

ALY CAMILO SOARES RABELO

**INTEGRANDO INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA VOLUNTÁRIA COM  
INFRAESTRUTURA DE DADOS ESPACIAL COMO SUPORTE PARA GESTÃO  
DE CIDADES INTELIGENTES DE PEQUENO E MÉDIO PORTE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2018

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

R114i  
2018

Rabelo, Aly Camilo Soares, 1992-  
Integrando informação geográfica voluntária com  
infraestrutura de dados espacial como suporte para gestão de  
cidades inteligentes de pequeno e médio porte / Aly Camilo  
Soares Rabelo. – Viçosa, MG, 2018.  
x, 74 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndice.  
Orientador: Jugurta Lisboa Filho.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Referências bibliográficas: f. 63-65.

1. Infraestrutura de dados espaciais. 2. Sistemas de  
informação geográfica. 3. Cidades inteligentes. 4. Trânsito -  
Congestionamento. I. Universidade Federal de Viçosa.  
Departamento de Informática. Programa de Pós-Graduação em  
Ciência da Computação. II. Título.

CDD 22. ed. 005.368

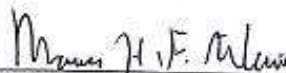
ALY CAMILO SOARES RABELO

**INTEGRANDO INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA VOLUNTÁRIA COM  
INFRAESTRUTURA DE DADOS ESPACIAL COMO SUPORTE  
PARA GESTÃO DE CIDADES INTELIGENTES DE PEQUENO E  
MÉDIO PORTE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 22 de fevereiro de 2018.

  
Alcione de Paiva Oliveira

  
Marcos Henrique Fonseca Ribeiro

  
Jugurta Lisboa Filho  
(Orientador)

*Dedico a Deus pela vida, pela saúde, por ter me dado força, discernimento, compreensão e coragem para realização deste trabalho de mestrado.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a meu professor e orientador Jugurta Lisboa Filho pelo apoio, conversas e conselhos durante todo esse tempo, acreditando que juntos poderíamos ser capazes de elaborar, desenvolver e finalizar essa pesquisa.

Agradeço a todos do Departamento de Informática (DPI), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) pela oportunidade, pela bolsa e auxílios concedidos para realizar esse trabalho.

Agradeço a minha esposa Alessandra pelo amor e carinho, e por estar comigo em todos os momentos me incentivando, me dando forças para continuar.

Agradeço a minha família em especial os meus pais Luciene e José (Nigrin), aos meus avós Ciria e Ali (Leto) e, Liberaci (Ci) e Laercio, pelo apoio e amor que sempre me fortaleceram.

A meus padrinhos e madrinhas, tios e tias em especial para Fabrício e Daiana, Luciano e Elisangela, Matozalém (Nô) e Sirley, Adalberto (Betim) e Odete (Dete), Juraci (Cirin) e Lucilene (Lú), José Soares e Marení, Elias e Paula pela força e carinho de sempre.

A meus queridos amigos e colegas que tive o prazer de conhecer e/ou conviver durante o mestrado: Alba, Barbara, César, Charles, Daniel, Fabio, Geraldo, Guidson, Hector, Italo, Liliane, Lucas, Joana, Jonatas, José Darlon, Maíra, Marco, Maurício, Michele, Renan, Roberta, Rubens Moraes, Rubens Torres, Vinicio, Vinícius, Welington (Guinto). Foram muitos tropeiros, churrascos, encontros, imagens e ação, petecas, risadas, momentos únicos e inesquecíveis.

Agradeço em especial a duas pessoas incríveis que pude viver e conviver durante o mestrado: Victor e Dominique. Padrinhos e amigos mais que especiais.

A minha irmã Aline; a meus primos em especial Pedro, Daiane e Daniel pelo carinho e amizade de sempre.

A meus amigos Bruno, Filipe Ribeiro, José Adolfo (Juninho), Marcio França, Marquele, Michel, Rodrigo, Romério que me deram forças e estiveram direto ou indiretamente torcendo por mim durante todo esse tempo.

A família de minha esposa em especial a meus sogros Alex e Ednalva, Leila e Fernando, meus cunhados e cunhados em especial a Leiliane pela amizade e consideração. A todos os parentes.

A família do Sr. Cirilo e a ele, por ter me auxiliado e me acolhido durante todo o tempo.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>vi</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>vii</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....</b>	<b>viii</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>x</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 O Problema e sua Importância.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2 Objetivos.....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 Estrutura da Dissertação .....</b>	<b>4</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Cidades Inteligentes.....</b>	<b>5</b>
2.1.1 Requisitos de uma Cidade Inteligente .....	7
2.1.2 Domínios e Indicadores .....	9
<b>2.2 Infraestrutura de Dados Espacial (IDE) .....</b>	<b>10</b>
<b>2.3 Informação Geográfica Voluntária (VGI) .....</b>	<b>12</b>
<b>2.4 Framework RM-ODP .....</b>	<b>13</b>
2.4.1 Produtor .....	16
2.4.2 Criador de Políticas .....	18
2.4.3 Fornecedor .....	18
2.4.4 Intermediador.....	19
2.4.5 Revendedor de Valor Agregado .....	20
2.4.6 Usuário Final .....	21
<b>2.5 Simuladores de Mobilidade Humana .....</b>	<b>22</b>
2.5.1 Simulation of Urban Mobility (SUMO) .....	22
2.5.2 Opportunistic Network Environment (ONE) .....	26
<b>2.6 Trabalhos Relacionados .....</b>	<b>26</b>
2.6.1 WAZE.....	27
2.6.2 Google Maps .....	28

<b>3 MODELO DE IDE COLABORATIVA .....</b>	<b>30</b>
<b>3.1 Modelo para Integração de VGI com IDE para Cidades Inteligentes .....</b>	<b>30</b>
<b>3.2 Comunidades e seus Comportamentos .....</b>	<b>32</b>
<b>3.3 Papéis, Contratos e Políticas.....</b>	<b>33</b>
3.3.1 Unidade Controladora .....	33
3.3.2 Unidade Pacificadora.....	34
3.3.3 Unidade Passiva.....	34
<b>3.4 Discussão e Considerações sobre o Modelo.....</b>	<b>35</b>
<b>4 ESTUDO DE CASO: A CIDADE DE VIÇOSA - MG.....</b>	<b>38</b>
<b>4.1 Seleção do Ambiente.....</b>	<b>38</b>
<b>4.2 Correções no Ambiente OpenStreetMap .....</b>	<b>39</b>
<b>4.3 Objetos da Simulação e seus Comportamentos .....</b>	<b>41</b>
<b>4.4 Discussão dos Resultados .....</b>	<b>46</b>
<b>4.5 Ferramenta VGI para Reporte e Controle de Eventos .....</b>	<b>56</b>
<b>5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>61</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>63</b>
<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>66</b>
<b>1 Construindo o Ambiente de Simulação .....</b>	<b>66</b>
<b>1.1 Incluindo Veículos e suas Rotas .....</b>	<b>68</b>
<b>1.2 Incluindo Pedestres .....</b>	<b>71</b>
<b>1.3 Incluindo Pontos de Interesse (POIs) .....</b>	<b>73</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Nível de Congestionamento de Veículos .....	2
Figura 2 – Características que Determinam Cidades Inteligentes .....	6
Figura 3 – Hierarquia das IDEs .....	11
Figura 4 – Perspectivas do <i>Framework</i> RM-ODP .....	14
Figura 5 – Especificação de uma Comunidade .....	15
Figura 6 – Especializações do Ator Produtor .....	16
Figura 7 – Especializações do Ator Criador de Políticas .....	18
Figura 8 – Especializações do Ator Fornecedor .....	19
Figura 9 – Especializações do Ator Intermediador .....	20
Figura 10 – Especializações do Ator Revendedor de Valor Agregado .....	21
Figura 11 – Especializações do Ator Usuário Final .....	21
Figura 12 – Interface do SUMO – Ambiente Artificial.....	22
Figura 13 – Interface do SUMO – Ambiente com Elementos .....	25
Figura 14 – Interface do WAZE na Cidade de Belo Horizonte – Minas Gerais, Brasil.....	28
Figura 15 – Inclusão do Atores Sensor Cidadão e Sensor Físico.....	31
Figura 16 – Hierarquia Genérica da Estrutura Administrativa de uma Cidade Brasileira .....	32
Figura 17 – Especificação Empresarial do Sistema para Redução do Congestionamento de Veículos.....	35
Figura 18 – Atribuição de Papéis às Comunidades .....	36
Figura 19 – Parte Central do Perímetro Urbana da Cidade de Viçosa .....	39
Figura 20 – Mapa com Via Desatualizada de Parte da Área Central de Viçosa .....	40
Figura 21 – Mapa com Via Atualizada de Parte da Área Central de Viçosa .....	40
Figura 22 – Interface do SUMO - Veículo a Menos de 25 metros de um Evento .....	42
Figura 23 – Número de Ocorrência de cada Evento.....	43
Figura 24 – Número de Eventos Reportados de Veículo .....	44
Figura 25 – Número de Eventos Reportados por Pedestres .....	45
Figura 26 – Aplicação para Reporte, Controle e Monitoramento de Eventos.....	56
Figura 27 – Cadastro de Incidente .....	57
Figura 28 – Área para Avaliação dos Eventos .....	58
Figura 29 – Área para Aprovação de Eventos .....	59
Figura 30 – Área dos Eventos Confirmados.....	60

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Indicadores do Domínio Transporte .....	10
Tabela 2 – Veículos com Tempo de Atraso Inferior a 30 segundos.....	46
Tabela 3 – Veículos que Tiveram Redução no Intervalo de Tempo de Atraso de no Máximo 30 segundos .....	47
Tabela 4 – Veículos com Tempo de Atraso Maior que 30 segundos e Menor ou Igual a 1 minuto .....	48
Tabela 5 – Veículos que Tiveram Alteração no Intervalo de Tempo de Atraso Maior que 30 segundos e Menor ou Igual a 1 minuto.....	49
Tabela 6 – Veículos com Tempo de Atraso Maior que 1 minuto e Menor ou Igual a 1 minuto e 30 segundos .....	50
Tabela 7 – Veículos que Tiveram Alteração no Intervalo de Tempo de Atraso Maior que 1 minuto e Menor ou Igual a 1 minuto e 30 segundos.....	51
Tabela 8 – Veículos com Tempo de Atraso Maior que 1 minuto 30 segundos e Menor ou Igual a 2 minutos.....	52
Tabela 9 – Veículos que Tiveram Redução para o Intervalo de Tempo de Atraso Menor ou Igual a 2 minutos e Maior que 1 minuto e 30 segundos .....	52
Tabela 10 – Veículos com Tempo de Atraso Maior que 2 minutos e Menor ou Igual a 2 minutos e 30 segundos.....	53
Tabela 11 – Veículos que Tiveram Redução para o Intervalo de Tempo de Atraso Menor ou Igual a 2 minutos e 30 segundos e Maior que 2 minutos .....	53
Tabela 12 – Veículos com Tempo de Atraso Maior que 2 minutos e 30 segundos e Menor ou Igual a 3 minutos .....	54
Tabela 13 – Veículos com Tempo de Atraso Maior que 3 minutos e Menor ou Igual a 3 minutos e 30 segundos.....	54
Tabela 14 – Veículos com Tempo de Atraso Superior a 3 minutos e 30 segundos .....	55
Tabela 15 – Resultado da Simulação com 100 Veículos.....	55

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- API** - Applications Programming Interface
- CO<sub>2</sub>** - Gás Carbônico
- GSM** - Global System for Mobile Communications
- IDE** - Infraestruturas de Dados Espaciais
- OSM** - Open Street Map
- PC** - Perspectiva Computação
- PE** - Perspectiva Empresarial
- PI** - Perspectiva Informação
- PN** - Perspectiva Engenharia
- PT** - Perspectiva Tecnologia
- RFID** - Redes de Identificação por Rádio Frequência
- RM-ODP** - Reference Model of Open Distributed Processing
- SUMO** - Simulador de Mobilidade Urbana
- TICs** - Tecnologias de Informação e Comunicação
- TRACI** - Interface de Controle de Tráfego
- V2X** - Vehicle-to-Everything
- VGI** - Informação Geográfica Voluntária

## RESUMO

RABELO, Aly Camilo Soares, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2018. **Integrando Informação Geográfica Voluntária com Infraestrutura de Dados Espacial como Suporte para Gestão de Cidades Inteligentes de Pequeno e Médio Porte.** Orientador: Jugurta Lisboa Filho.

O aumento dos níveis de congestionamento de veículos nos últimos anos traz um alerta para um problema que afeta várias cidades do mundo. Nesse contexto, a Informação Geográfica Voluntária (VGI) surge como uma importante ferramenta para desenvolver soluções que levem à redução dos congestionamentos de veículos. Projetos como WAZE e Google Maps são soluções que utilizam VGI e proporcionam aos cidadãos uma mobilidade eficiente, principalmente nas grandes cidades. Uma Infraestrutura de Dados Espacial (IDE) é um sistema que integra informação espacial de diferentes fontes possibilitando acesso e compartilhamento de dados e serviços. A integração de VGI com IDE é uma iniciativa que possibilita a criação de uma base de dados municipais que pode servir de apoio para o desenvolvimento de aplicações inteligentes. O presente trabalho apresenta a especificação da Perspectiva Empresarial do *framework* RM-ODP, para um sistema de redução de congestionamento de veículos e utiliza o Simulador de Mobilidade Urbana (SUMO) para mostrar como a VGI pode contribuir com a gestão do tráfego urbano. Essa ação visa a transformação de cidades de pequeno e médio porte em cidades inteligentes, possibilitando, melhoria na vida dos cidadãos além de produtos e serviços de qualidade.

## ABSTRACT

RABELO, Aly Camilo Soares, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2018. **Integrate Volunteered Geographic Information with Spatial Database Infrastructure as Support for Managing Smart Cities of Medium and Small Size.** Advisor: Jugurta Lisboa Filho.

The increasing on vehicle congestion levels in the recent years brings an alert to a problem that affects several cities around the world. In this context, Volunteered Geographic Information (VGI) emerges as an important tool to develop solutions that lead to the reduction of vehicle congestion. Projects such WAZE and Google Maps are solutions that use VGI and provide efficient mobility to citizens, especially in large cities. Spatial Data Infrastructure (SDI) is a system that integrates spatial data from different sources, so it allows access and sharing of spatial data and services. This research proposes a collaborative SDI, that is, enriched with VGI. It aims the availability of municipal databases that can be used as support for the development of smart applications. The current work presents the Enterprise Viewpoint specification of the framework Reference Model of Open Distributed Processing (RM-ODP) for integrating VGI with a municipal SDI. Moreover, it uses the Simulator Mobility Urban (SUMO) to show how VGI can contribute to urban traffic management. This research aims to transform small and medium-sized cities into smart cities, enabling improvement in citizens' lives as well as quality products and services.

## 1 INTRODUÇÃO

O processo de urbanização cada vez mais crescente nas últimas décadas traz grandes desafios para os gestores municipais. A Organização Mundial de Saúde (OMS) estima que atualmente existam mais de 7 bilhões de pessoas no mundo (WHO, 2016). Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), metade dessa população reside em área urbana e a expectativa é que até 2050 esse número atinja 70% (SETO, GÜNERALP e HUTYRA, 2012).

Grande parte dos centros urbanos não está devidamente preparado para suportar um aumento expressivo do número de habitantes. Os principais serviços como segurança, água, esgoto, transporte, educação, quando existentes, possuem deficiências. Tais problemas exigem que medidas sejam tomadas a fim de amenizar a situação. O congestionamento de veículos é um desses problemas atuais, que afeta várias cidades no mundo.

Segundo TOMTOM (2016), apenas 25 (6,4%) das 390 cidades em que atuam, tiveram um decréscimo do nível de congestionamento no ano de 2016. Isso, considerando o período de 2014 a 2016. Já outras 39 (10%) cidades mantiveram sem nenhuma alteração. No Brasil, a empresa monitora nove capitais: Rio de Janeiro, Salvador, Recife, Fortaleza, São Paulo, Belo Horizonte, Porto Alegre, Brasília e Curitiba. Dessas, apenas Salvador e Recife tiveram um decréscimo de 3% e 6%, respectivamente, no nível de congestionamento neste período. As cidades de Rio de Janeiro e Belo Horizonte se mantiveram com mesmo nível de congestionamento e, nas demais, verificou-se um acréscimo no nível de congestionamento: Fortaleza 2%, São Paulo 1%, Porto Alegre 3%, Brasília 1% e Curitiba 2%. A Figura 1 ilustra os níveis de congestionamento nas nove capitais monitoradas pela TOMTOM. Percebe-se que Rio de Janeiro é a cidade com maior nível de congestionamento dentre as capitais enquanto Curitiba tem o menor nível.

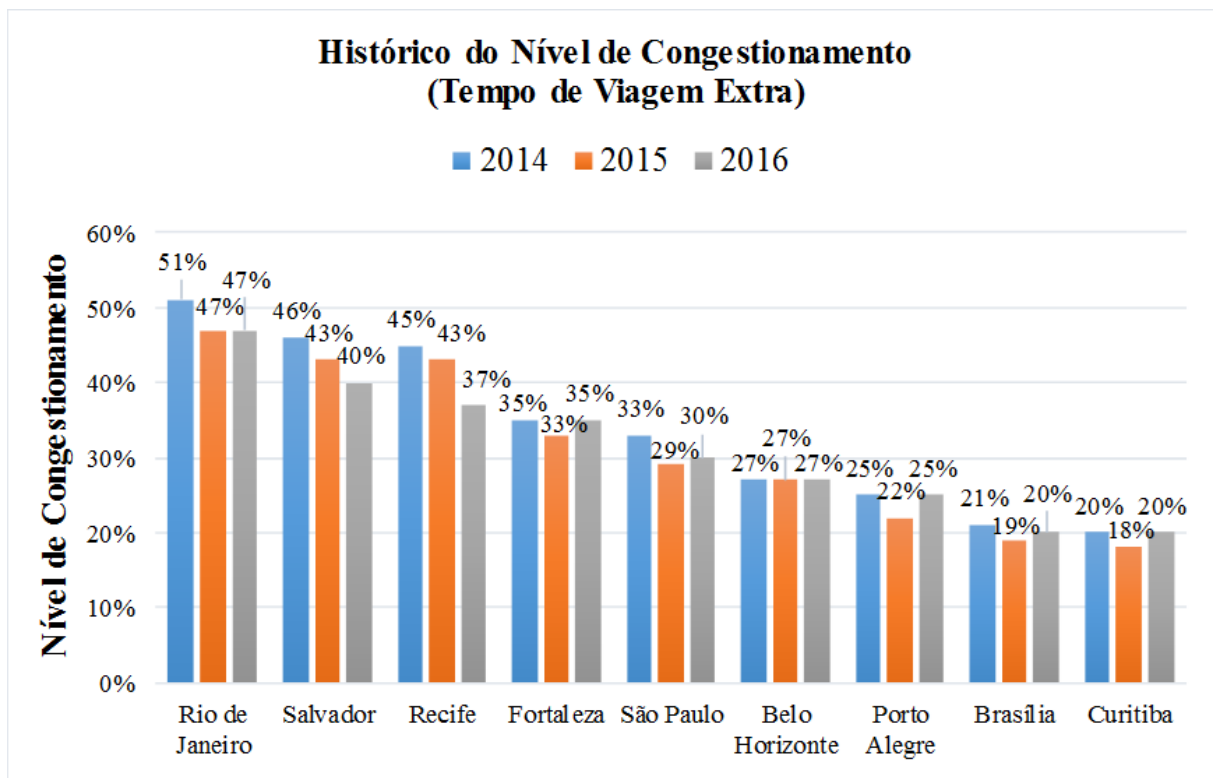


Figura 1 – Nível de Congestionamento de Veículos  
Fonte: Adaptado de (TOMTOM, 2016)

### 1.1 O Problema e sua Importância

Os engarrafamentos acarretam em perda de tempo, no consumo de combustível e principalmente na redução na qualidade de vida dos cidadãos. Soluções com intuito de aumentar a eficiência no deslocamento urbano são de grande utilidade para as pessoas. Esforços progressivos têm sido realizados nas últimas décadas por parte dos governos, empresas e universidades para desenvolver soluções que alinhem tecnologia e desenvolvimento sustentável. Tais ações estão inseridas no contexto de transformação de cidades com gestão tradicional em cidades inteligentes (CARAGLIU, DEL BO e NIJKAMP, 2011) (PÉREZ-MARTÍNEZ, MARTÍNEZ-BALLESTÉ e SOLANAS, 2013).

