

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE INFORMÁTICA
CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

SERGIO MERLIN BAU JUNIOR

SISTEMA DE CONTAGEM DE FLUXO DE VEÍCULOS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO 2

PATO BRANCO

2016

SERGIO MERLIN BAU JUNIOR

SISTEMA DE CONTAGEM DE FLUXO DE VEÍCULOS

Trabalho de Conclusão de Curso como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Computação, do Departamento Acadêmico de Informática da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: Profa. Dra. Kathya Silvia Collazos Linares

PATO BRANCO

2016



TERMO DE APROVAÇÃO

Às 8 horas e 20 minutos do dia 18 de novembro de 2016, na sala V007, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco, reuniu-se a banca examinadora composta pelos professores Kathya Silvia Collazos Linares (orientador), Marco Antonio de Castro Barbosa e Jorge Luis Roel Ortiz para avaliar o trabalho de conclusão de curso com o título **Sistema de contagem de fluxo de veículos**, do aluno **Sergio Merlin Bau Junior**, matrícula 01065211, do curso de Engenharia de Computação. Após a apresentação o candidato foi arguido pela banca examinadora. Em seguida foi realizada a deliberação pela banca examinadora que considerou o trabalho aprovado.

Kathya Silvia Collazos Linares
Orientador (UTFPR)

Marco Antonio de Castro Barbosa
(UTFPR)

Jorge Luis Roel Ortiz
(UTFPR)

Beatriz Terezinha Borsoi
Coordenador de TCC

Pablo Gauterio Cavalcanti
Coordenador do Curso de
Engenharia de Computação

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

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer aos meus pais, Claudete e Sergio, e às minhas irmãs Denise, Luciana e Tahis, por todo apoio que recebi durante a graduação.

Gostaria de agradecer a amizade de Alison, Kleisson, Luana, Luiz F., Luiz R., Jéssica, Juliana, Mônica, Vagner L., Vagner N. e tantos outros nomes que aqui não cabem. Gostaria de agradecer a Kleisson não só pela amizade, mas também pela parceria em todas as vezes que precisamos virar a noite estudando para as provas de Sistemas de Controle I, ou fazendo relatórios de Sistemas de Controle I, ou APS de Sistemas de Controle I, ou qualquer outra coisa relacionada a Sistemas de Controle I, Variáveis Complexas e Eletrônica B.

Quero agradecer também a amizade de Adriano, Diego, e todas as @s do site Twitter que têm acompanhado meus devaneios durante muitos anos.

Gostaria de agradecer a professora Kathya por toda a paciência e atenção que tenho recebido durante a realização deste trabalho. Quero agradecer também a todos os professores do Departamento de Informática e da Coordenação de Engenharia Elétrica pela amizade e proximidade que costumam estabelecer com todos os seus alunos.

RESUMO

BAU JUNIOR, Sergio Merlin. Sistema de contagem de fluxo de veículos. 2016. 59f. Trabalho de Conclusão de Curso de bacharelado em Engenharia de Computação - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2016.

O gerenciamento do trânsito é um problema que tem ganhado maiores proporções devido ao aumento no volume de veículos que circulam nas vias de transporte terrestre. O Departamento de Transporte de Pato Branco (Depatran) tem realizado a contagem do número de veículos para planejar suas ações de melhoramento das vias e implantação de sinalização adequada, visando garantir a segurança e conforto dos usuários. A contagem é realizada de forma manual, o que resulta na necessidade de permanência de um contador humano durante vários dias e horários em diversos trechos das vias da cidade. O desenvolvimento de ferramentas para executar esta atividade representa evitar a exposição do contador humano ao ar livre com estados climáticos inadequados e fornecer um mecanismo de apoio para a gestão do trânsito. Este trabalho apresenta a construção de um protótipo para contar o número de veículos em um cruzamento entre duas vias no trânsito urbano. O protótipo inclui um circuito que utiliza um sensor indutivo para a detecção dos veículos e um programa (para coleta, processamento e apresentação dos dados) desenvolvido em um sistema embarcado. A visualização dos dados utiliza a tela do computador do usuário através da comunicação via USB com o sistema embarcado. O protótipo foi testado em laboratório com perfis de aço e alumínio e apresentou um bom desempenho.

Palavras-chave: Trânsito urbano. Fluxo de veículos. Sensor indutivo. Sistemas embarcados.

ABSTRACT

BAU JUNIOR, Sergio Merlin. Vehicle flux counting system. 2016. 59f. Monograph of Bachelors in Computing Engineering - Federal Technology University of Paraná. Pato Branco, 2016.

The traffic management is a growing problem due to increase in the volume of vehicles that travel on transport roads. The Pato Branco Department of Traffic (Depatran) has been counting the number of vehicles to plan its action to improve roads and implement appropriate traffic signalization, with the aim of ensuring security and user comfort. The counting is done manually, resulting in need of human counter to remain for several days and times in various parts of the city. The development of tools to carry out this activity avoids the exposure of the human counter to the outdoors with inadequate climatic states and provides a support mechanism for traffic management. This work presents the construction of a prototype to count the number of vehicles at a crossroads in urban traffic. The prototype has a circuit that uses an inductive sensor to detect vehicles and a program (to collect, process and present data) developed in an embedded system. For data visualization is used the user's computer screen by USB communication with the embedded system. The prototype was tested in laboratory with steel and aluminum, and performed well.

Key-words: Urban traffic. Vehicle flux. Inductive sensor. Embedded system.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Semáforo de Potts	15
Figura 2 - Volume horário vs horas do dia	17
Figura 3 – Possíveis configurações para o tubo pneumático disponíveis no dispositivo TimeMark Delta IIIb	21
Figura 4 – Disposição no asfalto do sensor acústico de detecção de eixos	22
Figura 5 – Esquema de pratos deformadores em um sensor de fibra óptica	23
Figura 6 – Sensor de infravermelho instalado acima da pista	24
Figura 7 – Variação relativa de indutância em relação a posição de objetos de tamanhos variados para laços indutivos de dimensões e formatos variados	26
Figura 8 – Conjunto de laços indutivos proposto por Ali et. al. (2012)	26
Figura 9 – Disposição de lâminas de sensores de laço indutivo	27
Figura 10 - Estrutura do sistema e interação entre suas componentes	29
Figura 11 – Kit LaunchPad MSP430	30
Figura 12 – Sistema de medição construído	31
Figura 13 - Solenoide L	32
Figura 14 - Laço indutivo	33
Figura 15 - Oscilador de Colpitts simples	34
Figura 16 - Oscilador de Colpitts construído	35
Figura 17 – Formato dos sinais no circuito de condicionamento	36
Figura 18 - Diagrama do Circuito de Condicionamento de Sinais	36
Figura 19 – Tiva C Series TM4C1294 Connected LaunchPad	38
Figura 20 - Interface do sistema utilizando o terminal PuTTY	41
Figura 21 - Tela para modificação de Data e Hora	42
Figura 22 - Interface que permite recuperar data e hora do sistema, além do número do cruzamento	42
Figura 23 - Terminal dentro da tela do programa escrito em Java	43
Figura 24 - Menu que permite recuperar dados coletados	43
Figura 25 - Dados no formato texto exibidos através do Bloco de Notas	44
Figura 26 - Exemplo de arquivo HTML contendo dados referentes ao fluxo de veículo em um dia	45
Figura 27 – Posição dos objetos testados em relação ao laço indutivo	46

Figura 28 - Sinal elétrico do Oscilador de Colpitts na ausência de metais próximo ao laço indutivo	47
Figura 29 - Exemplo de arquivo de registro de fluxo de veículos exibido através do Terminal PuTTY	50
Figura 30 - Diretório do Windows 7 contendo arquivos de registro de fluxo de veículos em modo texto e HTML	51

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Características principais do microcontrolador MSP430G2553.	31
Quadro 2 – Principais características do Tiva C Series TM4C1294	38
Quadro 3 – Tarefas implementadas no software embarcado.....	40
Quadro 4 - Teste de interação entre sistema de gerenciamento de dados e múltiplos sistemas de medição	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Indutância no laço indutivo na presença de objetos metálicos.....	46
Tabela 2 - Frequência de saída do Oscilador de Colpitts na presença de objetos metálicos....	47
Tabela 3 – Tensão (em Volts) na saída do oscilador e do circuito de condicionamento na presença de metais a diversas distâncias do laço indutivo	48
Tabela 4 – Ocorrência de detecção do metal pelo sistema de medição.....	48

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CET	Companhia de Engenharia e Tráfego
Depatran	Departamento de Transito de Pato Branco
HTML	<i>HyperText Markup Language</i>
IDE	<i>Integrated Development Enviroment</i>
PLL	<i>Phase-locked loop</i>
SEMCO	Semáforos Coordenados
SEMIN	Semáforos Inteligentes
SCOOT	<i>Split, Cycle and Offset Optimization Technique</i>
SD	<i>Secure Digital</i>
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
VH	Volume horário
Vhp	Veículos por hora
VMD	Volume médio diário
Vpd	Volume por dia

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 JUSTIFICATIVA	12
1.2 OBJETIVOS	13
1.2.1 Objetivo Geral	13
1.2.2 Objetivos específicos	13
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 ENGENHARIA DE TRÁFEGO	15
2.1.1 Elementos da Engenharia de Tráfego	16
2.1.2 Determinação do Volume de Tráfego	17
2.1.3 Contagem de Veículos no Tráfego	17
2.1.4 Métodos de Contagem	18
2.1.5 Detectores de Veículos	18
2.2 ESTUDOS RELACIONADOS	27
3 SISTEMA DE CONTAGEM DE FLUXO DE VEÍCULOS.....	29
3.1 SISTEMA DE MEDIÇÃO	30
3.1.1 Materiais	30
3.1.2 Construção e funcionamento	31
3.2 SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE DADOS	37
3.2.1 Materiais	38
3.2.2 Construção e funcionamento	39
3.3 INTERFACE	41
3.3.1 Interface via Terminal	41
3.3.2 Interface implementada em Java	42
3.3.3 Dados em arquivo texto	44
3.3.4 Dados em arquivo HTML.....	44
4 TESTES REALIZADOS.....	46
4.1 TESTES DO SISTEMA DE MEDIÇÃO	46
4.2 TESTE DE INTERAÇÃO ENTRE SISTEMA DE MEDIÇÃO E SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE DADOS.....	48
4.3 TESTE DE INTERAÇÃO ENTRE MÚLTIPLOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO E SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE DADOS	49
4.4 TESTE DA CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO DO SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE DADOS.....	50
4.5 TESTES DO SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE DADOS E DA INTERFACE VIA TERMINAL.....	50
4.6 TESTES DO SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE DADOS E DA INTERFACE VISUAL.....	51
5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	52
REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

A crescente necessidade de locomoção e transporte de pessoas e objetos a partir de mecanismos tecnológicos – veículos motorizados – tem implicado na necessidade de construção e modernização de vias e elementos de controle de tráfego cada vez mais sofisticados.

A interação entre os elementos de um sistema de trânsito possui uma dinâmica complexa e imprevisível, pois seu funcionamento depende essencialmente do comportamento humano. Essa característica reforça a necessidade de construção e modernização de vias e elementos de controle de tráfego.

Tais necessidades e características inerentes ao trânsito tornam justificáveis o constante estudo sobre os mecanismos de transporte e o trânsito de veículos existentes dentro destes contextos, além do desenvolvimento de novas soluções para melhoria do fluxo e da segurança de passageiros, pedestres e bens materiais.

Um objeto de controle de tráfego muito conhecido é o semáforo, que está presente, geralmente em cruzamento de vias, evitando a colisão entre veículos e possibilitando a passagem de pedestres. Este dispositivo, no entanto, apesar de ser utilizado há um considerável tempo, ainda não apresenta – de modo geral – expressivas características de se adaptar para priorizar ou o fluxo de pedestres ou o fluxo de unidades de transporte. Para que esse mecanismo adquira tal característica, se faz necessário estabelecer uma forma de reconhecer os detalhes relevantes em relação ao trânsito.

Uma informação importante que deve ser levada em consideração para um funcionamento eficiente do semáforo é a quantidade de veículos que trafegam nas vias em horários específicos. A contagem desses veículos pode ser realizada por pessoas ou por equipamentos automatizados, e, pode permitir a implantação de sinalização adequada, visando garantir a segurança e conforto dos usuários.

Este Trabalho de Conclusão de Curso apresenta um protótipo para contar o número de veículos que circulam por um determinado cruzamento entre duas vias no trânsito urbano.

1.1 JUSTIFICATIVA

As tecnologias relativas à engenharia de trânsito precisam trabalhar em função das características dos locais a que são implantadas, pois a imprevisibilidade inerente ao

comportamento humano fornece características não homogêneas aos fluxos de veículos nas vias de locomoção. Dessa forma, as ferramentas de controle de tráfego precisam se adaptar a diferentes cenários, a fim de operarem de forma eficiente. A análise do fluxo de veículos também pode ser utilizada como ferramenta para tal adaptação.

