

**UNESP – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”**  
*Faculdade de Engenharia do campus de Guaratinguetá*

Autor: Pedro Henrique Fonseca Bertoleti

**Desenvolvimento de um computador de bordo para veículo  
Baja-SAE**

GUARATINGUETÁ – SP

2011

Pedro Henrique Fonseca Bertoleti

DESENVOLVIMENTO DE UM COMPUTADOR DE BORDO PARA VEÍCULO  
BAJA-SAE

Trabalho de Graduação  
apresentado ao Conselho de  
Curso de Graduação em  
Engenharia elétrica da Faculdade  
de Engenharia do Campus de  
Guaratinguetá, Universidade  
Estadual Paulista, como parte dos  
requisitos para obtenção do  
diploma de Graduação em  
Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Samuel Euzedice de  
Lucena

Guaratinguetá

2011

B546d Bertoleti, Pedro Henrique Fonseca  
Desenvolvimento de um computador de bordo para veículo Baja-SAE /  
Pedro Henrique Fonseca Bertoleti – Guaratinguetá : [s.n], 2011.  
53 f : il.  
Bibliografia: f. 53

Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade  
Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011.  
Orientador: Prof. Dr. Samuel Euzedice de Lucena

1. Microcontroladores I. Título

CDU 621.381

Modelo 4d: Folha de aprovação: Trabalho de Graduação/Licenciatura

**unesp**  **UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
**“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**  
**CAMPUS DE GUARATINGUETÁ**

**DESENVOLVIMENTO DE UM COMPUTADOR DE BORDO PARA  
VEÍCULO BAJA-SAE**

**PEDRO HENRIQUE FONSECA BERTOLETI**

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO  
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE  
“**GRADUADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**”  
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE  
GRADUAÇÃO EM LICENCIATURA EM ENGENHARIA ELÉTRICA.



Prof. Dr. Samuel Euzedice de Lucena  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**



Prof. Dr. SAMUEL EUZEDICE DE LUCENA  
Orientador/UNESP-FEG

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. TIAGO REIS CALDAS  
TENARIS-CONFAB

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. FERNANDO RIBEIRO FILADELFO  
UNESP-FEG

Novembro de 2011

## **DADOS CURRICULARES**

### **PEDRO HENRIQUE FONSECA BERTOLETI**

NASCIMENTO	08.08.1986 – GUARATINGUETÁ / SP
FILIAÇÃO	Donato Antonio Bertoleti Janete Iara Fonseca
2007 / 2011	Curso de Graduação em Engenharia Elétrica Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá

De um modo especial, aos meus pais, Donato e Janete, e a minha irmã, Isabella, por me apoiarem em todos os momentos. Dedico também ao meu finado avô, José Bertoleti, que apesar de não estar mais entre nós tenho certeza que ainda torce por mim.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por todas as oportunidades que me foram dadas nesta jornada acadêmica. Sem estas oportunidades eu não seria nem um décimo da pessoa que sou hoje.

Aos meus pais, Donato e Janete, por me instruírem a honestidade, humildade e dedicação ao que faço, além de todo o apoio que me deram na vida, sobretudo durante o curso.

A minha irmã, Isabella, por ser uma ótima companheira e uma pessoa com a qual sempre pude e sempre poderei contar.

Ao meu orientador, Professor Dr. Samuel Euzedice Lucena, por acreditar em meu potencial e me ajudar na elaboração deste projeto e trabalho.

À equipe de “Piratas do Vale – Melpoejo”, pelos recursos que investiram na realização deste projeto e pela oportunidade de pertencer a uma grande equipe. Esta equipe me fez ser um engenheiro melhor.

Aos professores Pedro Magalhães Sobrinho, Teófilo Miguel de Souza e José Feliciano Adami, pelo apoio em projetos acadêmicos e por me ensinarem o que é ser um engenheiro.

A todos os meus amigos, pelos momentos vividos, pelas noites de estudo juntos, pelas lições ensinadas e aprendidas e pelas experiências trocadas. Cada um deles teve muita importância na minha vida e foram peças fundamentais no meu desenvolvimento como pessoa.

“Bom mesmo é ir a luta com  
determinação, abraçar a vida com paixão,  
perder com classe e vencer com ousadia.  
Pois o triunfo pertence a quem se atreve.”  
(Charles Chaplin)

BERTOLETI, P.H.F. **DESENVOLVIMENTO DE UM COMPUTADOR DE BORDO PARA VEÍCULO BAJA-SAE**. 2011. 52 pg. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

## RESUMO

O objetivo deste trabalho é apresentar como é realizado o desenvolvimento de um computador de bordo para o veículo tipo Baja-SAE, desde seus requisitos até sua implementação final. Para tanto, foram estudados conceitos de eletrônica embarcada, normas SAE referentes a sistemas elétricos e segurança e pesquisa sobre sistemas comerciais deste tipo.

O computador de bordo de um veículo tipo Baja-SAE é constituído de circuitos elétricos e eletrônicos (adequados ao ambiente hostil de uma competição *off-road*) capazes de mensurar grandezas importantes para o desempenho do veículo, tanto em movimento quanto parado. Para o desenvolvimento deste tipo de sistema foram estudados conceitos de eletrônica embarcada (sobretudo microcontroladores e circuitos que facilitam aquisição de dados) e sensoriamento, ambos estudados considerando o ambiente *off-road*. Após os estudos iniciais, elaborou-se o sistema do ponto de vista de software e hardware básicos (ainda em etapa de simulação), visando máximo desempenho e baixo custo de implementação.

Após a etapa de estudos teóricos e definição básica da arquitetura do hardware e software, iniciou-se a construção e implementação física das placas, assim como exaustivos testes das mesmas para depuração e verificação do bom funcionamento. Uma vez testados na própria faculdade, o sistema foi posto a prova na competição regional Sudeste do ano de 2010, comprovando definitivamente sua eficácia e funcionalidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sistemas Embarcados, Microcontroladores, Sensoriamento, *Off-road*.



BERTOLETI, P.H.F. **Development of an ECU for Baja-SAE vehicles.** 2011. 52 pg. Monograph (Graduation in Electrical Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

### **ABSTRACT**

The objective of this paper is show the development of an Eletronic Control Unit (ECU) for Baja-SAE vehicles from its requirements to final implementation.

An ECU for Baja-SAE vehicles is made of electric and electronic circuits (appropriated to the hostile situations of an off-road competition) able to make important measurements for the running or stand-by vehicle performance. For this development, some concepts were studied: embedded electronics concepts (mainly microcontrollers and data acquisition circuits) and sensoring. Both the studies were made considering the off-road environment. After these initial studies, the elaboration of the basics hardware and software (under simulations) has begun, and this elaboration objectives maximum performance and low implementation cost.

After the theoretical studies, basic definition of the hardware and software's architectures and simulations, the printed circuit boards (PCB) were made, as exhaustive tests in these boards for debugging and verify if the boards work well. Once the system was tested in the university, it ran into a regional Southeast competition in 2010, that definitely proved the efficiency of the whole system.

**KEYWORDS:** Embedded Systems, Microcontrollers, Sensoring, Off-road.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- VEÍCULO BAJA-SAE DA EQUIPE “ PIRATAS DO VALE – MELPOEJO” .....	21
FIGURA 2 – CHAVE DE SEGURANÇA DO TIPO “ KILL-SWITCH” .....	22
FIGURA 3 – ILUSTRAÇÃO DO PAINEL. ....	28
FIGURA 4 – PAINEL REAL / PAINEL INSTALADO NO VEÍCULO .....	28
FIGURA 5 – TRANSMISSOR DE PRESSÃO. ....	29
FIGURA 6 – SENSOR DE PROXIMIDADE INDUTIVO.....	29
FIGURA 7 - RESISTORES.....	29
FIGURA 8 – ESQUEMÁTICO: PLACA DE MEDIÇÃO DE COMBUSTÍVEL. ....	31
FIGURA 9 – ESQUEMÁTICO: PLACA DE MEDIÇÃO DE VELOCIDADE.....	32
FIGURA 10 - ESQUEMÁTICO: PLACA DE MEDIÇÃO DA ROTAÇÃO DO MOTOR, TENSÃO DA BATERIA E RELAÇÃO DE TRANSMISSÃO. ....	34
FIGURA 11 – PLACAS COM TRILHAS ROTEADAS. ....	35
FIGURA 12 - PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO APÓS SOLDAGEM DE COMPONENTES.....	36
FIGURA 13 - FLUXOGRAMA DO SOFTWARE RESPONSÁVEL PELA MEDIÇÃO DO NÍVEL DE COMBUSTÍVEL. ....	39
FIGURA 14 - FLUXOGRAMA DO SOFTWARE RESPONSÁVEL PELA MEDIÇÃO DA VELOCIDADE DO VEÍCULO.....	43
FIGURA 15 - FLUXOGRAMA DO SOFTWARE RESPONSÁVEL PELA MEDIÇÃO DA ROTAÇÃO DO MOTOR, TENSÃO NA BATERIA E RELAÇÃO DE TRANSMISSÃO INSTANTÂNEA....	47

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - COMPARAÇÃO: MICROCONTROLADORES E MICROPROCESSADORES. ....	25
TABELA 2 - SENSORIAMENTO. ....	29
TABELA 3 - DADOS TÉCNICOS: <i>SOFTWARE</i> DE MEDIÇÃO DE COMBUSTÍVEL. ....	38
TABELA 4 - DADOS TÉCNICOS: <i>SOFTWARE</i> DE MEDIÇÃO DE VELOCIDADE. ....	41
TABELA 5 - DADOS TÉCNICOS: <i>SOFTWARE</i> DE MEDIÇÃO DE ROTAÇÃO DO MOTOR, TENSÃO DE BATERIA E RELAÇÃO DE TRANSMISSÃO. ....	45
TABELA 6 - COMPARAÇÃO: COMPUTADOR DE BORDO DESENVOLVIDO E COMPUTADOR DE BORDO COMERCIAL. ....	49

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A/D	<i>Analog / Digital</i> (Analógico / Digital).
<i>Baud-rate</i>	Taxa de transmissão (associado à transmissão serial).
Bit	<i>Binary Digit</i> (Dígito Binário, menor representação numérica digital).
Byte	Conjunto de oito bits.
<i>Breaklight</i>	Luz de freio.
<i>Breathing light</i>	Indicador luminoso piscante que indica funcionamento de um dado circuito.
<i>Clock</i>	Relógio de uma unidade processadora / base de tempo.
EEPROM (ou E2PROM)	<i>Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory</i> (Memória Somente-leitura eletricamente apagável).
FPGA	<i>Field-Programmable Gate Array</i> (Arranjo de Portas Programável em Campo).
Gerber	Formato dos arquivos referentes à confecção de placas de circuito impresso.
Hz	Hertz.
HP	<i>Horse Power</i> .
I/O	<i>Input / Output</i> (Entrada / Saída).
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i> (Display de Cristal Líquido).
LED	<i>Light Emitting Diode</i> (Diodo Emissor de Luz).
Km	Quilômetro.

