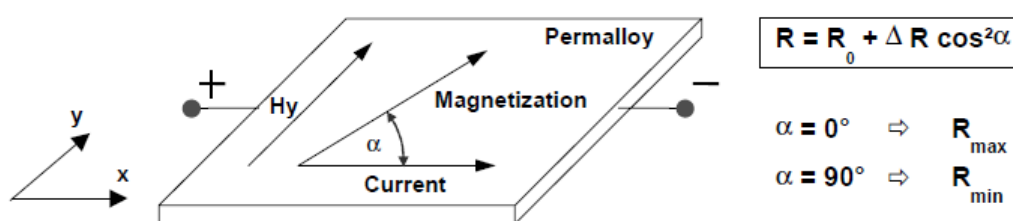


Figura 6 - Tira de elemento sensor Permaloi [2]

O sensor magneto-resitivo usa o efeito da magneto-resistência que muda sua resistência conforme o campo magnético externo.

Uma tira de material ferromagnético chamado permaloi (19% Fe e 81%Ni) é usada no processo.

Na deposição da tira de Permaloi um campo magnético externo é aplicado paralelamente ao eixo da tira. Dessa forma uma direção de magnetização preferencial deve ser escolhida. Na ausência de qualquer campo externo a magnetização está de acordo com o campo aplicado inicialmente. Na Figura 6 esse eixo é o X que também é o eixo do fluxo de corrente.

O sensor MR usa dois princípios:

+ A resistência da tira depende do ângulo α entre a direção da corrente e a direção de magnetização.

+ A direção de magnetização e, portanto, α podem ser influenciados por um campo magnético externo H_y . H_y é paralelo ao plano da tira de permaloi e perpendicular a direção de referência.

Quando nenhum campo magnético externo está presente o permaloi tem o vetor de magnetização interno paralelo à direção de referência, ou seja, α é 0. Nesse caso a resistência R tem seu maior valor (R_{max}). Porém se um campo magnético externo H_y for aplicado então o vetor de magnetização do permaloi rotacionará de um ângulo de α .

Se esse ângulo for de 90 graus a resistência atinge seu mínimo valor.

A Equação 1 relaciona R e α :

$$R = R_0 + \Delta R \cdot (\cos \alpha)^2$$

Equação 1

Onde $R_0 = R_{min}$ and $\Delta R = (R_{max} - R_{min})$.

A Equação 2 relaciona a resistência da liga com o campo magnético.

$$R = R_0 + \Delta R \cdot \left(1 - \left(\frac{H_y}{H_0}\right)^2\right)$$

Equação 2

H_0 depende do material e da geometria

Essa equação é definida para $H_y < H_0$.

Se $H_y > H_0$ então R se iguala a R_0 . R_0 e ΔR são parâmetros do material. No permaloi ΔR esta entre 2 a 3 % de R_0 .

2.6. CMPS03 Bússola Magnética - Especificações

O módulo da bússola possui algumas características que devem ser salientadas, como, por exemplo, as formas de comunicação disponíveis no módulo:

+Modo PWM – a saída é no pino 4 com a largura da onda quadrada variando de 1mS até 37 mS.

+Modo I2C – a saída no pino 2 e 3

Outras características referentes ao módulo CMPS03 são:

Tensão: 5v

corrente: 20 mA

Resolução: 0,1 graus

exatidão: 3-4 graus

Output 1 – pulso de tempo de 1mS até 37 mS com incrementos de 0,1 mS

Output 2 – I2C interface, 0-255 e 0 3599SCL de até 1Mhz

Tamanho: 32 mm x 35 mm

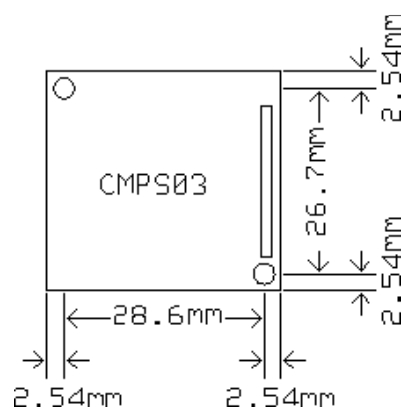


Figura 7 - Dimensões do módulo CMPS03 [6]

2.7. Módulo CMPS03 Magnetic Compass

O módulo CMPS03 foi adotado devido a sua praticidade ao incorporar os 2 sensores magneto-resistivos necessários para captar o campo magnético terrestre. No tópico “Efeito Hall x Magneto-Resistivo (MR)” temos uma comparação entre os sensores.

A saída dos sensores montados perpendicularmente é usada para calcular a direção da componente horizontal do campo magnético terrestre.

Tabela 1 - Registradores da bússola digital [6]

Register	Function
0	Software Revision Number
1	Compass Bearing as a byte, i.e. 0-255 for a full circle
2,3	Compass Bearing as a word, i.e. 0-3599 for a full circle, representing 0-359.9 degrees.
4,5	Internal Test - Sensor1 difference signal - 16 bit signed word
6,7	Internal Test - Sensor2 difference signal - 16 bit signed word
8,9	Internal Test - Calibration value 1 - 16 bit signed word
10,11	Internal Test - Calibration value 2 - 16 bit signed word
12	Unused - Read as Zero
13	Unused - Read as Zero
14	Unused - Read as Undefined
15	Calibrate Command - Write 255 to perform calibration step. See text.

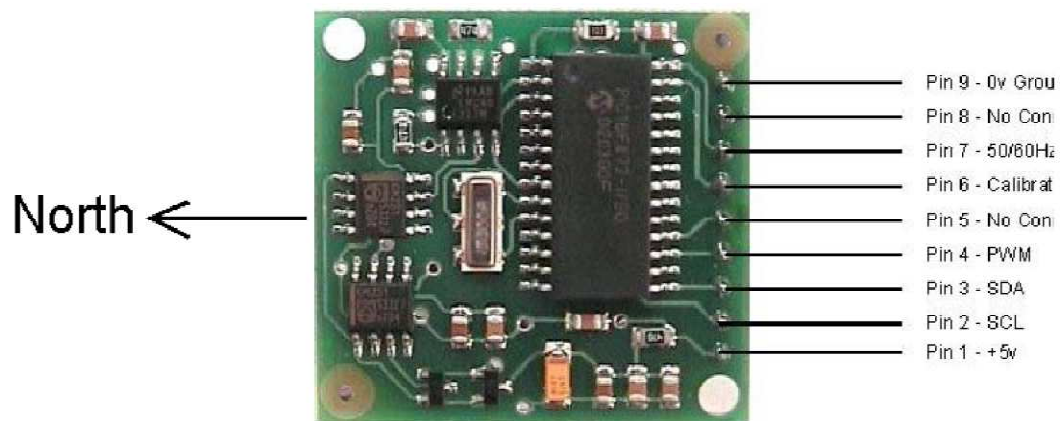


Figura 8 - Foto do módulo CMP03 e sua pinagem [6]

3. Materiais e Métodos

3.1. Philips KMZ51 magnetic field sensor

O módulo utilizado para o desenvolvimento da bússola foi o CMPS03. Esse módulo é desenvolvido com foco na localização de robôs e veículos. Esse elemento é composto por dois sensores de campo magnético (KMZ51) dispostos perpendicularmente. O sensor é de baixo custo, o preço médio cotado para um sensor KMZ51 é de € 4,80 (23/10/2009). Uma alternativa mais moderna e que ocuparia menos espaço seria usar o sensor KMZ52, este possui embutido dois sensores KMZ51 já posicionados corretamente. Em resumo, KMZ51 é um sensor de campo magnético de um eixo e o KMZ52 é um sensor de dois eixos. Além dos sensores é necessária a etapa de condicionamento de sinal e a determinação da direção para construir a bússola. O módulo CMPS03 integra essas etapas.

Esse sensor pode ser empregado, para se medir a intensidade do campo na superfície da Terra que varia de menos de 30 microteslas (0,3 gauss), numa área que inclui a maioria da América do Sul e África Meridional, até superior a 60 microteslas (0,6 gauss) ao redor dos pólos magnéticos no norte do Canadá e sul da Austrália, e em parte da Sibéria.

Sensores normalmente usado em bússola medem até ± 2 gauss. O que é suficiente para medir o campo terrestre.

Tabela 2 - Conversão de unidades

CHARACTERISTIC	MEASURED IN English and SI	RELATIONSHIPS
Magnetic Induction (B)	Tesla (T) or milliTesla (mT) Gauss (G) or kiloGauss (kG)	$G = 10000 \cdot T$ $kG = 10 \cdot T$ $T = G / 10000$ $T = kG / 10$ $mT = G / 10$
Magnetic Field Strength (H)	Oersteds (Oe) kiloOersteds (kOe) amperes per meter (A/m) kiloamperes per meter (kA/m)	$Oe = 12.5663706 \cdot kA/m$ $kA/m = 0.079577472 \cdot Oe$ $kA/m = 79.577472 \cdot kOe$

Tabela 3 - Características do sensor

	KMZ51	KMZ52	UNIT
1- or 2-dimensional sensor	1-dim.	2-dim.	-
Package	SO 8	SO 16	-
recommended supply voltage	5	5	V
typ. sensitivity	16	16	$(mV/V) / (kA/m)^{-1}$
offset voltage	-1.5 ... 1.5	-1.5 ... 1.5	mV/V^{-2}
Applicable field range	-0.2 ... 0.2	-0.2 ... 0.2	kA/m
Integrated set/reset coils for flipping	yes	yes	-
Integrated compensation coils	yes	yes	-

1 Thus, the sensor delivers 16mV per V supply voltage and per kA/m field strength.

2 Thus, the maximum offset voltage is $\pm 1.5mV$ per V supply voltage.

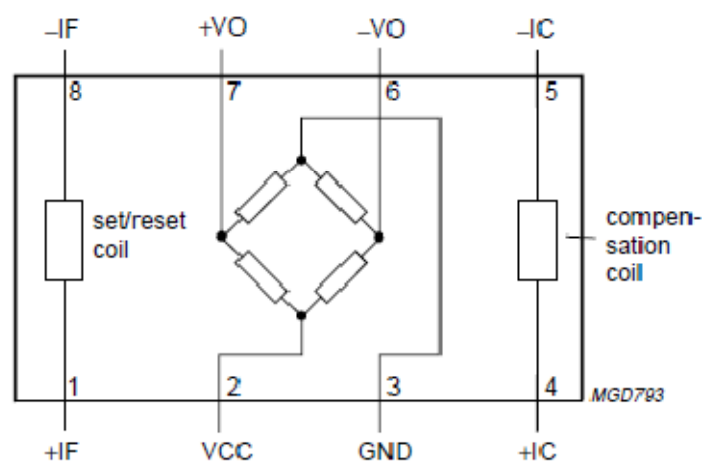


Figura 9 – Representação do CHIP com o sensor magnetoresistivo e sua disposição em ponte de Wheatstone [2]

3.2. PIC16F87XA

O PIC foi escolhido para o processamento dos dados devido a existência de um gravador para a realização dos testes do projeto. A facilidade de encontrar o componente e o extenso material disponível na rede também foi importante para a escolha deste microcontrolador.