Em uma visita realizada ao Departamento de Transito de Pato Branco (Depatran) em 2015 foram apresentados os mecanismos utilizados no município para contagem de veículos nas vias e para o controle do tráfego. Segundo o responsável pelo departamento, a contagem de veículos era então realizada por funcionários, que contavam e anotavam o número de veículos que circulavam nos pontos mais críticos do transito. Com base nessa contagem seria então realizada a programação de semáforos na tentativa de otimizar o transito. Tomar conhecimento em relação a esta metodologia empregada na contagem de veículos motivou a realização deste trabalho, no qual, pretende-se construir mecanismos que, possam realizar a mesmas tarefas, porém, de forma automatizada.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um protótipo para contar o número de veículos no fluxo do transito urbano utilizando sensor indutivo e sistemas embarcados.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos da realização deste trabalho são:

- Determinar o modo de detecção de veículos a ser utilizado;
- Construir um sensor para detecção de veículos;
- Desenvolver um programa de gerenciamento de dados;
- Desenvolver uma interface para visualização dos dados;
- Realizar a comunicação entre as partes do sistema;
- Realizar testes no protótipo desenvolvido.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O primeiro capítulo deste trabalho discorre sobre os problemas existentes no tráfego urbano e como a tecnologia é empregada para o controle do mesmo, tendo como finalidade principal estabelecer o objetivo geral e os objetivos específicos definidos na proposta. No segundo capítulo abordam-se: sistemas de controle de tráfego, sistemas de coleta de dados e sensores para detectar a passagens de veículos bem como equipamentos para mensurar o fluxo destes. O terceiro capítulo apresenta um relatório sobre o desenvolvimento do trabalho, apresentando os materiais utilizados, as metodologias de desenvolvimento empregadas e visões gerais sobre o funcionamento geral e das partes do sistema. Já o quarto capítulo aborda os testes realizados para verificar atributos essenciais para o bom funcionamento do sistema.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ENGENHARIA DE TRÁFEGO

Com o advento do automóvel veio a necessidade de gerir o tráfego de veículos e de formas de gerir o fluxo dos veículos. Foi criado o semáforo como mecanismo para gerir o fluxo de veículos. Em 1920, William Potts construiu vários semáforos do tipo verde-amarelo-vermelho. Alguns foram montados no alto de "torres de trânsito" e eram operados manualmente por policiais ali posicionados. Outros foram fixados em cordoalhas sobre a pista. Os semáforos de Potts já eram muito semelhantes aos que se conhecem atualmente. A Figura 1 mostra um semáforo de quatro faces que está exposto no Museu Henry Ford, em Dearborn, Michigan, onde se lê a seguinte explicação: "O primeiro semáforo do mundo, do tipo verde-amarelo-vermelho, com quatro faces, foi instalado no cruzamento da Avenida Woodward com a Rua Fort, em Detroit, Michigan, no outubro de 1920. Foi projetado pelo inspetor de polícia William L. Potts. O seu formato é praticamente o mesmo dos semáforos atuais." (ALMEIDA JÚNIOR, A. D., 2007).



Figura 1 - Semáforo de Potts

Fonte: SIGNALFAN.COM (2004) apud Almeida Júnior (2007, p. 12).

A Engenharia de Tráfego, ramo da Engenharia de Transportes¹, lida com o planejamento, o projeto geométrico e a operação de estradas, ruas e rodovias, suas redes, seus terminais, o uso do solo adjacente e sua relação com outros modos de transportes (INSTITUTE OF TRANSPORTATION ENGINEERS, 1999).

¹ Engenharia de Transportes é a aplicação de tecnologia e de princípios científicos para o planejamento, o projeto funcional, a operação e o gerenciamento das instalações (infraestrutura) para qualquer modo de transporte, com o objetivo de zelar pela segurança, pela rapidez, pelo conforto, pela conveniência, pela economia e pela compatibilidade com o ambiente nas movimentações de pessoas e mercadorias.

A Engenharia de Tráfego aborda diferentes aspectos relacionados a projetos de transportes (COELHO; GOLDNER, 2016). São eles:

- Estudo das características do tráfego (usuário da via; veículos; velocidade, tempo de viagem e os atrasos; volume de tráfego; capacidade viária; estacionamento; acidentes; transporte público).
- Planejamento de tráfego (estuda as características das viagens urbanas, inclusive transporte público).
- Projeto geométrico (projeto de vias e interseções, estacionamentos e terminais).
- Operação do tráfego (medidas regulamentadoras, planos de controle de tráfego).
- Administração (órgãos administradores do tráfego, programas de educação do trânsito, legislação regulamentadora).

2.1.1 Elementos da Engenharia de Tráfego

Os elementos da Engenharia de Tráfego são (COELHO; GOLDNER, 2016):

2.1.1.1 Usuários

Motoristas e pedestres (Os motoristas influenciam nas características de movimento dos veículos e disputa com o pedestre a infraestrutura)

2.1.1.2 Veículos

Fabricados para diferentes usos, diferenciados por peso, dimensão e manobrabilidade. Uma classificação básica de veículos é: bicicletas (motocicletas e bicicletas com ou sem motor); ligeiros (automóveis e veículos de turismo pequenos, que transportam de 4 a 9 pessoas); pesados (caminhões e ônibus); especiais (tratores agrícolas, máquinas de obras públicas etc.)

2.1.1.3 Vias

Podem ser classificadas de diversas formas, dentre elas podem-se citar: a classificação funcional (arterial, coletora, local); quanto ao gênero (aerovias, dutovias, ferrovias, hidrovias, rodovias); quanto à espécie (urbana, interurbana, metropolitanas, rurais); quanto às condições operacionais (sentido único, sentido duplo, reversível, interditada (a alguns ou todos os veículos), com ou sem estacionamento); quanto à jurisdição (federal, estadual, municipal, particular).

2.1.2 Determinação do Volume de Tráfego

O volume é a quantidade de veículos N que atravessa um local estudado em um período de tempo t pré-definido, como mostra a Equação 1:

$$Volume = \frac{N}{t} \quad (1)$$

O local estudado pode ser uma seção transversal da pista ou um segmento. Os valores de volume podem ser para todas as faixas ou para cada uma em separado. Os dois principais valores de volume são o volume horário (VH) e o volume médio diário (VMD); expressos respectivamente em veículos por hora (vph) e veículos por dia (vpd). É comum também trabalhar com veículos a cada 15 minutos (v/15min). Na Figura 2 mostra-se um exemplo de gráfico de variação do volume de trafego por horas do dia (INSTITUTO..., 2006).

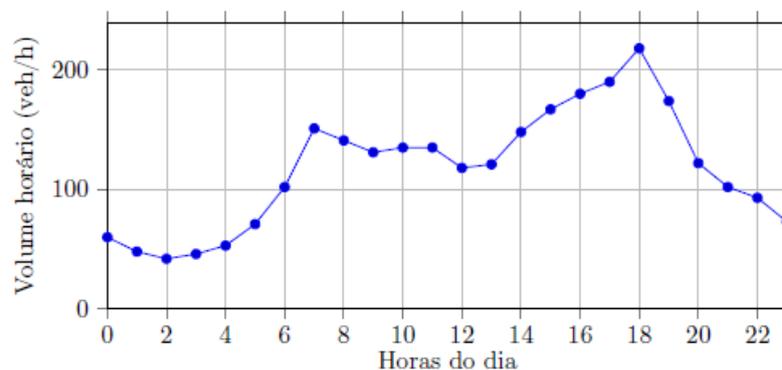


Figura 2 - Volume horário vs horas do dia
Fonte: DNIT e IPR (2006).

2.1.3 Contagem de Veículos no Tráfego

As contagens de tráfego são feitas com o objetivo de conhecer-se o número de veículos que passam através de um determinado ponto da estrada, durante certo período, podendo-se determinar o Volume Médio Diário (VMD), a composição do tráfego (automóveis, caminhões, motos, etc.), etc. Tais dados servem para a avaliação do número de acidentes, classificação das estradas e fornecem subsídios para o planejamento rodoviário, projeto geométrico de estradas, estudos de viabilidade e projetos de construção e conservação. Permitem também através da análise de diversos elementos, por exemplo, determinar a tendência de crescimento do tráfego e variações de volume. A contagem pode ser global ou direcional ou por classes (INSTITUTO..., 2006).

2.1.3.1 Contagem Global

Quando é registrado o número de veículos que circulam por um trecho de via, independentemente de seu sentido, grupando-os geralmente pelas suas diversas classes.

Empregadas para o cálculo de volumes diários, preparação de mapas de fluxo e determinação de tendências do tráfego.

2.1.3.2 Contagem Direcional

Nesta contagem é registrado o número de veículos por sentido do fluxo e são empregadas, por exemplo, para cálculos de capacidade, determinação de intervalos de sinais, estudos de acidentes e previsão de faixas adicionais em rampas ascendentes.

2.1.3.3 Contagem por Classes

Registram-se os volumes para os vários tipos ou classes de veículos. São empregadas para o dimensionamento estrutural e projeto geométrico de rodovias e interseções, cálculo de capacidade, cálculo de benefícios aos usuários e determinação dos fatores de correção para as contagens mecânicas.

2.1.4 Métodos de Contagem

2.1.4.1 Contagem Manual

Permite classificação por tipo, tamanho, etc.; uma pessoa pode contar até 1.000 veículos/h ou 200 pedestres/h, entretanto dependendo do fluxo de veículos a fadiga pode limitar sua operação a períodos curtos de tempo.

2.1.4.2 Contagem Mecânica

Utiliza detectores de tráfego de instalação permanente ou móvel. O limite de tempo de operação depende de fatores técnicos e tem boa precisão.

2.1.5 Detectores de Veículos

Uma possível maneira de se coletar dados a serem utilizados nos sistemas de controle de tráfego é a utilização de sistemas de contagem de eixos. Segundo Simoni (2008, p.3-4) a configuração típica destes equipamentos é constituída de transdutores de força e um sistema de processamento de sinais, onde o esforço mecânico possibilita a detecção de eixos. São exemplos de sistemas e equipamentos que trabalham desta forma estão:

- Tubo pneumático;
- Sistema acústico;
- Sensores de fibra ótica;

Ainda segundo Simoni (2008, p.4), existem outras formas de detecção de eixo que não se baseiam em esforço mecânico. Dentre os exemplos encontrados na literatura pode-se citar:

- Sensores de infravermelho;
- Sensores de laço indutivo.

A seguir são apresentadas brevemente as principais características de cada um destes mecanismos. Dentre eles, alguns que podem ser classificados como Tecnologia Intrusiva, que segundo Mimbela e Klein (2000, p. 4-1), são tecnologias as quais necessitam instalação de sensores diretamente sobre ou dentro da superfície da estrada.

2.1.5.1 Sensores de Tubo Pneumático

A detecção de veículos através do uso de sensores de tubo pneumático foi introduzida na década de 20 (Oliveira, 2012, p.23). A simplicidade e o baixo custo deste dispositivo fizeram ele ser utilizado por mais de oito décadas, sendo um dos sensores mais utilizados para contagem de eixo (MARTIN; FENG; WANG, 2003).

Os seguintes componentes, pertencentes a um sensor de tubo pneumático, podem ser identificados da descrição de Martin, Feng e Wang (2003, p.26), de Oliveira (2012, p.23) e de Mimbela e Klein (2000, p.4-1):

- Tubo de borracha;
- Chave a ar;
- Sistema eletrônico;
- Software ou contador;

O sensor de tubo pneumático utiliza a pressão exercida pelos eixos de um veículo sobre o tubo de borracha, para detectar sua presença. As etapas do funcionamento de um sensor de tubo pneumático, em condições ideais, podem ser listadas como segue (MARTIN; FENG; WANG, 2003; MIMBELA; KLEIN, 2000):

1. O veículo passa por cima do tubo de borracha, causando um aumento na pressão do ar no interior deste;
2. O ar no interior do tubo, estando sob determinado nível de pressão causa o fechamento de uma chave a ar;
3. Estando a chave a ar fechada, esta produz um sinal elétrico;
4. O sinal elétrico que sai da chave passa por um circuito de condicionamento;
5. O sinal então chega a um contador ou a um sistema computacional dotado de um software responsável por realizar a contagem.

Segundo Mimbela e Klein (2000, p.4-1) as vantagens e desvantagens no uso de sensores de tubo pneumático são:

a) Vantagens:

- O sensor é rápido de ser instalado;
- O sensor pode ser instalado para uso permanente ou temporário;
- O sensor consome pouca energia por tempo de uso;
- O sensor é de baixo custo;
- A manutenção do sensor é simples;
- Os fabricantes do sensor geralmente fornecem um software para análise dos dados capturados.

b) Desvantagens:

- O sensor possui baixa confiabilidade para contagem de eixos quando o volume de ônibus e caminhões é grande;
- O sensor é sensível a temperatura;
- Os tubos do sensor podem ser cortados devido a vandalismo;
- A passagem de veículos pesados pode desgastar o tubo.

A Figura 3 apresenta as opções de configuração do tubo de borracha, disponíveis no painel do dispositivo Delta IIIb, produzido pela empresa TimeMark Inc.

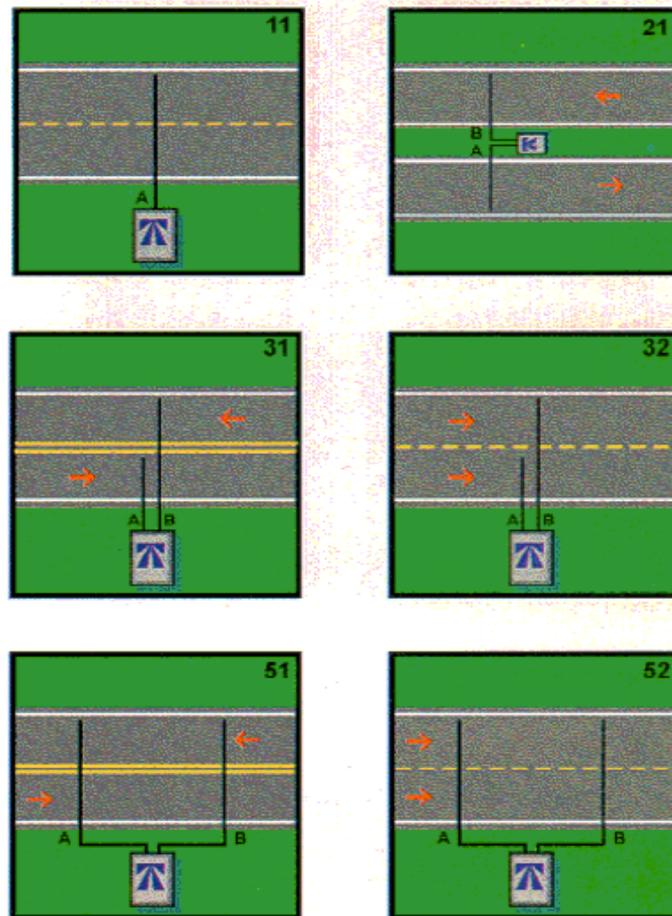


Figura 3 – Possíveis configurações para o tubo pneumático disponíveis no dispositivo TimeMark Delta IIIb
Fonte: Mimbela e Klein (2000, p.4-3).

