



Miguel Filipe Batista Prego

Licenciado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Deteção e registo automático de irregularidades no asfalto

Relatório intermédio para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: José Manuel Matos Ribeiro da Fonseca, Professor Associado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro, 2016

ÍNDICE

Lista de Figuras	v
Lista de Tabelas	vii
1 Introdução	1
1.1 Uma curta apresentação	1
1.2 Montagem do sistema	2
1.2.1 Componentes montados no veículo	2
1.2.2 Componentes do telemóvel	2
1.2.3 Utilização de dados	2
1.3 Descrição de especificações	3
1.3.1 Acelerómetro	3
1.3.2 Bluetooth	4
1.3.3 Wi-fi	4
1.3.4 GPS	5
2 Estado da arte	7
2.1 Principais metodologias	7
2.1.1 Camera vídeo	7
2.1.2 Camera vídeo com iluminação artificial	8
2.1.3 Ultrassom	9
2.1.4 Acelerómetro	9
2.2 Comparação de resultados	10
2.3 Planeamento de trabalhos a desenvolver	11
Bibliografia	13

LISTA DE FIGURAS

1.1	Módulo acelerómetro	3
1.2	Módulo bluetooth	4
1.3	Módulo wi-fi	4
1.4	Distribuição dos satélites GPS	5
2.1	Montagem com duas cameras	8
2.2	Sensor Kinect	8
2.3	Sensor Ultrassom	9
2.4	Direção dos eixos de um acelerómetro	10
2.5	Planeamento de trabalhos a desenvolver	12

LISTA DE TABELAS

2.1	Comparação de resultados de artigos	11
2.2	Comparação de resultados com utilização de acelerómetro	11

INTRODUÇÃO

1.1 Uma curta apresentação

Ao longo dos anos, o número de defeitos e falhas nas estradas tem vindo a aumentar, mostrando-se um problema cada vez mais importante na vida de muitos cidadãos, especialmente os que fazem da condução a sua profissão. De modo a caminhar em direção à resolução deste problema, surgiu a oportunidade de realizar o projeto aqui apresentado, em que será sugerida uma das muitas soluções possíveis, utilizando uma abordagem que está diretamente ligada ao rápido aumento de utilizadores de telemóvel bem como ao grande número de condutores em Portugal, visto que existem cerca de 19 milhões de telemóveis em Portugal¹ para os cerca de 11 milhões de habitantes na mesma região².

Surge então a necessidade de uma monitorização das vias de trânsito para a sua manutenção e reparação. Desta forma, tentando aliar a tecnologia com essa mesma necessidade, será desenvolvido um sistema que irá ser integrado em automóveis e que fará a deteção e comunicação de defeitos nas estradas com o telemóvel de cada automobilista.

Este documento irá fornecer, da forma mais detalhada possível, uma pequena introdução sobre quais os componentes necessários para construir um sistema de deteção de defeitos existentes nas estradas, utilizando um acelerómetro e um telemóvel, bem como comunicação *Bluetooth* e *wi-fi*, de modo a estabelecer a comunicação entre os vários componentes do sistema. Serão também apresentados os diversos pontos fortes e fracos da solução tomada, fazendo a comparação com projetos já desenvolvidos e as suas respetivas soluções.

¹<http://www.pordata.pt/Portugal/Assinantes+++equipamentos+de+utilizadores+do+servi%C3%A7o+m%C3%B3vel-1180>

²<http://www.pordata.pt/Portugal/Popula%C3%A7%C3%A3o+residente+total+e+por+grupo+et%C3%A1rio-10>

1.2 Montagem do sistema

O sistema que será desenvolvido terá como principal objetivo utilizar o máximo de componentes existentes num *smartphone*, tornando-o o mais compacto e barato possível. Como tal, primeiro é necessário identificar quais os componentes essenciais para que seja possível o desenvolvimento do projeto, entre os quais se destacam o acelerómetro e o GPS, bem como módulos de comunicação *Bluetooth* e *wi-fi/3G*.