M	Metro.
mA	Miliampère.
MCA	Metros de Coluna d'Água.
MHz	Megahertz.
Mm	Milímetro.
MS	Milissegundo.
Nibble	Conjunto de quatro bits.
PIC	<i>Programmable Interface Controller</i> (Interface Controladora Programável).
RAM	<i>Random Access Memory</i> (Memória de Acesso Aleatório).
ROM	<i>Read-Only Memory</i> (Memória Somente-leitura).
RPM	Rotações Por Minuto.
RS-232	<i>Recommended Standard 232</i> (padrão de comunicação serial assíncrona).
RS-232 Simplex	<i>Recommended Standard 232 Simplex</i> (padrão de comunicação serial assíncrona unidirecional).
S	Segundo.
Veículo <i>Off-Road</i>	Veículo “fora de estrada”, adaptado para ambientes acidentados, de difícil locomoção.
V	Volt.



# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>19</b>
<b>2</b>	<b>O BAJA-SAE E O COMPUTADOR DE BORDO PARA UM BAJA-SAE: DEFINIÇÕES IMPORTANTES .....</b>	<b>21</b>
2.1	BAJA-SAE: DEFINIÇÃO .....	21
2.2	SISTEMA ELETRO-ELETRÔNICO DE UM VEÍCULO BAJA-SAE .....	22
2.3	COMPUTADOR DE BORDO DE UM BAJA-SAE .....	24
2.4	SENSORIAMENTO DE UM BAJA-SAE .....	24
2.5	PROCESSAMENTO DO COMPUTADOR DE BORDO DO BAJA-SAE.....	25
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DE UM COMPUTADOR DE BORDO PARA UM BAJA-SAE: PROJETO.....</b>	<b>27</b>
3.1	DESENVOLVIMENTO DE UM COMPUTADOR DE BORDO PARA UM BAJA-SAE: CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS MEDIÇÕES REALIZADAS.....	27
3.2	PROCESSAMENTO .....	29
3.3	SENSORIAMENTO .....	30
3.4	FERRAMENTAS UTILIZADAS .....	31
3.5	CIRCUITOS ESQUEMÁTICOS – PLACAS.....	31
3.5.1	<i>Placa de medição de combustível: circuito esquemático.....</i>	<i>32</i>
3.5.2	<i>Placa de medição de velocidade: circuito esquemático.....</i>	<i>33</i>
3.5.3	<i>Placa de medição de rotação do motor, tensão da bateria e relação de transmissão: circuito esquemático .....</i>	<i>34</i>
3.6	CONFECÇÃO DAS PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO .....	36
3.7	SOFTWARES DO SISTEMA .....	37
3.7.1	<i>Software de medição de combustível.....</i>	<i>38</i>
3.7.2	<i>Software de medição da velocidade.....</i>	<i>42</i>
3.7.3	<i>Software de medição da rotação do motor.....</i>	<i>45</i>
3.8	VIABILIDADE ECONÔMICA .....	49
3.9	Comprovação de robustez e eficiência.....	50
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>52</b>
<b>5</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>53</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Este trabalho de graduação mostra o projeto de um computador de bordo para veículo tipo Baja-SAE, ou seja, um veículo *off-road* de motor estacionário (10HP, movido à gasolina) totalmente projetado (estrutura, suspensão, direção, freio e sistema elétrico) e desenvolvido por estudantes de universidades de todo o país, projetos estes postos à competições nacionais duas vezes ao ano. O sistema referido neste trabalho foi desenvolvido para o Baja-SAE da equipe “Piratas do Vale MELPOEJO”, equipe de Baja-SAE da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá (UNESP – *Campus* de Guaratinguetá), contando com o patrocínio da empresa “CIRVALE Circuitos Impressos” na confecção das placas de circuito impresso.

O sistema consiste numa solução simples, barata, robusta e didática para a medição, com grande confiabilidade (através de medições com tacômetros, conferência de volume de combustível consumido e comparação de velocidade com veículos comerciais), de grandezas importantes: velocidade (km/h), nível de combustível no tanque (em uma escala de 8 níveis), rotação do motor (em uma escala de 8 níveis), tensão elétrica na bateria do veículo (em Volts) e relação de transmissão instantânea do veículo. Estas variáveis podem influenciar diretamente no projeto mecânico do carro, apontando possíveis melhorias para um maior desempenho e, além disso, melhorar a estratégia de corrida / competição da equipe, sobretudo na fase de enduro (corrida de resistência).

Do ponto de vista eletro-eletrônico, este sistema poderá ser utilizado também como uma plataforma simplificada de desenvolvimento de aplicações embarcadas para veículos tipo Baja-SAE. Isto é possível pois, além de possuir microcontroladores superdimensionados para as aplicações originalmente previstas, possui conectores extras para novos sensores, sendo assim um sistema passível de expansão.

Estruturalmente, este trabalho é dividido nas seguintes partes:

1. Definições importantes sobre o Baja-SAE, tais como: características mecânicas básicas de um Baja-SAE; normas sobre a construção de um sistema eletro-eletrônico para um Baja-SAE; sistemas comerciais disponíveis para este fim e, finalmente, os componentes eletrônicos utilizados neste projeto.

2. Projeto do *hardware* e *software* de um computador de bordo para BajaSAE, destacando sua estrutura e operação enquanto um sistema embarcado.
3. Resultados e discussões relevantes sobre o sistema, bem como sua viabilidade econômica perante sistemas comerciais semelhantes utilizados atualmente.

## **2 O BAJA-SAE E O COMPUTADOR DE BORDO PARA UM BAJA-SAE: DEFINIÇÕES IMPORTANTES**

A seguir serão apresentados conceitos básicos e gerais referentes ao veículo Baja-SAE e seu computador de bordo.

### **2.1 BAJA-SAE: DEFINIÇÃO**

O Baja-SAE é um veículo *off-road*, com lugar somente para o piloto, feito por equipes em universidades públicas e privadas de todo o país objetivando tornar o veículo o mais próximo possível de um veículo comercial. Ou seja, é um veículo totalmente projetado e construído por estudantes visando a viabilidade do mesmo no mercado automobilístico.

Estes veículos entram em competição em território nacional duas vezes por ano (competição regional e competição nacional) e, para as melhores equipes do Brasil, há a possibilidade de disputar o campeonato mundial, realizado nos Estados Unidos. A construção, projeto e competição são regidos por regulamentos da SAE Brasil.

As equipes são formadas por alunos de engenharia (com exceção de engenharia civil), matemática e física, e objetivam projetar, construir e por à prova seus veículos. Além de inovações na parte mecânica, inovações na parte eletro-eletrônica do veículo agregam maior pontuação na competição, pois refletem fortes tendências de veículos comerciais: alta tecnologia embarcada e conforto maximizado.

Uma foto do veículo “Red Jack”, da equipe “Piratas do Vale Melpoejo” pode ser vista na Figura 1.



Figura 1- veículo Baja-SAE da equipe “ Piratas do Vale – Melpoejo”

Do ponto de vista de motorização, todos os veículos de todas as equipes obrigatoriamente utilizam motor estacionário de potência igual a 10HP (movidos à gasolina) e, além disso, o tanque de gasolina também é padronizado, sendo este de 3,6 litros. Por norma, visando a maior padronização possível, todos os motores utilizados por estes veículos (assim como os tanques de combustível) são fornecidos pelo fabricante Briggs, sendo as especificações as seguintes: motor Briggs & Stratton Intek Pro, modelo 205332 e tipo 0119B9.

## 2.2 SISTEMA ELETRO-ELETRÔNICO DE UM VEÍCULO BAJA-SAE

O sistema eletro-eletrônico de um Baja-SAE pode ser dividido basicamente em quatro partes: dispositivos de segurança, sistema embarcado de medição, sistema de indicação de freio e sistema de iluminação. O que compreende cada sistema pode ser visto abaixo:

1. Dispositivos de segurança: por estabelecimento das regras da SAE Brasil, em caso de pane do veículo e acionamento do botão de emergência, o motor deve ter sua ignição desligada (ou o motor deve ser “aterrado”, ou seja, os terminais de

sua vela serão curto-circuitados à referência) e todos os sistemas devem deixar de operar, com exceção do sistema de luz de freio (que deve operar o tempo todo). Este procedimento de interrupção dos circuitos auxiliares e interrupção do funcionamento do motor é feito por um botão de emergência chamado “*Kill-Switch*”. Este tem uma localização pré-determinada no veículo pela norma SAE (parte mais alta na traseira direita) e deve, obrigatoriamente, estar muito bem sinalizada na carenagem do veículo. É permitido por norma a localização de um segundo botão de emergência (*Kill-Switch*) próximo ao volante / painel do veículo, desde que este esteja ligado em série com o *Kill-Switch* da parte traseira (assim, qualquer um dos dois que for acionado permitirá o desligamento das partes necessárias). A Figura 2 ilustra um “*Kill-Switch*” e sua sinalização na carenagem.

Esta parte do sistema eletro-eletrônico de um veículo tipo Baja-SAE é padrão para todas as equipes, e não pode ser dispensada pela equipe, e se isto acontecer a equipe está sob pena de desclassificação da competição corrente. O mau funcionamento desta parte também implica em desclassificação da equipe.



Figura 2 - chave de segurança do tipo “*kill-switch*”

2. Sistema embarcado de medição: Este sistema compreende todos circuitos destinados a fazer medições, telemetria e aquisição de dados do veículo. A complexidade deste sistema varia de equipe para equipe, ou seja, depende do que se pretende medir e de quanto se está disposto a investir neste sistema, logo isto não é um “padrão” (ou obrigação) para todas as equipes. Geralmente, as grandezas mais comumente medidas são: velocidade do veículo, rotação do motor, nível de combustível, tensão elétrica na bateria e temperatura do motor.

Em suma, este sistema pode ser classificado como auxiliar, passíveis de serem dispensados durante a competição se apresentarem problemas graves ou comprometerem o funcionamento do carro, sem desclassificar a equipe.