Algumas iniciativas, como em Pérez et al. (2013) e Kyriazopoulou (2015), visam a criação de serviços e aplicações inteligentes. Tais aplicações permitem que as cidades se tornem mais sustentáveis e que os cidadãos tenham acesso a serviços de melhor qualidade e de forma eficiente. No Brasil, geralmente, cidades de médio e pequeno porte recebem menos recursos financeiros do que cidades de grande porte (IPEA, 2008), (MOTTA e MATA, 2008). Isso não impede que essas cidades menores possam se transformar em cidades inteligentes. Assim, é necessário maior incentivo e maior investimento por parte de todos na criação de serviços inteligentes para as cidades.

As cidades inteligentes utilizam as Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) como ferramentas fundamentais para “detectar, analisar e integrar dados e informações base para a execução das cidades” (SU, LI e FU, 2011). Desenvolver cidades inteligentes é uma atividade complexa por envolver diversas áreas e diferentes partes interessadas. A identificação e a colaboração das partes interessadas de uma cidade inteligente permite que os conceitos básicos da literatura sejam contemplados durante o processo de especificação, auxiliando a transformação e a evolução da cidade.

O Open Geospatial Consortium (OGC) define uma cidade inteligente como “a composição de sistemas físicos, digitais e humanos de modo integrado para desenvolver áreas urbanas, com a finalidade de criar um futuro mais próspero, sustentável e inclusivo” (PERCIVALL et al., 2015). Uma Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE) é uma plataforma que integra informação espacial de diferentes fontes e pode ser utilizada para planejamento e para tomada de decisões em uma cidade (TAO, 2013). A combinação de IDE com Informação Geográfica Voluntária (VGI - Volunteered Geographic Information) pode auxiliar na transformação e manutenção de uma cidade inteligente.

Nos últimos anos, as aplicações que utilizam VGI como solução para problemas de congestionamentos de veículos estão ganhando mais notoriedade. Indivíduos munidos com dispositivos com GPS e com acesso à Internet podem colaborar com informações nesses tipos de aplicações. O WAZE<sup>1</sup> e o Google Maps<sup>2</sup> são exemplos de aplicações gratuitas dessa categoria. Ambos utilizam dados gerados pelos usuários e exibem a situação do trânsito e fatos potenciais, que podem causar congestionamentos. Com essas informações, o usuário pode optar por seguir determinado trecho ou buscar uma nova rota.

## 1.2 Objetivos

O objetivo geral desta pesquisa é integrar VGI com IDE visando criar bases de dados municipais que possam servir de apoio para o desenvolvimento de aplicações inteligentes, a fim de possibilitar que cidades pequenas e médias possam iniciar sua transformação em *smart cities*.

Especificamente, pretende-se:

- utilizar a Perspectiva Empresarial do *framework Reference Model of Open Distributed Processing* (RM-ODP) para especificar a integração de VGI com IDEs locais, ou seja, IDEs de âmbito municipal;

---

1 <https://www.waze.com>

2 <https://www.google.com/maps>

- utilizar um simulador de mobilidade urbana para mostrar como a VGI pode contribuir com a redução de congestionamento de veículos, melhorando a gestão do tráfego urbano, tendo como estudo de caso a cidade de Viçosa-MG;
- propor um modelo para propiciar que cidades de porte médio e pequeno possam se tornar mais inteligentes.

### **1.3 Estrutura da Dissertação**

O restante da dissertação está organizado como segue. O Capítulo 2 expõe a fundamentação teórica dos principais termos, definições e conceitos utilizados nesse trabalho e apresenta trabalhos relacionados com o tema desta dissertação. O Capítulo 3 apresenta a ideia elementar da proposta deste trabalho. O Capítulo 4 mostra a aplicação da proposta utilizando como estudo de caso a cidade de Viçosa – MG, Brasil. O Capítulo 5 apresenta as conclusões gerais e trabalhos futuros.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo são apresentados conceitos e técnicas utilizados nesta dissertação. A Seção 2.1 descreve os principais conceitos, requisitos relevantes, indicadores e domínios relacionados a cidades inteligentes. A Seção 2.2 apresenta conceitos e componentes de uma IDE. A Seção 2.3 traz conceitos associados à VGI destacando algumas de suas aplicações. A Seção 2.4 apresenta uma breve descrição das perspectivas do *framework* RM-ODP, destacando a Perspectiva Empresarial (PE) que é utilizada neste trabalho. A Seção 2.5 apresenta simuladores de mobilidade enfatizando na subseção 2.5.1 o SUMO (com suas funcionalidades e finalidades destacando as que serão utilizadas neste trabalho) bem como a interface de controle utilizada para manipulá-lo (TRACI). A seção 2.6 apresenta trabalhos cujos temas estão relacionados com esta pesquisa.

### 2.1 Cidades Inteligentes

O termo “cidades inteligentes” (*smart cities*) possui diversas propostas de definição. Segundo Caragliu, Del Bo e Nijkamp (2011), para que uma cidade seja inteligente ela deve ser capaz de proporcionar um crescimento econômico e sustentável de modo eficiente, proporcionando aos cidadãos maior qualidade de vida por intermédio de uma administração participativa capaz de gerir com sabedoria os recursos naturais investindo em capital humano e social e infraestrutura de informação e comunicação (TIC).

De acordo com o OGC compreende-se como cidade inteligente “a composição de sistemas físicos, digitais e humanos de modo integrado para desenvolver áreas urbanas, com a finalidade de criar um futuro mais próspero, sustentável e inclusivo” (PERCIVALL et al., 2015). Segundo (IBM, 2010), cidades inteligentes empregam o uso da tecnologia da informação e da comunicação para detectar, analisar e integrar a informações-chaves dos sistemas principais em execução nas cidades.

Segundo Manville et al. (2014) a cidade para ser classificada como uma cidade inteligente deve conter pelo menos uma iniciativa que atenda a uma ou mais das seguintes características ilustradas na Figura 2: Governança Inteligente (*Smart Governance*), Pessoas Inteligentes (*Smart People*), Vida Inteligente (*Smart Living*), Mobilidade Inteligente (*Smart Mobility*), Economia Inteligente (*Smart Economy*) e Ambiente Inteligente (*Smart Environment*).

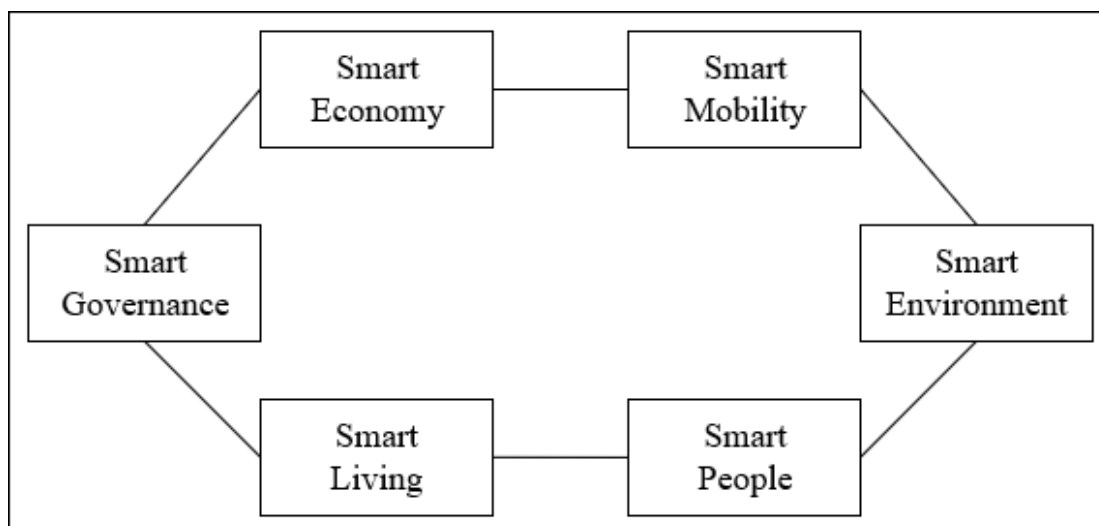


Figura 2 – Características que Determinam Cidades Inteligentes  
 Fonte: Laurini (2017)

A combinação dessas características sustentadas com a utilização das TICs possibilita a melhoria dos serviços em uma cidade, o que beneficia as partes interessadas (*stakeholders*) como empresas, comunidades e cidadãos (MANVILLE et al., 2014). A seguir são descritas cada uma das características presentes na Figura 2.

- **Governança Inteligente:** trata-se da integração e colaboração das diferentes partes interessadas (organizações públicas, privadas e civis, comunidades) permitindo o funcionamento efetivo e eficiente da cidade. As TICs são ferramentas indispensáveis para criação de soluções (produtos e serviços) inteligentes para a cidade, estreitando a comunicação entre diversos sistemas alimentando-se de dados abertos e transparentes de diferentes fontes. Essa característica pode conduzir e integrar as demais características inteligentes.
- **Economia Inteligente:** refere-se às atividades comerciais e financeiras da cidade, o que inclui comércio eletrônico (*e-commerce*) e negócio eletrônico (*e-business*), à criação de novos modelos de negócio, novos produtos e serviços apoiados pelas TICs, à eficiência produtiva. A Economia Inteligente também engloba as iniciativas empreendedoras como as *Startups* e a “interconectividade global e local de fluxos de bens físicos e virtuais, serviços e conhecimento” (LAURINI, 2017).
- **Mobilidade Inteligente:** remete a sistemas de transporte e logística integrados apoiados por TICs. Sistemas de transporte sustentáveis (como veículos movidos a energia solar e renováveis e não motorizados, como as bicicletas), seguros e interconectados que podem englobar: trens, metrô, navios, aviões, carros e pedestres podendo usar múltiplos meios de transporte. Aplicações onde os cidadãos podem ter acesso a

informações relevantes e em tempo real permitindo economizar tempo, reduzir custos, diminuir a emissão de CO<sub>2</sub>, proporcionando um deslocamento eficiente. Os cidadãos podem fornecer suas próprias informações de modo voluntário (VGI) em tempo real, contribuindo para o planejamento e melhoria dos sistemas de mobilidade da cidade.

- **Ambiente Inteligente:** inclui fontes de energias inteligentes, renováveis (solar, eólica, etc.), monitoramento e controle da poluição do meio ambiente, construções e planejamento urbano verdes, reutilização e substituição de matéria prima para os fins citados acima e o uso eficiente dos recursos disponíveis proporcionando melhorias no saneamento básico para os cidadãos.
- **Pessoas Inteligentes:** entende-se por indivíduos com habilidades eletrônicas (*e-skills*), que trabalham utilizando TICs, que possuem acesso a educação, treinamento, recursos humanos, em uma sociedade inclusiva que estimula a criatividade e inovação. Esse atributo também pode incluir pessoas e comunidades que manipulam dados através de ferramentas de análises com objetivo de tomar decisões e, criar produtos e serviços.
- **Vida Inteligente:** trata-se do estilo de vida (comportamento) com apoio das TICs. Viver em uma habitação de boa qualidade mantendo uma vida saudável, com segurança, em uma cidade que estimule a participação em eventos culturais e proporcione o conhecimento cultural, faz parte dessa característica. Os altos níveis de coesão e capital social também fazem parte de uma vida inteligente.

Uma cidade inteligente deve permitir aos cidadãos uma melhor qualidade de vida mantendo um ambiente sustentável. A Subseção 2.1.1 apresenta algumas condições necessárias para se ter uma cidade inteligente.

### 2.1.1 Requisitos de uma Cidade Inteligente

Os requisitos são peças fundamentais para a construção de sistemas para uma cidade inteligente (KYRIAZOPOULOU, 2015). Eles são primordiais a fim de integrar as funcionalidades que têm como objetivo suprir necessidades da cidade, principalmente dos cidadãos.

Kyriazopoulou (2015) identificou um conjunto de dez requisitos comumente encontrados na literatura para implementar um modelo ou aplicações inteligentes para cidades. São eles: coleta de dados (*data collection*), transmissão e processamento de dados (*data streaming and processing*), segurança de dados (*data security*), monitoramento (*monitoring*), heterogeneidade (*heterogeneity*), adaptação (*adaptation*), sustentabilidade (*sustainability*),

interoperabilidade (*interoperability*), satisfação do usuário (*user satisfaction*) e, orientada para a cidade (*city oriented*). A seguir, é apresentada uma breve descrição de cada requisito.

- **Coleta de dados** é uma atividade básica em uma cidade inteligente. Esta atividade deve suportar dados de diferentes tipos e dimensões, permitindo análises para identificação de problemas a fim de possibilitar melhorias. Diferentes fontes podem ser utilizadas para coleta de dados. Por exemplo, sistemas físicos que capturam dados em tempo real como sismógrafos, radares, pluviômetros, dentre outros. Outra forma de contribuição é com a participação do cidadão por meio de aplicações com suporte a VGI.
- **Transmissão e processamento de dados** diz respeito à capacidade de acesso aos dados e análise de fluxos de transmissão das fontes de coletas de dados distribuídos.
- **Segurança de dados** é um dos requisitos mais importantes. Os sistemas não devem permitir acesso a dados confidenciais do cidadão. Para garantir a proteção desses dados podem ser utilizadas técnicas de criptografia, mecanismos de autenticação e controle de acesso.
- **Monitoramento** em tempo real de cidades inteligentes é fundamental para estimar e prever situações para tomada de decisão imediata. As tecnologias móveis, as redes de identificação por rádio frequência (RFID) e os dispositivos inteligentes são os principais facilitadores para cumprir este requisito.
- **Heterogeneidade** diz respeito à capacidade de tratar com diferentes dispositivos e diferentes fluxos de informação em uma cidade inteligente.
- **Adaptação** refere-se à capacidade de reação ou mudança na ocorrência de determinado evento. Adaptação é possível com a utilização de sensores, técnicas de predição e mineração de dados.
- **Sustentabilidade** refere-se à aspectos sociais como prestação de serviços de transporte, saúde, segurança, educação, etc.; aspectos financeiros como investimentos, criação de novos empregos, etc. e; aspectos ambientais relacionados à eficiência energética e à gestão dos recursos naturais. Esses aspectos devem ser apoiados pelas TICs.
- **Interoperabilidade** diz respeito à capacidade de “interação” simultânea entre diferentes dispositivos conectados. Essa interação é facilitada com a utilização de protocolos e padrões que permitem o compartilhamento de informações.
- **Satisfação do usuário** está relacionado à utilidade e à usabilidade do sistema. Uma cidade inteligente deve considerar necessidades e solicitações individuais, desde que

não sejam especificações técnicas. Os usuários devem ser distinguidos a fim de fornecer a cada um deles a resposta adequada.

- **Orientada para a cidade** trata-se do fornecimento de serviços e aplicações importantes para toda a cidade, englobando cada domínio separadamente. Esses serviços devem ser amplamente divulgados com o intuito de atrair atenção e o interesse do cidadão e de outras cidades.

É fato que estes requisitos podem não representar todas as necessidades, pois as cidades possuem diferentes problemas, características e recursos. Também é questionável o fato de que estes requisitos foram extraídos de um ponto de vista técnico e não consideram necessidades e preferências dos cidadãos. Dificilmente uma aplicação para cidade inteligente irá cumprir todos os requisitos necessários. Mesmo porque, as necessidades podem mudar ao longo do tempo.

### 2.1.2 Domínios e Indicadores

Segundo Giffinger (2007) os indicadores são fundamentais para identificar áreas “deficientes” em uma cidade. Dados como taxa de desemprego, níveis de gás carbônico (CO<sub>2</sub>), números de homicídios assim como tantos outros, podem ser úteis para criar aplicações inteligentes e acelerar o processo de tomada de decisão pela administração pública.

O documento “ISO/DIS 37120 Desenvolvimento sustentável e resiliência nas cidades – Indicadores para serviços e qualidade de vida” (*Sustainable development and resilience in cities – Indicators for city services and quality of life*), lista uma série de indicadores juntamente com um método de avaliação de cada indicador (ISO/DIS 37120, 2013). Os indicadores são agrupados em temas ou áreas de interesse que também podem ser chamados de domínios, são eles: economia (*economy*), educação (*education*), energia (*energy*), meio ambiente (*environment*), lazer (*recreation*), segurança (*safety*), abrigo (*shelter*), lixo sólido (*solid waste*), telecomunicações e inovação (*telecommunications and innovation*), finança (*finance*), incêndio e resposta a emergência (*fire and emergency response*), governança (*governance*), saúde (*health*), transporte (*transportation*), planejamento urbano (*urban planning*), águas residuais (*wastewater*), água (*water*) e saneamento (*sanitation*). Cada domínio possui 2 grupos de indicadores: indicadores principais (*core indicators*), definidos como fundamentais e, indicadores de apoio (*supporting indicators*), definidos como recomendados. Ambos são utilizados para demonstrar o desempenho na prestação de serviços e na qualidade de vida na cidade. Este trabalho aborda indiretamente o domínio Transporte com o problema do congestionamento de veículos. A Tabela 1 mostra os indicadores fundamentais e recomendados do domínio de Transporte.

Tabela 1 – Indicadores do Domínio Transporte  
 Fonte: (ISO/DIS 37120, 2013)

	<b>Indicadores principais</b>	<b>Indicadores de apoio</b>
<b>Transporte</b>	Quilômetros de sistemas de transporte público de alta capacidade por 100.000 (cem mil) habitantes	Divisão modal (porcentagem de passageiros usando um modo de viagem diferente de um veículo pessoal)
	Quilômetros de sistema de transporte rápido de passageiros por 100.000 (cem mil) habitantes	Número de veículos motorizados de duas rodas per capita
	Número anual de viagens de transporte público per capita	Quilômetros de ciclovias e pistas por 100.000 (cem mil) habitantes
	Número de automóveis pessoais per capita	Fatalidades do transporte por 100.000 (cem mil) habitantes
		Conectividade aérea comercial (número de destinos aéreos comerciais sem parada)

A rede de transporte de uma cidade fornece uma visão do tráfego de veículos e a flexibilidade dos sistemas de transporte. Apesar das cidades médias e pequenas normalmente não possuírem tantos veículos quanto em grandes cidades, os problemas enfrentados no trânsito podem ser os mesmos. Os indicadores são de grande importância para medição do gerenciamento de desempenho dos serviços e da qualidade de vida nas cidades, possibilitando comparações de várias medidas de desempenho e permitindo o compartilhamento de boas práticas. É importante salientar que nem todos os indicadores fundamentais e funcionais podem ser de interesse para uma determinada cidade. Do mesmo modo, pode haver indicadores de interesse para uma cidade que não sejam descritos na ISO/DIS 37120 (2013).

## **2.2 Infraestrutura de Dados Espacial (IDE)**

Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE) é uma iniciativa que possui como objetivo a estruturação de um ambiente onde haja a cooperação e interação com a tecnologia pelas partes interessadas, a fim de atingir os seus objetivos. Ela permite o compartilhamento irrestrito de dados que beneficiam os usuários em economia de tempo, recursos e esforços quando necessitam de novos conjuntos de dados. Além disso, uma característica importante de uma IDE é a anulação da duplicação de despesas relacionadas à geração e manutenção de dados, e a integração com outros conjuntos de dados. Essa redução de duplicações juntamente com a facilidade para produzir aplicativos novos e inovadores pode permitir que uma IDE proporcione economias e retornos significativos (RAJABIFARD e WILLIAMSON, 2001).

Para Rajabifard e Williamson (2001), as IDEs são compreendidas de formas diferentes pelas partes interessadas de diferentes áreas. Várias entidades e pesquisadores buscam o entendimento e a essência de uma IDE advindos dos vários conceitos em diferentes contextos. Uma IDE pode ser definida como um somatório de políticas, normas, padrões, recursos humanos, tecnologias e procedimentos para promover a utilização mais eficiente, o gerenciamento, e a produção de dados geoespaciais que envolve vários níveis do governo, além dos setores públicos e privados (FGDV, 1998).

De acordo com o Decreto Brasileiro No 6666, de 27 de novembro de 2008, uma IDE é “um conjunto integrado de tecnologias, políticas, mecanismos e procedimentos de coordenação e monitoramento, padrões e acordos, necessário para facilitar e ordenar a geração, o armazenamento, o acesso, o compartilhamento, a disseminação e o uso dos dados geoespaciais de origem federal, estadual, distrital e municipal” (CONCAR, 2010).

As IDEs permitem a criação de projetos em diversas áreas no mundo. Pérez et al. (2013) utilizaram a IDE como eixo central para construir serviços inteligentes em uma cidade. A proposta de Pérez et al. (2013) se baseia na experiência de desenvolvimento da IDE da cidade de Zaragoza (IDEZar) na Espanha (FERNÁNDEZ et al., 2006) e (PELLICER, ÁLVAREZ e MURO-MEDRANO, 2006). A proposta permite a criação de uma série de serviços e aplicações inteligentes para a cidade.

De acordo com Rajabifard e Williamson (2001) e Béjar et al. (2012) as IDEs podem ser classificadas seguindo hierarquias, onde os dados gerados em níveis mais alto podem ser utilizados nos níveis inferiores e os dados produzidos nos níveis mais baixos podem ser utilizados nos níveis superiores. Isso significa que não há restrições quanto ao uso dos dados em IDEs de diferentes níveis. A Figura 3 mostra os níveis hierárquicos que uma IDE pode pertencer.



