

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTOS ACADÊMICOS DE ELETRÔNICA E MECÂNICA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM MECATRÔNICA INDUSTRIAL

IRON LUKAS TESSARO

**DESENVOLVIMENTO DE UM COMPUTADOR DE BORDO
PARA AUTOMÓVEIS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2013

IRON LUKAS TESSARO

**DESENVOLVIMENTO DE UM COMPUTADOR DE BORDO
PARA AUTOMÓVEIS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial, dos Departamentos Acadêmicos de Eletrônica e Mecânica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientadora: Prof^a. MSc. Simone Massulini Acosta

CURITIBA
2013

TERMO DE APROVAÇÃO

IRON LUKAS TESSARO

DESENVOLVIMENTO DE UM COMPUTADOR DE BORDO PARA AUTOMÓVEIS

Este trabalho de conclusão de curso foi apresentado no dia 05 de novembro de 2013, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Mecatrônica Industrial, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Milton Luiz Polli
Coordenador de Curso
Departamento Acadêmico de Mecânica

Prof. Esp. Sérgio Moribe
Responsável pela Atividade de Trabalho de Conclusão de Curso
Departamento Acadêmico de Eletrônica

BANCA EXAMINADORA

Prof. MSc. Anderson Levati Amoroso
UTFPR

Prof. Dr. Sérgio Leandro Stebel
UTFPR

Prof^a. MSc. Simone Massulini Acosta
Orientadora – UTFPR

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

RESUMO

TESSARO, Iron Lukas. **Desenvolvimento de um computador de bordo para automóveis**. 2013. 83 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial), Departamentos Acadêmicos de Eletrônica e Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

Nesse trabalho foi desenvolvido um computador de bordo para automóveis, através de dados e informações sobre os equipamentos e instrumentos utilizados em automóveis, sendo esse um sistema integrado, incluindo os principais instrumentos de um automóvel, com rápidas taxas de atualização das informações e correção das mesmas, quando aplicável. No sistema desenvolvido estão presentes os instrumentos velocímetro, tacômetro, odômetro parcial, indicador de volume de combustível, indicador de autonomia e de economia de combustível. O sistema apresenta também dois equipamentos inexistentes nos automóveis atualmente: um monitor de fusíveis e um dinamômetro de bordo. O computador de bordo desenvolvido apresenta uma interface homem-máquina para configurações locais e a opção de comunicação externa com um computador convencional. Como resultado desse trabalho obteve-se um equipamento de baixo custo que pode ser utilizado por proprietários de automóveis, profissionais ou amadores em automobilismo.

Palavras-chave: Automóvel. Computador de bordo. Dinamômetro de bordo. Comunicação com Computador.

ABSTRACT

TESSARO, Iron Lukas. **Development of an onboard computer for automobiles.** 2013. 83 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial), Departamentos Acadêmicos de Eletrônica e Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

In this work was developed an onboard computer system for automobiles, through the data and information about the equipments and instruments used in automobiles, which is an integrated system including the main instruments of an automobile, with quick refresh rates and correction of the information, when applicable. In the developed system are present the following instruments: speedometer, tachometer, odometer, fuel-volume indicator, fuel-economy and fuel-autonomy indicators. The system introduces two pieces of equipment nonexistent in automobiles nowadays: a fuses monitor and an onboard dynamometer. It introduces a human-machine interface for local configuration and the option of external communication between the onboard computer and a conventional PC. This work results in a low-cost equipment which can be used by automobiles owners, motoring professionals and amateurs.

Keywords: Automobile. Onboard Computer. Onboard Dynamometer. Computer Communication.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tacômetro digital.....	15
Figura 2 - Velocímetro digital.....	16
Figura 3 - Odômetro digital.....	17
Figura 4 - Indicador de volume de combustível.....	18
Figura 5 - Indicador de autonomia e economia	19
Figura 6 - Caixa de fusíveis do automóvel GM Chevrolet Astra GL	20
Figura 7 - Dinamômetro de corrente contínua.....	22
Figura 8 - Diagrama em blocos do microcontrolador.....	24
Figura 9 - Diagrama de Pinos PIC16F877A.....	24
Figura 10 - Exemplo de programa em LabVIEW.....	27
Figura 11 - Etapas de desenvolvimento do projeto	28
Figura 12 - Cálculo da distância percorrida (odômetro parcial)	29
Figura 13 - Interrupção externa	32
Figura 14 - Circuito regulador de tensão	33
Figura 15 - <i>Trim pots</i> de regulagem de referencial dos conversores A/D	33
Figura 16 - Gráfico da tensão do sensor do tanque pelo volume de combustível.....	34
Figura 17 - Aproximação por funções de primeira ordem e valores medidos de V do sensor do tanque pelo volume de combustível	35
Figura 18 - Função para o cálculo do volume de combustível	36
Figura 19 - Cálculo de frequência de rotação do motor	38
Figura 20 - Cálculo da velocidade.....	40
Figura 21 - Cálculo da economia de combustível.....	42
Figura 22 - Cálculo de autonomia de combustível	42
Figura 23 - Módulo de detecção de rompimento de fusível.....	44
Figura 24 - Matriz de monitoramento dos fusíveis.....	44
Figura 25 - Varredura dos fusíveis	45
Figura 26 - Matriz de identificação dos fusíveis para o automóvel de testes	46
Figura 27 - Módulo de detecção de rompimento de fusível - caso especial.....	47
Figura 28 - Matriz de monitoramento dos fusíveis - placa desenvolvida	47
Figura 29 - Gabinete final da matriz de monitoramento dos fusíveis.....	47
Figura 30 - Cálculo de aceleração instantânea	49
Figura 31 - Cálculo do torque instantâneo	50
Figura 32 - Cálculo da potência instantânea	51
Figura 33 - Função de auxílio para comunicação serial	52
Figura 34 - <i>Hardware</i> para comunicação serial.....	53
Figura 35 - Cabo e circuito de comunicação USART/USB.....	53
Figura 36 - Programa desenvolvido em LabVIEW	54
Figura 37 - Interface homem-máquina	55
Figura 38 - Conexões do teclado com o microcontrolador	56
Figura 39 - Conexões do <i>display</i>	57
Figura 40 - Módulo do sensor óptico TCST 1103.....	58
Figura 41 - Roda dentada do sensor do volante do motor	59
Figura 42 - Conjunto da roda dentada do <i>encoder</i> da roda traseira.....	59
Figura 43 - Cabo <i>flat</i> , conector <i>lch</i> e conector <i>header</i> com trava	60
Figura 44 - Conexões dos circuitos com o cabo geral.....	61
Figura 45 - Conexão do sensor do tanque de combustível	61
Figura 46 - Conexões do <i>encoder</i> da roda traseira	62
Figura 47 - Conexão do <i>encoder</i> da roda traseira (geral)	62

Figura 48 - Conexões sob o capô	63
Figura 49 - Cabo geral	63
Figura 50 - Legenda das figuras 45, 46, 47, 48 e 49	63
Figura 51 - <i>Encoder</i> da roda traseira.....	64
Figura 52 - Odômetro parcial final.....	65
Figura 53 - Indicador de volume de combustível final	67
Figura 54 - Tacômetro final	67
Figura 55 - Velocímetro final	68
Figura 56 - Indicadores de autonomia e economia finais	69
Figura 57 - Monitor de fusíveis final	70
Figura 58 - Valores máximos de torque e de potência do dinamômetro de bordo	70
Figura 59 - Curvas de torque e potência do automóvel de testes	72
Figura 60 - Curvas de torque e potencia do dinamômetro de bordo	73
Figura 61 - Curvas de torque e potencia no sistema de supervisão.....	73
Figura 62 - Projeto desenvolvido.....	74

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
1.1 PROBLEMA.....	9
1.2 JUSTIFICATIVA.....	11
1.3 OBJETIVOS.....	13
1.3.1 Objetivo Geral.....	13
1.3.2 Objetivos Específicos.....	13
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	11
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1 TACÔMETRO.....	15
2.2 VELOCÍMETRO.....	16
2.3 ODÔMETRO PARCIAL	17
2.4 INDICADORES DE COMBUSTÍVEL, ECONOMIA E AUTONOMIA	17
2.5 FUSÍVEIS	20
2.6 DINAMÔMETRO.....	21
2.7 MICROCONTROLADORES PIC	23
2.8 LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO C	25
2.9 LABVIEW	26
3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	28
3.1 PRIMEIRA ETAPA.....	29
3.1.1 Odômetro Parcial.....	29
3.1.2 Indicador de Volume de Combustível	32
3.2 SEGUNDA ETAPA	36
3.2.1 Tacômetro.....	37
3.2.2 Velocímetro.....	38
3.2.3 Indicador de Economia	41
3.2.4 Indicador de Autonomia	42
3.3 TERCEIRA ETAPA	43
3.3.1 Monitor de Fusíveis	43
3.3.2 Dinamômetro de Bordo.....	48
3.3.3 Interface de Comunicação com Computador.....	52
3.3.4 Interface Homem-Máquina	55
3.4 QUARTA E QUINTA ETAPAS	57
3.4.1 Sensores.....	58
3.4.2 Cabeamento	60
4 TESTES E RESULTADOS	64
4.1 ODÔMETRO PARCIAL	65
4.2 INDICADOR DE VOLUME DE COMBUSTÍVEL	66
4.3 TACÔMETRO.....	67
4.4 VELOCÍMETRO.....	68
4.6 INDICADOR DE AUTONOMIA E INDICADOR DE ECONOMIA	68
4.7 MONITOR DE FUSÍVEIS.....	69
4.8 DINAMÔMETRO DE BORDO.....	70
5 CONCLUSÃO	75
REFERÊNCIAS	77
APÊNDICE A - Custos dos Componentes do Projeto.....	80
APÊNDICE B - Dados Coletados do Tanque de Combustível.....	81

1 INTRODUÇÃO

Segundo Cerqueira (2012), num tempo em que é possível abrir seu computador portátil para acessar a internet de dentro de um automóvel em movimento, num tempo em que se pode contar com sofisticados sistemas de navegação numa tela sensível ao toque, num tempo em que os sistemas integrados de telefonia são operados por comando de voz, pode parecer desnecessário abordar sobre o já bastante utilizado computador de bordo de automóveis.

O termo computador de bordo de automóveis tornou-se obsoleto, da mesma forma que a denominação “piloto automático”, que é o sistema que mantém o automóvel numa velocidade determinada pelo motorista, frente ao sistema atual denominado de controle de cruzeiro adaptativo, que é capaz de diminuir e acelerar o automóvel de acordo com o automóvel da frente. Mas, no dia a dia, é fácil perceber que o computador de bordo pode ser um importante aliado do motorista, apresentando informações relevantes, tais como o consumo, e que podem inclusive revelar algum problema com o automóvel (CERQUEIRA, 2012).

Alguns exemplos de informações apresentadas por um computador de bordo de automóveis e suas utilizações são (CERQUEIRA, 2012):

- Consumo Instantâneo: Provavelmente é a função mais importante do computador de bordo. Mais que informar o consumo instantâneo (em km/l), essa função é um verdadeiro estímulo para dirigir com mais eficiência. Acompanhando a variação do consumo instantâneo, pode-se constatar que rotações mais baixas do motor resultam em economia de combustível. Em trechos de descida de serra é melhor optar por uma terceira marcha do que usar a quinta marcha e “segurar” o automóvel no freio, pois resulta em redução do consumo de combustível e menor utilização do sistema de freios.
- Consumo Médio: A vantagem que o motorista pode tirar dessa função está na economia no consumo de combustível. Com a informação de consumo médio consegue-se avaliar, com mais facilidade, quanto um automóvel *flex* está consumindo quando utiliza o etanol e, num próximo tanque, quando utiliza a gasolina, permitindo a análise de qual combustível é mais adequado financeiramente. A informação do consumo médio é alterada significativamente

se o automóvel estiver com algum problema no sistema de injeção de combustível.

- **Odômetro Parcial:** Esse instrumento é responsável pelo registro da quilometragem, podendo ser zerado sempre que desejado. Os proprietários de automóveis que não possuem as funções de consumo médio podem zerar o odômetro parcial e realizar o cálculo do consumo médio.
- **Autonomia:** Disponibiliza a informação sobre quantos quilômetros o automóvel ainda pode rodar com o combustível que resta no tanque.

O presente trabalho consiste no desenvolvimento de um computador de bordo para automóveis que inclui, além das funções convencionais desse tipo de equipamento, um dinamômetro de bordo e algumas funções adicionais como um monitor de fusíveis.

O dinamômetro (ou *dyno*) é um aparelho destinado a medir a rotação e o torque produzidos pelo motor. Esse aparelho apresenta as informações do torque e da potência em função da rotação do motor, sendo essas variáveis úteis no desenvolvimento e na preparação de motores, bem como para a obtenção das perdas por atrito da transmissão de potência até as rodas (VAMAG, 2013).

Segundo o fabricante Vamag (2013), os dinamômetros são sistemas de diagnóstico computadorizado para as medições de torque e de potência desenvolvidos por um automóvel em marcha. Essa empresa possui um modelo de dinamômetro que é referência para o mercado denominado *Dyno Race*, que possui como características principais: potência máxima por eixo de 402 HP (*horsepower*), velocidade máxima de 300 km/h, torque máximo por eixo de 1.500 N.m, peso total por eixo de 1.100 kg, consumo de 6 kW e preço médio de € 250.000 (VAMAG, 2013). Tem-se que 1 HP é equivalente a 746 watts (BRIAN, 2000).

1.1 PROBLEMA

Apesar dos avanços gerados pela incorporação de sistemas eletrônicos, os instrumentos dos automóveis que atualmente estão em circulação ainda possuem algumas limitações, tais como a taxa de atualização das informações, os erros apresentados pelas mesmas e a ausência de sistemas de detecção de falhas.

Podem-se citar como exemplos os indicadores de velocidade e de rotação do motor que são tão lentos para atualizar as informações que tornam a tarefa de fixar um valor de velocidade ou rotação impossível. Outro exemplo é o indicador de combustível que indica como volume de combustível o nível do mesmo no tanque, indicando valores iguais para um mesmo nível de combustível independente do formato do tanque, resultando em cálculos de autonomia e de economia errôneos, pois são baseados em sensores do tipo boia e não é realizada a correção do formato do tanque, já que o mesmo raramente possui uma geometria na qual a relação altura/volume é proporcional (NICE, 2001a).

Nesse mesmo grupo de instrumentos com limitações pode-se citar novamente o velocímetro e incluir o odômetro (indicador de distância percorrida). Segundo Nice (2001a), como base para o cálculo do espaço percorrido esses instrumentos utilizam o número de rotações do pneu, obtido através de sensores, multiplicado pelo perímetro do pneu. Um detalhe a ser observado é que um mesmo automóvel pode utilizar vários diâmetros diferentes de aros de rodas e de pneus. Nesse caso, a informação do diâmetro para o cálculo do perímetro do pneu deve ser alterada, sendo necessário o ajuste de todo o sistema cada vez que algum desses dois diâmetros seja alterado. Isso representa custos adicionais para esse ajuste e, caso não seja realizado, resultará em medições erradas, visto que os proprietários dos automóveis podem trocar os pneus por outros de mesmo diâmetro de aro, mas com diâmetros do pneu diferentes, e não realizar os ajustes necessários.

Dos instrumentos que estão ausentes nos automóveis, pode-se citar como exemplo o detector de fusíveis rompidos. Normalmente os fusíveis possuem difícil acesso e difícil detecção de problemas, pois é necessária a retirada dos mesmos para a observação. Sem o manual do automóvel para a verificação de qual sistema elétrico os mesmos pertencem, torna-se um trabalho difícil descobrir qual fusível está rompido ou se realmente algum está rompido.

Como um sistema à parte dos demais, pode-se citar o dinamômetro, conjunto de equipamentos que exigem uma sala adequada para instalação devido às dimensões dos mesmos, que possui dois fatores de suma importância: o consumo de energia e o preço, tanto para compra quanto para locação (VAMAG, 2013).

1.2 JUSTIFICATIVA

Nesse trabalho foi desenvolvido um computador de bordo para automóveis que possui os seguintes instrumentos: tacômetro, velocímetro, odômetro parcial, indicador de volume de combustível, indicador de autonomia e de economia de combustível, dinamômetro integrado, monitor de fusíveis e interface homem-máquina (IHM) para que o próprio usuário possa fazer os ajustes, quando necessários. Todos esses instrumentos foram colocados num único equipamento de fácil manuseio, que resolve as deficiências apresentadas pelos já existentes nos automóveis e incorpora mais funcionalidades.

O público alvo deste trabalho abrange os proprietários de automóveis, pois para todos os tipos de usuários (leigos ou não em mecânica automotiva) existe pelo menos um instrumento que atenda as suas necessidades ou possua algum diferencial em relação ao instrumento já existente em seu automóvel. Como exemplos de instrumentos para leigos em mecânica automotiva podem-se citar o velocímetro, que possui como diferencial a taxa de atualização mais rápida em relação aos velocímetros digitais originais de fábrica, e os indicadores de combustível, de autonomia e de economia que influenciam diretamente nos custos relativos ao consumo de combustível do automóvel.

Para os amadores de mecânica automotiva, além dos instrumentos citados anteriormente, podem ser úteis o monitor de fusíveis, que torna fácil a detecção dos fusíveis rompidos sem a necessidade de instrumentos auxiliares como multímetros, e o dinamômetro integrado, que ao final dos testes indica o torque e a potência máxima do motor e em que rotação esses ocorreram. A informação de potência máxima pode ser comparada com a indicada no manual do automóvel, podendo revelar algum problema no mesmo caso os valores diverjam.

O computador de bordo também conta com uma IHM onde pode ser ajustado e corrigido o valor do diâmetro dos pneus para, por exemplo, a correção dessas informações quando necessário.

Para as pessoas que trabalham na área automotiva, tais como mecânicos, preparadores de automóveis para competição e engenheiros, a utilização de dinamômetros para os testes de desempenho do automóvel acontece frequentemente. Isto os obriga a adquirir ou alugar dinamômetros, sendo elevados

os custos envolvidos. O dinamômetro integrado proposto nesse trabalho torna as informações de torque e potência mais acessíveis para esses profissionais, sendo que o sistema possui comunicação via porta USB, permitindo trabalhar com os dados em um *laptop* dentro do próprio automóvel, sem a necessidade de montá-lo em uma bancada de testes numa oficina.

O Quadro 1 apresenta a comparação das principais características dos instrumentos propostos nesse trabalho em relação aos instrumentos existentes comercialmente.

Instrumento	Existente Comercialmente	Proposto
Tacômetro Digital	Instalação somente em automóveis com motores à combustão interna, com número de cilindros padrão (1, 2, 4, 5, 6, 8); Taxa de atualização dependente da taxa de ignições das velas (RACETRONIX, 2013).	Possibilidade de instalação em qualquer automóvel, tanto elétrico quanto à combustão sem limitações pelo número de cilindros no último; Taxa de atualização fixa de 100 milissegundos; Faixa de trabalho de 0 a 99.999 rpm.
Velocímetro Digital	Velocidade máxima indicada de 500 km/h; Taxa de atualização de 500 milissegundos (GUSTER, 2013).	Velocidade máxima indicada de 999 km/h; Taxa de atualização de 100 milissegundos.
Odômetro Parcial Digital	Incerteza de medição de ± 100 metros; Taxa de atualização de 500 milissegundos (GUSTER, 2013).	Incerteza de medição de ± 1 metro; Taxa de atualização de 100 milissegundos.
Indicador de Volume de Combustível Digital	Indicação apenas do nível de combustível e não do volume do mesmo (INTELLITRONIX, 2013).	Indicação do volume de combustível com correção de contorno do tanque.
Indicador de Economia de Combustível	Calculado a partir da relação de quilômetros por litro de combustível. Como a leitura de combustível é feita pelo indicador de volume de combustível digital, o cálculo sempre é inexato.	Utilizando o indicador de volume de combustível digital e o odômetro parcial digital desenvolvidos, ambos com boas exatidões, apresenta a informação com valores muito próximos do real.
Indicador de Autonomia de Combustível	Idem ao indicador de economia, com a diferença de indicar quanto espaço ainda pode ser percorrido antes de acabar o combustível.	Idem ao indicador de economia utiliza dois instrumentos desenvolvidos para realizar os cálculos de autonomia.
Monitor de Fusíveis	Inexistente no mercado.	Detecção pontual de rompimento de fusíveis.
Dinamômetro	Potência máxima por eixo de 402 HP; Torque máximo por eixo de 1.500 N.m; Peso total por eixo de 1.100 kg Medição analógica de precisão; Medição de consumo específico; (VAMAG, 2013).	Potência máxima ilimitada; Torque máximo ilimitado; Peso máximo de 9.999 kg; Limitação das medições pelos sensores.

Quadro 1 - Principais características dos instrumentos propostos e existentes comercialmente
Fonte: Autoria própria.

Conforme Apêndice A, considerando somente a aquisição dos componentes, o computador de bordo desenvolvido nesse trabalho custou R\$ 184,83. Para fins de comparação, somente o painel de indicação do velocímetro, tacômetro, odômetro parcial e medidor de nível de combustível do modelo C3 da Citroën custa aproximadamente R\$ 200,00, não incluindo sensores e cabos (CITRÖEN, 2013).

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver um computador de bordo para automóveis contendo tacômetro, velocímetro, odômetro parcial, indicador de volume de combustível, indicador de autonomia e de economia de combustível, monitor de fusíveis e dinamômetro de bordo, comunicação via porta USB, integrados em um painel com interface homem-máquina.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver um tacômetro automobilístico digital;
- Desenvolver um velocímetro digital;
- Desenvolver um odômetro parcial digital;
- Desenvolver um indicador de volume de combustível digital, utilizando a correção do formato do tanque;
- Desenvolver um indicador de autonomia e de economia de combustível;
- Desenvolver um monitor de fusíveis digital;
- Desenvolver um dinamômetro de bordo com comunicação via porta USB;
- Integrar os instrumentos em um painel principal com interface homem-máquina (IHM);
- Realizar testes do computador de bordo desenvolvido em um automóvel.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O Capítulo 1 apresenta o contexto do projeto, a área de desenvolvimento da pesquisa, assim como o problema a ser resolvido, a justificativa para a execução e os objetivos a serem alcançados com o desenvolvimento do projeto.

O Capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica necessária para a realização do projeto, contendo informações sobre os equipamentos que fazem parte do computador de bordo de automóveis, bem como a explanação de alguns itens do automóvel utilizado para os testes.

No Capítulo 3 é apresentado o desenvolvimento do projeto. Inicia-se com o desenvolvimento dos equipamentos de base até chegar à integração do sistema.

O Capítulo 4 descreve os testes e os resultados obtidos, indicando as vantagens e limitações do projeto, destacando os principais resultados obtidos.

O Capítulo 5 apresenta a conclusão do projeto, bem como as melhorias futuras que podem ser implementadas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 TACÔMETRO

Segundo Judge (2002), o tacômetro é um instrumento utilizado para medir a velocidade angular de um eixo rotativo. Os automóveis atuais, que possuem motores que trabalham pelo ciclo de Otto, utilizam o chamado tacômetro de impulso, que se baseia nos impulsos elétricos que ocorrem quando o disjuntor do sistema de ignição interrompe o circuito de baixa tensão. Tratando-se do tacômetro *Smith*, contam-se os pulsos por meio de um circuito eletrônico contido no instrumento, que por sua vez controla a corrente elétrica enviada para um galvanômetro onde está preso o ponteiro. No caso do instrumento digital, o sinal é microprocessado e mostrado em um *display*, como apresentado na Figura 1. A escala do mostrador é graduada de 0 a 8.000 rotações por minuto (rpm). A exatidão do tacômetro não é afetada pelas variações do tempo de amostragem do motor, pelos intervalos das velas de ignição ou pelos intervalos do disjuntor do sistema de ignição.