3. Sistema de indicação de freio: este sistema tem como objetivo fazer com que se acenda um indicador de LEDs (localizado, por norma, na parte traseira superior do veículo) quando o freio do veículo for acionado (ou seja, é um sistema de acionamento do indicador de LEDs com base em um interruptor elétrico instalado no pedal de freio). O mau funcionamento ou não funcionamento deste sistema torna a equipe passível da penalidade de desclassificação da competição corrente.
4. Sistema de iluminação: consiste no acionamento e desacionamento de faróis colocados na parte frontal do veículo. Pelo fato de todas as competições ocorrerem durante o período diurno, este sistema não é obrigatório por norma. Entretanto, como o objetivo é tornar o carro mais próximo possível de um carro comercial, a grande maioria das equipes colocam faróis em seus veículos.

### **2.3 COMPUTADOR DE BORDO DE UM BAJA-SAE**

Um computador de bordo de um veículo Baja-SAE é, por definição, um sistema embarcado que utiliza microcontroladores para processar informações lidas de sensores e, após processamento, informar ao piloto (da forma mais clara e objetiva possível) os resultados / medições. Devido a este sistema ser destinado a um carro de competição, é de extrema importância que os seguintes critérios sejam levados em consideração:

1. Usabilidade das grandezas medidas, medindo apenas o que for de extrema necessidade para o piloto saber e, além disso, medindo com a maior fidelidade possível.
2. Visibilidade das grandezas medidas e processadas, priorizando a visualização rápida, por meio de displays maiores / LEDs mais fortes, de grandezas mais importantes ao piloto.
3. Robustez, sendo projetado para suportar as adversidades de uma corrida de veículos *off-road*. Além disso, considerando que é impossível prever danos ao carro

e ao sistema embarcado durante uma corrida de veículos *off-road*, o sistema embarcado deve ter sua localização muito bem escolhida e, de preferência, ter de dois a três sistemas reservas disponíveis para se efetuar a troca em caso de pane.

Em poucas palavras, o sistema deve ser o mais robusto, objetivo, preciso e exato possível.

## **2.4 SENSORIAMENTO DE UM BAJA-SAE**

O sensoriamento de um computador de bordo de um veículo Baja-SAE deve ter as seguintes características:

1. Estabilidade de medição perante as vibrações mecânicas.
2. Maiores exatidões e precisões possíveis.
3. Robustez, apresentando blindagens e conectores robustos.

Nota-se que, devido à combinação destas três características levarem a sensores com maiores custos, o custo de um sistema embarcado de um veículo *off-road* (neste caso, o Baja-SAE) é relativamente elevado se comparado ao custo de um sistema embarcado de um veículo convencional de estrada (segundo preços sugeridos em <http://www.aimsports.com/> e <http://www.vkart.com.br>, visitados 08/08/2011).

## **2.5 PROCESSAMENTO DO COMPUTADOR DE BORDO DO BAJA-SAE**

Para o processamento, têm-se duas possibilidades: microcontroladores e microprocessadores. Uma comparação entre o uso de microcontroladores e microprocessadores em sistemas deste tipo pode ser vista na tabela 1.

Tabela 1 - comparação: microcontroladores e microprocessadores

Microcontroladores	Microprocessadores
- Possuem todas as unidades básicas (memórias RAM e ROM, unidade de processamento matemático, gerenciamento de I/O, etc.) e algumas complementares (como, por exemplo, conversores A/D e timers) integrados em um mesmo chip.	- Memórias e gerenciamento de I/O, por exemplo, não são integrados no mesmo chip do microprocessador, exigindo assim circuitos maiores e mais complexos.
- Possui quantidade de memórias e processamento muito limitados.	- Podem possuir quantidade de memória e processamento grandes.
- Pelo fato de todo o circuito básico para o funcionamento estar integrado em um único chip, este pode sofrer maiores vibrações mecânicas sem grandes riscos de danos nas suas unidades básicas.	- Vibrações mecânicas comprometem contatos elétricos de periféricos essenciais, comprometendo seriamente o funcionamento do sistema.
- Menor conjunto de instruções, o que reduz códigos e otimiza o aproveitamento de memória ROM (de programa).	- Possui maior conjunto de instruções, tornando os programas desenvolvidos maiores e mais complexos.
- Geralmente, não há necessidade de dissipação de calor / ventilação extra / forçada.	- Necessitam de ventilação extra/ dissipação de calor para seu funcionamento.
- Muito baratos e alta disponibilidade no mercado.	- Custo bem superior à um microcontrolador, além de não ser tão facilmente adquirível (principalmente por hobbistas)

Considerando as características gerais de um computador de bordo de um Baja-  
SAE e o nível de complexidade dos programas e informações que ele deve processar,  
o uso de microcontroladores se mostra mais adequado (até por fatores de espaço físico  
ocupados e peso, fatores avaliados direta e indiretamente pelos juízes da competição,  
segundo normas SAE para BAJA SAE).

Os microcontroladores mais utilizados são: microcontroladores PIC Microchip e  
microcontroladores ATMEL. Em alguns casos de maior complexidade de medições e  
processamento, os FPGAs também são utilizados.

### **3 DESENVOLVIMENTO DE UM COMPUTADOR DE BORDO PARA UM BAJA-SAE: PROJETO**

Agora é mostrado o desenvolvimento de um computador de bordo para um Baja-SAE, ressaltando o hardware (e seus aspectos mais importantes) e, além disso, o *software* utilizado em termos de sua estrutura.

#### **3.1 DESENVOLVIMENTO DE UM COMPUTADOR DE BORDO PARA UM BAJA-SAE: CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS MEDIÇÕES REALIZADAS**

O computador de bordo desenvolvido compreende um sistema capaz de medir e exibir ao piloto, instantaneamente, as seguintes grandezas:

1-Velocidade do veículo (km/h)

2-Rotação do motor (RPM, numa escala de 8 LEDs / níveis e o valor exato em um display LCD 16x2)

3-Nível de combustível (numa escala de 8 LEDs / níveis)

4-Carga (tensão) da bateria

5-Relação de transmissão

Este sistema foi dividido em três placas de circuito impresso:

a) Placa de medição da rotação do motor, carga da bateria e processamento das medições utilizadas no cálculo da relação de transmissão.

b) Placa de medição do nível de combustível.

c) Placa de medição de velocidade.

Cada placa possui seu próprio microcontrolador e reguladores de tensão, de modo a serem o mais independentes possível.

Para a exibição das medições serão utilizados (por motivo de favorecer exibições de medidas prioritárias feitas durante a competição) os seguintes dispositivos:

a) Exibição da velocidade: dois displays de sete segmentos (dimensões: 69,7x47,8x12mm) vermelhos, do tipo anodo comum.

b) Exibição da carga (voltagem da bateria), tempo de operação do motor (em horas), rotação do motor (RPM) e relação de transmissão - um display LCD de 16 linhas e 2 colunas (caracteres em cor preta e fundo verde, com *Backlight* sempre ligado).

c) Exibição do nível de combustível e rotação do motor (numa escala, com 8 LEDs/níveis) - duas barras de LEDs (5mm), com 8 leds cada.

Além disso, alertas gerais (bateria com carga baixa, luz acesa, nível baixo de combustível, nível baixo de fluido de freio e pedal de freio pressionado) também podem ser visualizados no painel (figura 3).

As placas de medição de rotação e de medição de velocidade se comunicam serialmente (unidirecionalmente, sentido da placa de medição de velocidade para a placa de medição de rotação), a fim de transmitir os dados necessários para o cálculo da relação de transmissão do veículo. A taxa de transmissão (*baud rate*) escolhido foi de 19200 bits/s. Este valor foi escolhido em função de apresentar taxa de transmissão rápida do mesmo modo que apresenta susceptibilidade menor ao ruído, já que não é uma taxa de transmissão excepcionalmente alta.

Considerando que, prioritariamente, o medidor de nível de combustível deve funcionar, para este módulo é implementado também um *breathing light*, ou seja, um pequeno LED azul (3mm) que pisca a uma frequência de 2 Hz se o sistema de medição de combustível estiver operando corretamente. Caso haja algum defeito nesta unidade o LED não piscará normalmente, indicando ao piloto que por algum defeito a medição feita pelo sistema de medição de combustível é falha.

Uma ilustração do painel e uma foto do painel real podem ser vista nas figuras 3 e 4.



Figura 3 - ilustração do painel

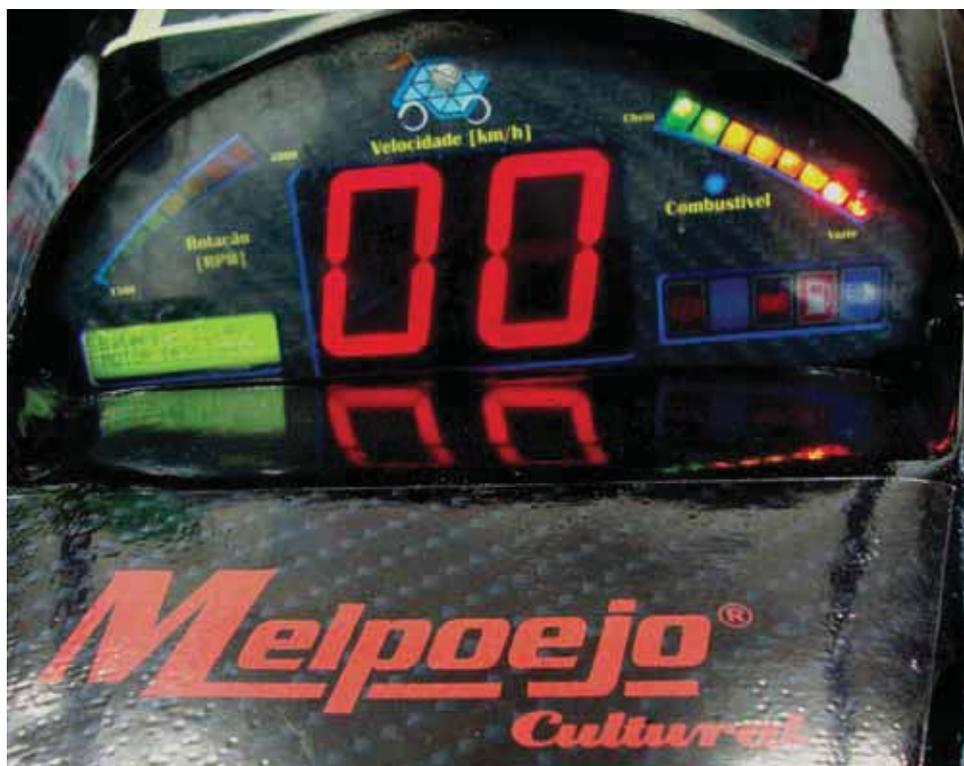


Figura 4 - painel real / painel instalado no veículo

### 3.2 PROCESSAMENTO

Para o processamento dos sinais medidos foram utilizados microcontroladores Microchip PIC 16F877A (devido a sua grande gama de recursos integrados

disponíveis para possíveis expansões), todos operando com frequência (*clock*) de 10MHz.

