

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL

FACULDADES DE ENGENHARIA E INFORMÁTICA

ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

VINÍCIUS GRÜBEL KLEINÜBING

SISTEMA AUTÔNOMO PARA AQUISIÇÃO DE DADOS EM RODOVIAS

Porto Alegre

2012

VINÍCIUS GRÜBEL KLEINÜBING

SISTEMA AUTÔNOMO PARA AQUISIÇÃO DE DADOS EM RODOVIAS

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado nas Faculdades de Engenharia e de Informática da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro de Computação.

Orientador: Marcos Augusto Stemmer

Porto Alegre

2012

Dedico este trabalho a minha esposa Mariana e aos meus pais Ademar e Lucia, por sua especial dedicação e apoio em todos os momentos, porque a família é o que nos impulsiona a evoluir e buscar o conhecimento.

RESUMO

Com o advento e barateamento da tecnologia de posicionamento global, o uso de equipamentos GPS vem sendo cada vez mais comum entre os motoristas. Esta tecnologia já consagrada no mercado possui inúmeras facilidades para o usuário, dentre elas, a possibilidade de traçar rotas entre dois pontos, podendo aplicar filtros para evitar congestionamento, pedágio ou rodovia não pavimentada. Hoje, a realidade das rodovias Brasileiras e de muitos outros países não condiz com a melhor opção para o destino proposto. Muitas vezes, o trajeto indicado possui baixas condições de trafegabilidade e este fator não é levado em conta pelo sistema atual. Esta deficiência é proveniente da falta de dados para o cálculo do trajeto. Com o objetivo de fornecer dados sobre as condições das rodovias com uma maior periodicidade, este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema de coleta de dados autônomo sobre as condições das rodovias. Os dados coletados podem ser utilizados pelas empresas ou órgãos do governo responsáveis para monitoramento e manutenção das condições rodoviárias, bem como, informação aos usuários, e por fabricantes de equipamentos GPS para traçar melhores rotas.

Palavras-chave: Transporte Público. Geolocalização. GPS. Acelerômetro. ARM7.

ABSTRACT

With the advent of cheaper and global positioning technology, the use of GPS equipment is becoming more common among drivers. This technology already established in the market has numerous facilities for the user, among them the ability to plot routes between two points, which can apply filters to avoid congestion, toll road or unpaved. Today, the reality of Brazilian highways and many other countries is not consistent with the best option for the proposed destination. Often, the path has indicated low trafficability conditions and this factor is not taken into account by the current system. This deficiency comes from the lack of data for the calculation of the path. The target is to provide data on the conditions of the roads with high frequency, this paper proposes the development of a system of autonomous data collection on the conditions of the roads. The data collected can be used by companies or government agencies responsible for monitoring and maintenance of road conditions, as well as information to users and manufacturers of GPS equipment to map the best routes.

Keywords: Public Transportation. Geolocation. GPS. Accelerometer. ARM7.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Funcionamento Acelerômetro.....	14
Figura 2 - LIS302DL vista microscópica	15
Figura 3 - Layout pinos SD Card	17
Figura 4 - GPSvisualizer	18
Figura 5 - Dipstick.....	19
Figura 6 - tipo resposta.....	19
Figura 7 - Perfilômetro inercial.....	20
Figura 8 - Diagrama funcional.....	22
Figura 9 – Kit LPC2378.....	23
Figura 10 – GPS Etrex Camo	24
Figura 11 - Acelerômetro ADXL345.....	25
Figura 12 - Gvim	27
Figura 13 - Gitk	28
Figura 14 - Git cola	28
Figura 15 - Fluxo geral do software	31
Figura 16 - Fluxo de operação.....	32
Figura 17 - Padrão ROYGBIV.....	33
Figura 18 - Protótipo montado sobre a base.....	34
Figura 19 - Fixação do protótipo	34
Figura 20 - Trajeto de teste.....	35
Figura 21 - Irregularidade na junção da cabeceira de uma elevada	36
Figura 22 - Diferença entre asfalto e paralelepípedos	36
Figura 23 – Degradação do asfalto.....	37
Figura 24 - Lombada.....	37
Figura 25 - Expansão do protótipo.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Senteças NMEA	12
Tabela 2 - Especificações SDCard	16
Tabela 3 - Velocidade do barramento.....	17
Tabela 4 – Características técnicas ADXL345.....	25

LISTA DE SIGLAS

SD – Security Digital

HD – High Definition

GPS – Global Positioning System

NMEA - National Marine Electronics Association

SVG – Scalable Vector Graphics

MEMS – Micro Eletro Mechanical System

RTC – Real Time Clock

FAT – File Allocation Table

LCD – Liquid Crystal Display

UART - Universal Asynchronous Receiver/Transmitter

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	9
MOTIVAÇÃO	10
REFERENCIAL TEÓRICO	11
GPS	11
NMEA0183	12
ACELERÔMETRO	14
<i>Acelerômetro capacitivo.....</i>	<i>14</i>
SD CARD.....	16
GPSVISUALIZER.....	18
EQUIPAMENTOS PARA AVALIAÇÃO DE IRREGULARIDADE LONGITUDINAL DE PAVIMENTOS	19
IMPLEMENTAÇÃO	21
OBJETIVOS.....	21
FUNCIONAMENTO	21
ARQUITETURA – EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	23
<i>Kit LPC2378.....</i>	<i>23</i>
GPS.....	24
Acelerômetro	25
SOFTWARE	26
<i>Ambiente de desenvolvimento</i>	<i>26</i>
<i>Modulo FatFs para acesso ao SD Card.....</i>	<i>29</i>
<i>Módulos I2C, LCD e UART</i>	<i>29</i>
<i>Módulos desenvolvidos.....</i>	<i>29</i>
<i>Fluxo do software</i>	<i>30</i>
<i>Exportação e visualização dos dados coletados</i>	<i>33</i>
TESTE PRÁTICO E RESULTADOS OBTIDOS	34
CONCLUSÃO	39
BIBLIOGRAFIA.....	40

INTRODUÇÃO

O Brasil conta com uma das maiores malhas viárias do mundo, sendo o quarto país em extensão [1] e em constante crescimento através de programas do governo federal como o PAC [2]. Com a falta de políticas de transporte alternativo, esta malha é uma das principais formas de transporte de cargas e passageiros do país. Mesmo com tamanha importância, não temos uma boa qualidade [3] em nossas rodovias para grande o fluxo demandando.

Atualmente a mensuração da qualidade das rodovias deve ser executada por equipamentos especializados, que exigem rigorosos testes de aferição e são complicados para operação devido a sua construção ou especificação, normalmente estes equipamentos são utilizados apenas na aferição de novas rodovias para aceite de conformidade. Além deste fato, são poucos os tipos de equipamentos disponíveis no mercado para este fim e poucas empresas oferecem este serviço no Brasil.

Baseado nestas ponderações este trabalho propõe expor algumas tecnologias que integradas em um equipamento a ser desenvolvido como protótipo, facilite a obtenção de dados sobre a condição da malha rodoviária de forma autônoma, sendo que os dados coletados possam ser utilizados para informação ao público e para melhorar a qualidade das rodovias. Este equipamento sendo integrado na frota de transporte rodoviário de passageiros ou em viaturas, taxis e ônibus municipais, propiciará uma cobertura constante e diária da malha do país.

MOTIVAÇÃO

Diariamente constatamos uma grande quantidade de notícias relacionadas à acidentes de trânsito, sendo que muitos destes acidentes são decorrentes de irregularidades presentes nas rodovias e poderiam ser evitados se tivéssemos uma melhor qualidade da malha rodoviária.

Hoje dispomos de um serviço básico de informação sobre as condições das rodovias fornecidas pelo DNIT [4], onde está disponível o estado de trafegabilidade da malha, sendo este, bem simples, incompleto, com baixa taxa de atualização e com grande trabalho humano.

Observando esta grande deficiência, principalmente em termos de dados e baixa atualização, surge à ideia de um sistema de coleta automática de dados, através da rede de transporte pública/privada que possui uma cobertura ampla e diária de malha rodoviária.

Com este sistema, órgãos do governo e empresas de concessão poderão monitorar constantemente a qualidade da rodovia através da análise dos dados coletados e, com o cruzamento com dados de fluxo e carga transportada no período, realizar previsões de condições futuras. Os usuários poderão através dos equipamentos de GPS portáteis importar dados do sistema e, utilizando o serviço já disponível nestes equipamentos, receber alerta dos pontos críticos ou de atenção da rodovia utilizada.

Com o aumento de tecnologia agregada e o desenvolvimento atual de redes de comunicação entre veículos, poderíamos ter uma expansão do sistema proposto para uma rede de colaboração global, que com maior precisão seria de grande utilidade, podendo prevenir inúmeros acidentes e contribuir para uma melhor qualidade e conservação da malha rodoviária.

REFERENCIAL TEÓRICO

GPS

Já consagrado no mercado o sistema GPS foi desenvolvido inicialmente para uso militar a partir de estudo de várias organizações dos Estados Unidos nos anos 60 e iniciou suas operações em 1978 contando com 10 satélites. Em 1983, após um incidente com o voo KAL0007 que por problemas de navegação invadiu o espaço aéreo da União Soviética e foi abatido levando a morte de 169 passageiros, o governo Americano decidiu liberar o uso do Sistema GPS para o uso civil. Esta liberação foi realizada limitando a precisão do equipamento com um erro de 100 metros até que, no ano de 2000, a restrição foi reduzida para a atual entre 5 e 10 metros.

O sistema GPS prove uma localização precisa, contínua, global, em três dimensões, data, hora e velocidade independente de variações climáticas. Possui a limitação de necessitar de uma visada direta ao céu, tendo sua precisão degradada ou perdida em áreas com muita cobertura de árvores, ambientes fechados, cavernas, áreas urbanas com muitas edificações.

Existem no mercado diversos equipamentos de GPS, basicamente as diferenças principais são a quantidade de satélites captados ao mesmo tempo, a taxa de atualização dos dados e o tempo da aquisição inicial.