Figura 1 - Tacômetro digital
Fonte: Racetronix (2013).

Para automóveis que utilizam motores a combustão que trabalham em ciclos diferentes do ciclo de Otto, como o diesel e carros elétricos, o sistema de medição dos pulsos varia (JUDGE, 2002).

2.2 VELOCÍMETRO

Harris (2007) apresenta que a função do velocímetro é indicar a velocidade do automóvel em milhas por hora, quilômetros por hora ou ambos. Mesmo nos modelos de automóveis mais novos é um dispositivo analógico que utiliza uma agulha para indicar uma velocidade específica que o motorista lê em um mostrador analógico.

Um velocímetro eletrônico recebe os dados de um *vehicle speed sensor* (VSS) e não de um cabo de acionamento, como acontece em um velocímetro por funcionamento de correntes de *Foucault*.

O VSS é montado no eixo de saída de transmissão ou no virabrequim e consiste de um disco metálico dentado e de um detector estacionário que cobre a bobina magnética. À medida que os dentes movem-se pela bobina, eles interrompem o campo magnético, criando uma série de pulsos que são enviados a um computador. Para cada 40.000 pulsos do VSS, os odômetros incrementam cerca de 1,6 km. A velocidade também é determinada a partir da frequência de pulsos de entrada.

Os circuitos eletrônicos no automóvel são desenvolvidos para exibir a velocidade tanto em um *display* digital quanto em um típico sistema analógico com uma agulha e um mostrador. A Figura 2 apresenta um velocímetro digital (GUSTER, 2013).

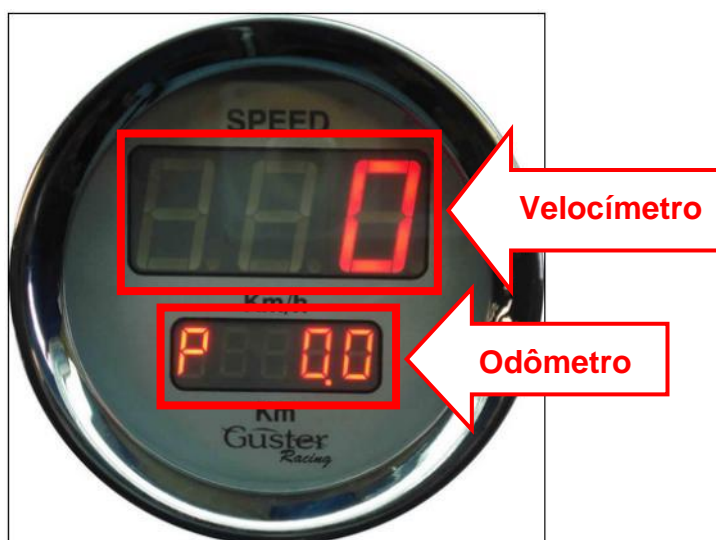


Figura 2 - Velocímetro digital
Fonte: Guster (2013).

2.3 ODÔMETRO PARCIAL

Segundo Nice (2001b), odômetros são instrumentos utilizados para medir as distâncias percorridas. A maioria dos automóveis modernos utiliza uma roda dentada montada na saída de transmissão e um sensor magnético utilizado para contar os pulsos resultantes. Alguns automóveis utilizam rodas dentadas e um acoplador óptico, com um mecanismo similar ao de um *mouse* de computador. O computador de bordo do automóvel obtém, então, a distância que o automóvel se desloca a cada pulso e a usa para atualizar a leitura do *display* do odômetro. A Figura 3 apresenta um odômetro digital.



Figura 3 - Odômetro digital
Fonte: Nice (2001b).

Um dos pontos mais interessantes sobre os odômetros dos automóveis é a maneira como a informação é transmitida ao painel de instrumentos. No lugar de um cabo girando e transmitindo o sinal de distância (como acontece nos odômetros mecânicos) essa é transmitida, junto com muitos outros dados, através de um único cabo de barramento de comunicação da unidade de controle do motor ao painel de instrumentos.

2.4 INDICADORES DE COMBUSTÍVEL, ECONOMIA E AUTONOMIA

Conforme Nice (2001c), o maior empecilho para o aumento da quilometragem do tanque de combustível do automóvel é o medidor de gasolina que indica que o tanque possui menos combustível do que realmente possui. Este instrumento é impreciso podendo indicar tanque "vazio" quando ainda existem vários litros de combustível e tanque "cheio" mesmo depois de 100 km rodados.

O módulo do sensor do tipo boia está localizado no tanque de combustível do automóvel e consiste em uma boia, normalmente feita de um tipo de espuma plástica, conectada a uma fina haste metálica. A base da haste é montada em uma resistência elétrica variável, sendo que quanto maior for o valor da resistência elétrica, menor será a corrente. Um mostrador de nível de combustível e o sistema do sensor do tipo boia são apresentados na Figura 4.

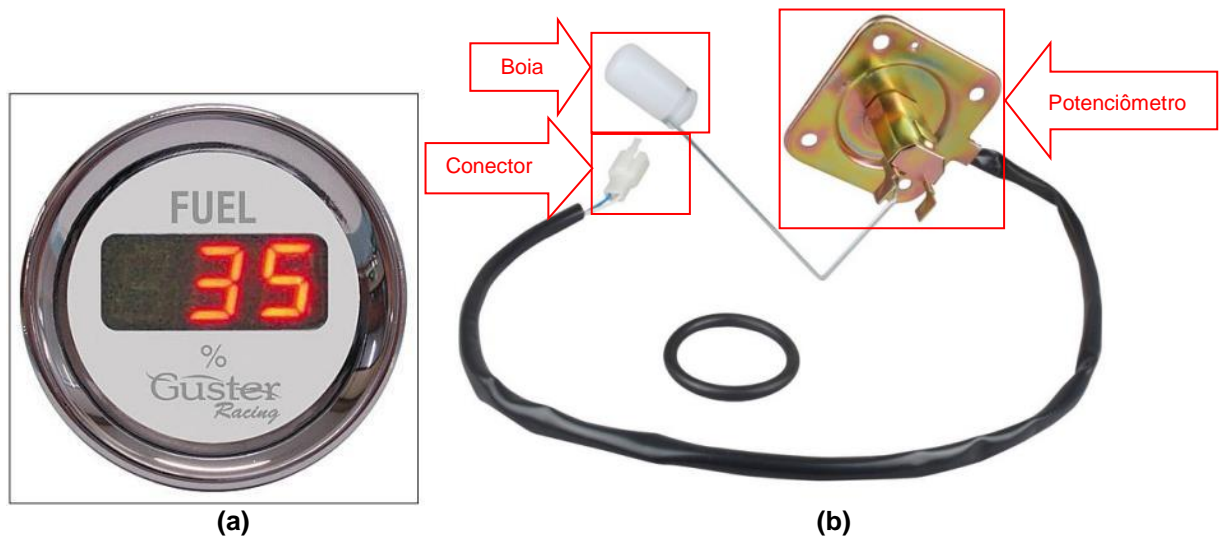


Figura 4 - Indicador de volume de combustível
(a) Mostrador de nível de combustível digital, (b) Sensor do tipo boia
 Fonte: Guster (2013).

Em um tanque de combustível, o resistor consiste em uma faixa de material metálico com uma das extremidades aterrada na carcaça do automóvel. Um contato deslizante conectado ao medidor (que é um galvanômetro para o medidor analógico e um conversor A/D para o medidor digital) desliza sobre essa faixa metálica. Se o contato deslizante estiver próximo a extremidade aterrada da faixa metálica, a resistência será menor e se o contato deslizante estiver na outra extremidade da faixa metálica, a resistência será maior (NICE, 2001c).

Quando a boia está perto da parte alta do tanque, o contato deslizante da resistência variável permanece perto da extremidade aterrada, o que significa que a resistência é pequena e uma quantidade relativamente grande de corrente passa através do módulo do sensor em direção ao marcador do painel. Quando o nível do tanque está baixo, a boia desce deslizando o contato e aumentando o valor da resistência e a quantidade de corrente enviada ao medidor diminui.

Este mecanismo é uma das razões da imprecisão do indicador de volume de combustível, pois tende a ficar na posição relativa ao tanque cheio por algum tempo após o abastecimento. Com o tanque nessa situação a boia está em sua posição mais alta, sendo a movimentação vertical da boia limitada pela haste onde está conectada ou pelo topo do tanque de combustível. Isto significa que a boia está submersa e não afundará até que o nível do tanque atinja a base da boia. O ponteiro do indicador de volume de combustível não se deslocará até que a boia comece a se deslocar para baixo (NICE, 2001c).

Algo similar acontece quando a boia se aproxima do fundo do tanque, pois a extensão do movimento da boia não chega realmente até o fundo do tanque. Por isso, na maioria dos automóveis quando o marcador indica tanque vazio ainda existe combustível.

Outra causa da imprecisão da indicação do volume de combustível é o formato do tanque de combustível. Os tanques de combustível dos automóveis novos são feitos de plástico, moldados para serem encaixados em espaços muito apertados e entre as peças do chassi. Isso significa que quando a boia alcança a metade do tanque, dependendo do seu formato, pode haver mais ou menos combustível que a metade de combustível restante no tanque.

Os sistemas de indicação de economia e de autonomia, apresentados na Figura 5, utilizam as medidas de quantidade de combustível no tanque e da distância percorrida pelo automóvel. O indicador de economia apresenta quantos quilômetros o automóvel percorre com um litro de combustível, podendo as medidas serem instantâneas ou médias. O indicador de autonomia utiliza o cálculo da economia e o multiplica pela quantidade de combustível ainda presente no tanque indicando, assim, qual a distância que ainda se pode percorrer antes do combustível se esgotar (NICE, 2001c).



Figura 5 - Indicador de autonomia e economia
Fonte: Nice (2001c).

2.5 FUSÍVEIS

Nice (2001d) explica que a principal função de um fusível é proteger os circuitos a que está ligado e a fiação. Os fusíveis devem possuir características e localização adequadas para proteger o circuito em que estão conectados. Caso um dispositivo drene uma corrente excessiva, o fusível que o protege será queimado, abrindo-o.

A maioria dos automóveis possui dois painéis de fusíveis:

- Um no compartimento do motor, que comporta os fusíveis para dispositivos como ventoinhas, bomba do freio antitravamento (ABS) e unidade de controle do motor; e
- Um localizado normalmente no painel de instrumentos próximo aos joelhos do motorista e que comporta os fusíveis para os dispositivos e interruptores localizados nos compartimentos dos passageiros, como mostrado na Figura 6.



Figura 6 - Caixa de fusíveis do automóvel GM Chevrolet Astra GL
Fonte: Autoria própria.

O elemento condutor no interior do fusível é feito de um metal similar ao estanho. As dimensões desse elemento condutor são calculadas para que, quando a corrente estabelecida for atingida, calor suficiente seja gerado para derretê-lo, protegendo o circuito. Quando um fusível queima deve ser substituído por outro de mesmo valor para que o circuito volte a funcionar (NICE, 2001d).

A maneira utilizada para examinar um fusível é retirá-lo de seu receptáculo e conectar seus dois terminais a um verificador de continuidade. Se isso for feito enquanto o fusível estiver encaixado na placa, poderá haver continuidade por um caminho que não seja o fusível. Normalmente, é possível verificar se um fusível está queimado somente observando o elemento condutor.

2.6 DINAMÔMETRO

Segundo Oliveira (1997), o dinamômetro (também denominado *dyno*) é um equipamento destinado a determinar o torque e a potência efetiva de um motor de combustão interna. Basicamente se compõe de um rotor e de um estator com um elemento de acoplamento entre eles, que pode ser um fluido (água) ou um fluxo elétrico, sendo chamado de dinamômetro hidráulico ou dinamômetro elétrico, respectivamente.

O dinamômetro hidráulico é utilizado para altas potências, tanto para altas como baixas rotações, sendo composto por uma carcaça que possui internamente um rotor com vários alvéolos semielípticos, de frente para igual número de alvéolos semelhantes na face interna da carcaça. A água (fluido) passa através dos furos existentes nos alvéolos da carcaça, atingindo os do rotor. A força centrífuga originada pelo movimento de rotação do rotor imprime movimento à água, forçando-a de volta aos alvéolos da carcaça. Este movimento, altamente turbulento, será mantido enquanto o rotor girar. A potência do motor sob prova é absorvida pelo escoamento contínuo de água através do dinamômetro. A absorção de energia se manifesta pelo aumento de temperatura da água, que deve estar disponível em quantidade suficiente para absorver a potência máxima (OLIVEIRA, 1997).

O dinamômetro elétrico pode ser de dois tipos, o de correntes parasitas e o de corrente contínua. O dinamômetro de correntes parasitas possui um rotor em

forma de uma engrenagem, sendo feito de material de alta permeabilidade magnética, e esse mesmo material é usado para os dois anéis solidários ao estator, separados do rotor por um pequeno espaço. No centro do rotor existe uma bobina alimentada por corrente contínua. Quando ligada, a bobina gera um campo magnético que é concentrado nos dentes do rotor e quando esse gira, são geradas correntes parasitas nos anéis, que com isso se aquecem. O calor gerado é absorvido pelo estator e retirado deste por um adequado sistema de resfriamento à água. Este dinamômetro pode ser regulado pela intensidade da corrente que passa pela bobina (OLIVEIRA, 1997).

O dinamômetro de corrente contínua é, dependendo da necessidade, um gerador ou um motor elétrico. A sua carcaça é suspensa em rolamentos coaxiais. O campo magnético deste dinamômetro é de excitação independente. Variando-se a alimentação do campo ou do rotor, consegue-se ampla gama de velocidades e potências absorvidas. A variação da ação do freio é feita por um reostato (OLIVEIRA, 1997). A Figura 7 mostra um dinamômetro de corrente contínua.

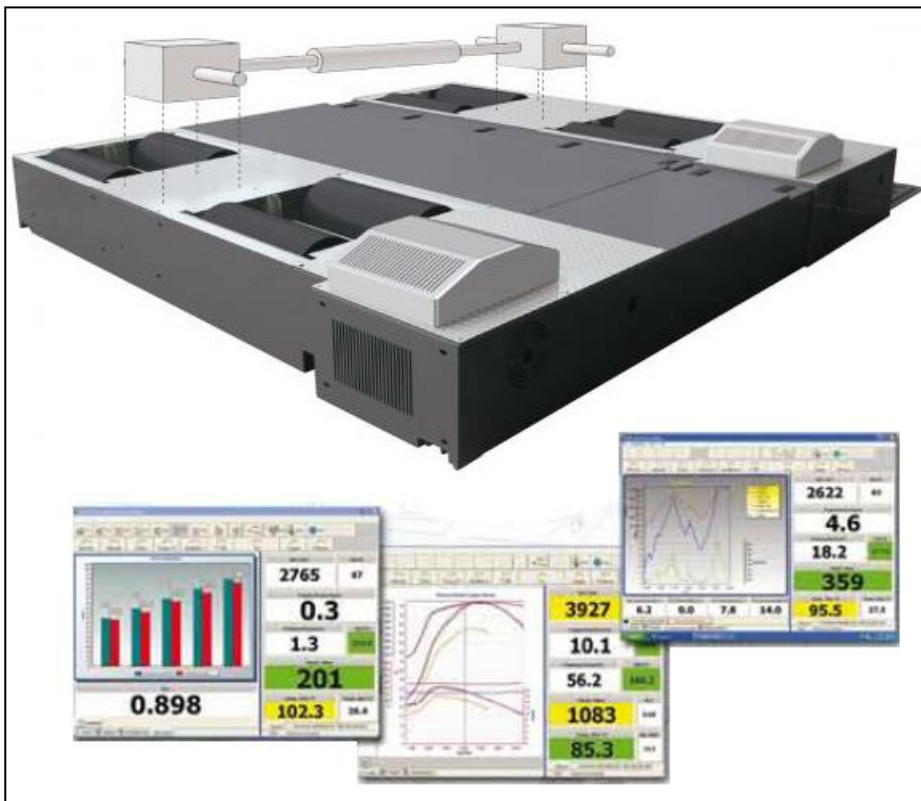


Figura 7 - Dinamômetro de corrente contínua
 Fonte: VAMAG (2013).

2.7 MICROCONTROLADORES PIC

Segundo Denardin (2012), um microcontrolador é um sistema computacional completo, onde estão incluídos uma Unidade Central de Processamento (CPU, *Central Processing Unit*), memória de dados e programa, um sistema de *clock*, portas de entrada/saída (I/O, *Input/Output*), além de outros possíveis periféricos, tais como módulos de temporização e conversores A/D, integrados em um mesmo componente.

Os microcontroladores PIC (*Peripheral Interface Controller*, Interface Controladora de Periféricos) são fabricados pela empresa Microchip® (MICROCHIP, 2003) e podem ser utilizados para a programação lógica em processos, recebendo em suas entradas sinais de sensores, chaves, botões, teclados entre outros, controlando dispositivos externos e apresentando os resultados em *leds* e *displays* de sete segmentos ou de cristal líquido. Assim, o controle lógico do microcontrolador depende da interação com os periféricos de entrada e/ou saída (SOUZA, 2000).

Toda a lógica programada é gravada na memória de programa integrada ao microcontrolador, sendo executada toda vez que o componente for alimentado e devidamente associado a um oscilador (gerador de funções, cristal ou ressonador) de acordo com a frequência escolhida como relógio (*clock*) (SOUZA, 2003; ZANCO, 2005).

As operações lógicas e matemáticas são executadas pela Unidade Lógica Aritmética (ULA), que está diretamente relacionada à capacidade de processar informações. A ULA está contida na CPU, que é composta ainda pela Unidade de Instrução e Controle (UIC) e pela rede de registradores. Além da memória de programa não-volátil existe a memória de dados volátil (RAM, *Random Access Memory*, memória de acesso randômico) no microcontrolador, sendo utilizada para armazenar todas as variáveis e registradores utilizados pelo programa. O diagrama em blocos de um microcontrolador é apresentado na Figura 8 (SOUZA, 2003; ZANCO, 2005).

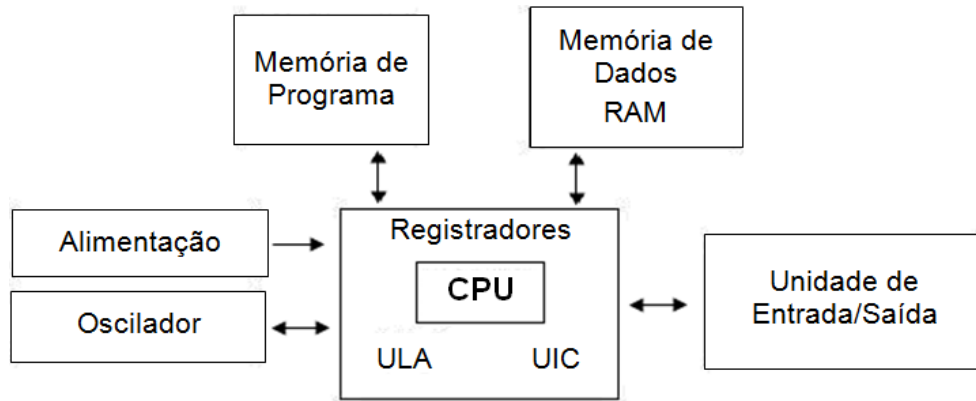


Figura 8 - Diagrama em blocos do microcontrolador
 Fonte: Autoria própria.

O microcontrolador utilizado nesse projeto foi o PIC 16F877A, pois possui todas as funcionalidades necessárias para o desenvolvimento do mesmo e possui um preço acessível. A Figura 9 apresenta o diagrama de pinos do microcontrolador PIC 16F877A (MICROCHIP, 2003).

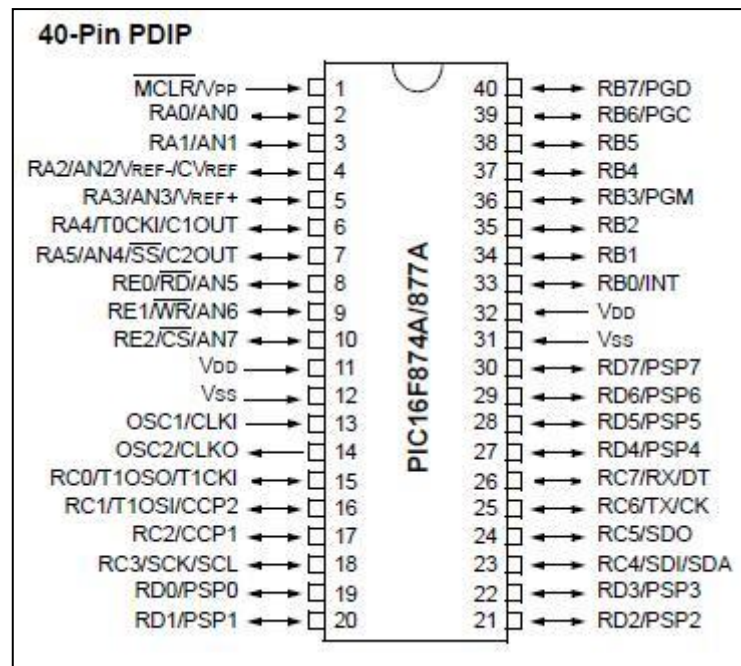


Figura 9 - Diagrama de Pinos PIC16F877A
 Fonte: Microchip (2003).

Na Figura 9, em Vdd (pinos 11 e 32) e Vss (pinos 12 e 31) tem-se a alimentação positiva e negativa, respectivamente. Nos pinos 13 e 14 tem-se a entrada e saída de *clock* do cristal oscilador. O pino 1 pode ser utilizado como entrada quando tem-se o objetivo de *reset*, sendo ativado em nível lógico baixo. As

portas de entrada e saída R_A , R_B , R_C , R_D e R_E , além de serem utilizadas como I/O possuem outras funções, como por exemplo (MICROCHIP, 2003):

- em R_A tem-se quatro entradas analógicas e tensões de referência para conversão analógico-digital ou comparadores;
- em R_B , interrupção externa ou *In-Circuit Serial Programming (ICSP)* que serve para programar o PIC direto no circuito cujo PIC será utilizado;
- em R_C , tem-se duas saídas PWM, *timer*, *Serial Peripheral Interface (SPI)*, que pode fazer interface com outro microcontrolador, por exemplo, ou a *Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (USART)* que pode ser utilizada para comunicação RS-232;
- em R_D , tem-se uma porta paralela escrava que pode ser usada para fazer interface com o barramento de um microprocessador; e
- em R_E , que tem mais três entradas analógicas para o conversor analógico digital, ou sinais de controle de leitura e escrita para a porta paralela citada anteriormente.

2.8 LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO C

Com a necessidade da criação de funções mais complexas nos microcontroladores, os programas realizados em linguagem *Assembly* ficam muito extensos, complexos e com fluxo muitas vezes difícil de ser seguido. Após a criação de várias linguagens de alto nível surge a linguagem C que é tão rápida quanto a *Assembly* e tão estruturada quanto outras linguagens de alto nível (PEREIRA, 2003).

