

**UILTER WITTE BARBOZA**

**SISTEMA INDICATIVO DE FRENAGEM  
EMERGENCIAL**

**FLORIANÓPOLIS, 2013**



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E  
TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA  
PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS  
ELETRÔNICOS**

**UILTER WITTE BARBOZA**

**SISTEMA INDICATIVO DE FRENAGEM  
EMERGENCIAL**

Monografia submetida ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Especialista em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos.

Orientador: Leandro Schwarz, M. Eng.

**FLORIANÓPOLIS, 2013**

CDD 621.3  
B239s

Barboza, Uilter Witte  
Sistema indicativo de frenagem emergencial [MP] / Uilter Witte  
Barboza; orientação de Leandro Schwarz . – Florianópolis, 2013.

1 v. : il.

Monografia de especialização (Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Inclui referências.

1. Acelerometria . 2. Trânsito - segurança. 3. Freios. 4. Sistemas eletrônicos. 5. Acidentes de trânsito. I. Schwartz, Leandro. II. Título.

Sistema de Bibliotecas Integradas do IFSC  
Biblioteca Dr. Hercílio Luz – Campus Florianópolis

# **SISTEMA INDICATIVO DE FRENAGEM EMERGENCIAL**

**UILTER WITTE BARBOZA**

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título de Especialista em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos e aprovado em sua forma final pela banca examinadora do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 4 de novembro de 2013.

Banca Examinadora:

---

Orientador

Prof. Leandro Schwarz, M. Eng.  
IFSC

---

Prof. Joel Lacerda, Dr. Eng.  
IFSC

---

Prof. Jony Laureano Silveira, Dr. Ing.  
IFSC

---

Prof. Marcelo Vandresen, Dr. Eng.  
IFSC



## DEDICATÓRIA

A Deus, que sempre esteve e está ao meu lado iluminando meus passos, mesmo quando tudo parecia conturbado e confuso.

A minha querida mãe, Rosemari Witte, que me trouxe a esse mundo, dedicou seu tempo, não poupou esforços e amor para formar a pessoa que eu sou hoje. Ao seu apoio imprescindível nesta nova etapa da minha vida, que é mais uma fase de formação profissional muito importante. Pela sua torcida para a realização deste título e meu sucesso.

Ao meu amor Vanessa da Costa Maldonado, por entender minha ausência nesta fase da minha vida, pelo seu apoio fundamental na realização deste meu sonho, por sua torcida pela minha vitória e por sempre estar ao meu lado.

Aos meus amigos(as) e familiares que torceram positivamente para a realização deste meu sonho.





## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao professor orientador Leandro Schwarz, pela sua dedicação ímpar, orientação técnica, por aperfeiçoar meus conhecimentos, pela compreensão das minhas dificuldades ao longo deste período e acreditar no desenvolvimento deste trabalho.

Ao professores que participaram da banca avaliadora deste presente trabalho.

Ao IFSC que ampliou meus conhecimentos acadêmicos e profissionais ao longo desta especialização.

À empresa AQX Instrumentação, onde atualmente trabalho, por ceder instrumentos para realização de alguns testes do sistema desenvolvido.

Aos meus amigos Alessandro Willian por me ajudar com a filmagem para provar o funcionamento do sistema desenvolvido, Alex Mattos por me auxiliar na estruturação e dicas na escrita de alguns pontos do documento e ao João Eduardo pela revisão e leitura do texto escrito.



“Há três métodos para ganhar sabedoria: primeiro, por reflexão, que é o mais nobre; segundo, por imitação, que é o mais fácil; e terceiro, por experiência, que é o mais amargo”

Confúcio



## RESUMO

Este trabalho tem por objetivo desenvolver um sistema eletrônico indicativo de frenagem emergencial para veículos automotores. O tema do trabalho, segurança no trânsito, tem sido alvo de grande atenção, especialmente nos últimos anos, devido ao aumento da quantidade de acidentes no trânsito brasileiro. Dentre os tipos mais frequentes de acidentes, destacam-se as colisões traseiras. O sistema desenvolvido objetiva sinalizar para os demais condutores que o veículo realizou uma frenagem abrupta ou emergencial. Para a solução, foi construído um hardware constituído de duas placas de circuito impresso; a primeira adquire os dados de desaceleração do veículo e processa de modo a categorizar a frenagem do veículo e a segunda é composta por uma matriz de LEDs para sinalização dos níveis de frenagem do veículo. Os módulos são alimentados através da bateria do próprio veículo, possui consumo baixo de modo a não interferir nos demais sistemas elétricos do veículo e é de fácil instalação. Para comprovar o funcionamento do sistema indicativo de frenagem emergencial, foram realizados testes em bancada com condições controladas e testes em campo com o protótipo instalado em um veículo e testado nas vias públicas, obedecendo a legislação de trânsito vigente e as normas de segurança aplicáveis.

Palavras-chave: Acelerometria. Segurança no trânsito. Frenagem emergencial.



## ABSTRACT

*This work aims the development of an electronic system for indicating emergency braking in vehicles. The theme of this work - traffic safety - has attracting much attention, especially in recent years, due to the increased number of traffic accidents in Brazil. Rear collisions are among the most frequent types of accidents. The developed system aims to signal to other drivers that the vehicle made a sudden emergency braking. It was developed a hardware composed of two printed circuit boards: the first, acquires data from the vehicle deceleration and processes it in order to categorize the intensity of braking and the second is composed of an array of LEDs for signaling the braking level of the vehicle. The modules are powered through the battery of the vehicle and has low consumption, in order to not interfere with other electrical systems in the vehicle. Another advantage is the ease install feature. The system tests were carried out in test bench under controlled conditions. The prototype was also tested in a vehicle on public roads, always obeying the traffic laws and regarding the safety standards.*

*Key-words: Accelerometry. Traffic safety. Emergency braking.*





## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ocorrência de acidentes por tipo e ano, de 2005 a 2011.....	25
Figura 2 – Ocorrência de colisões traseiras entre 2005 e 2011 .....	25
Figura 3 – Ocorrência de acidentes e número vítimas no ano de 2011. (DNIT, 2012).....	26
Figura 4 – Microfotografia de MEMS mostrando (a) pentes dos capacitores variáveis e (b) estrutura comb-drive usada em acelerômetros (BERNSTEIN, 2003) .....	34
Figura 5 – Arquitetura Von Neumann.....	35
Figura 6 – Arquitetura Harvard.....	35
Figura 7 – Diagrama de blocos apresentado os periféricos do microcontrolador ATmega328P (ATMEL, 2009).....	37
Figura 8 – <i>Kit</i> de desenvolvimento Arduino UNO. (ARDUINO, 2013).....	38
Figura 9 – Vista traseira de um veículo automotor categoria B .....	40
Figura 10 – <i>Brake light</i> do Renault Sandero, modelos de 2007 a 2013.....	41
Figura 11 – Diagrama em blocos do sistema .....	42
Figura 12 – Diagrama de blocos da arquitetura interna do MMA7361L. (FREESCALE, 2008) .....	43
Figura 13 – Breakout MMA7361L da LC Tech .....	44
Figura 14 – Diagrama em blocos do microcontrolador ATmega328P. (ATMEL, 2009) .....	46
Figura 15 – Primeiro diagrama esquemático elétrico do sistema proposto.....	48
Figura 16 – Protótipo inicial em matriz de contatos .....	49
Figura 17 – Diagrama esquemático da <i>CPU Board</i> .....	51
Figura 18 – <i>Layout</i> da PCI da <i>CPU Board</i> .....	53
Figura 19 – Aspecto final da PCI da <i>CPU Board</i> .....	54
Figura 20 – Diagrama esquemático da <i>Brake Light Board</i> ....	55
Figura 21 – <i>Layout</i> da PCI da <i>Brake Light Board</i> .....	56
Figura 22 – Aspecto final da PCI da <i>Brake Light Board</i> .....	56
Figura 23 – Fluxograma do <i>firmware</i> do sistema .....	58

Figura 24 – Bancada de testes utilizada para experimento do protótipo..... 59

Figura 25 – Imagens do osciloscópio apresentando as frenagens de (a) nível 0, (b) nível 1, (c) nível 2 e (d) nível 3. Os LEDs são ativos em nível baixo..... 61

Figura 26 – Circuito para teste do acelerômetro..... 62

Figura 27 – Trajeto realizado no teste de campo ..... 63

Figura 28 – Fixação do *brake light* no painel central do veículo ..... 64

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Número de acidentes e vítimas por tipo de acidente registrado em 2004. (IPEA; DENATRAN, 2006) .....	23
Tabela 2 – Número de acidentes por ano de 2005 a 2011. (DNIT, 2012).....	24
Tabela 3 – Tarefas demandadas por cada campo funcional. Hakamies-Blomqvist (1996) <i>apud</i> Balbinot, Zaro e Timm (2011).....	30
Tabela 4 – Ações do <i>brake light</i> para cada nível de frenagem do veículo .....	40
Tabela 5 – Principais características do ATmega328P (ATMEL, 2009) .....	45
Tabela 6 – Lista de componentes da <i>CPU Board</i> .....	52
Tabela 7 – Lista de componentes da <i>Brake Light Board</i> .....	55
Tabela 8 – Dados calculados e aferidos a partir da montagem apresentada na Figura 26 .....	62



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>21</b>
1.1 Justificativa.....	22
1.2 Definição do problema.....	26
1.3 Objetivos.....	27
1.3.1 Objetivo geral.....	27
1.3.2 Objetivo específico.....	27
1.4 Estrutura do trabalho.....	28
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>29</b>
2.1 Tempos de percepção e resposta de condutores.....	29
2.2 Sensor de aceleração.....	31
2.2.1 Tipos.....	32
2.2.2 Funcionamento.....	33
2.3 Microcontrolador.....	34
2.3.1 Arquitetura.....	34
2.3.2 Periféricos.....	35
2.4 Arduino.....	37
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>39</b>
3.1 Sistema proposto.....	40
3.1.1 Sensor de aceleração.....	43
3.1.2 Microcontrolador.....	44
3.2 Método de prototipagem.....	46
3.3 Prototipagem inicial.....	47
3.4 Diagrama esquemático e <i>layout</i> da PCI.....	49
3.4.1 Diagrama esquemático da <i>CPU Board</i> .....	50
3.4.2 <i>Layout</i> da <i>CPU Board</i> .....	52
3.4.3 Diagrama esquemático da <i>Brake Light Board</i> .....	54
3.4.4 <i>Layout</i> da <i>Brake Light Board</i> .....	55
3.5 Desenvolvimento do <i>firmware</i> .....	56
<b>4 RESULTADOS</b> .....	<b>59</b>
4.1 Teste de bancada.....	59
4.1.1 Análise da confecção das placas.....	60
4.1.2 Ensaios elétricos.....	60
4.2 Testes em campo.....	62
<b>5 CONCLUSÕES E DISCUSSÃO</b> .....	<b>69</b>
5.1 Melhorias e trabalhos futuros.....	69
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>73</b>



## 1 INTRODUÇÃO

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2012), realizou uma pesquisa classificando os acidentes ocorridos no ano de 2011 por tipo e gravidade. No estado de Santa Catarina, o tipo de acidente mais frequente foi a colisão traseira, somando um total de 5.657 acidentes.

O mesmo acontece no Brasil como um todo, o tipo de acidente mais frequente também foi a colisão traseira, com um total de 54.999 acidentes.

No trânsito, é importante que o tempo de reação do condutor seja o menor possível para evitar acidentes potencialmente fatais. Em sua pesquisa, Thielen (2011), destacou a importância de analisar o comportamento do condutor em situações de risco a partir do referencial da percepção de riscos. Segundo ele:

“Estima-se em  $\frac{3}{4}$  de segundo o tempo de reação **[do condutor]**, e para efeito de cálculo se utiliza o arredondamento para 1 segundo. Significa que esse é o tempo que uma pessoa leva para emitir uma resposta frente a uma situação de emergência como frear repentinamente [...]” (THIELEN, 2011, grifo nosso).

Supondo que o veículo esteja transitando em velocidade constante de 80 km/h no momento em que uma determinada situação de risco é apresentada, o veículo terá percorrido 22 metros no tempo de reação de 1 segundo do condutor, ou seja, antes que a decisão da frenagem tenha sido tomada. Este aumento na distância de frenagem pode causar um sinistro que, dada a velocidade do veículo, pode ser fatal (THIELEN, 2011).

A psicologia define vários tipos de atenção, dentre as quais, identificam-se dois tipos fundamentais para um condutor: tenacidade e vigilância. Segundo Ballone e Moura (2008):

“[...] tenacidade é a propriedade de manter a atenção orientada de modo permanente em determinado sentido, focando um ponto definido e preciso. Já a vigilância é a possibilidade de desviar a atenção para vários objetos, especialmente para estímulos do meio exterior”. (BALLONE; MOURA, 2008).

O artigo 28 do Código de Trânsito Brasileiro – Lei 95003/97 (BRASIL, 1997) afirma que “o condutor deverá, a todo o momento, ter domínio de seu veículo, dirigindo-o com atenção e cuidados indispensáveis à segurança do trânsito”.

