

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS**  
**INSTITUTO DE COMPUTAÇÃO**  
**COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA PAVIMENTAÇÃO  
DE VIAS UTILIZANDO COMPUTAÇÃO EM NUVEM  
VEICULAR**

**MESTRANDO**

**JEFFERSON DAVID DOS ANJOS SILVA**

**ORIENTADOR**

**LEANDRO DIAS DA SILVA**

**CO-ORIENTADOR**

**IVO AUGUSTO ANDRADE ROCHA CALADO**

**MACEIÓ, AL**

**JUNHO - 2021**

**JEFFERSON DAVID DOS ANJOS SILVA**

**ORIENTADOR**

**LEANDRO DIAS DA SILVA**

**CO-ORIENTADOR**

**IVO AUGUSTO ANDRADE ROCHA CALADO**

**MACEIÓ, AL**

**JUNHO - 2021**

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**  
Bibliotecária: Livia Silva dos Santos – CRB-4 – 1670

S586m Silva, Jefferson David dos Anjos.

Monitoramento da qualidade da pavimentação de vias utilizando computação em nuvem veicular / Jefferson David dos Anjos Silva. – 2021.  
52 f. : il.

Orientador: Leandro Dias da Silva

Coorientador: Ivo Augusto Andrade Rocha Calado.

Dissertação (Mestrado em Informática) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Computação, Maceió, 2021.

Bibliografia: f. 47-52

1. Rugosidade - vias. 2. Vehicular Cloud Computing. 3. Pavimentação - Qualidade.  
4. Índice Internacional de Rugosidade (IRI). I. Título.

CDU: 004.4:625.8



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS/UFAL  
**Programa de Pós-Graduação em Informática – PPGI**  
**Instituto de Computação/UFAL**  
Campus A. C. Simões BR 104-Norte Km 14 BL 12 Tabuleiro do Martins  
Maceió/AL - Brasil CEP: 57.072-970 | Telefone: (082) 3214-1401



## Folha de Aprovação

JEFFERSON DAVID DOS ANJOS SILVA

### MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA PAVIMENTAÇÃO DE VIAS UTILIZANDO COMPUTAÇÃO EM NUVEM VEICULAR

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Informática da Universidade Federal de Alagoas e aprovada em 30 de abril de 2021.

#### Banca Examinadora:

**Prof. Dr. LEANDRO DIAS DA SILVA**  
UFAL – Instituto de Computação  
**Orientador**

**Prof. Dr. IVO AUGUSTO ANDRADE ROCHA CALADO**  
IFAL – Instituto Federal de Alagoas  
**Coorientador**

**Prof. Dr. RAFAEL DE AMORIM SILVA**  
UFAL – Instituto de Computação  
**Examinador Interno**

**Prof. Dr. IVANOVITCH MEDEIROS DANTAS DA SILVA**  
UFRN – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
**Examinador Externo**

## **Agradecimentos**

Primeiramente agradecer a Deus por ter me dado saúde e forças para superar todas as dificuldades.

Aos meus pais, Lucivânia e Célio, por serem meu pilar durante todo o trajeto da minha vida, por sempre cuidarem de mim, pelo seu amor, cuidado e carinho depositado e apoio incondicional.

À minha esposa e melhor amiga Daniele Carvalho, com quem compartilhei muitas alegrias, por sempre estar ao meu lado, me apoiando e sempre acreditando em mim, pelas palavras de incentivo e que me acompanhou durante toda trajetória.

Aos meus orientadores, Leandro e Ivo, pelas conversas, paciência, sugestões, oportunidades a mim concedidas e confiança depositada durante os últimos anos.

E a todos que de alguma forma contribuíram direta ou indiretamente para minha formação, o meu muito obrigado.

À FAPEAL/CAPES, pelo apoio financeiro.

## Resumo

Defeitos nas superfícies das ruas, como buracos e imperfeições, podem ocorrer a qualquer momento, de acordo com as condições e a vida útil da estrada. Essas imperfeições nas superfícies das ruas podem comprometer a segurança no trânsito e também ocasionando desgastes prematuros nas peças dos veículos. Neste trabalho, propomos um modelo arquitetural para o ambiente de Vehicular Cloud Computing, capaz de monitorar e avaliar a qualidade da rugosidade da rua, utilizando a métrica do *International Roughness Index* (IRI). O objetivo deste trabalho, é desenvolver um modelo arquitetural automatizado de monitoramento da rugosidade da estrada para medir a rugosidade do pavimento com base na resposta vibracional utilizando os sensores do *smartphone*. Com a intenção de informar aos motoristas sobre a qualidade de pavimentação das vias de determinado percurso, para que o motorista possa escolher um caminho mais confortável e mais seguro. Para os experimentos, desenvolvemos um aplicativo *android*, para fazer os registros da qualidade de rugosidade das vias, junto a um *web service* que também desenvolvemos, a fim, de armazenar os dados gerados pelo aplicativo. Os experimentos foram realizados na cidade de Garanhuns-PE, percorrendo trechos a uma velocidade de 50 km/h, utilizando três celulares *android* posicionados acima do painel do automóvel. O modelo do automóvel utilizado foi um Volkswagen Fox 1.0. Os resultados afirmam que o nosso modelo arquitetural consegue monitorar, medir e exibir no mapa a qualidade da rugosidade das vias. No aplicativo são plotados no mapa os lugares onde foram feitos os registros do IRI.

**Palavras-chave:** Vehicular Cloud Computing, Índice Internacional de Rugosidade (IRI), qualidade de pavimentação.

## Abstract

Defects in street surfaces, such as potholes and imperfections, can occur at any time, depending on the conditions and life of the road. These imperfections on street surfaces can compromise traffic safety and also cause premature wear of vehicle parts. In this work, we propose an architectural model for the Vehicular Cloud Computing environment, capable of monitoring and evaluating the quality of street roughness, using the *International Roughness Index* (IRI) metric. The objective of this work is to develop an automated architectural model of road roughness monitoring to measure pavement roughness based on the vibrational response using *smartphone* sensors. To inform drivers about the quality of paving of the lanes on a given route, so that the driver can choose a more comfortable and safer route. For the experiments, we developed an application *android*, to record the roughness quality of the roads, together with a *web service* that we also developed, to store the data generated by the application. The experiments were carried out in the city of Garanhuns-PE, covering stretches at a speed of 50 km/h, using three *android* cell phones positioned on top of the car's dashboard. The car model used was a Volkswagen Fox 1.0. The results affirm that our architectural model can monitor, measure and display on the map the quality of road roughness. In the application, the places where the IRI records were made are plotted on the map.

**Keywords:** Vehicular Cloud Computing, International Roughness Index (IRI), paving quality.

## Lista de Figuras

1	Rua esburacada na cidade de Franca, SP. Fonte: [G1 2019] . . . . .	4
2	Escala para classificar o IRI. Fonte: [Sayers et al. 1986] . . . . .	8
3	Veículo para classificar o IRI. Fonte: [Engineering & Research International 2021] . . . . .	8
4	Cálculo do IRI. Fonte: [Buttlar and Islam 2014] . . . . .	9
5	Modelo <i>quarter-car</i> . (Fonte: [Hendrowati et al. 2012]) . . . . .	10
6	Reparação da superfície da estrada. Fonte: [Bureau 2015] . . . . .	13
7	Arquitetura VCC. (Fonte: [Whaiduzzaman et al. 2014]) . . . . .	17
8	Classificação da Computação em Nuvem Veicular. (Fonte: Autor) . . . . .	19
9	Esquema de funcionamento da arquitetura. (Fonte: Autor) . . . . .	26
10	Modelo da arquitetura. (Fonte: Autor) . . . . .	27
11	Interface do aplicativo. (Fonte: Autor) . . . . .	28
12	Sugetão de rota. (Fonte: Autor) . . . . .	29
13	Coordenadas do Dispositivo. (Fonte: Autor) . . . . .	30
14	Coordenadas do Terra. (Fonte: Autor) . . . . .	31
15	Documentação com o <i>Swagger</i> . (Fonte: Autor) . . . . .	32
16	Especificações do Servidor. (Fonte: Autor) . . . . .	33
17	Posição dos <i>smartphones</i> dentro do veículo durante os experimentos. (Fonte: Autor) . . . . .	34
18	Registros no <i>web service</i> . (Fonte: Autor) . . . . .	37
19	Início do Registro. (Fonte: Autor) . . . . .	38
20	Fim do Registro. (Fonte: Autor) . . . . .	39
21	Trecho completo. (Fonte: Autor) . . . . .	39
22	Local do registro. (Fonte: Autor) . . . . .	40
23	Exemplo no aplicativo android. (Fonte: Autor) . . . . .	41
24	Todos os registros plotados no mapa. (Fonte: Autor) . . . . .	42

## Lista de Tabelas

1	Dependências do aplicativo. . . . .	29
2	Dependências da API. . . . .	32
3	Requisitos Mínimos . . . . .	33
4	Requisitos Recomendados . . . . .	34
5	Comparação a cada 5 e 10 metros . . . . .	43
6	Comparação a cada 25 e 50 metros . . . . .	43

# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Contextualização e Motivação . . . . .	1
1.2	Problemática . . . . .	4
1.3	Hipóteses . . . . .	5
1.4	Pergunta de Pesquisa . . . . .	5
1.5	Objetivo Geral . . . . .	5
1.6	Objetivos Específicos . . . . .	6
1.7	Relevância da Dissertação . . . . .	6
1.8	Organização do Documento . . . . .	6
<b>2</b>	<b>Fundamentação Teórica</b>	<b>7</b>
2.1	International Roughness Index . . . . .	7
2.2	Intelligent Transport Systems . . . . .	10
2.2.1	Aplicações do ITS . . . . .	11
2.3	Políticas públicas sobre manutenção de vias . . . . .	12
2.4	Cloud Computing . . . . .	14
2.5	Vehicular Cloud Computing . . . . .	16
2.6	Arquitetura da Vehicular Cloud Computing . . . . .	17
2.6.1	Serviços da Vehicular Cloud Computing . . . . .	19
2.6.2	Computação como Serviço (CompaaS) . . . . .	19
2.6.3	Rede como Serviço (NaaS) . . . . .	20
2.6.4	Armazenamento como serviço (STaaS) . . . . .	20
2.6.5	Cooperação como Serviço (CaaS) . . . . .	21
<b>3</b>	<b>Trabalhos Relacionados</b>	<b>22</b>
<b>4</b>	<b>Proposta</b>	<b>26</b>
4.1	Experimento . . . . .	28
4.1.1	Aplicativo Android . . . . .	28
4.1.2	Sistema de Coordenadas do Dispositivo . . . . .	29
4.1.3	Sistema de Coordenadas da Terra . . . . .	30

4.1.4	Calculo do IRI . . . . .	31
4.1.5	Web Service . . . . .	31
4.1.6	Requisitos para Funcionamento do Sistema . . . . .	33
4.1.7	<i>Setup</i> Experimental . . . . .	34
4.2	Resultados e Discussões . . . . .	36
4.3	Ameaças . . . . .	43
<b>5</b>	<b>Conclusão e Trabalhos Futuros</b>	<b>45</b>

# Capítulo 1

## 1 Introdução

O trabalho relatado neste documento de dissertação está num contexto que envolve a concepção de uma aplicação para monitoramento da qualidade das vias. Na temática sobre *Vehicular Cloud Computing* (VCC), *International Roughness Index* (IRI) e a identificação das condições das vias no ambiente da VCC. Tais aspectos formam o cerne desta pesquisa.

### 1.1 Contextualização e Motivação

As tecnologias de comunicação emergentes permitem o compartilhamento de dados e recursos entre os veículos. Os veículos podem acessar esses recursos para detectar, processar, armazenar e comunicar dados veiculares na forma conhecida como computação em nuvem veicular (VCC) [Olariu et al. 2013]. A VCC permite que usuários autorizados (veículos) acessem dinamicamente aos recursos de um grupo de veículos coordenados. Estes recursos são amplamente referidos de computação, armazenamento, detecção e Internet. Eles são compartilhados para a tomada de decisões visando a gestão de tráfego, segurança rodoviária e sugestões de rotas. A VCC abre novas possibilidades em termos de gestão do tráfego rodoviário. A integração da nuvem veicular com outras nuvens comerciais e de beira de estrada estende os recursos da VCC. Os diferentes tipos de nuvem formados por veículos e a distinção entre eles dependem da natureza da integração entre as nuvens [Whaiduzzaman et al. 2014].

Desse modo, surgiram muitos estudos na área da VCC porque perceberam que os recursos de comunicação, armazenamento e computação disponíveis nos veículos são geralmente subutilizados. Combinar esses recursos de forma significativa terá uma influência importante na sociedade. Como tal, os recursos veiculares subutilizados, incluindo poder de computação, conexões de rede e instalações de armazenamento podem ser agrupados com os de outros motoristas na estrada ou podem ser alugados para clientes, semelhante à forma como os recursos da nuvem convencional atual são fornecidos. A VCC proporcionará muitos benefícios, incluindo impactos tecnológicos e sociais [Whaiduzzaman et al. 2014].

Com relação à capacidade de computação e capacidade de armazenamento, é notável que os servidores de nuvem convencionais apresentam os recursos de computação locais mais

potentes, e um veículo moderno normalmente inclui um computador de bordo, que possui recursos de computação muito maiores do que em um dispositivo móvel. Além disso, a mobilidade é uma parte valiosa e inerente dos recursos físicos da VCC, enquanto os recursos de um *Cloud Computing* (CC) tradicional são comumente localizados no data center fixo. O CC também não é restringido pelo consumo de energia devido ao fornecimento constante de energia no data center; da mesma forma, a VCC não é limitada pela potência, pois um veículo contém uma bateria de grande capacidade e o motor em funcionamento a recarrega continuamente. Finalmente, a VCC é o único tipo de nuvem que se baseia em recursos físicos altamente dinâmicos e pode ser formado de forma autônoma, dependendo da situação do tráfego [Boukerche and De Grande 2018].

As aplicações da VCC são comumente divididas em 5 categorias, vigilância urbana, gestão de tráfego, internet dos veículos, centro de dados, segurança e entretenimento [Boukerche and De Grande 2018]. Existe um grande interesse nas aplicações de vigilância urbana, focando na identificação de comportamentos suspeitos, no monitoramento de áreas sensíveis ou na auditoria de eventos anteriores. As aplicações de gestão de tráfego focam em determinar rapidamente as condições de tráfego, como por exemplo, sistemas de previsões de congestionamento de tráfego. Aplicações de internet dos veículos tem como objetivo, que veículos forneçam e espalhem serviços de acesso à rede, usando o conceito de Internet das coisas, como por exemplo, fornecer ou enriquecer a direção autônoma. As aplicações de centro de dados são categorizadas pela criação e manutenção de nuvens veiculares como *data centers*. Aplicações de segurança tem como objetivo propor aplicações que forneçam segurança a direção dos motoristas, como por exemplo, alertas de aviso de colisões e gerenciamento de incidentes. E por fim, aplicações de entretenimento, que têm como objetivo oferecer serviços de músicas, notícias, serviços de *streaming* de vídeo, etc.