2.1.5.2 Sistemas Acústicos

Os sistemas acústicos de detecção de eixo são compostos geralmente por um sensor e uma unidade de controle. O sensor é instalado geralmente sob o asfalto e contém um microfone responsável por captar os sons causados pela passagem do veículo (SIMONI, 2008, p.5). Bhandarkar e Waykole (2014, p.395) cita também a possibilidade de utilizar sensores acústicos posicionados do lado da pista para monitorar o tráfego. A unidade de controle serve para processar os sinais capturados pelo microfone.

Segundo Bhandarkar e Waykole (2014, p.395) os sensores acústicos de beira de estrada são de fácil instalação e baixo custo de manutenção, trazendo uma aproximação razoável para estimativas de fluxo. Porém, sistemas típicos, os quais possuem um sensor

posicionado sob o asfalto, apresentam desvantagens as quais tornam seu uso pouco difundido. Dentre estas desvantagens, Simoni (2008, p.6) cita:

1. O sensor causa danos ao pavimento;
2. O sensor é difícil de instalar;
3. O sistema fica suscetível a detectar vibrações causadas por veículos pesados que trafegam em faixas adjacentes.

Um exemplo de sistema acústico para detecção de eixos foi proposto em United States Patent (2000). Este sistema possui um sensor, composto por um microfone, um prato de metal e um tubo metálico, o qual deve ser instalado em um sulco transversal a pista, como ilustra a Figura 4. Ao ocorrer a passagem de veículos, o contato entre os pneus e o tubo metálico faz com que o sensor vibre. As ondas sonoras causadas pela vibração são então capturadas pelo microfone e processadas pela unidade de controle.

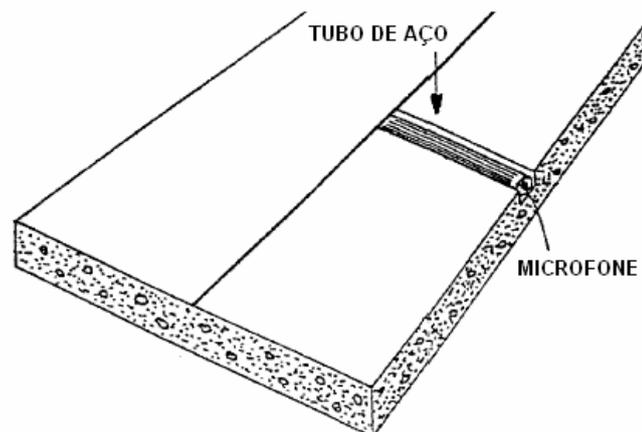


Figura 4 – Disposição no asfalto do sensor acústico de detecção de eixos
Fonte: Simoni (2008, p.6).

Um outro exemplo de sistema acústico proposto por Kongrattanaprasert (2014) utiliza o som causado pelo atrito entre os pneus do veículo e o asfalto para detectar se os pneus são adequados para uso em dia de neve ou não.

2.1.5.3 Sensores de Fibra Óptica

A fibra óptica é um filamento de vidro ou plástico, capaz de conduzir luz em seu interior (SIMONI, 2008, p.6).

Sensores de fibra óptica utilizam propriedades mensuráveis da luz para medir parâmetros desejados, como temperatura, pressão, tensão, etc. Fibra óptica, fonte de luz e detector óptico são os principais componentes desses sensores (OLIVEIRA, 2012, p.32).

A sensibilização por amplitude é uma das possíveis formas utilizadas para detectar a passagem de veículos (OLIVEIRA, 2012, p.32). Nessa estratégia a fibra é posicionada sobre dois pratos ondulados – conhecidos como deformadores. Quando o veículo passa sobre a estrutura do sensor, a fibra é deformada pelos pratos, acarretando a perda de intensidade luminosa. Essa perda de intensidade luminosa é então detectada pelo sensor (SAFAAI-JAZI; ARDEKANI; MEHDIKHANI, 1990). A Figura 5 ilustra essa configuração.

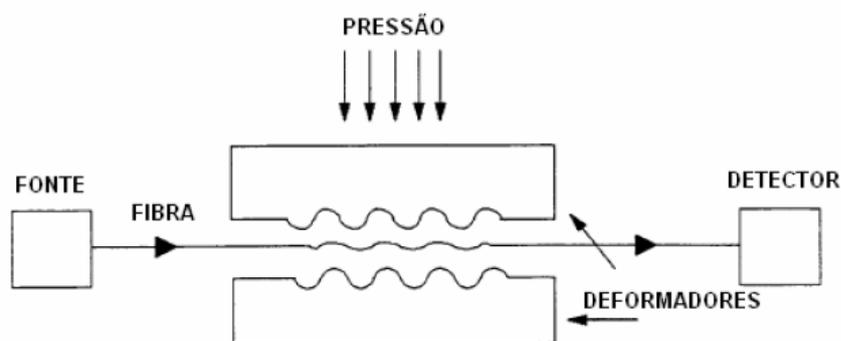


Figura 5 – Esquema de pratos deformadores em um sensor de fibra óptica
 Fonte: Simoni (2008, p.7).

São vantagens do uso de sensores de fibra óptica para detecção de veículos apontadas por Martin, Feng e Wang (2003, p.31):

1. Baixo custo do sensor;
2. O sensor possui alta precisão;
3. A imunidade do sensor a interferência eletromagnética.

São desvantagens do uso de sensores de fibra óptica para detecção de veículos apontadas por Simoni (2008, p.8):

1. A instalação causa danos ao pavimento;
2. O sensor possui vida útil limitada.

2.1.5.4 Sensores de Infravermelho

Os sensores de infravermelho detectam radiação a frequência de 100 a 105GHz. Dessa forma, transformam energia recebida através dessa radiação em sinais elétricos, tornando

possível a detecção da presença de veículos. Os sensores de infravermelho podem ser ativos ou passivos (MARTIN; FENG; WANG, 2003, p. 33).

A instalação destes sensores pode ser feita acima da pista – permitindo detecção de veículos que se aproximam ou se afastam do sensor – ou ao lado da pista. A depender de sua configuração, o sensor também pode ser utilizado para detectar fluxo de pedestres (MIMBELA; KLEIN, 2000, p. 5-16).

Os sensores de infravermelho passivos comparam a energia (infravermelho) medida na estrada, na presença de veículos, com a energia medida com a pista vazia. Dessa forma, o sensor passivo pode detectar a presença de veículos sem emitir infravermelho (OLIVEIRA, 2012, p. 35).

A diferença entre a energia medida normalmente e a energia medida quando há passagem de veículos pode ser menor quando da ocorrência de intempéries climáticas, como neblina, chuva, neve, etc.

A Figura 6 ilustra a configuração do sensor passivo instalado no alto da pista.

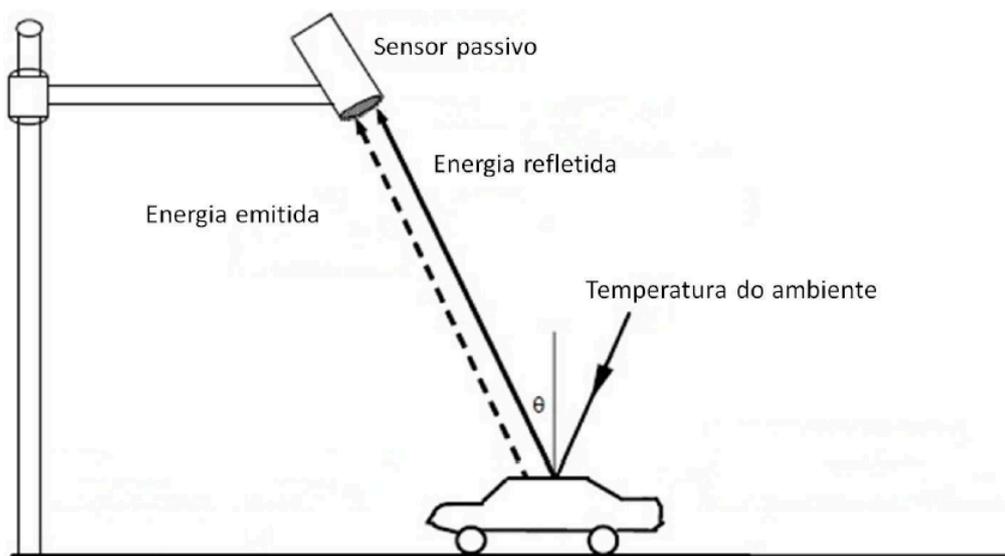


Figura 6 – Sensor de infravermelho instalado acima da pista
Fonte: Oliveira (2012, p.35) apud Klein (2006).

Os tipos mais populares de sensores de infravermelho ativos utilizam diodo laser para emitir energia com frequência nas proximidades do espectro eletromagnético do infravermelho. Quando um veículo passa sob o campo de detecção do sensor ativo, a energia emitida é refletida na pela superfície deste. Ao ser refletida, parte da energia retorna para o sensor, tornando possível a detecção (OLIVEIRA, 2012, p. 36).

São vantagens do uso de sensores de infravermelho para detecção de veículos apontadas por Mimbela e Klein (2000, p. 5-21):

1. A instalação de sensores de infravermelho não requer modificações no asfalto;
2. O sensor de infravermelho ativo pode transmitir vários feixes de energia para determinar com maior precisão a posição do veículo, sua velocidade e sua classificação;
3. É possível realizar a detecção de veículos em estradas com múltiplas pistas se o sensor for instalado ao lado da estrada.

O mesmo autor apresenta as seguintes desvantagens para o uso desse tipo de sensor:

1. A luz do sol pode causar sinais indesejados;
2. Adversidades climáticas (como chuva, neve, neblina, etc.) podem interferir negativamente no funcionamento do sensor.

2.1.5.5 Sensores de Laço Indutivo

Os sensores de laço indutivo são uma alternativa de detecção de veículos nas vias. Para este tipo de sensor existem aplicações como lombadas eletrônicas, sistemas de contagem de eixos, sistemas de fiscalização e outras.

Segundo Simoni (2008, p.16) o sensor de laço indutivo é composto por voltas de um cabo isolado, que é enrolado formando uma bobina. Esta bobina possui uma indutância que é alterada quando ocorre a passagem de veículos. Segundo o mesmo autor, é esta variação de indutância na bobina que possibilita o sensor detectar a passagem de veículos.

Os sensores de laço indutivo são largamente utilizados pois possuem uma boa sensibilidade e uma boa relação custo/benefício(ANDERSON, 1970).

Segundo Ali et al. (2012, p.1) um dos problemas do uso do sensor de laço indutivo é o fato da variação de indutância no sensor depender das dimensões da bobina utilizada e da extensão do veículo. Desta forma, para uma frota heterogênea, torna-se difícil a detecção de todos os veículos a partir de uma única estrutura de laço indutivo. A Figura 7 ilustra o formato da resposta – relativa variação de indutância (*Relative change in inductance*) – para a passagem de objetos grandes (*Large object*) e pequenos (*Small object*) em laços de tamanho e formato variado (*Loop-A, Loop-B e Loop-C*). O gráfico da ilustração está em função da posição do objeto (*Position of the object*).

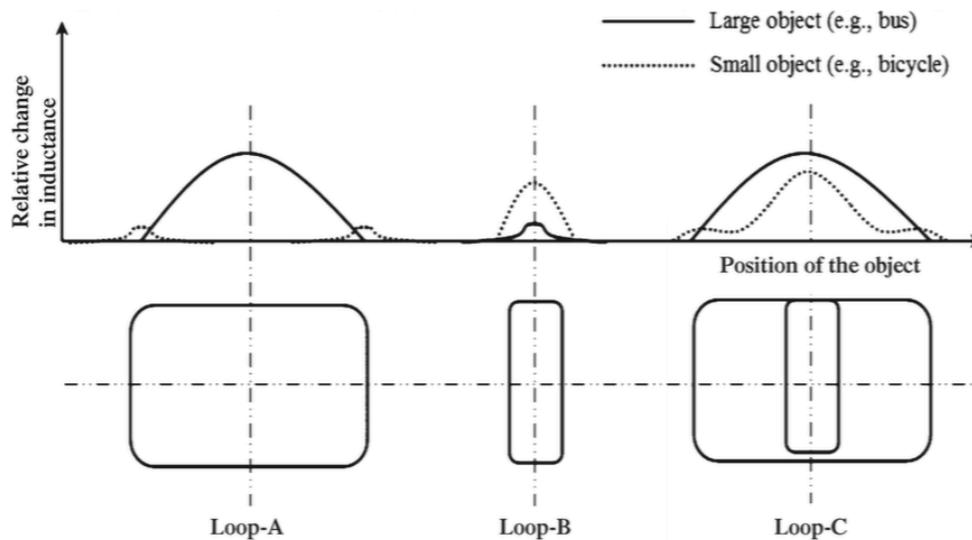


Figura 7 – Variação relativa de indutância em relação a posição de objetos de tamanhos variados para laços indutivos de dimensões e formatos variados

Fonte: Ali et. al. (2012, p.1).

Para resolver estes problemas ligados a heterogeneidade da frota, Ali et al. (2012) propôs a construção de sensores com diversos pequenos laços metálicos e laços grandes, ao invés de apenas um laço. A Figura 8 representa o formado do conjunto indutivo proposto.