Além da desatenção do condutor, existem dois fatores essenciais que influenciam no tempo de resposta: o tempo de percepção e o tempo reação do condutor. Em seu livro, Homburger (2003) *apud* Sousa (2011) demonstra que o tempo de percepção e o tempo de reação estão diretamente ligados; estes dois fatores definem as quatro etapas do tempo de resposta: percepção, identificação, emoção e reação.

Na prática, observa-se que os condutores, ao se envolverem em colisões traseiras, não apresentaram tenacidade ou vigilância necessária, o que reduziu o tempo hábil para a frenagem do veículo, não sendo capazes de impedir o sinistro (DETRAN/PR, 2013).

## 1.1 Justificativa

Em 2006, o Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada (IPEA), realizou em conjunto com o Denatran e com o apoio da Associação Nacional de Transportes Públicos (ANTP) e de outros órgãos governamentais, um estudo do impacto social e econômico dos acidentes de trânsito em vias brasileiras (IPEA; DENATRAN, 2006). Em um dos capítulos do relatório executivo, comparou-se a gravidade com o tipo de acidente. Neste trecho da pesquisa, constatou-se que os tipos de acidentes com maior gravidade são a colisão frontal e o atropelamento, causadores de maior número de mortes. Como



exemplo, a Tabela 1 apresenta os dados referentes ao ano de 2004.

**Tabela 1 – Número de acidentes e vítimas por tipo de acidente registrado em 2004. (IPEA; DENATRAN, 2006)**

Tipo	Acidentes		Feridos		Mortos		Mortes/ 100 acidentes
	Qtd.	%	Qtd.	%	Qtd.	%	
Colisão frontal	4.538	4,0	7.395	11,2	1.508	24,6	33,23
Atropelamento pedestre	3.996	3,6	3.581	5,4	1.170	19,1	29,28
Colisão lateral	19.118	17,0	9.323	14,1	600	9,8	3,14
Colisão traseira	27.124	24,1	9.710	14,7	550	9,0	2,03
Saída de pista	14.574	13,0	8.903	13,5	507	8,3	3,48
Colisão transversal	7.982	7,1	6.567	9,9	472	7,7	5,91
Capotamento	7.353	6,5	7.470	11,3	449	7,3	6,11
Outros	6.311	5,6	2.863	4,3	336	5,5	5,32
Colisão com objeto fixo	10.430	9,3	4.730	7,2	281	4,6	2,69
Tombamento	6.418	5,7	4.362	6,6	162	2,6	2,52
Atropelamento animais	3.479	3,1	812	1,2	54	0,9	1,55
Engavetamento	1.134	1,0	401	0,6	30	0,5	2,65
Total	112.457	100,0	66.117	100,0	6.119	100,0	5,44

Porém, além deste dado extraído das estatísticas no período pesquisado, pode-se observar também que a colisão traseira e o engavetamento, em conjunto, são responsáveis por 25,12% do total de colisões.

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), em conjunto com o Departamento de Polícia Rodoviária Federal (DPRF), vêm realizando diversas pesquisas ao longo dos anos e disponibilizando ao público relatórios anuais das estatísticas de acidentes. Os dados levantados foram adquiridos nas rodovias federais sob jurisdição do DNIT e processados pela Coordenação Geral de Operações Rodoviárias (CGPERT/DIR). Esta pesquisa foi iniciada no ano de 2005 e, até o presente momento, foram publicados os dados dos anos entre 2005 e 2011. Dentre os diversos dados levantados pela pesquisa, destaca-se o “Quadro 0102 – número de acidentes por tipo e gravidade”. A Tabela 2 apresenta uma compilação dos dados mais relevantes deste quadro (DNIT, 2012).

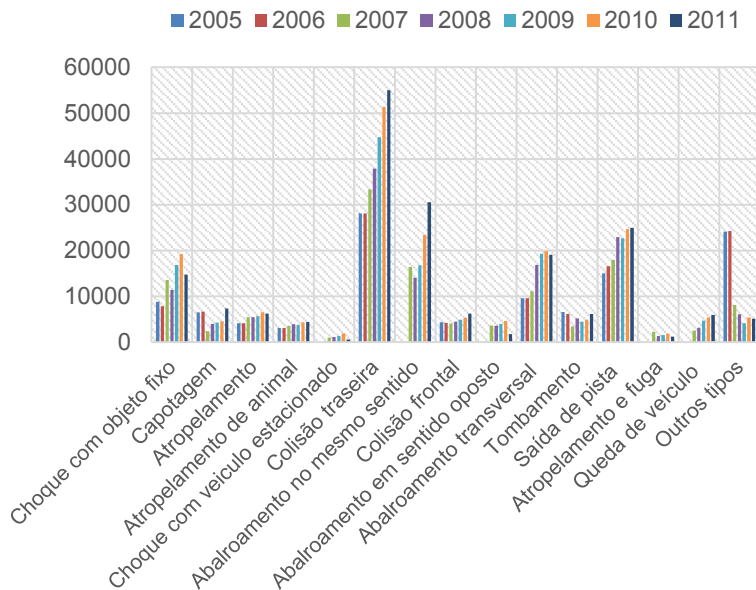
**Tabela 2 – Número de acidentes por ano de 2005 a 2011. (DNIT, 2012)**

Tipo de acidente	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Choque com objeto fixo	8812	7837	13515	11342	16835	19222	14699
Capotagem	6489	6647	2327	3983	4273	4513	7352
Atropelamento	4117	4111	5431	5414	5659	6486	6221
Atropelamento de animal	3052	3063	3544	3887	3765	4286	4365
Choque com veículo estacionado	0	0	965	1090	1280	1886	546
<b>Colisão traseira</b>	<b>28079</b>	<b>28073</b>	<b>33322</b>	<b>37873</b>	<b>44726</b>	<b>51355</b>	<b>54999</b>
Abalroamento no mesmo sentido	0	0	16414	14000	16781	23393	30549
Colisão frontal	4343	4201	4061	4469	4864	5312	6218
Abalroamento em sentido oposto	0	0	3622	3575	3993	4609	1717
Abalroamento transversal	9561	9574	11117	16852	19306	19805	19065
Tombamento	6526	6132	3395	5169	4473	4887	6150
Saída de pista	14984	16535	17966	22890	22615	24648	24933
Atropelamento e fuga	0	0	2180	1324	1502	1779	1133
Queda de veículo	0	0	2522	3113	4692	5338	5927
Outros tipos	24123	24218	8075	6091	4129	5381	5051
<b>Total por ano</b>	<b>110086</b>	<b>110391</b>	<b>128456</b>	<b>141072</b>	<b>158893</b>	<b>182900</b>	<b>188925</b>

A partir da Tabela 2, foi gerado o gráfico da Figura 1, que demonstra a disparidade da frequência de colisões traseiras em relação aos demais tipos de acidentes, em qualquer um dos anos avaliados pela pesquisa.

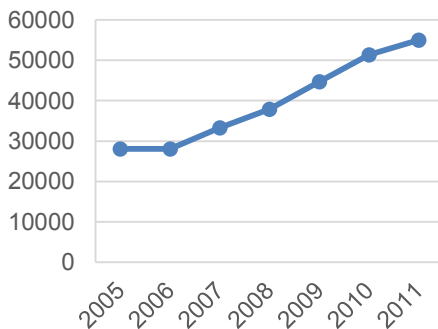
Na Figura 1, observa-se uma tendência crescente no número de acidentes envolvendo colisão traseira. A Figura 2 apresenta a linha de tendência deste tipo de acidentes nos anos pesquisados; pode-se notar um crescimento significativo de quase 100% no período pesquisado.

O ano de 2006 apresentou uma leve redução no número de colisões traseiras em relação a 2005, porém, nos anos seguintes, a ocorrência destes acidentes tem se intensificado.



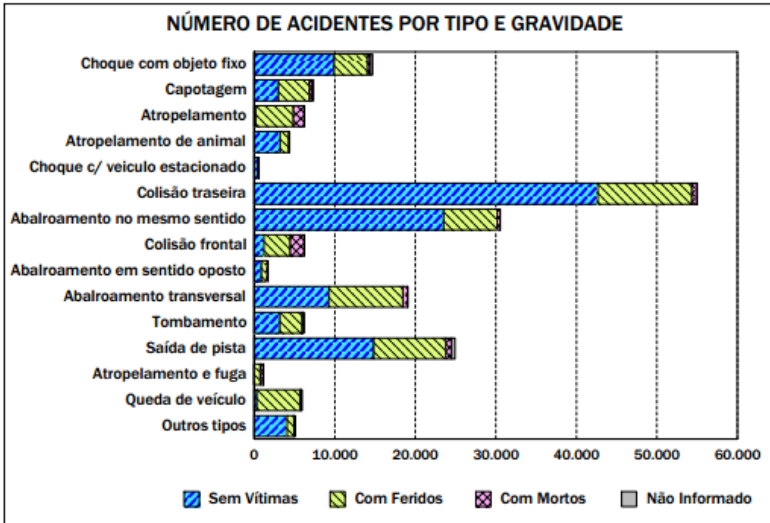
**Figura 1 – Ocorrência de acidentes por tipo e ano, de 2005 a 2011**

Em relação ao último ano da pesquisa (2011), foram registradas 54.999 colisões traseiras do total de 188.925 acidentes, representando 29,11%.



**Figura 2 – Ocorrência de colisões traseiras entre 2005 e 2011**

A Figura 3 apresenta os dados da Tabela 2 no ano de 2011.



**Figura 3 – Ocorrência de acidentes e número vítimas no ano de 2011. (DNIT, 2012)**

Acredita-se que grande parte dos acidentes do tipo colisão traseira pudesse ter sido evitado se o tempo de reação dos condutores fosse diminuído. Desta forma, um sistema eletrônico que aumente a atenção do condutor é importante para ajudar na diminuição do tipo mais frequente de acidente no trânsito brasileiro.

## 1.2 Definição do problema

É possível desenvolver um dispositivo eletrônico que atraia a atenção dos condutores, auxiliando na prevenção de colisões traseiras entre veículos por desatenção dos condutores através da terceira luz de freio?

## 1.3 Objetivos

Este trabalho visa desenvolver um sistema eletrônico que auxilie na redução de colisões traseiras no trânsito causadas por condutores que, por desatenção, não perceberem uma situação de risco a tempo para frear o veículo.

Como requisitos do sistema, pretende-se que o mesmo seja de fácil instalação, podendo ser aplicado tanto em veículos que possuam a luz central de freio (popularmente conhecida como *brake light*), quanto em veículos sem *brake light* como item de série. O sistema deve sinalizar frenagens mais rigorosas de forma mais intensa.

Como escopo limitante do trabalho, objetiva-se o uso do sistema em veículos automotores de categoria B, C, D e E, como define o Código de Trânsito Brasileiro (CTB).

Com base destes requisitos e limites, pode-se elencar os seguintes objetivos geral e específicos.

### 1.3.1 Objetivo geral

Desenvolver um dispositivo que auxilie na prevenção de acidentes por desatenção dos condutores, atuando sobre o *brake light*.

### 1.3.2 Objetivo específico

- O sistema deve sinalizar a frenagem através de uma luz intermitente;
- O sistema deve ser capaz de sinalizar diferentes níveis de intensidade da frenagem do veículo automotor;
- O dispositivo deve possuir características de baixo consumo e ser alimentado pela bateria do veículo automotor;

- O sistema deve permitir fácil instalação, preferencialmente com o mínimo de alterações no sistema elétrico do veículo.

## 1.4 Estrutura do trabalho

O trabalho apresentado está organizado em cinco capítulos. No primeiro capítulo, é apresentada uma introdução a respeito do tema do trabalho realizado, sua importância e os objetivos almejados.

O segundo capítulo serve como base tecnológica para o entendimento dos conceitos apresentados nos demais capítulos. Inicia-se com uma explanação a respeito dos tipos de atenção e tempos de percepção e reação dos condutores, na sequência, os conceitos relativos a acelerometria são apresentados. O capítulo segue na área de eletrônica abordando microcontroladores e, por fim, o *kit* de desenvolvimento Arduino.

O terceiro capítulo apresenta o método empregado para o desenvolvimento do trabalho. Inicialmente, demonstra-se a proposta do sistema, os seus blocos formadores e componentes necessários. Na sequência, os métodos de prototipagem são definidos.

O quarto capítulo refere-se aos testes realizados e os resultados obtidos. Foram realizados ensaios em bancada e ensaios em campo.

O quinto capítulo apresenta considerações sobre a análise dos resultados, as sugestões de melhorias do protótipo desenvolvido, bem como as propostas para trabalhos futuros.

Por fim, as referências bibliográficas utilizadas neste documento são listadas.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Tempos de percepção e resposta de condutores

Segundo o Código de Trânsito Brasileiro (CTB), artigo 1º, parágrafo 1º:

“Considera-se trânsito a utilização das vias por pessoas, veículos e animais, isolados ou em grupos, conduzidos ou não, para fins de circulação, parada, estacionamento e operação de carga ou descarga”. (BRASIL, 1997).