Com o número crescente de usuários de veículos, o tráfego está crescendo dia a dia. Defeitos nas superfícies das ruas, como buracos e imperfeições, podem ocorrer a qualquer momento, de acordo com as condições reais e a vida útil da estrada. Eles podem ser particularmente perigosos para qualquer veículo que circule na rua, portanto, as agências governamentais que envolvem o transporte devem observar e manter a qualidade da superfície da rua para melhorar a segurança no trânsito [Vittorio et al. 2014]. A avaliação da qualidade das vias foi identificada como uma questão crítica relacionada à possibilidade de tornar mais

confortável, eficiente e seguro o sistema de transporte. A presença de vários tipos de buracos ou imperfeições no pavimento da estrada, pode agravar a eficiência energética associada ao transporte, pois determina um aumento no consumo de combustível e peças do veículo, especialmente no que diz respeito aos freios e suspensões [Perttunen et al. 2011]. Os buracos geram não apenas vibração nos pneus e sistema de suspensão, mas também a deformação da borracha, causando perdas de energia e aumentando a resistência ao rolamento.

A coleta de dados das condições das estradas é uma parte importante da implementação do sistemas de gestão de pavimentos. E pode ser realizada por meio de abordagens manuais, semi-automatizadas e automatizadas. Os sistemas automatizados são amplamente utilizados porque são razoavelmente precisos e economizam tempo ao monitorar grandes redes rodoviárias, mas sofrem de altos custos de fabricação e operacionais [Arbabpour Bidgoli et al. 2019]. A rugosidade do pavimento é um parâmetro importante da condição do pavimento afetando diretamente o conforto do ocupante e a segurança de condução em termos de qualidade de condução. Este parâmetro deve ser medido para avaliar a condição do pavimento.

Atualmente, o Índice Internacional de Rugosidade (IRI ou *International Roughness Index*) é o método mais popular para medir as rugosidades de ruas pavimentadas. O Índice Internacional de Rugosidade foi desenvolvido na década de 1980 para avaliação uniforme de infraestrutura em países em desenvolvimento. O IRI tem esse nome porque foi produto do *International Road Roughness Experiment* (IRRE), realizado por equipes de pesquisa do Brasil, Inglaterra, França, Estados Unidos e Bélgica com o objetivo de identificar a qualidade do asfalto [Sayers et al. 1986].

O IRI é uma medição de rugosidade padronizada, a qual, é a razão do movimento acumulado da suspensão de um veículo dividido pela distância percorrida pelo veículo durante um teste. Os dados coletados neste testes, são filtrados por um algoritmo de cálculo aplicado chamado *quarter-car*, o qual simula um veículo percorrendo o trecho analisado numa velocidade padrão de 80 km/h, que é especificado na definição do IRI [Sayers et al. 1986]. A unidade de medida comumente utilizada pelo IRI são metros por quilômetro (m/km).

Ter um relatório útil e em tempo real sobre a qualidade da estrada pode ajudar os motoristas a escolher qual o melhor percurso, em termos de qualidade de asfalto. Esse relatório também pode servir para comunicar às agências governamentais sobre a qualidade das es-

tradas, para auxiliar a organizar um plano de manutenção inclusivo e preciso. No entanto, muitos departamentos, especialmente em governos locais, permitem que seus funcionários observem por si próprios ou recebam feedback de seus cidadãos. Uma vez que a cognição dos humanos pode não ser precisa, muitos defeitos não registrados podem ser agravados e podem causar acidentes graves.

Nesta perspectiva, o presente trabalho situa-se na área que envolve a avaliação da qualidade das vias no contexto da VCC.

## 1.2 **Problemática**

A necessidade de reduzir o consumo de combustível, acidentes de trânsito, congestionamentos, detecção de imperfeições nas superfícies das ruas além de tornar o transporte público mais eficiente são alguns dos problemas enfrentados em todo o mundo [Perttunen et al. 2011]. A Figura 1 ilustra uma rua repleta de buracos, que está causando danos aos veículos dos motoristas que transitam naquele local.



Figura 1: Rua esburacada na cidade de Franca, SP. Fonte: [G1 2019]

O atrito da superfície da estrada é o fator ambiental mais importante que afeta a segurança [Ahammed and Tighe 2008]. A detecção de anomalias da superfície da estrada (imperfeições, buracos, lombadas) e sua correta localização contribuem para a melhoria da segurança dos motoristas e para a otimização das operações de manutenção das estra-

das [Bhoraskar et al. 2012]. Imperfeições e buracos geram não apenas entradas de vibração nos pneus e sistema de suspensão, mas também a deformação da borracha, causando perdas de energia e aumentando a resistência ao rolamento. A literatura sugere que melhorias na rugosidade do pavimento poderiam melhorar diretamente a eficiência do combustível em aproximadamente 2 a 6% [Jackson et al. 2011]. O problema que consideramos é detectar anomalias da superfície da estrada que, quando não notificadas, podem causar desgaste dos veículos, menor conforto de condução e controlabilidade do veículo, ou um acidente.

### 1.3 Hipóteses

Para o problema exposto, adotam-se as seguintes hipóteses:

- *H0*: É possível detectar imperfeições na pavimentação das vias sem a presença de veículos equipados com sensores de alta precisão, utilizando apenas um *smartphone*;
- *H1*: Será que é possível determinar com uma precisão ou com certo nível de precisão a qualidade de uma via baseado em um *smartphone*;
- *H2*: É possível informar ao usuário final, as condições da via em tempo real.

### 1.4 Pergunta de Pesquisa

Como pergunta de pesquisa, adotamos:

- *P0*: Quem são os usuários ideais para utilizar a nossa arquitetura?

### 1.5 Objetivo Geral

Neste trabalho, o objetivo principal é a especificação, o projeto e o desenvolvimento de um modelo arquitetural para a *Vehicular Cloud Computing* (VCC). Com a intenção de monitorar a qualidade da pavimentação em tempo real e informar aos motoristas a qualidade da estrada em determinado percurso, é proposto:

- Desenvolver um modelo arquitetural automatizado de monitoramento da rugosidade da estrada para medir a rugosidade do pavimento com base na resposta vibracional de estradas utilizando sensores de *smartphones*, incluindo acelerômetro e GPS utilizando a VCC.

## 1.6 **Objetivos Específicos**

Para alcançar o objetivo principal, as seguintes atividades foram consideradas:

1. Implementar um aplicativo android para realizar o monitoramento da rugosidade da estrada, utilizando uma medição de rugosidade padronizada, o IRI;
2. Implementar uma API RestFul na linguagem java, para se comunicar com o aplicativo android, com a intenção de recuperar os dados gerados pelo aplicativo;
3. Realizar experimentos com o modelo arquitetural desenvolvido e discutir os resultados gerados pelo aplicativo *android*.

## 1.7 **Relevância da Dissertação**

O uso da tecnologia de dispositivos móveis, com o objetivo de oferecer aos usuários das vias a possibilidade de obter informações em tempo real sobre a qualidade das vias, tem se difundido amplamente. Hardware dedicado associado a dispositivos móveis, como o receptor GPS e o acelerômetro, permite a coleta de dados de localização e aceleração, respectivamente, para reconhecer automaticamente anomalias (imperfeições, buracos, lombadas) na superfície da estrada. O uso de um modelo arquitetural automatizado de detecção é um ótimo recurso para garantir aos motoristas a informação sobre a qualidade da pavimentação de determinada região.

Consequentemente, é desejável que haja um mecanismo pelo qual as pessoas possam saber, em tempo real, das condições da qualidade da pavimentação nas rotas que desejam percorrer, optando por um caminho mais confortável, com uma maior segurança, em termos de qualidade de pavimentação e que evite desgastes prematuros nas peças dos veículos.

## 1.8 **Organização do Documento**

O restante deste documento está organizado da seguinte maneira. No Capítulo 2 são descritos conceitos fundamentais sobre VCC e conceitos relacionados. No Capítulo 3 são descritos os trabalhos relacionados. No Capítulo 4 são descritos a proposta, o *setup* experimental e os resultados e discussões. Por fim, no Capítulo 5 é descrito a conclusão e trabalhos futuros.

## Capítulo 2

### 2 Fundamentação Teórica

O objetivo com esse capítulo é abordar os conceitos elementares dos temas que são a base do estudo proposto.

#### 2.1 International Roughness Index

Uma caracterização adequada da rugosidade de uma via é necessária para a manutenção das vias e para garantir a segurança e o conforto de condução dos veículos e para reduzir os desgastes prematuros nas peças dos veículos e na economia de combustível. O Índice Internacional de Rugosidade (IRI) é o índice mais comumente usado em todo o mundo para caracterizar a rugosidade longitudinal de estradas para o gerenciamento de sistemas rodoviários. O IRI serve como uma medida do desempenho do pavimento e da qualidade da via. O IRI está altamente correlacionado ao nível geral de vibração da via e ao nível geral de vibração do carregamento do pavimento [Sayers et al. 1986].

O IRI é definido como uma característica do perfil longitudinal de um trecho percorrido, e não como uma característica de um hardware qualquer, a fim de garantir em todo o trecho percorrido uma estabilidade. Com isso, a medição direta do IRI necessita que o perfil do trecho percorrido seja obtido. A Figura 2 mostra a faixa aproximada de rugosidade IRI em diferentes tipos de estradas.

O IRI é um valor numérico que resume as qualidades de rugosidade com o impacto na resposta vibracional do veículo. O IRI se torna apropriado quando uma medida de rugosidade é relacionada com:

- Condição geral da superfície;
- Qualidade geral do trecho;
- Custo operacional geral do veículo;
- Cargas dinâmicas das rodas (como por exemplo, danos à estrada causados por caminhões pesados).

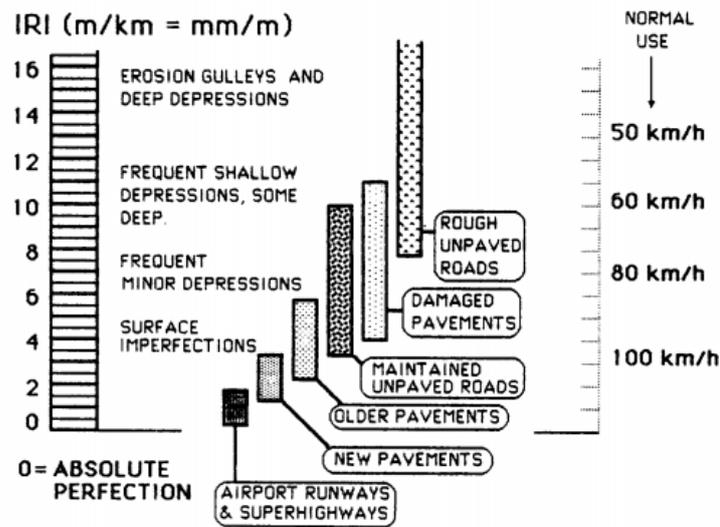


Figura 2: Escala para classificar o IRI. Fonte: [Sayers et al. 1986]

O IRI também é recomendado sempre que as medidas forem obtidas em velocidades de rodovia (50 - 100 km / h), independentemente do uso dos dados. A Figura 3 ilustra um veículo equipado com sensores de alta precisão para fazer a coleta de dados com o objetivo de realizar a classificação do IRI. Vale ressaltar que no Brasil não existe veículos para este fim.



Figura 3: Veículo para classificar o IRI. Fonte: [Engineering & Research International 2021]

Portanto, o IRI é uma escala numérica usada para quantificar o desvio / rugosidade de

uma superfície de pavimento com base em uma resposta simulada de um veículo resultante de uma viagem sobre um pavimento com um determinado perfil. Como ilustrado na Figura 4 observa-se que existem cinco componentes, são eles, massa corporal suportada por um único pneu, a massa do eixo, uma mola vertical representando um pneu, uma mola de suspensão e um amortecedor [Perera et al. 2005]. O deslocamento da suspensão é determinada pela simulação e normalizada pela distância percorrida pelo veículo na simulação para obter o movimento médio da suspensão ao longo da distância simulada. O valor obtido é expresso como IRI com uma unidade de polegada/milha ou m/km. Geralmente, um programa de software é usado para determinar o IRI do perfil da via medido.

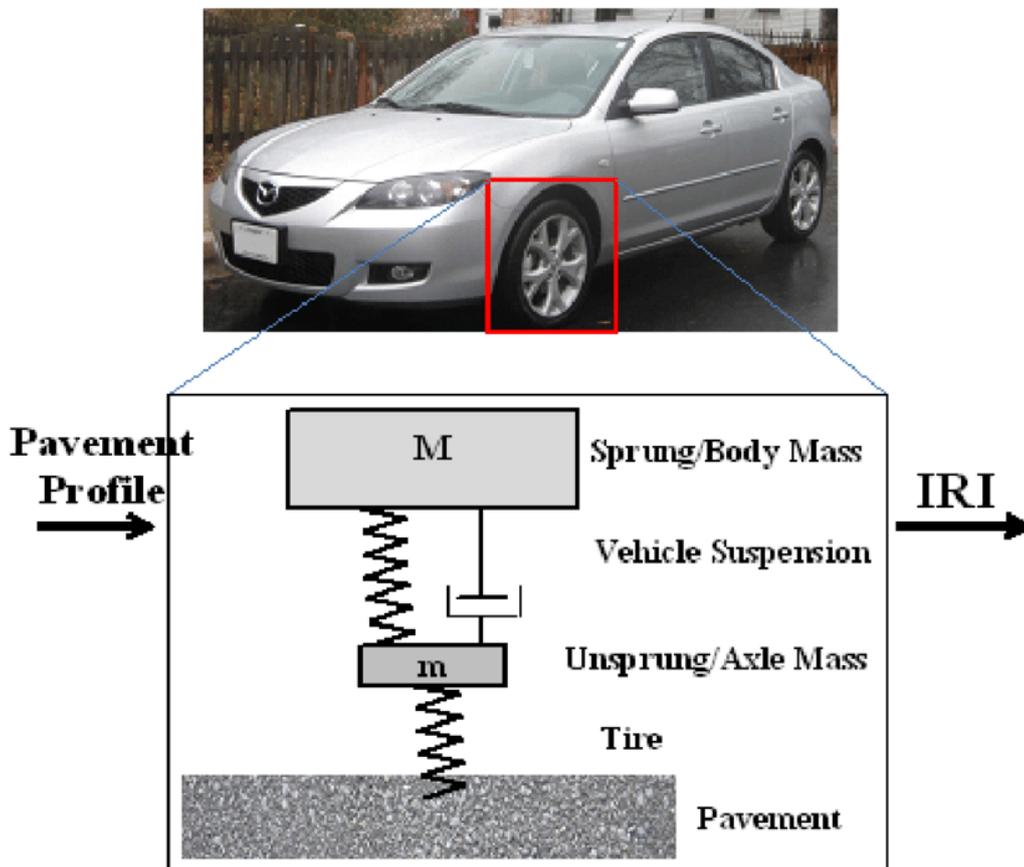


Figura 4: Cálculo do IRI. Fonte: [Buttlar and Islam 2014]

A Figura 5 ilustra um modelo de *quarter-car* com dois graus. Neste modelo, as massas suspensas e não suspensas correspondentes a um canto do veículo são indicadas por  $M_s$  e  $M_u$ . O sistema de suspensão é representado por uma mola linear rígida  $K_s$  e um amortecedor linear com taxa de amortecimento  $C_s$ , enquanto o pneu é modelado por uma mola linear  $K_w$

e um amortecedor linear  $C_w$ .