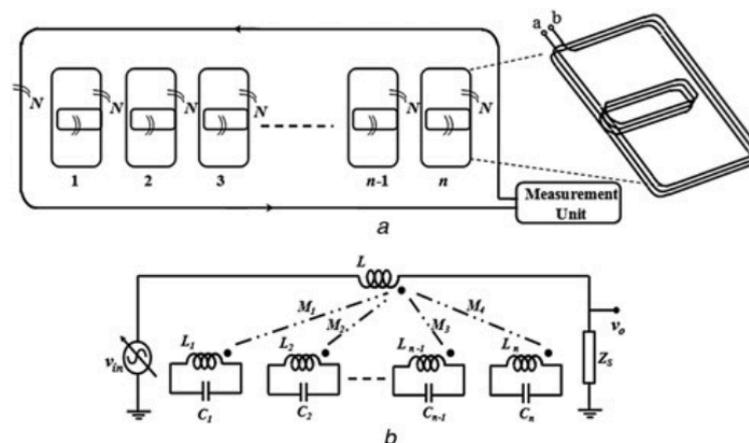


Figura 8 – Conjunto de laços indutivos proposto por Ali et. al. (2012)

Fonte: Ali et. al. (2012, p.3).

Oh, Ritchie e Jeng (2007) realizou um estudo comparativo entre a resposta de assinatura magnética de veículos utilizando-se sensores de laço indutivo convencionais e sensores de laço indutivo em formato de lâmina. Nesse novo sistema, duas lâminas de laço indutivo foram colocadas sobre o asfalto para se obter a resposta de assinatura magnética dos veículos. A Figura 9 elucida o posicionamento dos sensores de lâmina.



Figura 9 – Disposição de lâminas de sensores de laço indutivo

Fonte: Oh, Ritch e Jeng (2007, p.2).

Diversos sistemas de contagem de eixo utilizando sensoriamento indutivo foram desenvolvidos. A exemplo, o trabalho de Simoni (2008), que possui um sistema computacional de contagem através de perfis magnéticos dos veículos. O sistema computacional desse trabalho verifica dois parâmetros: a derivada e a diferença entre o nível do sinal em relação ao sinal do sensor quando sem veículos. Nesse sistema a variação destes parâmetros geram eventos, que são modelados por máquinas de estados.

2.2 ESTUDOS RELACIONADOS

Determinar o volume de veículos é importante, pois, permite o planejamento e melhoramento das vias, bem como a implantação de sinalização adequada. Diversos trabalhos foram e vêm sendo desenvolvidos com estes objetivos.

O sistema SEMCO (Semáforos Coordenados), implementado na cidade de São Paulo em 1982 pela CET (Companhia de Engenharia e Tráfego), foi um sistema criado para controlar e supervisionar eletronicamente diversos cruzamentos da cidade (VILANOVA, 2005, p.13).

Para supervisionar eletronicamente os cruzamentos, o sistema SEMCO utiliza sensores de solo responsáveis por capturar o volume de tráfego da via onde são instalados (CRUZ, 2011, p.14).

Estes sensores de solos compõem o Módulo de Detecção de Veículos (MDV) do sistema, e consistem de um ou mais laços indutivos enterrados sob o asfalto e um conjunto de circuitos eletrônicos (CURY, 1977, p.31).

O sistema SEMCO não possuía as características de trabalhar de modo Online, ou seja, coordenar o funcionamento dos semáforos a partir de dados coletados instantaneamente. Para dinamizar a coordenação dos semáforos, então, a CET iniciou em 1994 a pesquisa e desenvolvimento do Sistema SEMIN (Semáforo Inteligente), cuja principal diferença em relação a seu antecessor é o controle em tempo real (CRUZ, 2011, p.15).

Em 1973 o departamento de pesquisa e desenvolvimento de controle de trânsito da Inglaterra iniciou a pesquisa para desenvolvimento do sistema SCOOT (*Split, Cycle and Offset Optimization Technique*), cuja primeira aplicação prática ocorreu em 1980 (VILANOVA, 2005, p.29).

O SCOOT é um sistema totalmente adaptativo que coleta dados de seus sensores de detecção de veículos e então calcula e configura o tempo de funcionamento que minimize as esperas nos semáforos. O programa computacional componente deste sistema é capaz de estimar o número de veículos que se acumulam em frente a um semáforo, e o tamanho da fila que estes formam (BRETHERTON, 1998, p.11/3).

Assim como os sistemas SEMCO e SEMIN, o sistema SCOOT também utiliza sensores de laço indutivo para detectar a passagem de veículos.

Em 1887 iniciou-se o desenvolvimento do sistema ITACA, através de uma parceria entre a empresa Sainco Trafico S.A. com a Universidade do Oviedo, na Espanha. Da mesma forma, que os sistemas citados anteriormente, este sistema também utiliza sensores de laço indutivo para detectar a passagem de veículos (VILANOVA, 2005, p.41).

O sistema ITACA funciona de forma muito semelhante ao sistema SCOOT, pois ambos os sistemas são adaptativos em tempo real, realizando frequentes reprogramações nos semáforos a fim de otimizar o tempo de abertura. A principal diferença entre estes dois sistemas encontra-se nas estratégias empregadas para reprogramação dos semáforos (VILANOVA, 2005, p.41).

Simoni (2008) desenvolveu um sistema de contagem de eixos de veículos utilizando sensoriamento indutivo. Este sistema é composto de um conjunto de laços indutivos e um sistema computacional. A detecção de alterações nos sinais dos laços indutivos gera eventos, que são modelados através de máquinas de estados. Utilizando um par de laços retangulares, o sistema é também capaz de calcular a velocidade dos veículos e não apenas conta-los.

Feitosa (2012) propôs um método para contagem volumétrica de veículos que utiliza Visão Computacional. A contagem volumétrica é a contagem de veículos que trafegam em local e horário determinados. A pesquisa de Feitosa se diferencia de outras da área, por focar a execução de seu método em dispositivos móveis.

3 SISTEMA DE CONTAGEM DE FLUXO DE VEÍCULOS

O sistema de contagem de veículos a que se refere esta trabalho é composto de três partes básicas:

1. Sistema de medição;
2. Sistema embarcado;
3. Interface.

O sistema de medição é responsável por detectar a presença de veículos e emitir um sinal elétrico a ser interpretado no sistema embarcado. O sistema embarcado além de interpretar esse sinal também processa e armazena informações. Já a interface pode ser conectada ao sistema embarcado - quando conveniente - para configurá-lo e recuperar dados referentes ao fluxo de veículos.

O diagrama a seguir apresenta uma visão geral sobre a estrutura do sistema de contagem de veículos. O sentido em que as informações podem percorrer é representado pelo sentido de setas, configurando o modo de interação entre as partes do sistema.



Figura 10 - Estrutura do sistema e interação entre suas componentes
Fonte: autoria própria.

Conforme representado na Figura 10, a interação entre o sistema de medição e o sistema de gerenciamento de dados ocorre de forma unidirecional através de sinais elétricos. De forma mais específica, um sinal elétrico emitido pelo sistema de medição sinaliza a presença de um veículo sobre o sensor deste. Já a interação entre o sistema de gerenciamento de dados e a interface ocorre de forma bidirecional, mas também através de sinais elétricos. Neste caso, no entanto, são levadas em consideração sequências de sinais trocados. A emissão, a recepção e a interpretação de sequências de sinais elétricos permitem o estabelecimento de protocolos de comunicação, tornando desse modo possível trocar informações mais complexas.

Nos tópicos que seguem serão abordados com mais detalhes cada uma das partes do sistema e a comunicação estabelecida entre elas.

3.1 SISTEMA DE MEDIÇÃO

Após o estudo de diferentes sistemas de contagem de veículos optou-se por construir um protótipo de sistema de medição utilizando o princípio de funcionamento dos sensores de laço indutivo. Um dos principais motivos para escolha deste sensor é a possibilidade de construção deste, apoiando-se em conhecimentos adquiridos através de disciplinas vinculadas à engenharia de computação e a boa relação custo/benefício que este tipo de sensor costuma ter.

3.1.1 Materiais

O sistema de medição foi construído utilizando-se de diversos componentes, como capacitores, resistores e transistores. Também foi utilizado diversas voltas de fio de cobre esmaltado, amplificadores operacionais e um kit de desenvolvimento LaunchPad MSP430 (Figura 11).

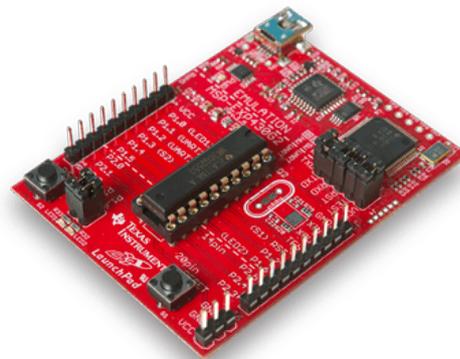


Figura 11 – Kit LaunchPad MSP430
Fonte: Teixeira (2005).

O kit de desenvolvimento LaunchPad MSP430 é uma ferramenta de baixo custo e suporta a série de microcontroladores MSP430G, fornecidos pela empresa estado-unidense Texas Instruments. Esse kit é capaz de gravar e depurar programas em um microcontrolador, comunicando-se com o computador através de sua interface USB. Microcontroladores da família MSP430 são conhecidos por seu baixo consumo de energia, e possuem arquitetura RISC de 16 bits (TEIXEIRA, 2005).

No kit LaunchPad MSP430 foi utilizado um microcontrolador de modelo MSP430G2553. O Quadro 1 apresenta suas principais características.

Característica	Descrição
Frequência máxima de <i>Clock</i>	16MHz
Memória RAM	512B
Memória Flash	16kB
Nº de GPIO	16
Principais periféricos	<ul style="list-style-type: none"> • 2 <i>timers</i> de 16 bits cada • <i>watchdog timer</i> • Módulo ADC • Módulo I2C • Módulo UART • Módulo SPI

Quadro 1 – Características principais do microcontrolador MSP430G2553.
Fonte: Texas Instruments (2013).

3.1.2 Construção e funcionamento

O sistema de medição construído para detectar veículos é composto basicamente por um oscilador, um circuito de condicionamento de sinais e um microcontrolador. A Figura 12 expressa essa visão geral sobre sua composição.

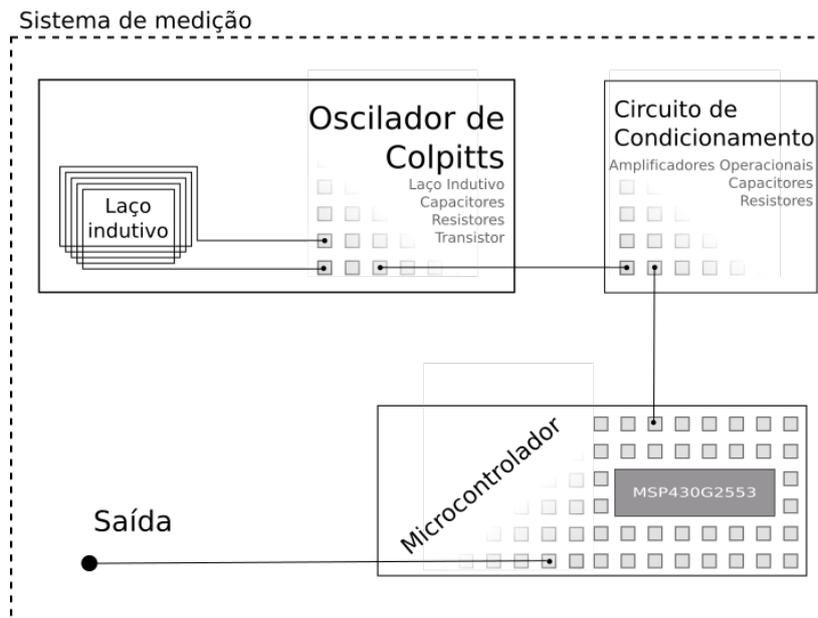


Figura 12 – Sistema de medição construído
Fonte: autoria própria.

3.1.2.1 O laço indutivo

Uma componente de grande importância no oscilador do sistema de medição, apresentado na Figura 12, é o laço indutivo (ou indutor), que atua como a uma entrada para o sistema.

O indutor é um dispositivo que pode ser utilizado para produzir campo magnético. A produção desse campo, representa, por si, uma forma de armazenamento de energia (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 1995, p. 235).

Ao estabelecer-se uma corrente em um indutor, aparece em cada uma de suas espiras um fluxo magnético (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 1995, p. 236). A razão entre essa medida de corrente e do fluxo magnético gerado é denominada indutância – normalmente representada em *Henry* (H). Se as espiras do solenoide que se usa como indutor conduzem uma corrente i , a corrente produz um fluxo magnético Φ_B na região central do indutor. A indutância do indutor é definida através da relação dada pela seguinte equação:

$$L = N\Phi_B/i \quad (2)$$

Onde:

- L é a indutância produzida pelo indutor por unidade de corrente;
- N é o número de espiras do indutor;
- Φ_B é o fluxo magnético;
- i é a corrente que passa pelo indutor.

Para determinar o valor da indutância por unidade de comprimento perto do centro de um solenoide é necessário determinar o fluxo criado por uma corrente i nos enrolamentos do solenoide Figura 13.

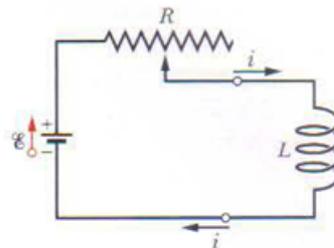


Figura 13 - Solenoide L
Fonte: Halliday, Resnick e Walker (1995).

Considerando um segmento de comprimento l , o enlaçamento de fluxo para esse segmento é:

$$N\Phi_B = (nl)(BA) \quad (3)$$

Onde:

- n é o número de espiras por unidade de comprimento do solenoide;
- l é o comprimento do segmento;
- B é o módulo do campo magnético no interior do solenoide;
- A é a área da seção transversal do solenoide.

E o módulo B do campo magnético é dado por:

$$B = \mu_0 in \quad (4)$$

Onde:

- μ_0 é a constante de permeabilidade na região do fluxo magnético;
- i é a corrente que passa pelo indutor;
- n é o número de espiras por unidade de comprimento do solenoide.