1.2.1 Componentes montados no veículo

De modo a poder obter dados mais precisos, será considerada a utilização de um acelerómetro externo ao telemóvel, preso ao amortecedor do veículo para que seja possível obter diretamente as leituras quando um condutor passa num buraco da estrada, tornando assim a recolha de dados consistente uma vez que instalado, o acelerómetro não será mais movido. Os dados obtidos têm que ser registados e enviados para o telemóvel e para que tal seja possível, é necessária a existência de algum processador que faça esta gestão. De momento está a ser considerada a utilização de um *arduino* ou um *raspberry pi* para fazer o processamento dos dados e o posterior envio. Uma vez que os dados serão processados no telemóvel, esta decisão ainda não é definitiva pois poderá surgir uma opção economicamente mais viável. Para o envio dos dados será considerada a comunicação *Bluetooth* uma vez que esta tecnologia se integra facilmente com vários processadores e está bastante desenvolvida, possibilitando uma escolha mais acertada.

1.2.2 Componentes do telemóvel

Continuando com a montagem até agora descrita, torna-se claro que será utilizado o módulo *Bluetooth* do telemóvel para que este possa receber dados do acelerómetro. Quando for recebida a informação da deteção de um buraco, o GPS do telemóvel será ativado para que sejam obtidas as coordenadas em que este se encontra e para que posteriormente as informações possam ser cruzadas e armazenadas. O sistema de deteção fica completo com o envio de todos os dados obtidos para uma base de dados via *wi-fi* ou 3G visto que os telemóveis atuais contêm ambos os módulos.

1.2.3 Utilização de dados

A partir do momento em que os dados sejam inseridos na base de dados, será necessária uma validação dos buracos detetados. Para que tal possa ser possível, vai ser utilizada a ideia de *big data* que tem como base a ideia de que se algum acontecimento é detetado muitas vezes, então é porque é verdadeiro. Outra maneira de validação de dados passará por eliminar aqueles em que a ocorrência não se repita ou apenas seja detetada por um conjunto específico de utilizadores, o que aponta para a existência de falsos positivos. Utilizando estes dois filtros será possível ter um maior número de dados verdadeiros, levando a um processamento de informação mais rápido e uma maior capacidade de

armazenamento. Para que a primeira forma de validação seja passível de utilização é necessário estabelecer acordos com empresas que tenham grandes frotas para que os dados possam ser validados mais rapidamente, nomeadamente CTT, Carris, Táxis ou qualquer empresa de distribuição. Também terá que existir um motivo para estas empresas aderirem a um serviço como este e como tal terão que ser feitos acordos com os respetivos municípios para que possam fornecer alguns incentivos. Além disso, será possível um utilizador particular utilizar este sistema para que também ele possa usufruir dos mesmos benefícios e como incentivo extra será feita uma aplicação em que cada utilizador pode consultar os buracos por si detetados e "competir" com outros utilizadores tentando encontrar mais buracos que outros condutores. Os dados também estarão disponíveis num *web site* para que as entidades responsáveis pela manutenção das estradas possam verificar onde devem focar a reparação das vias, concentrando os trabalhos de reparação de vias nos locais com mais condutores e buracos detetados.

1.3 Descrição de especificações

1.3.1 Acelerómetro

Um acelerómetro é um dispositivo eletromagnético que mede forças de aceleração. Estas forças podem ser constantes ou variáveis, como a força da gravidade ou uma mudança de direção do acelerómetro respetivamente. Medindo a aceleração gravítica, é possível saber se um automóvel está a subir ou a descer e através da medição de uma aceleração variável é possível detetar quando um condutor passa por um buraco na estrada. Os acelerómetros podem apresentar diversos modos de funcionamento, que não se vão mostrar relevantes para a execução deste projeto. O que vai ser tido em conta são as funcionalidades que cada um pode apresentar, nomeadamente o número de eixos em que é possível obter medições, a variação máxima das forças que nele são aplicadas e a sua sensibilidade em relação às forças medidas.