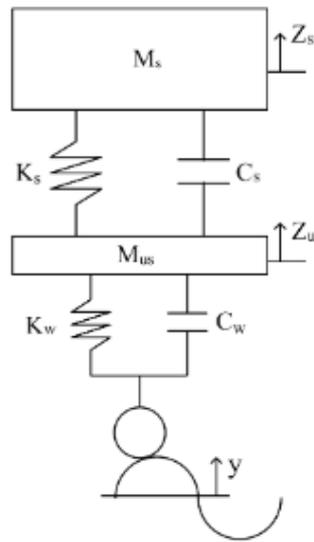


Figura 5: Modelo *quarter-car*. (Fonte: [Hendrowati et al. 2012])

## 2.2 Intelligent Transport Systems

Os Sistemas Inteligentes de Transporte (*Intelligent Transport Systems* - ITS) referem-se à aplicação de tecnologias de informação e comunicação para a gestão de problemas em sistemas de transporte convencionais. Eles usam tecnologias inovadoras nessas áreas para melhorar a segurança, eficácia, confiabilidade, conectividade, eficiência, acessibilidade e sustentabilidade da rede de transporte sem aumentar a capacidade da rede de transmissão [Coronado Mondragon et al. 2012].

O ITS é baseado nas crescentes demandas do desenvolvimento do transporte. Ele integra informações, comunicações, computadores e outras tecnologias e os aplica no campo do transporte para construir um sistema integrado de pessoas, estradas e veículos, utilizando tecnologias avançadas de comunicação de dados [Mfenjou et al. 2018]. O ITS faz com que o foco dos objetos de serviço mude de gestores de estradas para usuários de estradas. Para atingir esse objetivo, o ITS usa tecnologia de informação e comunicação para fornecer aos motoristas informações sobre as estradas e serviços convenientes para reduzir o número de acidentes, congestionamento do tráfego e aumentar a capacidade das estradas [Mfenjou et al. 2018].

### 2.2.1 Aplicações do ITS

As aplicações do ITS tem o objetivo de criar uma infraestrutura de transporte mais eficiente que devem melhorar a segurança no trânsito, eficiência e gerenciamento de tráfego, conforto e entretenimento, direção autônoma e detecção de anomalias de condução em sistemas de transporte.

- **Segurança no trânsito:** Essas aplicações tem o objetivo de evitar colisões perigosas que podem causar fatalidades. Elas fornecem assistência aos motoristas, informando sobre possíveis acidentes. A comunicação e o compartilhamento de informações na rede são formas usadas para prever e evitar colisões [Steri and Baldini 2015].
- **Eficiência e gerenciamento de tráfego:** As aplicações de eficiência e gerenciamento melhoram e facilitam o gerenciamento do fluxo de tráfego, utilizando como por exemplo, limites de velocidade regulamentares, para ajudar o motorista a controlar a velocidade do seu veículo, pedágios eletrônicos e informações sobre o tráfego, afim de aumentar a eficiência do tráfego, gerenciando a navegação dos veículos [Steri and Baldini 2015].
- **Conforto e entretenimento:** Essas aplicações tem o objetivo de oferecer serviços aos motoristas. Serviços como streaming de audio, reportagens, e-commerce, serviços financeiros e até gestão rápida e arranjos de zonas de estacionamento.
- **Direção autônoma:** Dirigir um veículo é uma missão que geralmente requer alto nível de habilidade, atenção e experiência de um motorista humano. Embora os computadores sejam mais capazes de manter a atenção e o foco do que os humanos, a direção totalmente autônoma requer um alto nível avançado de inteligência alcançado até agora por agentes de inteligência artificial. Em geral, a direção autônoma precisa de três etapas para ser alcançada: Reconhecimento, precisa conseguir conhecer o ambiente ao redor. Previsão, conseguir prever as mudanças futuras do ambiente. E por ultimo, planejamento, conseguir gerar um modelo eficiente que mistura reconhecimento e previsão para saber a sequência futura de ações que permitem ao veículo navegar com sucesso [Sleem et al. 2020].

- **Detecção de anomalias de condução:** As aplicações de detecção de qualquer comportamento incomum do motorista, ou da trajetória são muito importante. Este tipo de aplicação tende a tornar a direção mais segura em termos de segurança física do motorista. A coleta de parâmetros como velocidade e parâmetros do motor de um grande número de veículos é caracterizada como grande volume, multifrequência e dados de múltiplas fontes. Isso refletirá amplamente o status do veículo e, portanto, é amplamente utilizado para avaliar comportamentos de direção [Gao et al. 2014].

### 2.3 Políticas públicas sobre manutenção de vias

As estradas são os bens públicos mais importantes em muitos países. As melhorias nas estradas trazem benefícios imediatos para os usuários das estradas, oferecendo um tráfego mais seguro, maior conforto na via, melhor acesso a hospitais, shoppings e mercados, evitando desgastes prematuros nas peças dos veículos, o que implica em menores custos de manutenção nos veículos. Para que estes benefícios sejam garantidos, as melhorias nas vias devem ser seguidas por uma identificação da qualidade das vias e um programa de manutenção bem planejado. Sem uma classificação de qualidade da via e uma manutenção regular, as estradas podem se deteriorar rapidamente, causando desgastes prematuros nas peças dos veículos, principalmente na parte de suspensão do veículo, acarretando também em perdas de energia, gerando um maior consumo de combustível e podendo causar acidentes ou em casos extremos, até uma fatalidade.

O adiamento da manutenção de estradas resulta em altos custos diretos e indiretos. Se os defeitos da estrada forem reparados imediatamente, o custo geralmente é modesto. Se os defeitos forem negligenciados, um trecho de estrada inteiro pode carecer completamente, exigindo reconstrução completa, o que causa em média três vezes ou mais os custos de manutenção [The South African National Roads Agency 2015].

A manutenção atrasada também tem custos indiretos. Estradas negligenciadas se tornam cada vez mais difíceis de usar, resultando em maiores custos operacionais de veículos (desgastes prematuros nas peças dos veículos, mais uso de combustível) e uma hesitação dos operadores de transporte em usar as estradas. Isso impõe um pesado fardo para a economia, pois, à medida que os serviços de transporte de cargas e passageiros são reduzidos, como consequência, há perda de oportunidades de desenvolvimento econômico e social. Em

[SANRAL 2021] afirmam que custa menos dirigir em uma estrada que recebe tratamentos de manutenção do que em uma estrada que está sujeita a deterioração.

Portanto, o monitoramento das vias públicas é responsabilidade das autoridades rodoviárias, os quais devem ser responsabilizados pela manutenção quanto pela auditoria de seu desempenho. No entanto, em muitas autoridades rodoviárias, provou ser extremamente difícil. De acordo com [Harral 1987], as autoridades rodoviárias tradicionalmente desempenham três funções principais:

- Desenvolvimento e manutenção de estradas;
- Controle das obras contratadas, incluindo não apenas as novas construção, mas também obras maiores de reabilitação, manutenção periódica e manutenções de rotina;
- Execução direta de manutenção de rotina, frequentemente manutenção periódica e, em alguns casos, construção de novas estradas.

O objetivo da manutenção é preservar o bem público, não para atualizá-lo. A manutenção deve ser feita regularmente, o tratamento de manutenção periódica deve ser feito antes que ocorra a sua deterioração para evitar problemas. Esses tratamentos têm como objetivo prolongar a vida útil de um pavimento. A análise do pavimento e a manutenção periódica pode atrasar uma deterioração futura ou corrigir algum problema, categorizando como uma manutenção corretiva ou preventiva. A Figura 6 ilustra um processo de reparação da superfície de uma estrada.



Figura 6: Reparação da superfície da estrada. Fonte: [Bureau 2015]

As realizações de manutenção periódica são divididos em duas categorias, tratamentos preventivos e recobrimento da superfície [SANRAL 2020], onde:

- **Tratamentos preventivos:** É o acréscimo de uma camada fina de revestimento para melhorar a integridade da superfície da via e a impermeabilização sem aumentar a resistência do pavimento. Este tipo de tratamento são mais eficazes quando aplicados a uma superfície sem rachaduras ou deterioradas. Os tratamentos preventivos não são eficazes em pavimentos deteriorados ou com rachaduras.
- **Recobrimento da superfície:** É a adição de uma superfície fina para melhorar a integridade da superfície e a impermeabilização, ou para melhorar a resistência à derrapagem, sem aumentar significativamente a resistência do pavimento. Tem o objetivo de restaurar ou aprimorar a capacidade da estrada a funcionar regularmente.

Na Inglaterra o impacto de décadas de subfinanciamento destinados a manutenção das vias causa um enorme problema a população local, pois devido à falta de financiamento em manutenção, as estradas locais estão se deteriorando. Apenas em 2015, a associação do governo local teve que pagar mais de 53 milhões de euros em indenização para motoristas que tiveram danos veiculares causados pela péssima qualidade das vias. Uma pesquisa demonstrou que o número de carros danificados por buracos mais que dobrou nos últimos dez anos, o fator contribuinte para os carros sofrerem essas avarias são os buracos. Os danos causados pelo buracos incluem molas de suspensão quebradas, rodas distorcidas e amortecedores danificados [Business 2016].

## 2.4 Cloud Computing

A computação em nuvem (*Cloud Computing* - CC) permite acesso sob demanda, à uma rede compartilhada de recursos computacionais, que podem ser configuráveis, como servidores, aplicativos e serviços, rede e armazenamento, que podem ser rapidamente usados e difundido com o mínimo esforço de interação do provedor de serviços [Mell and Grance 2012]. É uma mudança de paradigma na forma como os recursos de hardware e software são gerenciados e utilizados. O surgimento da Arquitetura Orientada a Serviços (*Service Oriented Architecture* - SOA), que sustenta as tecnologias de computação em nuvem, permite que as organizações compartilhem os aspectos físicos e não físicos de uma

infraestrutura de Tecnologia da Informação (TI). A ideia é fazer com que a infraestrutura de computação seja reutilizável e assim distribuir os custos de computação. Esses recursos reduzem significativamente os custos de investimento inicial e reduzem os custos operacionais da infraestrutura de computação [Bello et al. 2021].

Os serviços em nuvem são oferecidos em três classes principais, Software como serviço (*Software as a Service* - SaaS), Plataforma como serviço (*Platform as a Service* - PaaS) e Infraestrutura como serviço (*Infrastructure as a Service* - IaaS) [Lu and Zeng 2014].

- **Software como serviço (SaaS):** O SaaS oferece acesso a um conjunto de software que reside em seu datacenter [Mäkilä et al. 2010]. O provedor é responsável por manter o software, licenciar aplicativos e disponibilizar o software aos clientes como um serviço sob demanda. Normalmente, o pacote consiste em sistema de gerenciamento de dados (DBMS ou *Data Management System*), design auxiliado por computador, sistema de escritório, gerenciamento de relacionamento com o cliente (CRM) e antivírus. Funcionando como um serviço baseado em assinatura, o SaaS facilita o aluguel do software por um período, como alternativa à sua compra. Uma vez que todo o pacote de software é disponibilizado pelo mesmo provedor de serviços, essa classe de serviços torna possível evitar problemas de incompatibilidade entre software, que os usuários normalmente experimentam, assim, a preocupação de combinar o sistema operacional dos usuários com o software é inexistente devido ao serviço completo estar disponível por meio de navegadores da web.
- **Plataforma como serviço (PaaS):** A PaaS oferece os meios para os usuários desenvolverem, executarem e gerenciarem aplicativos, fornecendo uma plataforma onde os usuários não precisam se preocupar com os detalhes de nível inferior do ambiente. Conseqüentemente, os serviços desta categoria permitem que os usuários definam as configurações e controlem a implantação do software. O provedor de serviços é responsável por garantir a disponibilidade de servidores, redes, armazenamento e outros serviços de suporte necessários para hospedar o aplicativo para os clientes [Lu and Zeng 2014].
- **Infraestrutura como serviço (IaaS):** O IaaS fornece aos usuários computadores (máquinas físicas ou virtuais), conectividade de rede, espaço de armazenamento, equilíbrio

de carga, firewall e outros recursos de computação com a rede, assim, os usuários implantam e executam uma variedade de software com base nisso [Lu and Zeng 2014].

## 2.5 Vehicular Cloud Computing

A computação em nuvem veicular consiste em um intenso número de veículos conectados e independentes que estão viajando em áreas urbanas e rodovias com presença contínua de internet, possuindo uma grande quantidade de computação, recursos de detecção e armazenamento a bordo, podendo ser considerados como um *data center* em movimento [Goumidi et al. 2020]. Há um grande número de veículos trafegando nas estradas todos os dias. Esses veículos podem ser usados para monitorar a qualidade de pavimentação das vias de forma automatizada, mapeando os trechos onde percorrem. Os veículos podem ser utilizados como membros da nuvem em ruas, bairros e cidades, e os carros como participantes na formação da nuvem. Os membros da nuvem combinam seus recursos e fornecem serviços em nuvem. Portanto, a computação em nuvem veicular pode ser definida como um grupo determinado de veículos autônomos, que compartilham recursos na rede, recursos como, comunicação, computação, sensoriamento e recursos físicos que são organizados e alocados dinamicamente para usuários que foram autorizados [Eltoweissy et al. 2010].

A Computação em nuvem veicular (*Vehicular Cloud Computing* - VCC) [Boukerche and De Grande 2018], [Ahmed et al. 2019][Kim et al. 2020] tem o objetivo principal de utilizar os recursos disponíveis a bordo dos veículos autônomos, recursos esses muitas vezes subutilizados. Esses recursos abrangem capacidades que vão de processamento, armazenamento, comunicação e sensores, que podem ser coletados dinamicamente pelos veículos, mediante a autorização e acordo dos motoristas. Todos os envolvidos nos serviços em nuvem, como os usuários, os motoristas e a nuvem se beneficiam da eficiente e disponível integração de todos os recursos que podem ser utilizados. A VCC se refere a um grupo de veículos que são amplamente autônomos e contêm recursos de computação, comunicação e sensoriamento que podem ser coordenados e alocados dinamicamente atribuídos a usuários autorizados [Olariu et al. 2013].

## 2.6 Arquitetura da Vehicular Cloud Computing

A arquitetura geral da computação em nuvem veicular se divide em três camadas de comunicações [Mekki et al. 2017], conforme ilustrado na Figura 7. Essas camadas são a camada Onboard (dentro do veículo), Camada de comunicação, caracterizada por componentes de comunicação, e a camada de Computação em nuvem, que consiste em recursos e serviços de computação em nuvem. A primeira camada é a camada interna do veículo, os componentes permitem que os veículos detectem o estado da estrada, a condição do ambiente e o comportamento dos motoristas usando uma série de sensores a bordo, como sensores internos aos veículos, sensores ambientais, sensores de smartphones e reconhecimento do comportamento dos motoristas [Castignani et al. 2015]. O armazenamento distribuído é essencial para manter as informações coletadas pelos sensores para que os aplicativos em tempo real possam acessá-las com eficiência. Cada veículo está equipado com uma unidade de bordo (*On-Board Unit* - OBU) que inclui um sistema de navegação, com mapa e localização de unidades ao lado da estrada (*Road Side Unit* - RSU).