Segundo Dornelles (1997), a linguagem C é uma linguagem de alto nível genérica, é estruturalmente simples e de grande portabilidade. O compilador C gera códigos mais enxutos e velozes do que muitas outras linguagens. Embora estruturalmente simples (poucas funções intrínsecas) o C não perde funcionalidade pois permite a inclusão de uma farta quantidade de rotinas do usuário.

Por se tratar de uma linguagem de grande aceitação, em 1983 o instituto Norte-Americano de Padrões (ANSI) criou um comitê a fim de padronizá-la. Em 1990, a linguagem C passou a ser adotada como padrão internacional sendo conhecida como padrão ANSI-C (RICARTE, 2013).

Entre todas as linguagens de programação, a linguagem C apresenta a curva de aprendizado mais elevada, possibilita a criação de aplicações de forma extremamente rápida e é viável para técnicas de programação de forma estruturada (SÁ, 2005).

A linguagem C foi escolhida para a programação de microcontroladores PIC pois a mesma possui eficiência em seus compiladores, tornando o código gerado mais rápido e menor para se programar (PEREIRA, 2003).

O compilador C utilizado no presente trabalho foi o MikroC da empresa MikroElektronika® (MIKROELEKTRONIKA, 2013).

2.9 LABVIEW

O *LabVIEW* (*Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench*) é uma linguagem de programação gráfica que utiliza ícones para criar aplicações, em vez de linhas de texto. Em contraste com as linguagens de programação baseadas em texto, em que instruções determinam a execução do programa, o *LabVIEW* utiliza programação baseada em fluxo de dados, onde o fluxo dos dados determina a execução (NATIONAL, 2001).

O nome *LabVIEW* designa o ambiente de desenvolvimento e a linguagem de programação visual denomina-se G (de *Graphics*). O programa no *LabVIEW* é feito na forma de um diagrama de blocos. O programa visual criado com esses blocos é compilado e executado dentro do ambiente *LabVIEW*, que também oferece mecanismos para detectar, rastrear e diagnosticar erros de programação. Os programas desenvolvidos em *LabVIEW* são chamados de instrumentos virtuais (*VIs*, *Virtual Instruments*) (REGAZZI, 2005).

Os *VIs* contêm três componentes principais: o Painel Frontal, o Diagrama de Bloco e o painel de ícones e conectores. A interface de usuário de um programa *LabVIEW* é conhecida como Painel frontal, possuindo os controles (entradas do *VI*) e os indicadores (saídas do *VI*). Então, o código é adicionado utilizando representações gráficas de funções para controlar os objetos do Painel Frontal. O Diagrama de Bloco contém esse código executável (NATIONAL, 2001).

O *LabVIEW* torna simples a implementação de sistemas que englobem aquisição de dados e processamento de sinais, controle de instrumentos, automatização de sistemas de testes e validação e sistemas embarcados de monitoramento e controle (NATIONAL, 2013).

A Figura 10 apresenta um exemplo de programa em *LabVIEW*, com o Painel Frontal e o Diagrama de Blocos (REGAZZI, 2005).

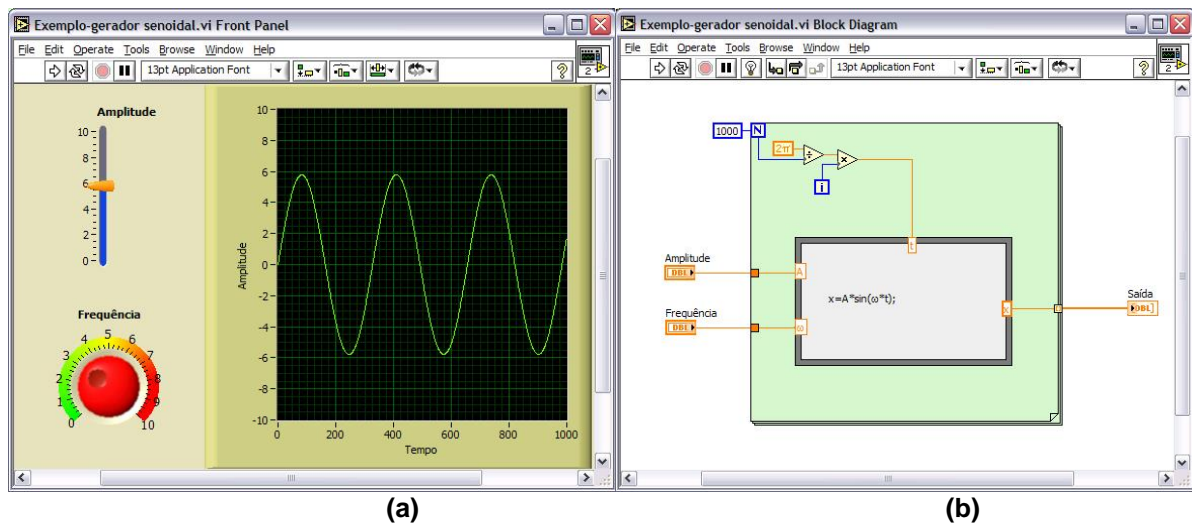


Figura 10 - Exemplo de programa em LabVIEW
 (a) Painel Frontal, (b) Diagrama de Blocos
 Fonte: Regazzi (2005).

3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

As etapas de desenvolvimento do projeto estão apresentadas na Figura 11. Esse capítulo compreende as etapas 1ª à 5ª, enquanto a 6ª e a 7ª etapas são apresentadas nos Capítulos 4 e 5, respectivamente.

O automóvel de testes utilizado nesse trabalho foi o GM Chevrolet Astra GL ano 1999.

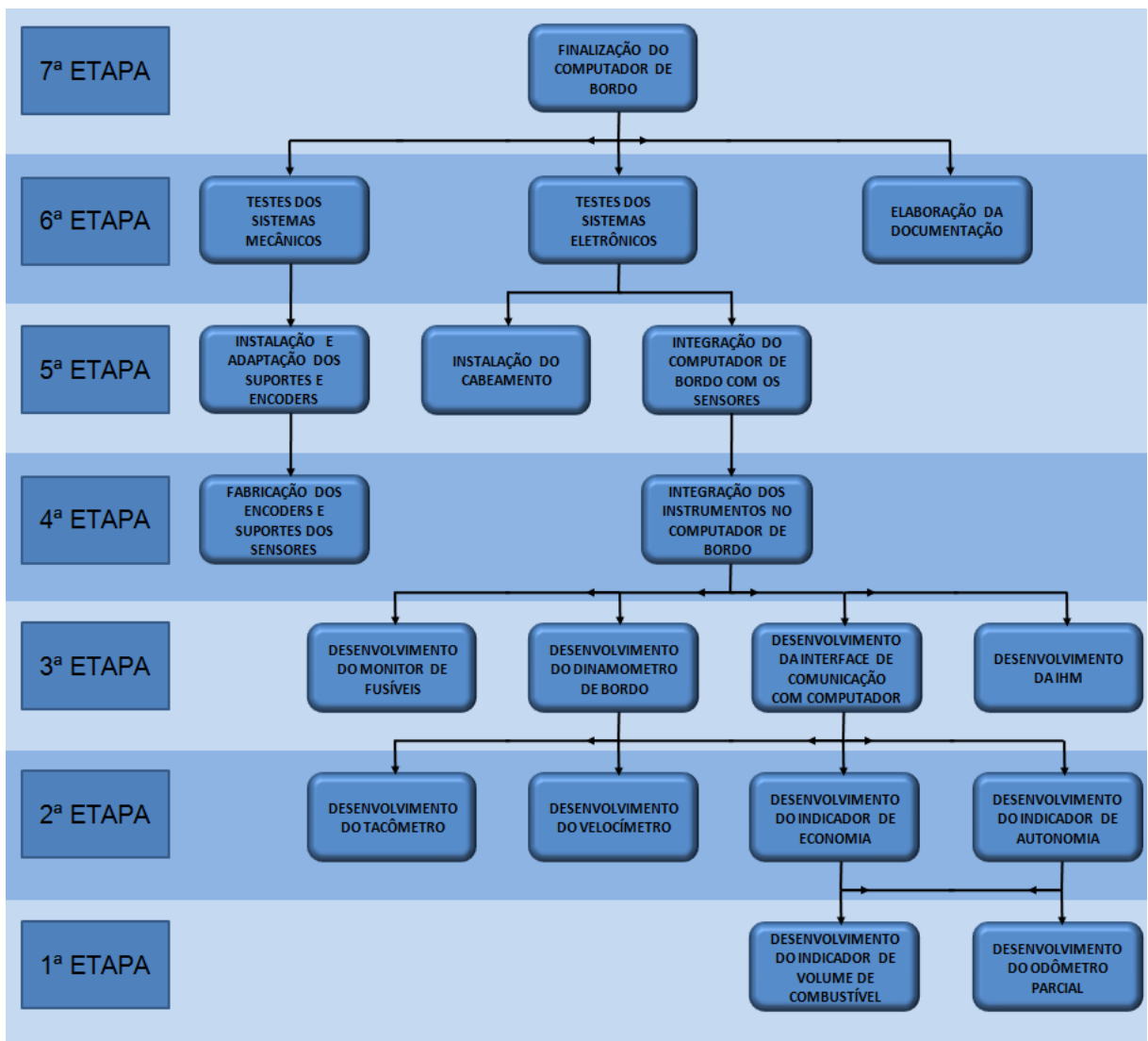


Figura 11 - Etapas de desenvolvimento do projeto
Fonte: Autoria própria.

3.1 PRIMEIRA ETAPA

A primeira etapa compreende o desenvolvimento do odômetro parcial e do indicador de volume de combustível.

3.1.1 Odômetro Parcial

Os odômetros são utilizados para medir as distâncias percorridas, conforme apresentado na seção 2.3.

Utilizando as informações enviadas pelo *encoder* instalado na roda traseira do automóvel de testes, o microcontrolador conta os pulsos recebidos em um intervalo de tempo de 100 ms, definido no *timer* interno do mesmo. Com o número de pulsos e a informação do diâmetro do pneu é calculado o deslocamento do pneu como sendo igual a distância percorrida pelo automóvel, dado pela equação (1).

$$\Delta S(t) = \frac{P(t) * D * \pi}{1000 * E} \quad (1)$$

Onde: $\Delta S(t)$ – distância percorrida, em metro;
 $P(t)$ – número de pulsos totais coletados desde o instante em que o equipamento é ligado até o instante t ;
 D – diâmetro do pneu, em milímetro;
 E – resolução do *encoder*, em pulso/rotação.

A Figura 12 apresenta o trecho do código-fonte no microcontrolador que representa a equação (1), precedido por comentário (após símbolos //).

```
//odometro(m)=Pulsos Totais/Resolução do Encoder*PI*Diâmetro do Pneu(mm)/1000;
odo=pulse/ENCODER*3927/1250*tire/1000;
```

Figura 12 - Cálculo da distância percorrida (odômetro parcial)
Fonte: Autoria própria.

As variáveis “odo”, “pulse”, “ENCODER” e “tire” da Figura 12 correspondem respectivamente a $\Delta S(t)$, $P(t)$, E e D da equação (1).

A constante π do código-fonte da Figura 12 é representado por uma divisão de dois números inteiros devido à problemas de otimização do uso da memória de acesso randômico (*random access memory*, RAM) do microcontrolador. Como a constante π é um número irracional seria necessário o uso de uma variável do tipo ponto flutuante, que ocupa um espaço maior na RAM do que os dois números inteiros utilizados. Realizando a operação “3927/1250” obtém-se o valor de 3,1416.

A sequência com que os termos aparecem no trecho do código-fonte também foi organizada, pois os cálculos são feitos da esquerda para a direita e, a cada operação, são armazenados na variável “odo”. Essa variável foi declarada como sendo do tipo *unsigned long int*, que pode comportar valores inteiros de 0 à 4.294.967.295 (CRUZ, 1997), um número aparentemente grande exceto pelo fato de que são realizados cálculos com unidades como milímetros e segundos, e que a única variável da equação (1) é o número total de pulsos coletados, pois o diâmetro do pneu é definido apenas na configuração inicial do equipamento.

Por exemplo, se a ordem dos fatores da equação (1) fosse alterada para o número de pulsos vezes 3.927 vezes o diâmetro do pneu (D), como apresentado na equação (2), o valor máximo que a variável “pulse” poderia assumir, para que os valores pudessem ser mantidos na variável “odo”, seria:

$$P'_{max}(t) = \frac{4.294.967.295}{3.927 * D} = \frac{1.093.701}{D} \quad (2)$$

Onde: $P'_{max}(t)$ – número máximo de pulsos totais coletados desde o instante em que o equipamento é ligado até o instante t, para a seguinte ordem dos fatores: nº pulsos x 3927 x D, em pulso;

D – diâmetro do pneu, em milímetro.

Considerando o diâmetro de aproximadamente 575 mm de um pneu comum, modelo 175/70 R13, o valor máximo de pulsos obtido pela equação (2) é de 1.902 pulsos. Como a resolução do *encoder* utilizado é de 120 pulsos/rotação, isso significa que se a ordem dos fatores apresentada na equação (2) fosse utilizada, em aproximadamente 18 rotações da roda traseira a contagem dos pulsos faria com que a variável “odo” extrapolasse o valor máximo permitido para seu tipo, permitindo que o odômetro parcial marcasse somente até, aproximadamente, 28 metros.

Levando em consideração que as informações são mostradas no *display* do instrumento em centenas de metros, não seria possível nem detectar a variação de valores no instrumento.

Da maneira como os fatores da equação (1) foram colocados no código-fonte, Figura 12, o número máximo de pulsos que podem ser contados, equação (3), é de 4.294.967.295, pois a variável “pulse” também é do tipo *unsigned long int* sendo capaz de armazenar o máximo de valores que seu tipo permite. Considerando os mesmos dados do exemplo anterior (pneu com diâmetro de 575 mm, *encoder* com 120 pulsos/rotação e o número de pulsos com o valor máximo comportado) obtém-se que a distância máxima, dada através da equação (1), que pode ser mostrada pelo odômetro parcial é de 64.654.290 metros.

$$P_{max}(t) = \frac{4.294.967.295 * E * 1250}{3.927 * D} = \frac{1.367.127.354 * E}{D} \quad (3)$$

Onde: $P_{max}(t)$ – número máximo de pulsos totais coletados desde o instante em que o equipamento é ligado até o instante t, para a ordem dos fatores da Figura 12, em pulso;

D – diâmetro do pneu, em milímetro;

E – resolução do *encoder*, em pulso/rotação.

O indicador do odômetro parcial foi programado para mostrar valores de 0 a 9.999,9 km (limitado pelo tamanho da variável). Porém, através do código-fonte apresentado na Figura 12 verifica-se que se pode expandir esse valor dependendo do diâmetro do pneu utilizado.

Como citado anteriormente, a única variável no trecho do código-fonte da Figura 12 é o número total de pulsos coletados ($P(t)$). Nesse caso, a resolução no cálculo do odômetro parcial pode ser descrita pela equação (4).

$$R = \frac{D * \pi}{1000 * E} \quad (4)$$

Onde: R – resolução do odômetro parcial, em milímetro/pulso;

D – diâmetro do pneu, em milímetro;

E – resolução do *encoder*, em pulso/rotação.

Ainda considerando o exemplo do pneu modelo 175/70 R13 (aproximadamente 575 milímetros de diâmetro) e a resolução do *encoder* utilizado no projeto (120 pulsos/rotação), a resolução do odômetro parcial é de aproximadamente 15 milímetros por pulso do sensor. Como a variável “odo”, Figura 12, armazena os valores em metros, não é possível ler esse valor até que a variável “pulse” some 1000 pulsos, momento em que o valor da resolução do odômetro parcial é confirmado.

Devido ao microcontrolador detectar os pulsos do sensor através de interrupção externa, como apresentado no trecho do código-fonte da Figura 13, o odômetro parcial funciona durante todo o tempo em que o computador de bordo está ligado, independente de que opção da interface o usuário tenha selecionado. Isso permite que ocorra a atualização em tempo real do sistema. Caso o usuário esteja com um valor errado de diâmetro de pneu configurado no sistema, ele pode atualizá-lo fazendo com que os cálculos utilizados para a determinação da distância sejam atualizados.

```

//Tratamento da Interrupção Externa:

void interrupt()                               //Função sem retorno de valor;
{
    if(INTCON.INTF==1)                         //Se a flag de interrupção externa for acionada:
    {
        pulse++;                               //Incremente o contador de pulsos;
        INTCON.INTF=0;                         //Zere a flag de interrupção externa;
    }
}

```

Figura 13 - Interrupção externa
Fonte: A autoria própria.

3.1.2 Indicador de Volume de Combustível

Utilizando o sinal recebido pelo sensor do tipo boia original do tanque de combustível do automóvel de testes, o microcontrolador realiza uma conversão analógica/digital (A/D) para calcular o volume de combustível no tanque. O sinal enviado pelo sensor do tipo boia varia de +6,503 V até +1,503 V, sendo esses sinais relativos ao tanque vazio e ao tanque cheio, respectivamente.

O conversor A/D do microcontrolador utiliza como padrões de referência os valores de *ground* (GND) e a tensão de alimentação (VCC). Como o valor de tensão máximo enviado pelo sensor do tipo boia é de +6,503 V, foi utilizado um regulador de tensão de 6,8 V para fornecer essa tensão de alimentação ao microcontrolador. Esse circuito utiliza um diodo zener (1N4736A), um transistor (TIP41C) na configuração *darlington* e um resistor (1 kΩ/¼ W), como mostrado na Figura 14. Esse valor de tensão (6,8 V) é o mínimo exigido para poder utilizar a referência de 6,5 V e trabalhar em toda a faixa do sensor tipo boia (MICROCHIP, 2003).

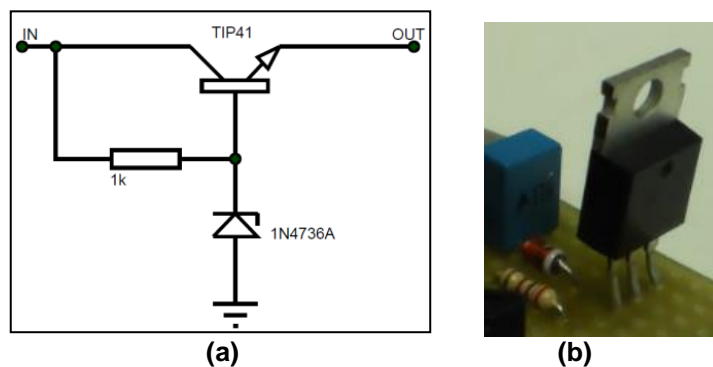


Figura 14 - Circuito regulador de tensão
 (a) Diagrama esquemático, (b) Placa do circuito
 Fonte: Autoria própria.

Com a tensão de alimentação do microcontrolador em 6,8 V é possível ajustar o referencial dos conversores A/D para a faixa exigida pelo sensor do tanque. Foram usados dois *trimpots* para fazer o ajuste dos referenciais superior e inferior dos conversores A/D, como mostrado na Figura 15.

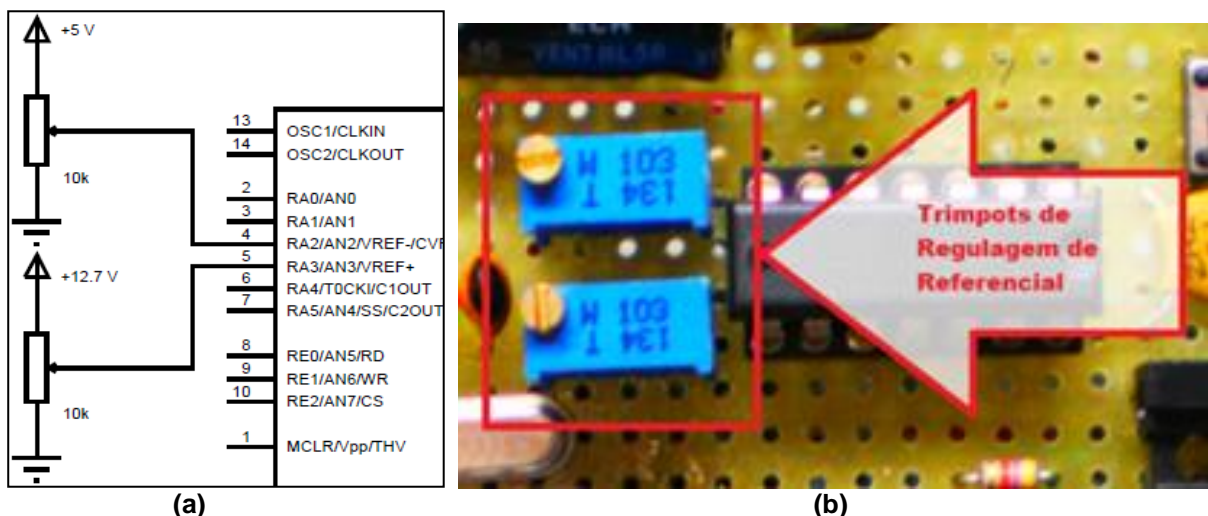


Figura 15 - Trimpots de regulagem de referencial dos conversores A/D
 (a) Diagrama esquemático, (b) Placa do circuito

Fonte: Autoria própria.

Com os valores ajustados de acordo com a tensão do sensor do tanque, o conversor A/D de 10 bits do microcontrolador converte a informação, que varia de +1,5 V até +6,5V, em valores numéricos inteiros de 0 a 1023.

Para fazer a correção da medição e indicar o volume em vez do nível de combustível, foi necessário o levantamento de dados relacionando a tensão do sensor do tipo boia com a quantidade de combustível (em mililitros) contido no tanque. A tabela contendo os 500 dados obtidos é apresentada no Apêndice B.

A Figura 16 apresenta o gráfico da tensão do sensor do tipo boia do tanque de combustível em função do volume do mesmo.

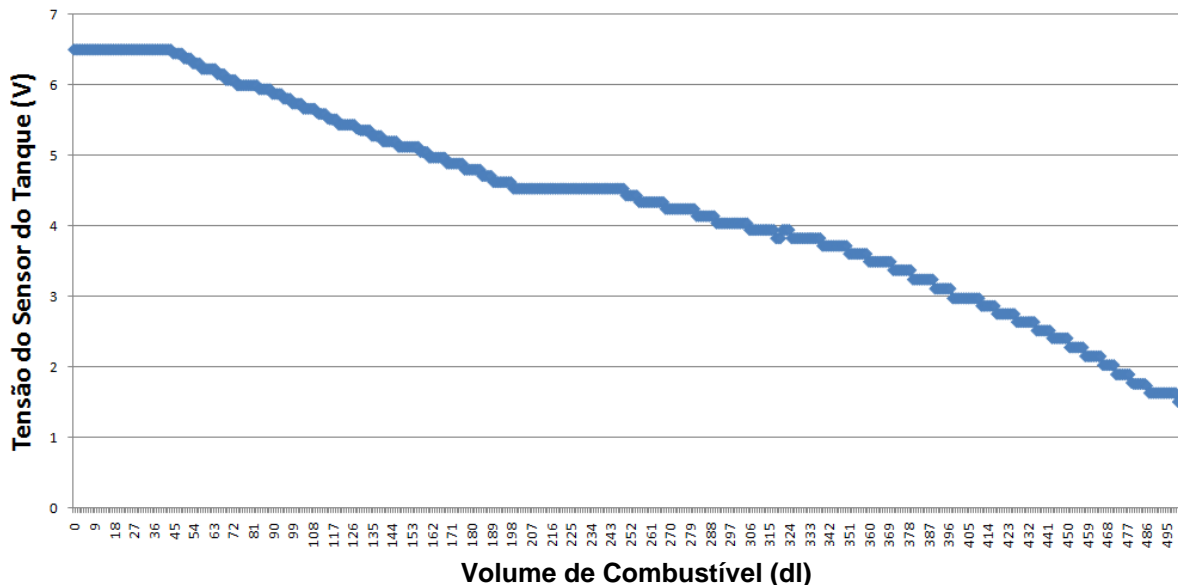


Figura 16 - Gráfico da tensão do sensor do tanque pelo volume de combustível
Fonte: Autoria própria.