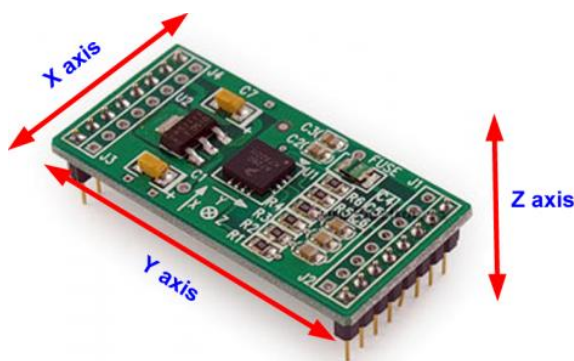


Figura 1.1: Módulo acelerómetro

1.3.2 Bluetooth

Bluetooth é uma tecnologia padrão para comunicações sem fios à escala global, que liga dispositivos que se encontrem separados por curtas distâncias e encontra-se integrada em biliões de produtos no mercado atual, fazendo a ligação à Internet das Coisas (Internet of Things). Esta tecnologia utiliza pouca energia e cria uma pequena rede *ad hoc* que emparelha dois a oito dispositivos remotamente através de um pequeno circuito que comunica utilizando ondas rádio, sendo possível conectar produtos como colunas de som, luzes, televisões, garrafas de água ou até brinquedos.



Figura 1.2: Módulo bluetooth

1.3.3 Wi-fi

Wi-fi, abreviatura de Wireless Fidelity (fidelidade sem fios) é uma tecnologia que utiliza ondas rádio para fornecer ligação a uma rede e é estabelecida utilizando adaptadores sem fios para criar ponto de acesso (*hotspot*) que permite aos utilizadores obterem ligação ao serviço de Internet, desde que estejam ligados a ele. É necessário um adaptador sem fios para transmitir o sinal via rádio, que é enviado para um decodificador (router) através de uma antena, para que toda a informação possa ser enviada via Internet, utilizando várias frequências que permitem diversas velocidades de transmissão.

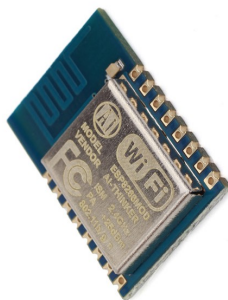


Figura 1.3: Módulo wi-fi

1.3.4 GPS

GPS ou *Global Positioning System* é um conjunto de 30 satélites igualmente espaçados que orbitam a Terra e fazem com que seja possível determinar a localização geográfica exata de um recetor que se encontre na superfície terrestre. A distribuição dos satélites no espaço está feita de modo a que em qualquer ponto do planeta seja possível contactar com quatro satélites. Cada um destes satélites contém um relógio atómico e um computador que em conjunto calculam a posição do recetor, incluindo a sua altitude, velocidade e direcção (no caso de se estar a deslocar). O erro de precisão da posição do recetor é aproximadamente dez metros para a maior parte dos equipamentos atuais mas pode ser reduzida a um metro para equipamentos militares. O facto de ser bastante utilizado à escala mundial permite que tenha um custo bastante reduzido, sendo possível encontrar um destes recetores na maioria dos telemóveis fabricados no presente.



Figura 1.4: Distribuição dos satélites GPS

ESTADO DA ARTE

2.1 Principais metodologias

Visto que todas as tecnologias a ser utilizadas não são muito recentes, já existem várias implementações para o problema aqui apresentado, sempre com variantes entre os diversos trabalhos, cada uma delas com as suas vantagens e desvantagens, sendo este capítulo direcionado à enumeração dessas mesmas diferenças de modo a justificar a abordagem que será tomada na implementação da solução apresentada.