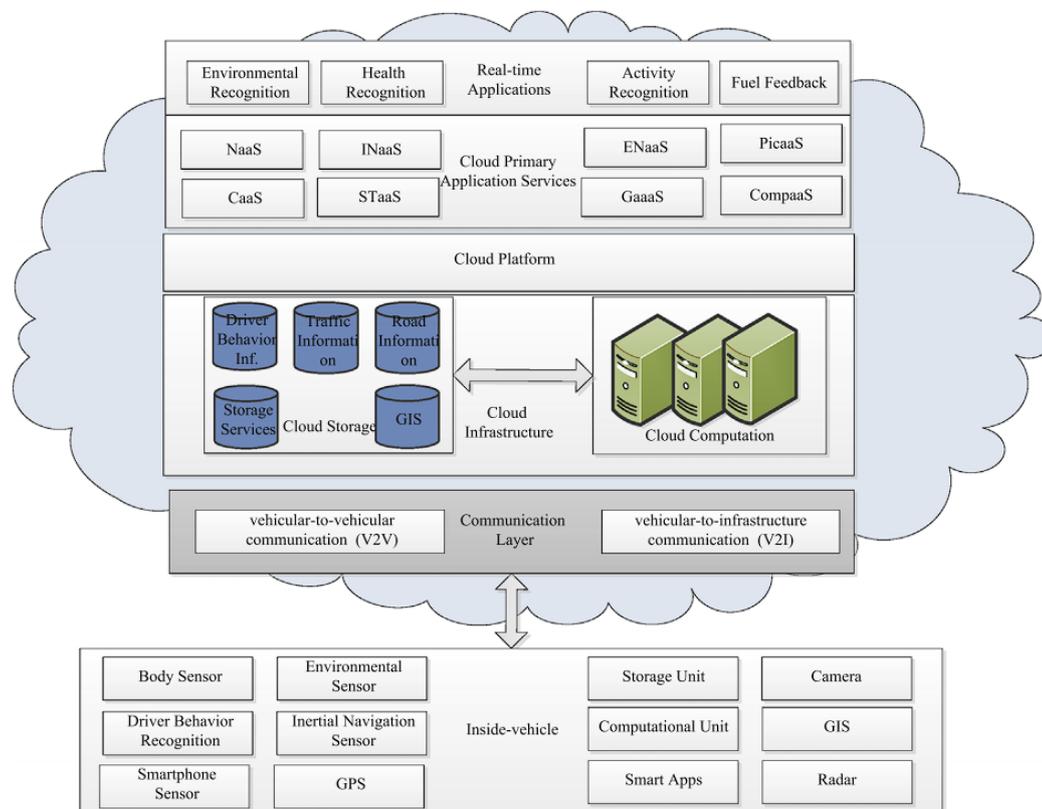


Figura 7: Arquitetura VCC. (Fonte: [Whaiduzzaman et al. 2014])

A segunda camada é a camada de comunicação, que concentra-se nas conexões veiculares, viabilizando dois tipos de comunicações, comunicação de veículo para veículo (V2V) e veículo para infraestrutura (V2I). Os veículos são capazes de trocar dados com a VCC por meio das comunicações V2V e V2I, por possuírem transceptores IEEE 802.11p. Vários protocolos permitem a comunicação como comunicação de curto alcance dedicado (DSRC) [Kenney 2011], comunicações celulares 3G ou 4G e acesso sem fio em ambiente veicular (*Wireless Access in Vehicular Environment - WAVE*) [Jiang and Delgrossi 2008].

As conexões através da comunicação V2V podem indicar se um determinado motorista está com um comportamento anormal na estrada, como, ultrapassagem do limite de velocidade, mudança drástica de direção ou até a ocorrência de uma falha mecânica no veículo, assim, uma mensagem de alerta de emergência (*Emergency Warning Messages - EWMs*) será gerada e enviada para o armazenamento em nuvem e veículos circundantes, que contém a velocidade, localização geográfica, aceleração e direção do movimento do motorista infrator [Whaiduzzaman et al. 2014]. Em relação a V2I, a nossa solução vai utilizar a comunicação V2I para aumentar a gama de comunicação, enviando, recebendo e encaminhando os registros realizados do IRI para toda a rede, se beneficiando da capacidade de processamento dos RSU. As infraestruturas disponíveis espalhadas por determinada região auxiliam o encaminhamento das informações sobre a qualidade de superfícies das vias para todos os motoristas. Isso ajuda os motoristas a escolherem o melhor percurso com base na qualidade das vias, reduzindo a possibilidade de ocorrer acidentes e minimizando desgastes prematuros nas peças dos veículos. Assim, a comunicação V2I é responsável por trocar os dados sobre a qualidade das vias entre os veículos, infraestruturas e a nuvem.

Uma das vantagens mais importantes para utilizarmos a VCC em nossa proposta, é a agregação de dados usando armazenamento em nuvem, os veículos podem usar os dados armazenados na nuvem para realizar a classificação da qualidade de pavimentação das vias e às mapear. Por fim, a terceira camada, é a camada de computação em nuvem, que é usada para calcular as tarefas computacionais que fornecem desempenho mais rápido. Na nossa proposta é usada para processar e armazenar os registros do IRI, e logo em seguida, usar esses dados para classificar e mapear as ruas.

### 2.6.1 Serviços da Vehicular Cloud Computing

A VCC pode habilitar uma ampla variedade de serviços. Estes serviços estão agrupados em quatro categorias de serviço, são elas, computação como serviço (*Computation as a Service - CompaaS*), rede como serviço (*Network as a Service - NaaS*), armazenamento como serviço (*Storage as a Service - STaaS*) e cooperação como serviço (*Cooperation as a Service - CaaS*). Conforme é ilustrado na Figura 8.

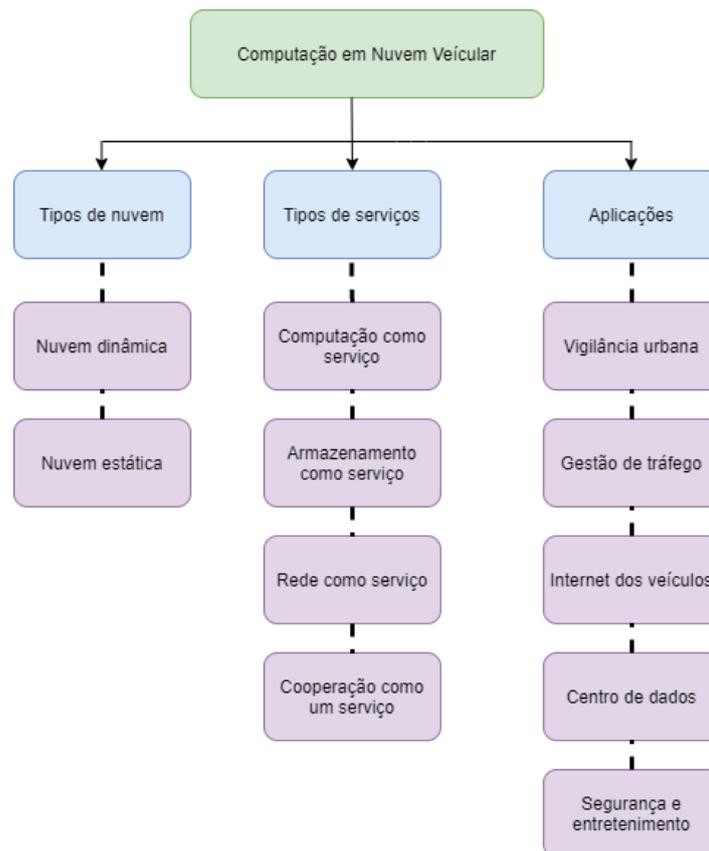


Figura 8: Classificação da Computação em Nuvem Veicular. (Fonte: Autor)

### 2.6.2 Computação como Serviço (CompaaS)

A computação como serviço trata da agregação de recursos de computação de veículos disponíveis e não utilizados, tornando-os acessíveis por meio de um serviço a usuários autorizados. A computação em nuvem veicular consiste em um conceito muito recente que lida com um contexto muito sensível e complexo, que é a exploração de recursos computacionais em ambientes altamente móveis.

### **2.6.3 Rede como Serviço (NaaS)**

É totalmente esperado que muitos motoristas tenham conectividade persistente com a internet através de redes celulares e outros pontos de acessos fixos na estrada enquanto dirigem, inúmeras pessoas têm essa conectividade através da rede celular 3G ou 4G hoje. Conseqüentemente, os carros que possuam acesso à internet e desejem autorizar e alugar o compartilhamento dos recursos disponíveis a bordo, ofereçam sua capacidade excedente aos demais carros que possam precisar acessar a internet em trânsito.

A expectativa é que cada motorista com conexão à internet, que estiver disposto a compartilhar esse recurso, divulgue essas informações para todos os veículos ao seu redor na estrada. Esta informação pode então ser multihopped entre veículos na vizinhança local informando-os sobre os carros existentes que podem atuar como pontos de acesso à Internet [Olariu et al. 2013].

Considerando a pequena velocidade relativa entre os carros na mesma direção, atua como redes ad hoc móveis tradicionais, MANETs, compostas por um conjunto de pontos de acesso fixos e um conjunto de nós de computação móvel movendo-se em baixa velocidade. Assim, qualquer um dos protocolos existentes pode ser usado para permitir que todos os veículos em uma determinada área tenham conectividade com a internet através de pontos de acesso disponíveis ou carros com conectividade à internet [Olariu et al. 2011].

### **2.6.4 Armazenamento como serviço (STaaS)**

Embora alguns veículos tenham bastante capacidade de armazenamento a bordo, prevê-se que alguns outros veículos podem exigir armazenamento adicional para executar seus aplicativos. Devido ao tamanho pequeno e ao preço barato de armazenamento, prevê-se que o computador de bordo dos veículos terá vários terabytes de armazenamento, pelo fato dos carros terem muito espaço para acomodar vários discos rígidos, mesmo com a tecnologia e os tamanhos atuais. Assim, os veículos com capacidade adicional fornecerão armazenamento como serviço [Arif et al. 2012].

### 2.6.5 Cooperação como Serviço (CaaS)

A colaboração como serviço pode incluir vários tipos de soluções coletivas de problemas. Ela permite que os motoristas obtenham serviços através da indicação de outros motoristas, como um serviço comunitário. A colaboração como serviço usa a recomendação e preferência de um motorista sobre determinado serviço para ajudar outros motoristas que assinam o mesmo serviço a ter informações importante sobre este serviço [Arif et al. 2012].

A nossa solução utiliza a colaboração coordenada e coleta de dados dos veículos para medir a qualidade de pavimentação das vias utilizando o padrão IRI. Para isso, nossa solução utiliza o serviço de CaaS. O servidor da nossa aplicação conta com uma nuvem tradicional e com a cooperação dos veículos que participam de um ambiente VCC. Cada veículo do sistema proposto é reponsável por fazer o cálculo do IRI das vias junto a sua posição geográfica por meio dos sensores do dipósitoivo móvel, que são respectivamente o acelerômetro e o GPS, com isso, o aplicativo reporta essas informações ao servidor de navegação por meio de comunicação direta entre os *smartphones* e o servidor. O servidor agrega os dados de vários veículos e exhibi no mapa da nossa aplicação os pontos onde foram feitos os registros do IRI, qualificando as condições das vias de uma determinada área, auxiliando os motoristas a escolherem rotas com melhor qualidade de pavimentação.

## Capítulo 3

### 3 Trabalhos Relacionados

A rugosidade da estrada é normalmente medida usando veículos especiais instrumentados [Harrison and Park 2008], o que torna a operação com maior complexidade operacional e maiores custos em relação a medição feita por dispositivos móveis. Dispositivos móveis com sensores integrados ou externos foram propostos como um sistema substituto de sensoriamento de tráfego e comunicação [Mohan et al. 2008].

O uso de telefones celulares disponibiliza um grande conjunto de sensores, possibilitando informações mais confiáveis e exatas, com maior cobertura. Esse tipo de ambiente onde os cidadãos contribuem para a coleta de dados sobre o meio ambiente tem sido denominado de sensoriamento participativo [Burke et al. 2006]. Em [Tai et al. 2010] foi realizada a detecção de anomalias analisando dados do acelerômetro utilizando uma motocicleta. No entanto, a motocicleta muitas vezes oscila por natureza e produz dados de ruído.

No estudo proposto [Das et al. 2010] foi desenvolvido um aplicativo para monitoramento de saliências de estradas por meio de dispositivos móveis e inserido em uma pesquisa mais ampla que visa a criação de uma Plataforma de Sensoriamento Remoto por Smartphones (PRISM). Também neste caso, dois sensores foram usados em telefones celulares: o acelerômetro três axial e o receptor GPS. As informações registradas pelo acelerômetro foram processadas localmente (no dispositivo) para uma localização em tempo real das saliências antes de enviá-las de volta a um servidor central. Também inclui um componente de infraestrutura para efetuar a orquestração distribuída de telefones e um componente de telefone móvel que fornece uma caixa de proteção de software, com vários recursos novos, para executar aplicativos de detecção não confiáveis em forma binária.

No estudo [Perttunen et al. 2011] propuseram um estudo baseado na detecção de anomalias da superfície da estrada, que contribuem para a rugosidade da estrada, a partir de dados de aceleração e leituras de GPS; o sinal de aceleração, registrado na frequência de 38Hz, foi processado por meio de análise espectral, enquanto o sinal do GPS foi filtrado por meio de filtro de *Kalman* para reduzir o ruído. O dispositivo móvel utilizado nos testes experimentais foi localizado dentro do veículo e preso a um suporte no para-brisa; Foram percorridos 25

km de uma estrada caracterizada por várias anomalias.

Foi desenvolvido em [Bhoraskar et al. 2012] um sistema de monitoramento do estado das estradas e tráfego com a finalidade de registrar eventos de frenagem, para coletar informações sobre congestionamento de tráfego e picos de aceleração vertical para o monitoramento da qualidade da superfície da estrada. O sistema, denominado Wolverine, otimizou o método proposto em [Mohan et al. 2008], também em termos de consumo de energia devido ao uso do aplicativo no dispositivo. Uma reorientação completa do acelerômetro de três eixos foi realizada para converter dados do acelerômetro da estrutura do telefone para a estrutura do veículo. O algoritmo de agrupamento *k-means* foi selecionado como o método para a identificação da qualidade da estrada, para identificar se a estrada é lisa ou esburacada.

Em [Jain and Singh 2012] foi proposto um algoritmo de detecção de saliências que não usa o procedimento de reorientação para alinhar os eixos do acelerômetro aos eixos do veículo porque as anomalias da estrada foram identificadas por meio de uma análise da amplitude do vetor de aceleração. O sistema chamado de SWAS (*Speed-breaker early Warning System*), é capaz de dar informações sobre saliências pré-registradas aos motoristas que se aproximam. Os resultados experimentais mostraram que a taxa de eventos positivos foi superior a 90% para carros, independentemente do tipo de colisão. Essa porcentagem diminuiu para um valor de cerca de 70% para motocicletas. O aplicativo deve ser otimizado para reduzir o consumo geral da bateria. A função de aviso do aplicativo monitora continuamente a localização instantânea do GPS e gera um alerta quando o veículo se aproxima de um disjuntor de velocidade.

No estudo proposto por [Syed et al. 2012] usaram a mudança do eixo Z (AZ) do acelerômetro. Em seguida, em [Douangphachanh and Oneyama 2014] usaram principalmente o acelerômetro e, adicionalmente, o giroscópio para estimar a condição de rugosidade da superfície da estrada. Posteriormente, em [Vittorio et al. 2014] fizeram a detecção de anomalias na superfície da estrada usando a orientação do acelerômetro e descobriram que o resultado correspondia a AZ. A maioria deles geralmente usava dados do acelerômetro, no entanto, o AZ pode indicar um carro se movendo para cima e para baixo, mas não pode diferenciar entre uma ferramenta de segurança feita pelo homem e uma superfície de rua quebrada, como um lombada, uma saliência na rua e um buraco.