O sistema GPS consiste em três segmentos, espaço, controle e usuário.

O segmento espaço consiste em 24 satélites em seis órbitas circulares a 22200 km com inclinação de 55 graus e período de 12 horas. Desta forma, em qualquer lugar do mundo, sempre teremos visada direta para no mínimo 6 satélites simultaneamente.

O segmento controle consiste em uma estação principal em Colorado Springs e mais cinco estações distribuídas pelo mundo. Estas estações são responsáveis por capturar as mensagens broadcast dos satélites e enviar para a estação central, que calcula com precisão a posição do satélite e atualiza o mesmo.

O segmento de usuário são os receptores que recebem o sinal broadcast dos satélites e calculam com precisão a posição, velocidade e tempo.

NMEA0183

O padrão NMEA 0183 combina especificações elétricas e de comunicação dados entre equipamentos tipicamente de uso náutico como anemômetros, compassos, piloto automático e GPS. O padrão de comunicação é via interface RS232 e com a configuração mínima estabelecida com Baud Rate 4800, Data bits 8 sem bit de paridade, Stop Bits 1 e sem Handshake.

O layer de aplicação define as seguintes regras:

- O Pacote enviado deve iniciar com o caractere dólar \$.
- Os próximos 5 caracteres identificam o tipo de equipamento, 2 caracteres, e o tipo de sentença, 3 caracteres. Para GPS os caracteres são GP.
- Os próximos campos possuem os dados da sentença, separados por vírgulas, sendo que campos ausentes se mantêm entre duas vírgulas. “,987,,654,”
- O primeiro caractere após os dados da sentença é um * e após é apresentado o checksum com dois dígitos em hexadecimal.
- A sentença é finalizada por <CR><LF>

As principais sentenças GPS são apresentadas na Tabela 1 - Sentenças NMEA.

TABELA 1 - SENTENÇAS NMEA

AAM	Waypoint Arrival Alarm
ALM	Almanac data
APA	Auto Pilot A sentence
APB	Auto Pilot B sentence
BOD	Bearing Origin to Destination
BWC	Bearing using Great Circle route
DTM	Datum being used.
GGA	Fix information
GLL	Lat/Lon data
GRS	GPS Range Residuals
GSA	Overall Satellite data
GST	GPS Pseudorange Noise Statistics
GSV	Detailed Satellite data
MSK	Send control for a beacon receiver

MSS	Beacon receiver status information.
RMA	recommended Loran data
RMB	recommended navigation data for gps
RMC	recommended minimum data for gps
RTE	route message
TRF	Transit Fix Data
STN	Multiple Data ID
VBW	dual Ground / Water Speed
VTG	Vector track and Speed over the Ground
WCV	Waypoint closure velocity (Velocity Made Good)
WPL	Waypoint Location information
XTC	cross track error
XTE	measured cross track error
ZTG	Zulu (UTC) time and time to go (to destination)
ZDA	Date and Time

Cada sentença NMEA possui as informações específicas como podemos observar na sentença mínima recomendada:

\$GPRMC,215352,A,3001.1658,S,05108.9229,W,022.4,084.4,241112,14.7,W,
A*37

Onde :

RMC	Sentença mínima recomendada
A	Status A=válido or V=Invalido.
215352	Horário 21:53:52 UTC
3001.1658,S	Latitude 30 deg 01.1658' S
05108.9229,W	Longitude 51 deg 08.9229' W
022.4	Velocidade em knots
084.4	Ângulo referente ao norte verdadeiro
241112	Data – 24 de novembro 2012
14.7,W	Variação magnética
A	Modo de operação.
*37	Checksum, precedido por *

Somente algumas sentenças contém o checksum, seu cálculo é realizado pela operação xor entre todos os caracteres da sentença com exceção do \$ e do checksum.

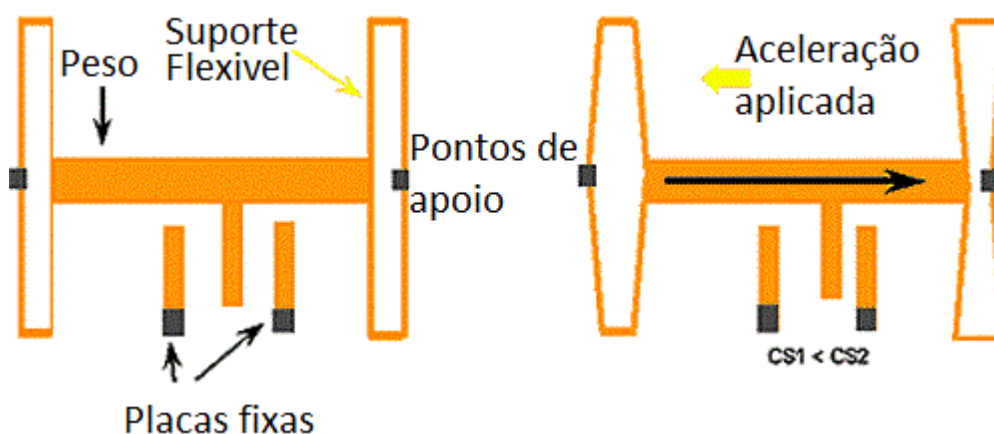
Acelerômetro

Com a finalidade de medir acelerações bem como seus derivados, vibração, choque, inclinação. Utilizado em mediação de abalos sísmicos, air bags, videogames, aviação, área aeroespacial, celulares entre outras inúmeras utilidades, o acelerômetro está presente numa vasta gama de produtos devido ao seu baixo custo e fácil utilização. Dependendo do tipo de aplicação podemos utilizar um dos vários tipos de acelerômetros, servo eletromecânico, piezoelétrico, inclinação líquida, capacitivo e micromáquina capacitiva de superfície.

Acelerômetro capacitivo

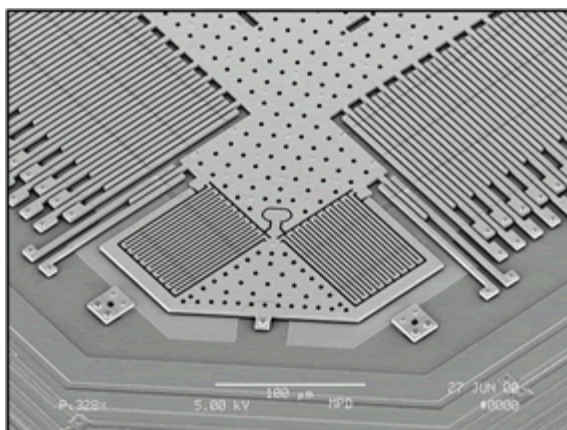
O acelerômetro capacitivo é baseado em um capacitor com uma placa central móvel, esta placa central móvel quando sobre a ação de uma aceleração se desloca em direção a uma das placas externas causando uma diferença de potencial diferente em ambas as placas conforme demonstrado na Figura 1 - Funcionamento Acelerômetro.

Figura 1 - Funcionamento Acelerômetro



A sua confecção utiliza técnicas modernas de construção de micro componentes mecânicos juntamente com a microeletrônica necessária para captura, tratamento e transferência dos dados coletados. Esta técnica de construção de micro componente mecânico é denominada MEMS e pode ser observada na Figura 2 - LIS302DL vista microscópica da micromáquina do fabricante STMicroeletronics.

FIGURA 2 - LIS302DL VISTA MICROSCÓPICA









SD Card

O SD Card foi desenvolvido por um conjunto de empresas que em 1999 anunciaram um acordo de colaboração para o desenvolvimento do novo padrão para concorrer com o padrão lançado pela Sony em 1998 o Memory Stick e fornecer uma mídia com proteção de copyright.

Em 2000 as empresas Matsushita, SanDisk e Toshiba anunciaram a criação da SDAssociation, uma associação aberta com o objetivo de definir os padrões do formato SD e com isso promover a absorção do novo padrão pela indústria.

As especificações do novo padrão SD Tabela 2 - Especificações SDCard foi lançado oficialmente em 2006 juntamente com as especificações do formato miniaturizado microSD e SDHC.

TABELA 2 - ESPECIFICAÇÕES SDCARD





		SD Standard	SDHC Standard	SDXC Standard
Capacity		up to 2GB	more than 2Gb up to 32GB	more than 32GB up to 2TB
File System		FAT 12, 16	FAT 32	exFAT
SD Memory Cards				
Card form factor	full	32 x 24 x 2.1 mm, Approx 2g		
	miniSD	20 x 21.5 x 1.4 mm, Approx 1g		
	microSD	11 x 15 x 1.0 mm, Approx 0.5g		
SD Host Products				
Bus Speed		Normal Speed (NS) High Speed (HS)	NS, HS UHS-I	NS, HS UHS-I
Speed Classes	NS, HS mode	Speed Class (O)	Speed Class (M)	Speed Class (M)
	UHS-I mode		Speed Class (O) UHS Speed Class (O)	Speed Class (O) UHS Speed Class (O)

(O): Option, (M): Mandatory

Além do tipo e formato do cartão temos a especificação da velocidade do barramento para gravação que pode variar de acordo com a classificação apresentada na Tabela 3 - Velocidade do barramento. Para cada tipo de aplicação

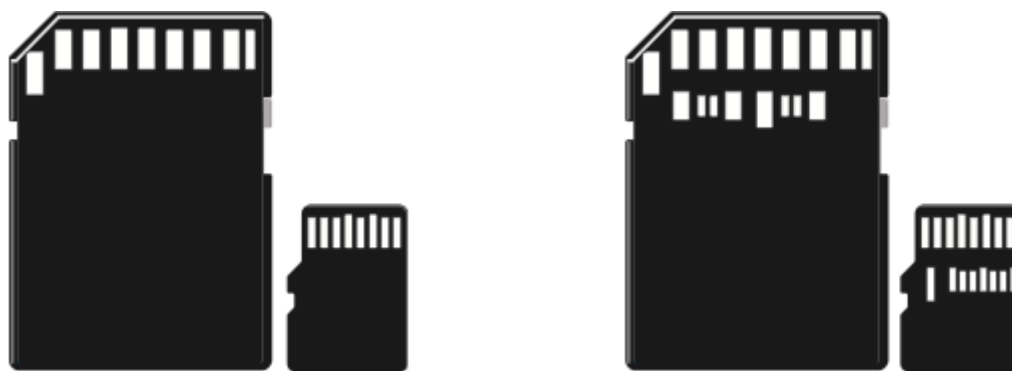
temos uma velocidade ótima, sendo para aplicação mais simples como celular baixa velocidade e para aplicações como filmadoras HD altas velocidades.