É importante ressaltar que, devido às placas terem a possibilidade de serem expandidas, ou seja, medirem mais grandezas (e, por consequência, haver mais dados para serem processados), o microcontrolador escolhido é um dos mais robustos (em termos de quantidade de memória de programa e RAM disponíveis, bem como a quantidade de memória E2PROM muito superior aos microcontroladores de sua família 16F) de sua família considerando a disponibilidade no mercado e preço.

### 3.3 SENSORIAMENTO

Para o sensoriamento, foram utilizados os sensores exibidos na tabela 2.

Tabela 2 - sensoriamento

Sensor	Função	Imagem / foto do sensor
Transmissor de pressão industrial (0 – 0,5MCA) – fabricante Rücken (à três fios)	Medição do nível de combustível	 <p>Figura 5 – transmissor de pressão (fonte: site do fabricante Rücken)</p>
Sensor de proximidade indutivo (distância de proximidade: 5mm; frequência máxima de resposta: 200Hz, à três fios) – fabricante Metaltex	Medição da rotação do motor e da velocidade	 <p>Figura 6 – sensor de proximidade indutivo (fonte: site do fabricante Metaltex)</p>
Rede resistiva (alta impedância)	Medição da carga (voltagem) da bateria	 <p>Figura 7- resistores</p>

É importante ressaltar que para o transmissor de pressão industrial foi utilizado o padrão 4-20mA para medição do nível de combustível, com o objetivo de se detectar facilmente o rompimento ou mal-contato dos cabos de leitura do sensor.

### 3.4 FERRAMENTAS UTILIZADAS

Para o desenvolvimento deste computador de bordo foram utilizadas as seguintes *softwares*:

- Microchip MPLAB IDE v8.36 (desenvolvimento);
- CCS 4.037 (desenvolvimento);
- ISIS Proteus 7 Professional (desenho do circuito esquemático e simulação);
- ICProg 1.05E;
- Gravador serial de microcontroladores PIC modelo PICStart (fabricante: TecTrony);
- Eagle 5.6.0 Light (desenho das placas de circuito impresso e geração de arquivos Gerber para confecção das mesmas).

### 3.5 CIRCUITOS ESQUEMÁTICOS - PLACAS

Agora serão mostrados os circuitos esquemáticos das placas que compõe o computador de bordo.

Uma consideração importante comum a todas as placas é que, mesmo sendo a alimentação de todas as placas igual a +5V, as etapas de alimentação e regulação são compostas sempre de dois reguladores de tensão em série: 7812 e 7805 respectivamente. O motivo desta disposição é a possibilidade de, após feita a carga completa da bateria, esta pode apresentar uma tensão elétrica em seus terminais da ordem de +15V. Isto pode vir a danificar o regulador de tensão se fosse utilizado somente um 7805 devido à alta dissipação de potência no mesmo.

### 3.5.1 PLACA DE MEDIÇÃO DE COMBUSTÍVEL: CIRCUITO ESQUEMÁTICO

Para a placa responsável por efetuar a medição do nível de combustível e, posteriormente, exibí-lo em uma barra de 8 LEDs foi feito o circuito esquemático da Figura 8.

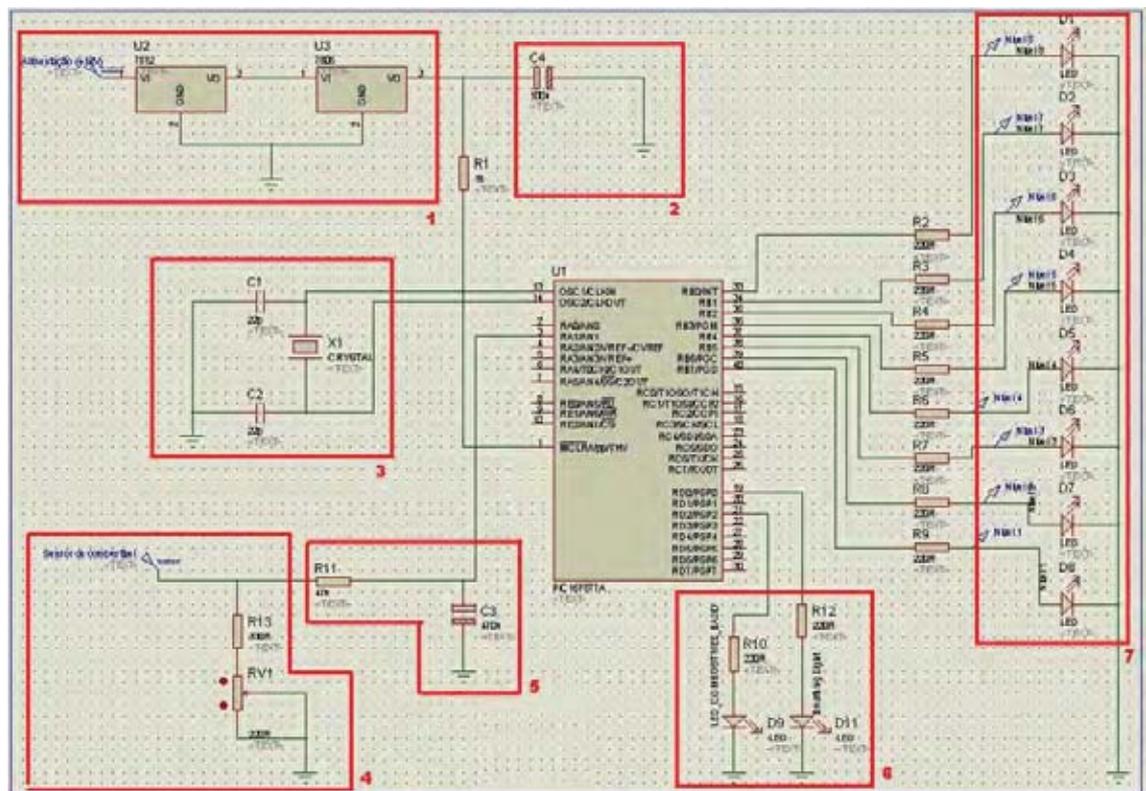


Figura 8 - Esquemático: placa de medição de combustível

Sendo as indicações da Figura 8:

- 1- Etapa de alimentação e regulação de tensão;
- 2- Etapa de filtragem de ruídos de alta frequência (proveniente de possíveis altas taxas de comutação entre 0 e +5V na etapa de processamento e saídas do microcontrolador);
- 3- Oscilador à cristal de 10MHz;

- 4- Loop para medição de nível de combustível (utilizado padrão 4-20mA para medição);
- 5- Integrador de constante de tempo  $T=22.09s$  (objetivando diminuir a influência da vibração do veículo na medição exibida);
- 6- LEDs de indicação de funcionamento (*breathing light*) e indicação de nível de combustível baixo;
- 7- Barra de LEDs (8 LEDs) indicadora do nível de combustível.

### 3.5.2 PLACA DE MEDIÇÃO DE VELOCIDADE: CIRCUITO ESQUEMÁTICO

Para a placa responsável por efetuar a medição do nível de combustível e, posteriormente, exibi-lo em uma barra de 8 LEDs foi feito o circuito esquemático da Figura 9.

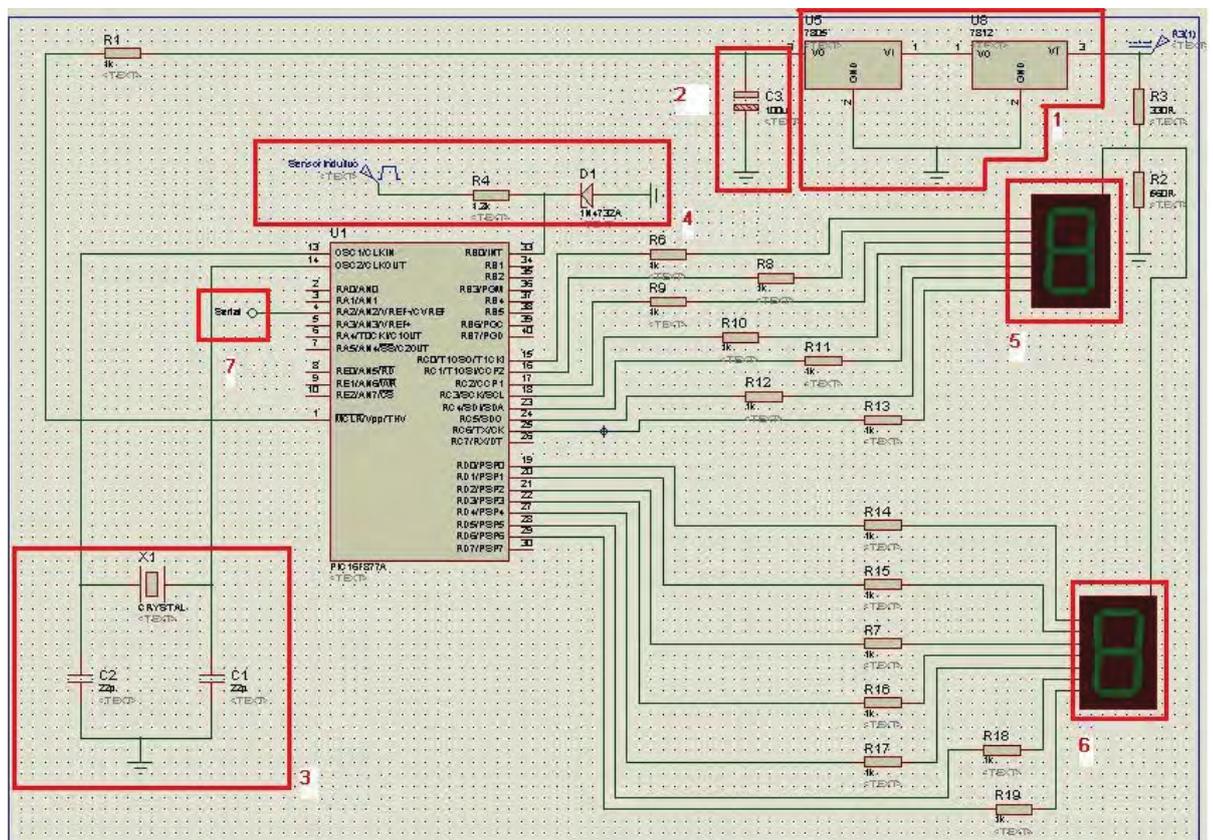


Figura 9 - Esquemático: placa de medição de velocidade

Sendo as indicações da Figura 9:

- 1- Etapa de alimentação e regulação de tensão;
- 2- Etapa de filtragem de ruídos de alta frequência (proveniente de possíveis altas taxas de comutação entre 0 e +5V na etapa de processamento e saídas do microcontrolador);
- 3- Oscilador à cristal de 10MHz de frequência;
- 4- Circuito responsável por transformar os pulsos emitidos do sensor de velocidade (de +12V de amplitude) em pulsos de +5V de amplitude (adequados para a leitura do microcontrolador). A leitura destes pulsos é feita por meio de interrupção externa;
- 5- *Display* de sete segmentos dedicado à exibição do dígito da dezena da velocidade;
- 6- *Display* de sete segmentos dedicado à exibição do dígito da unidade da velocidade;
- 7- Pino destinado à comunicação serial com a placa de medição de rotação do motor (para transmitir dados necessários para o cálculo da relação de transmissão do veículo).