Foi desenvolvido em [Singh et al. 2017] uma técnica de detecção e *crowdsourcing* base-

ada em *smartphone* para detectar as condições da superfície da estrada. O *crowdsourcing* é usado para obter a localização determinada por GPS de um grande número de usuários de *smartphones*. Os sensores embutidos do *smartphone*, como acelerômetro e GPS, foram usados para observar as condições da estrada. A motivação para este trabalho foi melhorar a precisão da classificação de detecção das condições da superfície da estrada (buracos e saliências) usando a técnica de *Dynamic Time Warping* (DTW), onde as características principais do DTW são sua capacidade de lidar automaticamente com as deformações do tempo e diferentes velocidades associadas aos dados de tempo. A técnica apresentada possui melhor acurácia e eficiência com uma taxa de detecção de 88,66% e 88,99% para buracos e saliências respectivamente, quando comparada com as técnicas *Support Vector Machines* (SVM), *Hidden Markov Model* (HMM) e *Artificial Neural Network* (ANN).

Em [Chawuthai and Jearanaitanakij 2018] os autores tentam analisar os dados do sensor giroscópico para criar a avaliação e visualização da qualidade da superfície da rua. O resultado experimental confirma que a análise baseada nas rotações de um carro dá um resultado mais preciso do que só o uso de acelerômetro em termos de maior correlação e menor média de erro. Essa abordagem pode diferenciar entre uma lombada e um defeito na superfície da rua usando a velocidade de mudança de orientação de um carro detectada pelo sensor de giroscópio. A localização e o grau de gravidade de quaisquer defeitos são plotados no mapa.

No estudo proposto [Arbabpour Bidgoli et al. 2019] desenvolveram um novo dispositivo automatizado de coleta de dados de baixo custo para medição de rugosidade. Foi desenvolvido um sistema de monitoramento da rugosidade da estrada (*Road Roughness Monitoring System* - RRMS) de baixo custo. Uma roda extra equipada com acelerômetros e um sistema de posicionamento geográfico, equipada e transportada por um veículo, que é utilizado para avaliar a rugosidade do pavimento. Perfis longitudinais são empregados para calcular o IRI por meio da aplicação de um modelo linear com alto coeficiente de determinação de 0,87. O erro quadrático médio e a porcentagem de erro médio são suficientemente baixos, iguais a 10% e 20%, respectivamente. A vantagem da nossa proposta, é que conseguimos fazer a avaliação da rugosidade do pavimento utilizando apenas um *smartphone*, usando o indicador do IRI junto a nossa infraestrutura, sem precisar ter uma roda equipada com sensores, tornando a implementação em larga escala inviável, devido as dificuldades de implementação. Utilizando uma solução de *crowdsourcing* para compartilhar os dados sobre a qualidade das

vias a todos os veículos que estão na rede.

Em [Sharma et al. 2020] foi proposto um novo sistema de baixo custo, que inclui sensores ultrassônicos de detecção com GPS e uma técnica de processamento de imagens para a detecção das condições da superfície da estrada. A técnica de DTW foi incorporada a sensores ultrassônicos para melhorar a classificação e precisão das condições de detecção da superfície da estrada. Os sensores ultrassônicos são utilizados para determinar a separação entre a estrutura do veículo e a superfície da rua numericamente, onde a distância limite é definida como a distância entre a carroceria do veículo e a superfície lisa da estrada, que depende da distância ao solo dos veículos. Desenvolveram um algoritmo denominado de *HANUMAN*, para reconhecimento automático e cálculo de buracos e lombadas. Os experimentos foram feitos usando um arduino uno com um sensor ultrassônico e um GPS. Os resultados mostram uma taxa de detecção de 95,50% para várias irregularidades da superfície da estrada. A nossa solução utilizou o indicador do IRI, que consegue medir a rugosidade das vias utilizando apenas um *smartphone*, e que foi comprovado ser eficiente na questão de medir a rugosidade da via, junto aos benefícios de utilizar o ambiente da VCC. Além disso, conseguimos informar em tempo real não só aos órgãos responsáveis pela manutenção das vias, mas também aos condutores sobre as condições das vias onde eles desejam percorrer.

No estudo [Abbondati et al. 2021] foi desenvolvido o *SmartRoadSense*, um sistema colaborativo para a detecção automática de características da superfície da estrada usando receptores do GPS e acelerômetros triaxiais contidos em dispositivos móveis. Os resultados confirmam o sistema como muito eficiente para monitorar as falhas de estradas mais críticas. Porém, eles sugerem que para uma análise mais eficaz, é preciso outros tipos de análises, como por exemplo, análises visuais oportunas para identificar e classificar problemas nas condições do pavimento, o que acaba se tornando mais caro. A nossa solução tem a vantagem de não precisar realizar outros tipos de análises, como análises visuais, o que demanda um certo gasto de tempo. Por fim, a nossa solução monitora e classifica a qualidade da pavimentação em tempo real, informando aos condutores as condições de cada via utilizando apenas o *smartphone*.

## Capítulo 4

### 4 Proposta

Neste trabalho foi projetado uma arquitetura para a computação em nuvem veicular com o objetivo de avaliar a qualidade da superfície das vias baseado no método para medir as rugosidades das vias, o IRI. Utilizando os dados dos sensores do acelerômetro e GPS de um *smartphone android*, possibilitando aos motoristas visualizarem a qualidade das vias de um determinado percurso, podendo servir como uma nova camada no GPS, informando sobre a qualidade da via. Conforme ilustrado na Figura 9, o esquema de funcionamento do sistema, os carros estão enviando e recebendo informações sobre a qualidade das vias de determinado percurso, e com base nessa informação, escolhendo a melhor rota para seu destino.

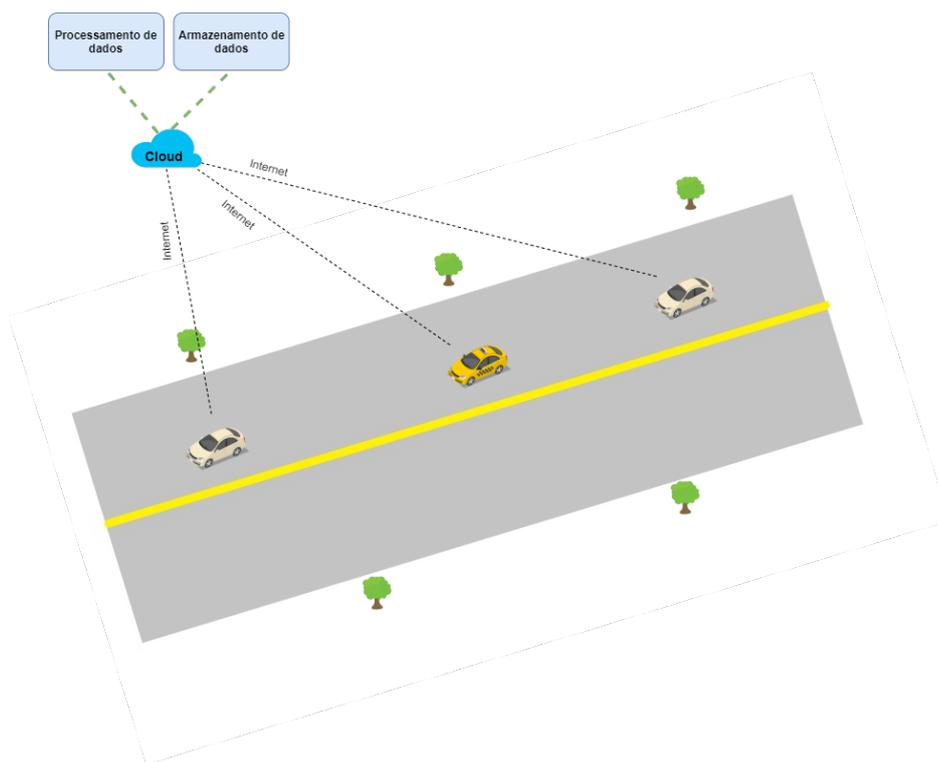


Figura 9: Esquema de funcionamento da arquitetura. (Fonte: Autor)

O modelo arquitetural é dividido em dois módulos, conforme mostrado na Figura 10, que consiste em nuvem e o veículos. Dentro do veículo está equipado com o *smartphone android* portando os sensores do acelerômetro, permitindo fazer o cálculo do IRI e com o

GPS capturando o local exato de início e fim que está sendo calculado o IRI. Isso serve para depois poder plotar no mapa a localização exata de onde foi calculado determinado IRI. Os registros comportando o IRI junto a sua localização são enviados para a nuvem, para o armazenamento dos dados. Quando um veículo precisar das informações do IRI de um determinado trecho na via, essas informações são enviadas ao veículo requerente e plotado no mapa informando as condições da via.

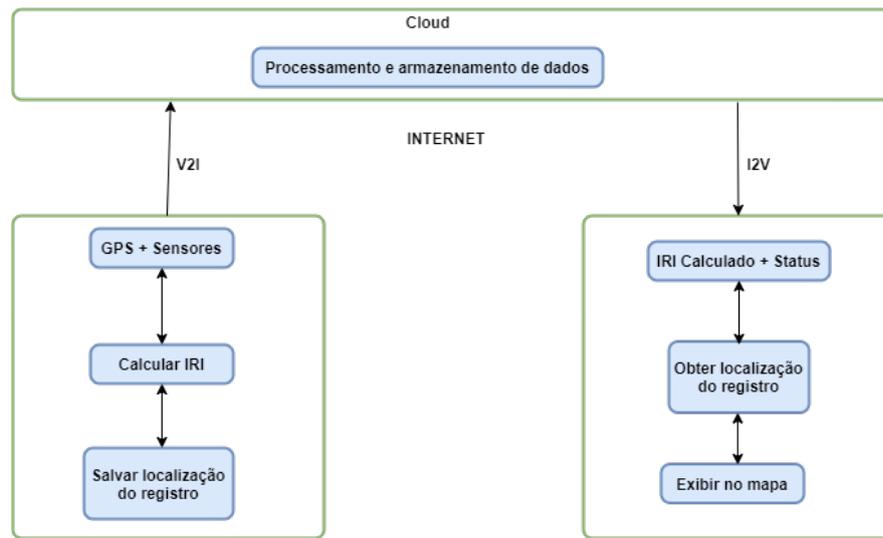


Figura 10: Modelo da arquitetura. (Fonte: Autor)

Com esse modelo arquitetural, montamos uma infraestrutura, onde temos uma parte da aplicação que é no *smartphone*, onde o indicador para monitorar a qualidade das vias é calculado no próprio *smartphone*, e também é responsável por exibir no mapa do usuário os locais onde foram feitos os registros do IRI. Outra parte é na nuvem, onde o usuário manda um *request* para a nuvem, e ela retorna com a informação que o usuário solicitou, por exemplo, o usuário manda um *request* para saber a qualidade de determinada via, e a nuvem retorna essa informação para o usuário. No final, todos os dados coletados são enviados para a nuvem para ficarem centralizados.

## 4.1 Experimento

### 4.1.1 Aplicativo Android

Desenvolvemos um aplicativo android denominado "*Calcular IRI*", que foi desenvolvido na linguagem java utilizando o *Android Studio*. O aplicativo é responsável por fazer o monitoramento da rugosidade das vias, utilizando a medição do IRI, que é calculado utilizando os sensores do *smartphone*, e responsável por exibir aos usuários a qualidade da via onde foi medida a rugosidade.

O aplicativo coleta os dados do acelerômetro do *smartphone* para uso no cálculo do IRI. Os valores do acelerômetro do *smartphone* são transformados no sistema de coordenadas da Terra, permitindo que os valores sejam registrados independentemente da orientação do *smartphone*. A Figura 11 mostra a interface do aplicativo sendo simulado no *Android Studio*.

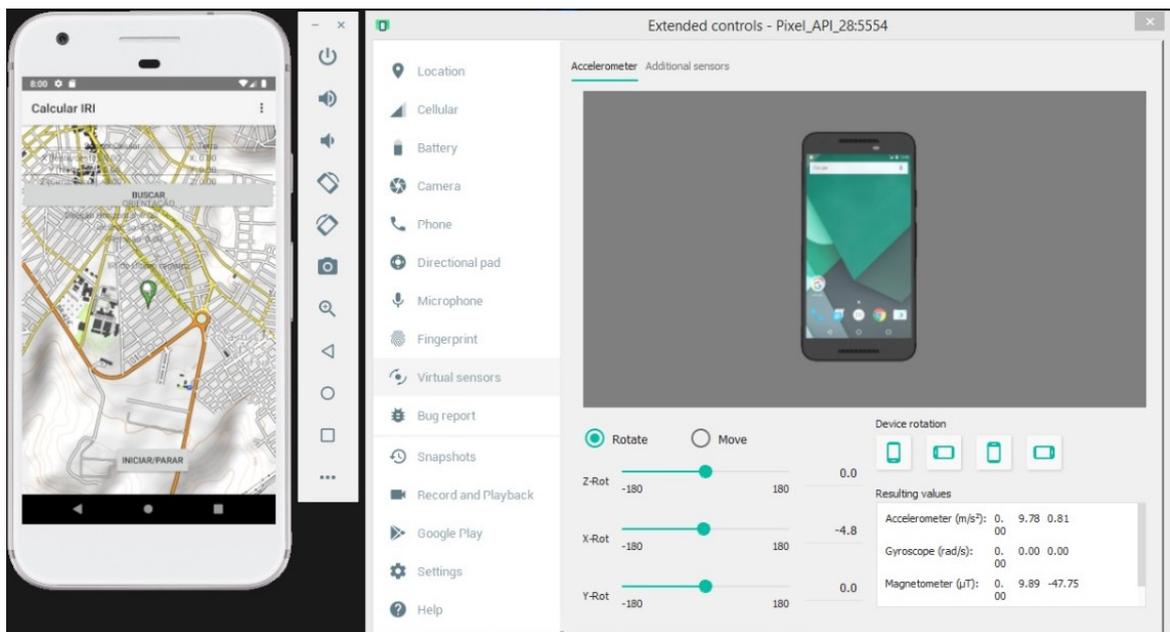


Figura 11: Interface do aplicativo. (Fonte: Autor)

Para conseguirmos colocar a visualização do mapa, utilizamos a API (*Application Programmer Interface*) do *OpenStreetMap* [OpenStreetMap 2021] que é gratuita. Para fazer a comunicação deste aplicativo com o *web service*, que será descrito na Seção 4.1.5, utilizamos a biblioteca do *Retrofit* [Square 2021], que é uma biblioteca muito utilizada para consumo de serviço web utilizando o padrão REST. A Tabela 1, especifica as dependências e suas respectivas versões que utilizamos no aplicativo.



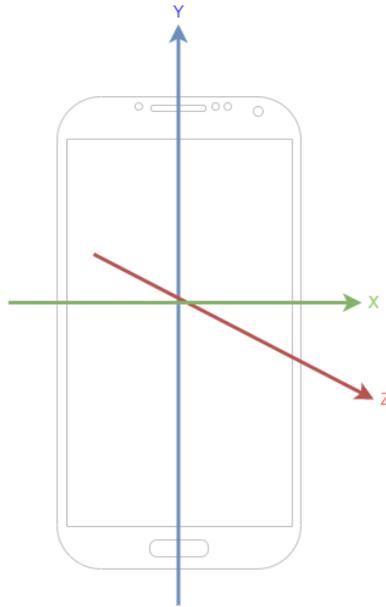


Figura 13: Coordenadas do Dispositivo. (Fonte: Autor)

Quando o *smartphone* está na vertical, a gravidade está sendo aplicada no eixo Y do *smartphone*, enquanto no sistema de coordenadas da Terra a força da gravidade é aplicada no eixo Z. Quando o *smartphone* é girado no eixo X para que o eixo Z aponte para o céu, a força da gravidade no *smartphone* é deslocada para o eixo Z, combinando com os sistemas de coordenadas da Terra. O sistema de coordenadas da terra será descrito na Seção 4.1.3.