Diversas situações ou objetos demandam a atenção do condutor ao dirigir, podendo, ou não, representar perigo aos condutores, dentre os quais, pode-se citar: travessia de pedestres em local inapropriado, desrespeito de vias preferenciais por veículos, paradas repentinas de veículos, lombadas e semáforos.

Homburger (2003) *apud* Sousa (2011), em seu livro, descreve as quatro etapas o processo de avaliação e reação de um condutor a uma determinada situação, por exemplo, no caso de um semáforo amarelo:

- 1º Percepção: o condutor visualiza um semáforo amarelo;
- 2º Identificação: o condutor identifica o sinal como estando amarelo;
- 3º Emoção: o condutor decide frear o veículo;
- 4º Reação: o condutor pressiona o pedal do freio.

Sousa (2011), em sua dissertação de mestrado, pesquisou a taxa de desaceleração e os tempos entre percepção e reação dos condutores em interseções semaforizadas. Segundo ele, as quatro etapas apresentadas por Homburger formam o tempo de percepção e reação (TPR), ou seja, o tempo entre o condutor perceber que um carro a sua frente executou um frenagem

brusca e o momento em que ele executa a ação de pressionar o pedal de freio.

Geralmente, estes tipos de situações acontecem de forma rápida ou inesperada, de modo que um rápido TPR é fundamental para evitar as colisões.

Thielen (2011), explica que a decisão de executar uma reação a partir de uma situação observada é influenciada por diversos fatores cognitivos e afetivos, e pode ocorrer em frações de segundos. Entretanto, para efeito de cálculo, assume-se um TPR de 1s, aproximadamente. Logo, este é o tempo que a maioria das pessoas demora para reagir e emitir uma resposta frente a um situação no trânsito.

Outras funções psicológicas e cognitivas estão presentes no ato de dirigir. Hakamies-Blomqvist (1996) *apud* Balbinot, Zaro e Timm (2011) adaptou uma estrutura que esboça as funções psicológicas e suas respectivas tarefas demandadas, como pode-se observar na Tabela 3.

**Tabela 3 – Tarefas demandadas por cada campo funcional. Hakamies-Blomqvist (1996) *apud* Balbinot, Zaro e Timm (2011)**

Campo funcional	Tarefas demandadas
Percepção.	Detectar objetos;
	Perceber movimentos;
	Estimar velocidade;
Atenção.	Forçar atenção;
	Varredura de campo perceptivo;
	Atenção seletiva;
Habilidade Motoras.	Reagir a eventos inesperados;
	Desempenhar manobras com alto nível de complexidade (por exemplo, estacionar o carro numa vaga de difícil acesso);
	Manuseio dos diferentes controles do veículo;
Outros processos cognitivos e comportamentais envolvidos na interação com outros usuários do ambiente viário.	Prever o comportamento dos outros usuários da via a partir da observação;
	Comportar-se de maneira previsível;
	Capacidade de negociar a entrada num fluxo ou em uma interseção.



Através da análise da Tabela 3, pode-se afirmar que um condutor deve utilizar várias habilidades ao se deparar com uma situação de emergência.

A atenção é outro fator importante no processo de conduzir um veículo. Ela pode ser dividida em dois tipos: vigilância e tenacidade. Segundo Ballone e Moura (2008), a vigilância é utilizada pelo condutor para desviar a atenção para estímulos externos, por exemplo, outros veículos trafegando ao lado do seu. Já a tenacidade é a responsável por manter a atenção do condutor, focado em apenas um sentido, por exemplo, apenas no ato de conduzir um veículo, sem sofrer estímulos do meio externo. Com isso pode-se dizer que esses dois tipos de atenção são antagonistas, ou seja, quanto mais tenacidade um condutor dedica ao trânsito, menos vigilante ele fica aos estímulos externos.

## **2.2 Sensor de aceleração**

Atualmente, a maioria dos aparelhos eletrônicos possui algum tipo de sensor de aceleração ou movimento, permitindo, por exemplo, a detecção de impacto em capacetes, acionamento de *airbags*, sistemas para proteção de discos rígidos contra quedas, sistemas de controle de aeronaves e mísseis guiados, execução de funções gestuais para celulares, notebooks, dentre outros.

Apesar de serem conhecidos desde a década de 1960, a maior revolução em termos de eletrônica de consumo utilizando acelerômetros microdesenhados foi causado pela Nintendo® em 2006, através do lançamento do *console* Nintendo Wii®. O *console* da Nintendo permitia uma nova forma de interação com o jogador, através do uso de detecção de movimentos. A partir deste *console*, tanto a indústria de *videogames* quanto a indústria de telefonia móvel têm explorado amplamente o conceito de percepção de movimentos.

Partindo dos princípios da física, a segunda lei de Newton afirma que a aceleração pode ser obtida através da força que é exercida sobre um determinado objeto. A força

gravitacional (normalmente medida em  $g$ ) é definida como uma força de interação entre dois ou mais corpos, sendo diretamente proporcional à massa dos corpos.

O sensor de aceleração, portanto, converte a força aplicada na massa sísmica no interior do acelerômetro, em uma grandeza elétrica, que pode ser processada dentro de um sistema eletrônico.

### 2.2.1 Tipos

Existem diversos tipos de sensores de aceleração no mercado, diferindo em escala de medição, custo, dinâmica da resposta e estrutura interna. Portanto, é necessário analisar com cuidado a aplicação alvo (objetivo), para que o sensor possa ser selecionado corretamente.

Os acelerômetros podem medir a aceleração em um, dois ou três graus de liberdade, ou seja, direções de medição. No espaço cartesiano, os eixos ortogonais são chamados X, Y e Z. Os acelerômetros de um eixo (monoaxial) permitem a medição da aceleração resultante a um movimento em um destes eixos; os acelerômetros de dois eixos (biaxial) podem medir a aceleração resultante a um movimento em um determinado plano do espaço cartesiano (XY, YZ ou XZ); enquanto que os acelerômetros de três eixos (triaxial) podem medir a aceleração resultante a um movimento em qualquer direção do espaço cartesiano.

Esses sensores podem ser classificados em três tipos: acelerômetros, inclinômetros ou giroscópios. Os acelerômetros medem a resultante de uma dada aceleração (normalmente em  $g$ ) em relação aos eixos X, Y e Z. Os inclinômetros medem a inclinação (normalmente em graus) de um objeto em relação a um destes eixos. Os giroscópios, por sua vez, medem a velocidade angular (normalmente em graus por segundo) do objeto em relação a um dos eixos.

A nanotecnologia tem auxiliado o desenvolvimento de acelerômetros menores e mais baratos que os acelerômetros piezoelétricos, muito tradicionais na indústria. Os sensores

desenvolvidos através da nanotecnologia são chamados de MEMS (*Microelectro-mechanical Systems* - Sistemas Microeletromecânicos) e podem ser fabricados em tamanhos tão pequenos quanto um *chip* de silício de 3x3 mm. Além do baixo custo e tamanho diminuto, os acelerômetros do tipo MEMS possuem baixo consumo, permitindo sua utilização em sistemas embarcados em diversos produtos portáteis alimentados por baterias.

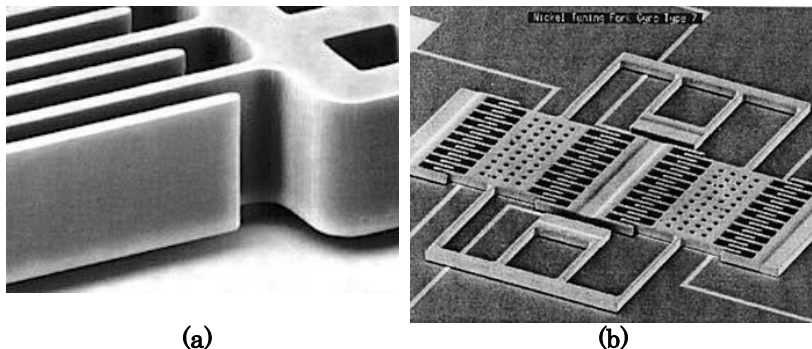
Quanto à estrutura interna, os acelerômetros podem ser mecânicos, capacitivos, piezelétricos, piezoresistivos ou ópticos (RIBAS, 2000).

### 2.2.2 Funcionamento

Uma vez que foi escolhido um sensor MEMS capacitivo para o desenvolvimento do trabalho, apenas o princípio de funcionamento destes sensores será abordado neste trabalho.

Acelerômetros do tipo MEMS são projetados baseados em um sistema massa-mola, ou seja, possuem uma massa de prova suspensa que irá se mover; quanto maior a massa de prova, maior será a sensibilidade do acelerômetro.

No sensor capacitivo, são desenhados vários capacitores em paralelo, arrançados em duas ou mais estruturas, sendo que pelo menos uma das estruturas está diretamente ligada à massa de prova. O deslocamento dessa massa de prova causa o afastamento ou a aproximação das placas do capacitores, resultando em uma variação na capacitância. Os pentes de capacitores podem mover-se horizontalmente ou verticalmente. Na Figura 4(a) é apresentada uma estrutura de pentes de capacitores variáveis e na Figura 4(b) é apresentado o arranjo de pentes de capacitores chamados de estrutura *comb-drive*.



(a) (b)  
**Figura 4 – Microfotografia de MEMS mostrando (a) pentes dos capacitores variáveis e (b) estrutura comb-drive usada em acelerômetros (BERNSTEIN, 2003)**

## 2.3 Microcontrolador

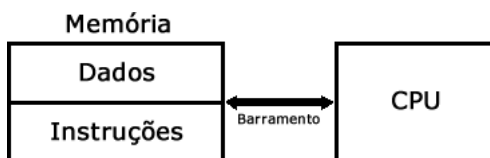
Microcontroladores (MCU) são circuitos integrados constituídos por uma CPU (*Central Processing Unit*, ou Unidade Central de Processamento), memórias RAM e ROM e diversos periféricos (portas E/S, gerenciadores de protocolos I<sup>2</sup>C, SPI, UART e outros). Os tipos e o número de periféricos variam em cada modelo e fabricante.

O microcontroladores possuem capacidade de processamento menor que os microprocessadores, entretanto, como possuem periféricos integrados, sua utilização é preferível em sistemas embarcados, tais como, MP3, celulares, impressoras, relógios, calculadoras, controles remotos e entre outros.

### 2.3.1 Arquitetura

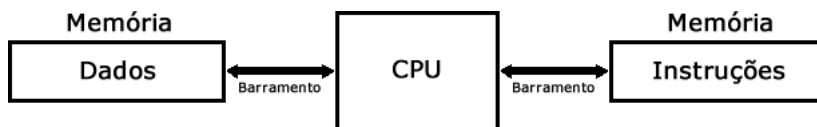
Chama-se arquitetura de um microcontrolador a forma como a CPU dele acessa as memórias de dados e a memória de instruções. Duas arquiteturas se destacam atualmente: a arquitetura Harvard e a arquitetura Von Neumann.

Na arquitetura Von Neumann (Figura 5), a CPU acessa as memórias de programa e dados utilizando um mesmo barramento, logo, esse tipo de arquitetura é um pouco menos eficaz no processamento das instruções que a estrutura Harvard, apresentada na sequência.



**Figura 5 – Arquitetura Von Neumann**

A arquitetura Harvard (Figura 6) é caracterizada pelo acesso da CPU às memórias de dados e de programa através de barramentos distintos. Desta forma, o microcontrolador pode gerenciar melhor suas tarefas e otimizar o fluxo de dados e o processamento das instruções.



**Figura 6 – Arquitetura Harvard**

### 2.3.2 Periféricos

Os microcontroladores foram desenvolvidos para serem circuitos de baixo custo e baixo consumo. O grande diferencial para a definição do tipo de microcontrolador a ser utilizado em uma aplicação, além da capacidade de processamento necessária, está nos periféricos que eles possuem; quanto mais periféricos integrados necessários à aplicação o microcontrolador possuir, menor a quantidade de componentes

externos serão necessários, menor o tamanho e o custo do projeto e maior valor agregado o projeto possuirá.

Dentre os periféricos mais comuns dos microcontroladores destacam-se os gerenciadores de barramentos de comunicação UART, SPI e I<sup>2</sup>C, conversores A/D e D/A, temporizadores e outros. Para o desenvolvimento do sistema indicativo de frenagem emergencial, serão necessários os seguintes periféricos:

O **controlador de E/S** é um periférico presente em todos os microcontroladores, sendo o responsável por gerenciar a comunicação do microcontrolador com os demais componentes eletrônicos do sistema.

O **temporizador** é um periférico responsável por realizar uma contagem de tempo definida. O periférico pode fazer uso da base de tempo do próprio microcontrolador ou utilizar uma base de tempo externa. O periférico é constituído de um contador digital e pode ou não possuir outros elementos integrados, tais como sistema de interrupções e comparadores digitais. As aplicações mais comuns de temporizadores incluem medição de períodos de tempo específicos e geração de sinais PWM.