Inicialmente foram gravados todos os valores apresentados na Figura 16 na memória somente de leitura (*read-only memory*, ROM) do microcontrolador, mas esses ocuparam em torno de 24% da memória total, o que impossibilitou o uso direto dessas medidas. Por esse motivo, para ocupar menor espaço na memória do microcontrolador, foram utilizadas funções para representação da curva tensão x volume. Utilizando a equação (5), os valores da Figura 16 foram aproximados por cinco funções de primeira ordem (BURIOL, 2007).

$$y - y_0 = m * (x - x_0) \tag{5}$$

Onde: x e y – coordenadas cartesianas de um ponto qualquer da reta;
 x_0 e y_0 – coordenadas cartesianas de um ponto qualquer da reta diferentes de x e y ;
 m – coeficiente angular da reta.

A equação (6) representa a função composta pelas cinco funções de primeiro grau obtidas para os valores apresentados na Figura 16.

$$\Delta V = \begin{cases} 6,503, & 0 \leq V < 45 \\ -0,01194V + 6,448, & 45 \leq V < 199 \\ 4,529, & 199 \leq V < 250 \\ -0,00715V + 4,432, & 250 \leq V < 350 \\ -0,0141V + 3,717, & 350 \leq V \leq 500 \end{cases} \tag{6}$$

Onde: ΔV – tensão na saída do sensor do tipo boia do tanque, em volt;
 V – volume de combustível contido no tanque, em decilitro.

A Figura 17 apresenta a sobreposição da função da equação (6) (em vermelho) e dos valores medidos de V do sensor do tanque pelo volume de combustível apresentado na Figura 16 (em azul).

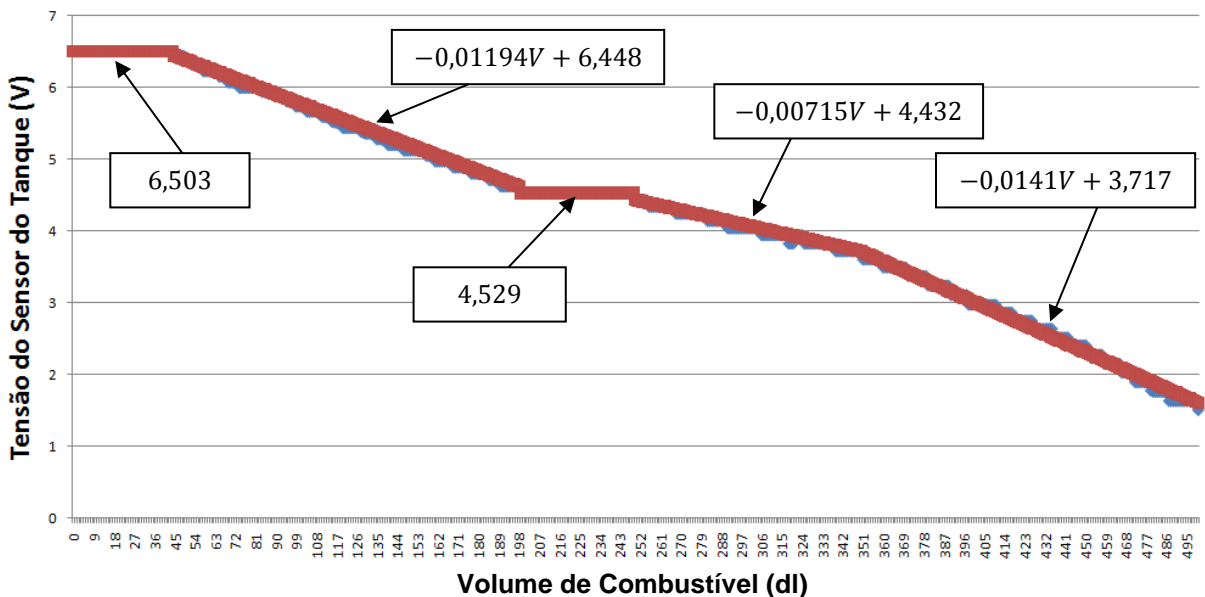


Figura 17 - Aproximação por funções de primeira ordem e valores medidos de V do sensor do tanque pelo volume de combustível

Fonte: Autoria própria.

Para a implementação da equação (6) no microcontrolador foi necessário utilizar o volume do combustível em função da tensão do sensor do tipo boia do tanque, pois a grandeza física que o conversor A/D recebe é de tensão. Além disso, foi necessário converter os valores de tensão de +1,503 a +6,503 em valores numéricos de 0 a 1023, valores abrangidos pelo conversor A/D do microcontrolador utilizado. A Figura 18 mostra o trecho do código-fonte da função para o cálculo do volume de combustível da equação (6).

```

//Cálculo de Volume de Combustível:
unsigned int fuel_gauge(unsigned int x)
{
    unsigned int fuel;
    fuel=x;
    if(x>=0 && x<453)
        fuel=500-(50*x/151);
    else if(x>=453 && x<599)
        fuel=350-(50*(x-453)/73);
    else if(x>=599 && x<619)
        fuel=250-(51*(x-599)/20);
    else if(x>=619 && x<1012)
        fuel=198-(9*(x-619)/22);
    else if(x>=1012)
        fuel=45-(45*(x-1012)/11);
    return fuel;
}

```

Figura 18 - Função para o cálculo do volume de combustível
Fonte: Autoria própria.

As variáveis “fuel” e “x” do trecho do código-fonte da Figura 18 correspondem às variáveis “V” e “ ΔV ”, respectivamente, da equação (6), sendo que a última está convertida em valores numéricos de 0 a 1023.

3.2 SEGUNDA ETAPA

Na segunda etapa foram desenvolvidos o tacômetro, o velocímetro, o indicador de economia e do indicador de autonomia.

3.2.1 Tacômetro

Através dos pulsos enviados pelo *encoder* instalado no volante do motor o microcontrolador calcula a frequência de rotação do motor pela equação (7).

$$f(T) = \frac{P_{RPM}(T) * 60}{E * T} \quad (7)$$

Onde: $f(T)$ – frequência de rotação instantânea do motor, em rpm;
 $P_{RPM}(T)$ – pulsos coletados do *encoder* do volante do motor no intervalo de tempo T, em pulso/decisegundo;
 E – resolução do *encoder*, em pulso/rotação;
 T – valor do *timer* interno do microcontrolador, em segundo.

A resolução do tacômetro pode ser calculada através da equação (8), similar à utilizada para o odômetro parcial, pois somente os pulsos coletados do *encoder* ($P_{RPM}(T)$) variam a resolução.

$$R = \frac{60}{E * T} \quad (8)$$

Onde: R – resolução do tacômetro, em rpm/pulso;
 E – resolução do *encoder*, em pulso/rotação;
 T – valor do *timer* interno do microcontrolador, em segundo.

Como o tempo “T” foi definido como 100 ms e “E” é igual à 120 pulsos/rotação. Substituindo esses valores na equação (8) obtém-se uma resolução (R) de 5 rpm/pulso do sensor do volante do motor. O tempo “T” do microcontrolador foi definido com o valor de 100 ms pois a taxa de amostragem do *encoder* é igual à do *timer* do microcontrolador, ou seja, a quantidade de pulsos contados enviados ao microcontrolador é a quantidade de pulsos coletados durante o tempo “T”, fazendo com que o número de pulsos perdidos seja diretamente proporcional à resolução, já que aumentando a a resolução, diminui-se o tempo de amostragem “T”.

Para esses valores, supondo que a mínima frequência de rotação que o motor pode chegar seja 500 rpm (aproximadamente 8,33 rotações por segundo), para a taxa de amostragem de 100 ms seriam coletados os pulsos relativos à 0,833

rotações ou 100 pulsos. Caso algum desses pulsos seja perdido no período em que o microcontrolador realiza outras funções, o erro não será grande devido ao valor perdido ser baixo em relação a quantidade total de pulsos coletados dentro da taxa de amostragem.

O trecho do código-fonte apresentado na Figura 19 realiza o cálculo da frequência de rotação do motor dada pela equação (7).

```
//Cálculo da Velocidade e da Rotação do Motor:
void Speed_RPM_Calc(void)
{
    reload();
    do
    {
        if(RPM_PIN==1&&rpm_flag==0)
        {
            rpm_cont++;
            rpm_flag=1;
        }
        if(rpm_flag==1&&!RPM_PIN)
            rpm_flag=0;
    }while(!PIR1.TMR1IF);

    // Cálculo da Rotação;

    rpm=(rpm_cont*60*TIMER_F/ENCODER);
}

```

Figura 19 - Cálculo de frequência de rotação do motor
Fonte: Autoria própria.

As variáveis “rpm”, “rpm_cont” e “encoder” do trecho do código-fonte da Figura 19 correspondem às variáveis “ $f(T)$ ”, “ $P_{RPM}(T)$ ” e “ E ” da equação (7), respectivamente. A variável “TIMER_F” corresponde à frequência de amostragem, ou seja, o inverso do tempo “ T ” da equação (7). Como o período de amostragem foi definido como 100 ms, a frequência de amostragem é de 10 Hz.

3.2.2 Velocímetro

Utilizando o mesmo *encoder* do odômetro parcial instalado na roda traseira do automóvel, o microcontrolador calcula a velocidade instantânea através da equação (9).

$$v(T) = \frac{P_{vel}(T) * 3600 * \pi * D}{1000000 * E * T} \quad (9)$$

Onde: $v(T)$ – velocidade instantânea, em quilômetro/hora;
 $P_{vel}(T)$ – pulsos coletados do *encoder* da roda traseira no intervalo de tempo T , em pulso/decisegundo;
 D – diâmetro do pneu, em milímetro;
 E – resolução do *encoder*, em pulso/rotação;
 T – valor do *timer* interno do microcontrolador, em segundo.

Na equação (9) o tempo “ T ” utilizado é de 100 ms e a resolução do *encoder* “ E ” é de 120 pulsos/rotação. A variável “ $P_{vel}(T)$ ” quando dividida pelo valor do tempo “ T ” e multiplicada pela constante “3600”, passa a ser medida em pulsos por hora. A variável “ D ” quando dividida pela constante “1000000” passa a ser medida em quilômetros.

A resolução do tacômetro pode ser calculada através da equação (10), similar às utilizadas para o odômetro parcial e o tacômetro, pois somente “ $P_{vel}(T)$ ” é variável ao longo do tempo.

$$R = \frac{3600 * \pi * D}{1000000 * E * T} \quad (10)$$

Onde: R – resolução do velocímetro, em (quilômetro/hora)/pulso;
 E – resolução do *encoder*, em pulso/rotação;
 D – diâmetro do pneu, em milímetro;
 T – valor do *timer* interno do microcontrolador, em segundo.

Considerando o exemplo do pneu modelo 175/70 R13 (aproximadamente 575 milímetros de diâmetro), “ T ” igual à 100 ms e “ E ” igual à 120 pulsos/rotação, a resolução obtida usando a equação (10) é de aproximadamente 542 (m/h)/pulso, sendo que a informação é mostrada no *display* para o usuário em quilômetro por hora. O trecho do código-fonte apresentado na Figura 20 é responsável pelo cálculo da velocidade apresentada na equação (9).

As variáveis “*spd*”, “*spd_cont*”, “*tire*” e “*encoder*” do trecho do código-fonte da Figura 20 correspondem às variáveis “ $v(T)$ ”, “ $P_{vel}(T)$ ”, “ D ” e “ E ” da equação (9), respectivamente. A variável “*TIMER_F*”, como apresentado no item 3.2.1,

corresponde à frequência de amostragem. Os valores constantes da equação (9) foram escritos como valores numéricos menores devido aos problemas causados pela extrapolação dos limites da variável “spd” também do tipo *unsigned long int*, conforme apresentado no item 3.1.1 para o odômetro parcial.

```
//Cálculo da Velocidade e da Rotação do Motor:
void Speed_RPM_Calc(void)
{
    reload();
    do
    {
        if (SPD_PIN==1&&spd_flag==0)
        {
            spd_cont++;
            spd_flag=1;
        }
        if (spd_flag==1&&!SPD_PIN)
            spd_flag=0;
    }while (!PIR1.TMR1IF);

    // Cálculo da Velocidade;
    spd=(spd_cont*tire*TIMER_F*60/ENCODER/1000*60*3927/1000/1250);
}
```

Figura 20 - Cálculo da velocidade
Fonte: Autoria própria.

A quantidade máxima de pulsos que podem ser coletados pela variável “spd_cont” é dada pela equação (11). Foram considerados somente os fatores até o último multiplicador da variável “spd”, da esquerda para a direita na Figura 20, visto que a operação com esse último multiplicador (3927) é que define o valor máximo, valor esse que diminui com os dois últimos divisores (1000 e 1250).

$$P_{vel\ max}(T) = \frac{4.294.967.295 * T * E * 1000}{D * 60 * 60 * 3927} \quad (11)$$

Onde: $P_{velmax}(T)$ – número máximo de pulsos coletados do *encoder* da roda traseira no intervalo de tempo T, em pulso;
T – valor do *timer* interno do microcontrolador, em segundo;
E – resolução do *encoder*, em pulso/rotação;
D – diâmetro do pneu, em milímetro.

Considerando o tempo “T” de 100 ms e a resolução do *encoder* igual a 120 pulsos/rotação na equação (11), o número máximo de pulsos armazenados pode ser obtido pela equação (12).

$$P_{vel\ max}(T) = \frac{3.645.673}{D} \quad (12)$$

Onde: $P_{velmax}(T)$ – quantidade de pulsos máximos coletados do *encoder* da roda traseira no intervalo de tempo T, em pulso;
D – diâmetro do pneu, em milímetro.

Considerando o pneu com diâmetro de aproximadamente 575 mm (modelo 175/70 R13) na equação (12), o número máximo de pulsos armazenados pela variável “spd” na Figura 20 é de 6.340 pulsos. Substituindo esse valor na equação (9), obtém-se que a velocidade máxima que pode ser armazenada na variável do microcontrolador é de 3.435 km/h.

3.2.3 Indicador de Economia

Com as informações do odômetro parcial e do medidor de volume de combustível o microcontrolador calcula a economia de combustível do automóvel através da equação (13).

$$E(T) = \frac{\Delta S(T)}{\Delta V(T)} \quad (13)$$

Onde: $E(T)$ – economia de combustível no intervalo T, em quilômetro/litro;
 $\Delta S(T)$ – variação de distância no intervalo T, em quilômetro;
 $\Delta V(T)$ – variação do volume de combustível no intervalo T, em litro;
T – valor do *timer* interno do microcontrolador, em segundo.

O trecho do código-fonte responsável pelo cálculo da economia de combustível está representado na Figura 21. As variáveis “odo-odo_aux” e “fuel_aux-fuel/10” correspondem às variáveis “ $\Delta S(T)$ ” e “ $\Delta V(T)$ ” da equação (13), respectivamente. O fator de divisão 10 converte a unidade de medida do indicador de economia de metro/decilitro para hectômetro/litro. No programa não foi definida uma variável correspondente à “ $E(T)$ ”, pois o valor da mesma é transmitido diretamente para o *display* pela função “LCD_PRINT_TEXT”.

```

if (fuel < fuel_aux)
{
    LCD_PRINT_TEXT(((odo-odo_aux)/(fuel_aux-fuel)/10),0,4,3,3);
    odo_aux=odo;
}
fuel_aux=fuel;

```

Figura 21 - Cálculo da economia de combustível
Fonte: Autoria própria.

3.2.4 Indicador de Autonomia

O valor do indicador de autonomia de combustível é calculado através da equação (14) utilizando as informações do odômetro parcial e do medidor de volume de combustível e do indicador de economia.

$$A(T) = E(T) * V(T) \quad (14)$$

Onde: A(T) – autonomia de combustível no intervalo T, em quilômetro;
E(T) – economia de combustível no intervalo T, em quilômetro/litro;
V(T) – volume total de combustível contido no tanque, em litro;
T – valor do *timer* interno do microcontrolador, em segundo.

No *firmware*, como a variável “E(T)” não é armazenada, é feito o cálculo da mesma. Esse procedimento aumenta o processamento mas diminui o espaço ocupado na memória RAM. O trecho do código-fonte do microcontrolador para o cálculo de autonomia de combustível é apresentado na Figura 22.

```

if (fuel < fuel_aux)
{
    LCD_PRINT_TEXT(((odo-odo_aux)*10*fuel/(fuel_aux-fuel))/1000),0,5,4,4);
    odo_aux=odo;
}
fuel_aux=fuel;

```

Figura 22 - Cálculo de autonomia de combustível
Fonte: Autoria própria.

Na Figura 22, o cálculo do indicador de economia (E(t)) da equação (13) é realizado através da operação “(odo-odo_aux)/(fuel_aux-fuel)” e o resultado é dividido pelo fator “100” para conversão do indicador de autonomia de metros para

hectômetros, sendo esse valor apresentado como “10/1000” devido ao problema de extrapolação do limite máximo do tipo da variável usada, como apresentado nos itens 3.1.1, 3.2.1 e 3.2.2 para o odômetro parcial, tacômetro e velocímetro.

3.3 TERCEIRA ETAPA

A terceira etapa compreende o desenvolvimento do monitor de fusíveis, do dinamômetro de bordo, da interface de comunicação com o computador e da IHM.

3.3.1 Monitor de Fusíveis

Esse dispositivo foi desenvolvido como uma inovação, pois é inexistente no mercado atual. Diferente dos dispositivos até então desenvolvidos, cujo foco foi no *firmware*, esse exigiu um desenvolvimento mais aprofundado no *hardware*.

Para realizar o monitoramento dos fusíveis foi necessário desenvolver um circuito para realizar a varredura dos mesmos, sem interferir no funcionamento dos fusíveis ou fornecer um caminho alternativo para a circulação de corrente elétrica caso algum dos fusíveis viesse a se romper. O circuito foi desenvolvido usando tecnologia *complementary mosfet* (CMOS) em vez de *transistor-transistor logic* (TTL), pois não existe necessidade de drenar corrente no chaveamento CMOS e os dispositivos TTL trabalham somente com valores de tensão até +7 V (TEXAS, 1998).

A Figura 23 apresenta o módulo do circuito responsável pela detecção do fusível rompido, sendo um módulo para cada um dos 40 fusíveis do automóvel. Os 40 módulos foram dispostos no formato de uma matriz de 5 linhas e 8 colunas, apresentado na Figura 24, onde o módulo é denominado chave analógica.

No módulo da Figura 23 foi utilizada uma porta lógica inversora CMOS (4049) e uma chave analógica (4066). Enquanto o fusível permanece intacto, a tensão da bateria do automóvel (de +12,7 V) está aplicada na carga (*LOAD*) e na entrada da porta inversora (4049). Para o circuito integrado (CI) 4049 esse valor representa nível lógico alto (1) e sua saída fica em nível lógico baixo (0), mantendo o

terminal “C” da chave analógica (4066) em nível lógico baixo e, conseqüentemente, mantendo os terminais “X” e “Y” do 4066 como circuito aberto.

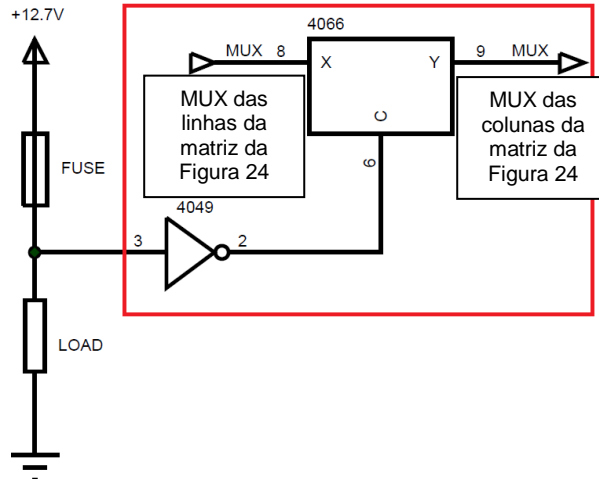


Figura 23 - Módulo de detecção de rompimento de fusível
 Fonte: Autoria própria.

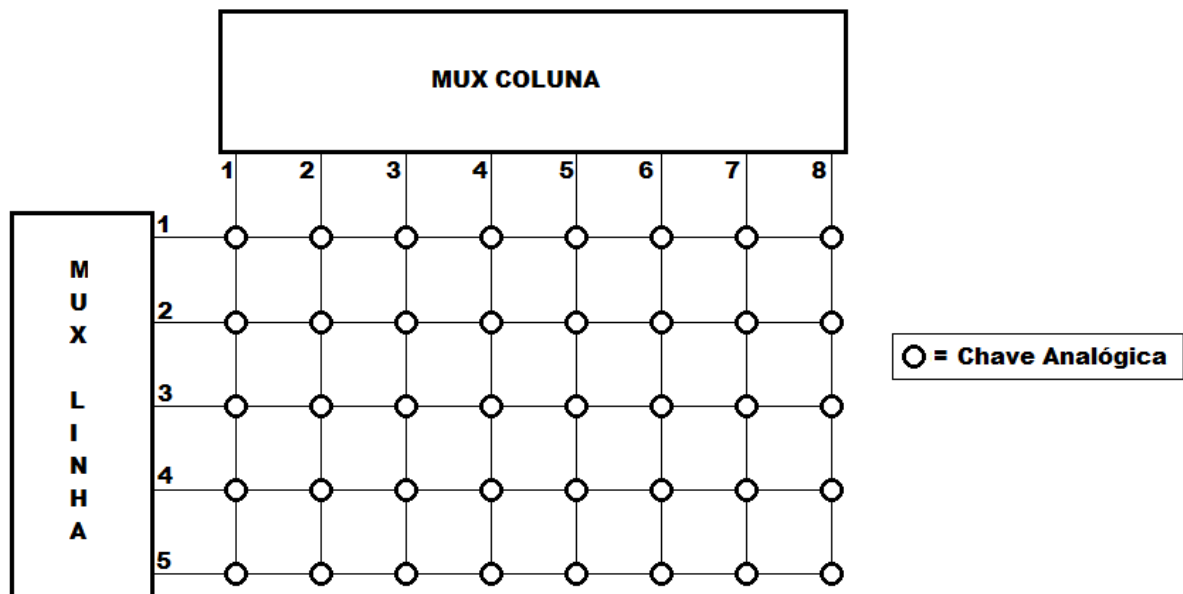


Figura 24 - Matriz de monitoramento dos fusíveis
 Fonte: Autoria própria.