TABELA 3 - VELOCIDADE DO BARRAMENTO

Bus Interface	Card Type	Bus Mark	Bus Speed	Spec Version
Normal Speed	SD, SDHC and SDXC	---	12.5MB/s	1.01
High Speed	SD, SDHC and SDXC	---	25MB/s	2.00
UHS-I	SDHC and SDXC	I  	50MB/s (SDR50, DDR50) 104MB/s (SDR104)	3.01
UHS-II	SDHC and SDXC	II  	156MB/s 312MB/s	4.00

Para o padrão UHS-II foi necessário confeccionar um novo layout dos pinos com a primeira camada de pinos semelhante ao original mantendo assim a compatibilidade e a segunda camada exclusiva para o novo modo conforme Figura 3 - Layout pinos SD Card.

FIGURA 3 - LAYOUT PINOS SD CARD



Normal Speed, High Speed, UHS-I Card

UHS-II Card

GPSVisualizer

Com a necessidade de criar um simples mapa a partir de dados coletados com seu palm, em 2002, Adam Schneider desenvolveu um script em pearl para converter os dados coletados em formato SVG. O formato SVG permite descrever gráficos de forma vetorial sem que haja perda de qualidade ao serem ampliados. Em março de 2003 Adam registrou o domínio www.gpsvisualizer.com fornecendo um serviço web de conversão de dados GPS para mapas no formato jpg e png e em 2005 no formato KML/KMZ do google maps.

O serviço totalmente gratuito possibilita que o usuário converta dados de GPS para vários formatos de saída diferentes, trace perfis de elevação do terreno, rotas, waypoints entre outros serviços.

FIGURA 4 - GPSVISUALIZER

The screenshot displays the GPS Visualizer website interface. The header features the site logo and a navigation menu with links like 'About GPSV', 'DRAW A MAP', 'DRAW A PROFILE', 'CONVERT A FILE', 'Atlas: Share a map', 'Geocode an address', 'Look up elevations', 'Google Earth overlays', 'Calculators', 'GPSbabel', 'Help/FAQ', 'Examples', 'Partner sites', 'GlobalMotion.com', 'EveryTrail.com', and 'EveryTrail Guides'. A sidebar on the left contains links for 'Mapas on-line gratuita', 'Atualização de GPS 2012', and 'Mapas de GPS Grátis'. The main content area is titled 'Make a Google Map from a GPS file' and includes a small map preview of Portland. Below the title, there are instructions and a note about creating maps with large numbers of waypoints. The form is divided into several sections: 'General map parameters' (Width: 700, Height: auto, Full screen mode: No, Title: , Initial map type: Google hybrid), 'Track options' (Max. points per track: 400, Tickmark interval: , Colorize by: Track (recommended), Default color: Red, Track opacity: 90%, Line width: 3), 'Waypoint options' (Show waypoints: In bounds of tracks, plus padding, Default marker color: red, Icon: googlemini, Waypoint labels: Mouse-over "tooltips" only, Generate list of markers: No, Width: 160 px), 'Upload your GPS data files here: ?' (File #1, File #2, File #3), 'Or paste your data here: ?' (name, desc, latitude, longitude), 'Contact information' (Your e-mail: (OPTIONAL)), 'Or provide the URL of static data on the Web:', and 'Or a URL that the map will load dynamically:'. A 'Draw the map' button is located at the bottom right of the form.

Equipamentos para avaliação de Irregularidade longitudinal de pavimentos

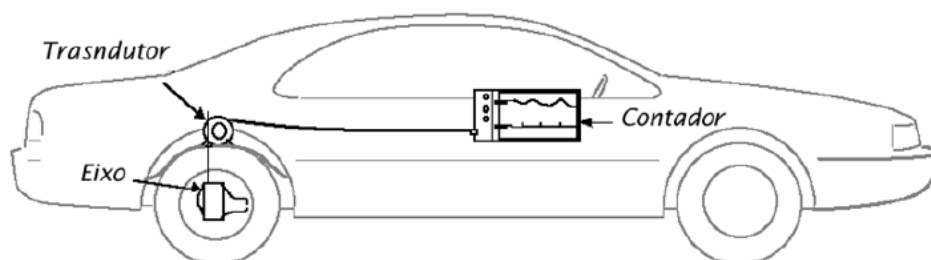
Basicamente temos quatro tipos de equipamentos mais utilizados para medir a irregularidade longitudinal de pavimentos em nosso país, sendo eles os medidores do tipo resposta Figura 6 - tipo resposta, nível e mira, Dipstick Figura 5 - Dipstick e o Merlin. Sendo que cada um possui suas aplicações, limitações e facilidades, a saber: equipamento do tipo resposta é utilizado para grandes levantamentos; o nível e mira para pequenas extensões, normalmente em trechos utilizados para a calibragem de outros equipamentos ou trechos aeroportuários que são críticos; o Dipstick é utilizado para pisos industriais, pequenas extensões ou bases de calibração; e por fim o Merlin para pequenos trechos em restauração ou construção.

FIGURA 5 - DIPSTICK



Equipamentos do tipo resposta estão baseados na diferença entre o eixo traseiro do veículo e sua carroceria, como esta medida é sensível à velocidade e as características do veículo, o mesmo depende de uma calibração precisa e onerosa. No Brasil temos normas específicas para a calibragem DNER-ES 173/86 e manutenção de equipamentos do tipo resposta DNER-PRO 229/94.

FIGURA 6 - TIPO RESPOSTA



IMPLEMENTAÇÃO

Objetivos

- Desenvolver um equipamento que seja capaz de coletar dados em grandes trechos rodoviários de forma autônoma.
- Demonstrar que através de um sistema simples e de baixo custo, podemos obter dados significativos para monitorar qualidade da malha rodoviária, evitar acidentes e melhorar a escolha de rotas ponto a ponto.
- Demonstrar que se o equipamento desenvolvido for utilizado na estrutura de transporte pública/privada, com circulação diária e ampla cobertura rodoviária pode obter uma grande cobertura com pouco tempo e com uma alta taxa de atualização.

Funcionamento

O protótipo projetado realiza a coleta dos dados do perfil longitudinal da rodovia e com os dados coletados através do serviço GPSVisualizer é gerado um mapa informativo.

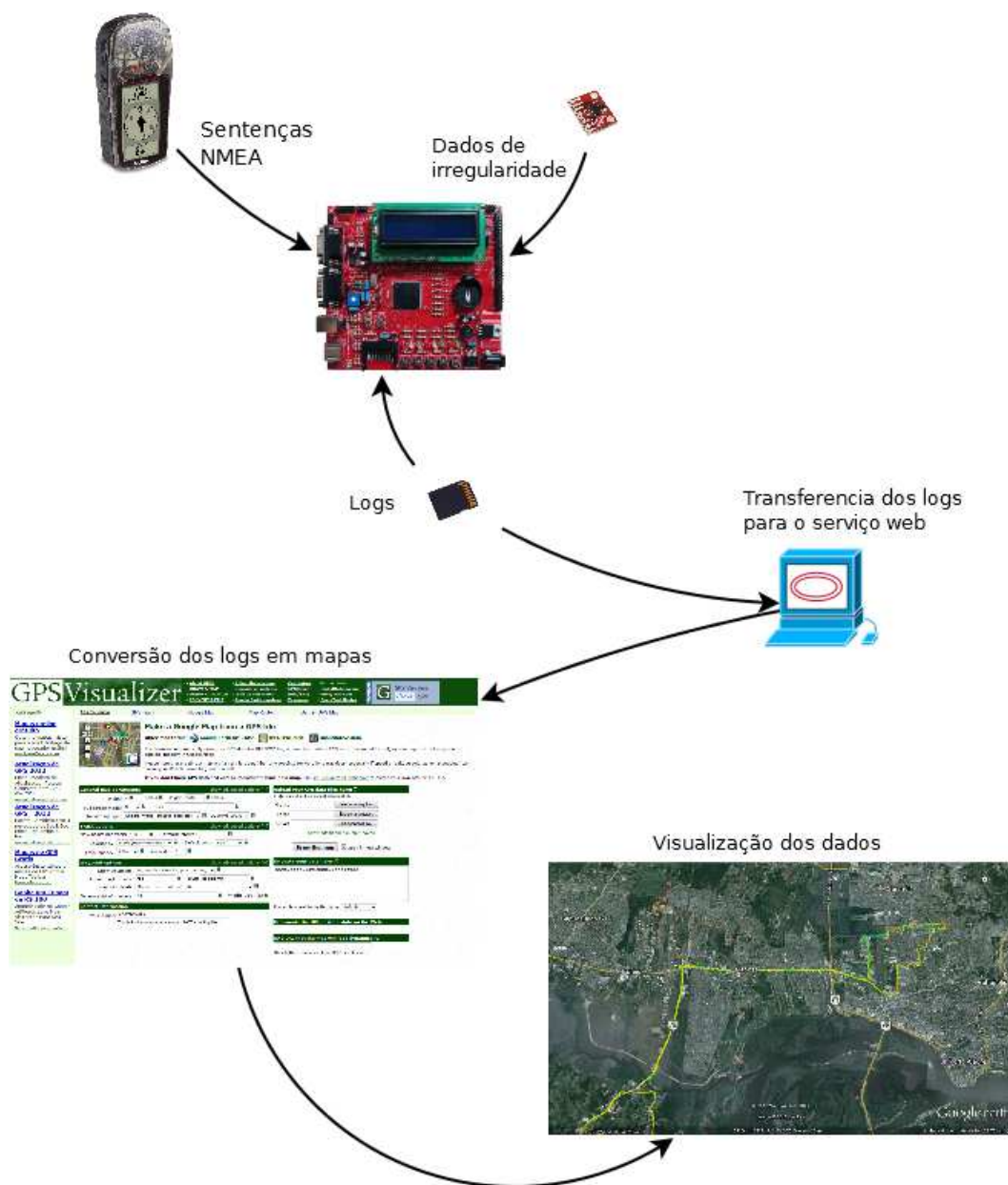
O protótipo tem como objetivo principal a coleta dos dados e a demonstração prática da utilização destes, para gerar um mapa informativo dos principais pontos de atenção em um trecho de teste pré-estabelecido.