Os **conversores A/D** (analógico-digital) são periféricos essenciais para sistemas de interface com elementos analógicos. A maioria dos microcontroladores possui pelo menos um conversor A/D com canais multiplexados. Existem diversos tipos de conversores A/D, dentre os quais, destacam-se os conversores por aproximação sucessivas, os delta-sigma, os comparadores em rampa e os conversores *flash*.

Como exemplo, a Figura 7 apresenta o diagrama em blocos do microcontrolador ATmega328P (ATMEL, 2009). Na imagem, foram marcados os blocos referentes aos periféricos descritos.

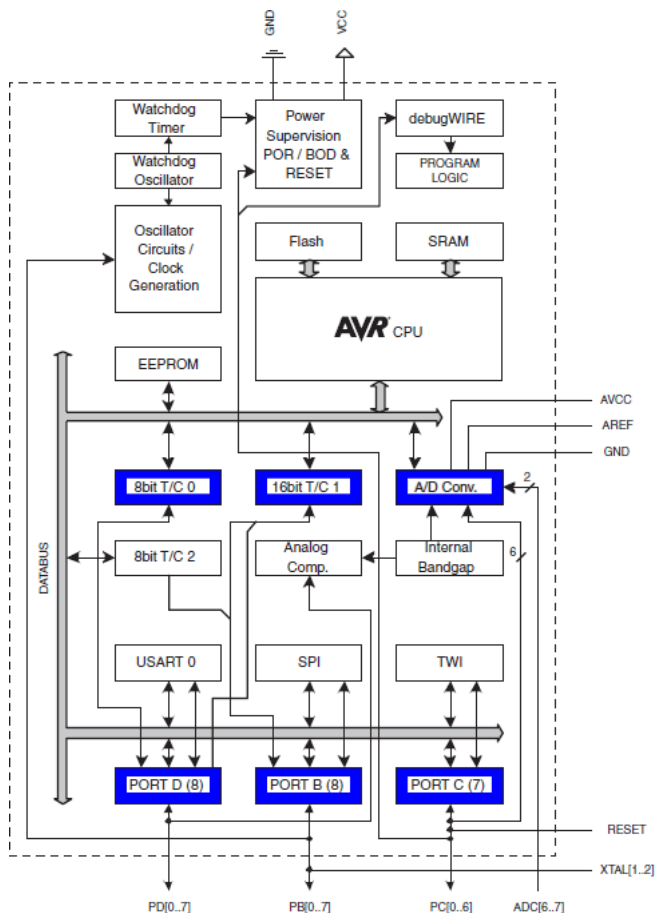


Figura 7 – Diagrama de blocos apresentado os periféricos do microcontrolador ATmega328P (ATMEL, 2009)

## 2.4 Arduino

A principal vantagem no uso de um kit de desenvolvimento está na rápida prototipagem e na presença de gravador integrado.

O Arduino é um *kit* de desenvolvimento de baixo custo, amplamente utilizado no meio acadêmico, bastante difundido

entre os leigos em eletrônica e hobbistas, muito utilizado, em especial, pela comunidade *open-source*. O projeto Arduino foi criado por Máximo Banzi na Interaction Design Institute Ivrea em 2003 e atualmente possui mais de 20 modelos de *kits* oficiais e um número muito expressivo de outros modelos não-oficiais. O sistema Arduino é baseado em microcontroladores AVR da ATMEL. Dentre os modelos oficiais, o Arduino Uno (Figura 8) pode ser adquirido por R\$ 70,00, em média, no Brasil.



**Figura 8 – Kit de desenvolvimento Arduino UNO. (ARDUINO, 2013)**

Uma vantagem do Arduino frente aos outros *kits* de desenvolvimento está nos diversos *shields* disponíveis no mercado. Um *shield* é uma placa de circuito impresso com conectores padronizados que permitem a rápida montagem e integração de elementos em um sistema. A inserção dos *shields* na programação do Arduino é intuitiva, tornado a curva de aprendizagem muito rápida.

Devido à popularidade do Arduino, existem diversos repositórios de recursos e fontes de informação técnica na Internet, além da vasta documentação oficial encontrada no *site* do fabricante.



### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho objetiva o desenvolvimento de um sistema indicativo de frenagem emergencial, indicando para os outros condutores as frenagens abruptas. A pesquisa é caracterizada como de natureza exploratório-descritiva. Os dados adquiridos serão traduzidos em informações, caracterizando, assim, uma abordagem quantitativa.

Após a pesquisa bibliográfica entre diversos autores e a análise de requisitos para o sistema, foram definidas soluções para a implementação física do sistema indicativo de frenagem emergencial. Neste trabalho, foi desenvolvido um *hardware*, contendo duas placas: a primeira é responsável pela aquisição e processamento dos sinais do sensor de aceleração, e a segunda placa é uma matriz de LEDs com o propósito de alertar os condutores do veículo de trás.

O *hardware* foi desenvolvido nas instalações do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC), no *campus* Florianópolis.

Para a construção do *hardware*, foi necessário desenvolver o esquemático elétrico das duas placas, bem como o desenho das placas de circuito impresso.

Após a confecção do protótipo, foi estruturado e desenvolvido o *firmware* do sistema. Foram, então, realizados ensaios iniciais em laboratório os quais auxiliaram na obtenção da versão final do protótipo.

A versão final do protótipo foi testada em um veículo automotor, em vias públicas em Florianópolis, Santa Catarina. Os testes foram efetuados em horários de pouco movimento, com o devido cumprimento das leis de trânsito, sempre com a presença de um passageiro para realizar as leituras e anotações. Desta forma, em nenhum momento o condutor realizou ações que comprometessem nem a sua própria segurança e a do passageiro, nem a de pessoas externas ao veículo.

### 3.1 Sistema proposto

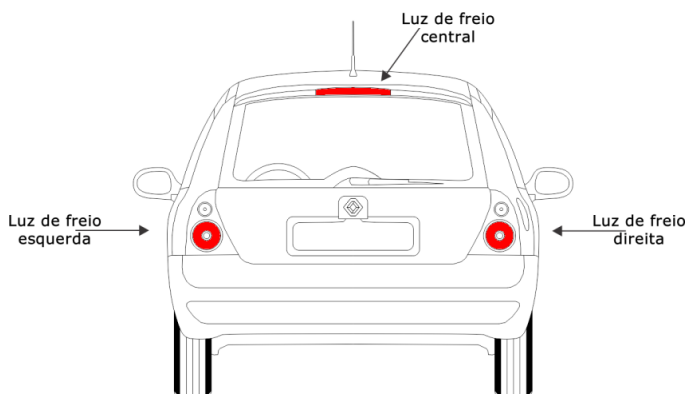
O protótipo desenvolvido, irá detectar a intensidade da frenagem, por meio de um acelerômetro. Os sinais do acelerômetro serão adquiridos e processados por um microcontrolador que irá calcular a intensidade da frenagem e classificá-la de acordo com uma tabela pré-definida. Na sequência, o sistema irá sinalizar a frenagem por meio de uma matriz de LEDs.

A princípio, foram definidos quatro níveis de intensidade de frenagem, listados na Tabela 4.

**Tabela 4 – Ações do *brake light* para cada nível de frenagem do veículo**

Estado	Nível de frenagem	Ações do <i>brake light</i>
Nível 0	inferior a 0,35g	desligado
Nível 1	entre 0,35g e 0,54g	pulsando em 3,3 Hz
Nível 2	entre 0,55g e 0,79g	pulsando em 5,0 Hz
Nível 3	maior que 0,80g	pulsando em 10,0 Hz

O protótipo não irá atuar sobre as luzes de freio laterais do veículo, atuando apenas sobre o *brake light*, apresentado na Figura 9.



**Figura 9 – Vista traseira de um veículo automotor categoria B**

O protótipo requer conexão com a bateria do veículo para alimentação, entretanto, a detecção da frenagem será realizada através de sensores de aceleração, portanto, não é necessária a alteração do sistema elétrico do freio padrão do veículo. Desta forma, reduz-se a quantidade de alterações elétricas necessárias no veículo, bem como o tempo de instalação do sistema.

Para o projeto, foram desenvolvidas duas placas: a *Brake Light Board*, na qual são posicionados os LEDs, e a *CPU Board*, a qual possui o restante dos elementos do sistema.

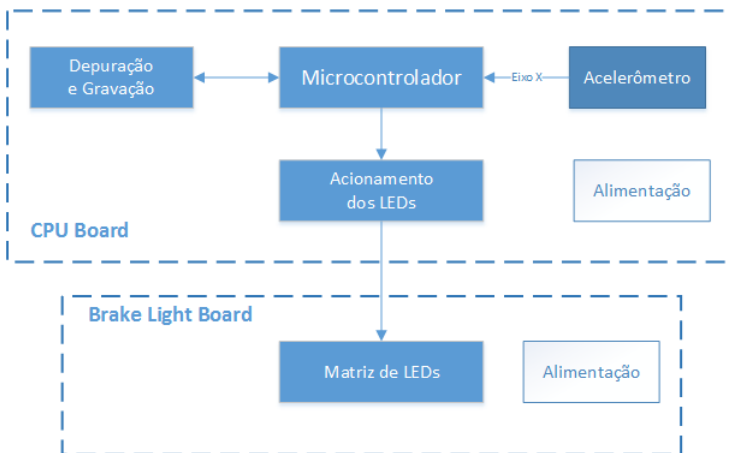
Veículos que não possuam *brake light* devem utilizar as duas placas. Os veículos que já possuam *brake light* devem utilizar a *CPU Board* e uma placa *Brake Light Board* específica para adaptar-se à mecânica do *brake light* original do veículo. Como estudo de caso, foi desenvolvida uma *Brake Light Board* para uso em um Renault Sandero, modelos de 2007 a 2013, substituindo a lâmpada incandescente do *brake light* original do veículo por um conjunto de LEDs.

Os LEDs além de possuírem acendimento e desligamento mais rápido e maior intensidade luminosa que a lâmpada incandescente, ainda apresenta vantagens na eficiência energética, durabilidade, direcionalidade do fluxo luminoso e menor dissipação térmica. A *Brake Light Board* foi projetada para ser encaixada no interior do case de plástico que abrigava a lâmpada original, apresentada na Figura 10.



Figura 10 – *Brake light* do Renault Sandero, modelos de 2007 a 2013

A *CPU Board* é responsável pela aquisição e processamento dos dados do sensor, e pelo acionamento do conjunto de LEDs da *Brake Light Board*. O diagrama em blocos do sistema é apresentado na Figura 11.



**Figura 11 – Diagrama em blocos do sistema**

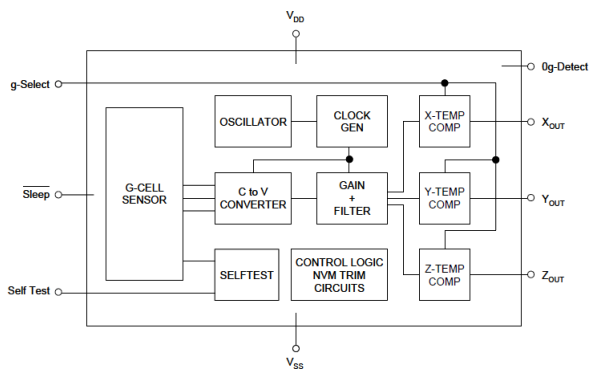
O sistema indicativo de frenagem emergencial é constituído pelos seguintes blocos:

- Regulador de tensão: fonte de alimentação linear, com o objetivo de regular a tensão fornecida pela bateria do veículo;
- Acelerômetro: sensor de aceleração responsável por adquirir as desacelerações, obtidas a partir das frenagens do veículo.
- Gravação e depuração: conectores dispostos na placa para a gravação e depuração do *firmware* do sistema. Uso exclusivo do desenvolvedor.
- Microcontrolador: responsável por adquirir as grandezas do sensor de aceleração, processá-las e atuar no *brake light*.

- *Brake Light*: terceira luz de freio, local onde serão sinalizadas as intensidades de frenagem do veículo.

### 3.1.1 Sensor de aceleração

O acelerômetro especificado para o desenvolvimento desse projeto foi o MMA7361L desenvolvido pela Freescale. Por se tratar de uma aplicação alimentada por baterias, o baixo consumo do dispositivo foi um fator determinante na escolha do componente. Em modo de operação típica, o MMA7361L possui consumo máximo de 400  $\mu\text{A}$ , enquanto em modo de espera, o consumo diminui para cerca de 3  $\mu\text{A}$  (FREESCALE, 2008). A Figura 12 apresenta o diagrama de blocos da arquitetura interna do MMA7361L.