Figura 3 – Hierarquia das IDEs  
Fonte: Adaptado de Rajabifard e Williamson (2001)

Por exemplo, a IDEZar é classificada como uma IDE local. Para Rajabifard e Williamson (2002), uma IDE de nível regional e de nível global assemelha “ao nível estratégico de uma estrutura organizacional”. Uma IDE nacional pode ser comparada tanto com “níveis gerenciais quanto estratégicos, dependendo do sistema político”. As IDEs de níveis locais e estaduais se assemelham com nível operacional de uma estrutura organizacional, onde ambos os níveis produzem dados para níveis superiores da hierarquia de uma IDE. Além disso, uma IDE estadual pode ter maiores atribuições devido “ao poder e às responsabilidades dos estados podendo imitar o gerenciamento e os níveis organizacionais operacionais em todo estado”.

VGI integrada à IDE pode auxiliar e proporcionar o desenvolvimento de aplicações inteligentes. Se uma determinada cidade não possui uma IDE local, o que é bem provável na maioria das cidades, implantar uma IDE com dados sobre o arruamento (malha viária) seria o primeiro passo visando a sua transformação em uma cidade inteligente.

### **2.3 Informação Geográfica Voluntária (VGI)**

A evolução tecnológica nos últimos anos tem proporcionado que cidadãos se tornem fontes importantes geradoras de informação. Seja para caráter pessoal, como em uma rede social onde os usuários postam fotografias, compartilham e trocam mensagens entre si, seja como colaboradores visando um propósito abrangente de caráter científico onde diversas entidades e usuários buscam e produzem informações que podem agregar valor se adequadamente explorados.

Nos últimos anos, principalmente em decorrência do avanço tecnológico, as informações geradas pelos cidadãos estão ganhando notabilidade e utilidade (ATTARD, HAKLAY e CAPINERI, 2016). Essas informações, batizadas como Informação Geográfica Voluntária (*Volunteered Geographic Information - VGI*), enriquecem muitos projetos que originaram serviços e aplicações que possuem grande utilidade. Segundo Gal-Tzur et al. (2014), o papel da VGI é de grande importância em diversos setores, como economia, política e segurança englobando também o transporte e a mobilidade.

O projeto Wikimapia<sup>3</sup> é um clássico exemplo da utilização de VGI, onde qualquer usuário munido de um aparelho com acesso à Internet pode incluir e editar informações relativas à superfície terrestre (Goodchild, 2007). Apesar dessa aparente “liberdade” de utilização, a base de dados do Wikimapia é de propriedade particular. Os usuários não podem copiar, salvar ou distribuir as informações, apenas podem visualizar suas contribuições em um mapa.

---

<sup>3</sup> <http://www.wikimapia.org>

O OpenStreetMap<sup>4</sup> (OSM) é outro projeto que utiliza VGI, mas diferentemente do Wikimapia, ele possui sua base de dados aberta (*open data*). Além de permitir que usuários criem e editem informações, ele também proporciona a cópia, o arquivamento e o compartilhamento. Essa característica é importante pois permite que qualquer usuário possa realizar análises detalhadas dos mapas, possibilitando o desenvolvimento de pesquisas e projetos diversos.

#### **2.4 Framework RM-ODP**

As arquiteturas para cidades inteligentes podem ser construídas baseando-se em diferentes perspectivas (SILVA et al., 2013). O Modelo Referência de Processamento Aberto Distribuído (*Reference Model of Open Distributed Processing - RM-ODP*) é um *framework* que auxilia o desenvolvimento de qualquer tipo de sistema, de preferência sistemas grandes e complexos (LININGTON et al., 2011). Nesta pesquisa, o RM-ODP é utilizado para especificar a integração de VGI com IDE para formar a base para o desenvolvimento de aplicações inteligentes.

O *framework* RM-ODP consiste de cinco perspectivas: a Perspectiva Empresarial (PE) define a finalidade, o escopo e política para o sistema; a Perspectiva Informação (PI) define a semântica e a interação dos dados no sistema; a Perspectiva Computação (PC) “permite a decomposição do sistema em um conjunto de serviços que interagem por meio de interfaces”, desconsiderando a distribuição; a Perspectiva Engenharia (PN) define as ferramentas e as funções necessárias para a interação de diferentes serviços e dados do sistema e; a Perspectiva Tecnologia (PT) define as tecnologias para implementar o sistema (HJELMAGER et al., 2008). A Figura 4 ilustra as cinco perspectivas do RM-ODP, tendo em destaque a PE que é utilizada nesta pesquisa. A especificação da PE é o primeiro passo para criação de um modelo que combine IDE com VGI para cidades inteligentes.

---

4 <http://www.openstreetmap.org>

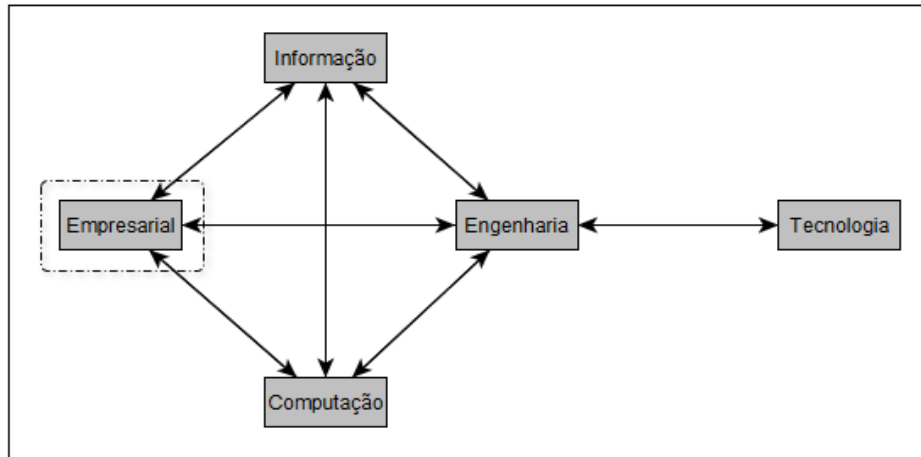


Figura 4 – Perspectivas do *Framework* RM-ODP  
 Fonte: Adaptado de (Hjelmager et al., 2008)

De acordo com Hjelmager et al. (2008) e Linington et al. (2011), a PE faz referência a qualquer tipo de atividade mais abstrata no desenvolvimento de um sistema, como especificação dos requisitos do sistema, políticas, componentes em alto nível, etc. Na PE são especificados os atores (*stakeholders*) que possuem interesse no sucesso do sistema, sejam estes atores usuários, contribuintes ou desenvolvedores do sistema. Além disso, a PE deve demonstrar o propósito do sistema, os requisitos necessários para o sistema e os tipos de relações que os atores possuem com o sistema.

Para desenvolver sistemas existem restrições e estas podem surgir de processos de negócio, que são conjuntos de tarefas interligadas para fornecer produtos ou serviços e normas organizacionais, como acordos, parcerias, políticas de segurança, etc. Para combinar diferentes restrições a especificação da PE consiste de um conjunto inter-relacionado de comunidades (LININGTON et al., 2011).

As comunidades, que são regidas por um contrato, definem os comportamentos dos grupos de participantes para cumprir um objetivo específico. O contrato expressa as obrigações dos envolvidos no sistema, além das condições do próprio sistema, como segurança e eficiência. A Figura 5 ilustra os elementos envolvidos na especificação de uma comunidade em relação ao evento de “Reparação de Telefone”. Normalmente, o comportamento da comunidade é definido por uma composição de processos. O processo resultante dessa composição é representado como atividade UML para sistemas ODP através do estereótipo <<EV\_Process>>. Esse processo também é especificado por papéis da comunidade. Os papéis definem como os objetos (comunidades, atores, etc.) devem se comportar e interagir para atingir um objetivo. Para definir um papel na nomenclatura ODP utiliza-se o estereótipo <<EV\_Role>>.

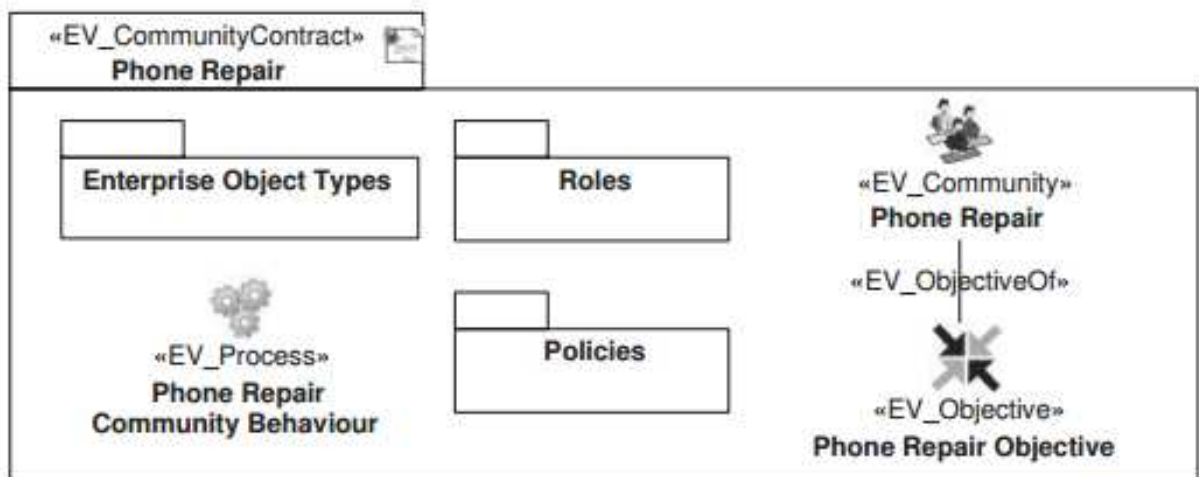


Figura 5 – Especificação de uma Comunidade  
 Fonte: Linington et al., 2011

As políticas na PE são representadas pelas regras ou restrições no processo de concepção do sistema. Essas podem ser modificadas para ajustar a eventuais necessidades ao longo do processo de concepção.

Os atores identificados por Hjelmager et al. (2008) assumem diferentes papéis no sistema: o Produtor (Producer) é “responsável por produzir dados ou serviços para o sistema”; o Criador de Políticas (*Policy Maker*) é “responsável por definir as políticas e os envolvidos do sistema”; o Fornecedor (*Provider*) é “responsável por fornecer dados ou serviços para os usuários do sistema”; o Intermediador (*Broker*) é “responsável pelas negociações entre o Usuário (*User*) e o Fornecedor, além de manter e publicar registros de metadados colhidos de produtores e fornecedores, e criar catálogos prestando serviços com base nesses catálogos”; o Revendedor de Valor Agregado – RVA (*Value Added Reseller*) é “responsável por adicionar novos recursos aos produtos, tornando-os disponíveis como novos produtos” e; o Usuário Final (*End User*) é o utilizador do sistema para seu propósito.

Cooper et al. (2011) estenderam o modelo de Hjelmager et al. (2008) a fim de incluir o componente VGI pois os atores originais não satisfaziam a representação dos papéis na proposta original. Os atores foram especializados e podem assumir diversos papéis (funções) simultaneamente em IDE que utiliza VGI. As subseções a seguir descrevem os atores e suas especializações. As aplicações virtuais para compartilhamento de dados surgidas com a evolução da Internet e o aumento de custos para mapeamento foram o que motivaram para a inclusão de VGI em IDE.

## 2.4.1 Produtor

O Produtor foi classificado em 4 grupos: Status, Motivação (*Motivation*), Papel (*Role*) e Habilidade (*Skill*). A Figura 6 mostra os possíveis atores em cada um dos grupos. O grupo Status possui 4 atores: a Agência de Mapeamento Oficial (*Official Mapping Agency*), organização responsável por captar, mapear e produzir dados de forma consistente; a Agência de Mapeamento Comercial (*Commercial Mapping Agency*), entidade que comercializa dados e produtos objetivando o lucro; a Comunidade de Interesse (*Community Interest*), grupo de contribuintes que colaboram em grande parte com a produção de dados em pequena escala de uma área restrita ou global especialmente através da VGI e; a Fonte de Informação (*Crowd Source*), qualquer pessoa que queira contribuir com dados de acordo com especificações preestabelecidas pela IDE.

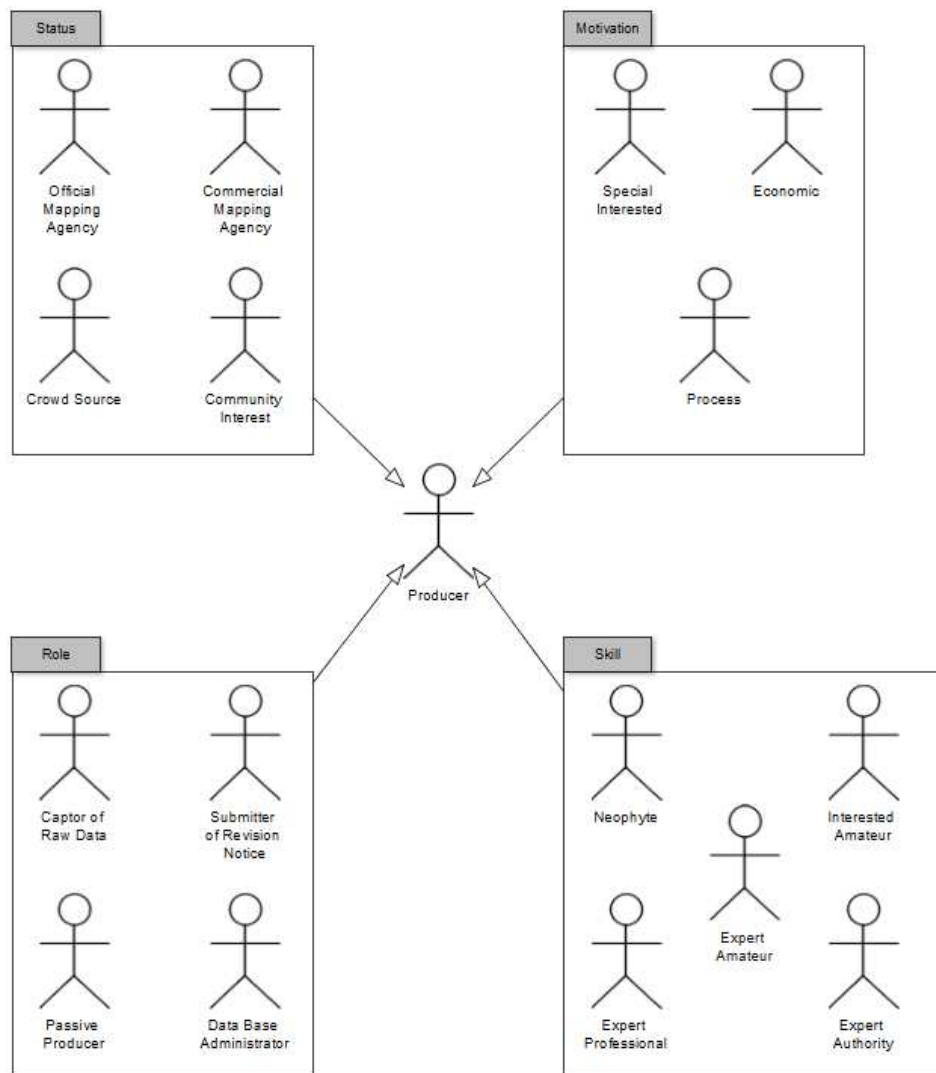


Figura 6 – Especializações do Ator Produtor  
Fonte: Cooper et al. (2011)

O grupo Motivação é formado por 3 atores, conforme a motivação de cada um deles em produzir dados para a IDE: o ator Interesse Especial (*Special Interest*) produzirá dados ou informações para interesse próprio, como por exemplo, relatar o número de casos de Dengue em sua vizinhança ou a quantidade de buracos no asfalto de sua rua; o ator Econômico (*Economic*) produzirá dados com propósito financeiro, seja através da comercialização ou através da utilização e; o ator Processo (*Process*) produzirá dados com interesse no modo de captura dos dados.

O grupo Papel é especializado em 4 atores onde cada um possui sua função na produção de dados ou serviços geoespaciais: o Captador de Dados Brutos (*Captor of Raw Data*), responsável por produzir, descrever e categorizar dados geoespaciais como imagens georeferenciadas, dados vetoriais e matriciais; o Notificador de Notas de Revisão (*Submitter of Revision Notice*), responsável por fazer a revisão ou correção de dados em uma IDE. Essa atividade inclui principalmente a participação dos cidadãos através da VGI para melhoria imediata dos dados; o Produtor Passivo (*Passive Producer*), responsável por produzir dados através de dispositivos móveis como celulares, tablets e GPS automotivos que são rastreados por um provedor de serviços que monitora fluxos de tráfegos, congestionamento de redes, etc. Isso pode levar a questões relacionadas à privacidade e; o Administrador de Banco de Dados (*Data Base Administrator*) é responsável por garantir a consistência, criação e verificação das regras da base dados, ou seja, que todas as especificações sejam respeitadas.

O último grupo, Habilidade, foi especializado em 5 atores, segundo o seu nível de habilidade em produzir serviços e dados geoespaciais: o Principiante (*Neophyte*), apesar de não ter “nenhum conhecimento formal” sobre o assunto, possui disponibilidade e interesse em contribuir com dados e opiniões; o Amador Interessado (*Interested Amateur*), interessado em determinado assunto que busca conhecimento na literatura ou através de colegas e especialistas, em produzir dados geoespaciais; o Amador Especialista (*Expert Amateur*), experiente no assunto mas não tem como principal fonte de renda a produção de dados; o Profissional Especialista (*Expert Professional*), possui conhecimento e fundamentação teórica/prática na produção e comercialização de dados geoespaciais, atividades que são sua principal fonte de renda e; a Autoridade Especialista (*Expert Authority*), produtor renomado de dados e serviços de qualidade com grande conhecimento teórico e prático na área. Qualquer erro, poderá levá-lo a ser questionado (Cooper et al., 2011).

## 2.4.2 Criador de Políticas

O Criador de Políticas foi especializado em 4 atores, que são ilustrados na Figura 7: o Legislador (*Legislator*), uma entidade externa, interessado na IDE mesmo não sabendo sobre o assunto; o Tomador de Decisões (*Decision Maker*), comumente representado por um grupo de interessados dotados de conhecimento em criar políticas que conduzem o funcionamento de uma IDE; o Secretariado (*Secretariat*), responsável por financiar e contratar serviços para uma IDE mesmo após o seu início. Além disso, possui as funções de apoiar e acompanhar a implementação de políticas, facilitar a comunicação para fornecer um feedback entre os diferentes *stakeholders* e classifica-los e, ajudar na construção da IDE por meio de contratos garantindo o bom funcionamento dos processos e; o Defensor (*Champion*), responsável por incentivar os cidadãos (através da VGI por exemplo) à utilização de uma IDE (COOPER et al., 2011).

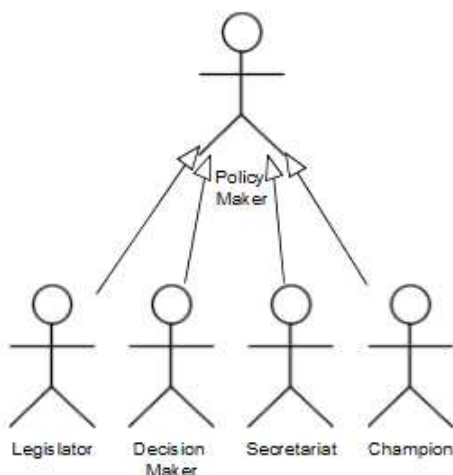


Figura 7 – Especializações do Ator Criador de Políticas  
Fonte: Cooper et al. (2011)

## 2.4.3 Fornecedor

O Fornecedor foi dividido em 2 grupos conforme é ilustrado na Figura 8: Fornecedor de Dados (*Data Provider*) e Fornecedor de Serviço (*Service Provider*). O grupo Fornecedor de Dados possui 3 atores: Um Produtor que é seu próprio Distribuidor de Dados (*A Producer that is its own Data Provider*), modelo comumente empregado por uma IDE, responsável por produzir e disponibilizar seus próprios dados; o Distribuidor de Dados (*Data Distributor*), responsável por cuidar da parte administrativa e representar o Produtor ao lidar com Usuários. Ele ainda detém dados e catálogos de metadados e é encarregado de disseminá-los e; o Árbitro de Dados (*Data Arbiter*), responsável por um criterioso processo de escolha dos conjuntos de

dados definidos por ele próprio. Durante o processo de seleção, não há adição ou alteração de valor aos produtos.