Quando ocorre o rompimento do fusível, a carga (LOAD) da Figura 23 funciona como uma impedância de *pull-down* mantendo a entrada da porta inversora (4049) em 0 V ou nível lógico baixo (0). Isso faz com que a saída da mesma fique em nível lógico alto (1). Como a alimentação do CI 4049 é de +5 V sua saída fica com tensão de +5 V, habilitando a chave analógica (4066) e fazendo com que os terminais “X” e “Y” dessa funcionem como curto-circuito, enviando a informação do

multiplexador (MUX) associado às linhas da matriz para o MUX que monitora as colunas da matriz conforme apresentado na Figura 24.

O MUX utilizado no circuito da Figura 24 foi o 4051, também com tecnologia CMOS. O 4051 possui um sinal comum a todas as saídas que é mantido em +5 V para o MUX das linhas. O MUX das colunas representa o sinal de fusível rompido.

O microcontrolador executa uma varredura ao longo da matriz da Figura 24, primeiro mantendo a linha 1 em nível lógico alto (1) e verificando da coluna 1 até 8 se existe nível lógico alto (1), que ocorre quando uma das chaves analógicas é fechada. Caso exista o nível lógico alto (1) em alguma coluna da matriz, o fusível relativo àquela chave analógica é considerado rompido. Esse processo é repetido até a linha 5, parando quando a posição da coluna 8 é monitorada.

O trecho do código-fonte do microcontrolador apresentado na Figura 25 é responsável pela varredura dos fusíveis. São realizados dois *loops*, sendo “x” a variável das linhas e “y” a variável das colunas. Como as matrizes escritas em linguagem C são construídas de tal forma que a primeira posição é [0][0], a varredura inicia nessa posição até a posição [4][7], totalizando cinco linhas e oito colunas. A linha “PORTB=(x+(y<<3))<<1” do código-fonte é a responsável pela varredura dos MUXs e quando encontrado algum fusível rompido, o código do bloco “if(FUSE_BROKEN){}” é responsável por mostrar no *display* qual fusível está rompido.

```

for (x=0; x<=4; x++)
{
    for (y=0; y<=7; y++)
    {
        PORTB=(x+(y<<3))<<1;
        if (FUSE_BROKEN)
        {
            if (!flag);
            {
                Glcd_Write_Text (rom_to_ram(msg1), 0, 0, 1);
                delay_ms (10);
            }
            chr=(v[x][y]/10)%10+'0';
            Glcd_Write_Char(chr, (cont*6), 2, 1);
            chr=(v[x][y]%10)+'0';
            Glcd_Write_Char(chr, ((cont+1)*6), 2, 1);
            Glcd_Write_Char(' ', ((cont+2)*6), 2, 1);
            cont=cont+3;
            flag=1;
            aux++;
        }
    }
}

```

Figura 25 - Varredura dos fusíveis
Fonte: Autoria própria.

A identificação dos fusíveis é armazenada na matriz “v[x][y]” da Figura 25 onde estão definidos os números de identificação de cada fusível. Por exemplo, no automóvel de testes utilizado o primeiro fusível definido no manual do proprietário do automóvel é o “02”. Então na primeira posição da matriz de identificação está armazenado o valor “2”, e assim sucessivamente para todas as outras posições. Isso faz com que o *display* informe que existe um fusível rompido e qual sua posição e, também, identifique qual fusível rompeu de acordo com o manual do proprietário do automóvel.

No monitor de fusíveis desenvolvido é possível configurar a numeração de cada fusível de forma simples, permitindo a utilização em qualquer automóvel que possua até 40 fusíveis. A Figura 26 apresenta a matriz de identificação dos fusíveis configurada para o automóvel de testes utilizado.

```
//Matriz de Identificação dos Fusíveis:
const char v[5][8]={{ 2, 3, 6, 7, 8,10,11,12},
                   {13,14,15,16,17,19,20,21},
                   {22,23,24,25,26,27,28,29},
                   {30,34,35,36,38,39,40,41},
                   {42,43,44,45,46,47,48,0}};
```

Figura 26 - Matriz de identificação dos fusíveis para o automóvel de testes
Fonte: Autoria própria.

Existe um caso especial para os fusíveis dos faróis de estacionamento, neblina, baixo ou alto. Através das medições realizadas no automóvel foi constatado que os mesmos são conectados entre a chave seletora que liga os faróis e os próprios faróis (*LOAD*), como apresentado na Figura 27. Nesse caso, quando os faróis estão desligados, o nível lógico na entrada da porta inversora (4049) permanece em baixo (0), o que leva o microcontrolador a interpretar que os fusíveis relativos estão rompidos. Para evitar isso, uma mensagem informativa é mostrada no *display* solicitando que o usuário habilite todos os faróis ao mesmo tempo.

A Figura 28 apresenta a placa da matriz de monitoramento dos fusíveis e a Figura 29 apresenta essa placa no gabinete final, pronto para a instalação no automóvel de testes.

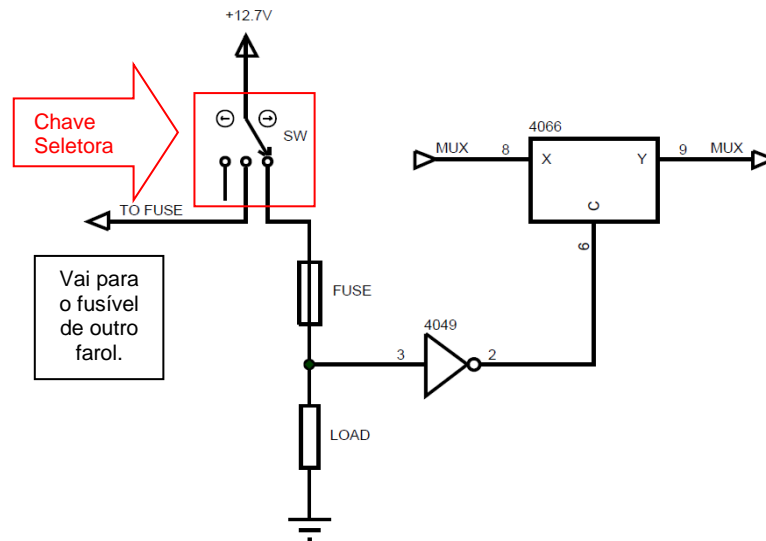


Figura 27 - Módulo de detecção de rompimento de fusível - caso especial
Fonte: Autoria própria.

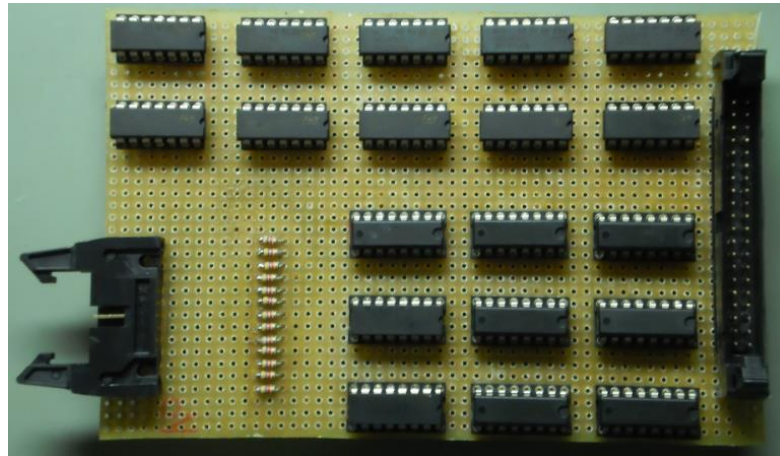


Figura 28 - Matriz de monitoramento dos fusíveis - placa desenvolvida
Fonte: Autoria própria.



Figura 29 - Gabinete final da matriz de monitoramento dos fusíveis
Fonte: Autoria própria.

3.3.2 Dinamômetro de Bordo

Esse instrumento, assim como o monitor de fusíveis, representa uma inovação. Utilizando o tacômetro e o velocímetro desenvolvidos, assim como as informações adicionais do automóvel, o dinamômetro de bordo traça as curvas de torque e de potência do motor em relação à frequência de rotação, sem a necessidade de equipamentos adicionais.

O *firmware* desenvolvido se baseia na equação (15) para o cálculo do torque (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2008, p. 302).

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} \quad (15)$$

Onde: $\vec{\tau}$ – vetor torque, em newton.metro;
 \vec{r} – vetor posição, em metro;
 \vec{F} – vetor força, em newton.

Partindo da decomposição das forças, começando pela força de atrito entre o pneu e o solo é possível obter o torque gerado pelo motor. Para obter-se o termo “ \vec{F} ” da equação (15) foi utilizada a equação (16) (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2008, p. 99).

$$\vec{F} = m * \vec{a} \quad (16)$$

Onde: \vec{F} – vetor força, em newton;
 m – massa do automóvel, em quilograma;
 \vec{a} – vetor aceleração do automóvel, em metro/segundo².

Como a massa é um valor fixo durante os testes, essa é mantida como constante no cálculo, sendo a aceleração do automóvel a única variável da equação (16). É utilizada a informação de velocidade coletada a partir do velocímetro do computador de bordo. A equação (17) apresenta a equação para obtenção da aceleração linear (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2008, p. 68).

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}(t)}{dt} \quad (17)$$

Onde: \vec{a} – vetor aceleração instantânea do automóvel, em metro/segundo²;
 \vec{v} – vetor velocidade do automóvel, em metro/segundo.

Para obter a aceleração instantânea o *firmware* realiza a operação do trecho do código-fonte apresentado na Figura 30, onde é calculada a variação da velocidade no tempo do *timer* interno do microcontrolador. Como esse tempo (100 ms) é muito menor que o tempo total de coleta de dados, tem-se uma boa aproximação para a aceleração instantânea. A operação “(spd-x)” representa a variação de velocidade. O fator “5/18” transforma a unidade dessa variação de km/h para m/s. A variável “TIMER_F” corresponde à frequência de amostragem (em Hz), ou seja, o inverso do tempo do *timer* do microcontrolador.

```
//Cálculo da aceleração instantânea;  
acel=(spd-x)*TIMER_F*5/18;
```

Figura 30 - Cálculo de aceleração instantânea
Fonte: Autoria própria.

Com a aceleração instantânea, dada pela equação (17), e a massa do automóvel é possível obter a força instantânea pela equação (16).

Para obter-se o torque nas rodas do automóvel, basta substituir o vetor posição da equação (15) pelo vetor raio do pneu. Como os vetores raio do pneu e força instantânea são sempre perpendiculares entre si, a equação (15) pode ser reescrita obtendo-se equação (18).

$$T = R * F \quad (18)$$

Onde: T – torque total das rodas, em newton.metro;
R – raio do pneu, em metro;
F – força aplicada pelo pneu ao solo, em newton.

Com o torque nas rodas calculado é possível obter o torque gerado pelo motor (desconsiderando-se as perdas por atrito da transmissão). Os únicos elementos da transmissão para automóveis convencionais que possuem algum tipo de relação de transformação de torque são as engrenagens do diferencial e da caixa

de mudanças (COSTA, 2002). Assim, sabendo-se a relação das engrenagens do diferencial e da marcha utilizada no momento do teste e substituindo a equação (16) na equação (18), encontra-se o torque desenvolvido pelo motor com a equação (19).

$$T_{motor} = \frac{R * m * a}{r_{dif} * r_{marcha}} \quad (19)$$

Onde: T_{motor} – torque instantâneo do motor, em newton.metro;
 R – raio do pneu, em metro;
 m – massa do automóvel, em quilograma;
 a – aceleração instantânea do automóvel, em metro/segundo²;
 r_{dif} – relação das engrenagens do diferencial;
 r_{marcha} – relação das engrenagens da marcha.

O trecho do código-fonte apresentado na Figura 31 é responsável pelo cálculo do torque instantâneo. As variáveis “torque”, “car_mass” e “acel” correspondem às variáveis “ T_{motor} ”, “m” e “a” da equação (19), respectivamente. A variável “tire” multiplicada por um fator “1/2000” corresponde à “R”. As variáveis “differential” e “gear”, multiplicadas individualmente por um fator “1/100”, correspondem à “ r_{dif} ” e “ r_{marcha} ”, respectivamente. Como essas duas últimas estão no denominador da equação (19) e “tire” está no numerador, obtém-se o valor “5” apresentado no trecho do código-fonte da Figura 31.

```
//Cálculo do torque instantâneo;
torque=car_mass*acel*tire*5/differential/gear;
```

Figura 31 - Cálculo do torque instantâneo
 Fonte: Autoria própria.

Para o cálculo da potência foi utilizada a equação (20) (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2008, p. 169).

$$\vec{P} = \vec{F} * \vec{v} \quad (20)$$

Onde: \vec{P} – vetor potência instantânea, em watt;
 \vec{F} – vetor força, em newton;
 \vec{v} – vetor velocidade instantânea, em metro/segundo.

Como a força e a velocidade do automóvel estão sempre na mesma direção, substituindo a equação (16) na equação (20), a potência instantânea do automóvel é dada pela equação (21).

$$P = m * a * v \quad (21)$$

Onde: P – potência instantânea, em watt;
 m – massa do automóvel, em quilograma;
 a – aceleração instantânea do automóvel, em metro/segundo²;
 v – velocidade instantânea do automóvel, em metro/segundo.

O trecho do código-fonte do microcontrolador apresentado na Figura 32 é responsável pelo cálculo da potência instantânea.

```
//Cálculo da potência instantânea;  
power=car_mass*spd*acel*10/(26478);
```

Figura 32 - Cálculo da potência instantânea
Fonte: Autoria própria.

Na Figura 32, a variável do código-fonte “car_mass” corresponde à “m” da equação (21). A variável “power” corresponde à variável “P”, mas em vez de ser dada em Watts (W) é apresentada em cavalo-vapor (CV) pela multiplicação pelo fator “2/1471” pois 1 CV = 735,5 W (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2008, p. 169). A variável “spd” corresponde à “v”, sendo usado o fator de multiplicação “5/18” para representar a unidade em m/s. Da multiplicação desses dois fatores encontra-se “10/26478”, apresentado no trecho do código-fonte da Figura 32.

Com as duas grandezas calculadas (torque e potência) o microcontrolador traça em tempo real as curvas no *display* em relação à frequência de rotação do motor, até que a mesma atinja a rotação máxima definida pelo usuário. Ao término, o microcontrolador mostra no *display* o torque máximo e a potência máxima e em qual frequência de rotação ocorreram.

3.3.3 Interface de Comunicação com Computador

Nesse trabalho foi desenvolvida uma interface de comunicação serial utilizando o protocolo RS232, que permite a interface entre um computador e o computador de bordo, para os casos onde existe a necessidade de uma análise mais detalhada, como medir ponto a ponto os valores de torque e de potência, registrar os consumos de combustível e, assim, gerar gráficos de desempenho, além de várias outras combinações possíveis com todas as informações calculadas.

As informações são enviadas do microcontrolador do computador de bordo para o computador na forma de caracteres da tabela *American Standard Code for Information Interchange* (ASCII), sendo necessária a conversão dos dados entre os dispositivos. A função do trecho do código-fonte da Figura 33 é responsável pelo envio das informações do microcontrolador para o computador.

```
//Auxílio de Envio de Dados para a RS232:
void USART_PRINT_TEXTI(unsigned int text,unsigned char n_char)
{
    unsigned char print=0;           //Declara Variavel de impressão;
    unsigned int div=1;              //Declara Divisor;
    unsigned char n_aux;             //Declara Número de dígitos auxiliares;
    for(;n_char>0;n_char--)         //Enquanto o número de dígitos for maior que zero:
    {
        n_aux=n_char;               //Número de dígitos auxiliares igual a Número de dígitos;
        for(;n_aux>1;n_aux--)       //Enquanto o número de dígitos auxiliares for maior que 1:
        {
            div=div*10;             //Divisor igual a Divisor x 10;
        }                           //Decrementa em 1 o Número de dígitos auxiliares;
        print=(text/div)%10+'0';    //Variável de impressão igual ao caracter a ser impresso;
        Usart_Write(print);         //Envia a variável de impressão para a RS232 na posição atual;
        div=1;                       //Atribui o valor 1 ao Divisor;
    }                                 //Decrementa em 1 o Número de dígitos;
    Usart_Write(' ');               //Envia o caracter ' ' para a RS232;
}
```

Figura 33 - Função de auxílio para comunicação serial
Fonte: Autoria própria.

Para a comunicação entre o microcontrolador e o computador foi necessário o desenvolvimento de um *hardware* específico para modificar os valores de tensão de +5 V a 0 V para +15 V a -15 V. Esse circuito é apresentado na Figura 34 onde foi utilizado o CI MAX232 juntamente com um conector DB9, por onde é feita a comunicação.

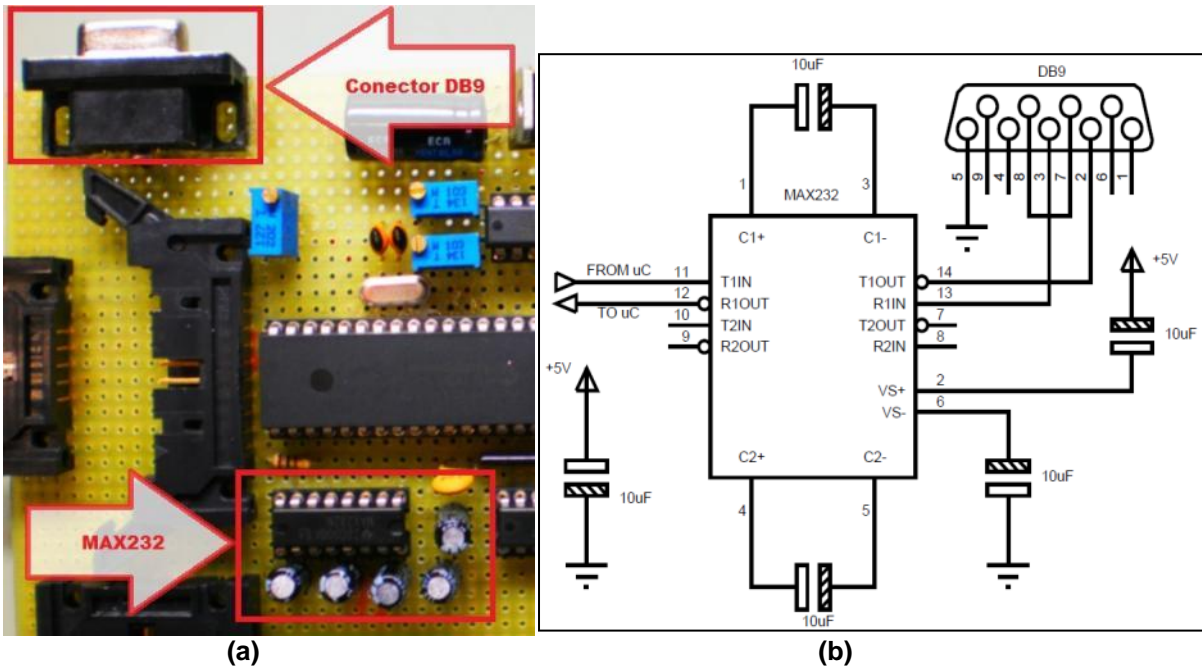


Figura 34 - Hardware para comunicação serial
 (a) Placa do circuito, (b) Diagrama esquemático
 Fonte: Autoria própria.

Para possibilitar a comunicação com um *laptop* foi utilizado outro circuito de comunicação, que simula uma porta *Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter* (USART) através da porta USB. Com isso tornou-se possível a comunicação em tempo real com o *laptop* enquanto o computador de bordo está operando. O circuito conversor é instalado no cabo de comunicação no lado do conector DB9, como apresentado na Figura 35.

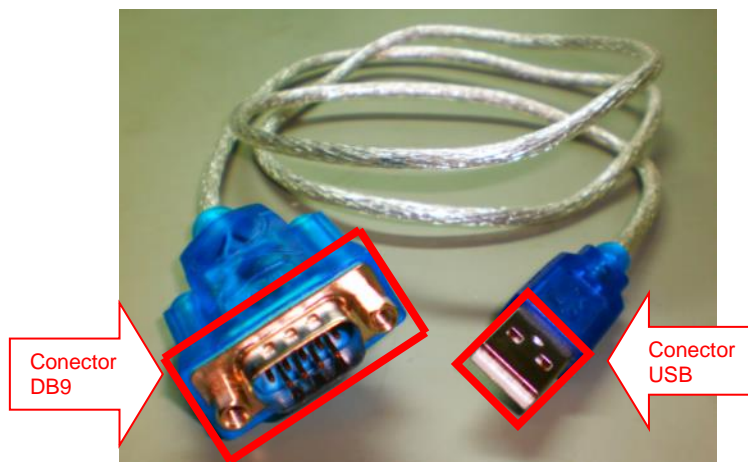
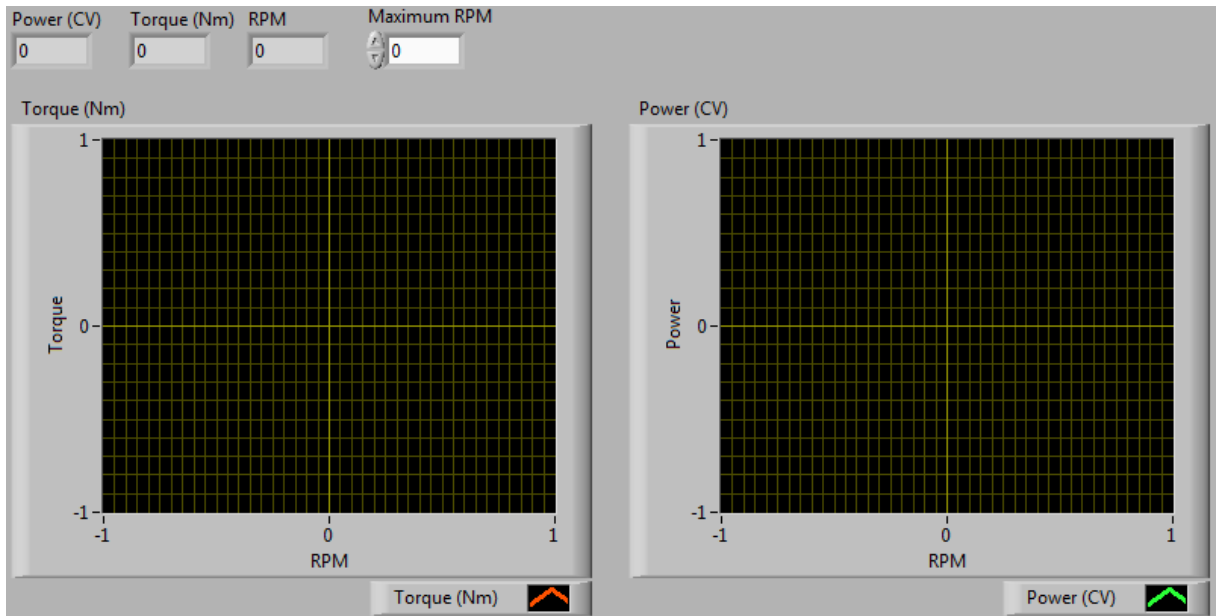
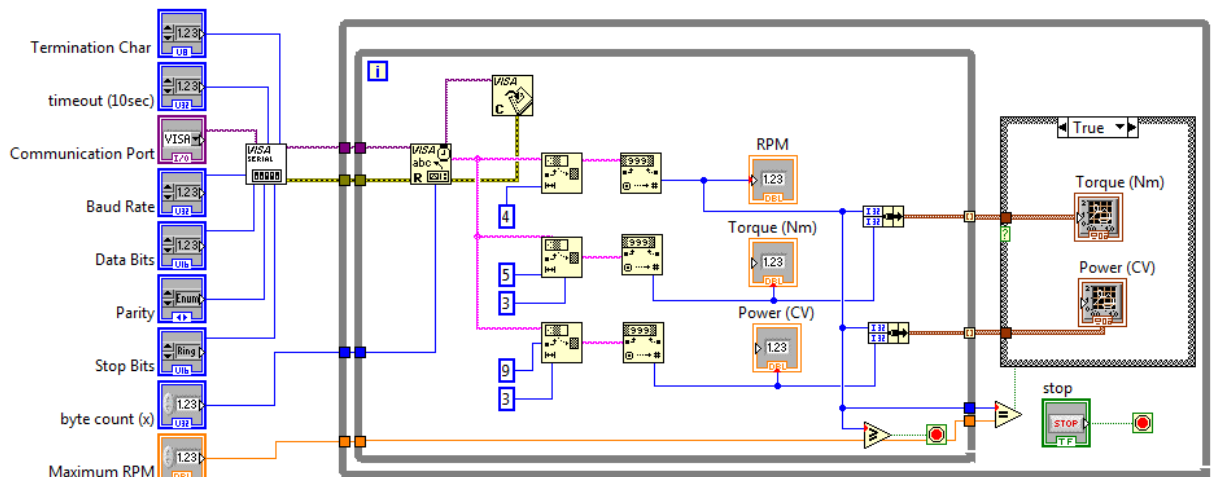


Figura 35 - Cabo e circuito de comunicação USART/USB
 Fonte: Autoria própria.