É importante ressaltar que, por medidas de maior precisão na medida de velocidade e maior rapidez de leitura (além de respeitar a frequência máxima de leitura do sensor utilizado), foi feito um dispositivo mecânico que faz com que o sensor leia 12 pulsos a cada volta da roda. Isto é um dado importante para o desenvolvimento do *software* a ser inserido no microcontrolador.

### **3.5.3 PLACA DE MEDIÇÃO DE ROTAÇÃO DO MOTOR, TENSÃO DA BATERIA E RELAÇÃO DE TRANSMISSÃO: CIRCUITO ESQUEMÁTICO**

Nesta placa os dados são exibidos em 8 LEDs (rotação, em forma de escala / níveis) e *display* LCD (demais dados). Para tal, foi montado o circuito esquemático mostrado na Figura 10.

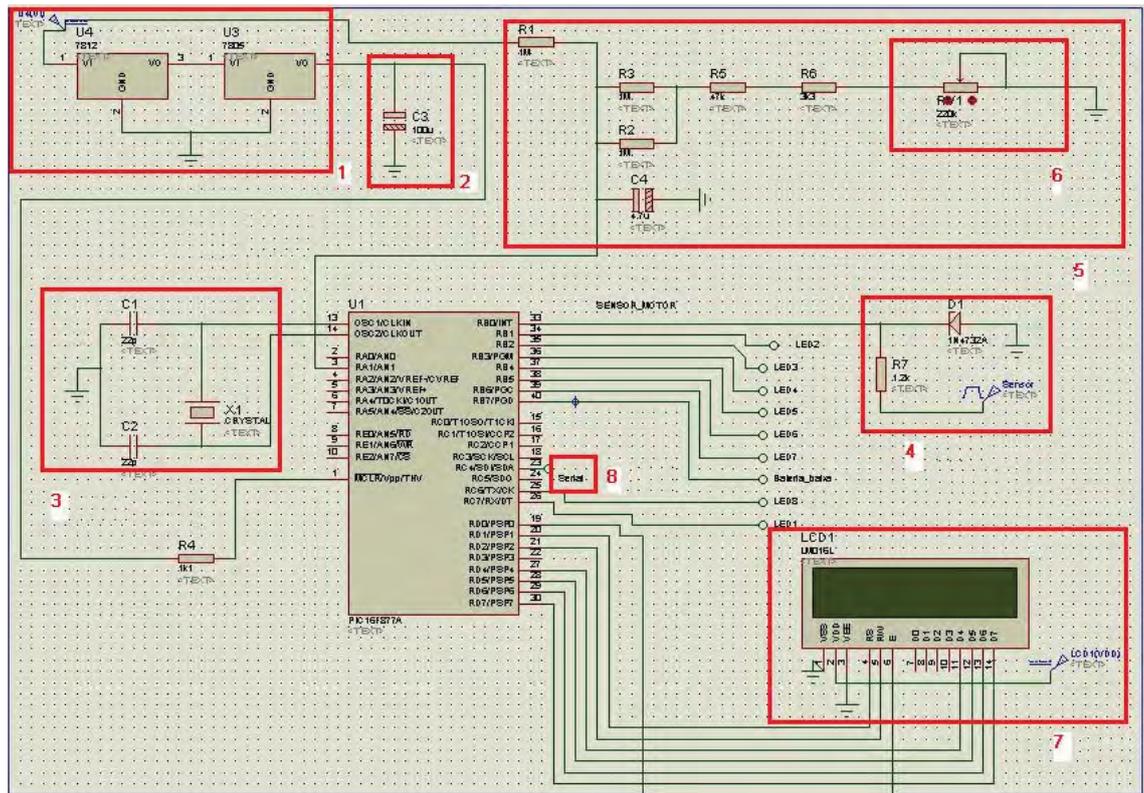


Figura10 - Esquemático: placa de medição da rotação do motor, tensão da bateria e relação de transmissão

Sendo as indicações da Figura 10:

- 1- Etapa de alimentação e regulação de tensão;
- 2- Etapa de filtragem de ruídos de alta frequência (proveniente de possíveis altas taxas de comutação entre 0 e +5V na etapa de processamento e saídas do microcontrolador);
- 3- Oscilador à cristal de 10MHz de frequência;
- 4- Circuito responsável por transformar os pulsos emitidos do sensor de rotação do motor (de +12V de amplitude) em pulsos de +5V de amplitude (adequados para a leitura do microcontrolador). A leitura destes pulsos é feita por meio de interrupção externa;
- 5- Rede resistiva e capacitor responsáveis por fornecer, por divisão de tensão (com o capacitor atuando como atenuador de variações bruscas de tensão na leitura do microcontrolador), a tensão da bateria (numa escala de zero a +5V, convertida via *software* para a escala 0 a +12V;
- 6- Potenciômetro para ajuste fino (calibração) da rede resistiva;

- 7- *Display* de LCD 16x2 (caracteres em cor preta e fundo verde, com *backlight* sempre ligado), utilizando o modo nibble (4 bits do barramento de dados) para transmissão de dados do PIC para o LCD;
- 8- Pino destinado à comunicação serial com a placa de medição de velocidade (para receber dados necessários para o cálculo da relação de transmissão do veículo e posterior exibição no *display* LCD).

### 3.6 CONFECÇÃO DAS PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO

Após simulados no software ISIS Proteus, prototipados (montados em *proto-board* e testados) e depuração de *software*, os circuitos foram roteados no software Eagle 5.6.0 Light para, posteriormente, dar origem a arquivos Gerber. Estes arquivos foram enviados à CIRVALE Circuitos Impressos que forneceu à equipe, em forma de patrocínio, as placas já confeccionadas e prontas para soldagem dos componentes.

É possível observar na Figura 11 os roteamentos de todas as trilhas das placas já concluídos, com tudo pronto para a geração dos arquivos Gerber.

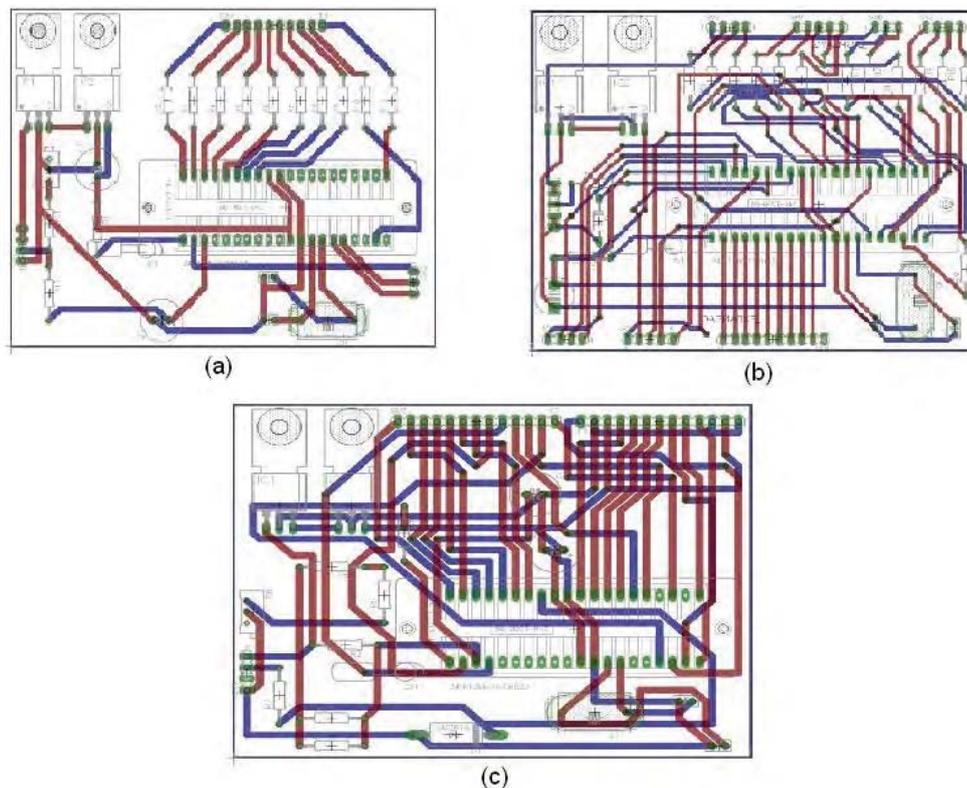


Figura 11 - Placas com trilhas roteadas

Sendo na Figura 11:

- a- Placa de medição de combustível;
- b- Placa de medição de velocidade;
- c- Placa de medição da rotação, relação de transmissão e tensão da bateria.

Após a confecção das placas e da soldagem de componentes, as placas ficaram conforme ilustra a Figura 12.



Figura 12 - Placas de circuito impresso após soldagem de componentes

### 3.7 SOFTWARES DO SISTEMA

Conforme já foi citado, o sistema utiliza três placas para realizar todas as tarefas, cada uma com seu microcontrolador dedicado. Para comandar e “gerenciar” o sistema, três *softwares* distintos foram desenvolvidos e gravados cada um no microcontrolador conveniente.

Todos os *softwares* foram feitos em linguagem C, utilizando para desenvolvimento o ambiente *MPLAB* integrado com o compilador de linguagem C para microcontroladores tipo PIC *CCS*.