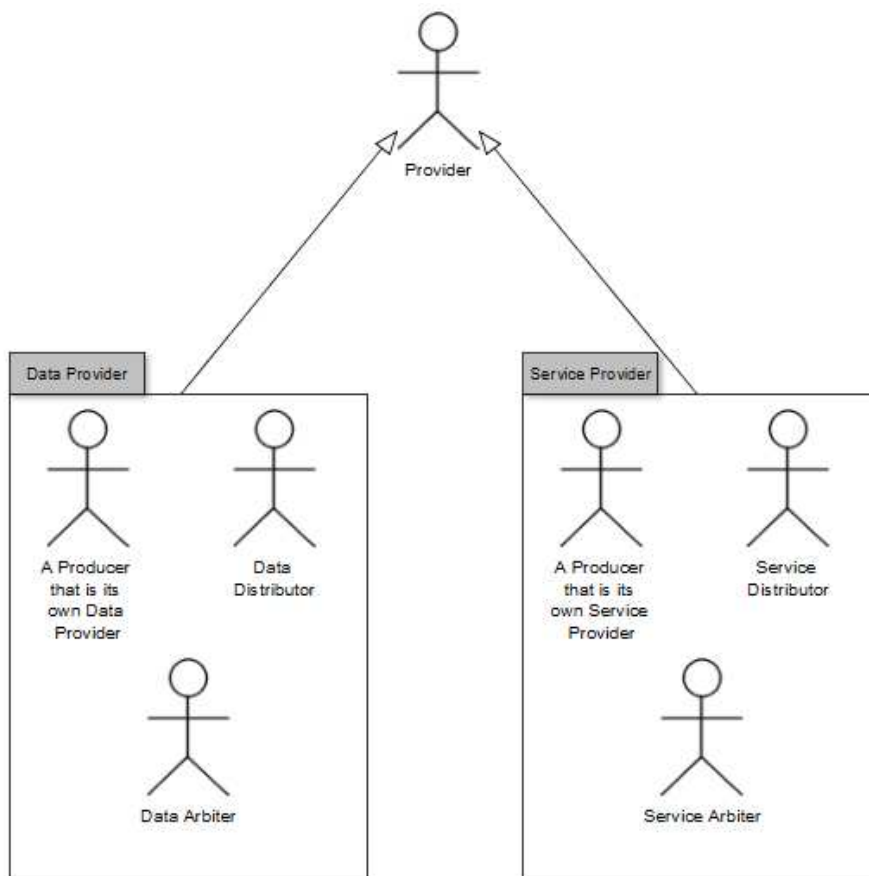


Figura 8 – Especializações do Ator Fornecedor  
Fonte: Cooper et al. (2011)

O grupo Fornecedor de Serviços também possui 3 atores: Um Produtor que é seu próprio Fornecedor de Informações (*A Producer that is its own Service Provider*), semelhante ao primeiro ator do grupo Fornecedor de Dados, a diferença é que este trabalha com serviços baseado em localização; o Distribuidor de Serviço (*Service Distributor*), responsável por disponibilizar em seus próprios websites ou servidores internos serviços desenvolvidos pelo Produtor e; o Árbitro de Serviço (*Service Arbiter*), possui função similar ao Árbitro de Dados porém, ao invés de dados ele lida com serviços (Cooper et al., 2011).

#### 2.4.4 Intermediador

O Intermediador foi especializado em 5 atores como é ilustrado na Figura 9: O Facilitador de *Crowd-sourcing* (*Crowd-sourcing Facilitator*), possui a função de intermediar a mão-de-obra necessária para realizar as tarefas a fim de atingir um objetivo; o Descobridor (*Finder*), foi especializado em 2 atores de acordo com o tipo de descoberta: O Descobridor de

Cientes/Usuários (*Clients/Users Finder*), é responsável por promover e realizar a venda dos produtos como dados e serviços geográficos de origem do Produtores, Fornecedores e RVAs para Usuários Finais e; o Descobridor de Fornecedores (*Providers Finder*), é responsável por encontrar novas fontes de produtos. O Coletor (*Harvester*), é responsável pela coleta e integração de dados e serviços; o Catalogador (*Cataloguer*), tem a função de “criar e manter catálogos” de dados e serviços e; o Negociador (*Négociant*), possui o papel de intermediar negociações de metadados entre Usuários Finais e Fornecedores. O Negociador também tem a função de “coletar de metadados de Produtores e de Fornecedores para criação e fornecimento de serviços baseados nos catálogos de metadados”.

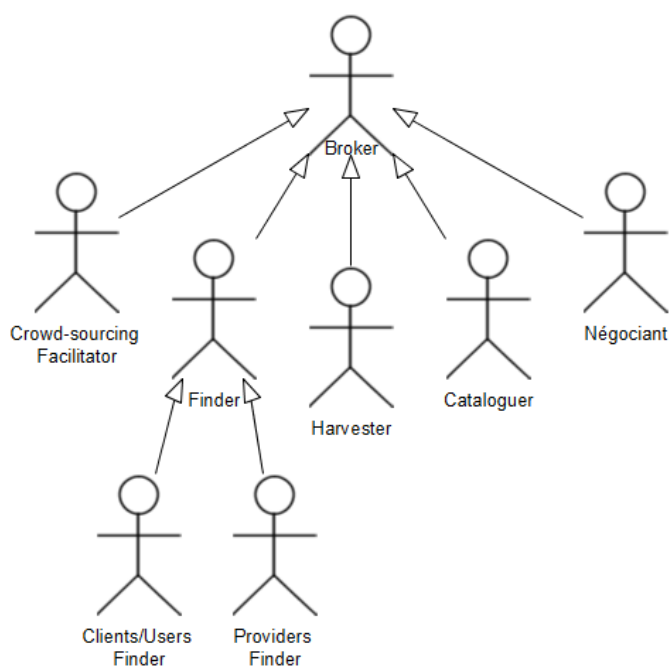


Figura 9 – Especializações do Ator Intermediador  
 Fonte: Cooper et al. (2011)

#### 2.4.5 Revendedor de Valor Agregado

O Revendedor de Valor Agregado (RVA) foi especializado em 2 atores, conforme é mostrado na Figura 10: O Publicador (*Publisher*), tem o papel de capturar, integrar e editar dados e informações geográficas podendo gerar novos produtos como mapas e serviços baseados em localização e; o Agregador/Integrador (*Aggregator/Integrator*), o qual por sua vez também possui duas especializações: o Integrador de Serviços (*Service Integrator*), responsável por integrar vários serviços muitas vezes localizados na nuvem e; o Agregador/Integrador de Dados e Metadados (*Data and Metadata Aggregator/Integrator*), possui o papel de selecionar, editar, integrar e melhorar dados e metadados e, disponibiliza-los como novos produtos de dados ou serviços.

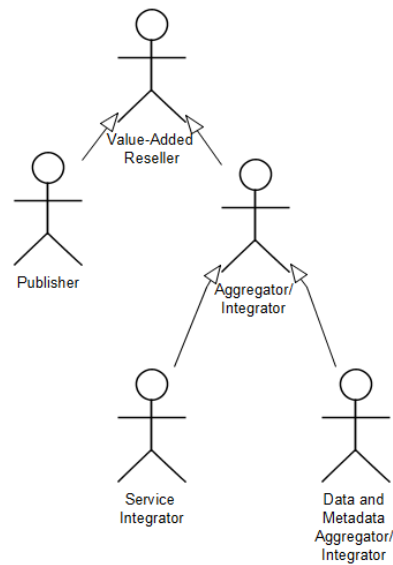


Figura 10 – Especializações do Ator Revendedor de Valor Agregado  
 Fonte: Cooper et al. (2011)

#### 2.4.6 Usuário Final

O Usuário Final foi especializado em 2 atores conforme seu conhecimento sobre dados e serviços geográficos: O Usuário Ingênuo (*Naive User*), tem limitações quanto ao conhecimento sobre a qualidade dos dados e serviços mesmo utilizando todos os recursos disponíveis e; o Usuário Avançado (*Advanced User*), especialista no domínio, possui experiência sobre dados e informações geoespaciais podendo fornecer críticas e sugestões sobre os produtos. A Figura 11 ilustra a especialização do ator Usuário Final.

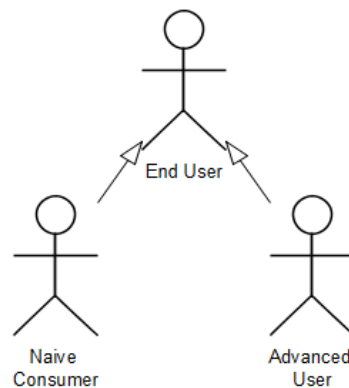


Figura 11 – Especializações do Ator Usuário Final  
 Fonte: Cooper et al. (2011)

Os atores e suas especializações possuem papel fundamental para combinar VGI com IDE. No entanto, isso não supre as necessidades para o desenvolvimento de cidades inteligentes.

## 2.5 Simuladores de Mobilidade Humana

Segundo o dicionário Oxford (2017) uma simulação pode ser definida como o ato de “imitar ou parecer real uma situação ou processo” ou como “a produção de um modelo de computador, especialmente para fins de estudo”. Portanto, um simulador de mobilidade reproduz a capacidade de um objeto em se locomover em determinada área em um espaço ou intervalo de tempo.

### 2.5.1 Simulation of Urban Mobility (SUMO)

O SUMO é um ambiente microscópico, ou seja, permite análise individual dos elementos (dinâmica dos veículos, comportamento dos pedestres e viajantes) que compõe a simulação de mobilidade urbana (KRAJZEWICZ et. al., 2002, KRAJZEWICZ et. al., 2012). A plataforma de código aberto (*open source*), implementada em C++, possui diversas funcionalidades permitindo análises como “avaliações de mudanças de infraestruturas e políticas antes de serem implementadas nas estradas (DLR, 2001)”. A Figura 12, apresenta a interface do SUMO com um ambiente artificial com veículos.

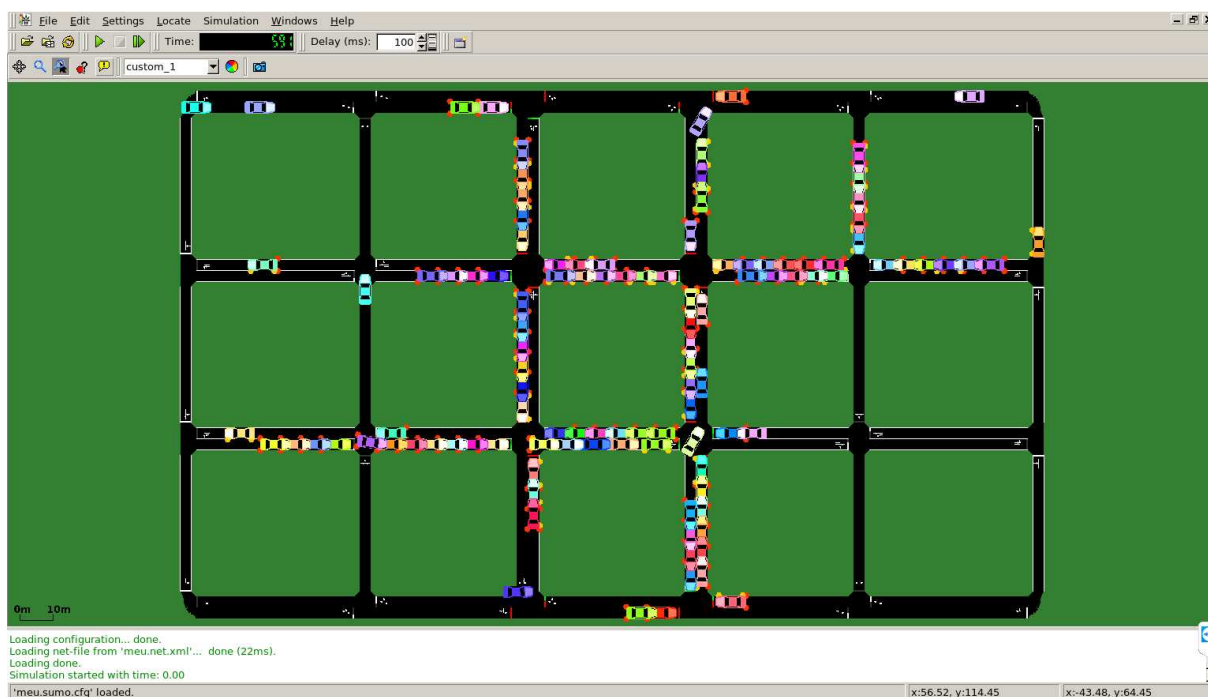


Figura 12 – Interface do SUMO – Ambiente Artificial  
Fonte: A autoria própria

O SUMO permite a simulação de tráfego de diferentes meios de transporte como veículos rodoviários, transporte públicos e pedestres. Além disso o SUMO contém ferramentas que lidam com busca de rotas, visualização do ambiente, importação de rede (configurações de

semáforos, áreas do OpenStreetMap), análise de emissões de poluentes dos veículos, dentre outras. Ele permite a criação e aprimoramento de modelos e fornece várias Interfaces de Programação de Aplicações (*Applications Programming Interface* – APIs) para controle remoto da simulação (DLR, 2001) e (BEHRISCH et al., 2011). A aplicabilidade do SUMO abrange diversas pesquisas:

- Avaliação de desempenho de semáforos (configuração de fases e períodos, algoritmos, etc.);
- Investigação das rotas utilizadas pelos veículos e pedestres, onde se inclui a avaliação das consequências dessas rotas em toda a rede, a avaliação do roteamento com base na emissão de poluentes;
- Previsões de tráfego para as autoridades na visita do Papa em 2005 na cidade alemã de Cologne e a Copa do Mundo de futebol em 2006, na Alemanha;
- Apoio à simulação de telefonia em veículos para avaliar o desempenho de tráfego supervisionado utilizando Sistema Global para Comunicações (Global System for Mobile Communications – GSM);
- Uso amplo pela comunidade V2X, permitindo traços de veículos realistas e avaliação em tempo real com simuladores de rede.

Outras características importantes do SUMO incluem a capacidade de suportar a criação de eventos e a inclusão de detectores em pontos ou áreas geográficas no ambiente. Isso é de grande utilidade para simular o comportamento de veículos e pedestres ao se depararem com acidentes, buracos, bloqueios e outros possíveis eventos que possam influenciar no tráfego. Os detectores permitem análises estatísticas dos veículos e pedestres que compõem o ambiente.

O SUMO trabalha com um conjunto de arquivos representados em XML. Esses arquivos contêm a representação da geometria e topologia do ambiente e as configurações necessárias para que o SUMO consiga carregar e exibir a rede formada pelos arquivos em sua interface. Este trabalho utiliza um ambiente “real” da cidade de Viçosa exportada do OpenStreetMap para realização da simulação.

Para que o SUMO reconheça a rede importada é necessário realizar conversão para o formato XML. Essa conversão é realizada utilizando uma aplicação de linha de comando: NETCONVERT (SUMO, 2017a). Essa aplicação realiza a conversão da rede viária de uma cidade sem que haja perdas de informação. Para saber como realizar a conversão, veja a Seção 1 do Anexo A.

Para que o SUMO importe polígonos ou pontos de interesse de uma determinada área, existe a aplicação POLYCONVERT (SUMO, 2017b). Assim como o NETCONVERT, essa aplicação também é em linha de comando, porém, seu propósito é a transformação de formas geométricas de diferentes fontes, em uma representação que pode ser visualizada pelo SUMO. Para saber como realizar essa transformação, veja a Seção 1 do Anexo A.

Após realizada a configuração do ambiente o próximo passo é inserir elementos de mobilidade: veículos (*vehicles*) e pedestres (*pedestrians*). Para incluir veículos no SUMO é necessário definir três parâmetros: o tipo <vType> que descreve as propriedades físicas do veículo, uma rota <route> que o veículo percorrerá no ambiente e o próprio veículo. Veículos distintos podem pertencer ao mesmo grupo e compartilhar a mesma rota. O motorista não precisa ser definido explicitamente ao definir um veículo. Neste trabalho foi utilizada a geração automática dos veículos e suas rotas, via linha de comando (ver Subseção 1.1 do Anexo A).

Definidas as propriedades físicas do veículo, é necessário criá-los e gerar suas rotas. Para isso, utiliza-se a aplicação DUAROUTER (SUMO, 2017d). A aplicação tem como objetivos a construção e computação das rotas e reparação de problemas de conectividade no arquivo de rotas existente. Para que cada veículo siga um percurso é necessário definir caminhos ou viagens (*trips*). Para isso o SUMO conta com a ferramenta *randomTrips* que permite a geração de um conjunto de viagens aleatórias para uma determinada rede. As viagens são construídas através da escolha aleatória de um ponto de origem e um ponto de destino nas faixas (*edges*) que compõe as pistas (*lanes*) da rede. Para saber detalhes de como é feita a geração de veículos com suas respectivas rotas veja a Subseção 1.1 do Anexo A.

Feita a definição e configuração do ambiente e dos veículos com suas respectivas rotas e trajetos, é o momento de introduzir pedestres (*pedestrian*) e os eventos ou incidentes (*points*) na rede. Neste trabalho eventos e pontos são definidos como sinônimos.

Os pedestres (*pedestrian*) são definidos como pessoas (*persons*) que caminham pelo ambiente são representados neste trabalho como o segundo elemento de mobilidade. O ambiente pode conter vias (*edges*) específicas para mobilidade de diferentes classes ou tipos de elementos, além disso, as vias podem conter restrições de permissões para diferentes modos de tráfego (SUMO, 2018a). Assim como para os veículos é necessário definir um arquivo adicional que deverá ser passado como entrada no arquivo de configuração (ver Subseção 1.2 do Anexo A).

As viagens (*trips*) para os pedestres são definidas semelhantemente ao modo como são definidas as viagens dos veículos utilizando a ferramenta *randomTrips*. Os pedestres podem se

locomover tanto nas calçadas (*sidewalks*) quanto nas pistas (*lanes*). Quando veículos e pedestres se movem na mesma pista, ambos farão o possível para evitar uma colisão entre ambos (SUMO, 2018a). Definido o ambiente e os elementos de mobilidade (veículos e pedestres), o próximo passo é definir os pontos de interesse.

Os pontos de interesse representam os eventos neste trabalho. Esses eventos são inseridos na simulação como incidentes ou situações que podem causar interferências na mobilidade dos veículos. Para definir um ponto basta criar um arquivo adicional (ver Subseção 1.3 do Anexo A).

A Figura 13 apresenta parte do ambiente configurado na interface do SUMO. É possível ver os veículos indicados pelas setas verdes, pedestres indicados pela setas amarelas e pontos de interesse (eventos) indicados pelas setas vermelhas, representados na rede configurada. Todos os procedimentos realizados para configuração do ambiente e componentes inseridos na rede, podem ser realizados utilizando o TRACI.



Figura 13 – Interface do SUMO – Ambiente com Elementos  
Fonte: Autoria própria

A simulação no ambiente “real” utilizando o SUMO envolve os três componentes: veículos, pedestres e eventos (incidentes).

#### 2.5.1.1 Traffic Control Interface (TraCI)

Com o objetivo de possibilitar o controle e manipulação em tempo real da rede e seus elementos no SUMO, uma Interface de Controle de Tráfego (*Traffic Control Interface – TraCI*) foi desenvolvida (WEGENER et al., 2008). O ambiente permite a captura de informações referentes à simulação, como número de veículos, velocidade média de cada veículo, quais as rotas utilizadas por cada veículo, tempo médio para percorrer determinada rota, número de

pessoas, dentre outras. O TraCI utiliza arquitetura cliente/servidor baseada no Protocolo de Controle de Transmissão (*Transmission Control Protocol – TCP*) (POSTEL, 1981), (LEUNG, LI, e YANG, 2007), onde atua como cliente sobre o SUMO, que funciona como servidor (SOARES et. al., 2013).

Desenvolvido em Python<sup>5</sup>, o TraCI funciona como porta de entrada para Web Services (ALONSO, 2004). Isso é substancial pois propicia a criação de aplicações em diversas linguagens o que flexibiliza sua utilização por desenvolvedores que não estão familiarizados com Python. Esta pesquisa utiliza o TRACI para realizar o controle e manipulação do SUMO. Mais informações serão apresentadas no Capítulo 4.

### **2.5.2 Opportunistic Network Environment (ONE)**

O Simulador de Ambiente de Rede Oportunista (*Opportunistic Network Environment – ONE*) é uma plataforma de simulação de rede oportunista, desenvolvida em JAVA<sup>6</sup>, que combina modelagem de mobilidade, roteamento com geração de mensagens entre os objetos (nós) em Redes Tolerantes a Atraso (*Delay Tolerant Networking – DTN*, (FALL, 2003)) com diferentes tipos de remetentes e destinatários. Outra característica é a visualização do ambiente, da mobilidade dos nós e da troca de mensagens em tempo real. Além disso, o ONE permite importar dados de mobilidade reais e a geração de relatórios de movimento com estatísticas gerais para a troca de mensagens entre os nós (KERANEN, 2008) e (THEONE, 2016).