O mesmo foi desenvolvido utilizando o Kit LPC2378, que possui um processador ARM7 desenvolvido pela PUC-RS. Neste será conectado um GPS Etrex Camo na porta RS232 para aquisição da latitude e longitude através de um parser do pacote fornecido pelo GPS, e um acelerômetro conectado via I2c responsável por adquirir os dados relativos à aceleração sofrida pelo veículo no eixo Y ao longo do percurso.

Ao término do percurso os dados armazenados no cartão, já em formato adequado, serão processados através do serviço on-line GPSVisualizer [5] gerando um arquivo no formato KML para visualização no Google Maps plotando o trajeto realizado com a indicação da intensidade de vibração em cada trecho do trajeto.

Podemos observar na Figura 8 - Diagrama funcional o diagrama de funcionamento em alto nível do protótipo desenvolvido.

FIGURA 8 - DIAGRAMA FUNCIONAL

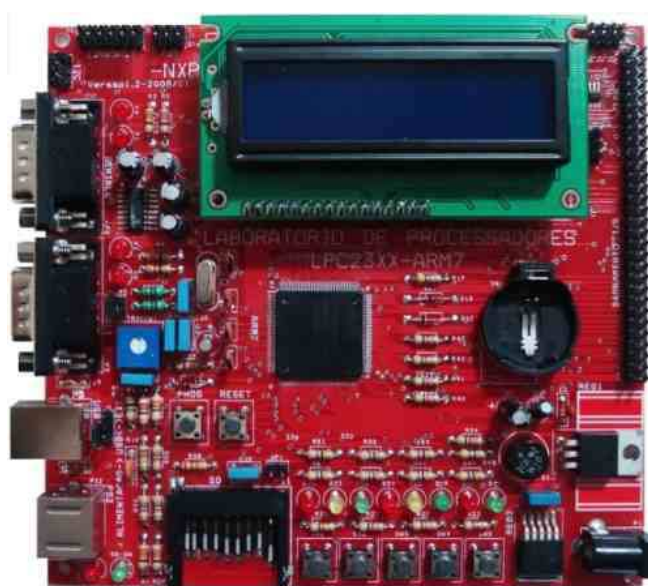


Arquitetura – equipamentos utilizados

Kit LPC2378

Desenvolvido na PUC pelos professores Anderson Terroso, Juliano Benfica e Marcos Stemmer modelo 2009, Figura 9 – Kit LPC2378. O kit utilizado possui as características necessárias para a implementação do protótipo bem como interfaces de diagnóstico e expansões futuras.

FIGURA 9 – KIT LPC2378



O kit foi desenvolvido para ser utilizado como ferramenta didática, por este motivo tem em sua constituição, inúmeros periféricos já montados e conectores para fácil adição de outros periféricos. Sua alimentação pode ser realizada via um cabo USB ou uma fonte externa com proteção contra inversão de polaridade e com regulador de tensão. Possui 5 botões de operação, 8 leds de informação, display lcd 16x2 com iluminação e removível, duas interface serial, conector de PS/2 para teclado ou mouse, um slot para smartcard, um slot para SD Card, um trimpot para o conversor A/D, sensor de temperatura, suporte para bateria CR2032 para o RTC, conector USB, dois conectores serial e conectores para interface I2C, SPI, JTAG e CAN.

Processador ARM7 LPC2378

O kit é constituído de um processador ARM7 LPC2378 da empresa NXP, este processador possui um ótimo custo benefício para aplicações embarcadas, pois possui uma grande gama de features já integradas ao processador e foi desenvolvido pensando no seu uso em aplicação de tempo real, com baixo consumo e alto desempenho.

GPS

A escolha do modelo de GPS utilizado levou em conta custos, logística e funcionalidades.

Para a elaboração do protótipo foi utilizado um GPS GARMIN ETREX CAMO apresentado na Figura 10 – GPS Etrex Camo principalmente pela opção de simulação de dados, possibilitando o desenvolvimento e a demonstração de uso em ambientes sem visada direta para o céu. Possui uma taxa de atualização de 1Hz, uma interface serial para coleta de dados, alimentação externa de 12V ou interna por duas pilhas AA, até 12 satélites simultaneamente, precisão de posição menor que 15m.

Este modelo possui características semelhantes aos módulos GPS encontrados no mercado para aplicações embarcadas, sendo equivalente para o desenvolvimento da aplicação. A cada atualização, o GPS envia um conjunto de sentenças seguindo o padrão NMEA 0183 através da porta serial. A comunicação entre o GPS e o Kit LPC2378 foi realizada através da interface serial1 do kit a uma taxa de 4800bps deixando a interface serial0 livre para debug ou configurações. Na tabela 1 são descritas as características técnicas relevantes.

FIGURA 10 – GPS ETREX CAMO



Acelerômetro

O acelerômetro a ser utilizado é o modelo apresentado na Figura 11 - Acelerômetro ADXL345, este modelo foi escolhido baseado em custo, disponibilidade e nas suas especificações técnicas que abrangem uma gama de opções quanto à precisão, range configurável, interrupções, filtros, interface de comunicação I2C ou SPI.

FIGURA 11 - ACELERÔMETRO ADXL345

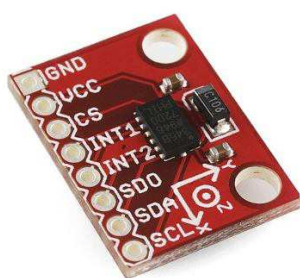


TABELA 4 – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS ADXL345

Tensão Alimentação	Entre 2 e 3.6V
Corrente	Entre 40 e 145 μ A
Range de medição	$\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$, $\pm 16g$
Taxa de amostragem	6.25 a 3200Hz
Interface de Comunicação	I2C ou SPI
Resolução	
$\pm 2g$	10 bits
$\pm 4g$	11 bits
$\pm 8g$	12 bits
$\pm 16g$	13 bits

Software

O software foi totalmente escrito em linguagem C. Sendo utilizado como base o módulo FatFs a ser descrito em um próximo tópico com algumas adaptações realizadas pelo professor Marcos Augusto Stemmer (6) para o hardware do kit utilizado.

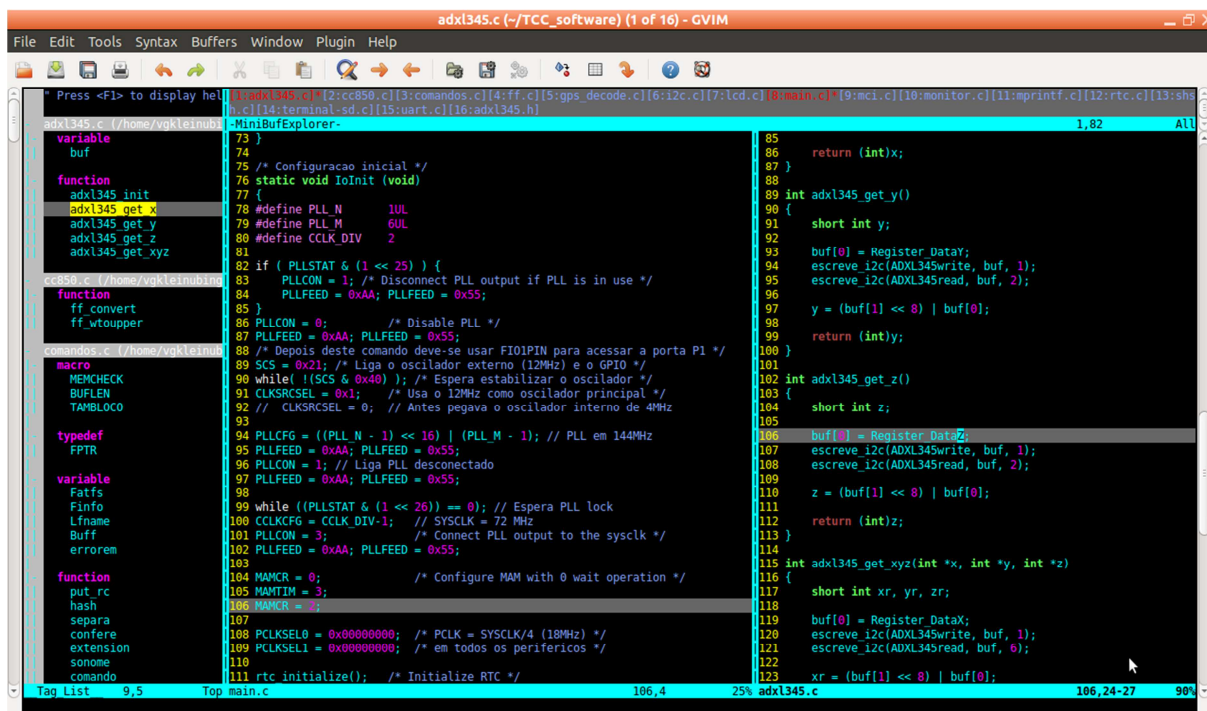
Ambiente de desenvolvimento

Existem inúmeras ferramentas de desenvolvimento para plataformas Linux, MAC e Windows para o desenvolvimento de software em plataforma embarcada, mas, com base em experiências vividas durante a vida acadêmica e profissional, preferência pessoal e as ferramentas serem software livre, foi escolhida a plataforma Linux para o desenvolvimento.