#### 4.1.3 Sistema de Coordenadas da Terra

Conforme ilustrado na Figura 14, o eixo X aponta aproximadamente para o leste (oeste quando X é um número negativo). Y é tangencial ao solo na localização atual do *smartphone* e aponta para o norte magnético. Z aponta para o céu e é perpendicular ao solo.

Assim, se obtem os valores do acelerômetro do *smartphone* no sistema de coordenadas da terra, onde:

- X = Leste / Oeste;
- Y = Norte / Sul;
- Z = Para cima / Para baixo.

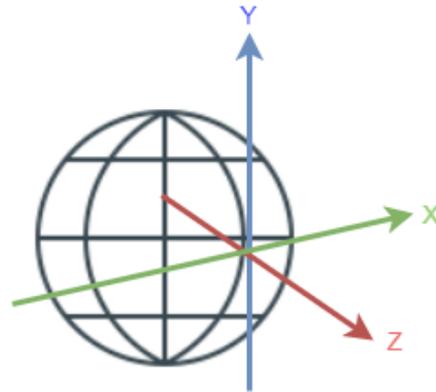


Figura 14: Coordenadas do Terra. (Fonte: Autor)

#### 4.1.4 Cálculo do IRI

Conforme mencionado anteriormente, o IRI é a razão do movimento acumulado da suspensão de um veículo dividido pela distância percorrida pelo veículo durante um teste, em metros por quilômetros (m/km) [Sayers et al. 1986]. O cálculo do nosso aplicativo é realizado considerando o valor do descolamento vertical total (DV), multiplicando por mil e dividindo pela distância do segmento percorrido (DS).

$$\text{IRI} = (\text{DV} * 1000) / \text{DS}$$

Vale ressaltar que o deslocamento vertical é igual ao valor absoluto do deslocamento longitudinal atual menos o deslocamento longitudinal anterior.

Os resultados gerados do IRI com a sua devida localização, e ID do *smartphone*, são salvos de duas maneiras. Primeiramente, são salvos internamente no *smartphone* em um arquivo *geoJson*, servindo como *backup* deste registro, e são enviados para o *web service* que desenvolvemos, afim de armazenar os dados.

#### 4.1.5 Web Service

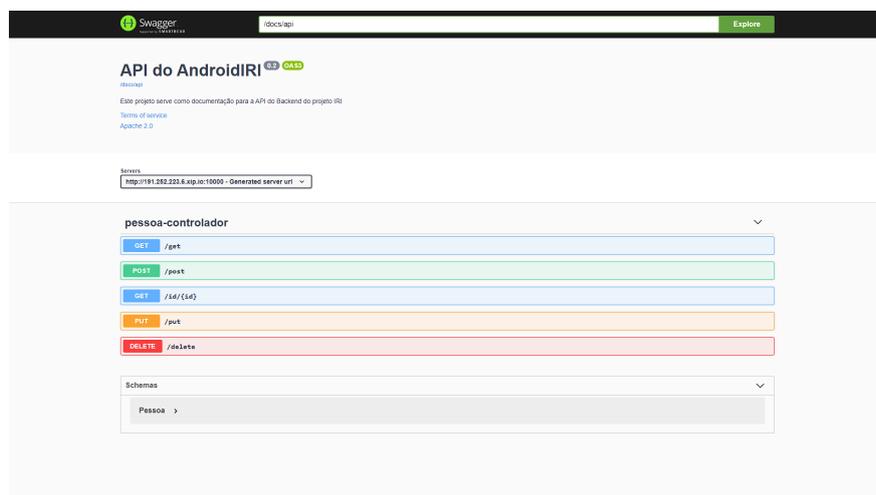
Desenvolvemos um *web service* para se comunicar com o nosso aplicativo *android*, afim de armazenar os dados do IRI e de suas respectivas localizações (latitude e longitude). O nosso *web service* foi desenvolvido com SpringBoot na linguagem java. Na Tabela 2 são listadas as dependências e suas respectivas versões que utilizamos em nosso *web service*.

A documentação do *web service* foi feita com o *Swagger*, um dos padrões mais utilizados

Tabela 2: Dependências da API.

Dependência	Versão
Spring Tools 4	4.4.8.0
Spring Boot	2.3.4
Java	11.0.8.0
Postgres	9.5
PostGIS	3.0.2
Swagger	2.7.0

no mercado. Como ilustrado na Figura 15, o *Swagger* também mostra o tipo que cada método vai utilizar, classificados em GET, POST, PUT e DELETE.

Figura 15: Documentação com o *Swagger*. (Fonte: Autor)

O *web service* desenvolvido é hospedado na nuvem em um servidor Linux com sistema operacional Ubuntu 18.04, que utiliza um processador Intel Xeon Gold 5218 CPU, com dois núcleos operando a 2.295GHZ, a sua capacidade de memória RAM é de 954MiB e com o armazenamento total de 37.60GB, conforme ilustrado na Figura 16.

```

root@vps24837: ~
@vps24837:publiccloud.com.br
OS: Ubuntu 18.04 bionic
Kernel: x86_64 Linux 4.15.0-39-generic
Packages: 541
CPU: Intel Xeon Gold 5218 CPU @ 2x 2.295GHz
RAM: 652MiB / 954MiB

System information as of Sat Mar 20 17:48:45 -03 2021
System load: 0.0
Usage of /: 25.1% of 37.69GB
Memory usage: 78%
Swap usage: 7%
Processes: 139
Users logged in: 0
IP address for eth0: 191.252.223.6
IP address for docker0: 172.17.0.1
IP address for br-48560a578126: 172.21.0.1

* Canonical Livepatch is available for installation.
- Reduce system reboots and improve kernel security. Activate at:
https://ubuntu.com/livepatch

2 packages can be updated.
8 of these updates are security updates.
To see these additional updates run: apt list --upgradable

```

Figura 16: Especificações do Servidor. (Fonte: Autor)

#### 4.1.6 Requisitos para Funcionamento do Sistema

Como já relatamos na seção 4.1.1, o aplicativo funciona apenas em *smartphones* com sistema operacional *android*, a Tabela 3 ilustra os requisitos mínimos do *smartphone* para um bom funcionamento da aplicação.

Tabela 3: Requisitos Mínimos

Requisitos Mínimos	
Sistema Operacional	Android 9
Processador	Quad Core
Memória RAM	1 GB
Armazenamento	200 MB
Internet	Conexão estável com a internet

Vale salientar que o *smartphone* precisa ter conexão com a internet, para poder enviar os registros dos IRI que foram calculados para o *web service*, e também para consultar o IRI de determinada localidade. Similarmente precisamos de armazenamento no dispositivo, pois o aplicativo salva os registros do IRI no *smartphone* como uma medida de backup. Os requisitos recomendados do *smartphone* são ilustrados na Tabela 4.

Tabela 4: Requisitos Recomendados

Requisitos Recomendados	
Sistema Operacional	Android 11
Processador	Octa-Core
Memória RAM	4 GB
Armazenamento	400 MB
Internet	Conexão estável com a internet

#### 4.1.7 Setup Experimental

Os testes foram realizados na área urbana da cidade de Garanhuns (Pernambuco, Brasil). As ruas onde foram feitos os registros são: Rua Sargento José Petrúcio, Avenida dos Mascates, Rua Alípio Medeiros, Rua Melo Peixoto, Rua quinze de Novembro, Avenida Afonso Pena, Avenida Caruaru e Avenida Rui Barbosa. Foram selecionados três diferentes dispositivos móveis *android*, para o monitoramento da qualidade da superfície da via. Os dispositivos são: um Samsung A50, um Samsung A1 e um Motorola moto G3. Utilizamos três *smartphones* diferentes, para analisar a diversidade dos dispositivos, pois possuem o *hardware* (acelerômetro) diferentes. Os experimentos foram realizados com os *smartphones* posicionados no painel do automóvel, que foi um Volkswagen Fox 1.0, conforme ilustrado na Figura 17.



Figura 17: Posição dos *smartphones* dentro do veículo durante os experimentos. (Fonte: Autor)

Os smartphones são pré-instalados com o aplicativo desenvolvido neste trabalho . O

aplicativo é usado para registrar dados do acelerômetro, do sistema de coordenadas da terra e do GPS. Vale ressaltar, que embora o *smartphone* possa se mover de acordo com o movimento do automóvel, não afetará os resultados, pois os valores independem da orientação do *smartphone*, já que os valores do acelerômetro são transformados no sistema de coordenadas da terra.

A coleta de dados é feita em diferentes locais da cidade, no mesmo automóvel e percorrendo pequenos trechos de até 100 metros. Cada trecho foi percorrido três vezes a uma velocidade de 50 km/h, realizamos os experimentos três vezes para analisarmos se tinha alguma alteração nos resultados gerados e ter um intervalo de confiança entre os registros. Com isso, cada trecho tem a medição da qualidade da superfície calculada 9 vezes. A cada registro do cálculo do IRI de determinado trecho, os dados são enviados automaticamente para o *web service*, discutido em 4.1.5, junto com os dados do GPS, mostrando a localização exata (informando a latitude e longitude) de onde foi medido aquele IRI.

## 4.2 Resultados e Discussões

Os testes realizados visaram a identificação das anomalias na pavimentação das vias na cidade de Garanhuns, através da medição do IRI. Observamos, como se comporta o cálculo do IRI em vias com boa pavimentação, em vias com uma pavimentação ruim, geralmente vias com alguns buracos na pavimentação ou vias de paralelepípedo, e vias com uma péssima pavimentação, geralmente vias muito esburacadas.

Com os testes realizados, percebemos que os percursos que percorremos tiveram diversas condições de rugosidade. Os dados coletados nos permitem compreender e categorizar a qualidade do IRI em três categorias, pavimentação boa, ruim e péssima, com base na observação que fizemos das vias onde foram feitos os experimentos. A categoria denominada de pavimentação boa, o cálculo do IRI medido deve ser menor que 0.12 ( $IRI < 0.12$ ). Tendo como exemplo, um trecho que havia sido recém pavimentado, conseqüentemente possuindo uma excelente qualidade de via e pouca vibração, teve o IRI médio de  $IRI = 0.05$ . Como segunda categoria, denominada de pavimentação ruim, a medição deve ser IRI maior que 0.12 e IRI menor que 0.26 ( $0.12 < IRI < 0.26$ ). A última categoria denominada de péssima, a medição do IRI deve ser maior que 0.26 ( $IRI > 0.26$ ).

Para exemplificar como funciona o registro do IRI, na Figura 18 é ilustrado como são salvos os dados do registro do IRI no nosso *web service*. Em todos os registro constam as informações do ID do celular que fez aquele registro, o IRI que foi calculado por esse ID e as informações de longitude e latitude de início e fim do local do registro para saber a localização de onde foi feito este cálculo. Vamos utilizar o registro que está selecionado em vermelho para detalharmos como é feito o processo de registro.

Vamos utilizar a plataforma online do *Google Maps* apenas para ilustrar este exemplo, conforme mostra a Figura 19. Utilizaremos os valores de entrada que estão em *longi* e *lati* (-8.905333830043674, -36.49336799047887), que correspondem às coordenadas geográficas de longitude e latitude de onde se iniciou o registro. Esses valores são colocados na plataforma e em seguida é marcado no mapa a localização exata de onde se iniciou o registro do IRI, que foi na Av. dos Mascates, 475-471 - Boa Vista, Garanhuns - PE.

Em seguida, utilizaremos a longitude e latitude de onde finalizou o registro, que são os valores que estão em *longf* e *latf* (-8.90521317254752, -36.493374863639474). Com isso, plataforma marca no mapa a localização do fim do registro, que foi na Av. dos Mascates,



```
Server response
Code      Details
200      Response body
{
  "latf": -36.49325734935701,
  "longf": -8.90710907522589
},
{
  "id": "b534f464-6201-40f8-b342-9ad8eb550a69",
  "iri": "0.10166308887610942",
  "lati": -36.49337286,
  "longi": -8.90534577,
  "latf": -36.49337878,
  "longf": -8.90523799
},
{
  "id": "3059708a-62c8-4c82-9a62-da5c6696c135",
  "iri": "0.055179005792893566",
  "lati": -36.49336799047887,
  "longi": -8.905333830043674,
  "latf": -36.493374863639474,
  "longf": -8.90521317254752
},
{
  "id": "e2a89dab-0e80-4cfc-92f8-f7dba7fff797",
  "iri": "0.9437765561726753",
  "lati": -36.49335613,
  "longi": -8.90531653,
  "latf": -36.4933603,
  "longf": -8.90520783
}
]
```

Figura 18: Registros no *web service*. (Fonte: Autor)

341 - Boa Vista, Garanhuns - PE. Conforme é ilustrado na Figura 20.

Deste modo, na Figura 21 é exibido o local de início e fim, formando assim o percurso completo de onde ocorreu o registro do IRI. Fizemos a marcação do local com uma linha verde apenas para indicar o trecho onde foi feito o registro, junto com as informações do seu índice (IRI: 0.055179005792893566), que é um valor baixo, e categoriza este trecho de boa pavimentação, pois seu IRI foi menor que 0.12 ( $IRI < 0.12$ ). Quanto maior o IRI, indica uma pior qualidade de pavimentação, quanto menor o IRI, melhor a qualidade da pavimentação. A Figura 22, exibe a rua na qual foi feita este registro do IRI.

O exemplo citado anteriormente, é exibido em nosso aplicativo conforme mostra a Figura 23. Para indicar no mapa onde foi feito o registro do IRI, o aplicativo coleta todos os resultados que foram registrados, confere as informações de longitude e latitude, do ponto inicial e final do registro, verifica em qual categoria se enquadra o IRI, nesse caso o IRI foi

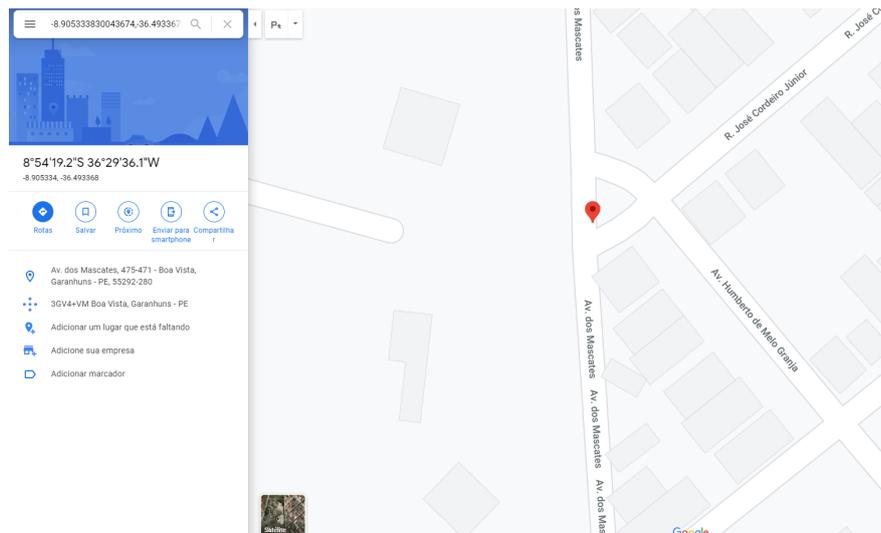


Figura 19: Início do Registro. (Fonte: Autor)

menor que 0.12 ( $IRI < 0.12$ ), o que categoriza este segmento como boa pavimentação, assim, é plotado no mapa uma linha azul do local de início e fim do segmento.