As características do ONE o faz uma plataforma que pode ser utilizada em diversos projetos. Porém, ele não suporta a importação de dados com características fundamentais para se analisar um ambiente real de mobilidade. Características como semáforos, tipos de vias, sentidos de vias, etc. são importantes e devem ser consideradas em uma simulação que tem por objetivo a redução do congestionamento utilizando VGI.

## **2.6 Trabalhos Relacionados**

Esta seção apresenta trabalhos cujas propostas estão relacionadas com o tema desta dissertação. As subseções seguintes apresentam aplicações que utilizam VGI como elemento principal para tentar solucionar problemas que afetam distintas áreas. Em destaque são citadas aplicações que possuem o intuito de reduzir o congestionamento de veículos nas cidades. Também são apresentados pontos positivos e negativos.

---

<sup>5</sup> <http://www.python.org>

<sup>6</sup> <https://www.java.com>

### 2.6.1 WAZE

As pesquisas que utilizam VGI se tornaram mais emergentes nos últimos anos. Os usuários se tornaram grandes colaboradores e têm papel determinante no desenvolvimento de novos sistemas. O WAZE, por exemplo, é um aplicativo de trânsito e tráfego terrestre baseado em navegação por satélite. Usuários podem fazer o cadastro no aplicativo utilizando e-mail e criando uma senha para acesso. Assim, podem compartilhar informações de trânsito da área onde se encontra, em tempo real. Desse modo os adeptos ao aplicativo podem ver como está a situação do trânsito e obter informações sobre as vias (se estão com tráfego lento, se estão em manutenção, se tem algum obstáculo, se a polícia está realizando blitz, etc.). Assim, os motoristas podem tomar a decisão que melhor os satisfaçam evitando possíveis perdas de tempo ou combustível durante o percurso.

Apesar de todas essas características e muitas outras que não foram citadas, existem algumas críticas à aplicação. A maioria das cidades brasileiras de pequeno porte não possuem dados relacionados ao trânsito no aplicativo. Pode ser um problema de cobertura, o que significa que a aplicação não está em operação nessas cidades ou, esses locais possuem poucos ou nenhum usuário do aplicativo. Mesmo que as informações criadas sejam passíveis de avaliação e comentários por outros usuários, o compartilhamento de informações falsas ou inexatas pode prejudicar outros usuários. Outro problema é o compartilhamento de informações privilegiadas como localização de radares e presença de policiamento. Isso viabiliza que usuários imprudentes ou com má intenção evitem determinado trecho ou dissimule seu real estado (velocidade acima do limite permitido, embriaguez, etc.).

A Figura 14 mostra a interface do WAZE na cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais. A imagem apresenta alguns tipos de informações criadas por usuários do sistema. Percebe-se que as informações em destaque expõem distintos eventos e suas localizações: “Buraco” na Rua Dr. Orestes Diniz reportado por usuário cadastrado; “Polícia” na Rua Curitiba reportado por um usuário anônimo; e “Engarrafamento parado” na Avenida Nossa Sra. do Carmo reportado por dois usuários, o primeiro, anônimo.

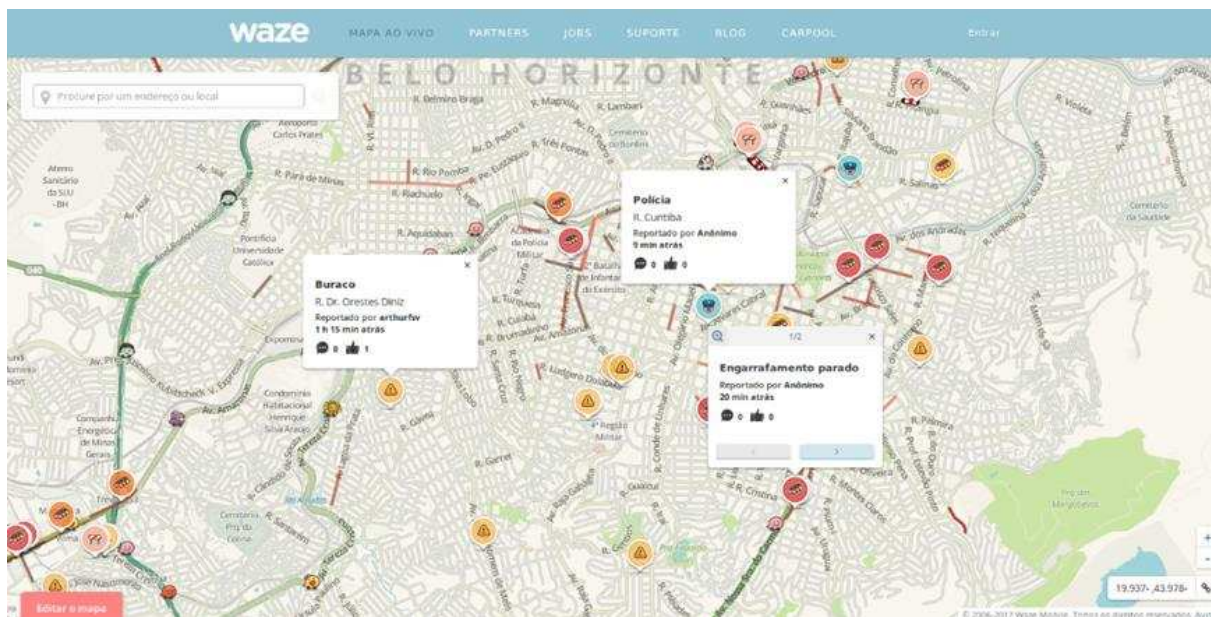


Figura 14 – Interface do WAZE na Cidade de Belo Horizonte – Minas Gerais, Brasil  
 Fonte: (WAZE, 2017)





Observa-se na Figura 14 diversas informações criadas por usuários e apresentadas no aplicativo. Belo Horizonte é uma metrópole com aproximadamente 1,5 milhão de pessoas e possui uma infraestrutura tecnológica razoável. Milhares de pessoas utilizam o WAZE na tentativa de evitar os congestionamentos que são comuns na cidade (TOMTOM, 2016).

### 2.6.2 Google Maps

Criado em 2005, o Google Maps<sup>7</sup> é um serviço de mapeamento de dados na Web, que oferece vários tipos de serviços e funcionalidades tais como visualização de imagens de satélite, mapas das ruas, fotos de localidades inseridas por usuários, visão de 360° das ruas e suas imediações (fachadas de construções, veículos, pessoas, etc.), geolocalização com Sistema de Posicionamento Global (GPS), condições de trânsito em tempo real e planejamento de rotas para distintos meios de transporte (BROWN, 2006).

Como este trabalho trata o problema de congestionamento de veículos, destaca-se um recurso do Google Maps, denominado “Trânsito” (*Traffic*). Esse recurso permite a visualização em tempo real das condições de trânsito nas estradas permitindo aos usuários identificar e escolher o melhor trajeto até seu destino. Para acessá-lo basta selecionar a opção “Trânsito” no menu. As informações são captadas pelo aplicativo (Google Maps) instalado no dispositivo móvel do usuário.

<sup>7</sup> <https://www.google.com.br/maps>

A velocidade do tráfego é apresentada nas estradas por meio de cores: verde quando não há atrasos no trânsito, ou seja, o fluxo de veículos é normal; laranja quando o tráfego está moderado, ou seja, mais lento que o normal; e, vermelho quando há atrasos no tráfego de veículos. Quando mais escuro mais lento estarão os veículos naquela área. As linhas cinzas ou azuis mostram as rotas comumente utilizada pelo usuário. O Google Maps mostra quatro tipos de eventos (incidentes): colisões  (*crashes*), construções ou obras  (*construction*), fechamentos ou bloqueios de estradas  (*road closures*) e outros incidentes  (*other incidents*). Para visualizar os detalhes do evento basta selecionar o ícone (ALLBLACKBERRY, 2007) e (GOOGLE MAPS, 2018).

O Google Maps fornece o tempo médio de viagem estimado considerando diferentes rotas para diferentes tipos de transporte. Segundo Mcclendon (2013) o Google Maps está sendo aprimorado para apresentar alguns recursos do WAZE (visualização de eventos nas pistas como acidentes, buracos, manutenção, informações sobre o tráfego) que fora adquirido recentemente pela Google.

Apesar de todas essas características o Google Maps não apresenta informações de trânsito em todos os locais (GOOGLE MAPS, 2018). Assim como WAZE, muitas cidades pequenas apresentam pouca ou nenhuma informação sobre o tráfego no Google Maps. Para algumas cidades médias e até grandes cidades não há informação do tráfego em todas as ruas.

O presente trabalho tem como proposta a utilização da VGI integrado a IDE para permitir que cidades de médio e pequeno porte ofereçam aos motoristas um serviço que os auxiliem na identificação de eventos (incidentes) causadores de congestionamento de congestionamentos de veículos. O motorista ao ser comunicado de um evento em determinado ponto que faz parte de sua rota, poderá seguir outro caminho caso exista.

### 3 MODELO DE IDE COLABORATIVA

O “ecossistema” chave do desenvolvimento deste trabalho compreende as cidades inteligentes onde encontram-se os diversos domínios, que por sua vez são observados por meio de indicadores. O modelo deve incorporar TICs que detectam informações chaves que posteriormente devem ser analisadas e integradas ao sistema. Uma rede de sensores é o principal instrumento para a detecção de eventos em uma cidade inteligente. A complexidade para desenvolver uma cidade inteligente deve-se principalmente às diferentes visões e perspectivas que podem ser consideradas, além dos diferentes interessados e às necessidades que a permeiam. Segundo a ISO/DIS 37120 (2013), essa complexidade pode ser representada por modelos utilizando técnicas de modelagem e formalismos como o da ISO/IEC19505 *Information Technology – Object Management Group Unified Modeling Language* (OMG UML). Os exemplos apresentados nesta seção são baseados na estrutura administrativa e agências reguladoras do Brasil.

#### 3.1 Modelo para Integração de VGI com IDE para Cidades Inteligentes

O modelo proposto neste trabalho tem como finalidade permitir que cidades médias e pequenas, ou seja, cidades com menos de 500 mil habitantes (IPEA, 2008), (MOTTA e MATA, 2008), tenham serviços e aplicações inteligentes que proporcione melhores condições e qualidade de vida aos cidadãos. A utilização de IDE e VGI é de grande importância para obtenção de dados e informações geoespaciais. Esses podem integrar aplicações, criando o ambiente colaborativo de beneficiamento mútuo.

O modelo proposto se baseia na Perspectiva Empresarial (PE) do *framework* RM-ODP. Primeiramente, é necessário reexaminar com base na PE os atores e suas especializações. Dentre os atores já propostos por Cooper et al. (2011), foi incluído um novo ator físico denominado Sensor. Ele pode ser considerado fundamental para uma cidade inteligente, pois será responsável por fornecer dados em tempo real. A Figura 15 mostra a inclusão do novo ator no modelo proposto por Cooper et al. (2011), com suas duas especializações: o ator *Citizen Sensor*, especializado no grupo *Status* a partir do ator *Crowd Source*, e o ator *Physical Sensor*, especializado no grupo *Role* a partir do ator *Passive Producer*.

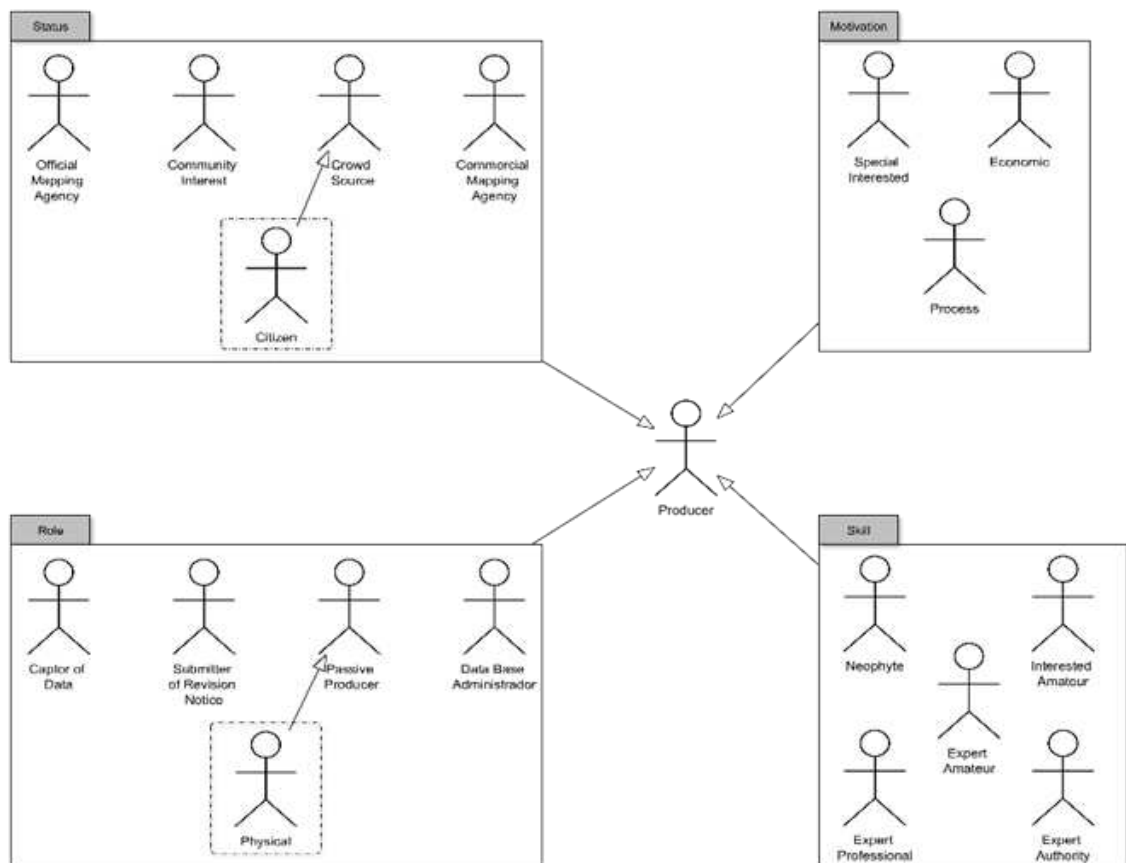


Figura 15 – Inclusão do Atores Sensor Cidadão e Sensor Físico  
 Fonte: Autoria própria

Para exemplificar a especificação da PE, escolheu-se um dos problemas atuais mais comum nas cidades: congestionamento de veículos. As pessoas gastam muito tempo em congestionamentos e muitas vezes estes podem ser solucionados ou amenizados com soluções inteligentes como, por exemplo, a criação de um Sistema para Redução do Congestionamento de Veículos. O sistema deve suportar dados provenientes de diferentes fontes além de fornecer informações em tempo real sobre eventos nos trechos das vias que o usuário pretende seguir. Assim, o usuário poderá decidir por qual caminho deseja percorrer evitando rotas inconvenientes.

O ator *Citizen* refere-se a qualquer indivíduo que contribua voluntariamente (VGI) com informações através de aplicações instaladas ou acessadas por dispositivos tecnológicos como smartphones, tablets, etc. O ator *Physical* é um sensor ou conjunto de sensores físicos responsáveis pela captura de informações em tempo real em um determinado espaço, por exemplo: câmeras de segurança, radares, etc.

### 3.2 Comunidades e seus Comportamentos

O organograma da estrutura administrativa de uma cidade brasileira pode seguir a seguinte hierarquia: secretarias (educação, saúde, transporte, limpeza), diretorias (planejamento, manutenção, auditoria, pessoal), departamentos (administrativo, financeiro, vigilância) e setores (patrimônio, manutenção, vigilância sanitária). A Figura 16 mostra uma hierarquia genérica de uma cidade. É importante salientar que a disposição estrutural pode variar conforme o município.

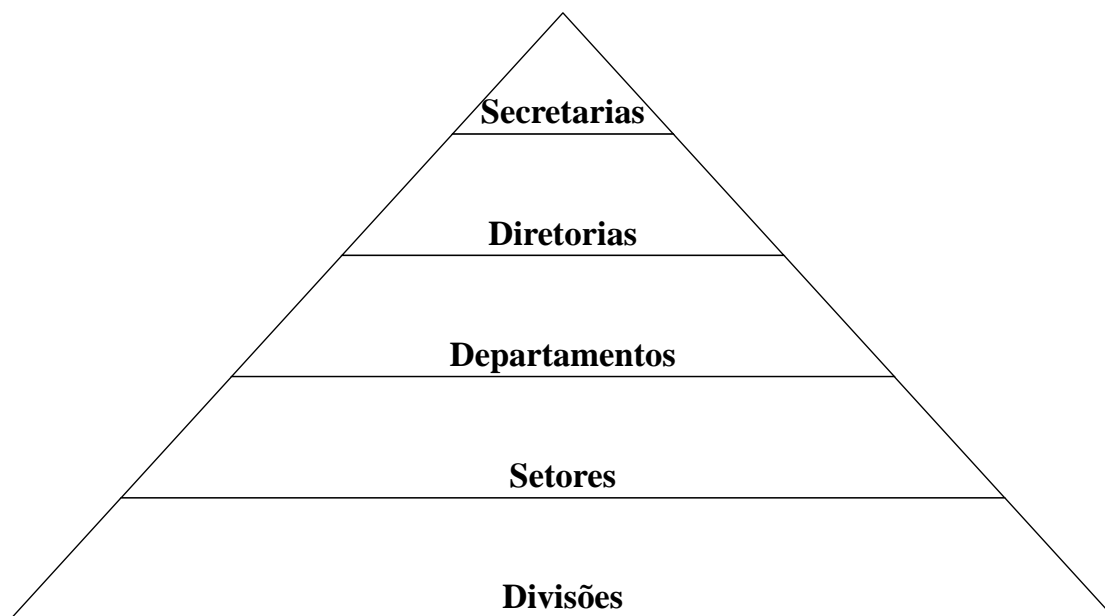


Figura 16 – Hierarquia Genérica da Estrutura Administrativa de uma Cidade Brasileira  
Fonte: Autoria própria

Além dessas entidades/órgãos, as cidades podem conter entidades externas de grande importância que nem sempre fazem parte dessa estrutura administrativa. Por exemplo, sindicatos e empresas terceirizadas que fornecem produtos ou serviços (ex.: energia elétrica, água, etc.). Ao considerar o problema de congestionamento de veículos, este pode envolver entidades externas, para cidades do Brasil, como o Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN) que fiscaliza e delibera sobre questões do trânsito em todo território nacional e a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), responsável por prestar serviços adequados de transportes terrestres aos usuários.

O Código Nacional de Trânsito (CNT) do Brasil atribui a responsabilidade ao município pelo gerenciamento do trânsito. Logo, o problema de congestionamento de veículos é de responsabilidade de cada município. Isso faz com que a principal comunidade envolvida neste problema seja a Secretaria de Trânsito e suas possíveis ramificações (diretoria, departamentos, setores e divisões).

Pode-se considerar as seguintes comunidades envolvidas no Sistema para Redução do Congestionamento de Veículos: secretaria de trânsito do município; analistas de dados; moderadores; agentes de trânsito; vigilantes; motoristas; passageiros; e pedestres. Os papéis assumidos por cada um estão descritos na seção seguinte.

### **3.3 Papéis, Contratos e Políticas**

Os papéis, contratos e políticas apresentados incluem atividades referentes aos objetos e às comunidades envolvidas no sistema. O sistema pode ser dividido em três unidades: **Unidade Controladora**; **Unidade Pacificadora**; e **Unidade Passiva**. Os envolvidos das três unidades podem apresentar características em comum como o fornecimento de informações para o sistema.

#### **3.3.1 Unidade Controladora**

A Unidade Controladora é responsável por controlar o sistema e as informações recebidas pelos usuários. Os envolvidos nessa unidade são:

- **Secretaria de Trânsito:** responsável por gerenciar e fiscalizar o transporte público de passageiros (ex.: ônibus, taxi), a sinalização do trânsito e a frota do município. O setor deve ser capaz de gerar dados e informações históricas como a quantidade e os tipos de veículo, as áreas propícias a ter algum tipo de problema (acidentes, queda de árvores, alagamentos, congestionamentos, etc.), dentre outras, e armazena-los em uma plataforma aberta (IDE) acessada pelo sistema. É papel dessa secretaria incentivar a utilização do sistema, apresentando os benefícios que podem ser alcançados. Também é de responsabilidade da Secretaria de Trânsito, a instalação e a manutenção de sensores físicos para monitoramento da cidade;
- **Analista de Dados:** responsável por desenvolver análises dos dados e identificar possíveis melhorias no sistema. As análises podem combinar diferentes fontes de informações como de uma IDE e VGI, mídias sociais ou sensores; não analisando apenas os dados produzidos pela aplicação específica para o problema de congestionamento de veículos;
- **Moderador:** tem o papel de acompanhar, analisar e filtrar informações providas principalmente dos cidadãos. Informações que não são relacionadas ao propósito do sistema devem ser retidas para não prejudicar os usuários.