Os *softwares* serão discutidos, em forma de algoritmo descritivo e fluxograma, conforme pode ser visto a seguir.

### **3.7.1 SOFTWARE DE MEDIÇÃO DE COMBUSTÍVEL**

Este *software*, gravado no microcontrolador da placa de medição de nível de combustível, é responsável por ler, através de um conversor analógico/digital (embutido no microcontrolador utilizado), o sinal de um transmissor de pressão e, com base no sinal, escalonar o nível de combustível do tanque em 8 níveis distintos.

Além disso, por se tratar de uma medição de vital importância para o piloto, foi implementada uma *breathing light*, ou seja, um LED responsável por piscar (a frequência de 2 Hz) caso a medição foi bem sucedida. Caso o LED pisque de forma anormal (não respeitando a frequência normal com que devia piscar, ou seja, 2 Hz), isto é um grande indicativo que o circuito de medição de combustível está com problemas e que o piloto não deve confiar mais na medição do nível de combustível. O uso desta *breathing light* se faz necessário pois, como o terreno ao qual o carro é submetido é altamente irregular, o risco de avarias no sensoramento ou placa de medição existe, então o piloto saberá se o sistema apresenta problemas ou não durante a corrida.

Por fim, sempre no início (ou *reset*) do microcontrolador, todos os LEDs da placa são acesos por 1 segundo. Isto tem como objetivo permitir ao piloto ver, ao ligar o sistema, se há algum LED danificado, o que é imediatamente reportado à equipe do box, que por sua vez providencia a substituição do LED defeituoso ou, em caso de maiores avarias, a placa inteira.

Na tabela 3 seguem detalhes técnicos sobre o software desenvolvido:

Tabela 3 - dados técnicos: *software* de medição de combustível

Parâmetro	Situação
Número de canais de conversores analógico/ digitais utilizados	1 canal
Número de bits utilizado na conversão analógico / digital	8 bits
Frequência de leitura do conversor analógico/digital	156250 Hz (1/64 do clock do microcontrolador)
Acionamento dos LEDs (escala de nível de combustível e <i>breathing light</i> )	Acionamento LED a LED (não multiplexado)

O algoritmo descritivo deste *software* se encontra a seguir:

1º passo: Setagem dos parâmetros de leitura do A/D (frequência de leitura, canal utilizado e bits utilizados na conversão analógico / digital)

2º passo: Acendimento de todos os LEDs

3º passo: Leitura do conversor analógico/digital (indiretamente, leitura do transmissor de pressão)

4º passo: Acender o número de LEDs correspondente ao nível de combustível lido (escalonar) e piscar *breathing light*. Este passo é repetido até o sistema ser desligado.

E, finalmente, o fluxograma deste *software* é dado pela Figura 13.

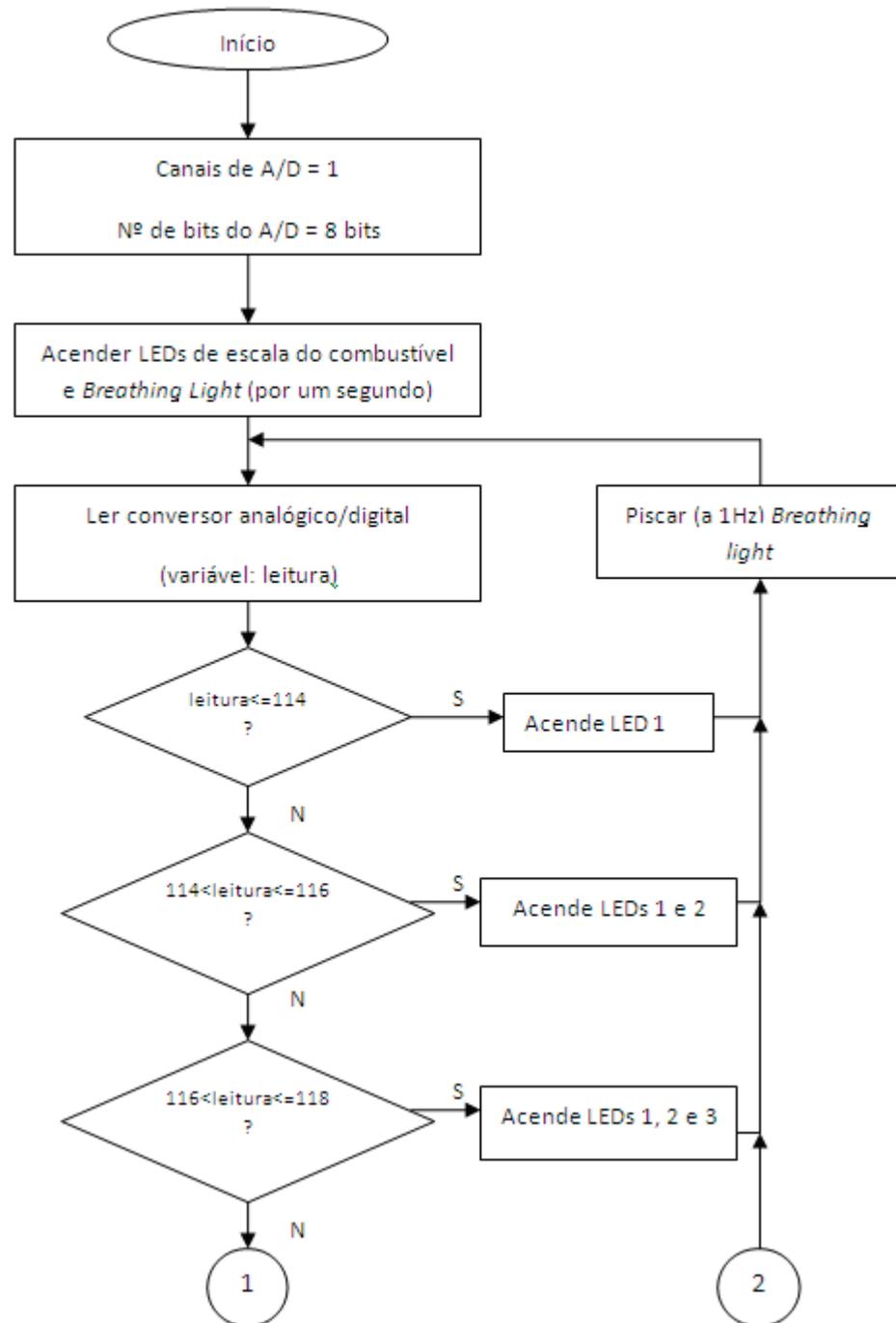


Figura 13 - Fluxograma do *software* responsável pela medição do nível de combustível

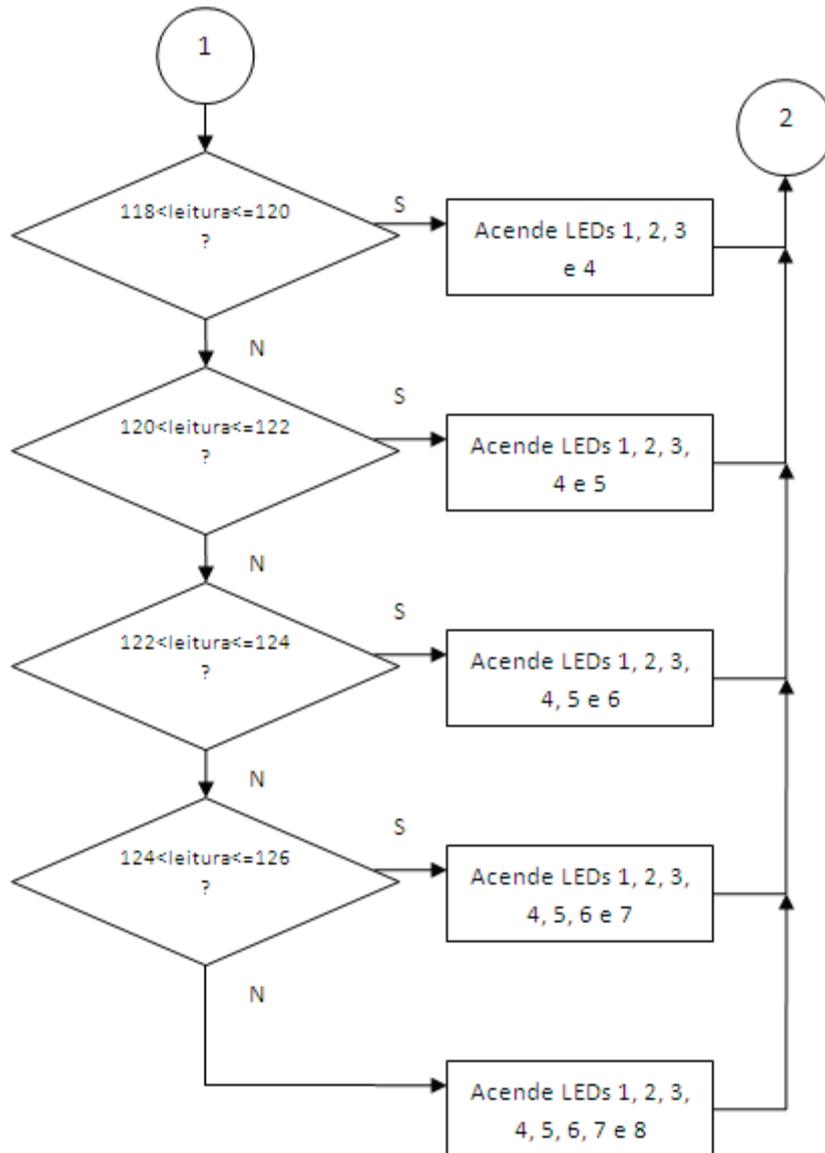


Figura 13 – (continuação) Fluxograma do *software* responsável pela medição do nível de combustível

### 3.7.2 SOFTWARE DE MEDIÇÃO DA VELOCIDADE

Este *software*, gravado no microcontrolador da placa de medição de velocidade é responsável por ler, através de um sensor indutivo de proximidade, pulsos com frequência proporcional à velocidade do veículo e, em posse dessa informação, calcular a velocidade do veículo, exibi-la em dois displays de sete segmentos e transmitir serialmente (RS-232) este dado para a placa de medição de rotação. Juntamente com este dado, é enviada para a placa de medição de rotação do motor a rotação da roda (calculada com base na velocidade), pois este dado é fundamental no cálculo da relação de transmissão do veículo (a ser realizado no microcontrolador da placa de medição de rotação do veículo).