Com o sistema operacional Ubuntu instalado, é necessário a configuração das ferramentas de desenvolvimentos para compilação. Foi utilizado a toolchain GNU-ARM (7), que, é um conjunto de ferramentas básicas para compilação e depuração programas ARM. Sua instalação e configuração foram realizadas seguindo o roteiro disponibilizado na página do professor Marcos Augusto Stemmer bem como outros softwares adaptados ou desenvolvidos pelo professor para facilitar o desenvolvimento.

Além das ferramentas já instaladas foi utilizado o GVIMFigura 12 - Gvim que é um editor de textos configurável com objetivos de facilitar a escrita de códigos fonte nas mais diversas linguagens de programação. Suas opções de configuração facilitam o trabalho do desenvolvedor com inúmeras teclas de atalho, um prompt para execução de comandos e outras opções de personalização. Além das configurações que o usuário pode fazer a internet fornece uma gama de scripts prontos com as mais diversas funções, abrangendo desde corretores ortográficos, abas, atalhos para navegação rápida entre arquivos entre outras facilidades.

FIGURA 12 - GVIM



Outro software utilizado e muito importante para o desenvolvimento é um gerenciador de versões. No desenvolvimento optei por utilizar o GIT[8], já utilizado por grandes empresas do ramo de software, foi escolhido entre inúmeros outros pela sua velocidade, eficiência e facilidade de operação. Mesmo em um desenvolvimento individual sem a necessidade de utilização de inúmeros recursos para desenvolvimento colaborativo, a ferramenta por ser fácil de instalar, configurar e operar é de grande valia para o controle de alterações no software. Possui ferramentas gráficas complementares que facilitam a visualização das alterações realizadas e do desenvolvimento ao longo do tempo. Temos duas ferramentas principais, o gitk[9] que é um visualizador da árvore de desenvolvimento Figura 13 - Gitk e o git cola[10] que é uma interface gráfica para o controle das versões e publicação do código modificado Figura 14 - Git cola.

FIGURA 13 - GITK

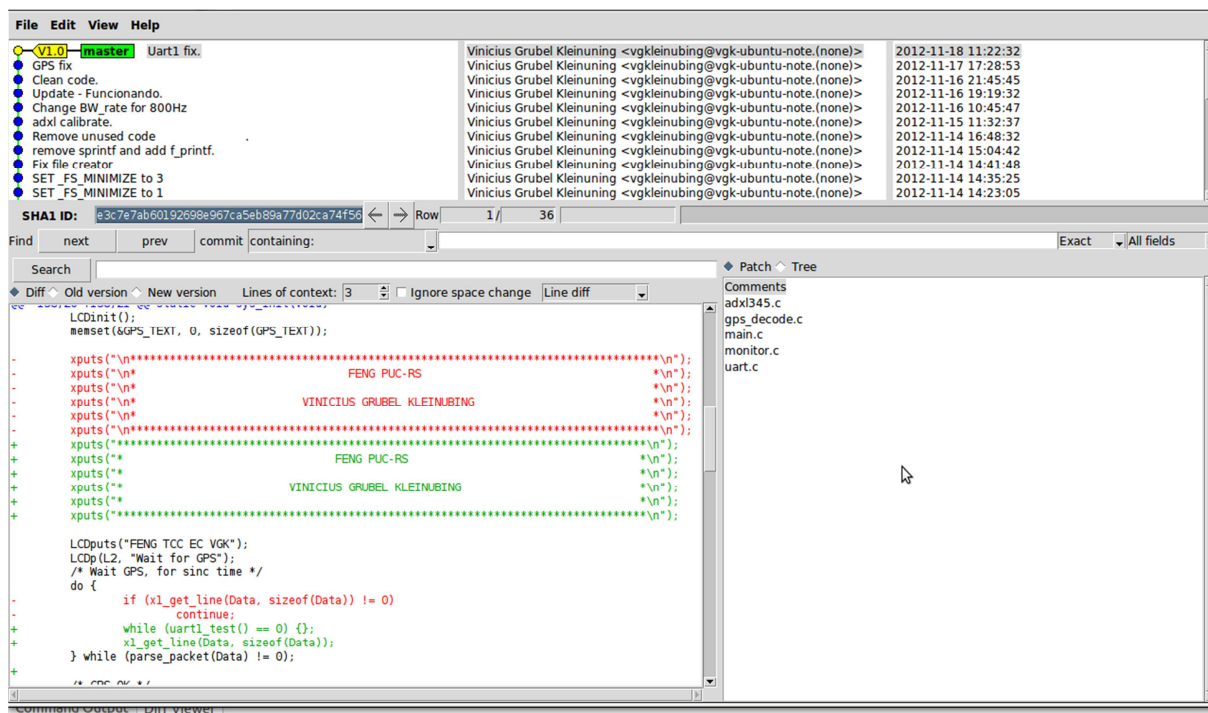
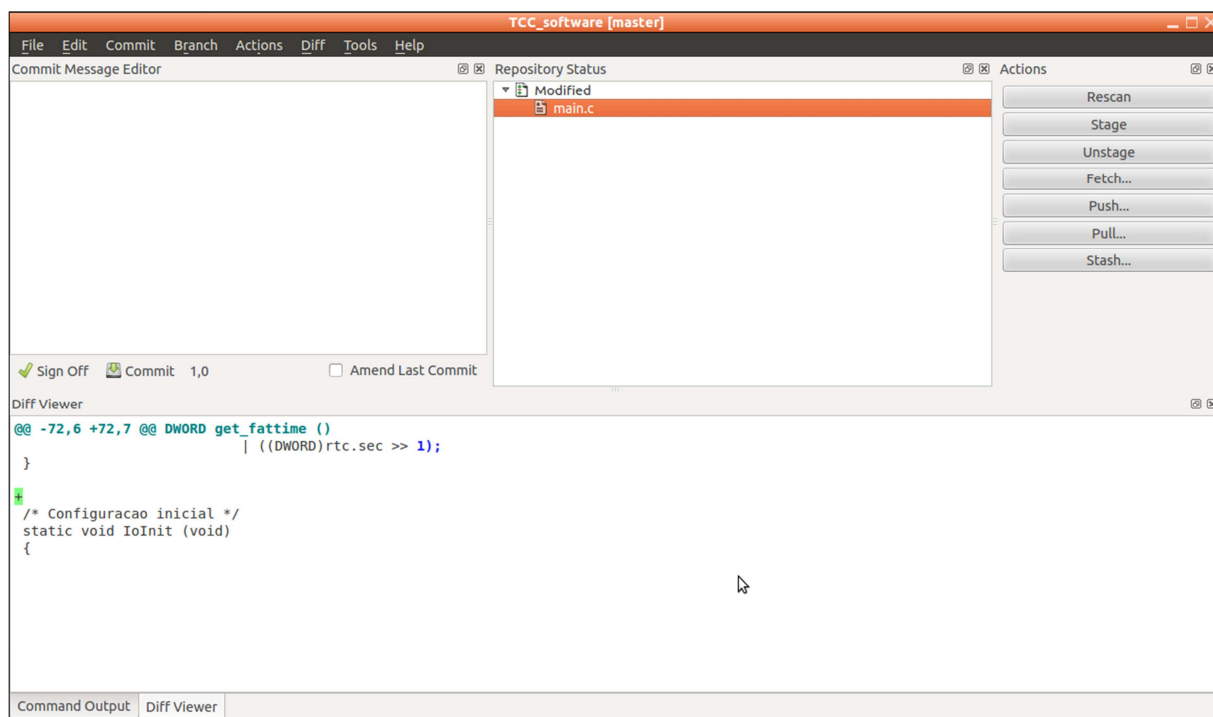


FIGURA 14 - GIT COLA



Modulo FatFs para acesso ao SD Card

Para o acesso ao SD Card foi utilizada o modulo FatFs. Disponibilizado por Chan em sua página[11] é um módulo genérico para acesso a sistemas de arquivo FAT desenvolvido para ser utilizado com sistemas embarcados. Este módulo possui as principais funções para manipulação de arquivos implementadas, é de fácil utilização e pequeno tamanho.

Módulos I2C, LCD e UART

As interfaces seriais 0 e 1 foram implementadas utilizando interrupções e filas para buffer. Quando algum dado é recebido pela porta serial, o processador interrompe o processamento, salva o contexto e chama a rotina de tratamento da interrupção. Esta rotina de tratamento realiza a cópia do dado recebido para um buffer na memória, liberando o processador novamente.

Este módulo foi inicialmente escrito apenas para a serial 0 juntamente com as adaptações iniciais do modulo FatFs. Como o desenvolvimento do software necessitava de duas seriais, uma para aquisição dos dados do GPS e outra para debug e comandos, foi necessário realizar a configuração e implementação da serial 1. Na inicialização da interface serial é realizada a configuração dos pinos utilizados da UART0 e UART1, bem como a taxa de transferência, o vetor de interrupções e a função de tratamento da interrupção. A configuração do baud rate para a serial 1 por questões da normal NMEA 0183 e do GPS utilizado foi de 4800bps.

Os módulos LCD e I2C foram utilizados sem a necessidade de modificações.

Módulos desenvolvidos

Como visto anteriormente o protocolo NMEA possui uma gama de sentenças com diversas informações. Para o projeto desenvolvido a sentença GPRMC contém todas as informações necessárias. O modulo para o parser desenvolvido, busca em cada pacote recebido pela identificação GPRMC, verifica o checksum do pacote e desmembra as informações em uma estrutura para ser utilizada pelo restante do software. Os campos fornecidos pela sentença GPRMC foram descritos anteriormente no referencial teórico, sendo que, dos dados fornecidos, foram utilizados apenas os campos relevante: data, hora, latitude e longitude. Este módulo foi desenvolvido prevendo a de fácil expansão permitindo facilmente o desenvolvimento do parser de outras sentenças.