### 3.3.2 Unidade Pacificadora

A Unidade Pacificadora é responsável por monitorar o ambiente de atuação do sistema (ex.: o trânsito de veículos e pedestres, as ruas, etc.). Além disso, a unidade deve contribuir com informações para o sistema. Os envolvidos nessa unidade devem ser contratados e possuir identificação obrigatória no sistema. Eles podem ser representados por:

- **Agente de Trânsito:** responsável por “desenvolver atividades para melhoria da qualidade de vida da população, atuando como facilitador da mobilidade urbana ou rodoviária sustentáveis, norteando-se, dentre outros, pelos princípios constitucionais da legalidade, impessoalidade, moralidade, publicidade e eficiência” (DENATRAN, 2010). O agente deve relatar ao sistema informações sobre qualquer evento que possa causar congestionamentos (ex.: acidentes, alagamentos);
- **Vigilante:** responsável por fazer o acompanhamento e monitoramento através de dispositivos de telecomunicação áudio/visual como câmeras e microfones. Ele também possui o papel de fornecer informações de possíveis eventos que possam interferir no fluxo de veículos.

### 3.3.3 Unidade Passiva

A Unidade Passiva é composta pelos usuários do sistema que não possuem a obrigatoriedade de fornecer informações. Porém, é fundamental que esses usuários participem como contribuintes de VGI para o sistema não depender apenas de informações de sensores físicos e da unidade pacificadora. Essa unidade pode ser composta por:

- **Motorista:** capacitado a fornecer dados como velocidade e localização geográfica através de sistemas embarcados ou GPS instalados em seus veículos. Isso pode ser fundamental para identificar possíveis áreas com congestionamento através da comparação da velocidade dos veículos com a velocidade máxima permitida relacionada àquele trecho em determinado intervalo de tempo;
- **Passageiro:** tem o papel de contribuir com informações sobre eventos que possam interferir no fluxo de veículos através de aplicações de VGI instaladas ou acessadas em seus dispositivos móveis. Situações como acidentes, queda de árvores, alagamentos, obras na pista e várias outras, podem ser relatadas ao sistema;
- **Pedestre:** possui o mesmo papel do passageiro, porém, este não se encontra em um veículo.

A especificação da PE do Sistema para Redução do Congestionamento de Veículos é ilustrada na Figura 17. Cada comunidade é especificada pelo estereótipo <<EV\_CommunityContract>>, que contém um componente estereotipado como <<EV\_Community>>. Cada um dos componentes possui uma dependência definida pelo estereótipo <<EV\_RefinesAsCommunity>>, referente às classes estereotipadas como <<EV\_CommunityObject>> (Unidade Controladora, Unidade Pacificadora e Unidade Passiva). Essas classes expressam os objetos comunitários que modelam as comunidades como objetos simples. Os objetos das comunidades estão incluídos no pacote “Enterprise Objects”. Os objetos Agente de Trânsito e Vigilante são exemplos dessas objetos empresarias que interagem com o sistema.

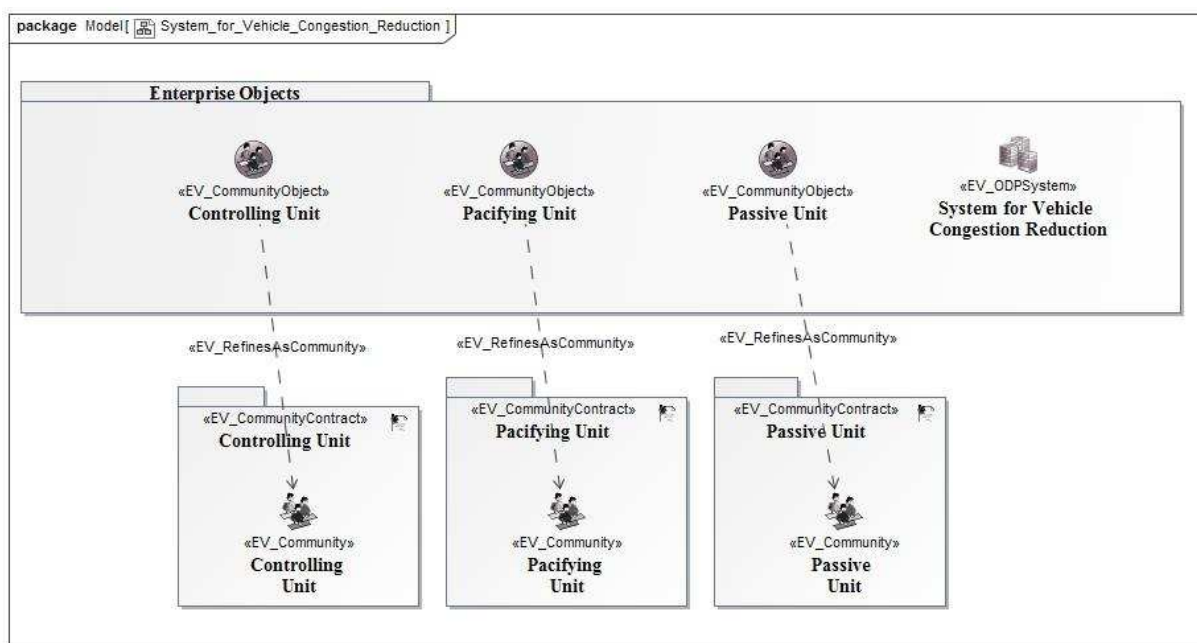


Figura 17 – Especificação Empresarial do Sistema para Redução do Congestionamento de Veículos  
Fonte: Autoria própria

Vale ressaltar que os papéis dos atores podem se sobrepor. Por exemplo, o Analista de Dados e o Moderador podem assumir o papel de Motorista, Passageiro e Pedestre ou um Motorista pode trabalhar como Vigilante ou Analista de Dados. O fato é que um ator pode assumir outra função em determinado momento contribuindo ainda mais para o objetivo do sistema, que é diminuir o congestionamento de veículos na cidade com o uso da VGI.

### 3.4 Discussão e Considerações sobre o Modelo

O ator Sensor Cidadão e o ator Sensor Físico introduzidos no modelo podem permitir maior eficiência ao sistema através dos dados coletados tanto pelos sensores físicos quanto pelos sensores humanos (VGI). As comunidades definidas podem assumir diversos papéis no

sistema. Todos eles possuem uma tarefa em comum que é o fornecimento de dados. Cabe ao usuário do sistema tomar uma decisão ou não. Por exemplo, se ele deve seguir determinada rota ou se ele deseja ir por um outro caminho (caso exista). A Figura 18 mostra os papéis identificados referentes às comunidades envolvidas. Os papéis especificados de cada comunidade podem compartilhar um mesmo objetivo no sistema como fornecer dados de modo voluntário (VGI).

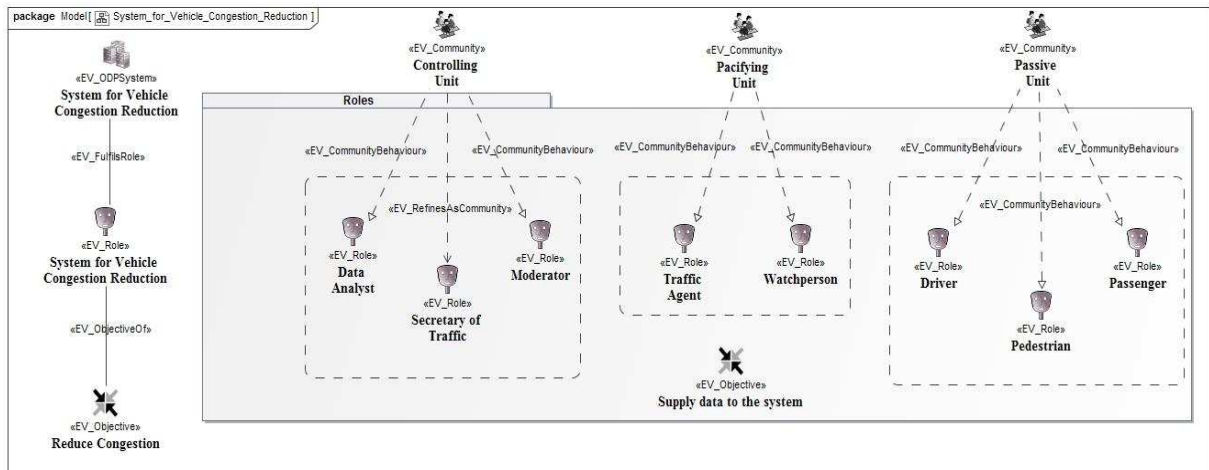


Figura 18 – Atribuição de Papéis às Comunidades  
Fonte: Autoria própria

Foram identificadas três comunidades que compõem o Sistema para Redução do Congestionamento de Veículos: a Unidade Controlada a Unidade Pacificadora e a Unidade Passiva. Às comunidades foram atribuídos papéis referentes aos seus comportamentos. Assim como a comunidade, o próprio sistema tem o seu papel - reduzir congestionamento de veículos disponibilizando informações referentes a eventos nos trechos que impeçam o fluxo de veículos por aquela rota. Os objetos contidos em cada uma das comunidades possuem papéis referentes às atividades de sua comunidade.

O modelo original de IDE, proposto por Hjelmager et al. (2008) e sua extensão desenvolvido por Cooper et al. (2011), possuem solidez suficiente para o desenvolvimento de uma arquitetura para cidade inteligente. Porém, devido à complexidade do domínio, foi necessária a inclusão de duas novas especializações.

A especificação do Sistema para Redução do Congestionamento de Veículos exemplifica como é possível desenvolver soluções inteligentes por meio da combinação de IDE e VGI. Os sensores são peças fundamentais quando se quer desenvolver cidades inteligentes. Além disso, essa combinação possibilita o desenvolvimento de aplicações inteligentes em vários domínios de uma cidade, permitindo assim, a transformação de uma cidade “comum” para uma cidade inteligente. Deste modo, é possível obter um ambiente sustentável e eficiente

onde a população tenha melhor qualidade de vida e seja menos prejudicada pelos problemas inerentes de uma cidade.

## **4 ESTUDO DE CASO: A CIDADE DE VIÇOSA - MG**

Como especificado no Capítulo 1, a demanda por soluções que busquem amenizar problemas atuais de tráfego urbano de veículos é crescente. A proposta deste trabalho é o uso de VGI como uma solução para diminuição no congestionamento de veículos em cidades médias e pequenas proporcionando que se tornem cidades inteligentes. A proposta é testada por meio de uma simulação em um ambiente real utilizando o simulador SUMO. A escolha do SUMO se deve à possibilidade de realizar uma modelagem mais realista do ambiente e da solução devido às funções e métodos que esse sistema fornece e à facilidade de criar funções e métodos, ao contrário do simulador ONE.

Uma das justificativas para a escolha do ambiente se deve ao fato de que alguns dos principais serviços de navegação colaborativa como WAZE e Google Maps, não abrangem ou cooperam inteiramente nas cidades médias e pequenas. A indisponibilidade ou a carência desse tipo de serviço dificulta um deslocamento eficiente dos cidadãos.

### **4.1 Seleção do Ambiente**

Esta pesquisa utiliza como ambiente para experimentação, a malha viária urbana da cidade de Viçosa, situada no estado de Minas Gerais. Segundo o IBGE (2010), estima-se que a população de Viçosa seja de 78.300 pessoas e uma frota com aproximadamente 43.500 veículos motorizados. A Figura 19 apresenta a área utilizada para realização dos testes, importada do OpenStreetMap.

Por ser tratar de um projeto de VGI, usuários podem inserir informações erradas e realizar modificações precipitadas. Além disso, informações como localizações, sentidos e posicionamentos de vias e, configurações de semáforos podem ser acrescentadas imprecisamente. Assim, algumas correções foram necessárias para proporcionar mais realismo no ambiente de simulação.

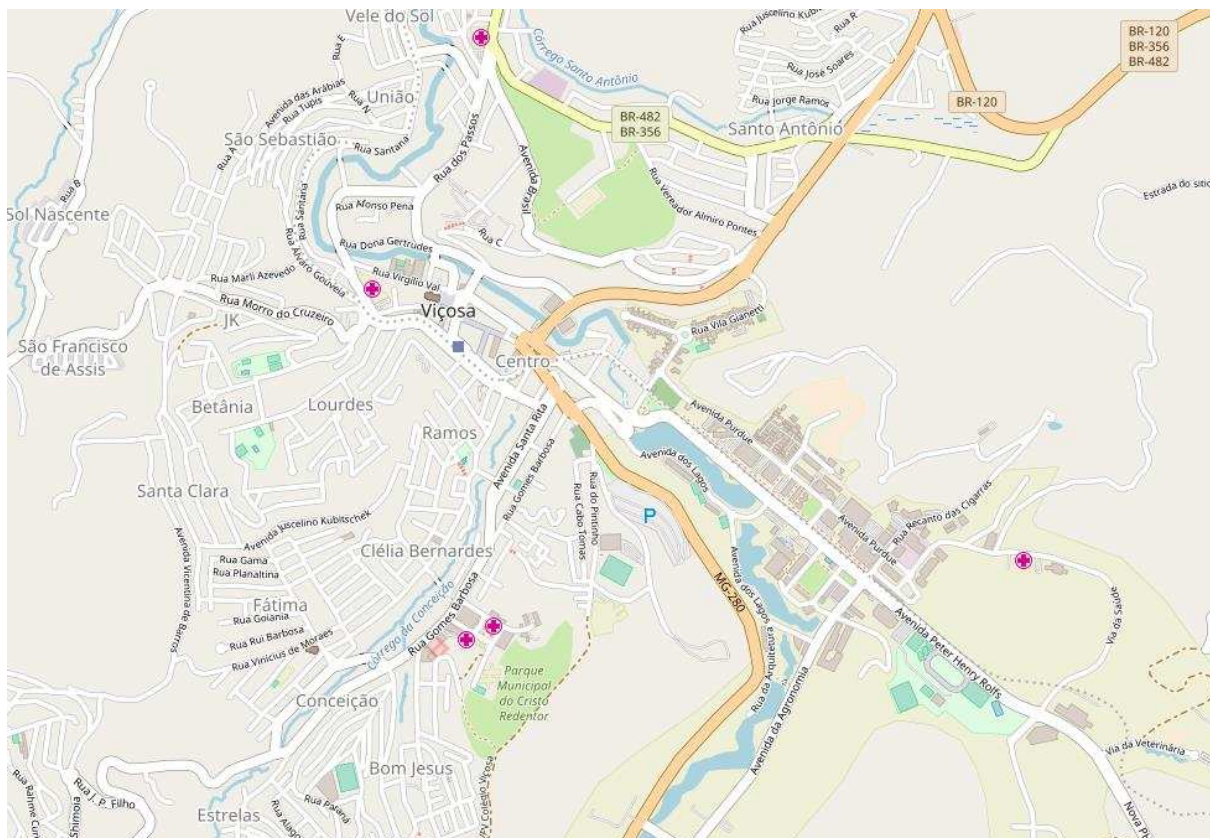


Figura 19 – Parte Central do Perímetro Urbana da Cidade de Viçosa  
Fonte: OpenStreetMap

O SUMO não suporta o formato OSM na forma como ele é exportado. Antes é necessário realizar uma conversão para XML com intuito de selecionar apenas os elementos que de interesse para o tráfego de veículos. O processo de conversão é apresentado na Seção 1 do Anexo A e a representação do ambiente no SUMO está ilustrada nas Figuras 20 e 21.

#### 4.2 Correções no Ambiente OpenStreetMap

Por ser um projeto que utiliza VGI, o OpenStreetMap conta com a colaboração dos usuários para criação e correção dos mapas. Apesar de haver “moderadores” para monitorar e corrigir informações criadas pelos usuários, informações incorretas, incompletas ou desatualizadas são comuns nos mapas. Logo, foi necessário realizar algumas correções e inclusões de dados no mapa referente ao perímetro urbano da cidade de Viçosa.

Por exemplo, o sentido de uma via (rua ou avenida) ou parte dela pode ser alterado ao longo do tempo pelo governo local de uma cidade. Essa alteração nem sempre é incorporada ao mapa do OpenStreetMap pelos usuários. As Figura 20 e 21 mostram um trecho de importante rua localizada na área central de Viçosa. O trecho selecionado na Figura 20 não possui informação de sentido. Isso significa que o trecho é de dois sentidos (sentido duplo – *two-way*) ou seja, os veículos podem ir e vir. O fato é que essa informação não é correta pois esse trecho

foi alterado (conforme ilustrado na Figura 21) para sentido único (*one-way*). Logo foi necessário fazer a correção nesse trecho e em vários outros em diferentes ruas. Outras informações também foram corrigidas, removidas ou inseridas como: semáforos, ruas, calçadas, faixas de pedestres, etc.

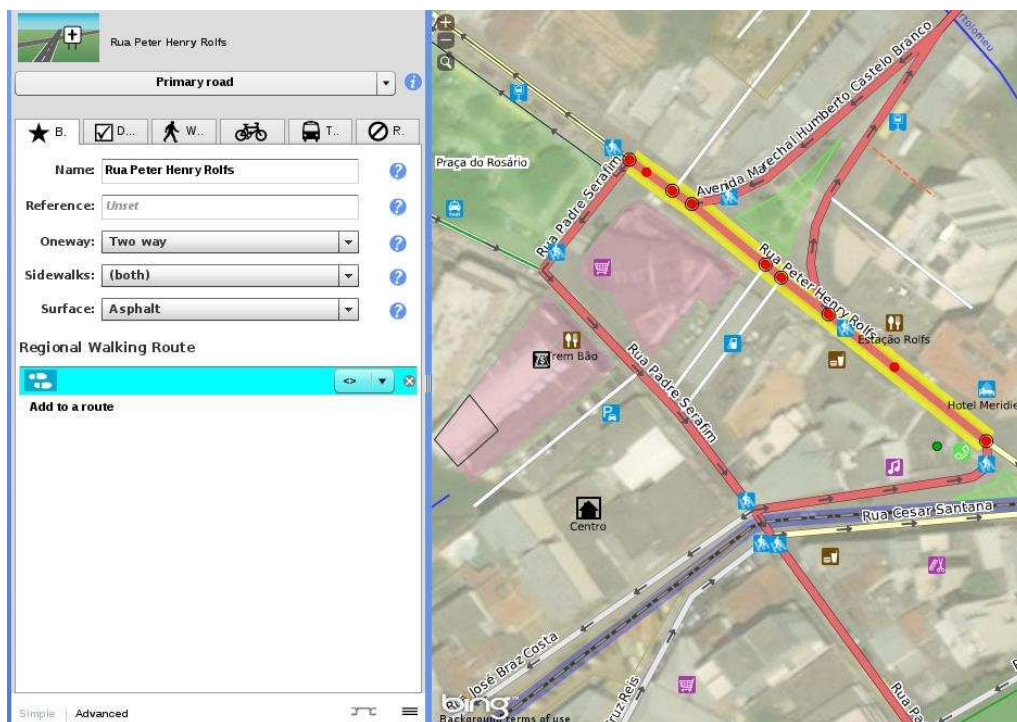


Figura 20 – Mapa com Via Desatualizada de Parte da Área Central de Viçosa  
Fonte: OpenStreetMap

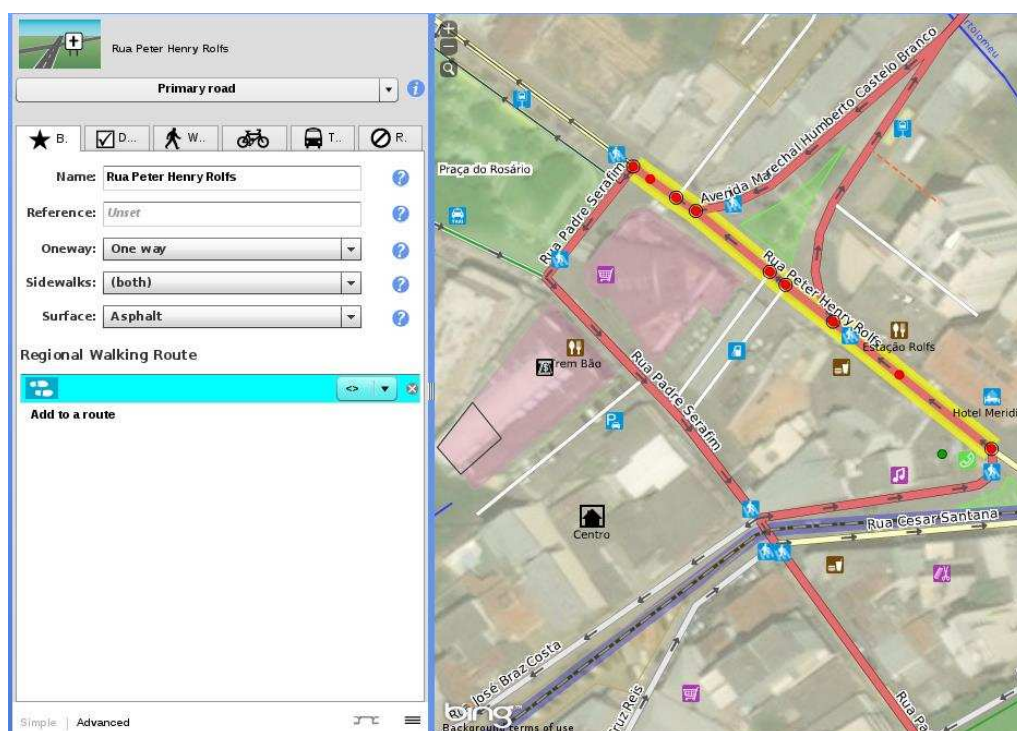


Figura 21 – Mapa com Via Atualizada de Parte da Área Central de Viçosa  
Fonte: OpenStreetMap

As correções são importantes para trazer maior realismo à simulação. Um ambiente que não retrata a realidade ou parte dela pode influenciar no comportamento dos veículos e pessoas inseridos no ambiente. É trabalhoso manter um mapa totalmente atualizado devido às constantes alterações do ambiente que surgem em uma cidade. Porém, esforços coletivos por parte dos usuários interessados podem permitir que esses mapas contenham características que retratam o ambiente com maior realismo.