Sempre no início (ou no caso de haver um *reset*) do microcontrolador, todos os LEDs do display de sete segmentos são acesos por 1 segundo. Isto tem como objetivo, conforme mencionado anteriormente, de verificar o funcionamento dos LEDs e providenciar a troca destes (caso necessário)

Na tabela 4 seguem detalhes técnicos sobre o *software* desenvolvido:

Tabela 4 - dados técnicos: *software* de medição de velocidade

Parâmetro	Situação
Transmissão serial utilizada	RS-232 simplex (placa de medição de velocidade para a placa de medição de rotação)
<i>Baudrate</i>	19200 bits/s
Método de leitura dos pulsos provenientes do sensor de proximidade indutivo	Interrupção externa (acionamento na borda de subida)
Modo de exibição da velocidade	Dois <i>displays</i> de sete segmentos anodo-comum de dimensões 69,7x47,8x12mm, com tensão de anodo igual a 7,5V.

O algoritmo descritivo deste *software* se encontra a seguir:

1º passo: Configuração da função chamada quando há detecção de borda de subida no pino de interrupção externa e habilitação da chamada de interrupção externa. Esta configuração consiste no incremento de uma variável de contagem de pulsos (variável global), variável esta zerada a cada reinício de ciclo do *software*.

2º passo: Acendimento de todos os LEDs do *display* de sete segmentos por um segundo.

3º passo: Leitura, por um segundo, dos pulsos gerados pelo sensor indutivo de proximidade.

4º passo: Cálculo da velocidade do veículo (que corresponde, considerando o tempo de espera de leitura dos pulsos, a exatamente o número de pulsos lidos) e rotação da roda.

5º passo: Exibição da velocidade calculada nos dois *displays* de sete segmentos.

6º passo: Envio para o microcontrolador da placa de medição de rotação do motor, de forma serial, da velocidade do veículo e da rotação da roda do mesmo.

E, finalmente, o fluxograma deste *software* é dado pela Figura 14.

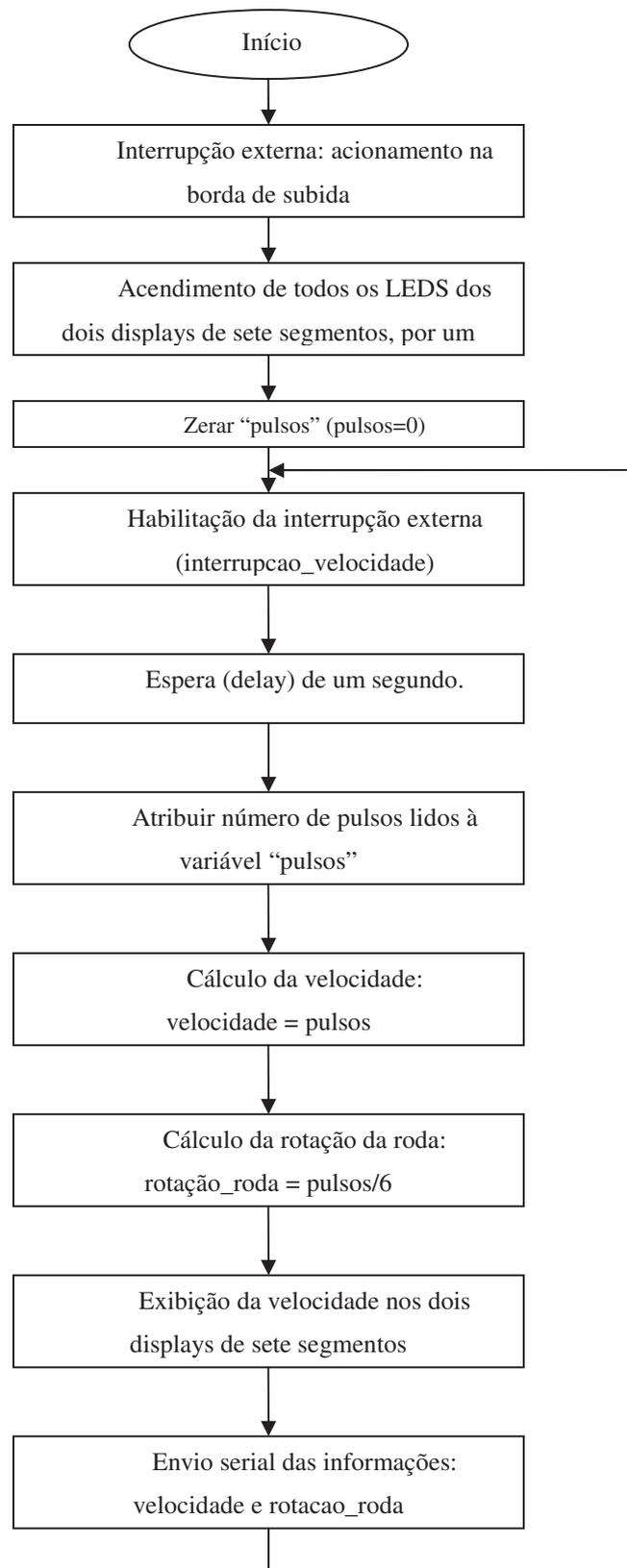


Figura 14 - Fluxograma do *software* responsável pela medição da velocidade do veículo

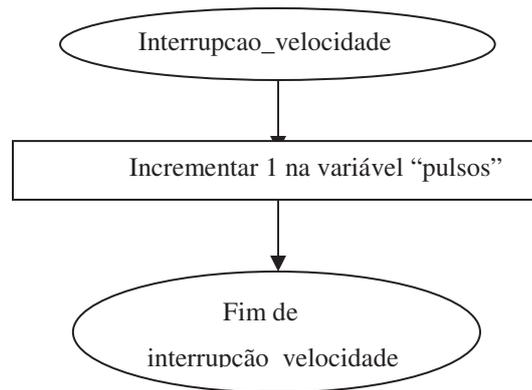


Figura 14 – (continuação) Fluxograma do *software* responsável pela medição da velocidade do veículo

### 3.7.3 SOFTWARE DE MEDIÇÃO DA ROTAÇÃO DO MOTOR

Este *software*, gravado no microcontrolador da placa de medição da rotação do motor, tensão da bateria e relação de transmissão é responsável por ler, a partir de um sensor de proximidade indutivo, pulsos elétricos (provenientes da rotação do motor) e, além disso, ler a tensão da bateria do veículo.

Além destas funcionalidades, esta placa ainda é capaz, a partir do recebimento serial da rotação da roda do veículo (enviada pelo microcontrolador da placa de medição velocidade), calcular e exibir a relação de transmissão instantânea do veículo.

A leitura da tensão da bateria é feita através da leitura da tensão em um divisor resistivo adequado. Esta leitura é feita por meio de um canal do conversor analógico / digital embutido no microcontrolador.

Todas as informações são exibidas num *display* LCD 16x2, com exceção da rotação que é exibida no display e numa barra de 8 LEDs (para leitura mais rápida do piloto durante as provas). Para fins de melhor visualização, a tensão da bateria é exibida com uma casa decimal apenas.

Para finalidade de teste, logo no início / *reset* todos os LEDs da barra de rotação são acesos e uma mensagem (que ocupa as duas linhas) é exibida no display (tudo isso durante um segundo). Com isso é possível verificar facilmente se há algum mal

contato entre os LEDs e a placa ou entre o display LCD e a placa, o que se constatado é reportado à equipe, que por sua vez providencia o reparo ou troca da placa.

Na tabela 5 seguem detalhes técnicos sobre o *software* desenvolvido:

Tabela 5 - dados técnicos: *software* de medição de rotação do motor, tensão de bateria e relação de transmissão

<b>Parâmetro</b>	<b>Situação</b>
Transmissão serial utilizada	RS-232 simplex (placa de medição de velocidade para a placa de medição de rotação)
<i>Baudrate</i>	19200 bits/s
Método de leitura dos pulsos provenientes do sensor de proximidade indutivo	Interrupção externa (acionamento na borda de subida)
Modo de exibição da rotação	<i>Display</i> LCD 16x2 (16 colunas e 2 linhas), com <i>backlight</i> permanentemente ativo e por meio de uma barra de 8 LEDs (acionados individualmente)
Modo de exibição da tensão na bateria	<i>Display</i> LCD 16x2 (16 colunas e 2 linhas), com <i>backlight</i> permanentemente ativo.
Modo de exibição da relação de transmissão instantânea	<i>Display</i> LCD 16x2 (16 colunas e 2 linhas), com <i>backlight</i> permanentemente ativo.
Número de canais de conversores analógico/ digitais utilizados	1 canal
Número de bits utilizado na conversão analógico / digital	8 bits
Frequência de leitura do conversor analógico/digital	156250 Hz (1/64 do <i>clock</i> do microcontrolador)
Método da medição da tensão na bateria	Através de um divisor resistivo a partir de um canal do conversor analógico digital

O algoritmo descritivo deste *software* se encontra a seguir:

1º passo: Configuração da função chamada quando há detecção de borda de subida no pino de interrupção externa e habilitação da chamada de interrupção externa. Esta configuração consiste no incremento de uma variável de contagem de pulsos (variável global), variável esta zerada a cada reinício de ciclo do software.

2º passo: Acendimento de todos os LEDs da barra de LEDs da rotação e exibição de mensagem no LCD (por um segundo).

3º passo: Leitura, por um segundo, dos pulsos gerados pelo sensor indutivo de proximidade.

4º passo: Faz-se os cálculos da rotação do motor com base na contagem dos pulsos do sensor indutivo de proximidade. Escalona-se também quantos LEDs da barra de LEDs de rotação irão acender (modo de escalonamento similar ao visto para a barra de LEDs da placa de medição de nível de combustível).

5º passo: Faz-se a leitura da tensão da bateria (por meio de um canal do conversor analógico / digital).

6º passo: Aguarda dado da rotação da roda (enviado pelo microcontrolador da placa de medição de velocidade) ser recebido e calcula-se a relação de transmissão.

7º passo: Exibir todas as informações no display LCD e barra de LEDs).

E, finalmente, o fluxograma deste *software* é dado pela Figura 15.