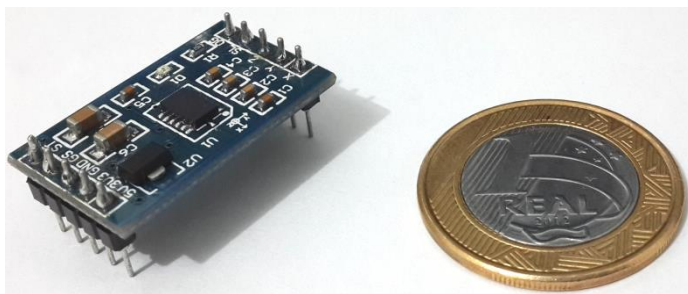


**Figura 12 – Diagrama de blocos da arquitetura interna do MMA7361L. (FREESCALE, 2008)**

De acordo com a folha de dados do fabricante (FREESCALE, 2008), a tensão de operação do dispositivo varia de 2,2  $V_{\text{DC}}$  até 3,6  $V_{\text{DC}}$ . Os dados podem ser adquiridos 0,5ms após a energização do mesmo. A sensibilidade do sensor é ajustável através de um pino de entrada digital, comutando

entre  $\pm 1,5g$  e  $\pm 6,0g$ . O dispositivo mede a aceleração nos três eixos e disponibiliza os dados em formato analógico.

Uma vez que o MMA7361L é encapsulado em um *chip* LGA-14, com  $3 \times 5 \times 1$  mm, a soldagem manual do componente no protótipo é muito difícil. Para solucionar esse inconveniente foi utilizada uma placa de prototipagem rápida Breakout MMA7361L da LC Tech (2013), que possui este sensor montado e demais componentes necessários (Figura 13).



**Figura 13 – Breakout MMA7361L da LC Tech**

Este módulo já possui os capacitores na alimentação e nas saídas analógicas, necessários para evitar oscilações de tensão de alimentação e para filtrar ruídos no sinal de saída do sensor.

O módulo pode ser adquirido por R\$ 50,00 em alguns fornecedores no Brasil. Porém, para utilização em grande escala, sugere-se a aquisição e uso do componente MMA7361L discreto, com preço unitário em torno de R\$ 10,00 no Brasil. Em quantidades superiores a 100 unidades, o preço de mercado diminui para aproximadamente U\$ 2,63, no exterior.

### 3.1.2 Microcontrolador

Para o projeto, foi escolhido o microcontrolador ATmega328P da Atmel Corporation. Este microcontrolador é a

base do Arduino UNO, possui todos os periféricos necessários ao projeto e pode ser adquirido com baixo custo, principalmente devido à enorme demanda de *chips* provocada pelo projeto Arduino.

Em baixa escala, este microcontrolador é adquirido por R\$ 12,00 no Brasil, entretanto, nos Estados Unidos, pode-se adquirir uma unidade por U\$ 2,88. Acima de 100 unidades, o preço no exterior pode ser reduzido para U\$ 1,63 ou R\$ 3,79 por unidade.

O ATmega328P é um microcontrolador com arquitetura Harvard com algumas modificações e conjunto de instruções RISC aprimorada, com núcleo de 8 bits e 32 KB de memória de programa Flash. As principais características do microcontrolador são listadas na Tabela 5.

**Tabela 5 – Principais características do ATmega328P (ATMEL, 2009)**

Característica	Indicador
Memória de programa	32 KB Flash
Memória E <sup>2</sup> PROM	1024 B
Memória de dados	2 KB SRAM
Temporizadores	2 - 8 bits 1 - 16 bits
Conversor A/D	1 conversor de 10 bits Com 6-8 canais multiplexados
Controladores de E/S	2 - 8 pinos 1 - 7 pinos
Frequência de operação	até 20 MHz
CPU	1 núcleo de 8 bits
Tensão de operação	1,8 - 5,5 V <sub>DC</sub>

O ATmega328P possui 131 instruções RISC com 32 registradores de propósito geral conectados a ULA (Unidade Lógica Aritmética). A Figura 14 apresenta o diagrama em blocos da arquitetura interna do microcontrolador.

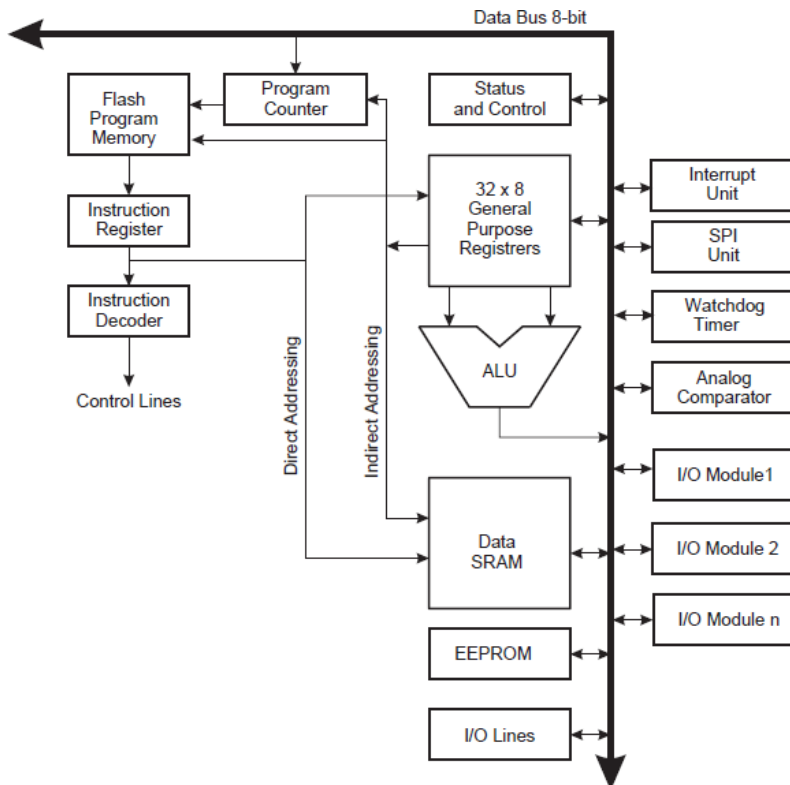


Figura 14 – Diagrama em blocos do microcontrolador ATmega328P. (ATMEL, 2009)

### 3.2 Método de prototipagem

O desenvolvimento do sistema foi dividido em duas etapas de prototipagem:

- Etapa 1: Protótipo desenvolvido em matriz de contatos;
- Etapa 2: Lote piloto contendo três unidades das PCIs, confeccionadas por empresa especializada.



O protótipo inicial foi testado no *kit* de desenvolvimento Arduino UNO em uma matriz de contatos, com o objetivo de validar o esquemático elétrico e o *layout*, além de possibilitar o teste com o módulo Breakout MMA7361L do acelerômetro.

Para a segunda etapa, desenvolveu-se uma placa de circuito impresso para a versão final do *hardware*. Foi produzido um pequeno lote piloto com três unidades, que foram confeccionadas em uma empresa de fabricação de placas de circuito impresso. Esse lote foi ensaiado de modo a servir de base para a produção voltada ao mercado.

O protótipo da segunda etapa será submetido a uma gama de testes, descritos no capítulo dos resultados do projeto.

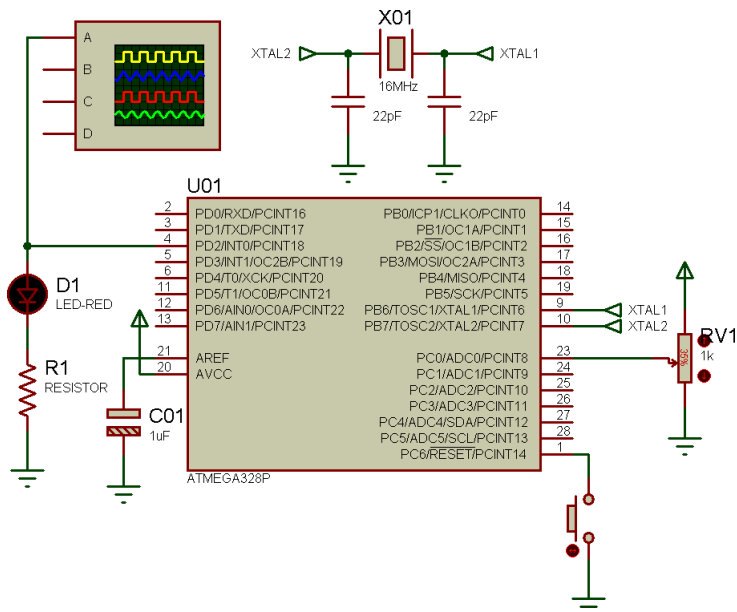
### 3.3 Prototipagem inicial

Antes da definição de qualquer esquemático elétrico e/ou circuito impresso, foi necessário realizar a validação dos diversos componentes estudados e citados na fundamentação teórica deste trabalho.

O desenvolvimento de um conjunto *hardware* e *firmware* inicial foi feito através do uso do *software* ISIS Proteus, versão 7.9, desenvolvido pela Labcenter Electronics. Neste *software* é possível desenvolver e simular diversos tipos de circuitos eletrônicos, inclusive sistemas microcontrolados.

O primeiro diagrama esquemático do sistema é apresentado na Figura 15. Foi utilizado um potenciômetro para simular o sinal analógico do acelerômetro e um LED para simular o sistema de acionamento dos LEDs da *Brake Light Board*.

Após o teste do *firmware*, o próximo passo foi a montagem do circuito em matriz de contatos, com a substituição do potenciômetro pela placa Breakout MMA7361L.



**Figura 15 – Primeiro diagrama esquemático elétrico do sistema proposto**

Esta metodologia de desenvolvimento é muito utilizada para novos projetos que não requeiram grande complexidade. A prototipagem torna-se mais rápida e menos dispendiosa financeiramente, por possibilitar a fácil alteração do *hardware* sem a necessidade de se refazer o *layout* e a confecção de uma nova placa de circuito impresso. A prototipagem em matriz de contatos é apresentada na Figura 16.

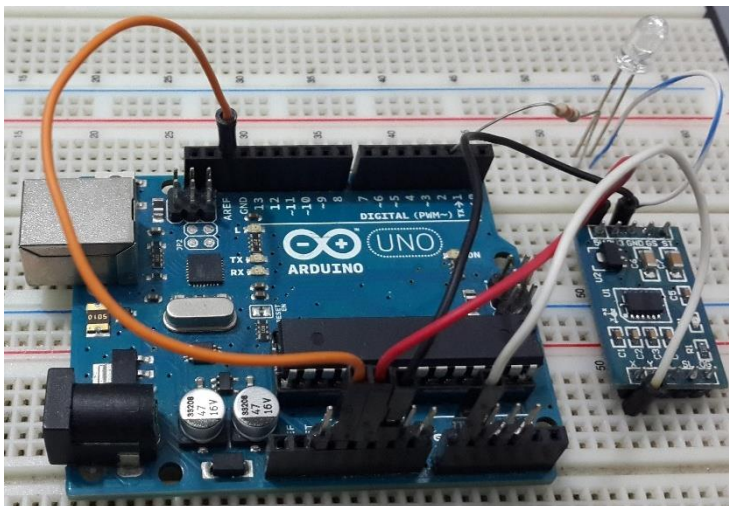


Figura 16 – Protótipo inicial em matriz de contatos

### 3.4 Diagrama esquemático e *layout* da PCI

Para o desenvolvimento do diagrama esquemático e do *layout* da PCI do sistema, foi utilizado o *software* Eagle PCB Design®, versão 6.2.0, desenvolvido pela CadSoft Computer. Este *software* é muito utilizado por projetistas de *hardware* pois possui uma versão gratuita limitada ao desenvolvimento de placas dupla face com tamanho máximo de 10x8 cm, essa limitação não foi impeditiva para o uso do *software* no desenvolvimento deste projeto.

O diagrama esquemático é um diagrama técnico com simbologia padronizada dos componentes eletrônicos de um projeto. Nele pode-se observar as ligações físicas entre cada componente do circuito. Baseado no diagrama esquemático é possível desenvolver o *layout* da placa de circuito impresso, na qual os componentes estão posicionados e são interligados eletricamente pelas trilhas do circuito.

Através do diagrama esquemático de um circuito, pode-se gerar também as listas de materiais, ou BOM (*Bill of*

*Materials*), as quais podem ser utilizadas para realizar as cotações de componentes eletrônicos do projeto.

### 3.4.1 Diagrama esquemático da *CPU Board*

A *CPU Board* possui um circuito responsável pela regulação da tensão de alimentação do protótipo, formado por um regulador de tensão LM7805 e três diodos 1N4007 para proteção contra inversão na polaridade da tensão no conector de entrada de energia, sobretensão causada por cargas indutivas e curto-circuito na alimentação do sistema. A Figura 17 apresenta o diagrama esquemático da *CPU Board*.

Um dos principais componentes do sistema é o microcontrolador AVR ATmega328P, responsável pela aquisição e processamento dos dados referentes à frenagem do veículo.

Uma vez que o símbolo e o *footprint* da Breakout MMA7361L não fazem parte da biblioteca padrão do Eagle, foi necessário utilizar um componente ou conector compatível com as suas dimensões, o que não comprometeu a qualidade do *layout* da PCI. O conector escolhido foi o FE05-1, normalmente utilizados como barra de pinos, por possuir a mesma característica física da Breakout MMA7361L, identificados no esquemático por Acc1 e Acc2.