Depois de ler vários artigos relacionados, começam a surgir padrões das diferentes metodologias e soluções que são bastante semelhantes entre si, sendo os principais:

1. **Camera vídeo**
2. **Camera vídeo com iluminação artificial**
3. **Ultrassom**
4. **Acelerómetro**

2.1.1 Camera vídeo

No que toca às cameras de vídeo, os trabalhos aqui referidos não são diretamente comparáveis com aquele que será desenvolvido e aqui apresentado, uma vez que utiliza uma tecnologia para a deteção e reconhecimento dos buracos bastante diferente da que será aqui utilizada, embora a parte da comunicação de alguns casos seja interessante e poderá propor uma abordagem semelhante ao assunto. Dos artigos disponíveis, três são aqueles que mostram abordagens mais interessantes, sendo que apresentam soluções diferentes. Em Zhang et al. 2014 e Chan et al. 2014 são utilizadas duas cameras e apresentados

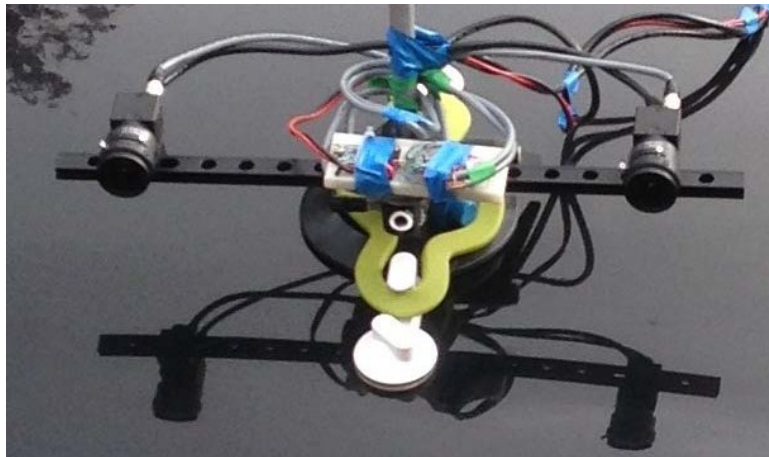


Figura 2.1: Montagem com duas cameras

algoritmos muito semelhantes e com resultados bastante positivos, sendo possível determinar uma relação entre estes trabalhos devido às várias colaborações já existentes entre os autores. Numa solução diferente, em Moazzam et al. 2013 é descrito um processo de detecção de buracos utilizando um sensor Kinect ¹ que só tem uma camera mas tem um sensor de infravermelhos para determinar a distância a que se encontra de um objeto. Esta solução tem resultados semelhantes aos de Zhang et al. 2014 e Chan et al. 2014 e para a sua implementação são necessários menos cálculos, uma vez que o software Kinect o faz de origem. Além disso, embora não seja apresentado, é de esperar que esta opção seja menos dispendiosa que as restantes.

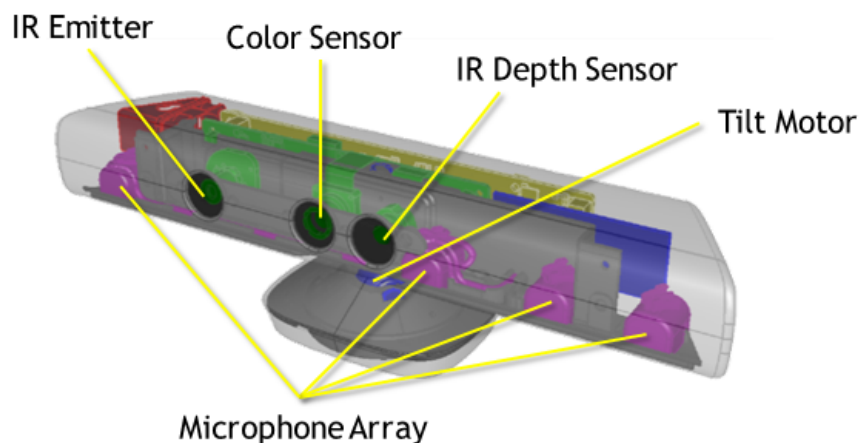


Figura 2.2: Sensor Kinect

2.1.2 Camera vídeo com iluminação artificial

Apesar dos artigos apresentados nesta secção utilizarem também cameras, é interessante separá-los dos anteriores uma vez que a detecção dos buracos é feita de forma diferente,

¹<https://developer.microsoft.com/en-us/windows/kinect>

consoante a passagem pelo próprio buraco. Em Yu e Salari 2011 e He et al. 2011 são projetadas linhas vermelhas no solo, perpendiculares à estrada, que deixam de ser retas sempre que existe uma perturbação na estrada. À medida que o sistema de deteção avança pela estrada, várias linhas são detetadas e é feito um mapeamento do buraco a analisar. A partir da análise da deformação das várias linhas é possível determinar a profundidade do buraco bem como as suas dimensões reais.