O modelo escolhido foi o 16F877a devido a necessidade de comunicação I2C, SPI e serial. Além disso, o grande numero de portas de entrada e saídas do PIC facilita a conexão dos botões usados para interagir com o usuário.

O modelo 16F877a também foi escolhido devido a possibilidade de adaptar o projeto para o PIC18F4550. Essa adaptação foi pensada para realizar a comunicação USB com o PC. O 16F877a não pode realizar essa comunicação USB . A portabilidade do projeto foi levada em consideração ao escolher o microcontrolador.

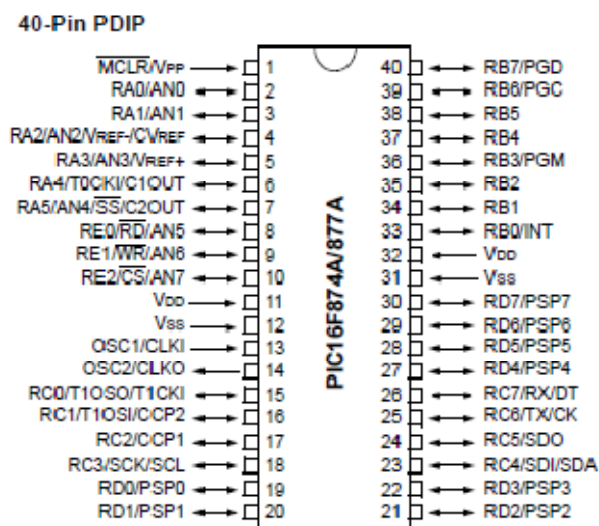


Figura 10 - Pinagem do PIC16F877a [7]

3.3.MCP23S17

Devido a necessidade de se colocar LEDS para a indicação da direção norte houve falta de portas de saída no PIC 16F877a. A solução para isso foi a implementação de 2 expansores de entrada/saída. Dessa forma cada I/O *expander* (MCP 23S17) poderia conceder 16 saída para *LEDS*. Temos, portanto 32 *LEDS* para indicar a direção da bússola. A escolha desse componente levou em consideração o preço, a velocidade e a versatilidade do componente. O preço foi de 5 Reais cada componente. Esse valor não é barato mas também não torna o projeto proibitivo.

Quanto a velocidade do componente tínhamos a escolha do protocolo I2C e do SPI. O modelo I2C (MCP 23017) pode chegar a 1,7 MHz já o modelo SPI chega a 10MHz. Devido a necessidade de uma taxa de atualização rápida nos 32 LEDS foi escolhido a opção SPI(MCP 23S17). Quanto a versatilidade do IO *expander* foi considerada a possibilidade da criação de elementos de entrada como botões no expansor. Dessa forma em projetos futuros pode-se fazer adaptações e usar o MCP 23S17 como entrada de um conjunto de botões. IO *expander* também possui saídas de interrupção que podem ser ligadas ao controlador. Por exemplo, um botão do IO *expander* poderia gerar uma interrupção no PIC. Portanto esse dispositivo é muito versátil. Um demux padrão não oferece todos esses recursos.

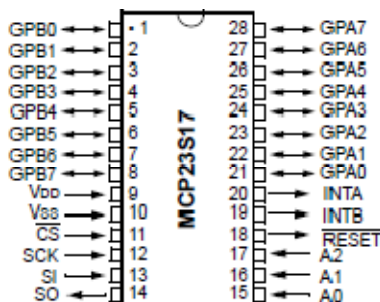


Figura 11 - Io Expander e sua pinagem [8]

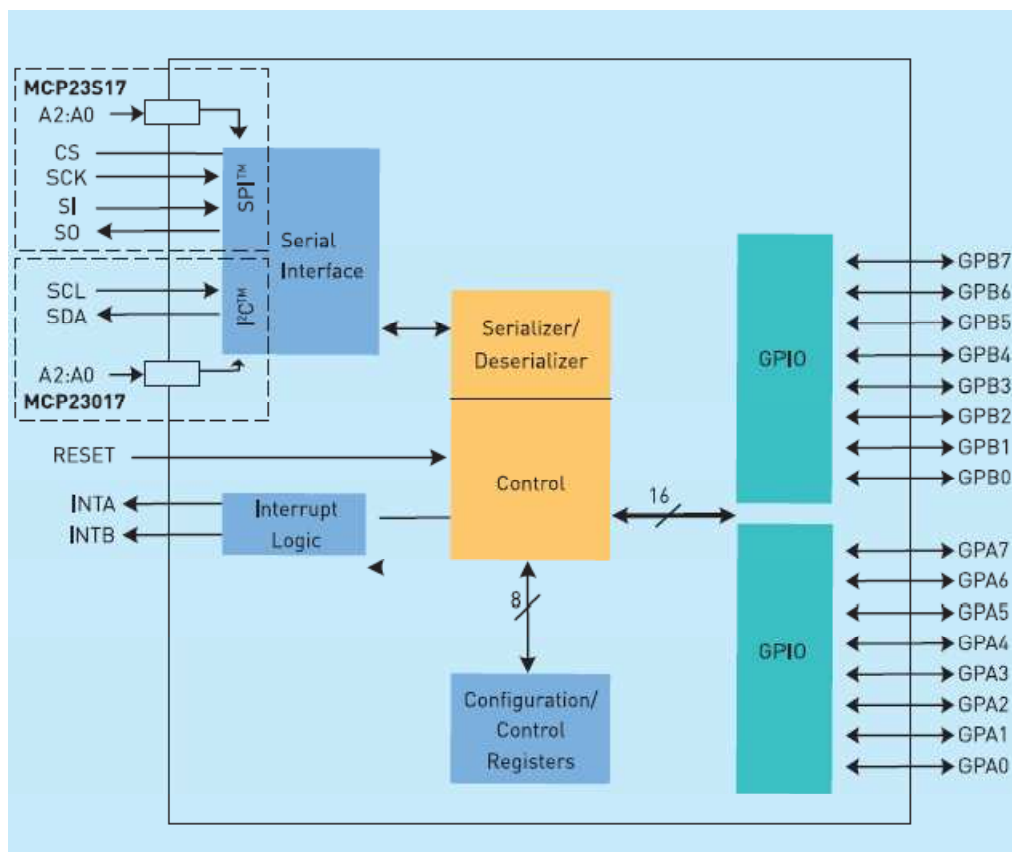


Figura 12 - Diagrama de blocos do IO expander e suas entradas e saídas [8]

3.4. TECH1602B

A escolha do LCD foi baseada no preço e na experiência anterior com modelos compatíveis com o *chip* controlador HD44780. Dessa forma foi escolhido o *display* TECH1602B que possui 16 colunas com 2 linhas.

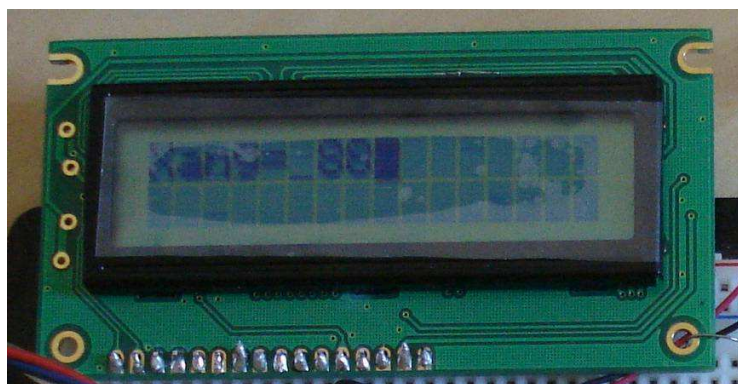


Figura 13 - Display de LCD

4. Resultados

Para a conclusão da monografia várias montagens em *protoboard* foram efetuadas. Na Figura 14 a foto ilustra um estágio inicial da bússola onde vemos o LCD, o módulo da bússola e o PIC16F877A. Na Figura 15 é acrescentado dois expansores de IO que permitiram o acendimento dos 32 LEDs.