A coleta é feita continuamente enquanto o usuário continua se locomovendo. O ponto negativo é que precisa de uma alta demanda de usuários para mapear, por exemplo, uma cidade. A Figura 24 ilustra todos os locais (pontos em azul) onde foi feito o registro do IRI. As ruas onde foram feitos os registros são: Rua Sargento José Petrócio, Avenida dos Mascates, Rua Alípio Medeiros, Rua Melo Peixoto, Rua quinze de Novembro, Avenida Afonso Pena, Avenida Caruaru e Avenida Rui Barbosa.

Para analisarmos se havia diferença no cálculo do IRI quando se alterava a distância entre os registros, fizemos outros experimentos, mudando o parâmetro da distância entre cada registro, onde realizamos experimentos fazendo os registro a cada 5, 10, 25 e 50 metros. A Tabela 5 ilustra os resultados de um pequeno trecho onde a cada 5 em 5 metros realizava o cálculo do IRI, da mesma maneira que a cada 10 em 10 metros. Notasse que deu uma mínima alteração no IRI calculado, que acaba não interferindo na classificação da rua, ambas os resultados se enquadram na mesma categoria do IRI, que é categorizado como pavimentação boa, como definimos anteriormente.

A Tabela 6 ilustra os resultados dos registros realizados a cada 25 e 50 metros. Notasse que há uma pequena alteração entre eles e até com os registros realizados de 5 e 10 metros, e acabam se enquadrando na mesma categoria, que é considerada como pavimentação

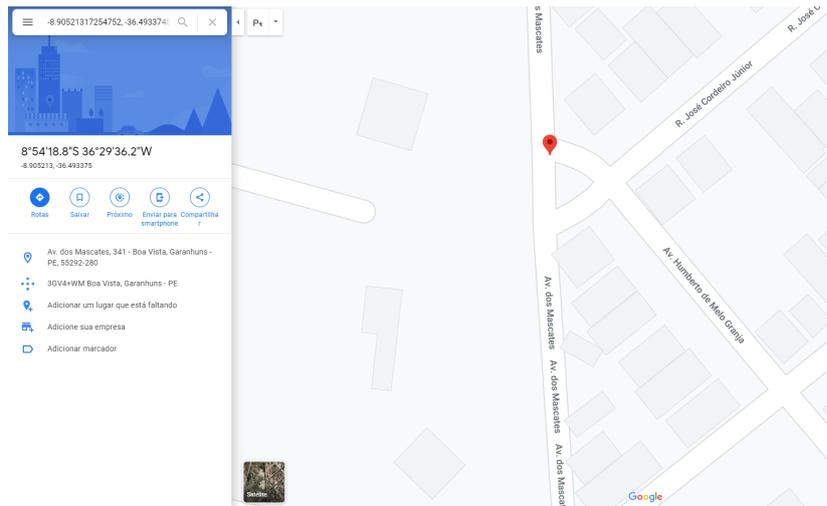


Figura 20: Fim do Registro. (Fonte: Autor)

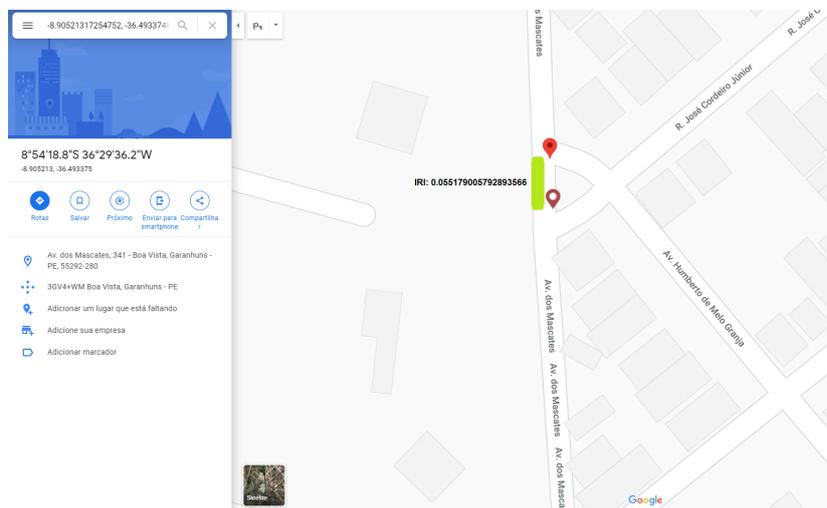


Figura 21: Trecho completo. (Fonte: Autor)

boa, pois possui o IRI menor que 0.12 ( $IRI < 0.12$ ). Portanto, chegamos a conclusão que independente da distância entre cada registro, não altera na classificação do IRI.

Para plotar no mapa a localização de onde foi feito o registro do IRI, o aplicativo vai sempre coletar os valores do último registro que foi feito nesta localização, ocasionando em uma realidade do trecho mais precisa e atual. Consideramos realizar a média dos registros do IRI daquele trecho, porém, chegamos a conclusão que quanto maior for o número de registros, menor é a precisão para categorizar determinado trecho se for feito por média, por isso, decidimos sempre usar o ultimo registro para plotar no mapa.

Os resultados mostram que o modelo arquitetural consegue monitorar, medir e exibir no



Figura 22: Local do registro. (Fonte: Autor)

mapa (os trechos onde foram feitos os registros do IRI) a qualidade da rugosidade das vias com base na resposta vibracional dos sensores que o *smartphone* adota.

A utilização do nosso modelo arquitetural para o ambiente VCC, juntamente com uma análise mais detalhada do sinal de aceleração junto ao sistema de coordenadas da terra, pode fornecer aos órgãos responsáveis pela manutenção da pavimentação das vias, uma ferramenta útil para melhor identificar a qualidade do asfalto. Com o desenvolvimento do ambiente da VCC, isso pode se tornar bem mais simples, onde os veículos podem ser usados para detectar e classificar as anomalias do asfalto de forma automatizada.

Segundo definimos as nossas hipóteses, a hipótese **H0**, questiona se é possível detectar imperfeições na pavimentação das vias sem a presença de veículos equipados com sensores de alta precisão, utilizando apenas um *smartphone*. Como vimos na nossa prova de conceito, os resultados mostram que um *smartphone* utilizando apenas seu sensor de acelerômetro junto ao GPS, consegue fazer as medições de rugosidade das vias e registrar exatamente onde foi realizada essas medições, para garantir o local exato do registro, utilizamos os valores de onde se inicia e finaliza o segmento, através da longitude e latitude. Dito isto, podemos afirmar com base em nossos experimentos, que utilizando apenas um *smartphone* é possível detectar e monitorar a qualidade de pavimentação das vias.

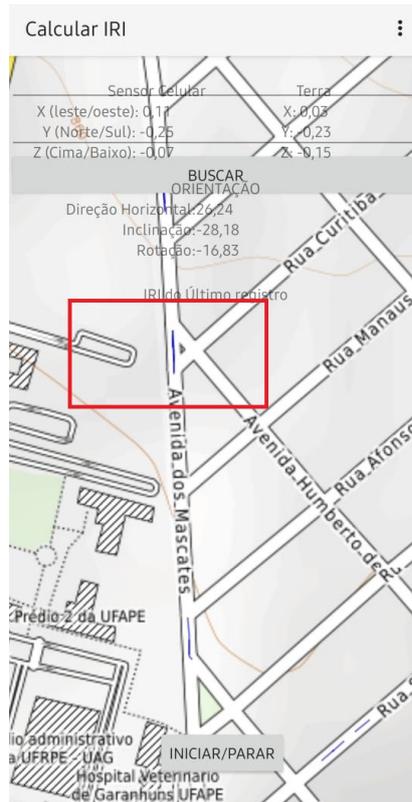


Figura 23: Exemplo no aplicativo android. (Fonte: Autor)

Conforme a hipótese **H1**, indaga se é possível determinar com uma precisão ou com um certo nível de precisão a qualidade de uma via baseada em um *smartphone*. Podemos afirmar que sim, com um certo nível de precisão, pois para definir a classificação da qualidade das vias, também fizemos uma análise visual, como relatamos no início desta sessão. E com base nos experimentos realizados, os resultados gerados pelo aplicativo corroboram com a nossa análise visual. Por exemplo, quando vamos fazer o registro de uma via, primeiro analisamos as condições das vias, se era uma via com pavimentação boa, ruim ou péssima, e logo depois realizamos os registros usando o aplicativo, com os dados gerados, analisamos se os dados de fato batiam com a realidade da via, o qual, de fato as informações se confirmavam, sendo assim, é possível determinar com um certo nível de precisão a qualidade de uma via utilizando um *smartphone*.

De acordo com a hipótese **H2**, se refere se é possível informar ao usuário final as condições da via em tempo real. A nossa solução consegue plotar no mapa, as regiões onde foram realizadas o monitoramento da rugosidade da via, o que pode auxiliar ao usuário final, por qual rota ele deseja percorrer, não levando em consideração apenas o caminho mais curto,

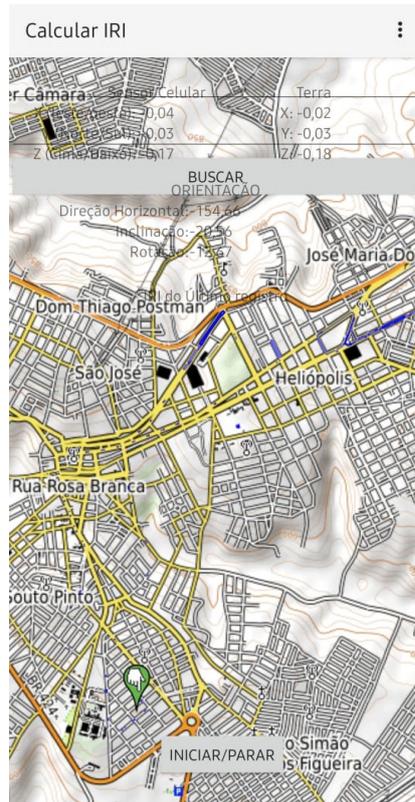


Figura 24: Todos os registros plotados no mapa. (Fonte: Autor)

mas analisando também, o caminho que lhe proporciona um maior conforto e que evite desgaste prematuro nas peças do seu veículo. As informações do monitoramento são em tempo real, ou seja, a cada novo registro da qualidade da via de um determinado local, são atualizados e plotados no mapa as condições de tal via, o que garante informação atualizada e em tempo real sobre a qualidade de determinada via. Desse modo, afirmasse que é possível informar ao usuário final em tempo real sobre as condições atuais da qualidade de uma determinada via.

Respondendo a nossa pergunta de pesquisa **P0**, chegamos a conclusão que seria ideal o uso da nossa solução por motoristas de aplicativos, pois como a nossa solução acaba gerando um gasto extra na bateria do *smartphone*, (por estar utilizando o GPS a todo tempo junto aos dados móveis), e os motoristas de aplicativos estão sempre com seus *smartphones* carregando, acaba sendo um cenário ideal para os usuários da nossa solução, sem contar que os motoristas de aplicativos são muitos e estão sempre percorrendo boa parte dos trechos de uma cidade, o que acaba auxiliando no processo de mapear as condições das vias de toda uma região.

Tabela 5: Comparação a cada 5 e 10 metros

5 metros		10 metros	
id	a3d9412e-a195-45eb-8b67-067b19231871	id	1d861a5f-8a93-4a6f-a07d-bdf24fac8f14
iri	0.030296965924591482	iri	0.02897413609100849
lati	-36.493321722373366	lati	-36.49333354085684
longi	-8.906381148844957	longi	-8.906357637606561
latf	-36.49332884699106	latf	-36.493343180045485
longf	-8.906287187710404	longf	-8.9062554622069

Tabela 6: Comparação a cada 25 e 50 metros

25 metros		50 metros	
id	ef8cf657-61e3-431d-b292-eab41cc09e53	id	acecdfbe-e2bf-4281-b8d1-e0a9dfc0f4b8
iri	0.031465772505916984	iri	0.033114559147864686
lati	-36.49325894191861	lati	-36.493366062641144
longi	-8.907274198718369	longi	-8.906069090589881
latf	-36.49327050894499	latf	-36.49337997660041
longf	-8.90718262642622	longf	-8.90593493822962

Vale ressaltar que a nossa arquitetura pode servir para outras aplicações no ambiente da VCC. Como por exemplo, ela pode ser usada como uma solução para cidades que quando chove, alagam com facilidade, como por exemplo, São Paulo, Recife, Maceió, etc. Como uma solução para ao invés de monitorar a qualidade das vias utilizando o IRI, utilizasse da mesma arquitetura para monitorar trechos que estão alagados, no caso, ao invés da arquitetura mostrar a qualidade da rugosidade das vias, mostrasse os trechos com chuvas que estão alagados, assim, ajudando os motoristas a evitar tais trechos alagados.

### 4.3 Ameaças

A nossa arquitetura consegue realizar a avaliação da qualidade da superfície da via utilizando como métrica o IRI através dos sensores de um dispositivo móvel. Contudo, a nossa solução possui algumas ameaças que precisam ser levadas em consideração, como o uso da bateria do *smartphone* e a questão de não conseguir fazer o mapeamento em vias onde de

fato a qualidade da via é muito precária, geralmente são vias de barro e possuem muitos buracos, ou seja, vias não pavimentadas.

A nossa solução utiliza o GPS ligado a todo tempo, para poder realizar os registros de onde estão sendo feitos o cálculo do IRI, em conjunto com os sensores do dispositivo móvel e utilizando os dados móveis do aparelho para se comunicar com o *web service*. Utilizar todos esses recursos gera um alto consumo da bateria do *smartphone*, o que acaba requerindo que o usuário da nossa solução necessite estar com o seu aparelho conectado a energia a todo momento, que não é um grande problema, pois os veículos tem uma bateria que se recarrega apenas com o funcionamento do veículo, logo, para sanar esse problema do alto consumo da bateria, recomendamos que os usuários da nossa solução estejam sempre com seus *smartphones* carregando. Deste modo, chegamos a conclusão que os usuários ideais para a nossa solução, seriam os motoristas de aplicativos, uma vez que, sempre utilizam seus *smartphones* conectados a energia, e por trafegarem inúmeras vias de uma determinada região, agilizando no processo de mapeamento daquela região.

Dado que a nossa solução necessita estar a uma velocidade de 50 km/h para poder realizar o cálculo do IRI, em vias não pavimentadas, cuja são repletas de buracos e imperfeições, fica inviável o registro e qualificação naquela região, porque o veículo não consegue atingir a velocidade recomendada e se manter constante, porque são inúmeros buracos e o veículo geralmente fica a uma velocidade abaixo de 10 km/h, para não acabar prejudicando prematuramente as suas peças, em especial, o sistema de suspensão do veículo. Dito isto, em vias que possuem péssimas condições de asfalto, vias inteiramente esburacadas e repleta de imperfeições, geralmente vias não pavimentadas, a nossa solução não consegue realizar o cálculo do IRI daquela região, por não atender aos requisitos mínimos necessários.