Não serão feitas comparações entre os casos já apresentados pois processamento de imagem não será o método a apresentar neste documento.

2.1.3 Ultrassom

Outra abordagem completamente diferente é a utilização de sensores ultrassom. É uma opção semelhante à que será tomada neste projeto na medida em que é quase obrigatório passar por um buraco para fazer a sua deteção, ao contrário da análise de imagens em que é possível evitá-los. Em Hegde et al. 2015 é mostrado um protótipo que permite a deteção de buracos através da análise do tempo de retorno de um ultrassom emitido e onde são determinados os valores a utilizar. Madli et al. 2015 é um projeto mais elaborado, em que uma montagem semelhante é utilizada num veículo e o conceito é testado em estradas reais. É possível elaborar uma relação entre os dois projetos em que Hegde et al. 2015 é um protótipo para Madli et al. 2015 visto existirem autores comuns a ambos e as suas referências se cruzarem.



Figura 2.3: Sensor Ultrassom

2.1.4 Acelerómetro

Esta será a abordagem a ser utilizada e aquela em que os artigos analisados se mostram mais relevantes, devido à semelhança com o projeto que se pretende desenvolver. Em Mednis et al. 2011 é utilizado o acelerómetro do telefone e são apresentados vários algoritmos para a determinação do que é ou não um buraco na estrada. São também feitas

algumas comparações sobre os resultados que diferentes telefones apresentam, dependendo do seu acelerómetro. No que diz respeito a Fouad et al. 2014, é um documento semelhante ao anterior mas adiciona um giroscópio para melhor detecção de buracos. Embora os resultados apresentados sejam bons, terá que ser tido em conta o processamento extra necessário para a utilização dos dados do giroscópio que não parece adicionar muito mais sensibilidade ao sistema. Em Chen et al. 2011 foi criado um elemento que contém GPS e acelerómetro e ainda um microprocessador para processar os dados adquiridos. É um sistema muito bem construído e que apresenta vários resultados em estradas de diferentes condições mas poderá ser mais caro do que o pretendido desenvolver neste projeto. No artigo apresentado em Jang et al. 2015 é apresentada a comunicação entre vários veículos quanto à sua detecção de buracos. É uma ideia que poderá vir a ser implementada neste trabalho pelo que foi considerado um artigo bastante importante, apesar dos resultados apresentados serem relativos à comunicação e não à detecção dos buracos especificamente. Por fim, é ainda de salientar o trabalho em Kattan e Aboalmaaly 2014 que apresenta uma metodologia semelhante à desejada tomar no que diz respeito à comunicação com uma base de dados mas com pouco desenvolvimento e uma curta fase de testes, pelo que será possível considerar que o trabalho a desenvolver será uma continuação deste.

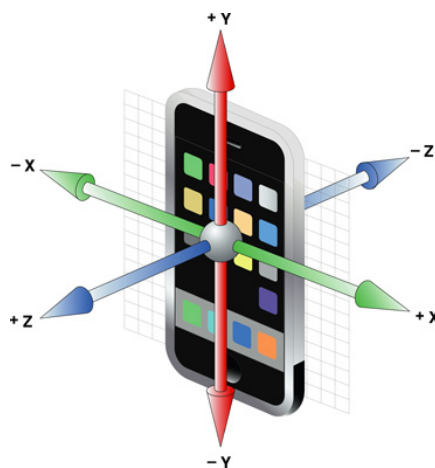


Figura 2.4: Direção dos eixos de um acelerómetro

2.2 Comparação de resultados

Comparando todos os artigos apresentados, é de notar que cada um tem os seus pontos fortes e fracos, como seria de esperar. Para o trabalho que será desenvolvido as qualidades mais importantes a ter em conta são o preço do material utilizado e também o tempo de processamento que o método consome. A tabela 2.1 mostra as características que serão tidas em conta bem como quais as metodologias que as apresentam.