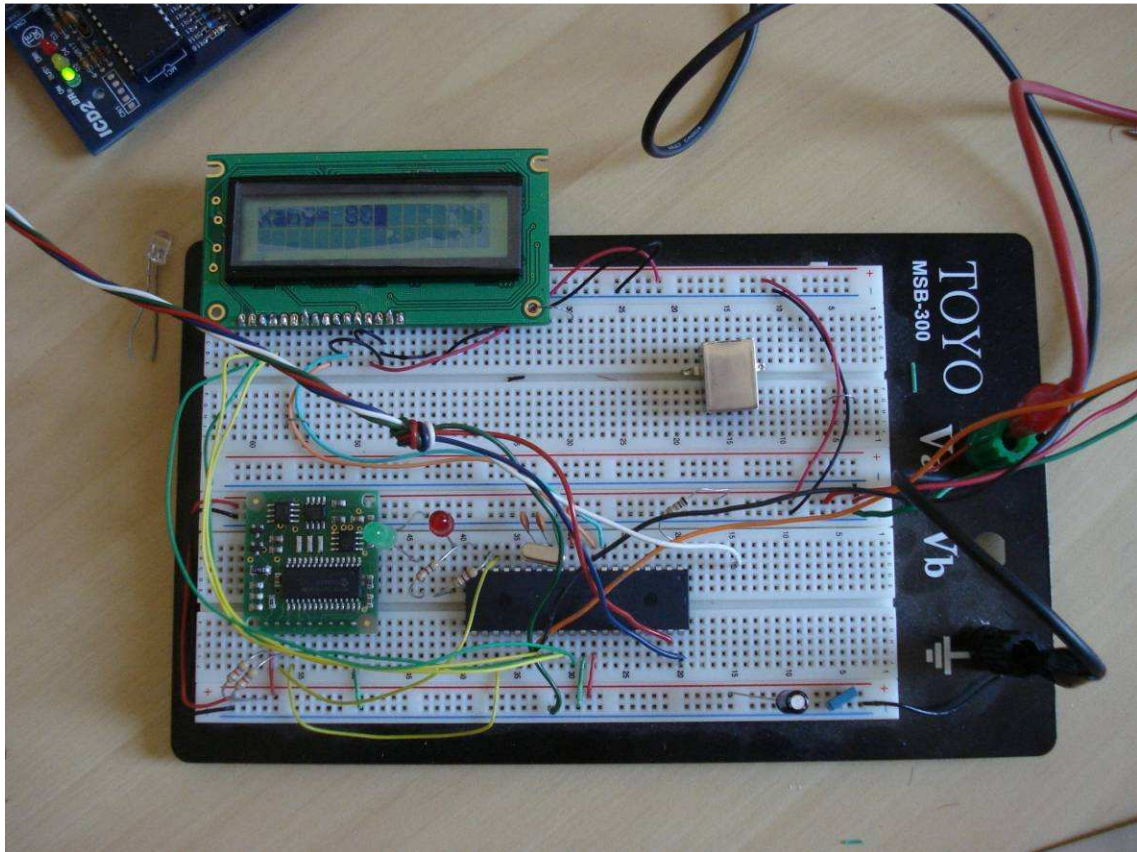


Figura 14 - Montagem da *Protoboard* com o LCD,a bússola e o PIC

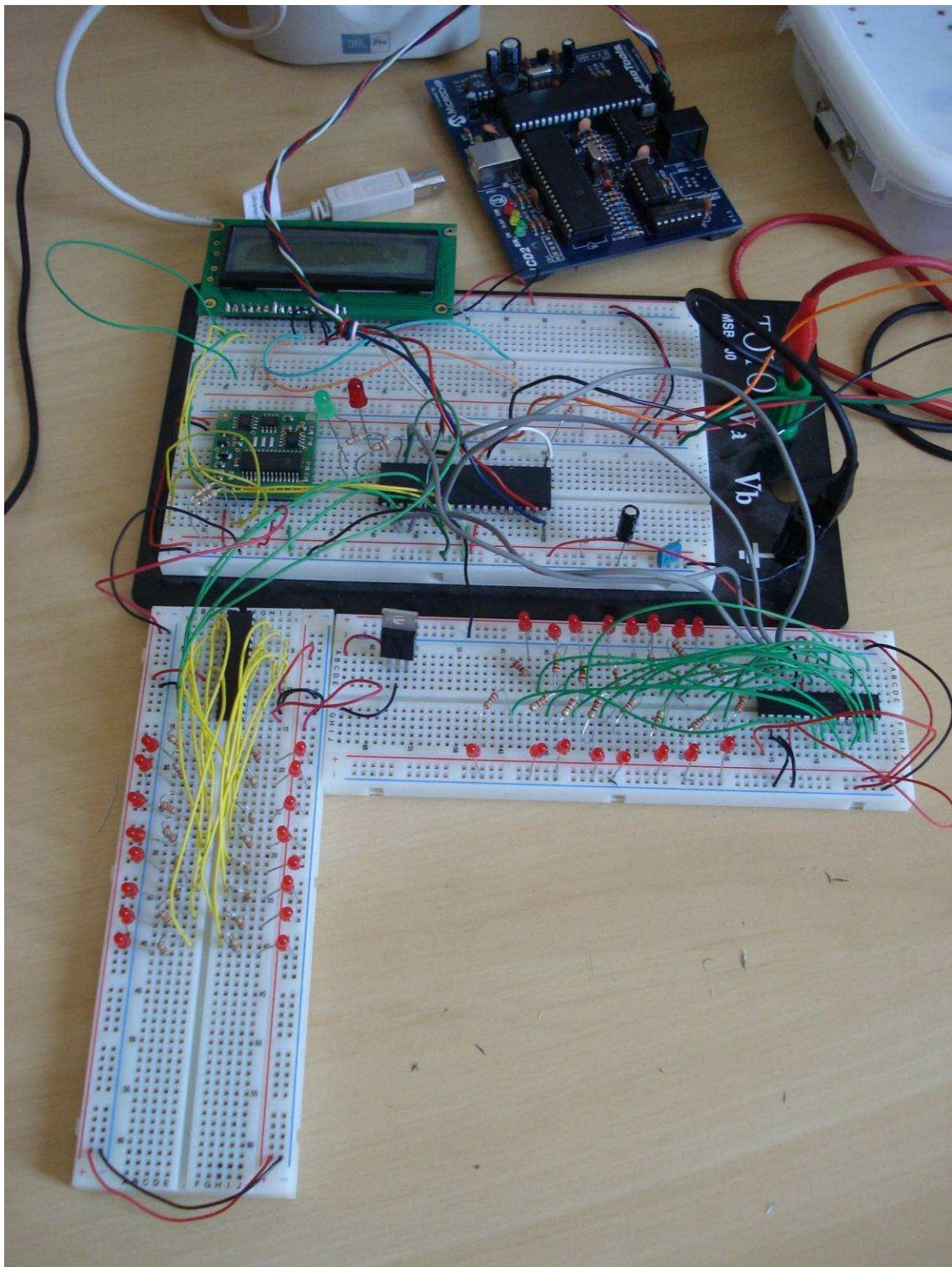


Figura 15 - Montagem da *Protoboard* com o LCD, a bússola, o PIC e os IO expanders ligados aos LEDs

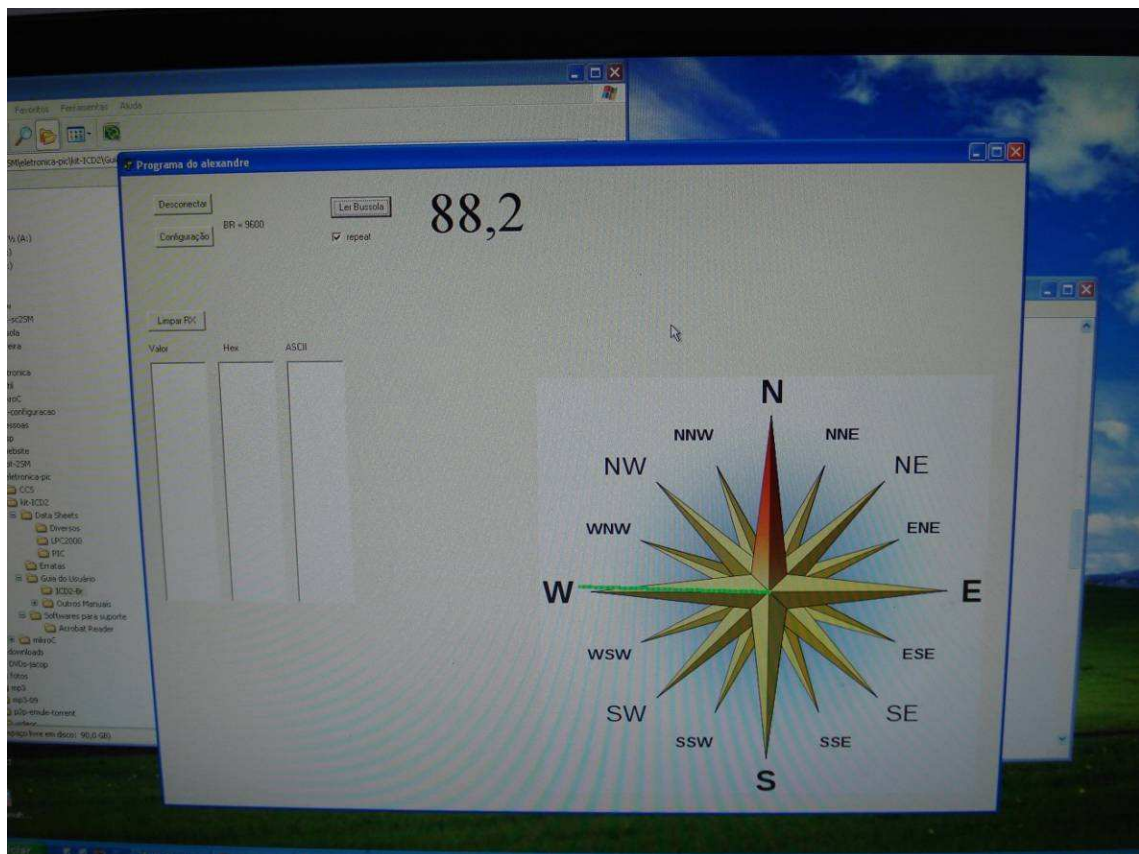


Figura 16 - Bússola no modo PC se comunicando serialmente com programa no Windows

A Figura 16 ilustra o programa desenvolvido no *software* Delphi (Linguagem Pascal) que recebe as coordenadas da bússola e gera um gráfico correspondente a direção para onde a bússola está apontada. A rosa dos ventos representa as direções da bússola e a linha verde (que na figura aponta para oeste) representa a agulha da bússola. No entanto, na versão virtual da bússola, a agulha mostra para onde você está apontando e não o norte como ocorreria em uma bússola convencional. Pode-se ver mais precisamente o valor do ângulo em relação ao norte. Na Figura 16 vemos 88,2, isso quer dizer que a bússola está virada de 88,2 graus em relação ao norte.

4.1. DataLogger

Para a execução do modo *Mapping* foi utilizado uma interface entre o microcontrolador e o *pendrive* que armazena as informações das coordenadas geográficas obtidas na bússola.

O dispositivo usado para essa interface é o Armazenamento de dados – PenBS da Tato. Esse componente pode se comunicar com o controlador via Serial Uart ou Spi. Pela Uart a velocidade pode atingir 3MBps.

No projeto da bússola foi necessário utilizar uma rotina para criar uma comunicação serial extra visto que a comunicação serial via *hardware* já foi usada para comunicar o PIC com o PC. As portas E0 e E1 foram configuradas como Tx e Rx para efetuar essa comunicação com o *pendrive*.



Figura 17 - PenBS da Tato [9]

4.2. Recursos disponíveis na bússola digital

1. MENU

1.1. MODO

1.1.1. BUSSOLA

1.1.2. TRAKING

1.1.3. MAPPING

1.1.4. PC

1.1.5. TESTE

1.2. CONFIGURAÇÃO

1.2.1. DISPLAY

1.2.1.1. FAIXA [0 +-180]

1.2.1.2. FAIXA [0 360]

1.2.2. TOLERÂNCIA

1.2.2.1. LIMITE = 5°

1.2.2.2. LIMITE = 10°

1.2.2.3. LIMITE = 15°

Descrição dos Modos

Modo Bússola:

As coordenadas concedidas pelo módulo dos sensores magneto-resistivos são escritas no LCD. Ao mesmo tempo um LED correspondente ao norte é aceso.