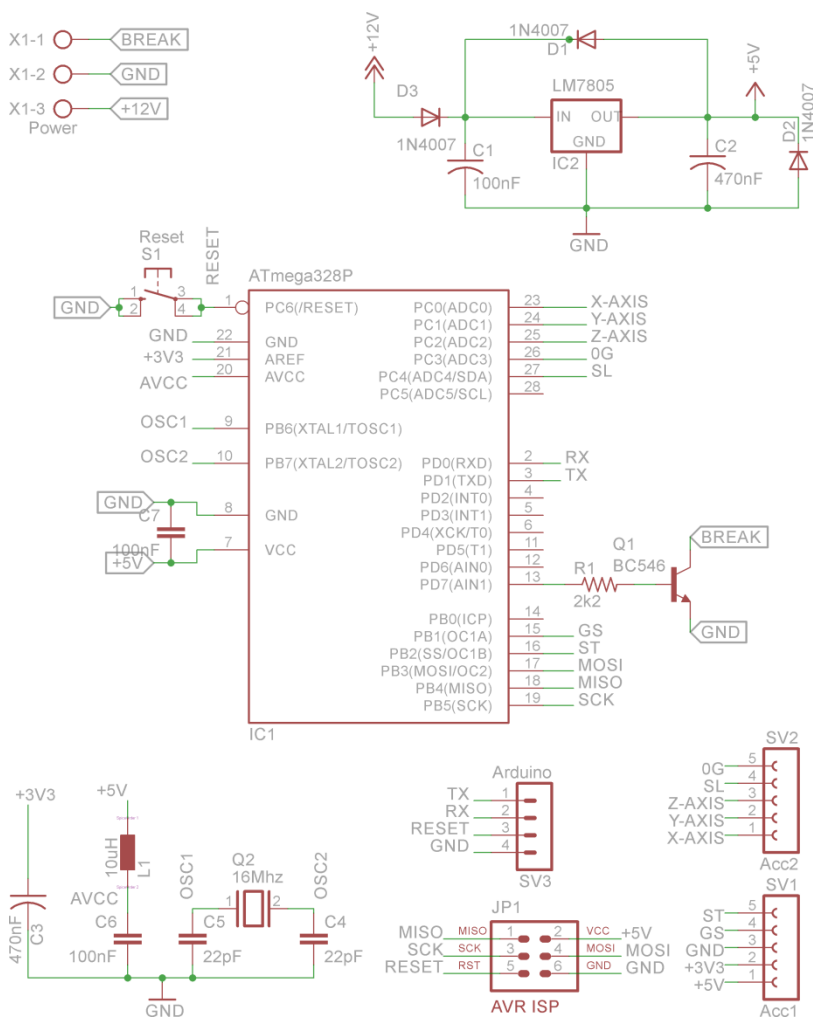


Figura 17 – Diagrama esquemático da *CPU Board*

A Tabela 6 apresenta a lista de componentes da *CPU Board*.

**Tabela 6 – Lista de componentes da CPU Board**

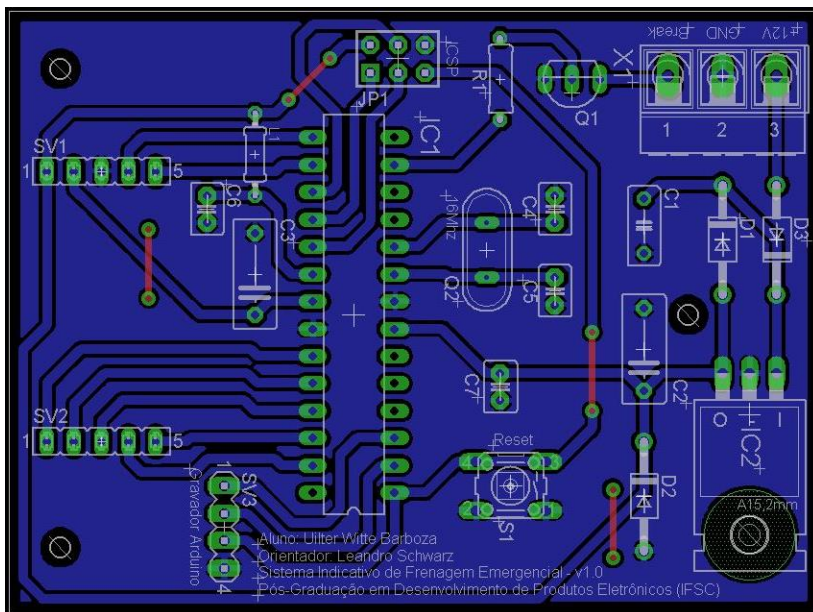
Componente	Valor	Quantidade	Parte
Resistor axial	2k2	1	R1
Capacitor disco cerâmico	22pF	2	C4 e C5
Capacitor de poliéster	470nF	2	C2 e C3
Capacitor eletrolítico	100nF	2	C6 e C7
	100nF	1	C1
Indutor axial	10uH	1	L1
Diodo retificador	1N4007	3	D1 · D3
Transistor	BC548	1	Q1
Regulador de tensão	LM7805	1	IC2
Microcontrolador	ATmega328P	1	IC1
Cristal	16Mhz	1	X2
Chave tátil	Push-button NA	1	S1
Bloco terminal	3 pinos	1	X1
Soquete barra fêmea torneado	1 linha, 5 pinos	2	SV1 e SV2
	2 linhas, 3 pinos	1	JP1
Barra de pinos macho 11 mm 180	1 linha, 4 pinos	1	SV3

### 3.4.2 Layout da CPU Board

Após o desenvolvimento do diagrama esquemático, deu-se início ao desenvolvimento do *layout* da PCI da *CPU Board*. A Figura 18 apresenta a última versão do layout da placa.

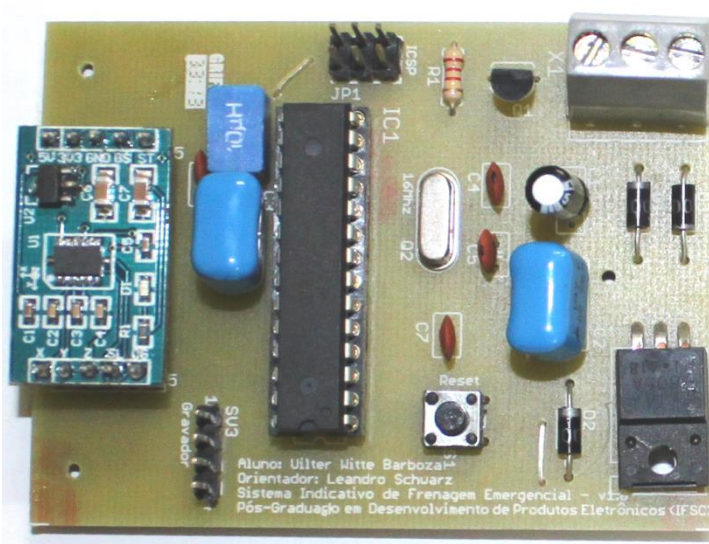
A *CPU Board* possui dimensões de 75,25 x 55,88 mm, porém, é possível reduzir-se este tamanho através da utilização de componentes do tipo SMD e do redesenho em uma placa dupla-face.

A *CPU Board*, foi projetada visando as boas técnicas de colocação de componentes em circuitos impressos, sendo subdivididas em três partes. Na parte superior, foram posicionados os componentes do circuito da fonte de alimentação, essa medida auxilia a redução de interferências eletromagnéticas em circuitos digitais. Na parte central, encontra-se o microcontrolador e demais componentes e conectores para a gravação e depuração do *firmware*. Por fim, abaixo no *layout*, estão posicionado os conectores para a placa Breakout MMA7361L.



**Figura 18 – Layout da PCI da CPU Board**

Para facilitar a montagem dos protótipos, foram usados componentes eletrônicos que possibilitam o seu manuseio sem ajuda de máquinas ou fornos industriais para a soldagem. Outra característica, foi o uso de trilhas com uma largura mínima de 0,80 mm, considerada grande para circuitos impressos; a isolamento entre as trilhas também foi aumentada. Essas medidas podem ser alteradas para auxiliar a miniaturização do circuito, para o desenvolvimento comercial em larga escala. O aspecto final da CPU Board pode ser visualizado na Figura 19.



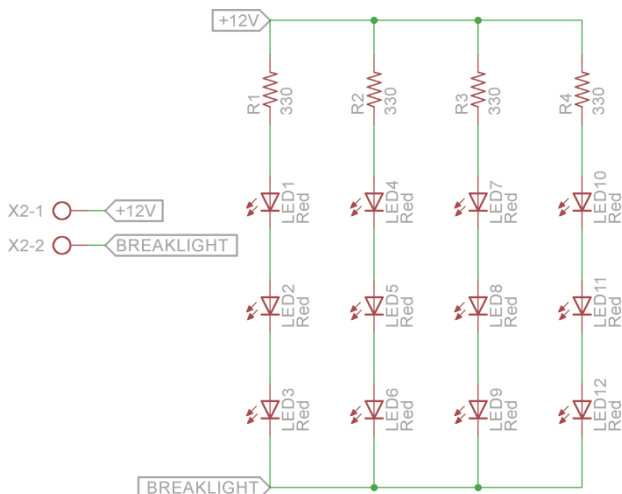
**Figura 19 – Aspecto final da PCI da *CPU Board***

### 3.4.3 Diagrama esquemático da *Brake Light Board*

A Figura 20 ilustra o diagrama esquemático desenvolvido da *Brake Light Board*, responsável pela sinalização da intensidade da frenagem através de um conjunto de LEDs.

Uma vez que o circuito de controle e acionamento dos LEDs foram implementados na *CPU Board*, a *Brake Light Board* foi projetada para conter os LEDs e resistores de limitação de corrente de modo compacto, permitindo seu ajuste ao reduzido espaço no alojamento do *brake light* do veículo. O circuito é alimentado pela bateria do veículo, através de um conector presente na *CPU Board*.





**Figura 20 – Diagrama esquemático da *Brake Light Board***

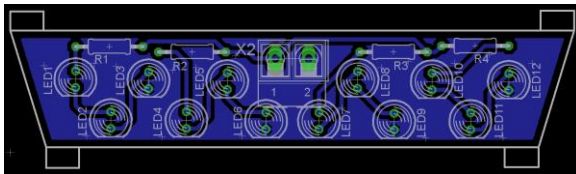
A Tabela 7 apresenta a lista de componentes da *Brake Light Board*.

**Tabela 7 – Lista de componentes da *Brake Light Board***

Componente	Valor	Quantidade	Parte
Resistor axial	330 $\Omega$	4	R1 - R4
LED alto brilho	Vermelho 5 mm	12	LED1 - LED12
Bloco terminal	2 pinos	1	X2

### 3.4.4 Layout da *Brake Light Board*

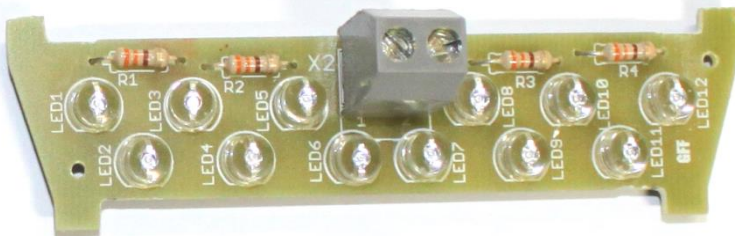
A Figura 21 ilustra a última versão do *layout* PCI da *Brake Light Board*. A placa foi confeccionada para substituir a lâmpada do *brake light* original do veículo Renault Sandero.



**Figura 21 – Layout da PCI da *Brake Light Board***

A placa possui dimensões de 23,6 x 85,1 mm, entretanto, se o *brake light* original do veículo for utilizado, é preciso realizar um novo *layout* para se adequar à mecânica.

Assim como na *CPU Board*, as trilhas foram desenhadas com espessura de 0,80mm; em face simples. O aspecto final da *Brake Light Board* pode ser visualizado na Figura 22.



**Figura 22 – Aspecto final da PCI da *Brake Light Board***

### 3.5 Desenvolvimento do *firmware*

O microcontrolador é o responsável pela aquisição e pelo processamento dos sinais do sensor de aceleração e também pelo controle da sinalização da frenagem através dos LEDs. Para realizar estas ações, ele deve ser programado através de um conjunto de instruções, chamado *firmware*.

O Arduino oferece uma ferramenta própria para o desenvolvimento do *firmware*, sua compilação e gravação no *kit*, porém, seu uso foi descartado pois a linguagem empregada pelo ambiente Arduino é um *subset* da linguagem C++ composta por diversas macrofunções, mascarando os comandos

e os registradores. Apesar de ser ideal para programadores inexperientes, a ausência do controle total sobre os registradores impede a portabilidade do *firmware* para microcontroladores dentro de uma mesma família.

Por isso, o *firmware* foi escrito em linguagem C no padrão ANSI. O *software* Atmel Studio, versão 6, da Atmel Corporation foi utilizado como IDE de desenvolvimento do *firmware* e para a compilação do código. O *firmware* foi gravado no *kit* através da IDE do Arduino, versão 1.0.5. O fluxograma do *firmware* desenvolvido para o sistema é apresentado na Figura 23.

Ao ser acionado, o microcontrolador executará as instruções de configuração dos periféricos usados no projeto. Processo denominado “Inicialização dos periféricos e variáveis”.