Desta forma, a utilização de um acelerómetro é a mais indicada. Dentro desta metodologia, ainda é possível fazer uma comparação dos vários artigos analisados e tirar algumas conclusões. Os resultados destas comparações são apresentados na tabela 2.2.

Tabela 2.1: Comparação de resultados de artigos

	Qualidade de resultados	Preço de material	Tempo de processamento	Processador já incluído
Camera vídeo	✓	✗	✗	✗
Camera + iluminação	✓	✗	✗	✗
Ultrassom	✓	✓	✓	✗
Acelerómetro	✓	✓	✓	✓

Tabela 2.2: Comparação de resultados com utilização de acelerómetro

	Acelerómetro do telefone	GPS do telefone	Giroscópio do telefone	Processador do telefone	Custos além do telefone
Mednis et al. 2011	✓	✓	✗	✓	✗
Fouad et al. 2014	✓	✓	✓	✓	✗
Chen et al. 2011	✗	✗	✗	✗	✓

Embora os resultados dos trabalhos em que todos os componentes fazem parte do telefone sejam mais promissores em termos do preço dos materiais, a sua viabilidade é mais baixa, uma vez que um sistema que seja para o público em geral necessita de apresentar resultados consistentes, independentemente da situação e se o acelerómetro não estiver sempre no mesmo sítio (neste caso, o telefone) as leituras de cada buraco detetado são alteradas a cada passagem, dependendo do local em que o telefone se encontra, seja no bolso do casaco, no banco do veículo ou no seu *tablier*. A utilização de GPS é obrigatória para que os buracos detetados possam ser localizados, sendo o sensor do telemóvel uma vantagem no que diz respeito aos custos, visto que a sua sensibilidade não necessita ser a mais alta, pois tratam-se de estradas e um erro de 5 metros é aceitável. Desta forma, a solução que será apresentada num projeto futuro terá que contar obrigatoriamente com um smartphone do utilizador, bem como um acelerómetro externo que será fixado no veículo, em princípio no amortecedor, algo que será ainda testado para obtenção de melhores resultados.

2.3 Planeamento de trabalhos a desenvolver

De modo a estruturar melhor o desenvolvimento da dissertação, foi elaborado um planeamento para manter prazos e orientar mais facilmente os trabalhos necessários para o sucesso deste projeto, o qual pode ser visto na figura 2.5.