Modo *Tracking*:

Primeiramente é configurada a tolerância da bússola no menu configuração/tolerância. Após isso, o usuário posiciona a bússola na direção que pretende seguir. Então o usuário entra no modo *Tracking* e aperta o botão "OK". Desse modo caso o usuário desvie mais do que a tolerância definida para algum lado será disparado um alarme e indicado no LCD a direção para o usuário entrar no rumo correto (dentro da tolerância) novamente. Exemplo: tendo-se definido 10 graus de tolerância e posicionado a bússola no norte podemos ter um erro de 10 graus ao redor do norte para caminhar sem o alarme do *buzzer* disparar. Ou seja pode-se caminhar entre 10 graus e 350 que está-se na direção correta dentro da tolerância de 10 graus.

Modo Mapping

Esse modo permite ao usuário traçar um mapa e armazenar esse mapa no *pendrive* para uma possível visualização futura no PC.

Modo PC:

Esse modo realiza a interface entre o *hardware* da bússola e o PC. É preciso ligar o cabo serial na porta serial da bússola e a seguir poderá ver a agulha da bússola se movimentar na tela do computador a medida que rodamos a bússola digital. Uma rosa dos ventos com a agulha virtual indica a direção apontada.

Modo Teste:

Esse modo foi feito para realizar o *debug* do *hardware* da bússola de modo a verificar se todos os componentes estão funcionando corretamente. Todos os *LEDS* devem acender um a um. O LCD deve dar a mensagem de boas vindas e o buzzer deve apitar.

Modo configuração – Display

Esse modo deixa o usuário escolher se as coordenadas serão indicadas de 0 até 360 ou de 0 até + 180 ou de 0 até -180. Após essa modificação de configuração deve ser possível ver os resultados indo-se ao modo bússola.

Modo configuração – Tolerância

Nessa opção podemos mudar a amplitude de tolerância do modo *Tracking*. Para mais detalhes rever “Modo *Tracking*”.

4.3. Software

Programa do PIC

As funções detalhadas abaixo têm importância fundamental para a bússola digital, então uma breve explicação de cada uma delas será dada:

A função Comanda LED é a responsável pelo acendimento dos LEDs nos IOexpanders. Essa função manda para o duto spi o endereço do IOexpander desejado e o numero correspondente ao IOportA e o IOportB.

Ex: quer-se acender completamente o primeiro IOexpander (end=0) deve-se usar a função :

Comanda_LED(0,255,255)

```
//função para comandar o acendimento dos LEDs.
void comanda_LED(int adr, int Parte_A, int Parte_B)
{
  adr = adr * 2; //desloca o endereço para dar lugar ao RW
  adr = adr & 0b01001110; //garante os bits 0 em 0
  adr = adr | 0b01000000; //garante os bits 1 em 1
  CS = 0;
  spi_write(adr); //manda o opcode referente ao CHIP
  spi_write(0x12); //posta para o endereço
  spi_write(Parte_A); //encaminha o estado para a parte A
  CS = 1;
  CS = 0;
  spi_write(adr);
  spi_write(0x13);
  spi_write(Parte_B); //encaminha o estado para a parte B
  CS = 1;
}
//-----
```

A função acionabússola é capaz de ler o registrador do módulo da bússola, converter esse valor de 8 bits (0-255) para 0-360.

O ângulo é comparado com o vetor intervalo[i]. A conta "q_led = q_led * 2;" será realizada até j>i ou j=i. O acendimento do LED será equivalente ao deslocamento para esquerda de um bit.

const

```
float intervalo[34]={0, 6, 17.5, 28.5, 39.5, 50.5, 61.5, 72.5, 84, 96, 107.5, 118.5, 129.5, 140.5,
151.5, 162.5, 174, 186, 197.5, 208.5, 219.5, 230.5, 241.5, 252.5, 264, 276, 287.5, 298.5, 309.5,
320.5, 331.5, 342.5, 354, 360};
```

Ex: Se o angReg é 10 graus estaremos entre o intervalo [1] e intervalo [2] executaremos "for (j=0;j<i;j++){ q_led = q_led * 2;" apenas uma vez resultando q_led = 2

```
void acionabussola()
{
    LED1 = 0; //sequencia de LEDS piscando indica entrada na rotina
    LED2 = 0;
    delay_ms(250);
    LED1 = 1;
    delay_ms(250);
    LED2 = 1;
    delay_ms(250);
    LED1 = 0;
    LED2 = 0;
    delay_ms(250);
    LED1 = 1;
    LED2 = 1;
    delay_ms(250);
    LED1 = 0;
    LED2 = 0;
    while(true){
        LED2 = 1;
        delay_ms(300);
        registrador1 = le_bussola_end(1); // guarda valor hex de 8 bits
        correspondente a direção no registrador1
        printf("registrador1 = %u \r\n", registrador1 );
        angREG=0;
        angREG= (((long) registrador1) *24 )/17; //Converte um valor hexa de
        0-255 para 0-360
        printf("-----angREG = %lu \r\n", angREG );

        delay_ms(300);
        lcd_escreve("\f");
        printf(lcd_escreve,"angulo= %lu \r\n", angREG );
        printf(lcd_escreve,"relacao ao norte");
        LED2 = 0;
        delay_ms(300);
        end = le_bussola_end(12);
        printf("endereco 0 = %u \r\n", end );
        q_led = 1;
        for (i=0;i<34;i++){ // rotina de acender LED correspondente ao
        angulo do angREG
        if((angREG>=intervalo[i])&&(angREG<intervalo[i+1])){
        if(i == 32){
            q_led = 1;
        } else {
            for (j=0;j<i;j++){
                q_led = q_led * 2;
            }
        }
        }
        A = q_led & 0x000000FF;
        q_led = q_led / 256;
        B = q_led & 0x000000FF;
        q_led = q_led / 256;
        C = q_led & 0x000000FF;
        q_led = q_led / 256;
        D = q_led & 0x000000FF;
```

```

comanda_LED(0,A,B); // aciona LEDS do IOexpander de endereço 0
comanda_LED(1,C,D); // aciona LEDS do IOexpander de endereço 1
}
}

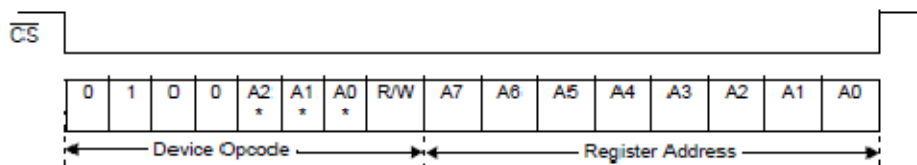
```

4.4. Configuração dos IO Expander via SPI

A função explicitada abaixo é responsável pela configuração dos IO expanders que serão responsáveis pelo acendimento dos 32 LEDS.

Tabela 4 - Registradores do IO expander [8]

Register Name	Address (hex)	bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0	POR/RST value
IODIRA	00	IO7	IO6	IO5	IO4	IO3	IO2	IO1	IO0	1111 1111
IODIRB	01	IO7	IO6	IO5	IO4	IO3	IO2	IO1	IO0	1111 1111
IPOLA	02	IP7	IP6	IP5	IP4	IP3	IP2	IP1	IP0	0000 0000
IPOLB	03	IP7	IP6	IP5	IP4	IP3	IP2	IP1	IP0	0000 0000
GPINTENA	04	GPINT7	GPINT6	GPINT5	GPINT4	GPINT3	GPINT2	GPINT1	GPINT0	0000 0000
GPINTENB	05	GPINT7	GPINT6	GPINT5	GPINT4	GPINT3	GPINT2	GPINT1	GPINT0	0000 0000
DEFVALA	06	DEF7	DEF6	DEF5	DEF4	DEF3	DEF2	DEF1	DEF0	0000 0000
DEFVALB	07	DEF7	DEF6	DEF5	DEF4	DEF3	DEF2	DEF1	DEF0	0000 0000
INTCONA	08	IOC7	IOC6	IOC5	IOC4	IOC3	IOC2	IOC1	IOC0	0000 0000
INTCONB	09	IOC7	IOC6	IOC5	IOC4	IOC3	IOC2	IOC1	IOC0	0000 0000
IOCON	0A	BANK	MIRROR	SEQOP	DISSLW	HAEN	ODR	INTPOL	—	0000 0000
IOCON	0B	BANK	MIRROR	SEQOP	DISSLW	HAEN	ODR	INTPOL	—	0000 0000
GPPUA	0C	PU7	PU6	PU5	PU4	PU3	PU2	PU1	PU0	0000 0000
GPPUB	0D	PU7	PU6	PU5	PU4	PU3	PU2	PU1	PU0	0000 0000
INTFA	0E	INT7	INT6	INT5	INT4	INT3	INT2	INT1	INT0	0000 0000
INTFB	0F	INT7	INT6	INT5	INT4	INT3	INT2	INT1	INT0	0000 0000
INTCAPA	10	ICP7	ICP6	ICP5	ICP4	ICP3	ICP2	ICP1	ICP0	0000 0000
INTCAPB	11	ICP7	ICP6	ICP5	ICP4	ICP3	ICP2	ICP1	ICP0	0000 0000
GPIOA	12	GP7	GP6	GP5	GP4	GP3	GP2	GP1	GP0	0000 0000
GPIOB	13	GP7	GP6	GP5	GP4	GP3	GP2	GP1	GP0	0000 0000
OLATA	14	OL7	OL6	OL5	OL4	OL3	OL2	OL1	OL0	0000 0000
OLATB	15	OL7	OL6	OL5	OL4	OL3	OL2	OL1	OL0	0000 0000



* Address pins are enabled/disabled via IOCON.HAEN.

Figura 18 - Configuração do IO expander [8]

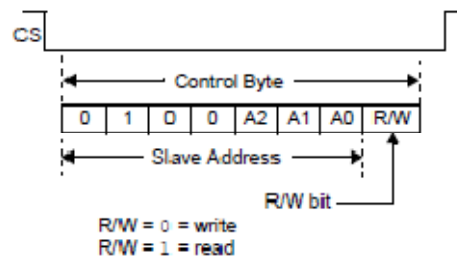


Figura 19 - Byte de controle [8]

Primeiramente, manda-se um *opcode* com o *spi control byte* 0b01000000 como vemos na linha (`"spi_write(0b01000000); // manda opcode #explicação1#"`). Esse *byte* é da seguinte forma 0100+A2+A1+A0+R/W onde o *bits* Ax é o endereço físico do IO *expander* nesse caso 000. Isso é definido fisicamente nos pinos do CI. Como queremos escrever nos registradores o R/W fica em 0. O *byte* completo é 0b01000000(`"spi_write(0b01000000); // manda opcode ) (ver #explicação1#"`).