Para a comunicação entre o *laptop* e o computador de bordo foi desenvolvido um sistema para supervisão utilizando o *software* LabVIEW, onde é possível obter os gráficos de torque e de potência gerados a cada ponto. A Figura 36 apresenta o painel frontal e o diagrama de blocos do programa desenvolvido em LabVIEW.



(a)



(b)

Figura 36 - Programa desenvolvido em LabVIEW

(a) Painel frontal e (b) Diagrama de blocos do sistema de supervisão desenvolvido

Fonte: Autoria própria.

3.3.4 Interface Homem-Máquina

Para permitir a modificação das configurações e a navegação no computador de bordo foi desenvolvida uma interface homem-máquina, tornando o uso de um computador opcional. Essa interface consiste de um *display* gráfico e de um teclado numérico, permitindo ao usuário o acesso às opções desejadas.

A Figura 37 apresenta as telas que possuem interface com o usuário. A opção “4” é reservada exclusivamente para a configuração dos dados do automóvel encontrados no manual do proprietário do automóvel.

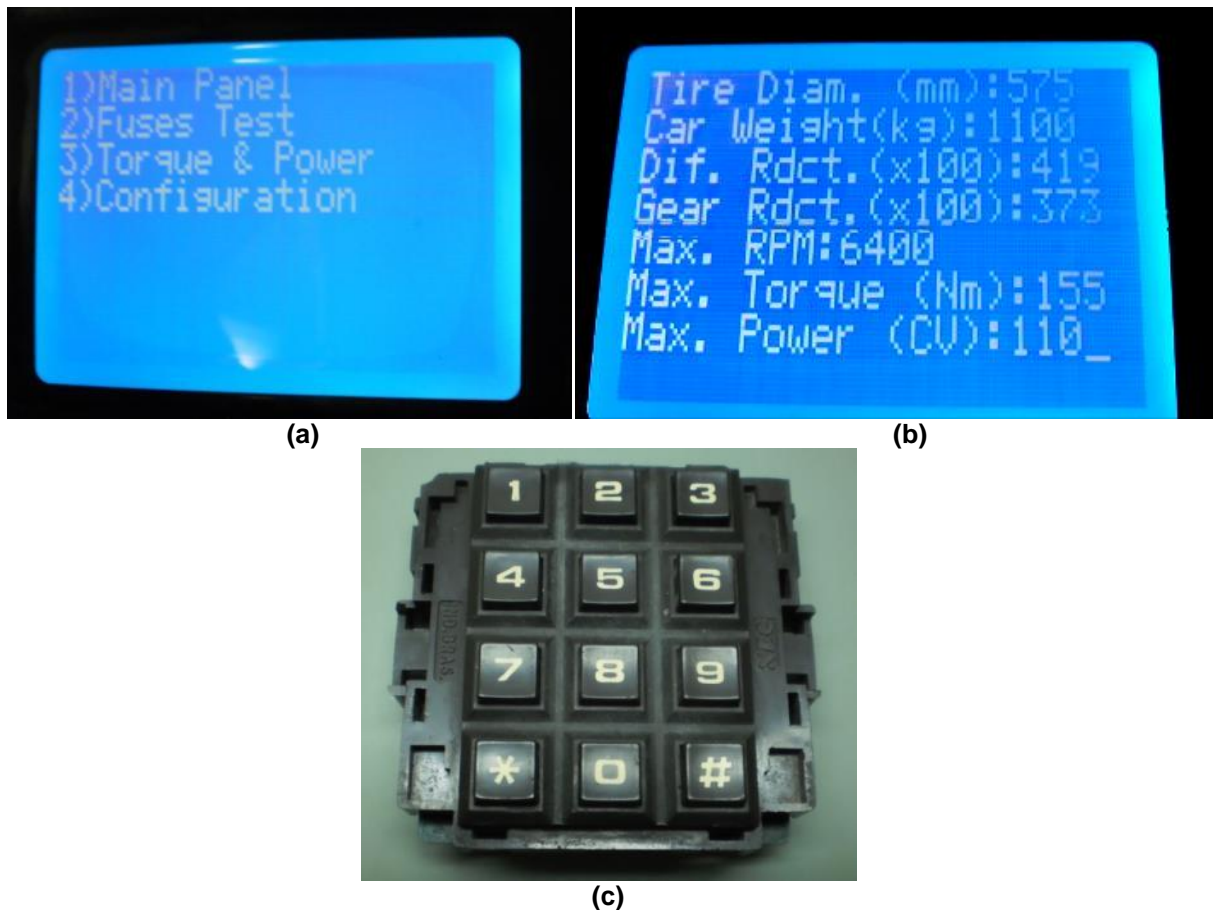


Figura 37 - Interface homem-máquina
 (a) Página inicial, (b) Opção de configuração e (c) Teclado numérico
 Fonte: Autoria própria.

As configurações apresentadas na opção “4”, Figura 37(b), “Tire Diam. (mm)”, “Car Weight (kg)”, “Dif. Rdct. (x100)”, “Gear Rdct. (x100)”, “Max. RPM”, “Max. Torque (N.m)” e “Max. Power (CV)” correspondem, respectivamente, ao diâmetro do pneu em milímetros (mm), massa do automóvel em quilogramas (kg), redução das

engrenagens do diferencial multiplicada por 100, redução das engrenagens da marcha nos testes do dinamômetro multiplicada por 100, rotação de corte de combustível do motor para os testes do dinamômetro em rotações por minuto (rpm), torque máximo em newton-metro (N.m) e potência máxima em cavalo-vapor (CV). Todas essas informações são encontradas nos manuais de proprietário dos automóveis, sendo necessárias para os cálculos dos diversos instrumentos.

Os valores de torque máximo, potência máxima e rotação de corte de combustível são utilizados para definir a resolução das curvas do dinamômetro de bordo e foram configurados com os dados do automóvel de testes de 155 N.m, 110 CV e 6400 rpm, respectivamente. As resoluções para as curvas de torque, potência e para o eixo das abscissas são de 2,42 N.m/pixel, 1,72 CV/pixel e 50 rpm/pixel, respectivamente. O *display* utilizado possui 128 pixels horizontais e 64 pixels verticais.

Para diminuir o número de portas utilizadas pelo microcontrolador para o teclado foi elaborada uma rotina de varredura, semelhante à utilizada pelo monitor de fusíveis, onde somente o botão “ * ” (botão com a função “retornar”) é independente da matriz do teclado. A Figura 38 mostra a conexão do teclado com o microcontrolador.

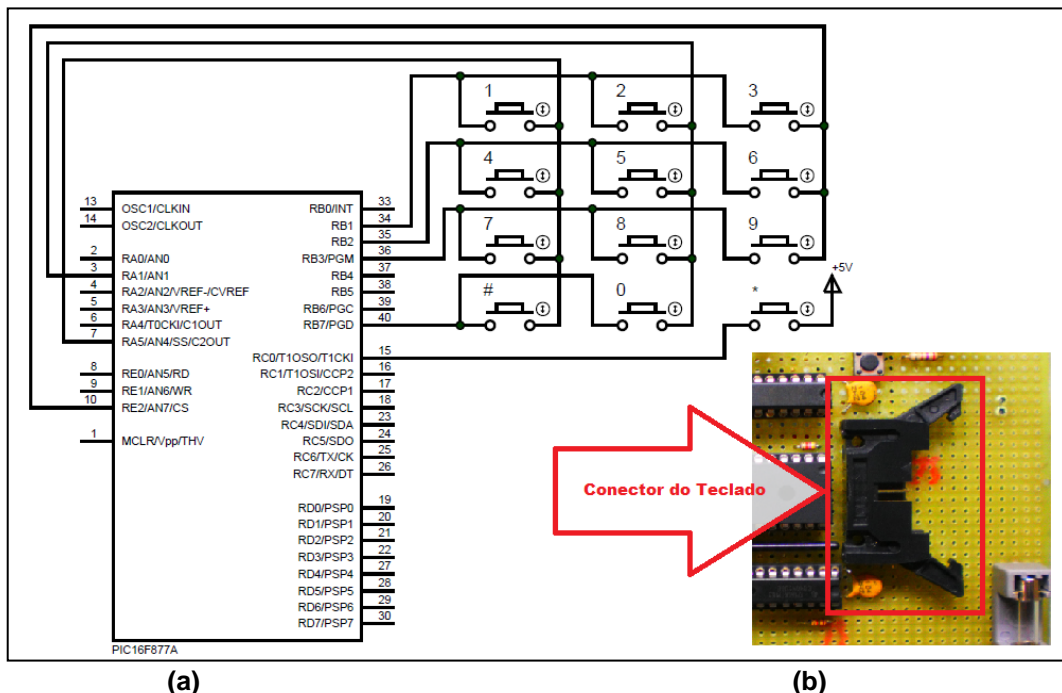


Figura 38 - Conexões do teclado com o microcontrolador
(a) Esquemático do circuito e (b) Conexão entre a placa e o teclado
Fonte: Autoria própria.

Para o *display* foi utilizada uma porta lógica inversora para um dos terminais, liberando mais uma porta de entrada/saída (*input/output*, I/O) do microcontrolador para outros propósitos. As conexões do *display* são apresentadas na Figura 39.

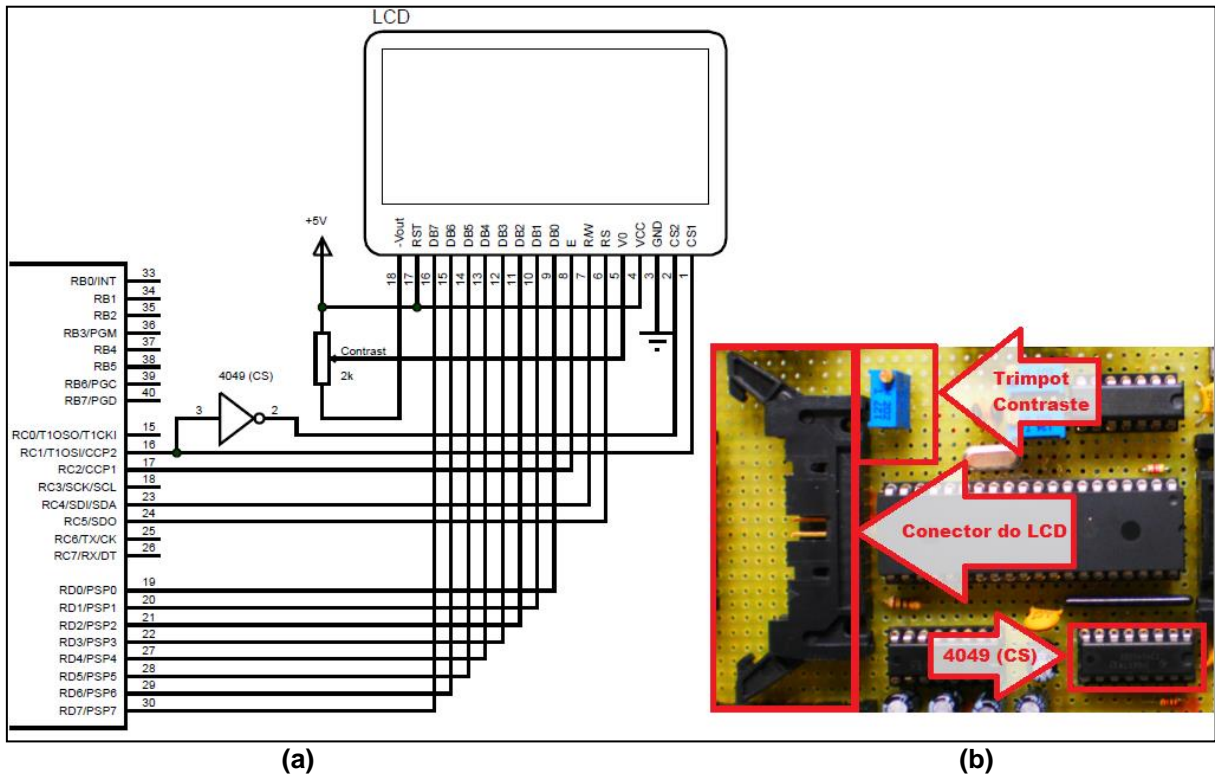


Figura 39 - Conexões do *display*
 (a) Esquemático do circuito e (b) Placa do circuito
 Fonte: Autoria própria.

3.4 QUARTA E QUINTA ETAPAS

Nessas etapas foram desenvolvidos os sensores (*encoders*) conectados ao volante do motor e à roda traseira para a coleta de pulsos usados como base para os cálculos de espaço percorrido, frequência do motor, velocidade, torque e potência.

A apresentação da instalação do cabeamento é realizada nessa seção. A integração dos instrumentos no computador de bordo e a integração do computador de bordo com os sensores são apresentadas no Capítulo 4.

3.4.1 Sensores

Os dois sensores (*encoders*) instalados para coleta das informações de rotação do motor e de velocidade do automóvel são baseados no sensor óptico TCST 1103, devido ao baixo custo e a facilidade de aquisição. Os dois módulos de detecção dos pulsos tanto para o *encoder* do motor quanto para o *encoder* da roda traseira, são iguais e apresentados na Figura 40.

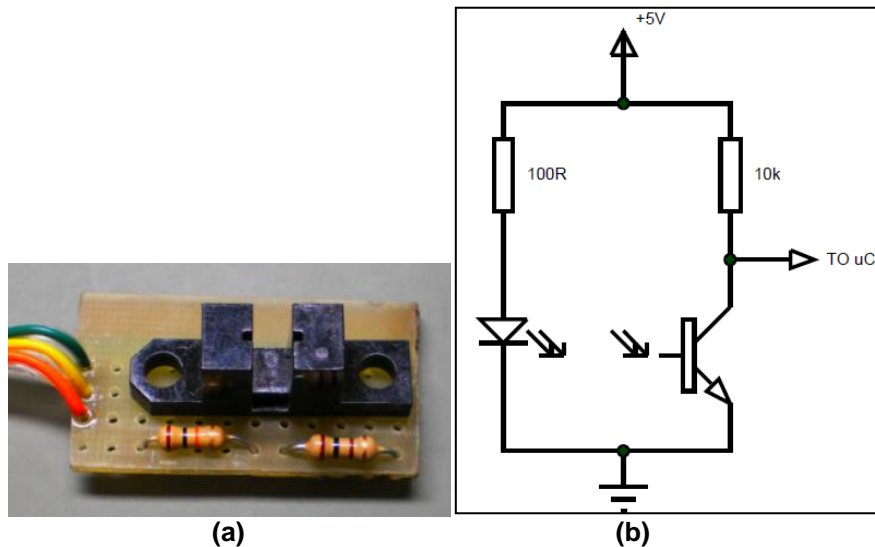


Figura 40 - Módulo do sensor óptico TCST 1103
(a) Placa do sensor e (b) Esquemático do circuito
Fonte: Autoria própria.

O que muda de um *encoder* para o outro é a roda dentada e o modo como são instalados em suas respectivas posições. A roda dentada utilizada no motor possui número de pulsos por rotação fixo, sendo este valor de 120 pulsos/rotação. A Figura 41(b) apresenta o projeto mecânico do mesmo montado na estrutura do automóvel juntamente com a peça fabricada.

Para o *encoder* da roda traseira foi desenvolvido um eixo, fixo em dois mancais, onde existe uma roda dentada fixa de 36 dentes. Em um dos lados do eixo existe uma polia emborrachada que permanece em contato com a roda fazendo uma transmissão por atrito. A Figura 42 apresenta o projeto mecânico do sensor da roda traseira.

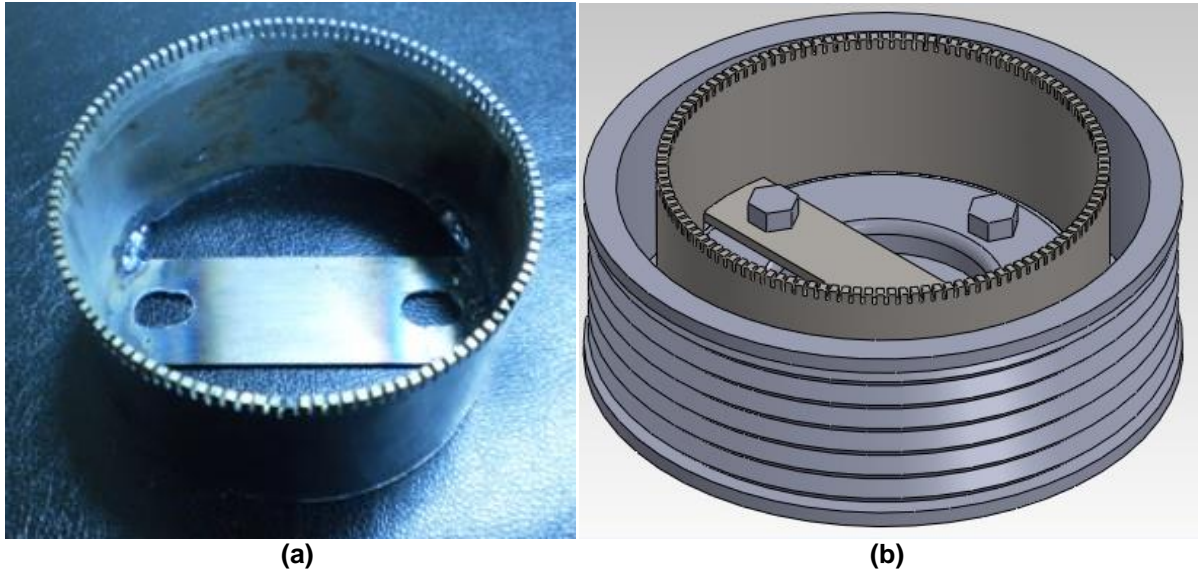


Figura 41 - Roda dentada do sensor do volante do motor
 (a) Versão final e (b) Projeto mecânico instalado na polia do volante do motor
 Fonte: Autoria própria.

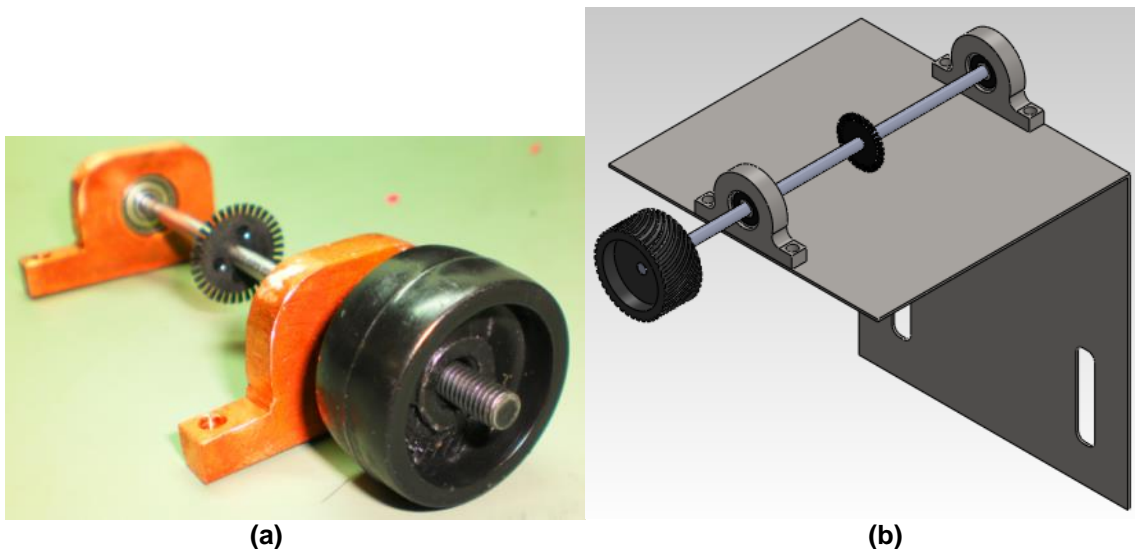


Figura 42 - Conjunto da roda dentada do *encoder* da roda traseira
 (a) Versão final e (b) Projeto mecânico fixado na base
 Fonte: Autoria própria.

A base de todo o sistema está fixada em uma placa móvel que permite o ajuste de altura dessa base e, conseqüentemente, a alteração do diâmetro da polia, mudando a relação de transmissão entre a polia e a roda do automóvel. Isso faz com que a relação da roda dentada do conjunto seja variável. Por exemplo, se a polia possui o mesmo diâmetro da roda, a relação de transmissão será de 1:1 fazendo com que a resolução do *encoder* seja de 36 pulsos/rotação. Se a polia possui o diâmetro igual à metade do diâmetro da roda, a relação será de 1:2 fazendo com

que a resolução do *encoder* seja de 72 pulsos/rotação, e assim sucessivamente, mantendo a proporcionalidade entre os diâmetros.

A resolução e a exatidão dos equipamentos dependem da resolução do *encoder*, então é possível melhorar os instrumentos apenas ajustando o diâmetro da polia em relação ao diâmetro da roda traseira do automóvel. Para os testes, a resolução foi definida como 120 pulsos/rotação, representando uma relação de transmissão de 3:10.

3.4.2 Cabeamento

Nesse trabalho foram utilizados cabos *flat* 28 AWG, por questões de preço e por possuírem impedância específica de $0,21 \Omega/m$ (MCM, 2013), e conectores *lach* e *header* com trava, apresentados na Figura 43.