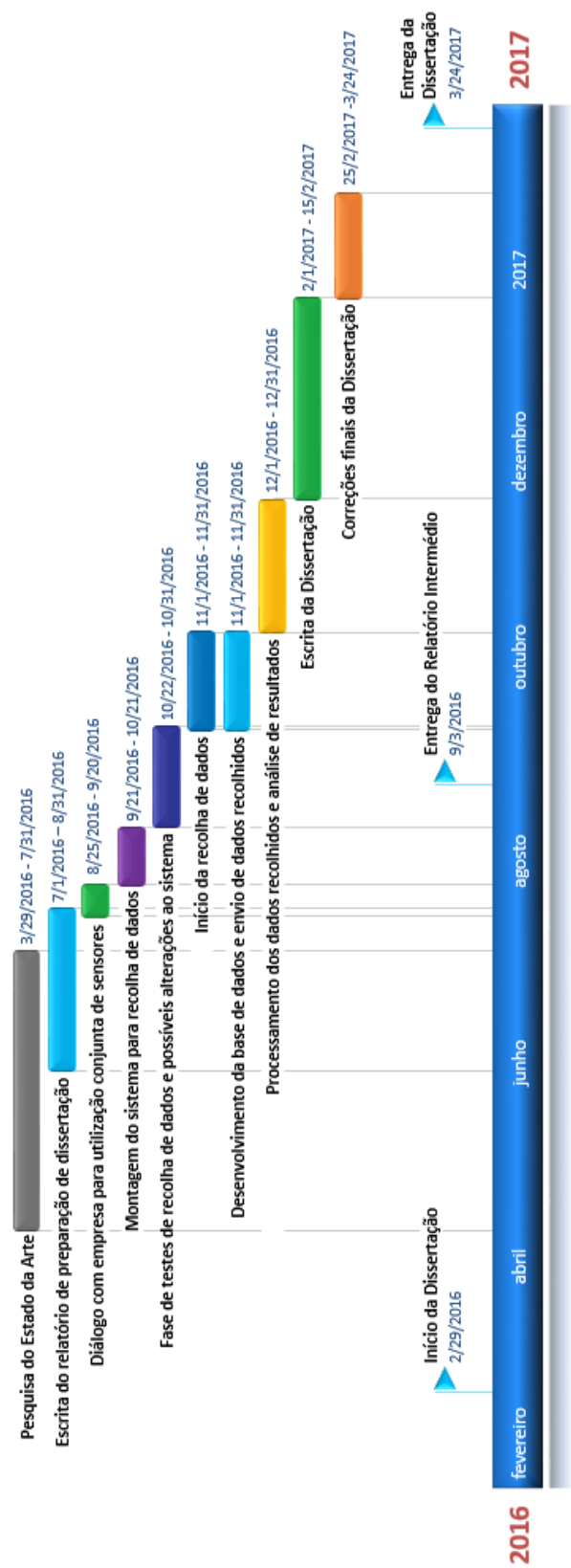


Figura 2.5: Planeamento de trabalhos a desenvolver

BIBLIOGRAFIA

- Chan, C. K., Y. Gao, Z. Zhang e N. Dahnoun (2014). "Implementation and evaluation of a pothole detection system on TI C6678 digital signal processor". Em: *EDERC 2014 - Proceedings of the 6th European Embedded Design in Education and Research Conference*.
- Chen, K., M. Lu, X. Fan, M. Wei e J. Wu (2011). "Road condition monitoring using on-board three-axis accelerometer and GPS sensor". Em: *Proceedings of the 2011 6th International ICST Conference on Communications and Networking in China, CHINACOM 2011*.
- Fouad, M. M., M. A. Mahmood, H. Mahmoud, A. Mohamed e A. E. Hassanien (2014). "Intelligent road surface quality evaluation using rough mereology". Em: *2014 14th International Conference on Hybrid Intelligent Systems*.
- He, Y., J. Wang, H. Qiu, W. Zhang e J. Xie (2011). "A research of pavement potholes detection based on three-dimensional projection transformation". Em: *Proceedings - 4th International Congress on Image and Signal Processing, CISP 2011*.
- Hegde, S., H. Mekali e G. Varaprasad (2015). "Pothole detection and inter vehicular communication". Em: *2014 IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety, ICVES 2014*.
- Jang, J., A. W. Smyth, Y. Yang e D. Cavalcanti (2015). "Road surface condition monitoring via multiple sensor-equipped vehicles". Em: *2015 IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS)*.
- Kattan, A. e M. F. Aboalmaaly (2014). "A smartphone-cloud application as an aid for street safety inventory". Em: *Proceedings of the 11th International Conference on Electronics, Computer and Computation, ICECCO 2014*.
- Madli, R., S. Hebbar, P. Pattar e V. Golla (2015). "Automatic Detection and Notification of Potholes and Humps on Roads to Aid Drivers". Em: *IEEE Sensors Journal*.
- Mednis, A., G. Strazdins, R. Zviedris, G. Kanonirs e L. Selavo (2011). "Real time pothole detection using Android smartphones with accelerometers". Em: *2011 International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems and Workshops, DCOSS'11*.
- Moazzam, I., K. Kamal, S. Mathavan, S. Usman e M. Rahman (2013). "Metrology and visualization of potholes using the microsoft kinect sensor". Em: *IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC*.
- Yu, X. e E. Salari (2011). "Pavement pothole detection and severity measurement using laser imaging". Em: *IEEE International Conference on Electro Information Technology*.

BIBLIOGRAFIA

Zhang, Z., X. Ai, C. K. Chan e N. Dahnoun (2014). “An efficient algorithm for pothole detection using stereo vision”. Em: *IEEE International Conference on Acoustic, Speech and Signal Processing (ICASSP)*.