Outra ameaça é o próprio veículo utilizado nos experimentos, utilizamos um Volkswagen Fox 1.0, que é um carro de perfil baixo. Caso seja utilizado um veículo do tipo caminhonete ou picape, como por exemplo uma Hilux ou Dodge Ram, que é um carro alto, com pneus grandes, para esse tipo de veículo, um buraco não vai ser a mesma coisa do que registrar com um carro de perfil baixo, como o que foi utilizado. Com isso, pode se dizer que com o veículo que utilizamos ele consiga detectar um buraco ou imperfeições, mas caso utilizemos outro tipo de veículo, como uma picape, ele pode não identificar que aquele trecho possui um buraco ou imperfeição.

## Capítulo 5

### 5 Conclusão e Trabalhos Futuros

Neste Trabalho, foi proposto a definição de um modelo arquitetural, que tem como objetivo realizar o monitoramento e avaliação da qualidade da rugosidade das vias, utilizando o padrão IRI em uma ambiente *Vehicular Cloud Computing*.

Para nossa prova de conceito, foi desenvolvido um aplicativo *android*. O aplicativo foi utilizado dentro do carro, sobre o painel, para fazer a medição da qualidade das vias de determinado trecho. Essas informações são enviadas para o *web service* que desenvolvemos. Os experimentos foram realizados na cidade de Garanhuns-PE, percorrendo os trechos selecionados a uma velocidade de 50 km/h. O resultado da nossa análise pode ser demonstrado em um visualização do mapa. A localização e o trecho percorrido são plotados no mapa. Nossa abordagem pode ajudar a fazer o relatório de visualização da avaliação da qualidade de pavimentação das ruas, o que conseqüentemente, contribui para o aprimoramento da segurança no trânsito e, bem como, acabe evitando desgastes prematuros nas peças dos veículos.

Os resultados mostram que o aplicativo junto ao *web service* pode monitorar, medir e exibir no mapa a qualidade da rugosidade das vias. Conforme estudos, essas informações podem auxiliar os motoristas a terem uma economia de 2% até 6% de consumo de combustível na sua rota [Jackson et al. 2011], e a evitar desgastes prematuros nas peças dos veículos, causados por imperfeições e buracos ao longo das vias e possibilitando uma viagem mais segura.

Vale ressaltar que o aplicativo possui o objetivo apenas de ser funcional. Destaca-se que o aplicativo proposto não leva em consideração a questão de falhas de segurança. Sendo assim, consideramos que todos os registros e usuários, são verdadeiros e autenticados.

Diante disso, pode-se afirmar que o objetivo geral deste trabalho foi alcançado, sendo desenvolvido com sucesso um modelo arquitetural para o ambiente VCC que fosse capaz de monitorar e avaliar a qualidade das vias em tempo real com base na resposta vibracional das vias, utilizando os sensores dos *smartphones*.

Como trabalhos futuros, pretendemos realizar os experimentos com uma base maior de usuários, para que haja um mapeamento em larga escala, podendo mapear, por exemplo,

toda uma cidade. Também desejamos implementar novas funções no aplicativo, como por exemplo, indicar rotas com base na qualidade das ruas, podendo indicar uma rota onde só percorra trechos com boa pavimentação.

## Referências

- [Abbondati et al. 2021] Abbondati, F., Biancardo, S. A., Veropalumbo, R., and Dell'Acqua, G. (2021). Surface monitoring of road pavements using mobile crowdsensing technology. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 171(November 2020).
- [Ahammed and Tighe 2008] Ahammed, A. and Tighe, S. (2008). Incorporation of Surface Texture, Skid Resistance and Noise into PMS . *7th International Conference on Managing Pavement Assets*, page 121.
- [Ahmed et al. 2019] Ahmed, B., Malik, A. W., Hafeez, T., and Ahmed, N. (2019). Services and simulation frameworks for vehicular cloud computing: a contemporary survey. *Eurasip Journal on Wireless Communications and Networking*, 2019(1).
- [Arbabpour Bidgoli et al. 2019] Arbabpour Bidgoli, M., Golroo, A., Sheikhzadeh Nadjar, H., Ghelmani Rashidabad, A., and Ganji, M. R. (2019). Road roughness measurement using a cost-effective sensor-based monitoring system. *Automation in Construction*, 104(April):140–152.
- [Arif et al. 2012] Arif, S., Olariu, S., Wang, J., Yan, G., Yang, W., and Khalil, I. (2012). Datacenter at the airport: Reasoning about time-dependent parking lot occupancy. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 23(11):2067–2080.
- [Bello et al. 2021] Bello, S. A., Oyedele, L. O., Akinade, O. O., Bilal, M., Davila Delgado, J. M., Akanbi, L. A., Ajayi, A. O., and Owolabi, H. A. (2021). Cloud computing in construction industry: Use cases, benefits and challenges. *Automation in Construction*, 122.
- [Bhoraskar et al. 2012] Bhoraskar, R., Vankadhara, N., Raman, B., and Kulkarni, P. (2012). Wolverine: Traffic and road condition estimation using smartphone sensors. *2012 4th International Conference on Communication Systems and Networks, COMSNETS 2012*.
- [Boukerche and De Grande 2018] Boukerche, A. and De Grande, R. E. (2018). Vehicular cloud computing: Architectures, applications, and mobility. *Computer Networks*, 135:171–189.

- [Bureau 2015] Bureau, C. (2015). Maintenance and repair of roads and bridges. <https://www.kensetsu.metro.tokyo.lg.jp/english/jigyoku/road/07.html>.
- [Burke et al. 2006] Burke, J., Estrin, D., Hansen, M., Parker, A., Ramanathan, N., Reddy, S., and Srivastava, M. B. (2006). Participatory sensing. pages 117–134.
- [Business 2016] Business, G. (2016). The need to address local road maintenance. <https://governmentbusiness.co.uk/features/need-address-local-road-maintenance>.
- [Buttlar and Islam 2014] Buttlar, W. and Islam, S. (2014). Integration of smart-phone-based pavement roughness data collection tool with asset management system.
- [Castignani et al. 2015] Castignani, G., Derrmann, T., Frank, R., and Engel, T. (2015). Driver behavior profiling using smartphones: A low-cost platform for driver monitoring. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 7(1):91–102.
- [Chawuthai and Jearanaitanakij 2018] Chawuthai, R. and Jearanaitanakij, K. (2018). Street Surface Quality Assessment and Visualization using Gyro Sensor. *ICSEC 2017 - 21st International Computer Science and Engineering Conference 2017, Proceeding*, 6:5–9.
- [Coronado Mondragon et al. 2012] Coronado Mondragon, A. E., Lalwani, C. S., Coronado Mondragon, E. S., Coronado Mondragon, C. E., and Pawar, K. S. (2012). Intelligent transport systems in multimodal logistics: A case of role and contribution through wireless vehicular networks in a sea port location. *International Journal of Production Economics*, 137(1):165–175.
- [Das et al. 2010] Das, T., Mohan, P., Padmanabhan, V. N., Ramjee, R., and Sharma, A. (2010). PRISM: Platform for remote sensing using smartphones. *MobiSys'10 - Proceedings of the 8th International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services*, pages 63–76.
- [Douangphachanh and Oneyama 2014] Douangphachanh, V. and Oneyama, H. (2014). Exploring the use of smartphone accelerometer and gyroscope to study on the estimation of road surface roughness condition. *ICINCO 2014 - Proceedings of the 11th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics*, 1:783–787.

- [Eltoweissy et al. 2010] Eltoweissy, M., Olariu, S., and Younis, M. (2010). Towards autonomous vehicular clouds: A position paper (Invited paper). *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering*, 49 LNICST:1–16.
- [Engineering & Research International 2021] Engineering & Research International, I. (2021). Roughness & profiling. <http://www.erikuab.com/roughness-profiling/>.
- [G1 2019] G1 (2019). Motoristas reclamam de aumento dos buracos nas vias públicas após temporais em franca, sp. <https://g1.globo.com/sp/ribeirao-preto-franca/noticia/2019/04/02/motoristas-reclamam-de-aumento-dos-buracos-nas-vias-publicas-apos-temporais-em-franca-sp.ghtml>.
- [Gao et al. 2014] Gao, X., Firner, B., Sugrim, S., Kaiser-Pendergrast, V., Yang, Y., and Lindqvist, J. (2014). Elastic pathing: Your speed is enough to track you. *UbiComp 2014 - Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, pages 975–986.
- [Goumidi et al. 2020] Goumidi, H., Aliouat, Z., and Harous, S. (2020). Vehicular Cloud Computing Security: A Survey. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 45(4):2473–2499.
- [Harral 1987] Harral, C. (1987). Organization and Management of Road Maintenance in Developing Countries. *Transportation Research Record*, (1128):36–41.
- [Harrison and Park 2008] Harrison, F. and Park, H.-A. (2008). NCHRP 20-24(37B) - Comparative Performance Measurement: Pavement Smoothness. 24(37):72.
- [Hendrowati et al. 2012] Hendrowati, W., Guntur, H. L., and Sutantra, I. N. (2012). Design, Modeling and Analysis of Implementing a Multilayer Piezoelectric Vibration Energy Harvesting Mechanism in the Vehicle Suspension. *Engineering*, 04(11):728–738.
- [Jackson et al. 2011] Jackson, R. L., Willis, J. R., Arnold, M., and Palmer, C. (2011). Synthesis of the effects of pavement properties on tire rolling resistance. *NCAT report 11-05*, (January):1–25.

- [Jain and Singh 2012] Jain, M. and Singh, A. P. (2012). Speed-breaker early warning system.
- [Jiang and Delgrossi 2008] Jiang, D. and Delgrossi, L. (2008). IEEE 802.11p: Towards an international standard for wireless access in vehicular environments. *IEEE Vehicular Technology Conference*, pages 2036–2040.
- [Kenney 2011] Kenney, B. J. B. (2011). Dedicated Short-Range Communications ( DSRC ) Standards in the United States. 99(7).
- [Kim et al. 2020] Kim, T., Min, H., Choi, E., and Jung, J. (2020). Optimal job partitioning and allocation for vehicular cloud computing. *Future Generation Computer Systems*, 108:82–96.
- [Lu and Zeng 2014] Lu, G. and Zeng, W. H. (2014). Cloud computing survey. *Applied Mechanics and Materials*, 530-531:650–661.
- [Mäkilä et al. 2010] Mäkilä, T., Järvi, A., Rönkkö, M., and Nissilä, J. (2010). How to define Software-as-a-Service - An empirical study of Finnish SaaS providers. *Lecture Notes in Business Information Processing*, 51 LNBIP:115–124.
- [Mekki et al. 2017] Mekki, T., Jabri, I., Rachedi, A., and ben Jemaa, M. (2017). Vehicular cloud networks: Challenges, architectures, and future directions. *Vehicular Communications*, 9(November):268–280.
- [Mell and Grance 2012] Mell, P. and Grance, T. (2012). The NIST definition of cloud computing: Recommendations of the National Institute of Standards and Technology. *Public Cloud Computing: Security and Privacy Guidelines*, pages 97–101.
- [Mfenjou et al. 2018] Mfenjou, M. L., Abba Ari, A. A., Abdou, W., Spies, F., and Kolyang (2018). Methodology and trends for an intelligent transport system in developing countries. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 19:96–111.
- [Mohan et al. 2008] Mohan, P., Padmanabhan, V. N., and Ramjee, R. (2008). Nericell - Using mobile smartphones for rich monitoring of road and traffic conditions. *SenSys'08 - Proceedings of the 6th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, pages 357–358.

- [Olariu et al. 2013] Olariu, S., Hristov, T., and Yan, G. (2013). The Next Paradigm Shift: From Vehicular Networks to Vehicular Clouds. pages 645–700.
- [Olariu et al. 2011] Olariu, S., Khalil, I., and Abuelela, M. (2011). Taking VANET to the clouds. *International Journal of Pervasive Computing and Communications*, 7(1):7–21.
- [OpenStreetMap 2021] OpenStreetMap (2021). Openstreetmap. <https://www.openstreetmap.org>.
- [Perera et al. 2005] Perera, R., Kohn, S., and Tayabji, S. (2005). Achieving a High Level of Smoothness in Concrete Pavements Without Sacrificing Long-Term Performance. *Fhwa-Hrt-05-068*.
- [Perttunen et al. 2011] Perttunen, M., Mazhelis, O., Cong, F., Kauppila, M., Leppänen, T., Kantola, J., Collin, J., Pirttikangas, S., Haverinen, J., Ristaniemi, T., and Riekkki, J. (2011). Distributed road surface condition monitoring using mobile phones. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 6905 LNCS:64–78.
- [SANRAL 2020] SANRAL (2020). Periodic maintenance. <https://www.nra.co.za/road-network-management/maintenance-introduction/periodic-maintenance/>.
- [SANRAL 2021] SANRAL (2021). Value of asset preservation. <https://www.nra.co.za/road-network-management/asset-management-2/value-of-asset-preservation/>.
- [Sayers et al. 1986] Sayers, M., Gillespie, T., and Paterson, W. (1986). *Guidelines for conducting and calibrating road roughness measurements*. World Bank technical paper number 46. Number 46.
- [Sharma et al. 2020] Sharma, S. K., Phan, H., and Lee, J. (2020). An application study on road surface monitoring using DTW based image processing and ultrasonic sensors. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(13).
- [Singh et al. 2017] Singh, G., Bansal, D., Sofat, S., and Aggarwal, N. (2017). Smart patrolling: An efficient road surface monitoring using smartphone sensors and crowdsourcing. *Pervasive and Mobile Computing*, 40:71–88.

- [Sleem et al. 2020] Sleem, L., Noura, H. N., and Couturier, R. (2020). Towards a secure ITS: Overview, challenges and solutions. *Journal of Information Security and Applications*, 55(October 2020).
- [Square 2021] Square (2021). Retrofit. <https://square.github.io/retrofit/>.
- [Steri and Baldini 2015] Steri, G. and Baldini, G. (2015). The Evolution of Intelligent Transport System (ITS) Applications and Technologies for Law Enforcement and Public Safety. *Wireless Public Safety Networks I: Overview and Challenges*, pages 195–228.
- [Syed et al. 2012] Syed, B., Srinivasarengan, K., Pal, A., and Balamuralidhar, P. (2012). A Smart Transport Application of Cyber-Physical Systems: Road Surface Monitoring with mobile devices. pages 8–12.
- [Tai et al. 2010] Tai, Y.-c., Chan, C.-w., and Hsu, J. Y.-j. (2010). Automatic Road Anomaly Detection Using Smart Mobile Device. *Proceedings of the 2010 Conference on Technologies and Applications of Artificial Intelligence (TAAI2010)*, (October).
- [The South African National Roads Agency 2015] The South African National Roads Agency (2015). The South African National Roads Agency Soc Ltd Annual Reprot 2015. pages 1 – 196.
- [Vittorio et al. 2014] Vittorio, A., Rosolino, V., Teresa, I., Vittoria, C. M., Vincenzo, P. G., and Francesco, D. M. (2014). Automated Sensing System for Monitoring of Road Surface Quality by Mobile Devices. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 111:242–251.
- [Whaiduzzaman et al. 2014] Whaiduzzaman, M., Sookhak, M., Gani, A., and Buyya, R. (2014). A survey on vehicular cloud computing. *Journal of Network and Computer Applications*, 40(1):325–344.