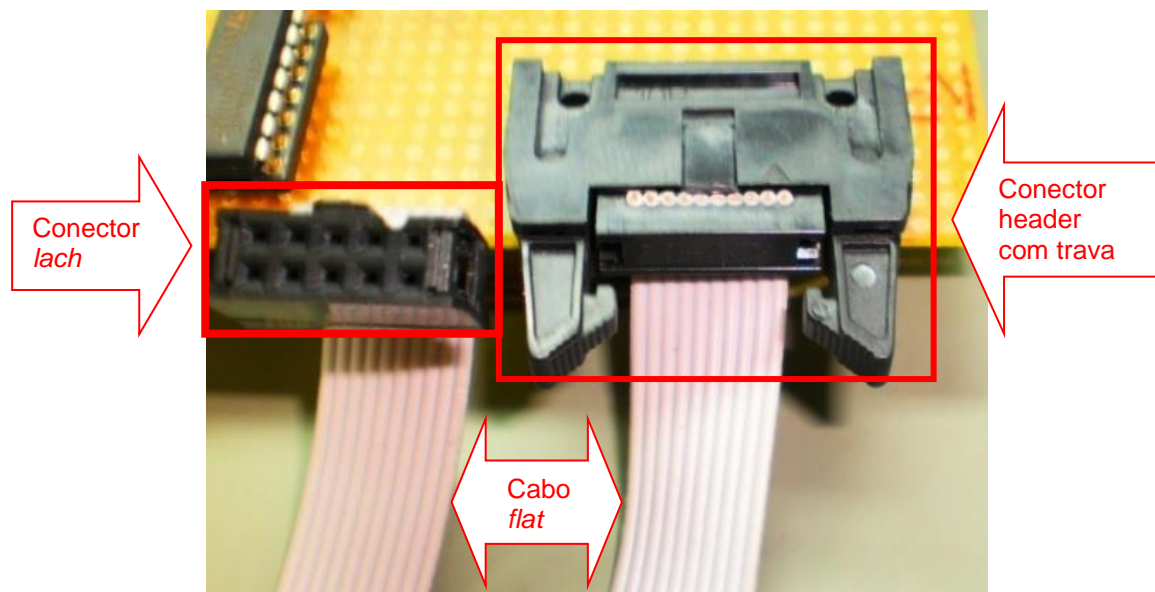


Figura 43 - Cabo *flat*, conector *lach* e conector *header* com trava
Fonte: Autoria própria.

Os cabos foram distribuídos ao longo do automóvel de testes através das calhas do mesmo, aproveitando o caminho utilizado pelos outros dispositivos existentes no automóvel. As Figuras Figura 45, Figura 46, Figura 47, Figura 48 e Figura 49 apresentam os caminhos percorridos pelos cabos instalados e a Figura 50 apresenta a legendas das mesmas.

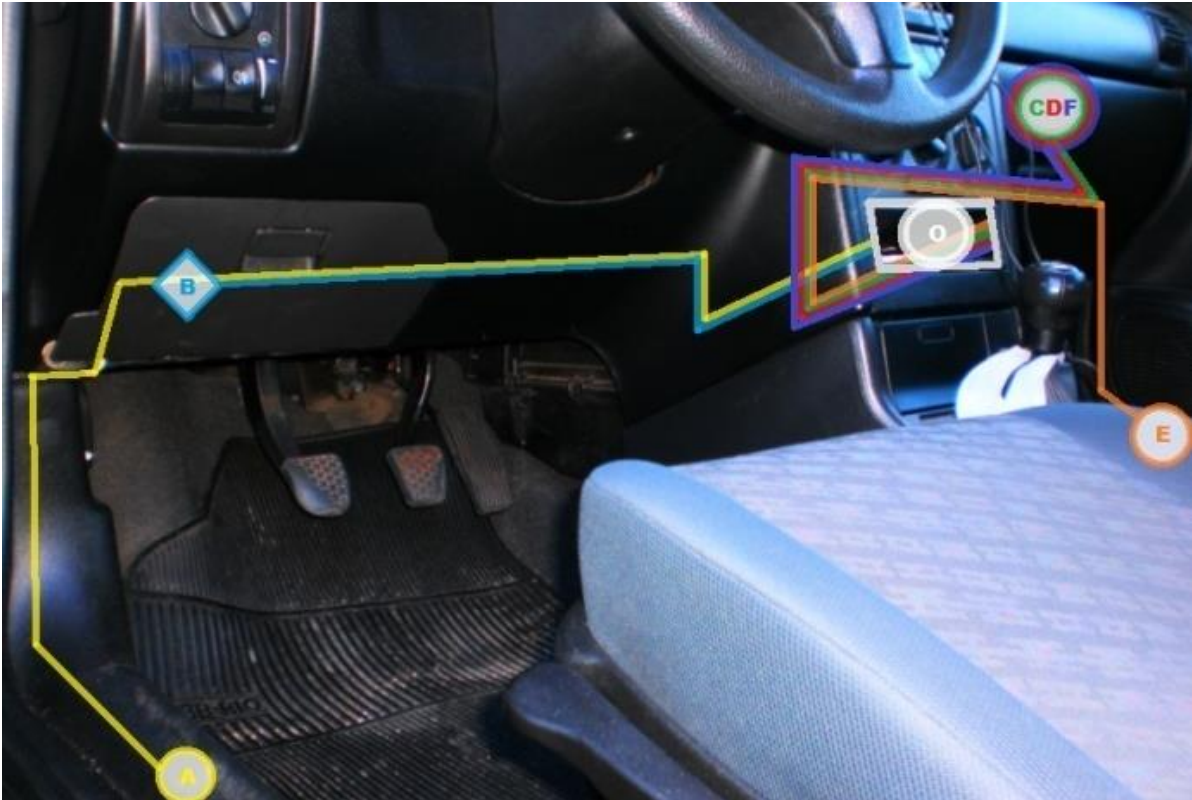


Figura 44 - Conexões dos circuitos com o cabo geral
Fonte: Autoria própria.



Figura 45 - Conexão do sensor do tanque de combustível
Fonte: Autoria própria.



Figura 46 - Conexões do *encoder* da roda traseira
Fonte: Autoria própria.



Figura 47 - Conexão do *encoder* da roda traseira (geral)
Fonte: Autoria própria.



Figura 48 - Conexões sob o capô
Fonte: Autoria própria.



Figura 49 - Cabo geral
Fonte: Autoria própria.



	= Continuidades	A = Encoder da Roda Traseira	E = Sensor do Tanque de Combustível
	= Terminais	B = Fusíveis da Cabine	F = Encoder do Volante do Motor
		C = Fusíveis do Capô	O = Cabo Geral
		D = Bateria	

Figura 50 - Legenda das figuras 45, 46, 47, 48 e 49
Fonte: Autoria própria.

4 TESTES E RESULTADOS

Este capítulo traz os resultados obtidos no desenvolvimento do projeto, apresentando as principais vantagens, modificações e restrições que foram levantadas com os testes no computador de bordo.

A única modificação necessária no desenvolvimento do computador de bordo foi em relação ao sensor da roda traseira apresentado no item 3.4.1, onde manteve-se o sensor ótico como detector de pulsos mas substituiu-se o sistema de transmissão por polia e a roda dentada por uma fita dentada metálica, como apresentado na Figura 51. A modificação foi feita devido à placa metálica da Figura 42(b) ser muito grande para o espaço delimitado pela parte traseira do cubo da roda e a mola do sistema de suspensão do automóvel de testes, sendo necessário refazer todas as peças anexas à placa. Devido à limitação de tempo para finalizar o projeto, optou-se pela fita dentada.

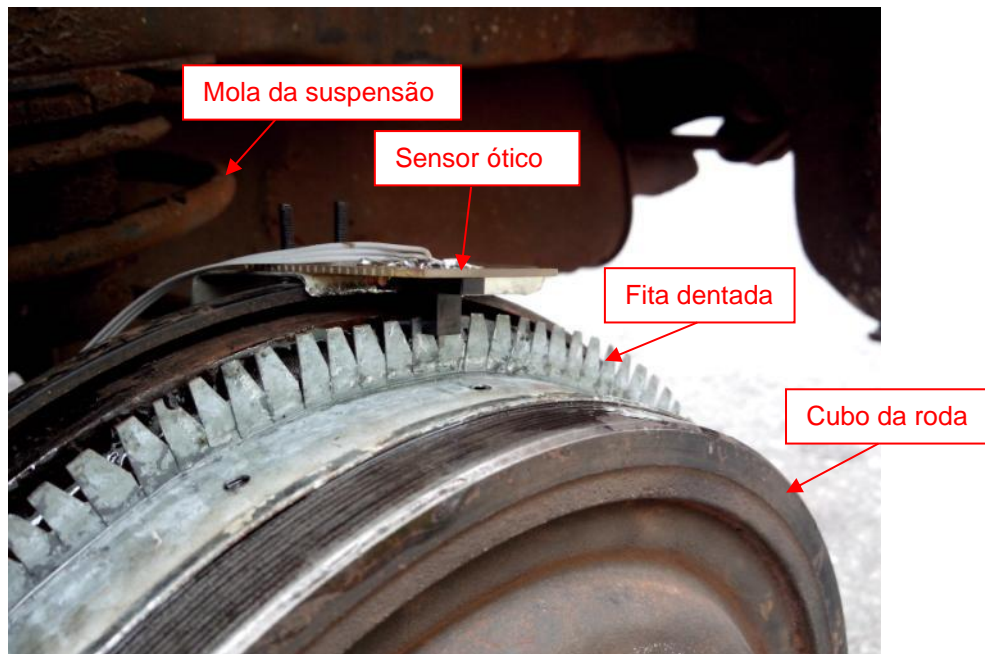


Figura 51 - Encoder da roda traseira
Fonte: Autoria própria.

O Quadro 2 apresenta os dados do automóvel de testes utilizado (GM Chevrolet Astra GL 1999).

Item	Medida	Unidade
Diâmetro do pneu (185/65 R14)	575	mm
Massa	1.020	kg
Redução do diferencial	4,19:1	-
Redução da 1ª marcha	3,73:1	-
Rotação de corte de injeção de combustível	6.400	rpm
Torque máximo	155	N.m
Potência máxima	110	CV

Quadro 2 - Dados do automóvel de testes
Fonte: Autoria própria.

4.1 ODÔMETRO PARCIAL

De acordo com o item 3.1.1, o odômetro parcial desenvolvido apresentou nos testes uma resolução de 15 milímetros, medidos manualmente girando o cubo da roda traseira do automóvel de testes e medindo o deslocamento do perímetro do pneu por dente da fita dentada apresentada na Figura 51.

A faixa do odômetro parcial é de 0 a 9.999,9 km e o valor apresentado ao usuário possui resolução de 0,1 km. A Figura 52 apresenta o odômetro parcial digital desenvolvido.



Figura 52 - Odômetro parcial final
Fonte: Autoria própria.

4.2 INDICADOR DE VOLUME DE COMBUSTÍVEL

De acordo com o item 3.1.2, o indicador de volume de combustível desenvolvido apresentou nos testes uma resolução de 100 mililitros.

A resposta apresentada pelo indicador de volume de combustível segue o esperado na tabela do Apêndice B, calculando o volume de combustível restante no tanque de acordo com o nível do sensor do tipo boia e fazendo as correções do contorno do tanque, mas somente na condição estática do automóvel.

Não foi possível fazer com que o indicador mostrasse com precisão o volume de combustível com o automóvel em movimento devido ao sensor do tipo boia. Como o nível de combustível dentro do tanque é alterado pela inclinação e pelas ondulações do terreno onde o automóvel se desloca, os valores são alterados a cada instante. Para resolver esse problema seria necessário instalar um acelerômetro no automóvel, o qual detectaria a inclinação do automóvel em relação à superfície da Terra, para fazer a correção do nível do combustível lido pelo sensor do tipo boia.

Para melhorar a resolução do sistema seria necessário substituir o sensor do tipo boia por um sensor do tipo ultrassom e utilizá-lo juntamente com um acelerômetro para a correção do nível do combustível do automóvel.

Mesmo com o problema inerente ao sensor do tipo boia utilizado, o indicador de volume de combustível se apresentou muito mais exato do que o indicador original do automóvel de testes, que chega a apresentar mais de 5 litros de erro com o automóvel estático, valor este verificado durante o levantamento dos dados da tabela do Apêndice B.

A Figura 53 apresenta o indicador de volume de combustível desenvolvido.

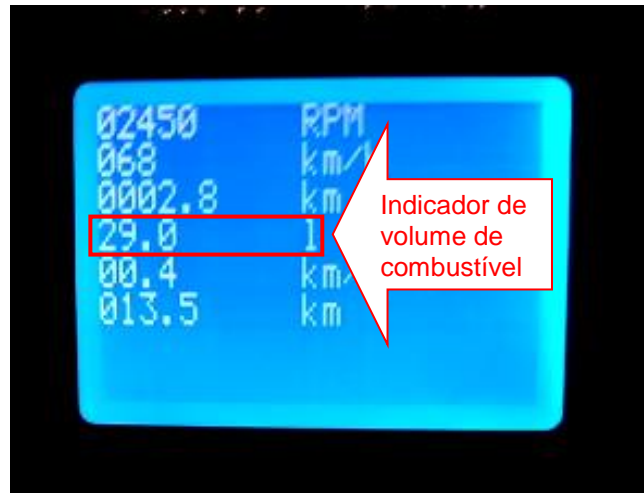


Figura 53 - Indicador de volume de combustível final
Fonte: Autoria própria.

4.3 TACÔMETRO

De acordo com o item 3.2.1, o tacômetro desenvolvido apresentou uma resolução de 50 rpm e uma faixa de 0 a 99.999 rpm. A taxa de atualização do *display* foi mantida em 100 ms, assim como a resolução do *encoder* do volante do motor em 120 pulsos por rotação.

A Figura 54 apresenta o tacômetro com os cinco dígitos implementados.



Figura 54 - Tacômetro final
Fonte: Autoria própria.

4.4 VELOCÍMETRO

De acordo com o item 3.2.2, o velocímetro desenvolvido apresentou nos testes uma resolução de 542 (m/h)/pulso e uma faixa de 0 a 999 km/h. O valor apresentado ao usuário possui resolução de 1 km/h. A taxa de atualização do *display* foi mantida em 100 ms, assim como a resolução do *encoder* da roda traseira em 120 pulsos/rotação.

A Figura 55 apresenta o velocímetro digital desenvolvido.



Figura 55 - Velocímetro final
Fonte: Autoria própria.

4.6 INDICADOR DE AUTONOMIA E INDICADOR DE ECONOMIA

Apesar de o odômetro parcial ter apresentado os resultados esperados, a instabilidade no indicador de volume de combustível causado pelo sensor do tipo boia tornou dois instrumentos não funcionais: o indicador de autonomia e o indicador de economia.

Como apresentado no item 3.2.3, o cálculo da economia de combustível do automóvel depende de duas variáveis: distância percorrida e a quantidade de combustível consumida durante essa distância. Devido ao fato do medidor de volume de combustível não ficar estável durante o deslocamento do automóvel, já que o mesmo trabalha com medidas instantâneas e não com médias, o indicador de

economia não consegue mostrar valores reais. Além disso, mesmo que houvesse estabilidade do sensor do tipo boia, as variações de tensão geradas pelo mesmo são bruscas, sendo necessário um tempo de amostragem muito grande e descartando a medida instantânea proposta.

Quanto ao indicador de autonomia, o mesmo funcionaria corretamente caso o sensor do tipo boia fosse estável, já que o mesmo depende dos mesmos fatores que o medidor de economia, como apresentado no item 3.2.4.

A Figura 56 apresenta os indicadores de autonomia e economia.

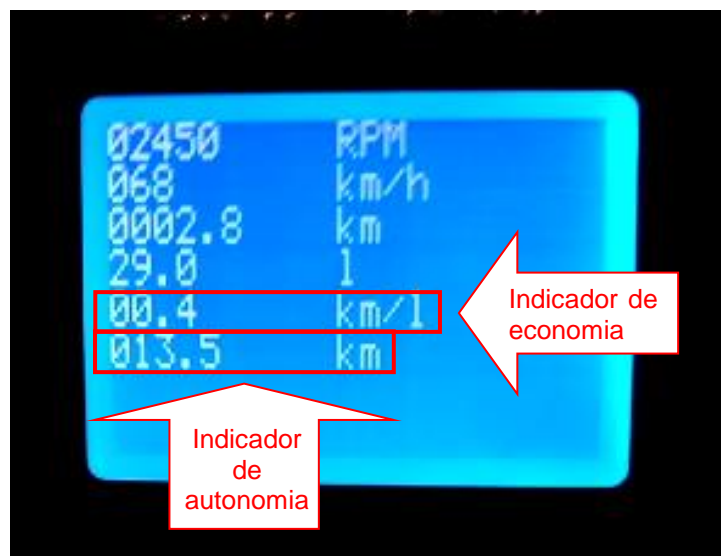


Figura 56 - Indicadores de autonomia e economia finais
 Fonte: Autoria própria.

4.7 MONITOR DE FUSÍVEIS

Os testes feitos com o monitor de fusíveis corresponderam a todos os resultados esperados, de acordo com o item 3.3.1. Foram testados alguns fusíveis principais e os casos especiais, onde os faróis precisam estar ligados.

A Figura 57 apresenta o monitor de fusíveis na situação normal (todos os fusíveis funcionando) e na simulação do rompimento do fusível do farol alto do lado esquerdo (número 26).

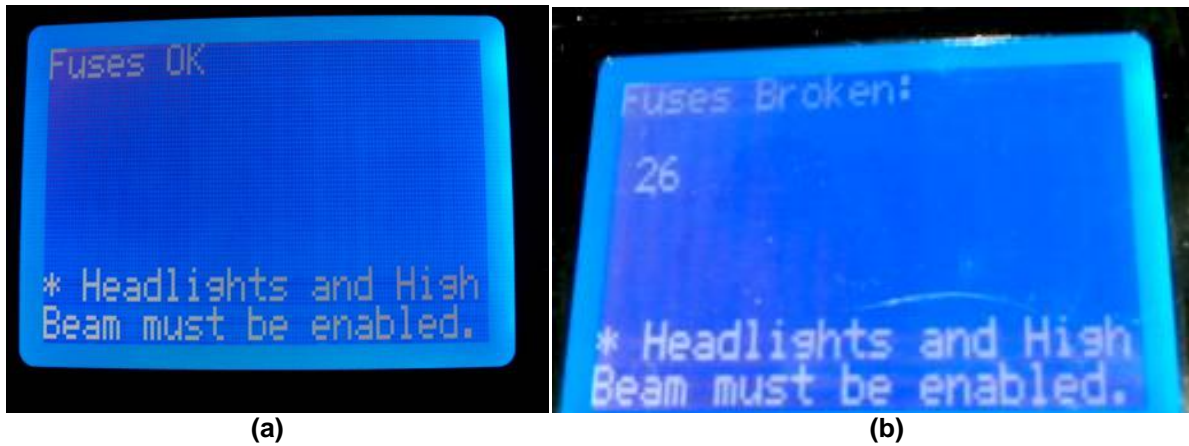


Figura 57 - Monitor de fusíveis final
 (a) Situação normal e (b) Fusível rompido
 Fonte: Autoria própria.

Para a simulação dos fusíveis rompidos, esses foram retirados um a um de suas posições, deixando o circuito em aberto, como fusível rompido. Todos os fusíveis retirados foram mostrados no *display*, de acordo com numeração informada no manual do proprietário do automóvel.

4.8 DINAMÔMETRO DE BORDO

Sendo o último instrumento proposto, o dinamômetro de bordo também apresentou resultados satisfatórios. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta os valores máximos de torque e de potência obtidos no dinamômetro de bordo.



Figura 58 - Valores máximos de torque e de potência do dinamômetro de bordo
 Fonte: Autoria própria.

Primeiramente, os valores máximos de torque e de potência apresentados pelo equipamento desenvolvido, bem como a rotação em que ocorreram, divergiram dos valores informados pelo manual do proprietário do automóvel de testes utilizado, como apresentado no Quadro 3.

	Potência máxima (CV)	Rotação (rpm)	Torque máximo (N.m)	Rotação (rpm)
Manual do proprietário do veículo de testes	110	5.400	155	4.800
Dinamômetro de bordo desenvolvido	101	5.515	146	4.665

Quadro 3 - Valores máximos de torque e de potência do manual do proprietário

Fonte: Autoria própria.

A resolução da frequência de rotação foi reduzida para 5 rpm, já que não havia necessidade de uma taxa de atualização rápida, focando então na exatidão. O valor de potência máxima apresentado é de 110 CV a 5400 rpm no manual do proprietário do automóvel de testes e o obtido no dinamômetro de bordo proposto foi de 101 CV a 5515 rpm. O valor de torque máximo no manual é de 155 N.m a 4800 rpm e o obtido no dinamômetro de bordo foi de 146 N.m a 4665 rpm.

Segundo Cartaxo (2013), as curvas de torque e potência, bem como seus valores máximos, divergem dos valores informados pelo fabricante quando não são carros novos. A Figura 59 apresenta as curvas de torque e de potência (em azul) do automóvel de testes utilizadas em um dinamômetro de rolos inerciais (equipamento comercial).

Analisando a Figura 59 é possível verificar que a potência máxima medida com o dinamômetro de rolos inerciais encontra-se próxima de 100 CV, enquanto o valor mostrado pelo dinamômetro de bordo desenvolvido é de 101 CV, 1 CV (1%) de diferença. Também se verifica que no dinamômetro de rolos inerciais a rotação onde a potência máxima ocorre é 5500 rpm, apenas 15 rpm (0,27%) de erro para o valor medido pelo dinamômetro de bordo desenvolvido (5515 rpm). O erro no valor de rotação máxima obtida com o dinamômetro de bordo desenvolvido e o valor apresentado no manual do proprietário do automóvel de testes (5400 rpm) é de 115 rpm (2,13%).

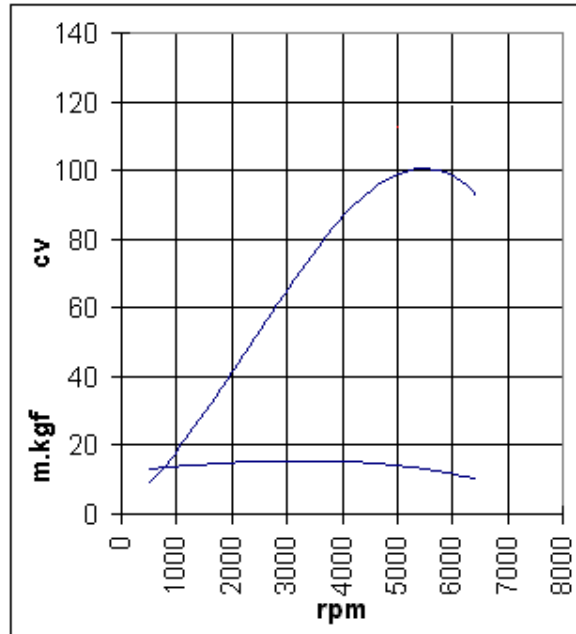


Figura 59 - Curvas de torque e potência do automóvel de testes
Fonte: Cartaxo (2013).

Quanto ao torque, apesar de não ser possível identificar exatamente o valor máximo de torque, esse está em torno de 17,5 kgf.m (aproximadamente 172 N.m) em uma faixa de rotação entre 2000 e 4000 rpm, o valor obtido com o dinamômetro desenvolvido (146 N.m) também se aproxima do valor obtido como dinamômetro de rolos inerciais (172 N.m) com 15% de erro e do manual do proprietário do automóvel de testes (155 N.m) com 5,8% de erro.

A Figura 60 apresenta as curvas de torque e de potência geradas nos testes e mostradas no display do dinamômetro de bordo desenvolvido. A comparação dos valores pode ser feita utilizando a escala de CV/pixel, N.m/pixel e rpm/pixel, já que os valores de torque máximo e potência máxima configurados definem a resolução do *display*.

Os valores de resolução para a curva de torque, a curva de potência e o eixo de rpm (eixo das abscissas) são 2,42 N.m/pixel, 1,72 CV/pixel e 50 rpm/pixel, respectivamente, como apresentado no item 3.3.4.