O segundo *byte* é de endereço 0A (`"spi_write(0x0A);"`) esse endereço como vemos na tabela corresponde ao IOCON esse registrador configura o IO *expander* o dado mandado para esse endereço é 0b00001000 (`"spi_write(0b00001000); //IOCON.HAEN=1"`) isto indica que só o bit HAEN será 1. *Hardware Address Enable* (HAEN) indica que o endereçamento do IO *expander* será via *hardware*. No caso da bússola temos 2 IO *expander* um endereçado em 000 eo segundo endereçado em 001.

A operação acima é realizada novamente, mudando-se só o endereço 0A para 0B dessa; forma podemos configurar o PortB de saídas. Relembrando, temos dois Ports de IO o PortA e o PortB.

A seguir vamos definir como as portas serão usadas. Na linha (`"spi_write(0b01000000);// opcode #explicação 2#"`) mandamos o comando para o IO*expander* seguido do endereço na linha (`"spi_write(0x00); // endereço IODIRA"`). Para esse endereço madamos o dados 00 significando que os pinos serão saídas para acender os *LEDS*(`"spi_write(0x00); //todos do porto A"`).

```
//-----configura BÚSSOLA-----
void configurabussola()
{
```

```

// caso A configura os expandores de io para suportarem o modo endereçado (bit
IOCON.HAEN=1
do registrador IOCON ) . chip de cabo verde fica
//endereço 000 (A2,A1,A0) e chip cabo amarelo fica 001
lcd_escreve("apertou A \r\n");
LED1 = 1;
LED2 = 1;
delay_ms(500);
LED1 = 0;
LED2 = 0;
lcd_escreve("opcao a");
printf("\r\n rotina de configuração IOCON.HAEN!!!\r\n");
CS = 0;
spi_write(0b01000000); // manda opcode #explicação1#
spi_write(0x0A); //configura endereço IOCON.HAEN
spi_write(0b00001000); //IOCON.HAEN=1
CS = 1;
printf("\r\n rotina de configuração IOCON.HAEN!!!\r\n");
CS = 0;
spi_write(0b01000000); // manda opcode
spi_write(0x0B); //configura endereço IOCON.HAEN
spi_write(0b00001000); //IOCON.HAEN=1
CS = 1;
lcd_escreve("apertou B \r\n");
printf("\r\n rotina de configuração chip verde!\r\n");
CS = 0;
spi_write(0b01000000); // opcode #explicação 2# |0|1|0|0|A2|A1|A0|
R/W |
//      <slave address>   write=0
spi_write(0x00); // endereço IODIRA
spi_write(0x00); //todos do porto A como saída
CS = 1;
CS = 0;
spi_write(0b01000000); // opcode 0100 (fabricante definiu) 000 (endereço
chip) 0 = write
spi_write(0x01); // endereço IODIRB

```

```

spi_write(0x00); //todos do porto B como saída
CS = 1;
printf("\r\n rotina de configuração inicial!!!\r\n");
CS = 0;
spi_write(0b01000010); // opcode |0|1|0|0|A2|A1|A0|  RW |
//      <slave address>   write=0
spi_write(0x00); // endereço IODIRA
spi_write(0x00); //todos do porto A como saída
CS = 1;
CS = 0;
spi_write(0b01000010); // opcode 0100 (fabricante definiu) 001
(endereço chip) 0 = write
spi_write(0x01); // endereço IODIRB
spi_write(0x00); //todos do porto B como saída
CS = 1;

```

4.5. Como ler a bússola

A função para a leitura do registrador que armazena as coordenadas da bússola é dada a seguir. Abaixo vemos os registradores de controle do módulo da bússola.

Tabela 5 - Registradores da bússola [6]

Register	Function
0	Software Revision Number
1	Compass Bearing as a byte, i.e. 0-255 for a full circle
2,3	Compass Bearing as a word, i.e. 0-3599 for a full circle, representing 0-359.9 degrees.
4,5	Internal Test - Sensor1 difference signal - 16 bit signed word
6,7	Internal Test - Sensor2 difference signal - 16 bit signed word
8,9	Internal Test - Calibration value 1 - 16 bit signed word
10,11	Internal Test - Calibration value 2 - 16 bit signed word
12	Unused - Read as Zero
13	Unused - Read as Zero
14	Calibration Done Flag - Zero in calibrate mode when un-calibrated, 255 otherwise - unused in Rev 7 software & CMPS03
15	Calibrate Command - Write 255 to enter calibrate mode, write zero to exit. See text.

Primeiramente é feita uma leitura do registrador 1 como mostra a linha (“registrador1 = le_bussola_end(1);”). Após isso é feita a impressão da informação no LCD. É criada e zerada uma variável chamada AngREG que recebe as coordenadas da bússola. A linha (“angREG= (((long) registrador1) *24)/17;”) faz a conversão do dado do registrador 0-255 para ângulo 0-360. Após isso é posto o resultado dessa operação no LCD.

```
registrador1 = le_bussola_end(1);
printf("registrador1 = %u \r\n", registrador1 );
angREG=0;
angREG= (((long) registrador1) *24 )/17;
printf("-----angREG = %lu \r\n", angREG );
}
```

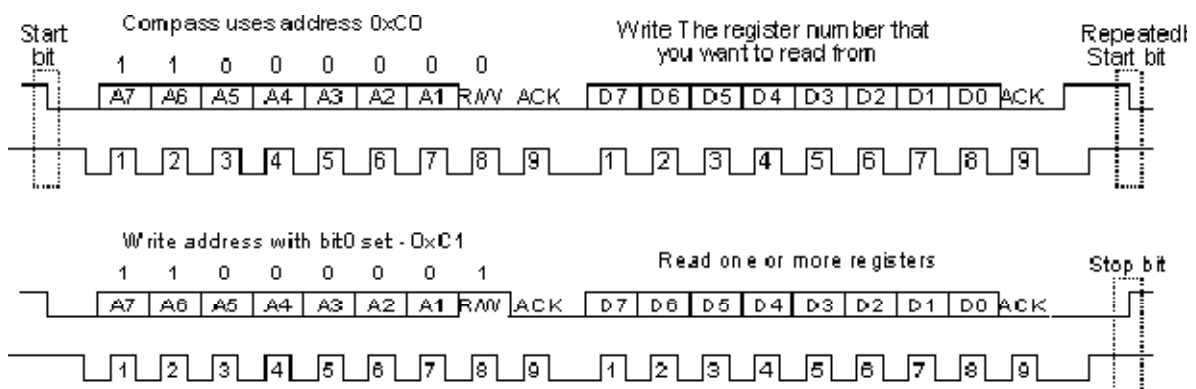


Figura 20 - Comunicação I2C com a bússola [6]

A função `le_bussola_end` é de suma importância para o projeto e se encontra no arquivo `Func.h`. Essa rotina faz uso da biblioteca `i2c.h` para se referenciar com o módulo da bússola via comunicação I2C.

A função `le_bussola_end` é usada para ler as coordenadas do módulo da bússola e repassar para o programa. Essa posição está em hexadecimal. Portanto o “`return(dado)`” retornará um valor entre 0-255.

Inicia-se o I2c com a linha (“`i2c_start()`”). Após isso é definido o endereço do *hardware* do módulo da bússola 0xC0 (esse endereço é definido de fábrica)

("I2C_escreve_byte(0xC0);"). Após o *acknowledge* é feita a entrada do endereço de leitura do registrador ("I2C_escreve_byte(end);"). Após um *acknowledge* e uma rotina de start, é feita a escrita de 0XC1 que indica que o usuário está aguardando um dado.

Por último após o reconhecimento (" i2c_le_ack();") ocorre o envio efetivo dos dados que ficam armazenados na variável `dado` (" dado = I2C_le_byte();"). Dado é uma variável de *8bits*.

```
le_bussola_end(int end){  
    char dado;  
    i2c_start();  
    I2C_escreve_byte( 0xC0 );  
    i2c_le_ack();  
    I2C_escreve_byte( end );  
    i2c_le_ack();  
    i2c_start();  
    I2C_escreve_byte( 0xC1 );  
    i2c_le_ack();  
    dado = I2C_le_byte();  
    i2c_nack();  
    i2c_stop();  
    return(dado);  
}
```

4.6. Mapeamento

A primeira função analisada foi a Mapping da bússola. Foi inserido um *pendrive* no *datalogger* e a seguir foi realizado um mapa no condomínio Damha de São Carlos. O local foi escolhido devido à possibilidade de percorrermos um trajeto em velocidade constante baixa. Na porta do PIC, referente a um sensor de rotação do pneu de uma bicicleta foi adaptado um oscilador. O CI 555 foi usado para simular um pneu rodando a velocidade constante. Dessa forma a variável distância pode ser medida. A variável ângulo foi provida pelo módulo da bússola e assim foi possível fazer o mapa da região.