### 4.3 Objetos da Simulação e seus Comportamentos

O ambiente da simulação é composto por veículos (carros), pessoas e incidentes. Os veículos e as pessoas possuem rotas aleatórias pelas estradas do ambiente. Os pedestres se locomovem pelas calçadas (*sidewalks*) e pelas ruas. Algumas calçadas foram adicionadas manualmente em alguns trechos de estradas utilizando o SUMO. Apenas foram importadas do OpenStreetMap calçadas dos trechos que as possuem, pois, a maioria dos trechos não continham qualquer tipo de informação sobre calçadas. A seguir é apresentado a forma em que cada veículo, pessoa e evento (incidente) foram configurados e como se “interagem” no ambiente.

Os veículos foram configurados para utilizarem um conjunto de rotas(*trips*) aleatórias utilizando a função *randomTrips*. Inicialmente é gerado para cada veículo uma rota a ser seguida. A rota possui um ponto inicial (ponto de partida) de onde o veículo iniciará o percurso até seu destino (ponto de chegada) passando por outros pontos intermediários. A velocidade máxima (*maxSpeed*) utilizada para cada veículo foi definida como randômica (*random*). Os veículos criados na simulação pertencem a classe (*vClass*) passageiro (*passenger*). O número de veículos na simulação considera as estimativas segundo o IBGE (2010), da quantidade de veículos em Viçosa. Os motoristas devem relatar na simulação os eventos detectados ao longo do trecho que estão percorrendo. Assim, outros motoristas poderão ser informados sobre que tipo de evento ocorreu em determinado local. Desde modo, dependendo do nível do evento os motoristas evitarão o trecho o qual o evento fora identificado evitando possíveis aglomerações de veículos (congestionamento). Foi definido que os veículos poderão identificar um evento em um raio de 25 metros. A Figura 22 mostra um veículo (id= “20”) na posição x="52.90", y="47.86" e um evento (id= “2”) na posição x="50.6" y="51.5". A distância euclidiana nesse instante da simulação entre o evento e o veículo é de aproximadamente 4.3 metros, ou seja, esse evento será identificado por este veículo ou qualquer outro que estiver em um raio de até 25 metros do incidente.

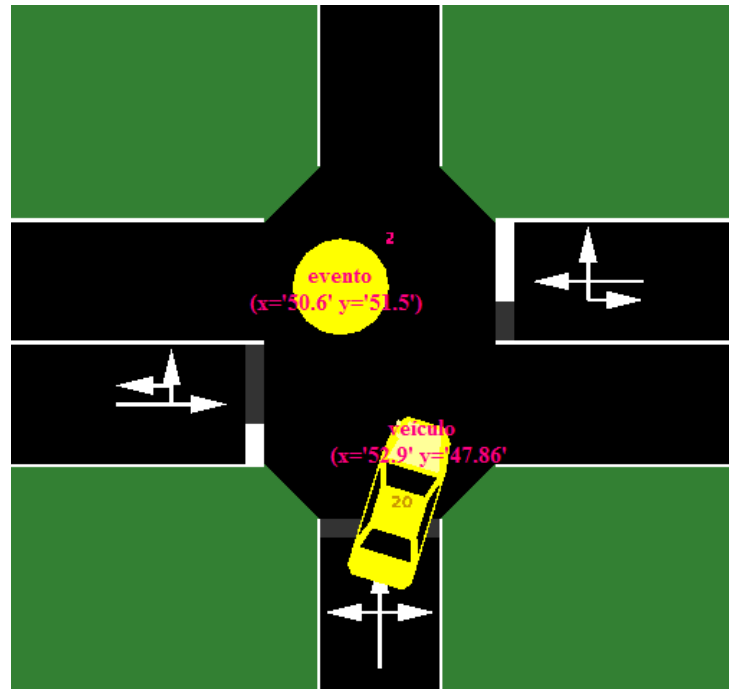


Figura 22 – Interface do SUMO - Veículo a Menos de 25 metros de um Evento  
 Fonte: Cooper et al. (2011)

As pessoas, representadas pelo tipo (*vClass*) pedestres (*pedestrian*) foram configuradas para se locomoverem tanto nas calçadas (*sidewalks*), se existirem, quanto nas vias. Assim como os veículos, os pedestres possuem um conjunto aleatório de rotas com um ponto de partida inicial e um ponto de destino definidos pela função “randomTrips”. O número de pessoas inseridas na simulação também segue as estimativas do IBGE (2010) para a cidade de Viçosa. A velocidade máxima (*maxSpeed*) para os cidadãos foi definida como 1.39m/s (5km/h). Os pedestres também são responsáveis por identificar e reportar eventos que possam interferir no fluxo normal dos veículos em determinada área causando engarrafamentos. Eventos em um raio de 25 metros de um pedestre podem ser identificados por um pedestre.

Os eventos (incidentes) gerados no SUMO são inseridos como pontos (coordenadas) ou áreas (polígonos) sobre a malha viária do ambiente. Os eventos variam em níveis sendo que cada nível gera um impacto ou ação diferente nos trechos em que forem identificados pelo motorista ou o pedestre. Incidentes mais graves poderão interditar toda uma rua ou área. Incidentes intermediários poderão bloquear apenas uma faixa da rua, caso seja de mão dupla (*two-way*). Incidentes menores poderão apenas diminuir tráfego de veículos ou causar uma redução na velocidade dos veículos que passarem naquela área. Esses eventos serão identificados tanto pelos motoristas ou passageiros que estarão no veículo quanto por pedestres. Lembrando que ambos (veículos e pedestres) reportarão o incidente que estiver em um raio de no máximo 25 metros.

Este trabalho considera um ambiente onde os cidadãos possam identificar e reportar eventos ao longo das ruas da cidade para que os motoristas evitem congestionamentos. Porém, assim como no mundo real, os eventos reportados podem conter informações enganosas, falsas, particulares ou “confidências” (localização de radares, pontos de policiamento, etc.), portanto, é necessário que essas informações sejam monitoradas e verificadas com eficiência a fim de evitar o compartilhamento desses tipos de informações.

Utilizando a versão 0.32.0 do SUMO, foi realizada a configuração do ambiente com os dados da cidade de Viçosa importados do OpenStreetMap. Foram inseridos 10 eventos em posições aleatórias no mapa. Além disso, foram incluídos 100 veículos e 100 pedestres com objetivo de identificar e reportar os eventos encontrados ao longo da malha viária da cidade. A quantidade de veículos e pedestres foi reduzida devido ao alto custo computacional para execução da simulação com quantidades maiores de cada elemento. Ambos só poderão reportar e identificar um determinado evento se o mesmo estiver em seu raio de visão. A Figura 23 apresenta o gráfico da quantidade de “reportes” de cada um dos eventos inseridos no ambiente. Quanto maior a quantidade de ocorrência de um evento, significa que mais veículos e pedestres conseguiram reporta-lo. O evento “0” foi reportado 421 vezes, já o evento “3” foi reportado apenas 4 vezes. Quando um determinado evento criado não é reportado, significa que nenhum veículo ou pedestre chegou ao alcance (raio) do evento. Quanto menor o raio de alcance para identificação dos eventos menor será o número de reportes e, quanto maior o raio de alcance maior será o número de reportes dos eventos.

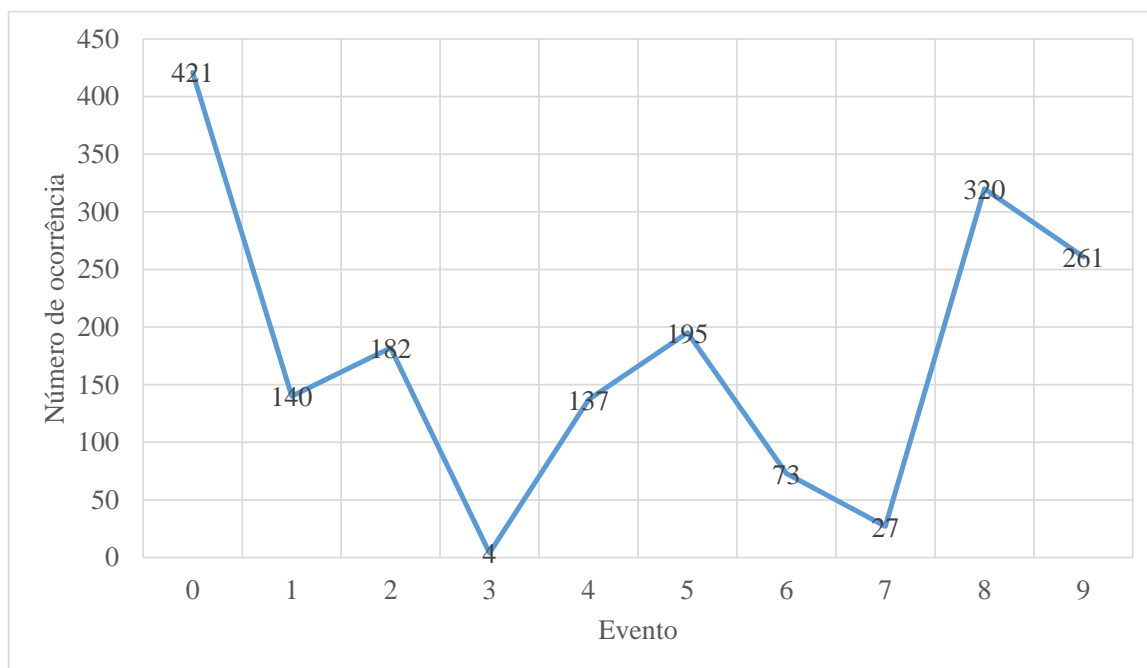


Figura 23 – Número de Ocorrência de cada Evento  
Fonte: Autoria própria

A Figura 24 apresenta o gráfico com a quantidade de eventos reportados por cada veículo na simulação. São apresentados somente os veículos que reportaram pelo menos um evento. Os demais, não passaram suficientemente perto dos eventos em sua rota ou, seu caminho não havia nenhum evento para ser reportado.

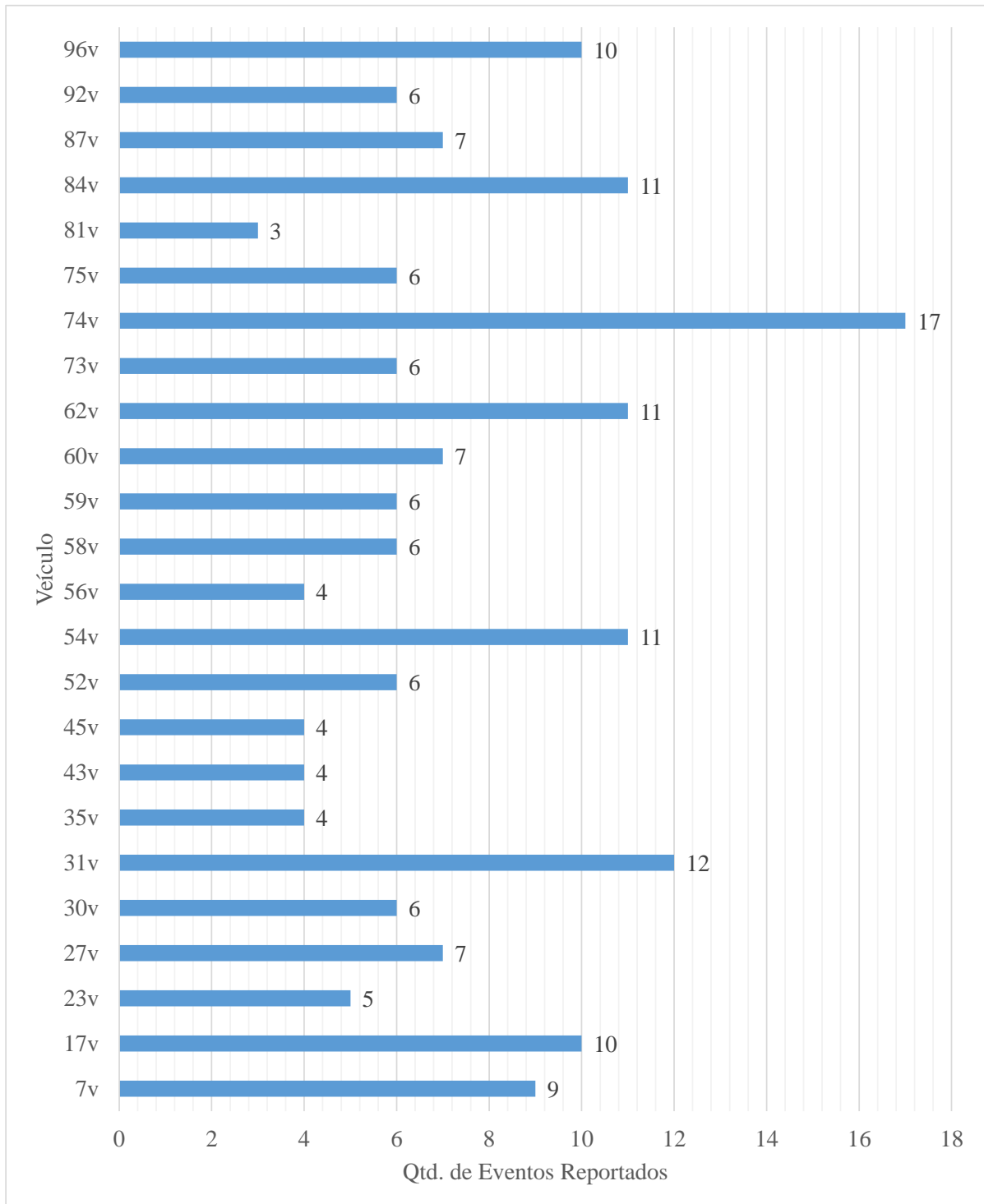


Figura 24 – Número de Eventos Reportados por Veículos  
Fonte: Autoria própria

A Figura 25 apresenta o gráfico com a quantidade de eventos reportados por cada pedestre na simulação. São apresentados somente os pedestres que reportaram pelo menos um evento. Os demais, não passaram suficientemente perto dos eventos em sua rota ou, seu caminho não havia nenhum evento para ser reportado.

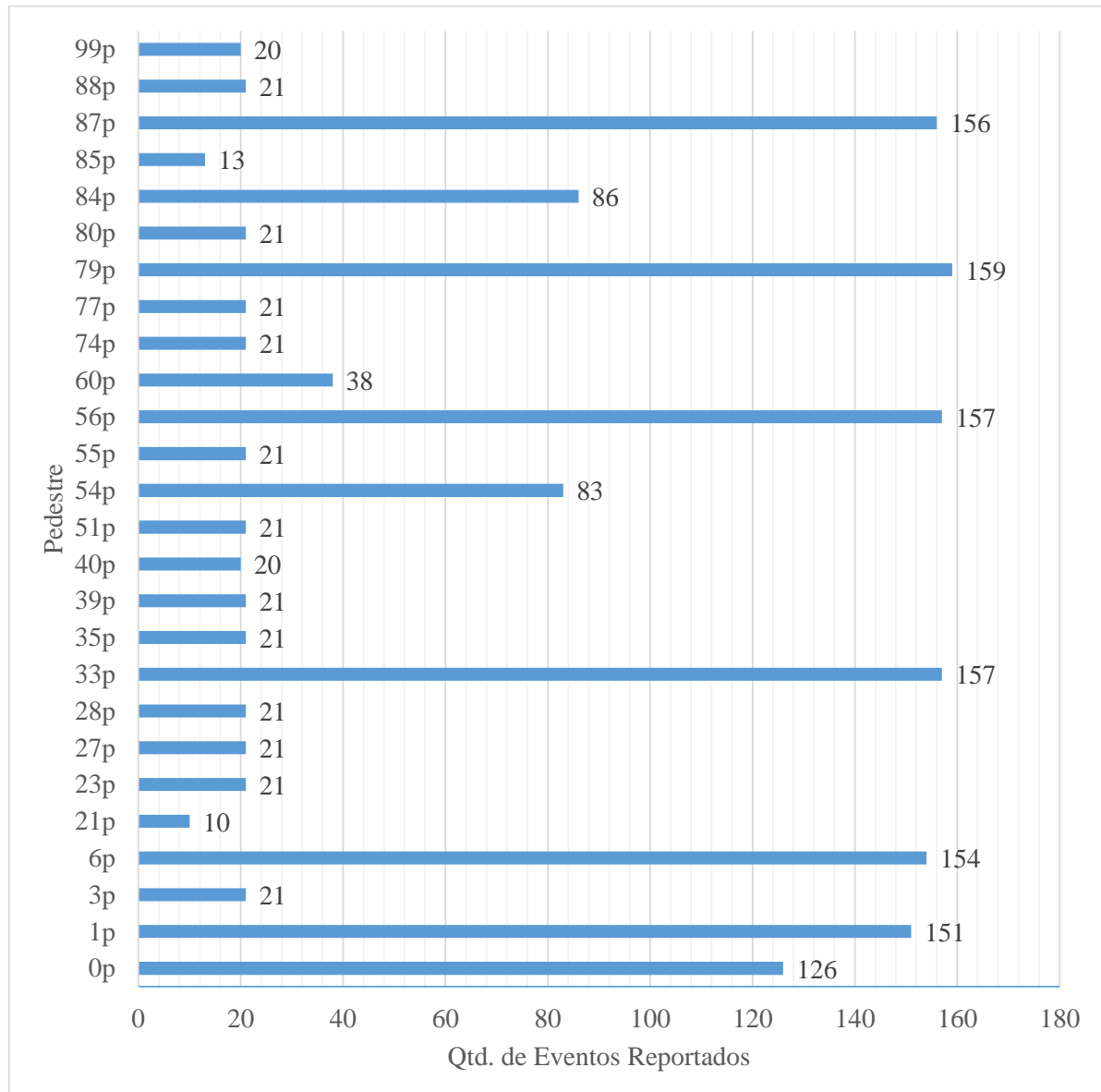


Figura 25 – Número de Eventos Reportados por Pedestres  
 Fonte: Autoria própria

Os veículos e os pedestres são responsáveis pela identificação e reporte dos incidentes. Com a inclusão de 100 pedestres no ambiente, apenas 26 ficaram próximo o suficiente para identificar e reportar pelo menos um evento. Já dos 100 veículos inseridos apenas 24 conseguiram reportar pelo menos 1 evento.

#### 4.4 Discussão dos Resultados

Para uma análise minuciosa dos resultados obtidos através da simulação com 100 veículos, os automóveis foram agrupados por intervalos de perda de tempo (tempo de atraso) para concluírem suas rotas. Em cada intervalo tem-se os resultados dos atrasos dos veículos sem o uso da VGI e com o uso da VGI. O sinal de positivo (+) é utilizado para representar que o tempo de atraso é superior ao intervalo considerado. De modo similar, o sinal de negativo (-) é utilizado para representar que o tempo de atraso é inferior ao intervalo considerado.

O primeiro intervalo é composto por veículos que tiveram um atraso de no máximo 30 segundos. A Tabela 2 mostra 20 veículos, dos quais 16 estão nesse primeiro intervalo sem o uso da VGI. Já com o uso da VGI todos os 20 veículos possuem um tempo de atraso dentro desse primeiro intervalo. Os 4 veículos em destaque (24, 69, 98 e 99) possuem um tempo de atraso superior a 30 segundos sem o uso da VGI porém, com o uso da VGI estes tiveram uma redução do tempo de atraso compondo os veículos desse primeiro intervalo.