O processo denominado “Aquisição do eixo X” é a etapa na qual o microcontrolador realizará a aquisição dos eixos do sensor de aceleração. Este processo é disparado a cada 10ms, com a ajuda de um temporizador de 8 bits. O temporizador configura o canal a ser adquirido e dispara o processo de conversão A/D do periférico do microcontrolador. Os três eixos do acelerômetro são adquiridos, porém, neste projeto, apenas o eixo X é adquirido e processado, para obter a intensidade da frenagem.

Quando a conversão é finalizada, o *firmware* chama uma função com os cálculos para conversão dos dados adquiridos em intensidade de frenagem em g. Esta etapa é feita no processo “Cálculo da desaceleração”. Após o cálculo, a frenagem é classificada de acordo com a Tabela 4.

No caso de uma frenagem considerada abrupta, o processo “Pisca Brake Light” irá atuar sobre os LEDs, pulsando-os na frequência que a frenagem se enquadra. Para a geração dos pulsos, foi utilizado o temporizador de 16 bits. Caso a frenagem não tenha sido considerada abrupta, o processo retornará para a etapa de aquisição de uma nova aceleração.

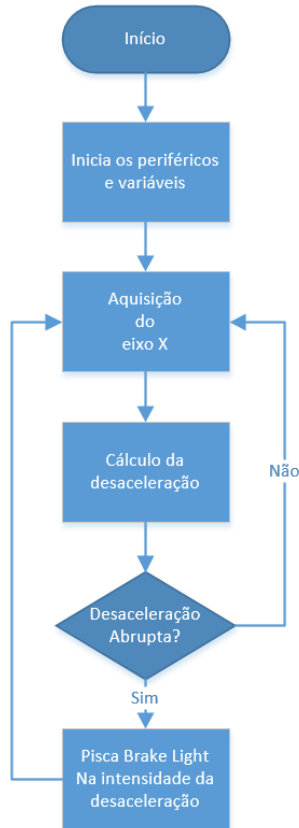


Figura 23 – Fluxograma do *firmware* do sistema

## 4 RESULTADOS

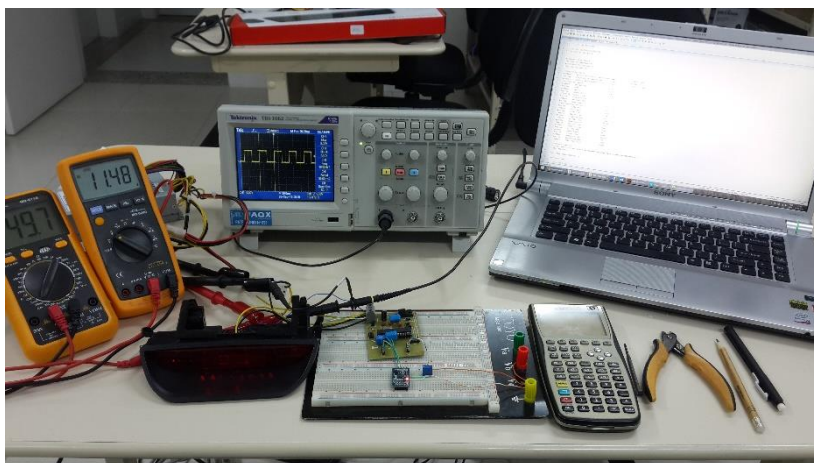
### 4.1 Teste de bancada

Usualmente os testes de bancada são os primeiros testes a serem executados em qualquer protótipo. Estes são realizados em ambiente controlado de modo a verificar o desempenho do protótipo quando submetido a condições pré-determinadas.

Foram realizados três testes de bancada: análise da confecção das PCIs, ensaios elétricos e ensaios de funcionalidade.

Para os ensaios realizados, foram utilizados dois multímetros, um ICEL MD-6390 e um ICEL MD-6110 e um osciloscópio Tektronix TBS 1062.

A documentação dos teste de bancada foi realizada através de registros fotográficos e de imagens adquiridas no osciloscópio. A Figura 24 apresenta os equipamentos e o cenário montado para o teste de bancada.



**Figura 24 – Bancada de testes utilizada para experimento do protótipo**

#### 4.1.1 Análise da confecção das placas

As placas foram confeccionadas por uma empresa especializada em circuitos impressos, e o serviço prestado não envolveu testes de continuidade. Portanto, as placas foram manualmente testadas para verificação da continuidade das trilhas.

Foram realizadas análises visuais, em busca de trilhas cortadas, máscara de solda mal aplicada, rebarbas em cortes e outros defeitos.

Após a soldagem dos componentes, foi realizado outro teste de continuidade com o multímetro ICEL MD-6390, para verificar a existência de soldas-fria nas placas.

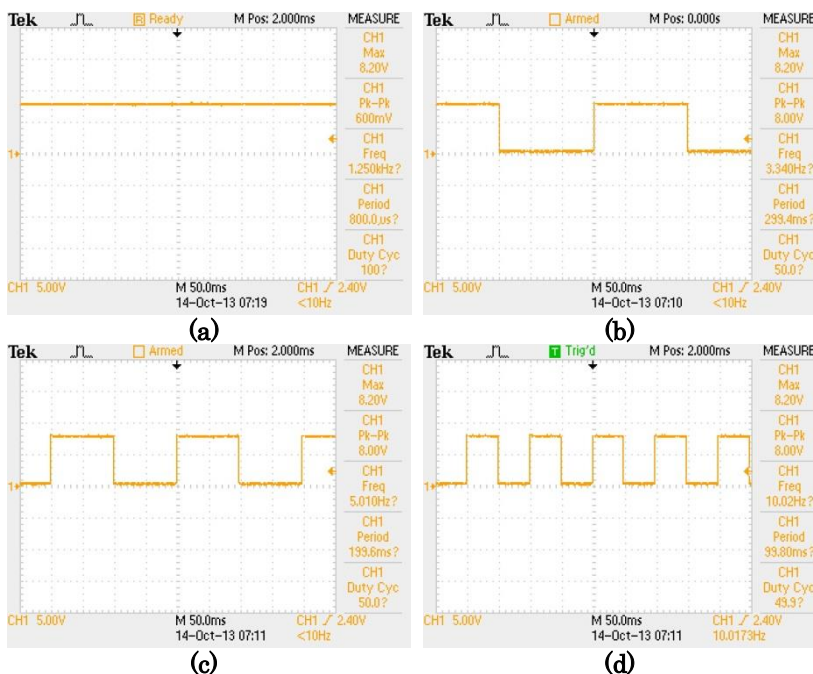
A análise da confecção das placas não apontou nenhum defeito, tanto da parte da confecção das placas pela empresa contratada, quanto pela soldagem realizada.

#### 4.1.2 Ensaios elétricos

Neste teste de bancada, o consumo do protótipo foi medido através do multímetro ICEL MD-6110.

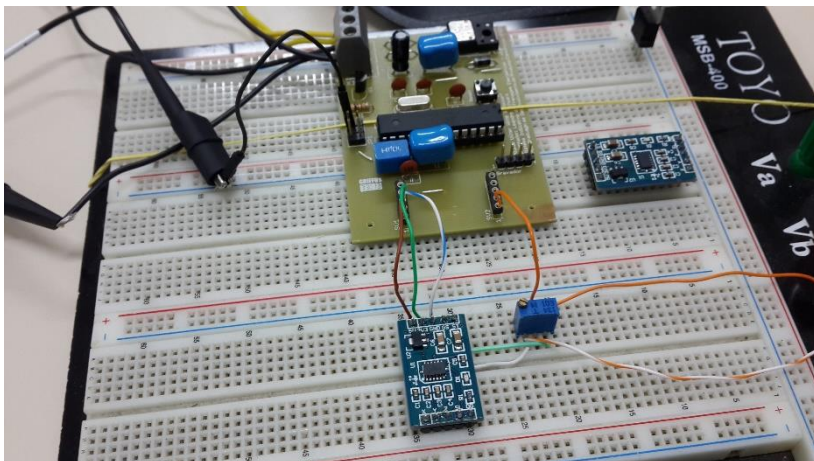
O protótipo foi alimentado pela saída de 12 V de uma fonte ATX. As tensões de saída do regulador LM7805 foi medida, bem como a tensão de referência de 3,3 V do conversor A/D. Os valores obtidos foram, respectivamente, 5,05 V e 3,31 V.

Na sequência, verificou-se a eficácia da conversão da tensão de saída do acelerômetro pelo conversor A/D do microcontrolador. Além de sua exatidão, comparou-se o valor da tensão e sua conversão para grandeza vetorial em  $g$  para comprovar o cálculo implementado no *firmware*. Completada a etapa do conversor A/D e, com auxílio do osciloscópio, buscou-se ilustrar as formas de onda nos diferentes níveis de frenagem emergencial, configurados no *firmware*. As imagens referentes ao acionamento do sistema de sinalização em cada um dos níveis de frenagem é apresentada na Figura 25.



**Figura 25 – Imagens do osciloscópio apresentando as frenagens de (a) nível 0, (b) nível 1, (c) nível 2 e (d) nível 3. Os LEDs são ativos em nível baixo**

Em uma matriz de contatos, foi montado um potenciômetro de múltiplas voltas, configurado como divisor de tensão, para simular os níveis de tensão esperados em cada nível de frenagem, conforme ilustra a Figura 26. O acelerômetro foi fixado na matriz de contatos e a saída regulada de 3,3 V do módulo foi utilizada para a alimentação do potenciômetro juntamente com o pino comum. O *tap* central do potenciômetro foi ligado ao pino de entrada analógica da placa CPU Board. Com essas ligações foi possível simular a tensão de saída do acelerômetro, controlando sua variação para a comprovação da conversão A/D do microcontrolador.



**Figura 26 – Circuito para teste do acelerômetro**

A tensão no *tap* do potenciômetro foi ajustada para 1,617 mV, valor correspondente a  $0g$  no eixo x, denominado de  $V_{zero}$  no *firmware* do microcontrolador. O potenciômetro foi variado até 2,257 mV, correspondente a  $0,80g$ . Estes valores vetoriais da gravidade foram baseados no *firmware* desenvolvido, os dados calculados e aferidos foram apresentados na Tabela 8.

**Tabela 8 – Dados calculados e aferidos a partir da montagem apresentada na Figura 26**

Frenagem	Aceleração	Tensão calculada	Tensão aferida
Nível 0	$0g$	1,650 mV	1,617 mV
Nível 1	$0,35g$	1,930 mV	1,897 mV
Nível 2	$0,55g$	2,090 mV	2,057 mV
Nível 3	$0,80g$	2,290 mV	2,257 mV

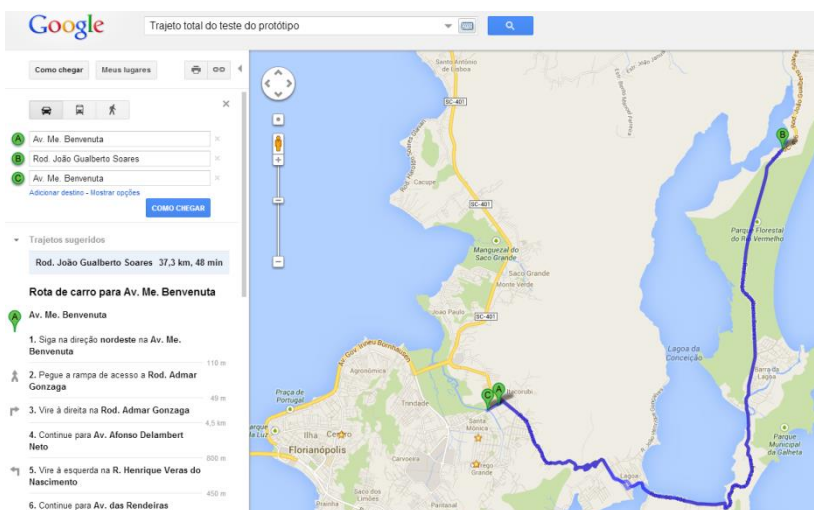
## 4.2 Testes em campo

Para esta etapa do projeto, foram realizados alguns testes em campo do protótipo. Os testes foram realizados em vias públicas no município de Florianópolis. É preciso salientar que os testes foram efetuados em horários de pouco



movimento, com o devido cumprimento das leis de trânsito, sempre com a presença de um passageiro para realizar as leituras e anotações. Desta forma, em nenhum momento o condutor realizou ações que comprometessem nem a sua própria segurança e a do passageiro, nem a de pessoas externas ao veículo.

O percurso oficial está ilustrado na Figura 27 que demonstra o trajeto de 37,3 km realizado. Este trajeto foi realizado por possuir vias de baixa velocidade, vias de alta velocidade, vias pavimentadas com asfalto e com paralelepípedos, semáforos, lombadas, e acidentes geográficos, tais como pequenos morros com estradas retas e com estradas sinuosas.