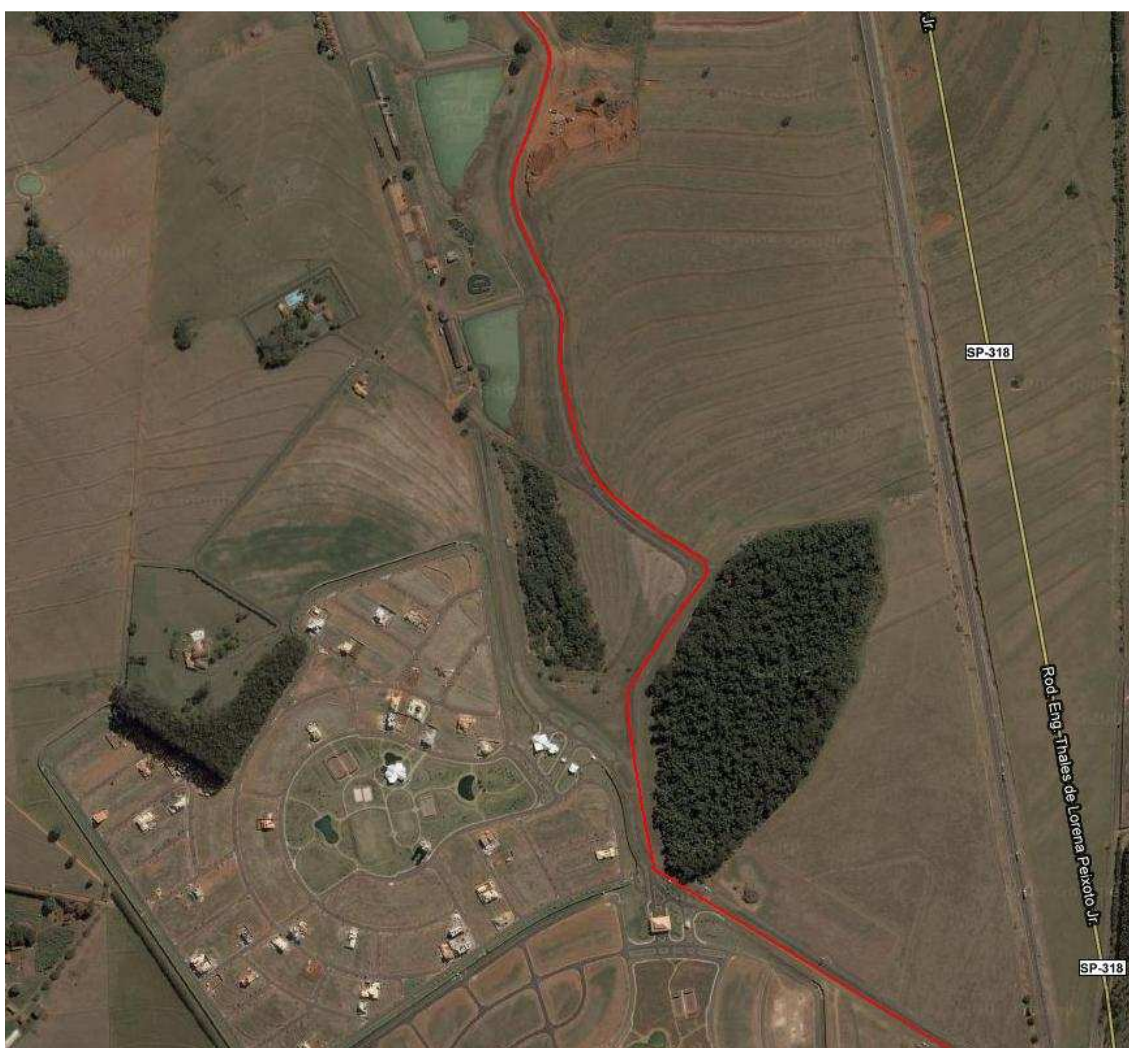


Figura 21 - Trajeto feito de carro com a bússola no modo *mapping*

A Figura 21 ilustra o caminho traçado na rua que contorna o condomínio Damha. O trajeto foi feito de carro iniciando no ponto inferior da figura e terminando no topo da figura. Após isso foi feita a volta na mesma rua fazendo-se o mesmo trecho. O resultado pode ser observado na Figura 22.

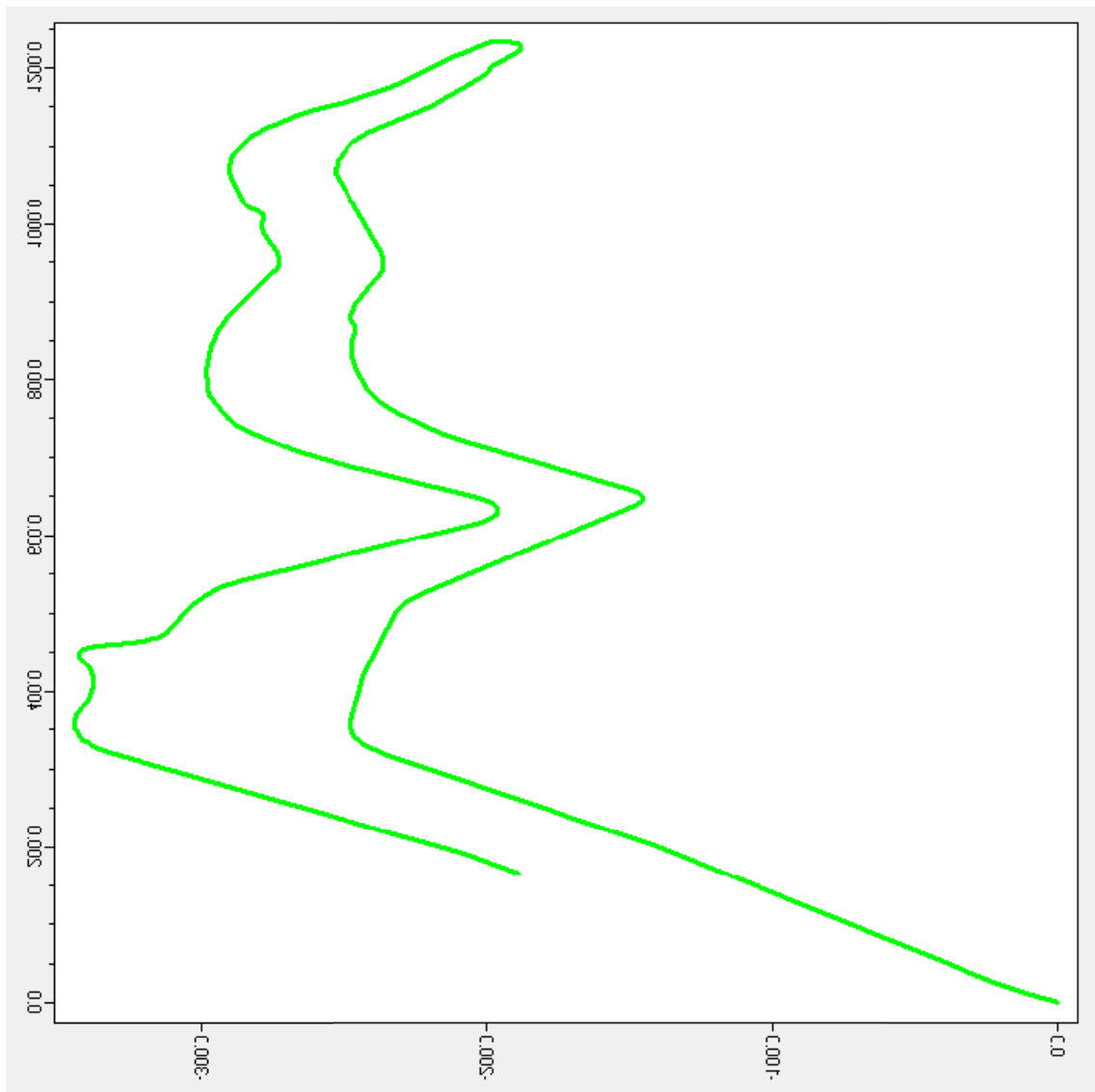


Figura 22 - Gráfico construído seguindo a trajetória descrita na Figura 21 . Notar que acima temos o gráfico de ida e abaixo o gráfico de volta pelo mesmo trecho (as rodovias são paralelas). O eixo x e o eixo y são dados em unidades arbitrárias de distância.

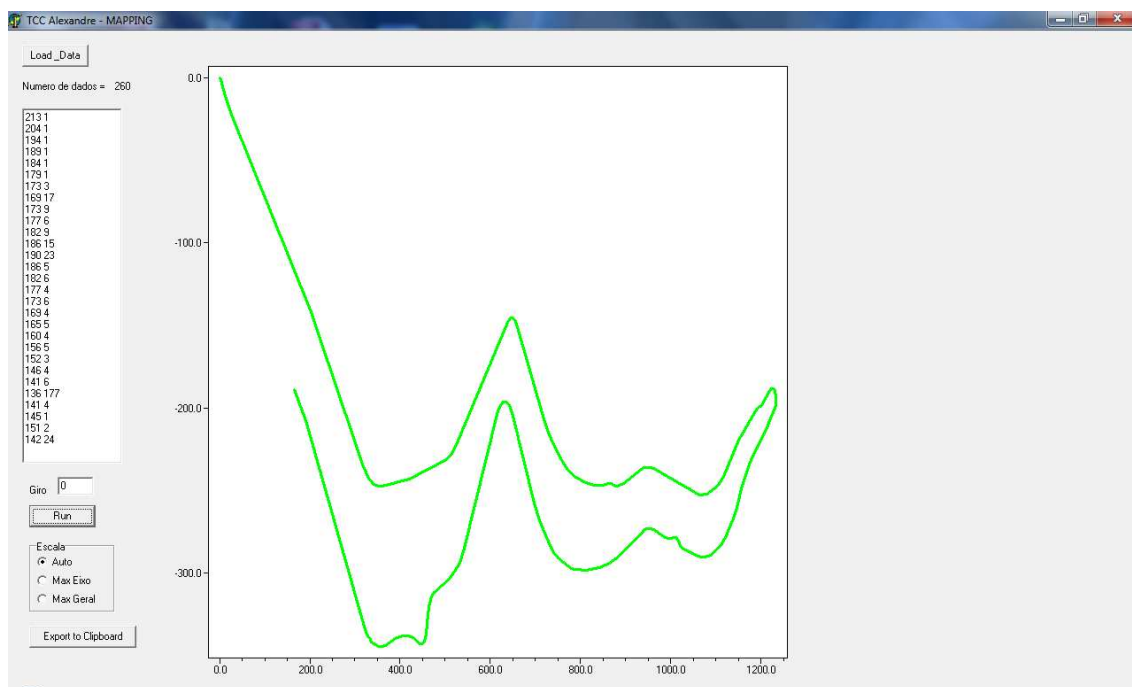


Figura 23 - Janela mostrando os dados (à esquerda) que geraram o gráfico. O eixo x e o eixo y são dados em unidades arbitrárias de distância.