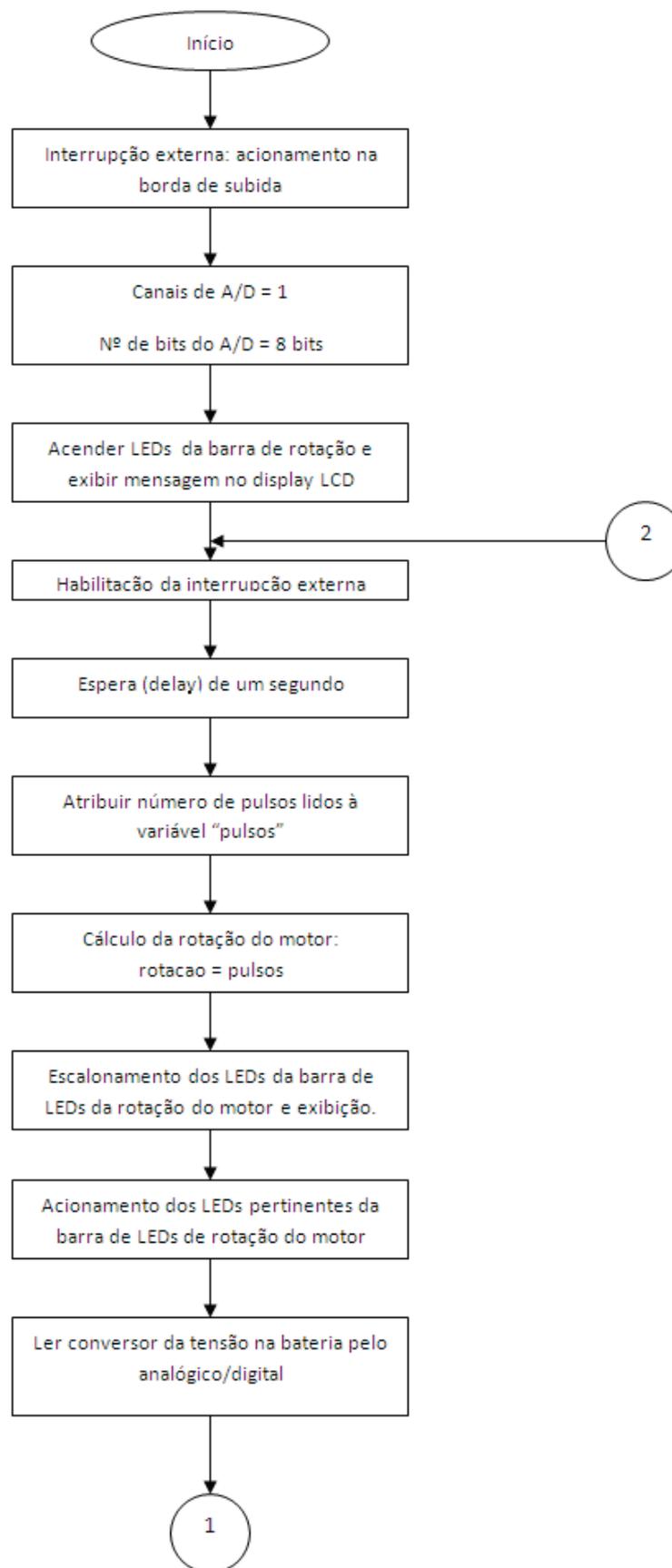


Figura 15 - Fluxograma do *software* responsável pela medição da rotação do motor, tensão na bateria e relação de transmissão instantânea

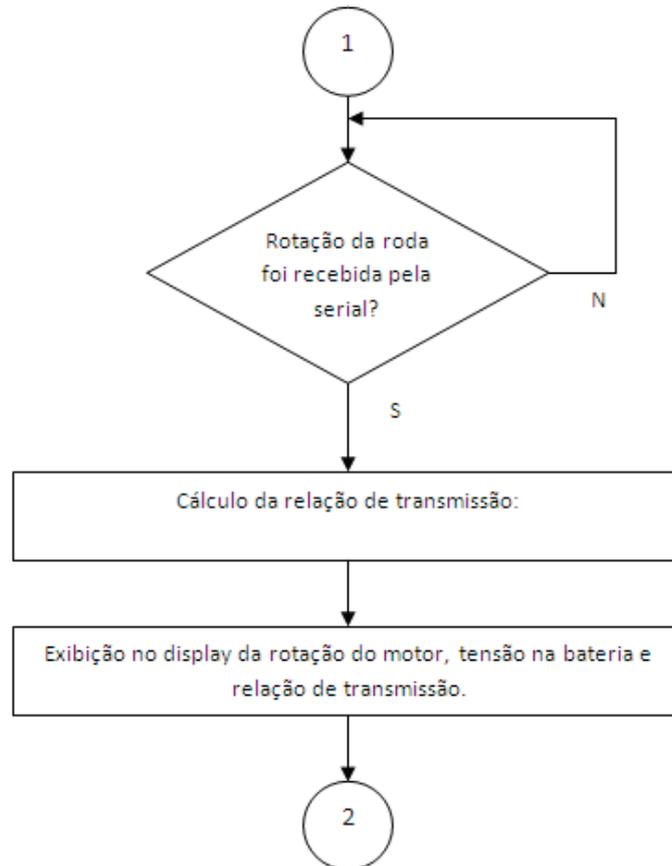


Figura 15 – (continuação) Fluxograma do *software* responsável pela medição da rotação do motor, tensão na bateria e relação de transmissão instantânea

### 3.8 VIABILIDADE ECONÔMICA

Um possível questionamento a ser feito sobre este sistema é: um computador de bordo não é algo incomum de se achar no mercado, então quais são as razões para se desenvolver um a partir do zero?

A resposta para isso é simples: para nós, estudantes de engenharia com recursos muito limitados, desenvolver um sistema a partir do zero é a solução que mais agrega valor acadêmico / conhecimento ao projeto do veículo (uma vez que a engenharia é exercida de fato pela equipe no projeto, tanto na parte elétrica quanto mecânica) e, por mais espantoso que possa parecer, é a solução mais barata.

Para se visualizar o quão barata é esta solução perante aos computadores de bordo semelhantes disponíveis no mercado, deve-se observar a tabela 6.

Tabela 6 - comparação: computador de bordo desenvolvido e computadores de bordo comerciais

Sistema / computador de bordo	Preço (excluindo sensores)
Computador de bordo “Piratas do Vale – Melpoejo”	R\$ 450,00
Alfano Astro LV	R\$ 2500,00
AIM Sports	R\$ 3000,00

É importante ressaltar que os preços dos sistemas comerciais referenciados são uma média de preço de mercado. Além disso, estes foram obtidos em sites de venda *on-line* (como, por exemplo, Mercado Livre e sites oficiais dos produtos e revenda autorizada, tais como <http://www.aimsports.com/> e <http://www.vkart.com.br>).

Nota-se que é gritante a economia que obtêm neste caso desenvolvendo o próprio computador de bordo. Outra informação importante e favorável a isso é que, mesmo incluindo os sensores no preço do computador de bordo desenvolvido (que totalizam um custo de R\$ 650,00), o sistema continua com custo muito inferior em relação ao seu semelhante comercial.

### 3.9 COMPROVAÇÃO DE ROBUSTEZ E EFICIÊNCIA

O sistema foi projetado para ser robusto o suficiente para suportar o ambiente hostil de uma competição *off-road* e ser, ao mesmo tempo, expansível. Isto realmente ocorreu, levando aos seguintes fatos:

- O sistema funcionou no veículo da equipe de Setembro/2010 até Agosto/2011, passando por três competições sem sofrer avarias. Somente foi substituído devido à implantação de um novo sistema que foi desenvolvido.
- O sistema, durante todo seu período de funcionamento, foi constantemente atualizado, adquirindo nove funções adicionais (em relação às originais descritas neste trabalho) sem mudanças na sua placa de circuito impresso

(sem a necessidade de se criar uma nova placa com novos componentes e novo roteamento).

- A apresentação sobre o sistema elétrico do Baja-SAE da equipe “Piratas do Vale – Melpoejo”, que tem como foco o computador de bordo aqui descrito, obteve a quarta colocação dentre trinta equipes na competição regional Sudeste de 2010. E no quesito “segurança e conforto” (quesito ao qual o computador de bordo influencia fortemente), contribuiu para a 7ª posição dentre 62 equipes na competição nacional de 2011.

## 4 Conclusão

Este trabalho relatou o projeto e desenvolvimento de um computador de bordo para um veículo tipo Baja-SAE da equipe “Piratas do Vale – Melpoejo”.

Objetivou-se com este trabalho estudar os conceitos relacionados à eletrônica embarcada – tais como microcontroladores, programação de microcontroladores e projeto de placas de circuito impresso profissionais para baixas frequências – e aquisição de dados – como, por exemplo, conversão de medições de grandezas analógicas em digitais e leitura de sensores pulsados e padrão 4-20mA.

Inicialmente, fez-se os circuitos esquemáticos (ainda em modo simulação, no software Proteus) e os softwares básicos (no software MPLAB integrado com o compilador CCS), o que levou à montagem de protótipos em protoboard, posterior debugação e, por fim, ao projeto de placas de circuito impresso profissionais.

Uma vez confeccionadas as placas de circuito impresso (devido ao patrocínio da CIRVALE Circuitos Impressos), o sistema foi montado no veículo e exaustivamente testado na universidade, onde seu software sofreu nova debugação. Em seguida, rumou para a competição, onde funcionou muito bem.

Até o fim de sua vida útil na equipe (Agosto/2011), o sistema provou sua expansibilidade, robustez e eficiência com bons resultados e o acréscimo de nove funções além das inicialmente previstas sem alteração alguma nas placas de circuito impresso.

Em suma, este trabalho mostrou o desenvolvimento de um computador de bordo para um veículo tipo Baja-SAE, a partir do qual foi possível se estudar e por em prática conceitos valiosos de eletrônica embarcada, sensoriamento e desenvolvimento de softwares para microcontroladores.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PEREIRA, F. **Microcontroladores PIC**: programação em C. São Paulo: Érica, 2008. 358p.

PEREIRA, F. **Microcontroladores PIC** - Técnicas avançadas. São Paulo: Érica, 2002. 360p.

LUIZ FRANÇA SENNE, E. **Primeiro curso de programação em C**. Florianópolis: Visual Books, 2006. 308p.

Normas da SAE-Brasil para competições BAJA-SAE.

Datasheet do microcontrolador Microchip PIC 16F877A, disponível em <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39582b.pdf>, com cópia feita em Julho/2009.

Apostila de Linguagem C do professor Ricardo W. Saad (CTIG – UNESP). Fonte: <http://www.feg.unesp.br/~saad/zip/Linc11.zip>, com cópia feita em Julho/2009.

Site oficial do computador de bordo AIM Sports: <http://www.aimsports.com/>  
Visitado em 08/08/2011.

Site de venda do computador de bordo Alfano Astro IV: <http://www.vkart.com.br>,  
Visitado em 08/08/2011.