**Figura 27 – Trajeto realizado no teste de campo**

O protótipo foi instalado no interior do veículo, de modo que a resposta do sistema não pudesse ser vista no exterior do veículo. Esta medida foi tomada tanto por segurança, de modo a evitar a confusão dos outros condutores em caso de mal funcionamento, quanto por conveniência, para facilitar a remoção do sistema para programação de ajustes no *firmware*.

O *brake light* foi fixado no painel central do veículo, como demonstra a Figura 28, para a visualização do condutor e do carona dos níveis de frenagem configurados no *firmware*



Figura 28 – Fixação do *brake light* no painel central do veículo

A *CPU Board* foi fixada provisoriamente entre os bancos do condutor e do passageiro; o local foi escolhido de modo a nivelar o protótipo com a via. Para sua alimentação, foi utilizado um carregador de celular modificado.

Para se obter a versão final do sistema, foram necessários três testes em campo. A principal mudança entre cada teste envolvia a alteração da escala dos níveis de frenagem.

Para o primeiro teste em campo, o protótipo foi configurado para as seguintes escalas de níveis de frenagem:

- Nível 1 – LEDs piscam quando a desaceleração é maior que  $0,35g$  menor que  $0,5g$ ;
- Nível 2 – LEDs piscam quando a desaceleração é maior que  $0,60g$  menor que  $0,75g$ ;
- Nível 3 – LEDs piscam quando a desaceleração é maior que  $0,85g$ .

Pode-se notar que entre os níveis existe um intervalo de  $0,1g$ , denominado de delta. Este modo de configuração foi adotado para que a transição entre os níveis não fosse abrupta, reduzindo a possibilidade de um ruído ser confundido com uma frenagem de maior grau de intensidade.

O delta implementado mostrou-se adequado, porém, quando ocorria uma frenagem muito intensa, uma rápida transição de estados era causada no sistema. Com isso, o *brake light* comutava em alta frequência, impedindo a correta identificação do nível de frenagem. Desta forma, quando o nível de frenagem fosse maior que  $0,85g$  (nível 3), este estado permanecia por um tempo muito curto, praticamente imperceptível a olho nu, e na sequência, devido a relaxação dos freios do veículo, o carro sofria uma imediata diminuição no nível de frenagem, comutando o sistema para o nível 2.

Baseado neste resultado, alterou-se o *firmware* para se agregar um temporizador configurado para garantir um tempo mínimo de amostra do estado de frenagem. Quando o condutor do veículo executar uma frenagem de nível 3, por exemplo, o microcontrolador iniciará o temporizador e acionará o *brake light* neste estado durante 1s. Se a intensidade da frenagem diminuir antes do término deste tempo, a alteração do estado da frenagem só é efetuada após o estouro do temporizador. Em contrapartida, se a frenagem executada pelo condutor aumentar em intensidade o nível de frenagem do sistema comuta imediatamente e um novo temporizador de 1s é configurado.

Através do uso deste temporizador, os deltas implementados não eram mais necessários e foram removidos do *firmware*. Com isto, foram reconfiguradas as escalas de cada nível de frenagem:

- Nível 1 – LEDs piscam quando a desaceleração é maior que  $0,25g$  e menor que  $0,50g$ ;
- Nível 2 – LEDs piscam quando a desaceleração é maior que  $0,51g$  e menor que  $0,75g$ ;
- Nível 3 – LEDs piscam quando a desaceleração é maior que  $0,76g$ .

Um novo teste em campo foi executado no mesmo percurso pré-estabelecido. A configuração realizada com o temporizador funcionou conforme o esperado, evitando as trocas repentinas de estados. Porém, ao passar por buracos, ruas construídas com paralelepípedos, declives ou tachas refletivas, o protótipo se comportou de modo inesperado, ativando o primeiro nível de frenagem e se mantendo no intervalo do impacto durante 1s. Este comportamento deve-se ao fato de que o nível de frenagem foi reconfigurado e aumentada a sua escala de atuação, reduzindo o início do primeiro nível para 0,25g. Com isto, o acelerômetro tornou-se suscetível a erros na detecção de uma frenagem emergencial, sinalizando falsas frenagens ao passar pelos obstáculos citados.

Para se contornar este problema, uma nova alteração no *firmware* foi realizada, desta vez alterando-se apenas a escala dos níveis de frenagem:

- Nível 1 – LEDs piscam quando a frenagem é maior que 0,35g e menor que 0,54g;
- Nível 2 – LEDs piscam quando a frenagem é maior que 0,55g e menor que 0,79g;
- Nível 3 – LEDs piscam quando a frenagem é maior que 0,80g.

Outro teste foi, então, realizado com os novos ajustes no *firmware* no percurso pré-estabelecido. O principal objetivo deste terceiro teste foi constatar se o problema das falsas sinalizações nos obstáculos citados havia sido resolvido. O protótipo se comportou conforme o esperado, e em nenhum momento foi sinalizada uma falsa frenagem emergencial. Nas vias esburacadas ou nas tachas refletivas, nas quais ocorre um impacto do veículo em um curto espaço de tempo, o protótipo não acionou o nível de frenagem, independente da velocidade do veículo. Mesmo nas vias pavimentadas com paralelepípedos, onde as vibrações ocorrem com maior frequência e com intensidades variadas, também não houve falsa sinalização de frenagem emergencial.

Entretanto, nas situações de aclives e declives de morros, por exemplo, o protótipo apresenta sensibilidade diferente de quando encontra-se no plano. Quanto mais declinado o carro se encontra, maior é a resultante da aceleração gravitacional no eixo x, desta maneira, a sensibilidade aumenta, sinalizando as frenagens de modo mais intenso que no plano. O efeito análogo ocorre nos aclives acentuados, nos quais a resultante da aceleração gravitacional no eixo x causa a redução da sensibilidade do sistema, sinalizando as frenagens de modo menos intenso que no plano.

O protótipo é de fácil instalação e não requer alterações complexas no sistema elétrico do veículo. Desta forma, a curva de aprendizado do instalador e mesmo do usuário final é muito rápida, uma vez que não é necessário conhecimento básico de autoelétrica.



## 5 CONCLUSÕES E DISCUSSÃO

Este trabalho propôs o desenvolvimento de um sistema para sinalizar a frenagem de um veículo através de uma luz intermitente, para contemplar o objetivo, foi desenvolvido um sistema eletrônico com um sensor de aceleração e um sistema eletrônico de indicação luminosa, na qual são emitidos os sinais luminosos para indicação de uma frenagem emergencial. O sistema possui três níveis de sinalização de modo a indicar diferentemente a intensidade da frenagem realizada.

Foram estimadas as características de alimentação e consumo para o sistema. Quanto à alimentação, o sistema foi projetado para utilizar a bateria do próprio veículo automotor, por isso, foi projetada uma fonte de alimentação linear para condicionamento da tensão do sistema. Em relação ao consumo do protótipo, o consumo aferido ficou entre 40 mA e 80 mA. Logo, pode-se afirmar que o protótipo não demanda muito consumo e não afeta o funcionamento de outros componentes vitais do veículo automotor.

A instalação do sistema em um veículo automotor, bem como as ligações elétricas necessárias para o funcionamento do protótipo são muito simples, bastando apenas a sua alimentação em 12 V<sub>DC</sub> provinda da bateria do veículo e o nivelamento do sistema com a via.

### 5.1 Melhorias e trabalhos futuros

Durante os testes em campo do sistema indicativo de frenagem emergencial foram observadas algumas limitações do protótipo, com isso, surgiram algumas propostas para a melhoria do projeto.

A primeira melhoria, considerada importante, é a implementação de uma entrada digital para o protótipo. A função dessa entrada digital seria o acionamento da luz de freio do veículo de forma constante, sinalizando uma frenagem

comum. A execução desta implementação em *hardware* é importante pois sua implementação em *firmware* não teria a mesma precisão e nem o sincronismo com as demais lanternas de freio.

A segunda melhoria para o projeto é a inserção de um giroscópio ou de um inclinômetro no sistema. O objetivo destes elementos é determinar a posição angular do acelerômetro em relação à gravidade de modo a detectar aclives e declives, sendo assim, possível dimensionar corretamente a intensidade da frenagem, dada a angulação da via onde o veículo está trafegando.

Os conectores utilizados para a conexão elétrica do protótipo ao sistema elétrico do veículo, não foram considerados adequados, pois não condizem com os padrões veiculares utilizados no sistema de iluminação ou na conexão elétrica da indústria automotiva. Portanto, propões que eles sejam alterados para adequação com o mercado consumidor.

É necessária a pesquisa ou projeto de um gabinete para alojar a placa de circuito impresso, de modo a permitir a fácil fixação em qualquer modelo de veículo. Isto pode ser melhorado com a miniaturização do sistema

Por fim, também se sugere que o sistema seja redesenhado para utilizar componentes de montagem de superfície e que a Breakout MMA7361L seja substituída pelos componentes discretos que ela possui. Desta forma, é possível a miniaturização da placa de PCI e, conseqüentemente, do gabinete necessário, diminuindo os custos de produção e facilitando sua instalação no veículo.

Um outro trabalho proposto na mesma linha de segurança no trânsito consiste de um sistema dotado de um sensor de aproximação na dianteira do veículo. Quando o sistema detectar a rápida aproximação do veículo com o da sua frente, ele sinaliza ao condutor através de sinais luminosos no painel e emite um aviso sonoro.

Sugere-se como continuidade deste trabalho, um estudo detalhado visando determinar se o uso do sistema indicativo de frenagem emergencial de fato auxilia na prevenção de colisões traseiras entre veículos causadas por desatenção dos condutores. Um escopo para o estudo envolveria a medição do



TPR dos condutores em um simulador com um veículo sem *brake light*, com o *brake light* tradicional e com o *brake light* desenvolvido.

Outro trabalho relacionado envolve o desenvolvimento de um sistema indicativo de frenagem emergencial para motocicletas, uma vez que as vibrações excessivas da motocicleta constituem uma grande fonte de ruídos e erros de medição. Outra dificuldade está no fato da motocicleta estar sujeita a inclinações maiores que constituiriam outra fonte de erros de medição, portanto, faz-se necessária a determinação da inclinação da motocicleta em relação ao eixo gravitacional.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARDUINO. Disponível em <<http://www.arduino.cc>>. Acessado em 21 jul. 2013.
- ATMEL. Folha de dados do componente ATmega328P. 2009. Disponível em <<http://www.atmel.com/Images/doc8161.pdf>>. Acessado em 20 jul. 2013.
- BALBINOT, A.B.; ZARO, M.A.; TIMM, M.I. Funções psicológicas e cognitivas presentes no ato de dirigir e sua importância para os motoristas no trânsito. **Ciências e Cognição**, v. 16, n. 2, pp. 13-29, 2011. ISSN: 1806-5821.
- BALLONE, G.J.; MOURA, E.C. Curso de psicopatologia: atenção e memória. **PsiquWeb**, 2008. Disponível em <<http://www.psiqweb.med.br/site/?area=NO/LerNoticia&idNoticia=201>>. Acessado em 15 jul. 2013.
- BERNSTEIN, J. An overview of MEMS inertial sensing technology. **Sensors**, 2003. Disponível em <<http://www.sensormag.com/sensors/acceleration-vibration/an-overview-mems-inertial-sensing-technology-970/>>. Acessado em 10 jul. 2013.
- BRASIL. Código de Trânsito Brasileiro (1997).
- DETRAN/PR. Comportamentos seguros no trânsito. Disponível em <<http://www.detran.pr.gov.br/modules/catasg/servicos-detalhes.php?tema=motorista&id=345>>. Acessado em 15 jul. 2013.
- DNIT. Estatísticas de acidentes. 2012. Disponível em <<http://www.dnit.gov.br/rodovias/operacoes-rodoviaras/estatisticas-de-acidentes>>. Acessado em 10 jul. 2013.
- FREESCALE. Folha de dados do componente MMA7361. 2008. Disponível em <<http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/>

data\_sheet/MMA7361L.pdf?fsrch=1&sr=1>. Acessado em 20 jul. 2013.

IPEA; DENATRAN. Impactos sociais e econômicos dos acidentes de trânsito nas rodovias brasileiras. 2006. Disponível em <[http://www.denatran.gov.br/publicacoes/download/custos\\_acidentes\\_transito.pdf](http://www.denatran.gov.br/publicacoes/download/custos_acidentes_transito.pdf)>. Acessado em 13 jul. 2013.

LC TECH. MMA7361 tilt sensor accelerometer module. Disponível em <<http://www.lctech-inc.com/hardware/detail.aspx?id=053796b3-3b90-4fe5-8588-7b5d14bc0512>>. Acessado em 20 jul. 2013.

RIBAS, R.P. Microssistemas Integrados (MEMS). In: Ricardo Augusto da Luz Reis. (Org.). **Sistemas Digitales - Síntese Física de Circuitos Integrados**. Bogota D.C.: Ediciones Uniandes, 2000, p. 321-373.

SOUSA, L.A.P. **Taxas de desaceleração e tempos de percepção e reação dos motoristas em interseções semaforizadas**. 2011. 82p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

THIELEN, I.P. Perspectivas para a psicologia do trânsito. **Interação em Psicologia**, v. 15, pp. 77-86, 2011.