O módulo do acelerômetro possui as funções necessárias para a inicialização e aquisição de dados do acelerômetro. A inicialização realiza a verificação do ID do

sensor lendo o registrador 0x00 DEVID que deve possuir o valor 0xE5 confirmando que o sensor está presente. Após é configurado o registrador POWER_CONTROL escrevendo 0x00 para desabilitar o sensor antes de serem realizadas as demais configurações por recomendação do fabricante. No próximo passo é realizada a configuração do range em 2g, offset inicial do eixo x, y e z em 0 e a taxa de atualização do sensor em 1600Hz através dos registradores 0x31 DATA_FORMAT, 0x1E OFX , 0x1F OFY, 0x20 OFZ e 0x2C BW_RATE. Realizada a configuração do sensor o mesmo é novamente habilitado.

É necessário o ajuste do offset para que as medidas iniciem em 0, valor que pode ser diferente devido a montagem do sensor e da medida da gravidade pelo eixo Z. O ajuste se dá através do cálculo da média simples de 100 medidas em cada eixo. Para o ajuste do offset é necessário apenas desabilitar o sensor, atualizar o registrador 0x1E, 0x1F e 0x20 com o cálculo do offset pela fórmula 1 para os eixos XY e pela fórmula 2 para o eixo Z. E no final habilitar o sensor novamente.

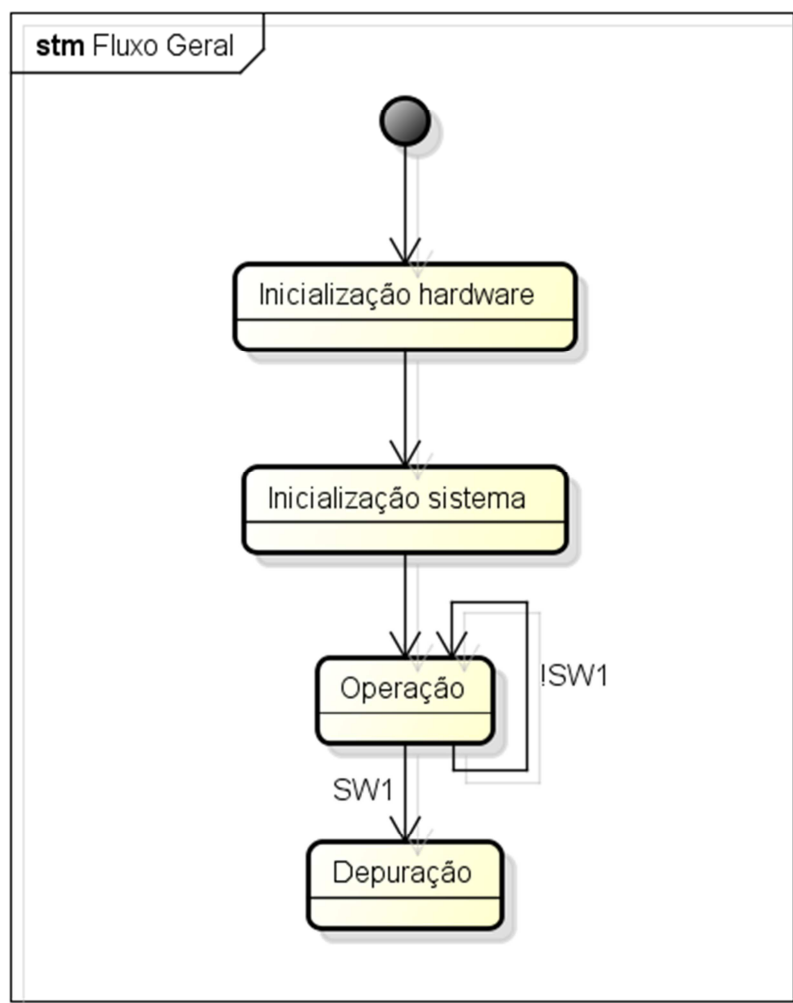
$$offset = -\left(\frac{media-255}{4}\right) \text{ Formula 1}$$

$$offsetZ = -\left(\frac{mediaZ-255}{4}\right) \text{ Formula 2}$$

Fluxo do software

Podemos acompanhar pela Figura 15 - Fluxo geral do software, o fluxograma do software desenvolvido. Basicamente temos quatro estados bem definidos: inicialização do hardware, inicialização do sistema, operação e depuração.

FIGURA 15 - FLUXO GERAL DO SOFTWARE

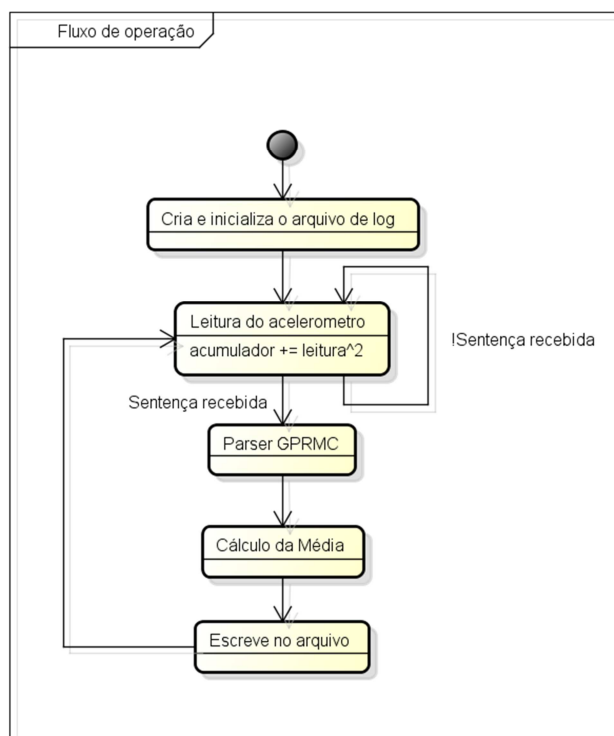


powered by Astah

O primeiro estado é a inicialização do hardware, dos módulos da interface serial, i2c, e LCD. Após é realizada a configuração inicial do sistema onde é realizada a verificação da presença do cartão SD bem como a inicialização e montagem do disco e a configuração da data e hora do sistema. A configuração de data e hora inicial do sistema é adquirida do GPS e configurada no RTC do processador. Desta forma o sistema sempre terá a data e hora atualizada. Em ambas as inicializações o sistema exibe no LCD o passo e o problema apresentado, falta do cartão SD ou a falta do sinal de GPS.

Após as inicializações o sistema entra no estado de operação, este estado pode ser observado na Figura 16 - Fluxo de operação. A partir deste ponto é inicializado o arquivo de log e o sistema entra no loop: coleta, tratamento e armazenamento dos dados no cartão SD.

FIGURA 16 - FLUXO DE OPERAÇÃO



Na inicialização do log é criado o arquivo com o formato “gps_data_hora.log” para o nome do arquivo, sendo, o formato ddmmaa para a data e hhmmss para a hora. Com o arquivo criado e aberto é escrito na primeira linha do arquivo o cabeçalho das informações no padrão “trackpoint,time,latitude,longitude,amostras,n,name” onde:

Trackpoint Número sequencial iniciado em 0 com incremento unitário.

Time Hora no formato hh:mm:ss.

Latitude Latitude do ponto no formato dd mm.mmm.

Longitude Longitude do ponto no formato dd mm.mmm.

N Média quadrática calculada.

Amostras Número de amostras coletadas.

Name Campo presente somente no trackpoint 0, é a descrição da rota monitorada contendo as informações de data e hora no formato ddmmaahhmmss.

Este loop principal possui um loop interno responsável pela coleta de dados, este loop é responsável pela leitura do sensor acelerômetro, como a leitura efetuada pode ter valores positivos ou negativos, é utilizada a média quadrática para este cálculo conforme fórmula 3. Neste ponto é realizado apenas o somatório dos valores

lidos ao quadrado e incrementado o valor n que armazena no número de amostras coletadas.

$$m\u00e9dia\ quadr\u00e1tica = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n leitura_i^2}{n-1}} \text{ Formula 3}$$

Quando um pacote GPRMC \u00e9 recebido este loop \u00e9 interrompido, o que ocorre em intervalos de um segundo. O parser da senten\u00e7a \u00e9 executado e os dados relevantes s\u00e3o salvos em uma estrutura global. \u00c9 neste ponto \u00e9 realizado o c\u00e1lculo da m\u00e9dia quadr\u00e1tica.

Com os dados do GPS e a m\u00e9dia quadr\u00e1tica, \u00e9 realizada a escrita dos dados formatados no arquivo de log seguindo o padr\u00e3o definido para exporta\u00e7\u00e3o.

O quarto estado definido como depura\u00e7\u00e3o, somente \u00e9 acessado atrav\u00e9s do bot\u00e3o sw1 do kit, este estado fornece um prompt de comandos onde \u00e9 poss\u00edvel visualizar os arquivos de log atrav\u00e9s do comando cat <nomedoarquivo>.

Exporta\u00e7\u00e3o e visualiza\u00e7\u00e3o dos dados coletados

A exporta\u00e7\u00e3o dos dados e visualiza\u00e7\u00e3o \u00e9 um processo simples. Removendo o cart\u00e3o SD do kit e inserindo em um computador com leitor de cart\u00f5es. Acessando o servi\u00e7o GPSvisualizer temos v\u00e1rias op\u00e7\u00f5es de exporta\u00e7\u00e3o. As melhores op\u00e7\u00f5es para an\u00e1lise dos dados s\u00e3o: Google maps e Google Earth KML, com a diferen\u00e7a que o Google maps n\u00e3o necessita do software google Earth instalado no computador, este \u00e9 totalmente on-line. Para exporta\u00e7\u00e3o basta selecionar a op\u00e7\u00e3o “Google Earth KML” ou “Google maps”, na p\u00e1gina seguinte, configurar na op\u00e7\u00e3o “Colorize by:” a op\u00e7\u00e3o “N”, modificar o valor do campo “Max. points per track:” para 9999, clicar no bot\u00e3o “Choose File”, selecionar o arquivo de log e clicar em “Draw the map” ou “Create KML file”. A codifica\u00e7\u00e3o de cores do servi\u00e7o segue o padr\u00e3o de espectro ROYGBIV visto na Figura 17 - Padr\u00e3o ROYGBIV, podendo, ser substituído por um padr\u00e3o personalizado. Este padr\u00e3o deve ser fornecido atrav\u00e9s do endere\u00e7o web de uma imagem que contenha o novo padr\u00e3o, ser\u00e1 considerada apenas a primeira linha de pixels.