Substituindo B de (4) em (3) e $N\Phi_B$ de (3) em (2) obtém-se a seguinte equação:

$$L = \mu_0 n^2 l A \quad (5)$$

Com base na equação (5) pode-se constatar que a indutância L do indutor é diretamente proporcional a constante de permeabilidade μ_0 do meio, e, desta forma, concluir que a alteração neste valor poderia acarretar uma variação na indutância. Dessa forma, torna-se possível, por exemplo, detectar a presença de um objeto metálico, ao aproximá-lo do centro de um solenoide com núcleo de ar, já que o ar e o objeto metálico possuem constantes de permeabilidade diferentes.

Para a construção do laço indutivo foram enroladas 9,2m de fio de cobre com diâmetro de 0,2mm, de modo a formar um solenoide de 46 voltas, 3cm de raio e 0,5cm de altura.



Figura 14 - Laço indutivo
Fonte: autoria própria.

3.1.2.2 O Oscilador de Colpitts

Como apresentado na Figura 12, o modelo de oscilador utilizado para construção do sistema de medição é o Oscilador de Colpitts.

O Oscilador de Colpitts consiste em um circuito oscilador, ou seja, um circuito que é capaz de emitir um sinal elétrico oscilante. Ele é constituído normalmente por um circuito contendo um transistor (além de outros elementos) e um circuito LC (SEDRA; SMITH, 2007, p.739).

Osciladores de Colpitts utilizam o circuito LC como realimentação para gerar sinais na faixa de frequência de 100 kHz a centenas de megahertz (SEDRA; SMITH, 2007, p.739).

Existem diversas variações do Oscilador de Colpitts disponíveis na literatura. Uma delas está representada na Figura 15.

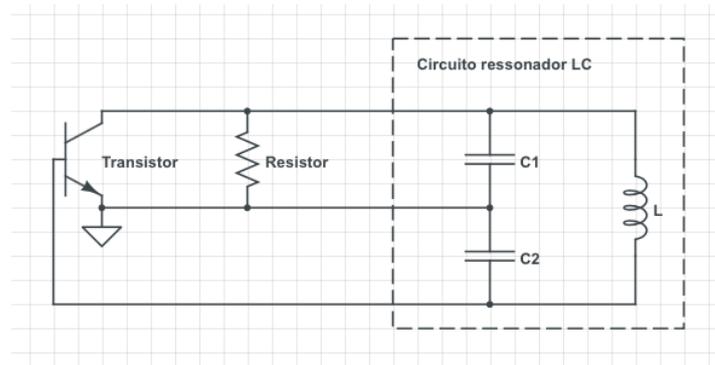


Figura 15 - Oscilador de Colpitts simples
Fonte: adaptado de Sedra e Smith (2007, p. 739).

A frequência do sinal gerado através do Oscilador de Colpitts pode ser denominada como *frequência de ressonância*, e segundo Malvino (1997, p.361), aproximada pelas seguintes equações:

$$f_r = 1 / \left(2\pi \left((LC)^{1/2} \right) \right) \quad (6)$$

e

$$C = C_1 C_2 / (C_1 + C_2) \quad (7)$$

Onde:

- f_r é a frequência de ressonância do circuito;
- L é a indutância do indutor do circuito ressonador;

- C é a capacitância equivalente entre os dois capacitores (C_1 e C_2) do circuito ressonador.

Com base na equação (6) pode-se constatar que a frequência de ressonância do Oscilador de Colpitts pode ser modificada, variando-se a indutância do indutor do circuito ressonante. Desta forma, se for estabelecido um mecanismo para detectar a variação nesta frequência, então, será possível identificar a aproximação de objetos metálicos ao campo magnético do indutor.

A Figura 16 apresenta o protótipo de Oscilador de Colpitts construído.

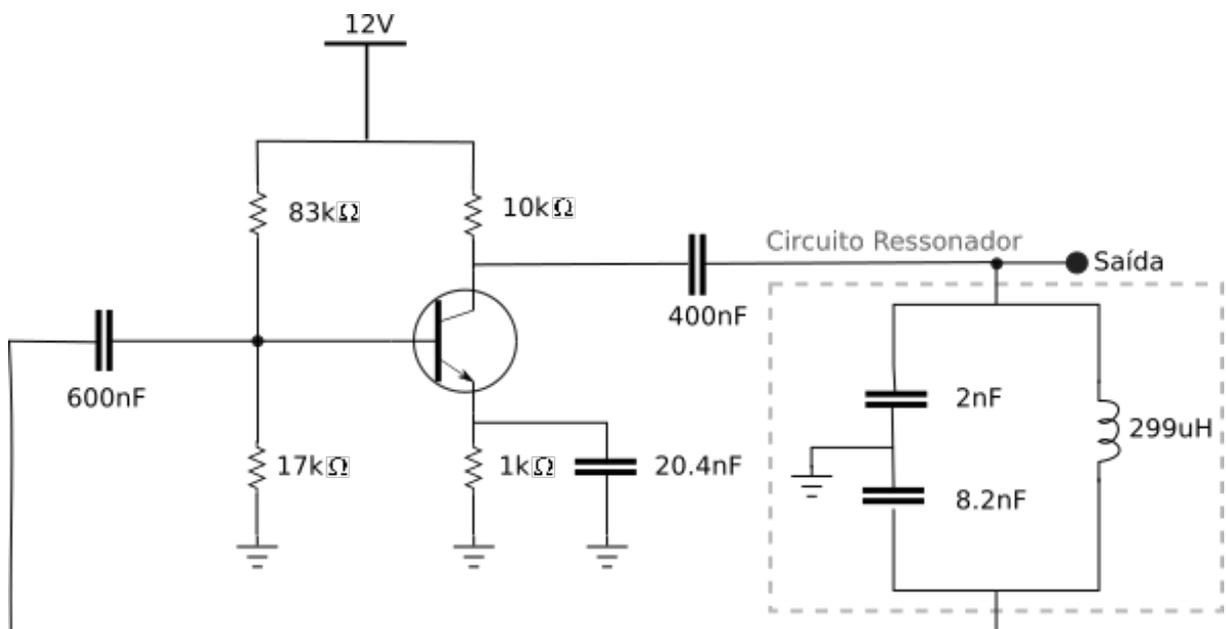


Figura 16 - Oscilador de Colpitts construído
Fonte: autoria própria.

3.1.2.3 O circuito de condicionamento de sinais

O circuito de condicionamento de sinais foi construído para tornar possível conectar o Oscilador de Colpitts a um sistema microcontrolado, de modo a não danificar o sistema e tornar possível a interpretação dos sinais.

Através do uso de amplificadores operacionais, resistores e capacitores foram então construídos circuitos de *buffer*, para isolar a corrente dos circuitos, circuito subtrator para ajuste de *offset*, um circuito amplificador, para diminuir a amplitude do sinal e um circuito comparador, para aproximar o sinal ao formato de onda retangular. A Figura 17 ilustra a forma de onda em cada uma destas etapas.

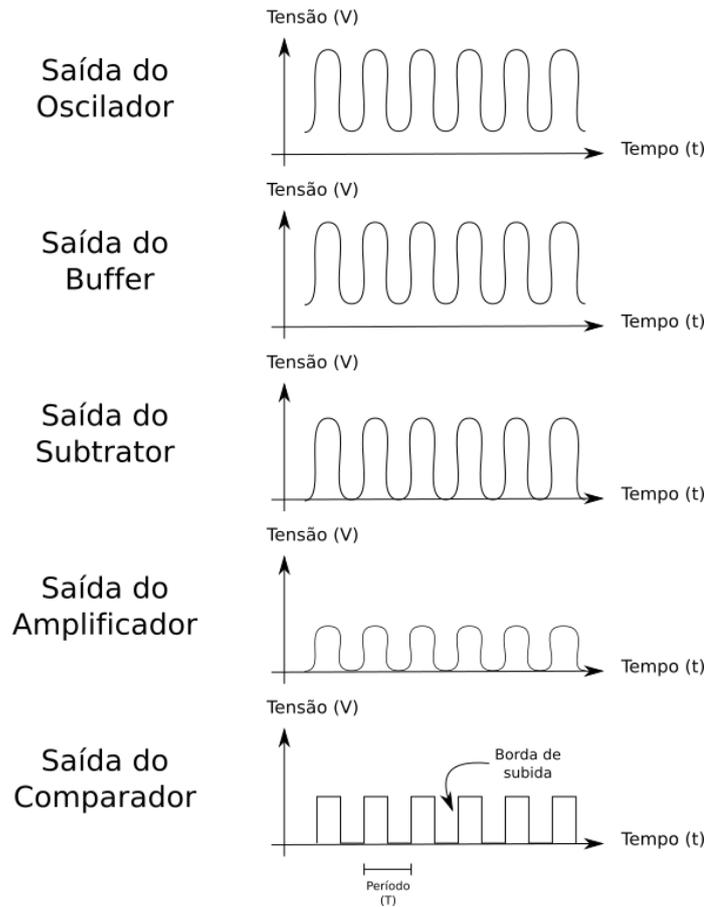


Figura 17 – Formato dos sinais no circuito de condicionamento
Fonte: autoria própria.

A Figura 18 apresenta o diagrama do circuito de condicionamento de sinais construído.

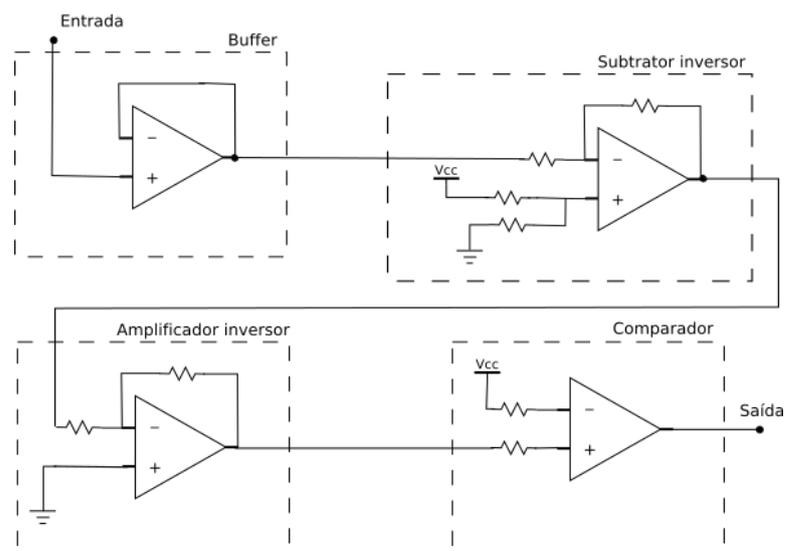


Figura 18 - Diagrama do Circuito de Condicionamento de Sinais
Fonte: autoria própria.

3.1.2.4 A programação do microcontrolador

O microcontrolador foi utilizado para detectar variações na frequência do sinal proveniente do Oscilador de Colpitts, já condicionado pelo circuito de condicionamento. Caso ocorra uma variação relevante nessa frequência, o microcontrolador então emite um sinal em sua saída, sinalizando a provável presença de objetos metálicos próximo ao sensor.

Através do uso de linguagem C, o microcontrolador foi programado para gerar uma interrupção a cada borda de subida detectada no sinal de entrada (Figura 17, saída do comparador).

O *timer A* do microcontrolador MSP430G2553 é um periférico capaz de realizar contagens, tomando como base um sinal de clock. Neste trabalho um timer A foi programado para realizar contagens com base em um sinal de clock de 16MHz, ou seja, a velocidade de 16 milhões de contagens por segundo. Com o valor de contagens realizadas por esse timer entre duas interrupções por borda de subida, devido ao sinal de entrada, é possível calcular sua frequência. Dessa forma, a frequência é dada por:

$$Freq = 16 \times (10^6) / cont \quad (8)$$

Onde:

- *Freq*: frequência do sinal de entrada;
- *cont*: número de contagens realizadas entre duas bordas de subida do sinal de entrada.

Com a frequência do sinal sendo recalculada a cada interrupção, foi programada então, uma rotina para avaliar constantemente o valor dessa variável. Caso haja uma grande variação neste valor, o microcontrolador emite um sinal elétrico por um de seus pinos, sinalizando a detecção de um objeto metálico. Esse pino foi conectado ao sistema embarcado, apresentado na subseção 3.2.

3.2 SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE DADOS

Para desenvolver o sistema de gerenciamento de dados referente a contagem de veículos e interpretar sinais provenientes do sistema de medição, optou-se pela implementação de um software embarcado, isto é, um programa computacional executado em um sistema microprocessado.

O armazenamento dos dados desse sistema é realizado em um cartão de memória SD, que pode ser retirado do sistema e levado para uma central de controle de tráfego. Outra

possibilidade para descarregar os dados é conectar o sistema de gerenciamento de dados via USB a um computador que contém um software de terminal de comunicação UART, ou uma interface apresentada na subseção 3.3.

3.2.1 Materiais

O sistema de gerenciamento de dados apresentado neste trabalho foi construído utilizando um kit desenvolvimento Tiva C Series TMC1294 Connected LaunchPad (Figura 19), e um cartão de memória SD com capacidade de armazenamento de 1GB em memória Flash.

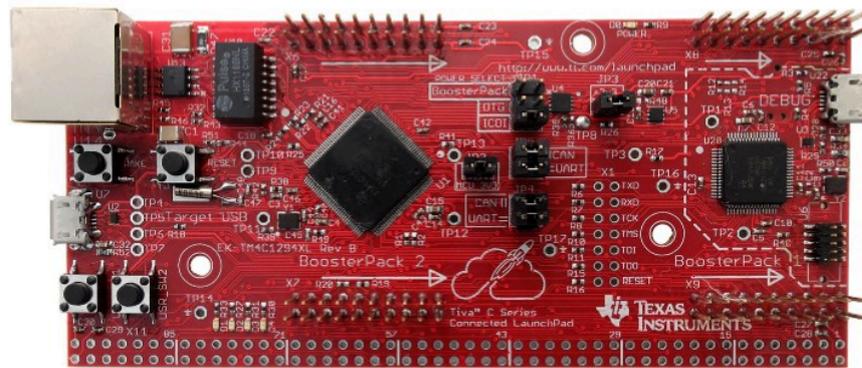


Figura 19 – Tiva C Series TM4C1294 Connected LaunchPad
Fonte: Texas Instruments (2016).