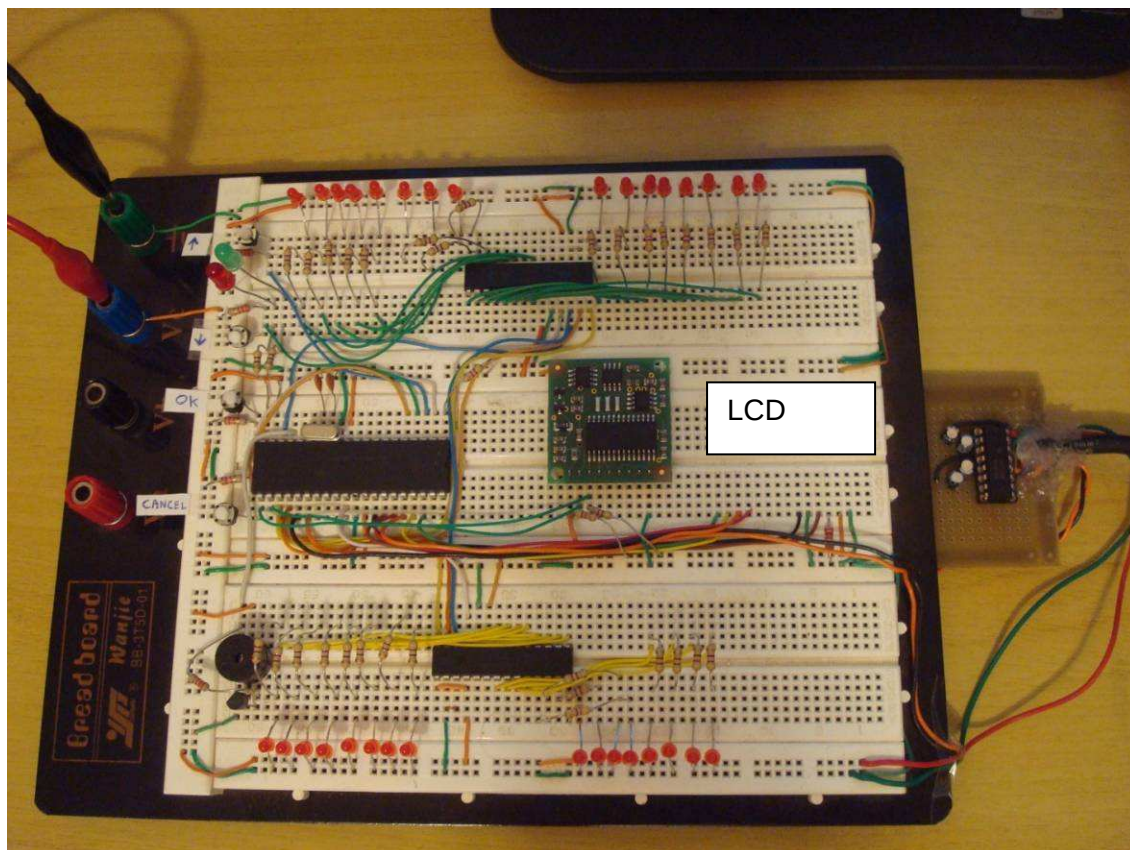


Figura 24 - Montagem em *protoboard* da bússola. Notar que o LCD estava muito perto do módulo da bússola

4.7. Soluções

Durante a fase de montagem da *protoboard* foi observado que o LCD usado interfere nas medições do módulo da bússola. Foram testados dois *displays* iguais ao adotado no projeto (TECH1602B) e a interferência permaneceu.

Numa análise mais apurada foi possível perceber que o componente do LCD que causa tal efeito é a moldura metálica que prende as camadas de vidro do LCD.

Diante de tal constatação tínhamos três opções:

- +Tentar fazer uma blindagem magnética no LCD
- +Distanciar o modulo da bússola do LCD

+Utilizar outro LCD.

A primeira solução foi logo descartada devido a complexidade de criação de uma blindagem magnética, do custo e de aumentar substancialmente o peso da bússola.

A segunda solução foi a adotada devido as limitações orçamentárias do projeto. No entanto a solução de usar outro *display* alternativo mostrou-se interessante.

O *display* escolhido para teste foi o 128G64WF Imr5407EW da Densitron . O foco principal ao analisarmos esse *display* foi sua tecnologia TFT, os vidro que compõe o *display* não são fixados com componentes metálicos. A tecnologia de *display* LCD tipo TFT (*thin film transistor*) é realizada com pixels controlados por transistores. Os *displays* LCD tipo TFT apresentam boa resolução se comparados aos *displays* convencionais. No entanto o preço do *display* é mais caro.

Esses *displays* são chamados também de LCD de matriz ativa.



Figura 25 - *Display* Imr5407EW da Densitron [10]

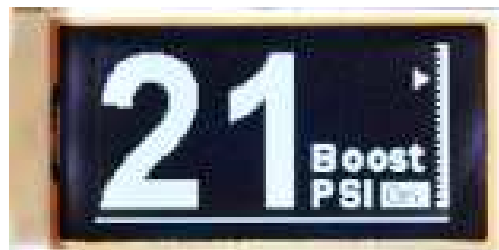
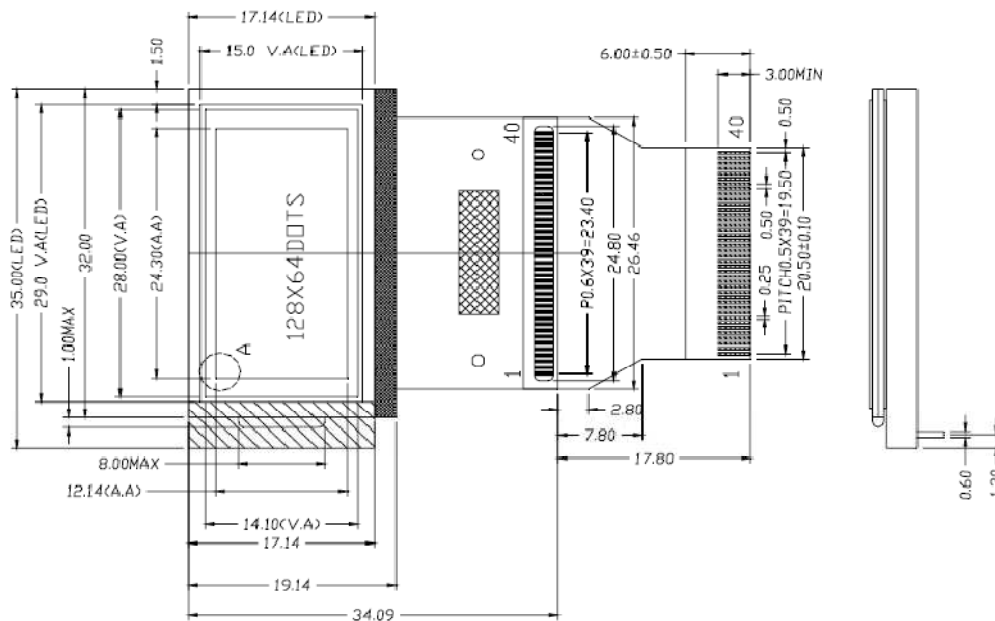


Figura 26 - *Display* Imr5407EW da Densitron [10]



O *display* da Densitron apresentou excelente comportamento junto à bússola não houve interferência magnética como havia acontecido com o LCD TECH1602B.

Essa solução não foi implementada devido ao preço do *display* da Densitron ser muito mais caro que o TECH1602B. Além disso, o *display* que não causou interferência é gráfico; já o alfanumérico causou interferência. A decisão de mudar todo projeto para um display gráfico seria complicada e tiraria o foco do projeto da interface da bússola, pois muito tempo de projeto seria dedicado apenas para a geração de funções para esse *display*. No entanto caso esse projeto da bússola fosse comercializado a solução apropriada seria o *display* LCD tipo TFT da Densitron ou algum componente similar.



Figura 28 - Display lmr5407EW da Densitron [10]



Figura 29 – Exemplo de um *display* incorporado a painel [10]

4.8. Ensaios

A interferência causada pelo LCD motivou um ensaio que não estava programado no cronograma. Esse experimento consistiu de fazer um estudo qualitativo de objetos que poderiam estar nas imediações da bússola digital e podem influenciar ou não as medidas.

A Figura 30 mostra os instrumentos de teste para observar a interferência magnética nos sensores da bússola.

Foram utilizados:

Um molho de chaves

Uma calculadora HP desligada

Uma chave inglesa de corpo de ferro

Um celular ligado

Uma panela de alumínio

A idéia desse teste foi verificar a influência de objetos ferromagnéticos na bússola. Esse teste mostra o potencial desse sensor para a detecção de objetos que tenham ferro em sua composição. Aplicações como detecção de um eixo metálico, sensor de fim de curso ou até mesmo sensor de automóveis em uma rodovia podem ser implementados com o sensor magneto-resistivo.

A conclusão mais imediata da exposição dos objetos de teste diante da bússola é dada abaixo:

Molho de chaves:

Grande influência sobre a bússola devido às chaves serem feitas de ferro.

Calculadora HP desligada:

Pouca mudança na direção final da bússola. Devido a existência de um LCD na calculadora era esperado uma maior influência na bússola.

Chave inglesa de corpo de ferro:

Grande influência sob a bússola. Seu corpo ferromagnético desorientou completamente os sensores da bússola digital.

Celular ligado:

Exerceu uma pequena influência sob a bússola diante do fato de ser um transmissor ligado e sincronizado constantemente com a torre da operadora.

Outro experimento realizado foi a aproximação de uma mão ou braço perto dos sensores da bússola. Isso não resultou em mudança na orientação da bússola como mostrou o programa do PC.



Figura 30 - Objetos utilizados para medir o efeito de materiais ferromagnéticos na bússola