É possível notar a aproximação do formato das curvas de torque e potência do dinamômetro de bordo desenvolvido, Figura 60, com as obtidas através do dinamômetro de rolos inerciais, Figura 59.

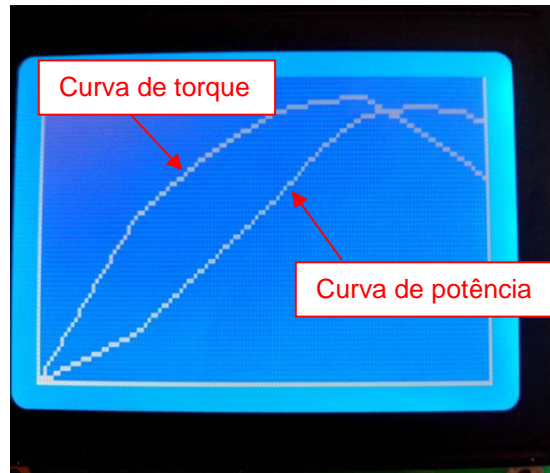


Figura 60 - Curvas de torque e potencia do dinamômetro de bordo
Fonte: Autoria própria.

É possível observar as curvas no *display* do próprio computador de bordo e, também, na tela do sistema de supervisão desenvolvido com o LabVIEW, apresentado no item 3.3.3. No *display* do próprio computador de bordo é possível observar as curvas sendo traçadas em tempo real, enquanto no sistema de supervisão somente é possível visualizá-las ao término do teste, quando o computador de bordo envia as informações compactadas para o *laptop*. A Figura 61 apresenta as curvas de torque e potência no sistema de supervisão.

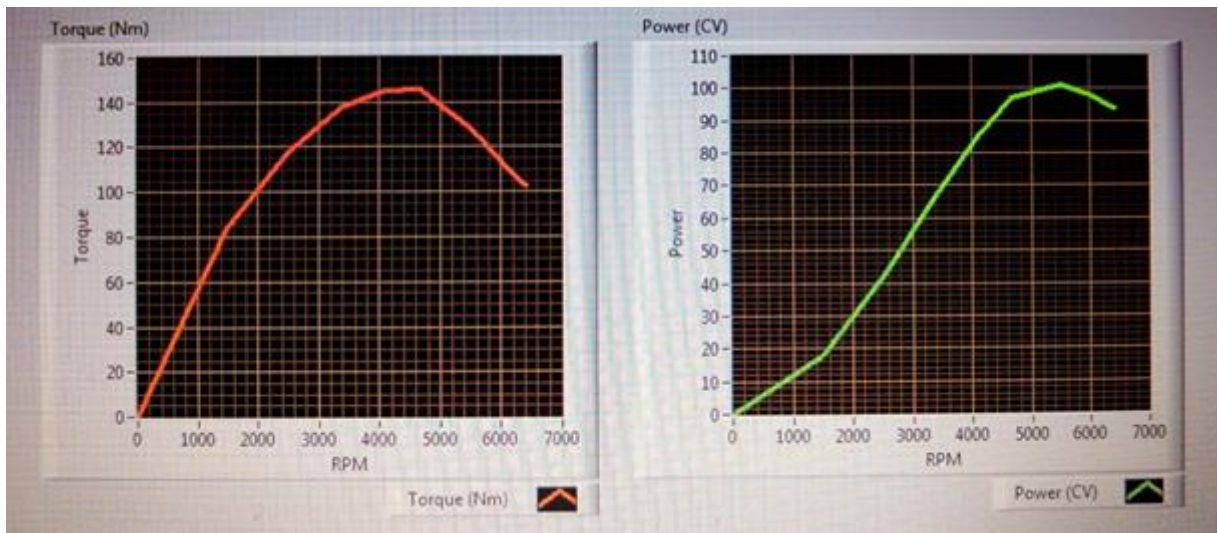


Figura 61 - Curvas de torque e potencia no sistema de supervisão
Fonte: Autoria própria.

A Figura 62 apresenta o projeto desenvolvido, composto pelo computador de bordo e pela matriz de monitoramento de fusíveis rompidos.



Figura 62 - Projeto desenvolvido
Fonte: Autoria própria.

5 CONCLUSÃO

Nesse trabalho foi desenvolvido um computador de bordo para automóveis contendo tacômetro, velocímetro, odômetro parcial, indicador de volume de combustível, indicador de autonomia e de economia de combustível, monitor de fusíveis e dinamômetro, integrados em um painel principal com interface homem-máquina.

No computador de bordo foi utilizado o microcontrolador PIC16F877A com taxa de amostragem de 100 ms para a coleta dos pulsos dos *encoders*, programado em linguagem C.

O automóvel utilizado para os testes foi um GM Chevrolet Astra GL 1999. Para o desenvolvimento do sistema foram instalados dois *encoders* de 120 pulsos por rotação nesse automóvel, um na roda traseira e outro no volante do motor.

O odômetro parcial desenvolvido foi programado para mostrar valores até 9.999,9 km sendo a resolução de 0,1 km.

Para o desenvolvimento do indicador de volume de combustível foi realizada a correção do contorno do tanque em vez da leitura direta do nível de combustível no tanque. Para tal, foi realizado o levantamento de dados relacionando a tensão do sensor do tipo boia com a quantidade de combustível no tanque do automóvel de teste. Para ocupar menos espaço de memória no microcontrolador foram utilizadas cinco funções de primeira ordem para representação dos valores medidos.

O tacômetro pode apresentar valores até 99.999 km sendo a resolução de 50 rpm por pulso do sensor do volante do motor.

O velocímetro possui range de 0 a 999 km/h sendo que o valor apresentado no *display* possui resolução de 1 km/h.

Os indicadores de autonomia e de economia utilizam as informações do odômetro parcial e do medidor de volume de combustível.

Exceto pelos indicadores de autonomia e de economia, todos os outros instrumentos desenvolvidos apresentaram resultados satisfatórios nos testes e apresentaram valores próximos dos obtidos com os instrumentos atualmente instalados no automóvel de teste.

Para esses dois instrumentos que não funcionaram adequadamente, a solução que poderá ser aplicada futuramente é a captura de informações direto da

unidade de controle eletrônico (ECU), que informa a quantidade de combustível que está sendo enviada para o motor pela injeção eletrônica. Esse método é utilizado em medidores de economia de carros importados, como os modelos da BMW por exemplo.

O monitor de fusíveis desenvolvido permite monitorar até 40 fusíveis e apresenta no *display* a informação da posição do fusível rompido e a identificação conforme o manual do proprietário do automóvel.

O dinamômetro de bordo desenvolvido utiliza as informações do tacômetro e do velocímetro e possibilitar traçar as curvas de torque e de potência do motor em relação à frequência de rotação, sem a necessidade de equipamentos adicionais, bem como os valores do torque máximo e da potência máxima e em que frequência de rotação ocorreram.

A interface de comunicação entre o computador de bordo e um computador permite transferir dados medidos no automóvel para a realização de análises mais detalhadas, inclusive em tempo real para o caso do *display*. Para exemplificar essa funcionalidade foi desenvolvido um programa no LabVIEW para traçar as curvas de torque e de potência do motor em relação a frequência de rotação.

A interface homem máquina local permite a modificação das configurações do computador de bordo e a navegação nesse, tornando opcional o uso de um computador.

O presente trabalho trouxe algumas inovações, como o dinamômetro de bordo e o monitor de fusíveis, equipamentos inexistentes no mercado e que podem ser utilizados por qualquer condutor de automóvel. Esses equipamentos são de grande importância, pois oferecem informações que facilitam trabalhos de manutenção, como a simples troca de um fusível, além de fornecer informações relativas ao desempenho do automóvel, tudo incorporado a um sistema compacto e de baixo custo.

REFERÊNCIAS

BRAIN, Marshall. *How horsepower works*. Atlanta. 2000. Disponível em: <<http://auto.howstuffworks.com/horsepower.htm>>. Acesso em: 22 fev. 2013.

BURIOL, Thiago M. **Apostila de álgebra linear**. Curitiba: UTFPR. 2007.

CARTAXO, Iran. **Consultório de preparação: Astra 1.8**. Disponível em: <<http://bestcars.uol.com.br/cp/astra-1.htm>>. Acesso em: 28 set. 2013.

CERQUEIRA, Pedro. **Computador de bordo** - numerologia automotiva. Minas Gerais, 2012. Disponível em: <http://www.vrum.com.br/app/301,19/2012/04/12/interna_noticias_45660/computador-de-bordo-numerologia-automotiva.shtml>. Acesso em: 22 fev. 2013.

CITRÖEN. **Novo C3**. Disponível em: <http://www.citroen.com.br/monte_seu_carro#/novo_c3>. Acesso em: 02 ago. 2013.

COSTA, Paulo G. **Oficina & Cia** - transmissão. São Paulo, 2002. Disponível em: <<http://www.oficinaecia.com.br/bibliadocarro/transmissao.html>>. Acesso em: 22 mai. 2013.

CRUZ, Adriano J. O. **Tipos de dados, constantes e variáveis** - modificadores dos tipos básicos. Rio de Janeiro, 1997. Disponível em: <<http://equipe.nce.ufrj.br/adriano/c/apostila/tipos.htm>>. Acesso em: 13 mai. 2013.

DENARDIN, Gustavo W. **Microcontroladores**. Curitiba, 2012. Disponível em: <http://pessoal.utfpr.edu.br/gustavo/apostila_micro.pdf>. Acesso em: 09 ago. 2013.

DORNELLES, Adalberto A. **Fundamentos de linguagem C**. Caxias do Sul, 1997. Disponível em: <http://www.dca.ufrn.br/~xamd/dca0800/apostila_C.pdf>. Acesso em: 09 ago. 2013.

GUSTER. **VO-30 - velocímetro com odômetros total e parcial**. Disponível em: <<http://www.guster.com.br/produtos/vo-30-velocimetro-com-odometros-total-e-parcial/>>. Acesso em: 27 fev. 2013.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física: mecânica**. 8 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

HARRIS, William. **How speedometers work**. Atlanta, 2007. Disponível em <<http://www.howstuffworks.com/car-driving-safety/safety-regulatory-devices/speedometer.htm>>. Acesso em: 28 fev. 2013.

INTELLITRONIX. **LED digital fuel level gauges**. Disponível em: <<http://www.intellitronix.com/fuel-gauges.html>>. Acesso em: 27 fev. 2013.

JUDGE, Arthur W. **Modern electrical equipment for automobiles**. São Paulo: Hemus Editora, 2002.

MCM. **Tabela de condutores de cobre**. Disponível em: <<http://www.mcm.ind.br/download/Tabela-condutores-cobre-AWG-x-MM.pdf>>. Acesso em: 23 mai. 2013.

MICROCHIP. **PIC 16F87XA Data Sheet**. Arizona: Microchip, 2003. Disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39582b.pdf>>. Acesso em: 23 mai. 2013.

MIKROELEKTRONIKA. **MikroC PRO for PIC**. Disponível em: <<http://www.mikroe.com/mikroc/pic/>>. Acesso em: 23 mai. 2013.

NATIONAL. **Manual de treinamento do LabVIEW básico I**. Curso da versão 6.0. National Instruments Corporation. 2001.

NATIONAL. **Áreas de aplicação do LabVIEW**. National Instruments Corporation. Disponível em: <<http://www.ni.com/labview/applications/pt/>>. Acesso em: 20 jun. 2013.

NICE, Karim. **How car computers work**. Atlanta, 2001a. Disponível em: <<http://auto.howstuffworks.com/under-the-hood/trends-innovations/car-computer.htm>>. Acesso em: 22 fev. 2013.

_____. **How odometers work**. Atlanta, 2001b. Disponível em: <<http://auto.howstuffworks.com/car-driving-safety/safety-regulatory-devices/odometer.htm>>. Acesso em: 28 fev. 2013.

_____. **How fuel gauges work**. Atlanta, 2001c. Disponível em:
<<http://auto.howstuffworks.com/fuel-gauge.htm>>. Acesso em: 28 fev. 2013.

_____. **How wires, fuses, and connectors work**. Atlanta, 2001d. Disponível em:
<<http://auto.howstuffworks.com/wfc.htm>>. Acesso em: 28 fev. 2013.

OLIVEIRA, Durval P. de. **Motores de combustão interna**. Piracicaba: FATEC-SP, 1997.

PEREIRA, Fábio. **Microcontroladores PIC: programação em C**. São Paulo: Érica, 2003.

RACETRONIX. **Manual Racetronix contagirom digital programável**. Bauru: Racetronix, 2013.

REGAZZI, Rogério D.; PEREIRA, Paulo S.; SILVA JR., Manoel F.. **Soluções práticas de instrumentação e automação: utilizando a programação gráfica LabVIEW**. Rio de Janeiro: Editora Rogério Dias Regazzi, 2005.

RICARTE, Ivan L. M. **Programação C**, Disponível em:
<<http://www.dca.fee.unicamp.br/cursos/EA876/apostila/>>. Acesso em: 20 jun. 2013.

SÁ, Maurício C. **Programação C para microcontroladores 8051**. São Paulo: Érica, 2005.

SOUZA, David J. **Desbravando o PIC: baseado no microcontrolador PIC16F84**. 5. ed. São Paulo: Érica, 2000.

_____. **Desbravando o PIC: ampliado e atualizado para PIC 16F628A**. 6. ed. São Paulo: Érica, 2003.

TEXAS. **SN7404 - Texas Instruments**. Texas, 1998. Disponível em:
<<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/>>. Acesso em: 18 mai. 2013.

VAMAG. **Dynorace - power bench test for car manual**. Varese: Vamag, 2013.

ZANCO, Wagner da S. **Microcontroladores PIC: uma abordagem prática e objetiva**. São Paulo: Érica, 2005.

APÊNDICE A – Custos dos Componentes do Projeto

O Quadro 4 apresenta os custos dos componentes do projeto em sua versão final, sem incluir os valores relativos à mão de obra.

ITENS	Quantidade	Custo Unitário (R\$)	Custo do Item (R\$)
Circuitos integrados	21	0,40	8,40
Microcontrolador PIC16F877A	1	9,62	9,62
<i>Push button</i>	13	1,52	19,76
<i>Display LCD gráfico 128x64</i>	1	61,23	61,23
<i>Trimpot 3296W 25 voltas</i>	3	0,43	1,29
Rede resistiva 8 pinos	3	0,64	1,92
Sensor óptico TCST 1103	2	3,57	7,14
Resistor 1/4W 5%	40	0,04	1,60
Cabo <i>flat</i> 40 vias (metro)	6	4,06	24,36
Barra de pinos estampada padrão 2x40	3	0,91	2,73
Suporte para CI torneado	22	0,27	5,94
Espaguete termo retrátil (metro)	2	0,64	1,28
Conector <i>lach</i> 40 pinos	5	0,59	2,95
Caixa <i>header</i> 40 pinos com trava	5	0,89	4,45
Case para montagem Patola	2	10,76	21,52
Placa fenolite virgem 10x20	2	2,63	5,26
Cristal oscilador tipo torre	1	0,77	0,77
Tubete de solda 25g	1	4,61	4,61
CUSTO TOTAL (R\$)			184,83

Quadro 4 - Custos dos componentes do projeto
Fonte: Autoria própria.

APÊNDICE B – Dados Coletados do Tanque de Combustível

A Tabela 1 apresenta os dados coletados de tensão em relação ao volume preenchido do tanque de combustível.

Tabela 1 - Dados coletados do tanque de combustível

(continua)

Volume (dl)	Tensão (V)	Volume (dl)	Tensão (V)	Volume (dl)	Tensão (V)	Volume (dl)	Tensão (V)
0	6,503	46	6,448	92	5,873	138	5,278
1	6,503	47	6,447	93	5,873	139	5,278
2	6,503	48	6,447	94	5,873	140	5,199
3	6,503	49	6,447	95	5,805	141	5,199
4	6,503	50	6,377	96	5,805	142	5,199
5	6,503	51	6,377	97	5,805	143	5,199
6	6,503	52	6,377	98	5,805	144	5,199
7	6,503	53	6,377	99	5,736	145	5,199
8	6,503	54	6,307	100	5,736	146	5,199
9	6,503	55	6,307	101	5,736	147	5,122
10	6,503	56	6,307	102	5,736	148	5,122
11	6,503	57	6,307	103	5,736	149	5,122
12	6,503	58	6,227	104	5,664	150	5,122
13	6,503	59	6,227	105	5,664	151	5,122
14	6,503	60	6,227	106	5,664	152	5,122
15	6,503	61	6,227	107	5,664	153	5,122
16	6,503	62	6,227	108	5,664	154	5,122
17	6,503	63	6,227	109	5,664	155	5,122
18	6,503	64	6,227	110	5,614	156	5,122
19	6,503	65	6,153	111	5,589	157	5,049
20	6,503	66	6,153	112	5,589	158	5,049
21	6,503	67	6,153	113	5,589	159	5,049
22	6,503	68	6,153	114	5,589	160	5,049
23	6,503	69	6,071	115	5,526	161	4,970
24	6,503	70	6,071	116	5,513	162	4,970
25	6,503	71	6,071	117	5,513	163	4,970
26	6,503	72	6,071	118	5,513	164	4,970
27	6,503	73	6,070	119	5,513	165	4,970
28	6,503	74	5,996	120	5,436	166	4,970
29	6,503	75	5,996	121	5,436	167	4,970
30	6,503	76	5,996	122	5,436	168	4,970
31	6,503	77	5,996	123	5,436	169	4,886
32	6,503	78	5,996	124	5,436	170	4,886
33	6,503	79	5,996	125	5,436	171	4,886
34	6,503	80	5,996	126	5,436	172	4,886
35	6,503	81	5,996	127	5,436	173	4,886
36	6,503	82	5,996	128	5,384	174	4,886
37	6,503	83	5,996	129	5,370	175	4,886
38	6,503	84	5,940	130	5,357	176	4,886
39	6,503	85	5,940	131	5,357	177	4,799
40	6,503	86	5,940	132	5,357	178	4,799
41	6,503	87	5,940	133	5,357	179	4,799
42	6,503	88	5,940	134	5,357	180	4,799
43	6,503	89	5,940	135	5,278	181	4,799
44	6,503	90	5,873	136	5,278	182	4,799
45	6,448	91	5,873	137	5,278	183	4,799

Tabela 1 - Dados coletados do tanque de combustível

(continua)

Volume (dl)	Tensão (V)	Volume (dl)	Tensão (V)	Volume (dl)	Tensão (V)	Volume (dl)	Tensão (V)
184	4,799	230	4,529	276	4,241	322	3,943
185	4,71	231	4,529	277	4,241	323	3,943
186	4,71	232	4,529	278	4,241	324	3,943
187	4,71	233	4,529	279	4,241	325	3,825
188	4,71	234	4,529	280	4,241	326	3,825
189	4,71	235	4,529	281	4,241	327	3,825
190	4,621	236	4,529	282	4,139	328	3,825
191	4,621	237	4,529	283	4,139	329	3,825
192	4,621	238	4,529	284	4,139	330	3,825
193	4,621	239	4,529	285	4,139	331	3,825
194	4,621	240	4,529	286	4,139	332	3,825
195	4,621	241	4,529	287	4,139	333	3,825
196	4,621	242	4,529	288	4,139	334	3,825
197	4,621	243	4,529	289	4,139	335	3,825
198	4,621	244	4,529	290	4,139	336	3,825
199	4,529	245	4,529	291	4,037	337	3,825
200	4,529	246	4,529	292	4,037	338	3,825
201	4,529	247	4,529	293	4,037	339	3,717
202	4,529	248	4,529	294	4,037	340	3,717
203	4,529	249	4,529	295	4,037	341	3,717
204	4,529	250	4,432	296	4,037	342	3,717
205	4,529	251	4,432	297	4,037	343	3,717
206	4,529	252	4,432	298	4,037	344	3,717
207	4,529	253	4,432	299	4,037	345	3,717
208	4,529	254	4,432	300	4,037	346	3,717
209	4,529	255	4,432	301	4,037	347	3,717
210	4,529	256	4,338	302	4,037	348	3,717
211	4,529	257	4,338	303	4,037	349	3,717
212	4,529	258	4,338	304	4,037	350	3,717
213	4,529	259	4,338	305	4,037	351	3,604
214	4,529	260	4,338	306	3,943	352	3,604
215	4,529	261	4,338	307	3,943	353	3,604
216	4,529	262	4,338	308	3,943	354	3,604
217	4,529	263	4,338	309	3,943	355	3,604
218	4,529	264	4,338	310	3,943	356	3,604
219	4,529	265	4,338	311	3,943	357	3,604
220	4,529	266	4,338	312	3,943	358	3,604
221	4,529	267	4,338	313	3,943	359	3,604
222	4,529	268	4,241	314	3,943	360	3,492
223	4,529	269	4,241	315	3,943	361	3,492
224	4,529	270	4,241	316	3,943	362	3,492
225	4,529	271	4,241	317	3,943	363	3,492
226	4,529	272	4,241	318	3,825	364	3,492
227	4,529	273	4,241	319	3,825	365	3,492
228	4,529	274	4,241	320	3,825	366	3,492
229	4,529	275	4,241	321	3,943	367	3,492

Tabela 1 - Dados coletados do tanque de combustível

(conclusão)

Volume (dl)	Tensão (V)	Volume (dl)	Tensão (V)	Volume (dl)	Tensão (V)
368	3,492	414	2,865	460	2,150
369	3,492	415	2,865	461	2,150
370	3,492	416	2,865	462	2,150
371	3,372	417	2,865	463	2,150
372	3,372	418	2,751	464	2,150
373	3,372	419	2,751	465	2,150
374	3,372	420	2,751	466	2,025
375	3,372	421	2,751	467	2,025
376	3,372	422	2,751	468	2,025
377	3,372	423	2,751	469	2,025
378	3,372	424	2,751	470	2,025
379	3,372	425	2,751	471	2,025
380	3,240	426	2,751	472	1,892
381	3,240	427	2,636	473	1,892
382	3,240	428	2,636	474	1,892
383	3,240	429	2,636	475	1,892
384	3,240	430	2,636	476	1,892
385	3,240	431	2,636	477	1,892
386	3,240	432	2,636	478	1,892
387	3,240	433	2,636	479	1,774
388	3,240	434	2,636	480	1,758
389	3,240	435	2,636	481	1,758
390	3,109	436	2,515	482	1,758
391	3,109	437	2,515	483	1,758
392	3,109	438	2,515	484	1,758
393	3,109	439	2,515	485	1,758
394	3,109	440	2,515	486	1,730
395	3,109	441	2,515	487	1,629
396	3,109	442	2,515	488	1,629
397	3,109	443	2,406	489	1,629
398	2,972	444	2,406	490	1,629
399	2,972	445	2,406	491	1,629
400	2,972	446	2,406	492	1,629
401	2,972	447	2,406	493	1,629
402	2,972	448	2,406	494	1,629
403	2,972	449	2,406	495	1,629
404	2,972	450	2,406	496	1,629
405	2,972	451	2,276	497	1,629
406	2,972	452	2,276	498	1,629
407	2,972	453	2,276	499	1,629
408	2,972	454	2,276	500	1,503
409	2,972	455	2,276		
410	2,972	456	2,276		
411	2,865	457	2,276		
412	2,865	458	2,150		
413	2,865	459	2,150		

Fonte: Autoria própria.