O Quadro 2 apresenta as principais características deste LaunchPad.

Característica	Descrição
Processamento	120MHz 32-bit ARM Cortex-M4 CPU com ponto flutuante
Memórias	<ul style="list-style-type: none"> • 1MB de memória Flash • 256KB de memória SRAM • 6KB de memória EEPROM
Quantidade de pinos	128
Periféricos e recursos	<ul style="list-style-type: none"> • Interface de comunicação Ethernet • 8 <i>timers</i> de 32 bits • Conversor ADC de 12 bits • Interface USB • Módulos de comunicação UART e I2C

Quadro 2 – Principais características do Tiva C Series TM4C1294
Fonte: Texas Instruments (2004).

O software embarcado foi implementado na linguagem C++, utilizando a IDE Code Composer Studio. O software é executado sobre o sistema operacional embarcado FreeRTOS.

3.2.2 Construção e funcionamento

O software embarcado foi construído através de uma rotina de interrupção e várias tarefas instaladas no sistema FreeRTOS. O sistema operacional de tempo real FreeRTOS é responsável por gerenciar o tempo de execução entre cada uma das tarefas, enquanto um periférico de timer é responsável por acionar a rotina de interrupção periodicamente. O software deste trabalho também conta com drivers de comunicação com o cartão SD, comunicação UART, dentre outros recursos agregados.

A rotina de interrupção programada é responsável pelo funcionamento de um relógio/calendário do sistema. Para tal rotina ser executada, um timer foi configurado para gerar uma interrupção a cada 1s. Dessa forma, a rotina é capaz de avaliar e atualizar variáveis que guardam o segundo, o minuto, a hora, o dia, o mês e o ano do sistema. O software foi programado de modo a permitir acelerar o tempo do sistema, facilitando realizar simulações. A hora e a data do sistema podem ser configuradas através das interfaces apresentadas na subseção 3.3.

As tarefas implementadas e instaladas são apresentadas no Quadro 3.

Nome dado a tarefa	Descrição
Sensores	Tarefa responsável por monitorar o sinal de entrada nos pinos conectados aos sistemas de medição. Dessa forma, a tarefa “Sensores” é responsável por modificar variáveis que indicam a detecção de um veículo pelos sensores.
Contador	Tarefa responsável por contar efetivamente o número de veículos que passam pelas duas vias do cruzamento no qual os sistemas de medição são instalados. Para realizar esta operação a tarefa “Contador” lê e modifica variáveis também utilizadas na tarefa “Sensores”.
Monitor	A tarefa “Monitor” verifica constantemente o tempo (da rotina de interrupção) e a cada 15 minutos salva e limpa os valores das variáveis que contam o número de veículos. Este procedimento salva em um arquivo no formato .txt no cartão SD o fluxo de veículos no cruzamento entre as 7h até as 20h em todos os dias da semana.

Interface	<p>A tarefa “Interface” implementa um menu de opções que podem ser visualizados pelo usuário do sistema através de um programa terminal em um computador. Esse menu permite ao usuário realizar diversas tarefas, como configurar data e hora do sistema e ler arquivos que armazenam dados referentes ao fluxo de veículos.</p> <p>Ao mesmo tempo em que permite comunicação com o usuário através de um terminal, a tarefa “Interface” também imprime em seu texto caracteres especiais, utilizados como marcadores a serem lidos e interpretados por um software que facilita a interação com o sistema.</p>
-----------	---

Quadro 3 – Tarefas implementadas no software embarcado

Fonte: autoria própria.

3.2.2.1.1 Formato de armazenamento dos dados

Como apresentado no Quadro 3, a tarefa “Monitor” é responsável por armazenar o número de veículos que passam pelas duas vias do cruzamento a cada 15 minutos.

Para cada dia em que há registro do fluxo, um arquivo é criado com o nome “tcANO-MES-DIA.txt”. Para exemplificar, um registro realizado no dia 25 de maio de 2016 seria armazenado em um arquivo com o nome “tc2016-5-25.txt”.

Para padronizar o formato dos dados dentro do arquivo, as horas foram divididas em 4 faixas de minutos sendo:

- Faixa 1: de 0 minutos até 14 minutos e 59 segundos;
- Faixa 2: de 15 minutos até 29 minutos e 59 segundos;
- Faixa 3: de 30 minutos até 44 minutos e 59 segundos;
- Faixa 4: de 45 minutos até 59 minutos e 59 segundos.

Cada registro realizado dentro de uma faixa de 15 minutos é armazenado no formato:

“hora:faixa_de_minuto:fluxo_em_uma_das_vias:fluxo_na_outra_via;”.

Para exemplificar, suponha-se que entre as 7 horas e as 7 horas e 15 minutos 60 veículos passem pelo cruzamento através de uma das vias e 45 da outra. Suponha-se também que nos próximos seguintes 15 minutos 70 carros passem pela primeira via e 60 pela segunda. Os dados seriam então armazenados como segue:

“7:1:60:45;7:2:70:60;”.

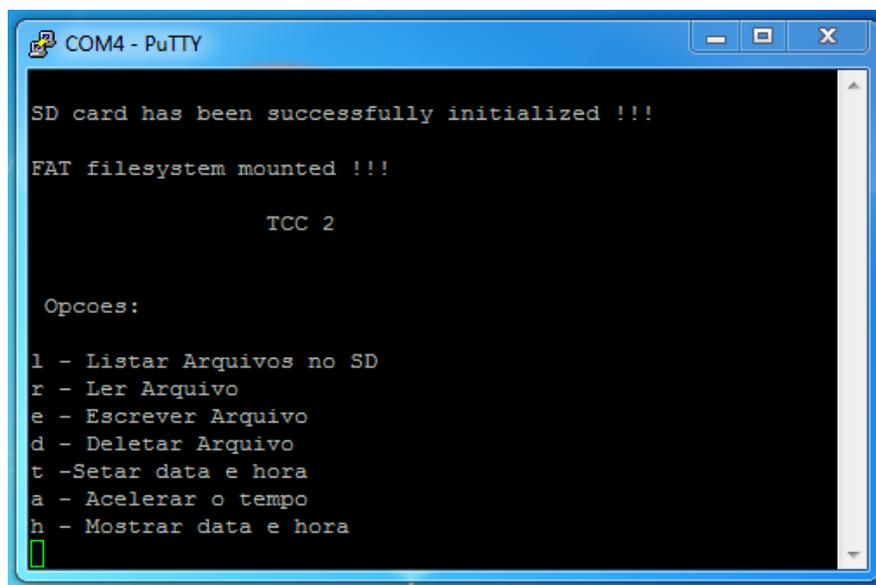
3.3 INTERFACE

Com o objetivo de possibilitar que o usuário possa configurar o sistema de contagem de veículos e recuperar dados, foram criadas duas possibilidades: a interação com o sistema via Terminal, e a interação com o sistema via interface Java.

3.3.1 Interface via Terminal

É possível se conectar ao sistema de gerenciamento de dados através do uso de um software terminal, capaz de estabelecer comunicação serial com o microcontrolador na velocidade de 115200 bps. São exemplos de terminal que possibilitam essa comunicação: RcomSerial, SimpleTerm SE, PuTTY e outros. Para tanto, é necessário que sejam instalados os drivers do Tiva C Series no sistema operacional do usuário, e uma vez conectado ao kit via USB, configurar o terminal.

No caso deste trabalho, ao estabelecer conexão com o dispositivo e executar o terminal configurado corretamente, é possível ver o menu apresentado na Figura 20. Neste caso, foi utilizado o terminal PuTTY.



```
COM4 - PuTTY
SD card has been successfully initialized !!!
FAT filesystem mounted !!!

                TCC 2

Opcoes:

l - Listar Arquivos no SD
r - Ler Arquivo
e - Escrever Arquivo
d - Deletar Arquivo
t -Setar data e hora
a - Acelerar o tempo
h - Mostrar data e hora
```

Figura 20 - Interface do sistema utilizando o terminal PuTTY
Fonte: autoria própria.

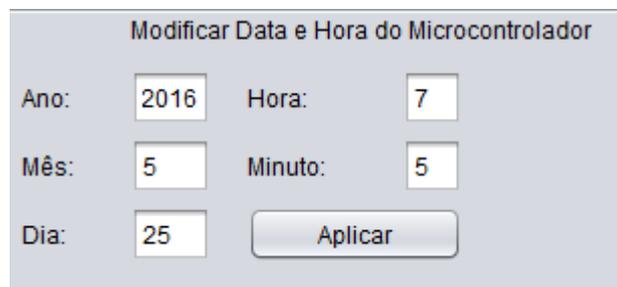
A programação da interface (menu em formato de texto) apresentada na Figura 14 foi realizada completamente dentro do microcontrolador do sistema de gerenciamento de

dados, cabendo ao computador e ao terminal apenas a função de estabelecer e mediar a comunicação entre o usuário e o sistema.

3.3.2 Interface implementada em Java

Para tornar mais amigável a interação entre o usuário e o sistema, foi desenvolvido em linguagem Java, uma interface simples, capaz de automatizar as funções do terminal.

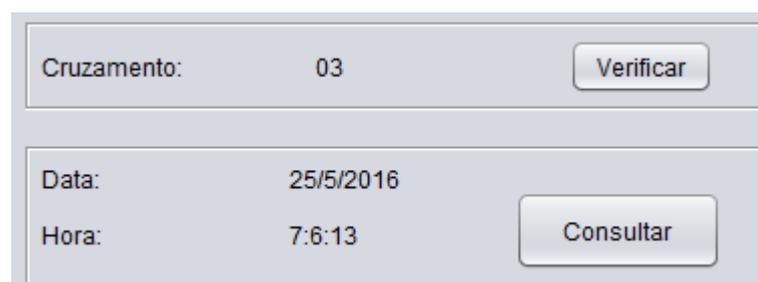
A Figura 21 apresenta parte um recorte da interface em Java, a qual possibilita ao usuário modificar a hora e a data do sistema de modo mais fácil do que no terminal.



A interface, intitulada "Modificar Data e Hora do Microcontrolador", apresenta um formulário com campos de entrada para "Ano" (2016), "Hora" (7), "Mês" (5), "Minuto" (5) e "Dia" (25). Um botão "Aplicar" está posicionado à direita dos campos de data e hora.

Figura 21 - Tela para modificação de Data e Hora
Fonte: autoria própria.

A Figura 22 apresenta uma interface que pode ser utilizada para ler qual o número do cruzamento está conectado ao computador e qual é a data e a hora atual no sistema.



A interface é dividida em duas seções. A primeira seção mostra "Cruzamento: 03" com um botão "Verificar". A segunda seção mostra "Data: 25/5/2016" e "Hora: 7:6:13" com um botão "Consultar".

Figura 22 - Interface que permite recuperar data e hora do sistema, além do número do cruzamento
Fonte: autoria própria.

Também é possível utilizar a interface implementada como terminal, como apresentado na Figura 23.

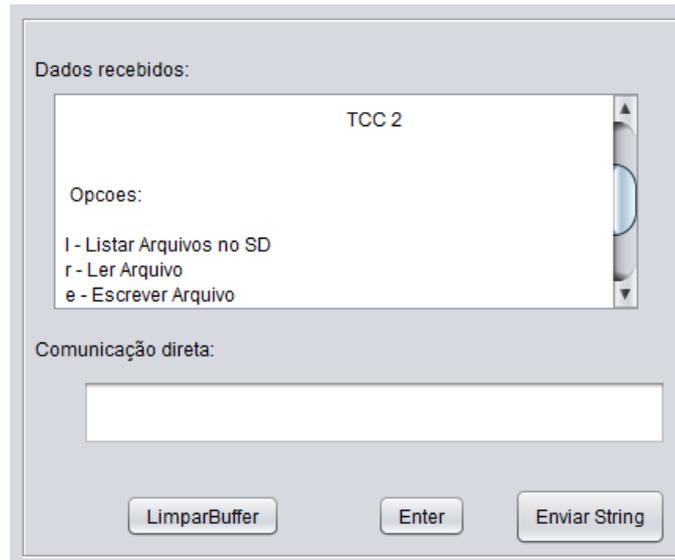


Figura 23 - Terminal dentro da tela do programa escrito em Java

Fonte: autoria própria.

Por fim, após ter recuperado ao menos o número do cruzamento, o sistema permite recuperar os dados coletados pelo sistema. A Figura 24 apresenta um menu que fornece essas opções.

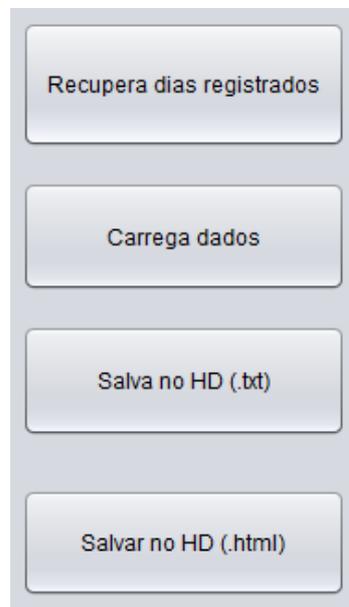


Figura 24 - Menu que permite recuperar dados coletados

Fonte: autoria própria.

Como apresentado na Figura 18, o sistema permite salvar os dados que estão no SD do sistema de gerenciamento de dados, no disco rígido (HD) do computador do usuário. Existe a possibilidade de salvar os dados em formato de arquivo texto ou como uma tabela em

HTML. A interface em Java então salva estes arquivos no diretório “c://transito/cruzamentoX”, onde X é o número do cruzamento.

Outra possibilidade para recuperar os dados do sistema é retirando deste o cartão SD e inserindo-o diretamente em um computador. Esse modo, porém, permite apenas copiar os arquivos no formato texto.

3.3.3 Dados em arquivo texto

Os arquivos salvos no formato texto guardam os dados do mesmo modo que o sistema de gerenciamento armazena seus dados. O formato é o mesmo que apresentado na subseção 3.3.2.2.1.