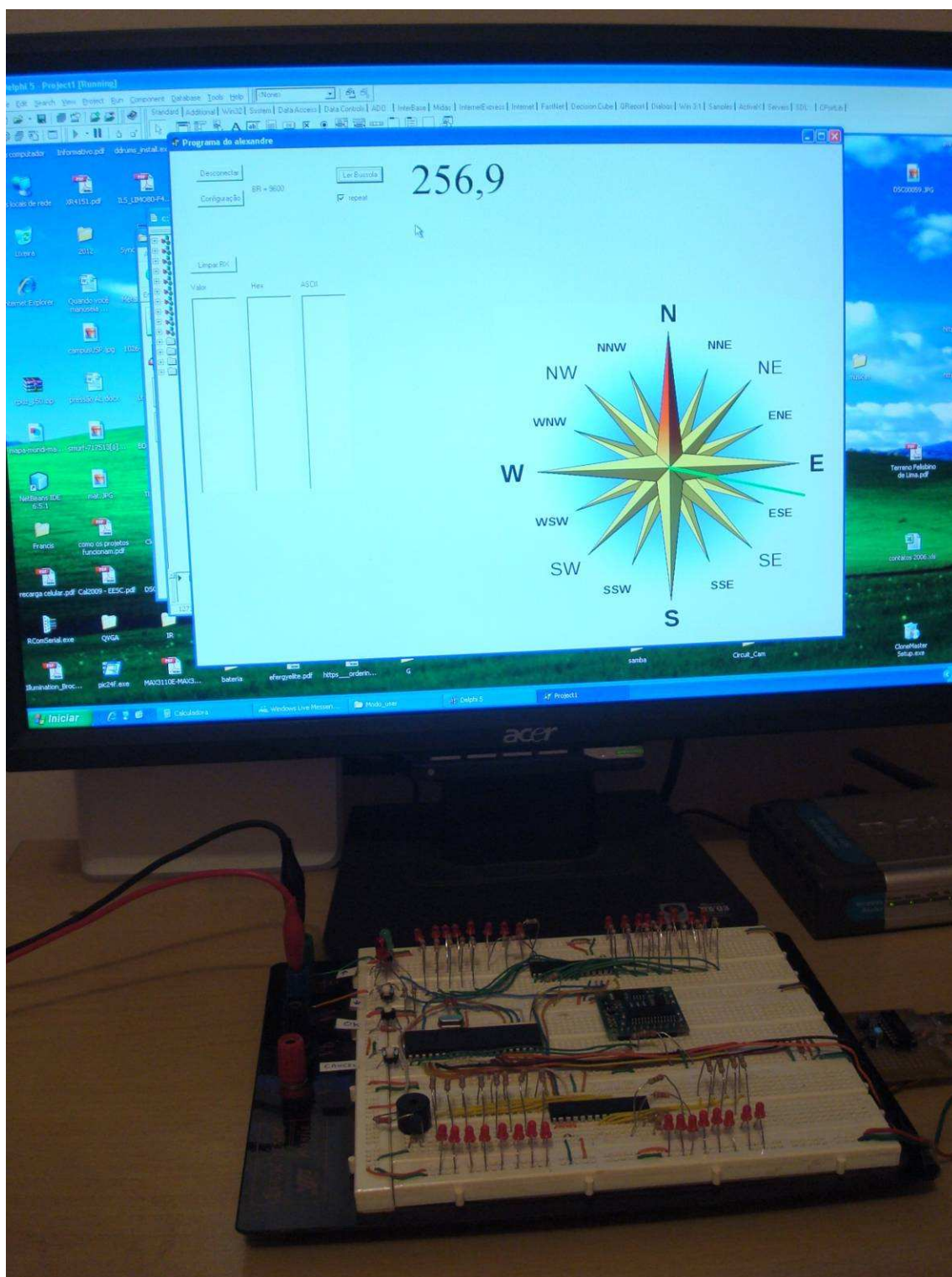


Figura 31 - Ligação da bússola ao PC

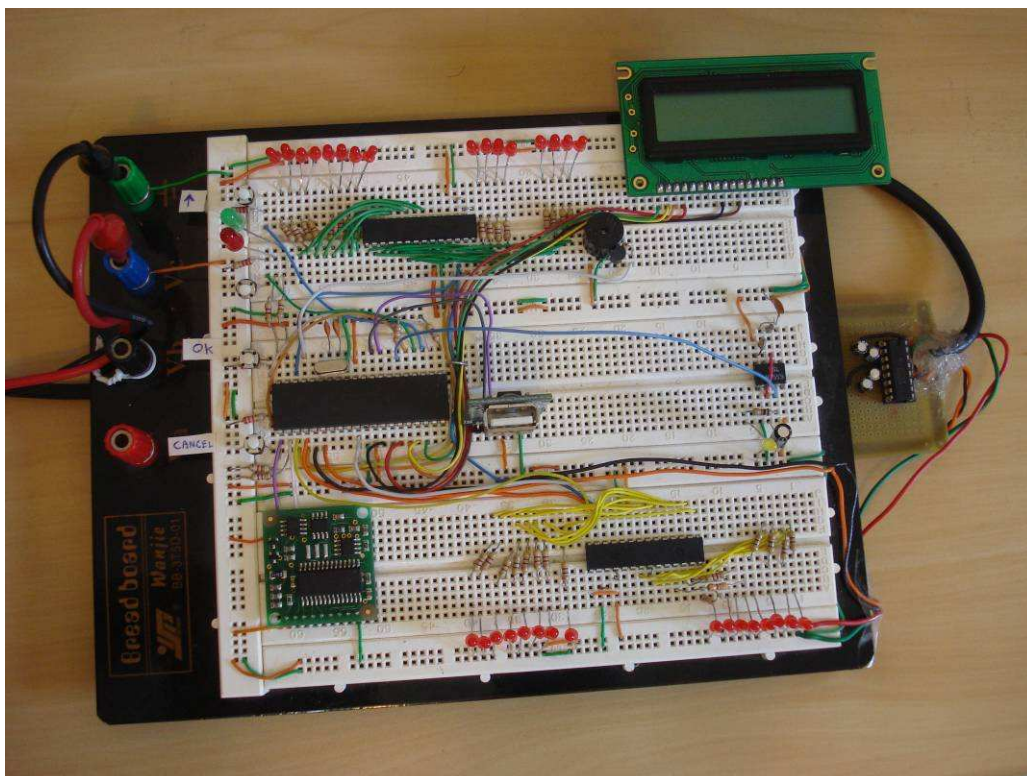


Figura 32 - Montagem final da *protoboard* , vista superior

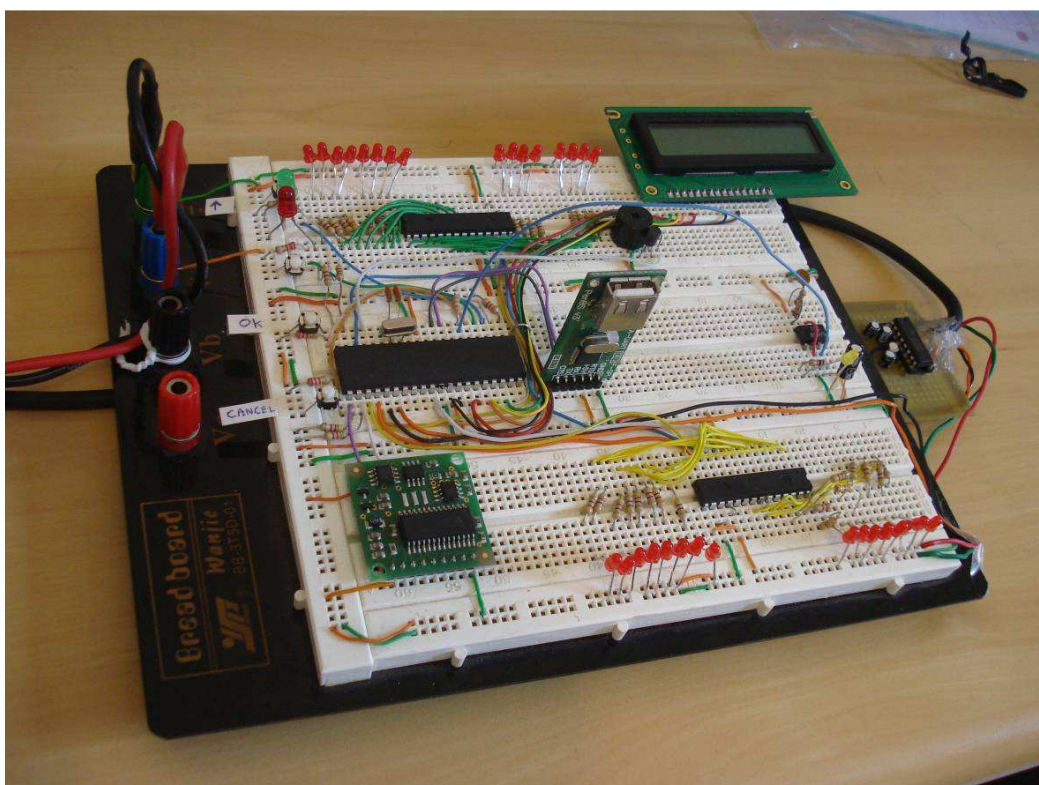


Figura 33 - Montagem final da *protoboard* , vista lateral

5. Conclusão

Esta monografia teve como objetivo apresentar os sensores de magneto-resistência embutidos no módulo CMPS03 para criar uma bússola digital. Testes foram realizados para verificar a precisão e a estabilidade dos resultados. Foi constatada uma boa reprodutibilidade entre os experimentos.

O módulo CMPS03 se mostrou robusto e poderia ser empregado em um veículo ou um robô, estendendo a variedade de aplicações para a bússola digital. Essa ferramenta pode ser usada em conjunto com um GPS dando mais robustez ao sistema.

Os sensores da Philips KMZ51 foram uma boa escolha para a criação da bússola. Foi observado que devido a sua versatilidade eles podem ser aplicados em uma gama de aplicações muito grande, como detectores de material ferromagnético ou mesmo sensores de trânsito para rodovias.

O maior diferencial do sensor magneto-resistivo em relação a um GPS é sua independência em relação a sistemas externos agregando valor a tecnologia. O sistema depende do campo magnético terrestre para funcionar. No caso do GPS qualquer mudança na política internacional do governo americano pode resultar em uma desabilitação dos satélites que referenciam o GPS deixando milhões de cidadãos pelo mundo desamparados tecnologicamente.

Portanto mediante a compreensão dessa tecnologia podem-se criar aplicações cada vez mais complexas e facilitar nosso cotidiano, usufruindo de uma tecnologia aparentemente antiga: a bússola.

6. Trabalhos futuros

Para a melhoria do projeto seria interessante uma solução sem fio. Uma opção elencada para a tarefa foi o *Bluetooth*. Através desse protocolo de comunicação poderia ser evitado o uso da porta serial do projeto e uma comunicação sem fio com o PC poderia ser estabelecida. Com uma interface sem fio poderíamos colocar a bússola no eixo de um motor, usando-a com um sensor de rotação. Também poderíamos usá-la para comunicar-se com um CD - *player* em um carro via *Bluetooth*. Dessa forma teríamos as informações no visor do CD - *player* e poderíamos instalar o *hardware* da bússola em um local apropriado, como por exemplo no porta malas.

7. Referências Bibliográficas

1. GILBERT, W. Sobre os ímãs, os corpos magnéticos e o grande ímã terrestre. William Gilbert: [s.n.], 1600.
2. NXP. Electronic Compass Design using KMZ51 and KMZ52. [S.l.].
3. INSTITUTO DE METEOROLOGIA DE PORTUGAL. GEOMAGNETISMO. [S.l.]: [s.n.].
4. ROBERTS, G. G. E. P. Teoria do dínamo. revista Nature.
5. SABER ELETRÔNICA. MRA, v. 429 , n. out/2008, 44.
6. ROBOT-ELECTRONICS. Disponível em: <http://www.robot-electronics.co.uk/htm/cmps_cal.shtml>. Acesso em: 28 out. 2009.
7. PIC16F87XA. Datasheet - Microchip. Disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39582b.pdf>>. Acesso em: 28 out. 2009.
8. MICROCHIP. 8-Bit I/O Expander with Serial Interface. Disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21919b.pdf>>. Acesso em: 5 nov. 2009.
9. TATO. PenBS. Disponível em: <<http://www.tato.ind.br/detalhesproduto.asp?id=63>>. Acesso em: 5 nov. 2009.
10. DENSITRON. densitron-1_16th_DIN_LCD_Modules. [S.l.].
11. SABER ELETRÔNICA. Efeito Hall x Magneto-Resistivo (MR). revista Saber Eletrônica , abril/07, 43.
12. BAIBICH, M. K. E. M. N. Descrição da Magnetoresistência. [S.l.].

8. Apêndice

Diagrama elétrico