FIGURA 17 - PADR\u00c3O ROYGBIV

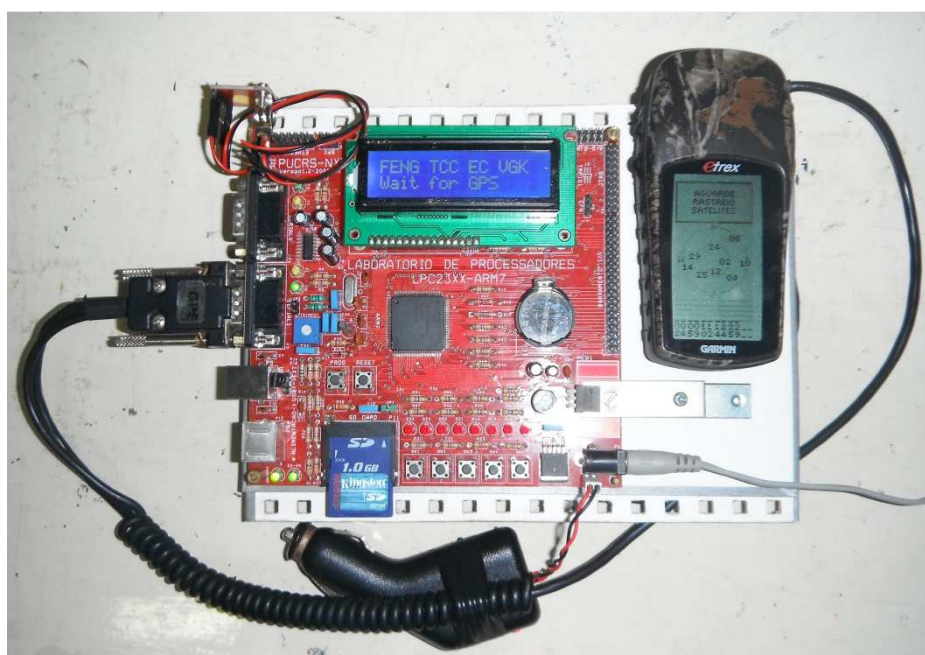


Os dados podem ser visualizados diretamente no navegador da internet quando exportado com a op\u00e7\u00e3o “Google Maps”, ou atrav\u00e9s do software Google Earth abrindo o arquivo KML gerado.

TESTE PRÁTICO E RESULTADOS OBTIDOS

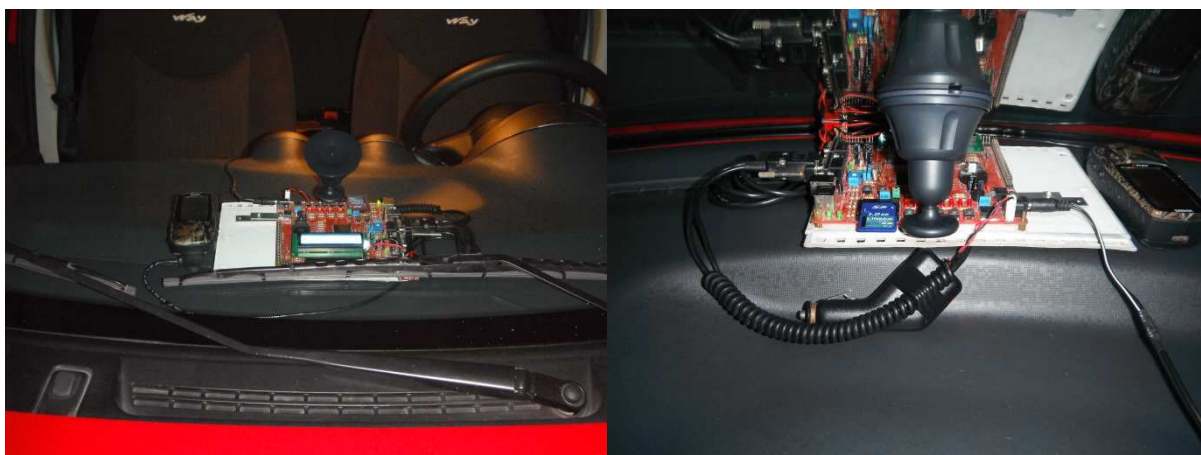
O teste prático foi executado com o equipamento montado sobre uma base fixa com apoios de borracha para facilitar a instalação e evitar danos ao veículo de teste. Todos os testes foram realizados utilizando o mesmo veículo, um Novo Uno Way da marca FIAT. Conhecida por possuir uma suspensão dura, transmite grande parte das vibrações da rodovia para a carroceria, sendo uma boa escolha para o teste.

FIGURA 18 - PROTÓTIPO MONTADO SOBRE A BASE



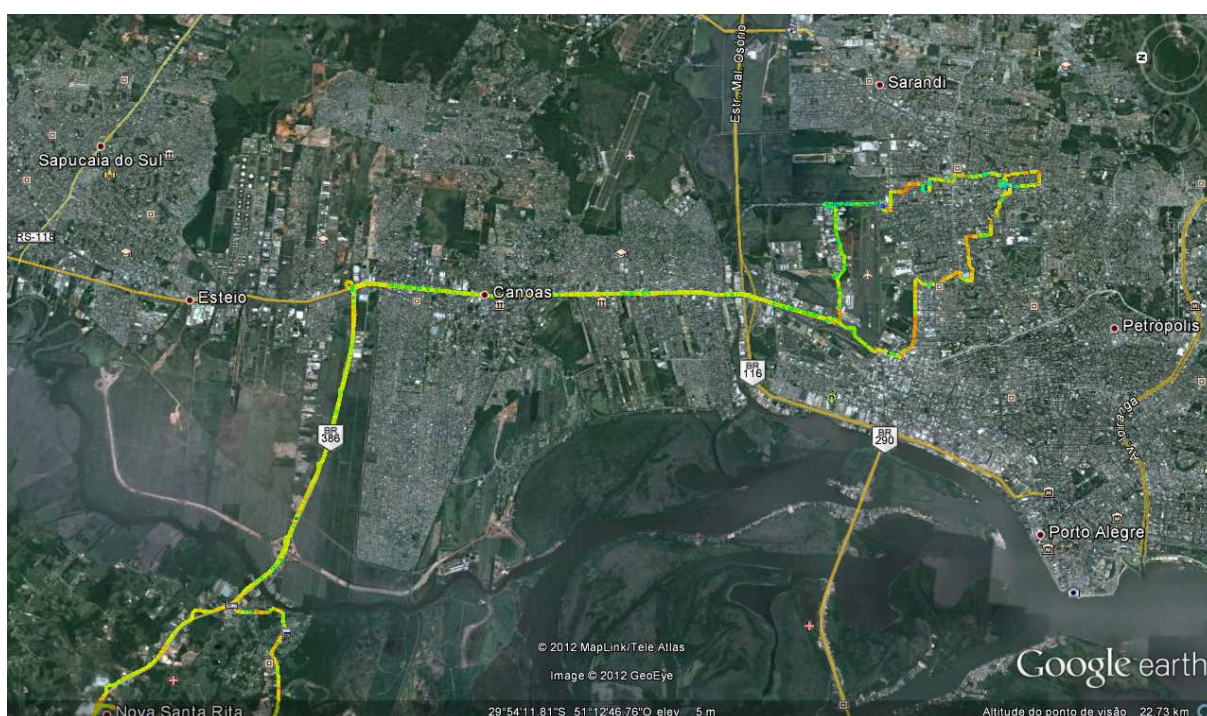
Além das características da suspensão, o amplo espaço sobre o painel serviu como base de apoio para o protótipo, e para fixar o mesmo foi utilizado um suporte de GPS preso ao vidro para manter o protótipo firme ao painel como observado na Figura 19 - Fixação do protótipo.

FIGURA 19 - FIXAÇÃO DO PROTÓTIPO



O trajeto de teste, Figura 20 - Trajeto de teste, procurou incluir trechos com características diferenciadas, de forma a obter uma quantidade de dados suficiente para análise. O trajeto contemplou trechos urbanos com pavimento do tipo asfalto, paralelepípedo e concreto, bem como rodovias intermunicipais com velocidades mais elevadas e outras características. O padrão de cores seguiu a configuração ROYGBIV, sendo vermelha a menor irregularidade, passando por laranja, amarelo, verde, azul e violeta a maior irregularidade observada. No trajeto utilizado a menor irregularidade para referencia foi verificada em um trecho de asfalto recém implantado.

FIGURA 20 - TRAJETO DE TESTE



Depois de exportado os dados para o formato KML e com o auxilio do google street view, é possível comprovar que os dados coletados condizem com o estado das rodovias, inclusive podemos observar que ao longo do tempo os problemas permanecem, pois os dados coletados possuem uma defasagem de aproximadamente um ano em relação ao levantamento fotográfico realizado pelo google street view.

Foi possível observar alguns pontos críticos e de atenção ao longo do trajeto. Na elevada de intersecção entre as rodovias BR386 e BR116 Figura 21 - Irregularidade na junção da cabeceira de uma elevada, no sentido Nova Santa Rita para Canoas, é possível observar nos dados coletados um pico durante o trajeto, expresso na cor azul, visualizando a foto do local é visível a saliência entre a cabeceira e a elevada, indicando um possível ponto de manutenção, pois esta transição deveria ser suave, e também um ponto de atenção ao motorista, pois em

caso de chuva e com certa velocidade o veículo pode descolar da pista causando um acidente.