A Figura 25 apresenta um exemplo de arquivo, visualizado com o software Bloco de Notas do sistema operacional Microsoft Windows 7.

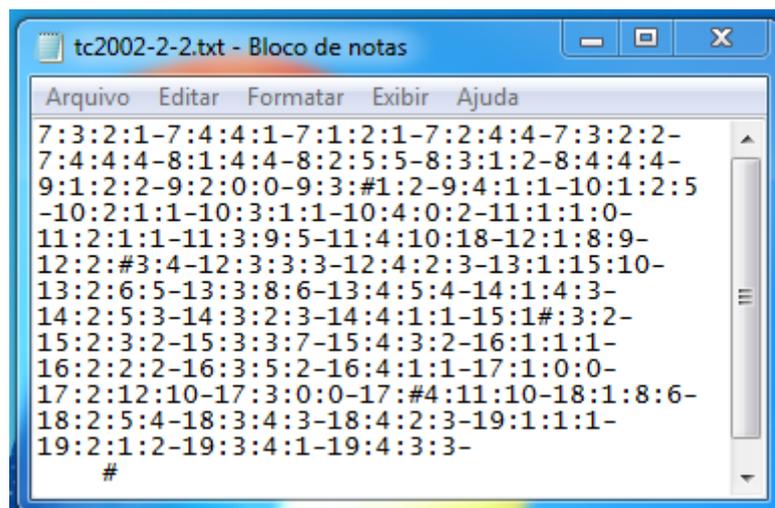


Figura 25 - Dados no formato texto exibidos através do Bloco de Notas
Fonte: autoria própria.

3.3.4 Dados em arquivo HTML

Ao salvar solicitar que a interface salva os dados no HD no formato HTML é gerada uma tabela, que pode ser aberta em qualquer navegador web. A Figura 20 apresenta parte de uma tabela que representa os mesmos dados da Figura 26.

Esta forma de salvar os dados é mais interessante, pois permite copiá-los através da área de transferência (clipboard) computador, e colá-los, por exemplo, em uma planilha.

Dados do Fluxo de Veículo no Cruzamento 03
Data do registro: : 2002/2/2 (ano, mes, dia)

Hora	Minuto	Fluxo na via A	Fluxo na via B
7	30 a 44	2	1
7	45 a 59	4	1
7	0 a 14	2	1
7	15 a 29	4	4
7	30 a 44	2	2
7	45 a 59	4	4
8	0 a 14	4	4
8	15 a 29	5	5
8	30 a 44	1	2
8	45 a 59	4	4

Figura 26 - Exemplo de arquivo HTML contendo dados referentes ao fluxo de veículo em um dia

Fonte: autoria própria.

4 TESTES REALIZADOS

4.1 TESTES DO SISTEMA DE MEDIÇÃO

Segundo George (2016) os 5 principais materiais que normalmente compõem um carro são, em ordem de grandeza da massa, o aço, o plástico, o alumínio, a borracha e o vidro. Para atestar o funcionamento do sistema de medição desenvolvido neste trabalho, foi utilizado os dois metais dessa lista.

O primeiro teste consistiu em verificar a variação da indutância no laço indutivo, ao aproximar a este, materiais de aço e de alumínio. A verificação foi feita através de um aparelho de medição LCR utilizando os seguintes objetos:

- Objeto 1: uma caixa de papelão com as dimensões 7,5cm x 6cm x 2,5cm, contendo de forma distribuída em seu interior 50g de alumínio;
- Objeto 2: uma barra de aço 1020 com massa de 356g e 1,2cm x 7cm x 5cm de dimensões.

A Tabela 1 apresenta a indutância no indutor ($L=299\mu\text{H}$), medida no aparelho LCR, para aproximação dos objetos 1 e 2 em diversas distâncias como mostrado na Figura 27. As medições de indutância foram realizadas com o indutor desconectado do circuito oscilador.

Tabela 1 - Indutância no laço indutivo na presença de objetos metálicos

Distância do objeto metálico ao laço indutivo	Objeto 1 (alumínio) (em μH)	Objeto 2: aço 1020 (em μH)
1,5 cm	297	310
1 cm	288	315
0,5 cm	285	337
0 cm	272	386

Fonte: autoria própria.

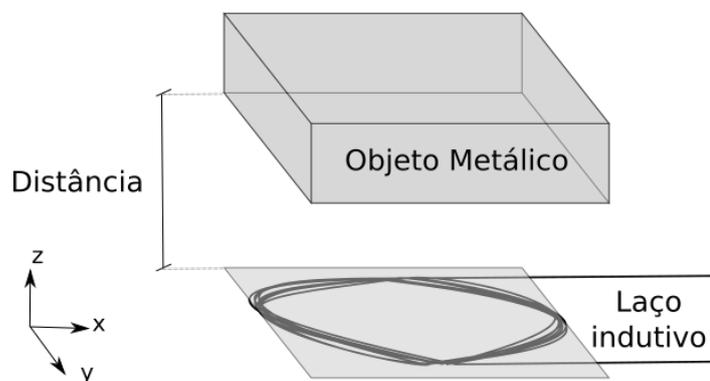


Figura 27 – Posição dos objetos testados em relação ao laço indutivo
Fonte: autoria própria.

O segundo teste realizado foi a verificação da ocorrência de alterações na frequência de ressonância do circuito Oscilador de Colpitts na presença dos mesmos materiais do teste anterior.

A Figura 28 apresenta a tela do aparelho Osciloscópio, no qual se pode observar o formato de onda do sinal proveniente do circuito Oscilador de Colpitts na ausência de metais próximo ao laço indutivo.

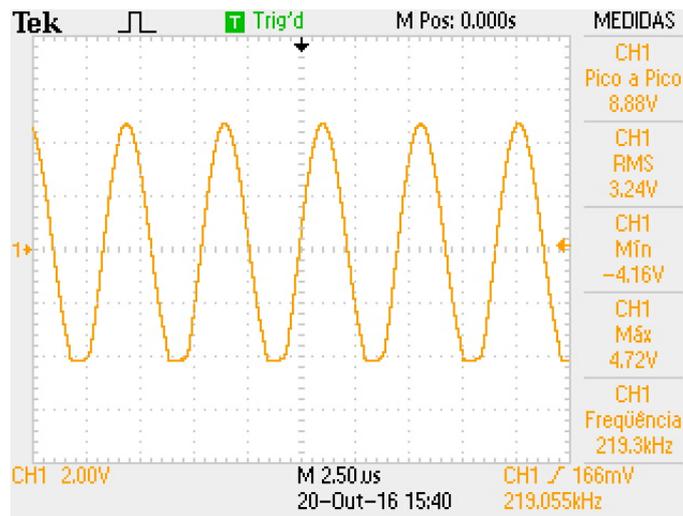


Figura 28 - Sinal elétrico do Oscilador de Colpitts na ausência de metais próximo ao laço indutivo
Fonte: autoria própria.

Como se pode observar na Figura 28, quando nenhum objeto é aproximado do laço indutivo do Oscilador de Colpitts, a frequência do sinal por ele emitido oscila brevemente em torno de 219kHz. O sinal possui neste caso uma tensão de 8.88Vpp.

A Tabela 2 apresenta valores de frequência do sinal de saída do Oscilador de Colpitts ($f_r = 219\text{kHz}$) quando aproximado os objetos de teste a diferentes distâncias do laço indutivo.

Tabela 2 - Frequência de saída do Oscilador de Colpitts na presença de objetos metálicos

Distância do objeto ao laço indutivo	Objeto 1: (alumínio) (em kHz)	Objeto 2: (aço 1020) (em kHz)
1,5 cm	225	225
1 cm	230	229
0,5 cm	235	237
0 cm	249	261

Fonte: autoria própria.

O terceiro teste realizado consistiu na verificação da tensão de pico a pico na saída do Oscilador de Colpitts ($V_{pp} = 8,8V$) e no circuito de condicionamento de sinais ($V_{pp} = 4,3V$) quando aproximado os objetos de teste diferentes distâncias do laço indutivo. A Tabela 3 apresenta esses dados.

Tabela 3 – Tensão (em Volts) na saída do oscilador e do circuito de condicionamento na presença de metais a diversas distâncias do laço indutivo

Distância do objeto ao laço indutivo	Objeto 1 – Tensão na saída do Oscilador	Objeto 1 – Tensão na saída do circuito de condicionamento	Objeto 2 – Tensão na saída do Oscilador	Objeto 2 – Tensão na saída do circuito de condicionamento
1,5 cm	8,16	3,84	7,20	4,16
1 cm	7,52	3,52	5,44	3,30
0,5 cm	7	3,36	4,60	2,48
0 cm	6,40	3,20	2,96	1,52

Fonte: autoria própria.

Não foram detectadas intermitências no sinal de saída do sistema de medição durante os testes, ou seja, o sinal sempre se apresentou de forma bem definida para detecção ou não. A Tabela 4 expressa às distâncias de detecção entre os objetos de teste e o laço indutivo.

Tabela 4 – Ocorrência de detecção do metal pelo sistema de medição

Distância do objeto ao laço indutivo	Nenhum metal	Objeto 1 (alumínio)	Objeto 2: aço 1020
1,5 cm	NÃO	NÃO	NÃO
1 cm	NÃO	SIM	SIM
0,5 cm	NÃO	SIM	SIM
0 cm	NÃO	SIM	NÃO

Fonte: autoria própria.

4.2 TESTE DE INTERAÇÃO ENTRE SISTEMA DE MEDIÇÃO E SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE DADOS

Nos testes realizados o sistema de gerenciamento de dados respondeu bem a detecção de veículos pelo sistema de medição, de forma coerente a expressa na Tabela 3. Dessa forma, o sistema computou uma ocorrência de detecção para cada vez que foi aproximado o metal do laço indutivo. A única exceção ocorreu ao aproximar a maior face do Objeto 2 (aço 1020) a uma distância inferior a 0,5cm do laço indutivo. Neste caso ocorreu uma detecção ao aproximar o objeto sensor (laço indutivo) e outra afastar o objeto do sensor. Porém, quando objeto fica a 0cm o sensor não detecta o objeto.

4.3 TESTE DE INTERAÇÃO ENTRE MÚLTIPLOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO E SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE DADOS

Nesse teste foi avaliado o comportamento do sistema de gerenciamento de dados ao submetê-lo a múltiplas entradas. Ou seja, foi avaliado como o sistema se comporta ao interpretar os sinais de vários sistemas de medição simultaneamente.

Para facilitar os testes, foi construído um pequeno circuito contendo quatro botões. Ao apertar cada um desses botões, o circuito envia um sinal diferente ao sistema, simulando a detecção de um veículo. Dessa forma, tem-se a simulação do funcionamento de dois sistemas de medição para uma das vias, e outros dois sistemas de medição para outra. Chamaremos esses botões de viaA1, viaA2, viaB1, viaB2, respectivamente. O Quadro 4 apresenta um conjunto de procedimentos realizados para testar a interação entre múltiplos sistemas de medição e o sistema de gerenciamento de dados, bem como o número de registros esperados para detecção por parte do sistema e o número de registros efetivamente ocorrido.

Procedimento	Nº de registros esperados	Nº de registros efetivados
Pressionou-se os botões viaA1, viaA2, viaB1 e viaB2, um por vez.	4	4
Pressionou-se e segurou-se o botão viaA1. Em seguida, foram pressionados os botões viaA2, viaB1 e viaB2. Em seguida soltou-se o botão viaA1. (Procedimentos análogos foram realizados pressionando-se os botões viaA2, viaB1 e viaB2, onde obteve-se os mesmos resultados)	4	4
Pressionou-se e segurou-se o botão viaA1 e viaB1. Em seguida foram pressionados os botões viaA2 e viaB2. Em seguida soltou-se os botões viaA1 e viaB1.	4	4
Pressionou-se e segurou-se o botão viaA1. Em seguida pressionou-se e segurou-se o botão viaA2. O botão viaA1 foi então soltado. Em seguida o botão viaB1 foi pressionado e segurado. O botão via A2 foi então soltado. Por fim, foi soltado o botão viaB1.	3	3

Quadro 4 - Teste de interação entre sistema de gerenciamento de dados e múltiplos sistemas de medição
Fonte: autoria própria.

4.4 TESTE DA CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO DO SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE DADOS

Como apresentado na subseção 3.2, o sistema de gerenciamento de dados construído é dotado de um cartão de memória SD, com capacidade de armazenamento de 1GB.

A Figura 29 apresentada na subseção 4.5 apresenta um exemplo de arquivo no formato .txt que armazena dados referente ao fluxo de veículos em determinado cruzamento ao longo de um dia. Este arquivo possui o tamanho de 4kbytes.

Levando em consideração a capacidade de armazenamento do cartão de memória, é possível em teoria armazenar até 250 mil arquivos deste mesmo tamanho. Isso seria o suficiente para que o sistema armazene os dados de um cruzamento por 684 anos.

4.5 TESTES DO SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE DADOS E DA INTERFACE VIA TERMINAL

Para testar o sistema de gerenciamento de dados a data do sistema foi configurada para 02/02/2002 e a hora 7:00. Em seguida, o tempo foi acelerado para 30 vezes e simulado (através de botões) detecções aleatórias nas duas vias do cruzamento, entre as 7h às 20h. A Figura 29 apresenta o arquivo gerado, lido através do terminal.

```

COM4 - PuTTY
ENTRE COM NOME DO ARQUIVO A SER LIDO(finalize com ENTER)
tc2002-2-2.txt
Tamanho: 480
*7:3:2:1-7:4:4:1-7:1:2:1-7:2:4:4-7:3:2:2-7:4:4:4-8:1:4:4-8:2:5:5-8:3:1:2-8:4:4:4-9:1:2:2-9:2:0:0-9:3:3#
1:2-9:4:1:1-10:1:2:5-10:2:1:1-10:3:1:1-10:4:0:2-11:1:1:0-11:2:1:1-11:3:9:5:11:4:10:18-12:1:8:9-12:2:3#
3:4-12:3:3:3-12:4:2:3-13:1:15:10-13:2:6:5-13:3:8:6-13:4:5:4-14:1:4:3-14:2:3-14:3:2:3-14:4:1:1-15:1:3:2-15:2:3:2-15:3:3:7-15:4:3:2-16:1:1:1-16:2:2:2-16:3:5:2-16:4:1:1-17:1:0:0-17:2:12:10-17:3:0:0-17:3:3:3#
4:11:10-18:1:8:6-18:2:5:4-18:3:4:3-18:4:2:3-19:1:1:1-19:2:1:2-19:3:4:1-19:3:3:3#
480 bytes read with 0 bytes/sec.

```

Figura 29 - Exemplo de arquivo de registro de fluxo de veículos exibido através do Terminal PuTTY

Fonte: autoria própria.

4.6 TESTES DO SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE DADOS E DA INTERFACE VISUAL

Para testar a interface programada em linguagem JAVA, todos os dados já coletados pelo sistema – durante o teste e durante o desenvolvimento - foram recuperados através desta interface, em modo texto e em modo HTML. Esta interface foi apresentada na subseção 3.3.2. A Figura 30 mostra a disposição dos arquivos gerados no diretório “c:/transito/cruzamento03/”.

Nome	Data de modifica...	Tipo	Tamanho
 tc2002-2-2.txt	20/09/2016 17:46	Documento de Texto	1 KB
 tc2002-2-2.txt.html	20/09/2016 17:47	Chrome HTML Document	4 KB
 tc2003-8-14.txt	20/09/2016 17:46	Documento de Texto	1 KB
 tc2003-8-14.txt.html	20/09/2016 17:47	Chrome HTML Document	1 KB
 tc2003-8-15.txt	20/09/2016 17:46	Documento de Texto	1 KB
 tc2003-8-15.txt.html	20/09/2016 17:47	Chrome HTML Document	1 KB
 tc2005-5-5.txt	20/09/2016 17:46	Documento de Texto	1 KB
 tc2005-5-5.txt.html	20/09/2016 17:47	Chrome HTML Document	1 KB

Figura 30 - Diretório do Windows 7 contendo arquivos de registro de fluxo de veículos em modo texto e HTML

Fonte: autoria própria.

A Figura 25 da subseção 3.3.3 exibe os dados referentes a simulação do dia 02/02/2002 em formato texto. Já a Figura 26 da subseção 3.3.4 apresenta os mesmos dados em formato HTML.

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Os objetivos gerais a que se propôs esse trabalho foram cumpridos: desenvolveu-se um protótipo capaz de contar o número de veículos no trânsito urbano, construindo-se para atender a estes objetivos, um sensor de laço indutivo, um sistema de gerenciamento de dados e uma interface.

Inicialmente pretendia-se implementar o sensor de laço indutivo através da construção de um Oscilador de Colpitts e um PLL (*Phase Locked Loop*) responsável por transformar ganhos de frequência em ganhos de tensão. Dessa forma, um circuito comparador seria utilizado para sinalizar a detecção de veículos, de acordo com o nível de tensão da saída do PLL. Porém, foram encontradas dificuldades em implementar um circuito oscilador e um PLL que pudessem operarem juntos, de modo a atender satisfatoriamente a finalidade a que se propôs cumprir o sensor. Devido a essas dificuldades, optou-se por substituir o PLL por um circuito de condicionamento de sinais e um microcontrolador, conforme apresentado na subseção 3.1 deste trabalho.

O sistema de medição construído apresentou boa resposta aos testes realizados. A presença dos metais predominantes na constituição de carros foi detectada ao aproximá-los a uma pequena distância do laço indutivo. Entretanto, é necessário considerar que para detecção de veículo de tamanho real, a distância mínima de detecção deve ser ajustada.

O aumento na aproximação dos metais ao laço indutivo provocou uma diminuição da amplitude do sinal de saída do oscilador como pode ser observado na Tabela 3 da subseção 4.1. Tal variação de amplitude fez com que, por exemplo, o microcontrolador não conseguisse calcular corretamente a frequência do sinal, e assim, não sinalizasse a detecção (distância 0 cm - objeto 2) do laço indutivo, conforme apresentado na Tabela 4 da subseção 4.1. Assim, ajustes no sistema para detecção serão necessários e deverão considerar as diferentes alturas do chassi em relação ao solo que os veículos possuem.

Também foi observado que ao aproximar o objeto de aço a distâncias muito curtas (próximo a 0,3cm ou menos) o sistema detecta duas vezes o objeto: uma enquanto o objeto está se aproximando do laço indutivo, e outra quando está se afastando.

Ainda em relação ao sistema de medição, é necessário também levar em consideração que a heterogeneidade da frota pode tornar um grande desafio detectar todos os veículos utilizando Osciladores de Colpitts. Há de se levar em consideração que o referido circuito normalmente é utilizado em aplicações na área de telecomunicações, não para

detecção de veículos. Porém, acredita-se que esta seja uma alternativa razoavelmente eficiente e barata.

O programa de gerenciamento de dados implementado através de um software embarcado também conseguiu atender de forma conveniente as necessidades do sistema: contar veículos que trafegam nas vias de um cruzamento, agrupando o montante de veículos por via do cruzamento, faixa de horário e data.

O sistema de gerenciamento de dados – onde se encontra o software embarcado - conseguiu interagir bem com múltiplos sistemas de medição, como pode ser observado no Quadro 4 da subseção 4.3. Há de se levar em consideração que o sistema desenvolvido realiza a detecção em apenas 4 sistemas de medição, sendo destinado até 2 sistemas para cada via do cruzamento. Isso representa apenas 2 faixas para cada via do cruzamento. Para que o sistema funcione corretamente em vias com mais de 2 faixas, seria necessário adaptá-lo para que suporte mais do que 2 sistemas por via. Uma alternativa seria utilizar dois ou mais exemplares do sistema no mesmo cruzamento.

As interações entre o sistema de gerenciamento de dados e as duas alternativas de interface apresentadas apresentaram-se funcionais. A utilização do terminal como interface permite configurar o sistema de forma independente do software desenvolvido em Java. O uso da interface gráfica desenvolvida, no entanto, permite ao usuário menos experiente configurar e recuperar dados do sistema com mais facilidade. O uso da linguagem Java, para a implementação da interface, tem a vantagem de tornar o sistema executável em diversos sistemas operacionais.

Como resultado da recuperação dos dados registrados pelo sistema através da interface gráfica implementada em Java, pode-se obter arquivos em formato texto e/ou páginas HTML. O arquivo em formato texto poderia permitir ao programador qualificado implementar rotinas capazes de gerar tabelas e/ou registros em um banco de dados e utilizá-lo, por exemplo, em um software de gerenciamento de semáforos. Já o arquivo em formato de página HTML permite a fácil visualização dos dados, tornando também possível que o usuário copie e cole os dados facilmente em uma planilha para efetuar operações estatísticas.

Por fim, podemos concluir que o sistema construído nesse trabalho constitui uma alternativa para os sistemas comerciais atuais, porém, sua implementação para uso prático demandaria realizar diversas adaptações. Tais adaptações poderiam ser realizadas apoiando-se em conhecimentos teóricos reunidos por este trabalho e/ou outros conhecimentos disponíveis na literatura. No entanto, a prática mostrou claramente que a realização de testes empíricos

sem dúvida representa uma ferramenta essencial para a construção de um sistema eficiente quando se trabalha diretamente com a construção de sensores.

REFERÊNCIAS

- ALI, S. S. M.; GEORGE, B.; VANAJAKSHI, L.; VENKATRAMAN, J. **A multiple inductive loop vehicle detection system for heterogeneous and lane-less traffic.** Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), v. 61, n. 5, p. 1–5, 2011. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5944278>. Acesso em: 20 nov. 2015.
- ALMEIDA JÚNIOR, Aníbal Durães de. **Método de Coordenação de Semafórica para Corredores de Transportes Coletivo.** 2007. 217 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.
- ANDERSON, R. L. Electromagnetic loop vehicle detectors. IEEE Transactions on Vehicular Technology, v. 19, n. 1, p. 23–30, Fev. 1970. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=1621980>>. Acesso em: 26 nov. 2015.
- BHANDARKAR, Minal; WAYKOLE, Tejashri. Vehicular Mechanical Condition Determination and On Road Traffic Density Estimation using Audio signals. In: SIXTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTATIONAL INTELLIGENCE AND COMMUNICATION NETWORK, 6., 2014, Pune - India. **Proceedings...** . Pune - India: Ieee, 2014. p. 395 - 401. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7065513/references>>. Acesso em: 05 set. 2016.
- BRETHERTON, R. D. **SCOOT INFORMATION.** In: IEE Colloquium on UK Developments in Road Traffic Signalling, 1998, London. **Anais...** London: IET, 1998. p.11/1-11/3. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/209203/>>. Acesso em: 05 nov. 2015.
- COELHO, Alexandre Hering; GOLDNER, Lenise Grando. **ECV5129 – Engenharia de Tráfego: Módulo I - Conceitos básicos.** 2016. Disponível em: <<http://pet.ecv.ufsc.br>>. Acesso em: 30 out. 2016.
- CRUZ, Wellington. **Aplicação de Algoritmos Genéticos em Semáforos Inteligentes.** 2011. 115 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciência da Computação, Faculdade de Computação e Informática, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2011.
- CURY, Pedro. **Projeto SEMCO: Sistema de controle de tráfego em área de São Paulo.** São Paulo: CET, 1977. 64 p. (Sinalização Semafórica - Controle). Disponível em: <www.cetsp.com.br/media/65250/bt07-%20projeto%20semco.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2016.

FEITOSA, Francisco Coelho Citó. **Um estudo prático para contagem volumétrica automática de veículos usando Visão Computacional**. 2012. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Ciência da Computação, Instituto de Informática, Universidade Federal de Goiás, Goiânia - GO, 2012.

GEORGE, Patrick E.. **Top 5 Materials Used in Auto Manufacturing**. Disponível em: <<http://auto.howstuffworks.com/under-the-hood/auto-manufacturing/5-materials-used-in-auto-manufacturing.htm>>. Acesso em: 25 out. 2016.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física 3: Eletromagnetismo**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1994. 350 p.

INSTITUTE OF TRANSPORTATION ENGINEERS. . **Traffic Engineering Handbook**. 5. ed. Washington - DC: Institute Of Transportation Engineers, 1999.

Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR). Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes (DNIT). **Manual de Estudos de Tráfego**. Rio de Janeiro - RJ: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2006. 384 p. (II). Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/manual_estudos_trafego.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2016.

KLEIN, Lawrence A. **Traffic Detector Handbook**. 3. ed. Mclean, VA: FHWA, 2006. 2 v.

KONGRATTANAPRASERT, Wuttiwat. 2014, Bangkok - Thailand. **Detection of tire types using tire noise from passing vehicles**. Bangkok - Thailand: Ieee, 2014. 4 p. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7041753/>>. Acesso em: 06 out. 2016.

MALVINO, Albert Paul. **Eletrônica**. 4. ed. São Paulo: Makron Books, 1997. 2 v.

MARTIN, Peter T.; FENG, Yuqi; WANG, Xiaodong. **Detector Technology Evaluation**. 2013. Disponível em: <www.mountain-plains.org/pubs/pdf/MPC03-154.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2016.

MIMBELA, Luz Elena Y.; KLEIN, Lawrence A.. **A Summary of Vehicle Detection and Surveillance Technologies used in Intelligent Transportation Systems**. United States: Federal Highway Administration's Intelligent, 2000. Disponível em: <<http://www.nmsu.edu/~traffic/>>. Acesso em: 06 nov. 2016.

OH, C.; RITCHIE, S. G.; JENG, S. T. **Anonymous Vehicle Reidentification Using Heterogeneous Detection Systems**. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, v. 8, n. 3, p. 460–469, 2007.

OLIVEIRA, Sergio Ferreira de. **Sensor de presença para semáforo inteligente de baixo custo**. 2012. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Profissional em Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Taubaté, Taubaté, 2012.

SAFAAI-JAZI, Ahmad; ARDEKANI, Siamak A.; MEHDIKHANI, Majid. **A Low-Cost Fiber Optic Weigh-In-Motion Sensor**. Washington, Dc: National Academy Of Sciences, 1990. 62 p. Disponível em: <www.trb.org/publications/shrp/SHRP-90-002.pdf>. Acesso em: 5 out. 2016.

SEDRA, A.; SMITH, K.. **Microeletrônica**. 5. ed. São Paulo: Makron Books, 2007.

SIMONI, Leonardo. **Contagem de Eixos de Veículos com Sensores Indutivos**. 2008. 72 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

TEXAS INSTRUMENTS (Estados Unidos). **MSP430G2x53, MSP430G2x13 Mixed Signal Controller**. 2013. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/msp430g2253.pdf>>. Acesso em: 07 out. 2016.

TEXAS INSTRUMENTS (Estados Unidos). **Tiva™ TM4C1294NCPDT Microcontroller: DATA SHEET**. 2014. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tm4c1294ncpdt.pdf>>. Acesso em: 01 out. 2016.

TEIXEIRA, Evandro. **MSP430 com IAR: Primeiros passos**. 2015. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/msp430-com-iar/>>. Acesso em: 01 out. 2016.

TEXAS INSTRUMENTS (Estados Unidos). **ARM Cortex-M4F based MCU TM4C1294 Connected LaunchPad**. Disponível em: <<http://www.ti.com/tool/ek-tm4c1294xl#0>>. Acesso em: 20 out. 2016.

UNITED STATES PATENT (Estados Unidos). Haifa Simon S. Cohen; Beer-sheva Odded Kafri. **Passive road sensor for automatic monitoring and method thereof**. US nº 6075466, 19 jun. 1996, 13 jun. 2000. .

VILANOVA, Luis Molist. **O controle de semáforos em tempo real - A experiência de São Paulo**. Companhia de Engenharia de Tráfego. Boletim Técnico No.38, São Paulo, 2005