FIGURA 21 - IRREGULARIDADE NA JUNÇÃO DA CABECEIRA DE UMA ELEVADA



Outro ponto observável, conforme Figura 22 - Diferença entre asfalto e paralelepípedos, é a diferença entre trechos asfaltados e com paralelepípedo, neste caso é visível que existe uma quadra com paralelepípedos pela diferença entre as cores, asfalto em laranja e paralelepípedos em azul.

FIGURA 22 - DIFERENÇA ENTRE ASFALTO E PARALELEPÍPEDOS



Estes dados podem ser utilizados para levantamento da zona urbana e da degradação do asfalto já existente, conforme segunda quadra após os

paralelepípedos, com cores variando entre laranja, verde e azul ou conforme a Figura 23 – Degradação do asfalto, variação verde claro para azul escuro.

FIGURA 23 – DEGRADAÇÃO DO ASFALTO



Com base na análise das informações coletadas é possível gerar com facilidade pontos de advertência para os usuários, como observado na

Figura 24 - Lombada é possível observar nos dados uma variação brusca de laranja para azul, mesmo sem ir ao local físico é possível gerar uma advertência de irregularidade.

Figura 24 - Lombada

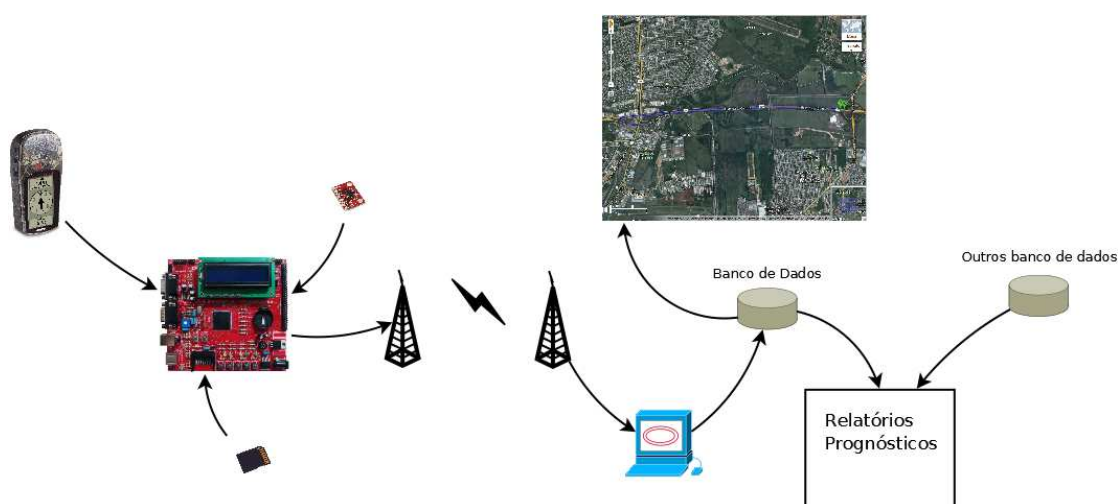


TRABALHOS FUTUROS

Comunicação

Para um sistema real a transmissão de dados via cartão SD não seria prático, neste caso, a transmissão dos dados deve ser realizada via rede sem fio. Os dados seriam armazenados em um banco de dados que poderia ser cruzado com outros banco de dados contendo dados de fluxo, de carga ou outros tipos dados que possam ser coletados para a geração de relatórios, prognósticos, análise de problemas e de futuras expansões da malha rodoviária. Na Figura 25 - Expansão do protótipo é apresentada uma representação em alto nível do fluxo desta possível expansão.

FIGURA 25 - EXPANSÃO DO PROTÓTIPO



Normalização dos dados coletados

Com a necessidade da utilização do equipamento em uma gama de veículos diferentes para ampliação da cobertura, é necessário um estudo para a normalização dos dados coletados, pois cada veículo possui uma resposta diferente a um mesmo tipo de irregularidade. A posição do sensor que coleta os dados também é um objeto de estudo, pois influencia na magnitude dos dados coletados, idealmente o mesmo deve ser posicionado em um local propício para a coleta dos dados. Devido à fragilidade do protótipo não foi seguro fixar o mesmo no eixo do veículo para teste, mas poderia ser uma opção para sua instalação, eliminando assim a influencia do sistema de amortecimento.

CONCLUSÃO

De uma forma geral o equipamento desenvolvido se mostrou eficiente para a coleta de dados, conseguindo cumprir os objetivos propostos: simples, barato e eficiente. Com os dados coletados em um simples teste de percurso foi possível observar de forma fácil e clara inúmeros pontos. Agora com inúmeros equipamentos trabalhando simultaneamente a gama de dados coletados e a cobertura da malha seria algo valioso para o planejamento de ações corretivas e preventivas da malha viária.

Outro ponto importante que cabe salientar, é que com o desenvolvimento de um software simples para a análise de dados, que identifique as mudanças bruscas na irregularidade, seria fácil criar os arquivos de notificação utilizados pelos equipamentos GPS para alertar os usuários sobre os principais pontos de atenção, desníveis e lombadas podendo assim evitar acidentes.

Com a análise dos dados ficou clara a facilidade de identificar diferentes pavimentos, como proposto no objetivo, estes podem ser utilizados para traçar melhores rotas de deslocamento entre dois pontos.

BIBLIOGRAFIA

[1] CIA. Rank da extensão da malha rodoviária dos países do mundo. – Disponível em <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/rankorder/2085rank.html>. Acesso em: 10 set. 2012.

[2] PAC. Obras do PAC Rio Grande do Sul. Disponível em: <http://www.pac.gov.br/transportes/rodovias/rs>. Acesso em: 10 set. 2012.

[3] The Global Competitiveness Report 2009–2010. Qualidade das rodovias do mundo. 2.02 Quality of roads pag. 367. Disponível em: <https://members.weforum.org/pdf/GCR09/GCR20092010fullreport.pdf>. Acesso em: 10 set. 2012.

[4] DNIT. Condições das rodovias do Estado do Rio Grande do Sul. Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/rodovias/condicoes/rs.htm>. Acesso em: 10 set. 2012.

[5] GPSVisualizer. Conversor de dados GPS para vários formatos de mapa. Disponível em: <http://www.gpsvisualizer.com>. Acesso em: 10 set. 2012.

[6] Professor Marcos Augusto Stemmer. Referencia e exemplos de software para processadores LPC2378. Disponível em: <http://www.feng.pucrs.br/~stemmer/labproc/index.html>. Acesso em: 25 nov 2012.

[7] GNU-ARM. Toolchain para desenvolvimento ARM. Disponível em <http://www.gnuarm.com>. Acesso em: 24 nov. 2012

[8] Git. Ferramenta de controle de versões: Disponível em: <http://git-scm.com/>. Acesso em: 24 nov. 2012

[9] Gitk. Interface gráfica para o git. Disponível em <http://gitk.sourceforge.net/>. Acesso em: 24 nov. 2012

[10] Git cola. Interface gráfica para o git. Disponível em: <http://git-cola.github.com/>. Acesso em: 24 nov. 2012

[11] FatFs. Módulo genérico para acesso a sistemas de arquivo FAT. Disponível em http://elm-chan.org/fsw/ff/00index_e.html. Acesso em: 23 set. 2012

ADXL345. Datasheet com especificações técnicas do acelerômetro ADXL345. Disponível em: http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADXL345-EP.pdf. Acesso em: 10 set. 2012.

ADXL345. Application notes do acelerômetro ADXL345. Disponível em: http://www.analog.com/static/imported-files/application_notes/AN-1077.pdf. Acesso em: 10 set. 2012.

KAPLAN, Elliott; HEGARTY, Christopher. Understanding GPS: Principles and Applications. 2ª edição. Norwood, MA: Artech House, 2006.

TRANSPORTES. Mapas das rodovias do estado do Rio Grande do Sul e condições. Disponível em: <http://www2.transportes.gov.br/bit/02-rodo/4-cond-rodo/rs.pdf>. Acesso em: 10 set. 2012

ANTT. Tabela com extensão da malha viária do Brasil por regiões. Disponível em http://www.antt.gov.br/index.php/content/view/10875/1_1_1___Extensao___em_Quilo metros___das_Rodovias_Federais___Estaduais_Transitorias___Estaduais_Coincidente s___Estaduais_e_Municipais_Pavimentadas___por_Regiao_e_UF___2004_08.html?execview=anuario_pagina_div&naoincluirheader&enderecoPagina=10875. Acesso em: 10 set. 2012

SENSR. Guia para escolha de acelerômetros. Disponível em: <http://www.sensr.com/pdf/practical-guide-to-accelerometers.pdf>. Acesso em: 10 set. 2012

SPARKFUN - ACCELEROMETER AND GYRO BUYING GUIDE. Principais características dos acelerômetros. Disponível em: https://www.sparkfun.com/pages/accel_gyro_guide. Acesso em: 10 set. 2012

PROASFALTO. Tipos de defeitos em asfalto. Disponível em: http://www.proasfalto.com.br/pdf/Asfalto_Capitulo_09_Mar2010.pdf. Acesso em: 10 set. 2012

DAER RS. Linhas de ônibus regular do Estado do Rio Grande do Sul. Disponível em: http://www.daer.rs.gov.br/site/transporte_coletivo_transporte_regular.php. Acesso em: 10 set. 2012

GPSINFORMATION. Especificações NMEA. Disponível em: <http://www.gpsinformation.org/dale/nmea.htm>. Acesso em: 10 set. 2012.

SPARKFUN - GPS BUYING GUIDE. Comparações e especificação de módulos GPS. Disponível em: https://www.sparkfun.com/pages/GPS_Guide. Acesso em: 10 set. 2012

SPARKFUN - GPS TRACKING COMPARISONS. Testes e comparação de módulos GPS. Disponível em: <http://www.sparkfun.com/tutorials/169>. Acesso em: 10 set. 2012