Tabela 2 – Veículos com Tempo de Atraso Inferior a 30 segundos

Veículo(id)	Tempo de Atraso(s)	
	Sem VGI	Com VGI
1	9,44	9,7
8	8,39	10,26
9	13,04	12,96
15	28,18	28,38
16	10,38	10,36
19	29	29,65
<b>24</b>	+	29,94
46	25,17	24,25
48	18,43	17,54
50	16,01	18,4
56	18,51	19,82
<b>69</b>	+	27,24
72	23,45	20,14
80	8,38	8,03
83	26,5	26,8
88	20,78	16,9
90	22,3	26,22
95	15,76	18,19
<b>98</b>	+	12,53
<b>99</b>	+	13,26

+ Tempo de atraso superior ao intervalo considerado

- Tempo de atraso inferior ao intervalo considerado

O uso da VGI permitiu que 4 veículos (24, 69, 98 e 99) reduzissem seu tempo de atraso para no máximo 30 segundos. A Tabela 3 mostra essa melhoria. Os dois primeiros veículos (24 e 69) não sofreram uma melhoria tão significativa quando comparada ao veículo 98 e ao veículo 99. Os veículos 98 e 99 que possuem um tempo de atraso acima de 1 minuto e 30 segundos sem o uso da VGI, tiveram uma alteração considerável com o uso da VGI, reduzindo seus tempos para menos de 14 segundos.

Tabela 3 – Veículos que Tiveram Redução no Intervalo de Tempo de Atraso de no Máximo 30 segundos

Veículo(id)	Tempo de Atraso(s)	
	Sem VGI	Com VGI
24	30,42	29,94
69	31,61	27,24
98	93,02	12,53
99	90,02	13,26

O segundo intervalo é composto por veículos que tiveram um atraso maior que 30 segundos e menor ou igual a 1 minuto. A Tabela 4 mostra 32 veículos, dos quais 27 possuem o tempo de atraso nesse segundo intervalo sem o uso VGI. Com o uso da VGI, o número de veículos com tempo de atraso nesse intervalo é de 28 veículos. Na Tabela 4, são destacados 9 veículos: os veículos 6, 47, 65, 81 e 85 possuem um tempo de atraso superior a 1 minuto sem o uso da VGI, entretanto, com o uso da VGI, estes tiveram uma redução do tempo de atraso, integrando os veículos desse segundo intervalo; os veículos 24 e 69 apresentados na Tabela 3, com o uso da VGI, tiveram uma redução do tempo de atraso integrando assim o primeiro intervalo; já os veículos 66 e 71 tiveram um aumento do tempo de atraso utilizando a VGI. Isso pode ser justificado devido a um possível aumento no fluxo de veículos em determinados trechos das rotas desses veículos devido a incidentes relatados nas rotas de outros veículos.

Tabela 4 – Veículos com Tempo de Atraso Maior que 30 segundos e Menor ou Igual a 1 minuto

Veículo(id)	Tempo de Atraso(s)	
	Sem VGI	Com VGI
2	37,77	38,76
3	48,92	48,54
<b>6</b>	+	59,34
14	53,92	48,85
18	38,63	40
21	33,95	34,09
22	38,31	37,49
<b>24</b>	30,42	-
26	44,75	50,95
36	41,88	41,33
37	32,45	31,35
38	55,33	57,11
42	40,79	37,35
43	38,04	38,66
<b>47</b>	+	38,34
49	54,48	56,49
51	50,34	50,98
53	53,13	50,29
55	45,77	47,27
61	55,72	52,94
<b>65</b>	+	56,9
<b>66</b>	59,77	+
67	51,33	57,41
68	45	43,12
<b>69</b>	31,61	-
<b>71</b>	42,63	+
77	38,8	36,78
<b>81</b>	+	41,85
82	30,32	31,83
<b>85</b>	+	59,49
91	34,95	30,98
94	43,62	41,99

+ Tempo de atraso superior ao intervalo considerado

- Tempo de atraso inferior ao intervalo considerado

O uso da VGI permitiu que 5 veículos (6, 47, 65, 81 e 85) reduzissem seu tempo de atraso para o intervalo entre 30 segundos e 1 minuto. Essa melhoria pode ser observada na Tabela 5. Os veículos em destaque (66 e 71) foram os que tiveram um acréscimo no tempo de atraso utilizando a VGI.

Tabela 5 – Veículos que Tiveram Alteração no Intervalo de Tempo de Atraso Maior que 30 segundos e Menor ou Igual a 1 minuto

Veículo(id)	Tempo de Atraso(s)	
	Sem VGI	Com VGI
6	130,84	59,34
47	63,66	38,34
65	93,98	56,9
<b>66</b>	59,77	72,01
<b>71</b>	42,63	66,47
81	76,61	41,85
85	60,64	59,49

O terceiro intervalo é composto por veículos que tiveram um atraso maior que 1 minuto e menor ou igual a 1 minuto e 30 segundos. A Tabela 6 mostra 31 veículos, dos quais 24 possuem o tempo de atraso nesse terceiro intervalo sem o uso VGI. Com o uso da VGI, o número de veículos com tempo de atraso nesse intervalo é de 23 veículos. Na Tabela 6, são destacados 15 veículos: os veículos 0, 13, 28, 76 e 78 possuem um tempo de atraso superior a 1 minuto e 30 segundos sem o uso da VGI, entretanto, com o uso da VGI, estes tiveram uma redução do tempo de atraso, integrando os veículos desse terceiro intervalo; os veículos 47, 81 e 85 com o uso da VGI, conforme apresentado na Tabela 5, tiveram uma redução do tempo de atraso integrando assim o segundo intervalo; já os veículos 10, 17, 31, 44 e 92 tiveram um aumento do tempo de atraso utilizando a VGI assim como os veículos 66 e 71 apresentados na Tabela 5. Isso pode ser justificado devido a um possível aumento no fluxo de veículos em determinados trechos das rotas desses veículos devido a incidentes relatados nas rotas de outros veículos.

Tabela 6 – Veículos com Tempo de Atraso Maior que 1 minuto e Menor ou Igual a 1 minuto e 30 segundos

Veículo(id)	Tempo de Atraso(s)	
	Sem VGI	Com VGI
<b>0</b>	+	76,33
4	78,44	80,99
5	61,13	68,26
<b>10</b>	79,06	+
<b>13</b>	+	88,64
<b>17</b>	71,08	+
20	79,74	67,14
25	68,78	68,26
<b>28</b>	+	73,18
29	64,36	70
<b>31</b>	86,67	+
34	62,18	61,6
35	81,7	77,67
40	62,26	61,23
<b>44</b>	80,99	+
45	81,55	87,46
<b>47</b>	63,66	-
54	85,63	80,46
59	68,57	66,33
63	74,23	82,09
64	60,66	61,26
<b>66</b>	-	72,01
<b>71</b>	-	66,47
<b>76</b>	+	78,3
<b>78</b>	+	86,62
<b>81</b>	76,61	-
84	84,77	88,33
<b>85</b>	60,64	-
<b>92</b>	79,65	+
93	81,56	80,38
97	64,76	62

+ Tempo de atraso superior ao intervalo considerado

- Tempo de atraso inferior ao intervalo considerado

O uso da VGI permitiu que os veículos (0, 13, 28, 76 e 78) reduzissem seus tempos de atraso para o intervalo entre 1 minuto e 1 minuto e 30 segundos. Essa melhoria pode ser observada na Tabela 7. Os veículos em destaque (10, 17, 31, 44 e 92) foram os que tiveram um acréscimo no tempo de atraso utilizando a VGI.

Tabela 7 – Veículos que Tiveram Alteração no Intervalo de Tempo de Atraso Maior que 1 minuto e Menor ou Igual a 1 minuto e 30 segundos

Veículo(id)	Tempo de Atraso(s)	
	Sem VGI	Com VGI
0	109,05	76,33
<b>10</b>	79,06	107,16
13	111,79	88,64
<b>17</b>	71,08	98,05
28	138,68	73,18
<b>31</b>	86,67	103,82
<b>44</b>	80,99	92,43
76	90,6	78,3
78	114,67	86,62
<b>92</b>	79,65	102,72

O quarto intervalo é composto por veículos que tiveram um atraso maior que 1 minuto e 30 segundos e menor ou igual a 2 minutos. A Tabela 8 mostra 20 veículos, dos quais 13 possuem o tempo de atraso nesse quarto intervalo sem o uso VGI. Com o uso da VGI, o número de veículos com tempo de atraso nesse intervalo também é de 13 veículos. Na Tabela 8, são destacados 14 veículos: os veículos 32 e 74 possuem um tempo de atraso superior a 1 minuto e 30 segundos sem o uso da VGI, entretanto, com o uso da VGI, estes tiveram uma redução do tempo de atraso, integrando os veículos desse quarto intervalo; os veículos 0, 13, 65, 76, 78, 98 e 99 com o uso da VGI, tiveram uma redução do tempo de atraso abaixo de 1 minuto e 30 segundos, conforme apresentado nas Tabelas 3, 5 e 7; já os veículos 10, 17, 31, 44 e 92 tiveram um aumento do tempo de atraso utilizando a VGI conforme apresentados anteriormente na Tabela 7.

Tabela 8 – Veículos com Tempo de Atraso Maior que 1 minuto 30 segundos e Menor ou Igual a 2 minutos

Veículo(id)	Tempo de Atraso(s)	
	Sem VGI	Com VGI
<b>0</b>	109,05	-
<b>10</b>	-	107,16
<b>13</b>	111,79	-
<b>17</b>	-	98,05
23	116,47	108,2
30	93,1	97,2
<b>31</b>	-	103,82
<b>32</b>	+	111,44
39	93,47	92,52
41	102,72	119,03
<b>44</b>	-	92,43
<b>65</b>	93,98	-
70	111,89	113,25
<b>74</b>	+	97,19
<b>76</b>	90,6	-
<b>78</b>	114,67	-
86	117,1	111,24
<b>92</b>	-	102,72
<b>98</b>	93,02	-
<b>99</b>	90,02	-

+ Tempo de atraso superior ao intervalo considerado

- Tempo de atraso inferior ao intervalo considerado

O uso da VGI permitiu que os veículos 32 e 74 reduzissem seus tempos de atraso para o intervalo entre 1 minuto e 30 segundos e 2 minutos. Essa melhoria pode ser observada na Tabela 9.

Tabela 9 – Veículos que Tiveram Redução para o Intervalo de Tempo de Atraso Menor ou Igual a 2 minutos e Maior que 1 minuto e 30 segundos

Veículo(id)	Tempo de Atraso(s)	
	Sem VGI	Com VGI
32	120,86	111,44
74	132,6	97,19

O quinto intervalo é composto por veículos que tiveram um atraso maior que 2 minutos e menor ou igual a 2 minutos e 30 segundos. A Tabela 10 mostra 10 veículos, dos quais 8 possuem o tempo de atraso nesse quinto intervalo sem o uso VGI. Com o uso da VGI, o número de veículos com tempo de atraso nesse intervalo é de 6 veículos. Na Tabela 10, são destacados 6 veículos: os veículos 60 e 62 possuem um tempo de atraso superior a 2 minutos sem o uso da

VGI, entretanto, com o uso da VGI, estes tiveram uma redução do tempo de atraso, integrando os veículos desse quinto intervalo; já os veículos 6, 28, 32 e 74 com o uso da VGI, tiveram uma redução do tempo de atraso, conforme apresentados nas Tabelas 5, 7 e 9;

Tabela 10 – Veículos com Tempo de Atraso Maior que 2 minutos e Menor ou Igual a 2 minutos e 30 segundos

Tempo de Atraso(s)		
Veículo(id)	Sem VGI	Com VGI
<b>6</b>	130,84	-
7	135,51	131,75
27	127,05	128,1
<b>28</b>	138,68	-
<b>32</b>	120,86	-
52	135,51	122,1
<b>60</b>	+	140,23
<b>62</b>	+	121,7
<b>74</b>	132,6	-
75	126,59	133,32

+ Tempo de atraso superior ao intervalo considerado

- Tempo de atraso inferior ao intervalo considerado

O uso da VGI permitiu que os veículos 60 e 74 reduzissem seus tempos de atraso para o intervalo entre 2 minutos e 2 minutos e 30 segundos. Essa melhoria pode ser observada na Tabela 11.

Tabela 11 – Veículos que Tiveram Redução para o Intervalo de Tempo de Atraso Menor ou Igual a 2 minutos e 30 segundos e Maior que 2 minutos

Tempo de Atraso(s)		
Veículo(id)	Sem VGI	Com VGI
60	185,31	140,23
62	176,35	121,7

O sexto intervalo é composto por veículos que tiveram um atraso maior que 2 minutos e 30 segundos e menor ou igual 3 minutos. A Tabela 12 mostra 4 veículos, dos quais 3 possuem o tempo de atraso nesse sexto intervalo sem o uso VGI. Com o uso da VGI, o número de veículos com tempo de atraso nesse intervalo também é igual a 3 veículos. Na Tabela 12, são destacados 2 veículos: o veículo 62 já apresentado anteriormente na Tabela 11, possui um tempo de atraso nesse quinto intervalo sem o uso da VGI, entretanto, com o uso da VGI ele teve uma redução do tempo de atraso significativa; já o veículo 96 teve um tempo de atraso de aproximadamente 3 minutos e 12 segundos (192,18 segundos) sem VGI porém, com o uso da

VGI o tempo de atraso reduziu para aproximadamente 2 minutos e 43 segundos (163,55 segundos).

Tabela 12 – Veículos com Tempo de Atraso Maior que 2 minutos e 30 segundos e Menor ou Igual a 3 minutos

Veículo(id)	Tempo de Atraso(s)	
	Sem VGI	Com VGI
11	168,18	153,06
12	173,52	173,13
<b>62</b>	176,35	-
<b>96</b>	+	163,55

+ Tempo de atraso superior ao intervalo considerado

- Tempo de atraso inferior ao intervalo considerado

O sétimo intervalo é composto por veículos que tiveram um atraso maior que 3 minutos e menor ou igual a 3 minutos e 30 segundos. A Tabela 13 mostra 6 veículos, onde todos possuem o tempo de atraso nesse sétimo intervalo sem o uso VGI. Porém, com o uso da VGI, apenas 3 veículos possuem o tempo de atraso nesse intervalo. Na Tabela 13 são destacados 3 veículos: o veículo 33 com VGI possui um tempo de atraso de aproximadamente 4 minutos e 39 segundos (279,62 segundos) e sem VGI, possui um tempo de atraso de aproximadamente 3 minutos e 28 segundos (208,66 segundos), ou seja, devido a um possível aumento de fluxo de veículos em sua rota causado por incidentes em outras pistas, o tempo de atraso com o uso da VGI foi superior; Já os veículos 62 e 96 tiveram uma redução no tempo de atraso com o uso da VGI conforme apresentados nos intervalos cinco e seis respectivamente.

Tabela 13 – Veículos com Tempo de Atraso Maior que 3 minutos e Menor ou Igual a 3 minutos e 30 segundos

Veículo(id)	Tempo de Atraso(s)	
	Sem VGI	Com VGI
<b>33</b>	208,66	+
<b>60</b>	185,31	-
73	195,75	181,15
79	180,33	182,67
87	191,12	181,55
<b>96</b>	192,18	-

+ Tempo de atraso superior ao intervalo considerado

- Tempo de atraso inferior ao intervalo considerado

O oitavo e último intervalo é composto por veículos que tiveram um tempo de atraso superior a 3 minutos e 30 segundos. A Tabela 14 mostra 4 veículos, onde todos possuem o tempo de atraso nesse quarto intervalo com o uso VGI. Porém, sem o uso da VGI, apenas o

veículo 33 apresentado no sétimo intervalo, possui o tempo de atraso inferior ao intervalo considerado.

Tabela 14 – Veículos com Tempo de Atraso Superior a 3 minutos e 30 segundos

Veículo(id)	Tempo de Atraso(s)	
	Sem VGI	Com VGI
<b>33</b>	-	279,62
57	371,36	373,3
58	300,2	301,29
89	238,99	241,69

+ Tempo de atraso superior ao intervalo considerado

- Tempo de atraso inferior ao intervalo considerado

A Tabela 15 mostra o resultado total e o resultado médio do cenário com 100 veículos simulados sem o uso da VGI e com uso da VGI. A variável duração (*duration*) representa o tempo em que os veículos precisaram para realizar suas rotas. A variável distância (*routeLength*) representa o comprimento das rotas percorridas pelos veículos. O tempo de atraso (*timeLoss*) equivale ao tempo perdido dos veículos por dirigirem abaixo da velocidade ideal.

Tabela 15 – Resultado da Simulação com 100 Veículos

Variáveis	Sem VGI	Com VGI
Duração Total	14h e 18min (51.480s)	<b>14h, 17min e 33s</b> <b>(51.453s)</b>
Duração Média	8min e 34s (514,8s)	<b>8min e 34s</b> <b>(514,53s)</b>
Distância Total	<b>807km e 540m</b> <b>(807.540m)</b>	809km e 44m (809.044m)
Distância Média	<b>8km, 75m e 40cm</b> <b>(8.075,4m)</b>	8km, 90 e metros e 44cm (8.090,44m)
Tempo de Atraso Total	2h, 16min e 32s (8.192,5s)	<b>2h, 8min e 28s</b> <b>(7.708,52m)</b>
Tempo de Atraso Médio	1min e 22s (81,925s)	<b>1min e 17s</b> <b>(77,0852s)</b>

A duração total e a duração média do tempo de viagem dos veículos foi menor com uso da VGI. A distância total e a distância média percorrida pelos veículos foi superior com o uso da VGI. Isso se justifica pelo fato de que os veículos ao se informarem dos eventos reportados em sua rota, buscaram um novo caminho até seu ponto de destino, evitando ao máximo aos trechos com incidentes. A perda de tempo total e a perda de tempo médio foi menor com o uso

da VGI. Isso mostra como é importante a VGI pode ser útil para a redução do congestionamento de veículos. As melhorias que a VGI pode proporcionar não se limita apenas ao problema de congestionamento. Diversos outros domínios podem se beneficiar da VGI.

#### 4.5 Ferramenta VGI para Reporte e Controle de Eventos

Para que os cidadãos possam reportar os incidentes (eventos) encontrados pela malha viária da cidade, foi desenvolvido uma aplicação Web utilizando as linguagens PHP e JavaScript utilizando como Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD) o MySQL. A aplicação permite a visualização, monitoramento e controle dos incidentes em tempo real. A contribuição com informações que possam causar congestionamentos de veículos pode ser feita por qualquer pessoa que possua um dispositivo (celular, tablet ou computador) com acesso à Internet. A Figura 26 mostra a interface da aplicação. Utilizando uma API do OpenStreetMap a aplicação tem como ambiente central a cidade de Viçosa.

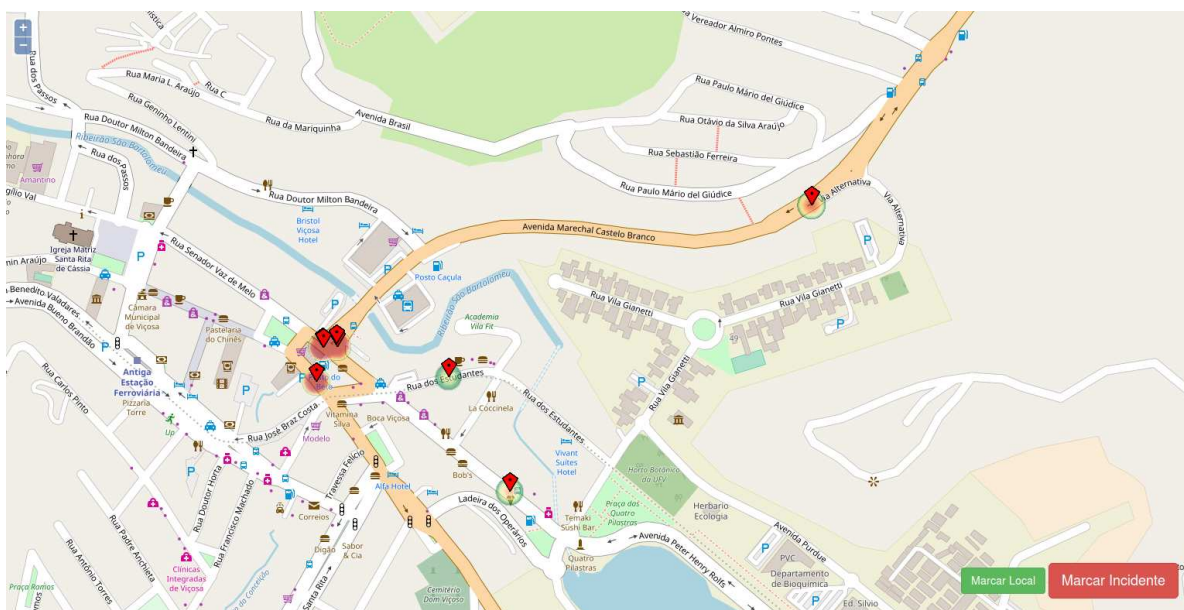


Figura 26 – Aplicação para Reporte, Controle e Monitoramento de Eventos  
Fonte: Autoria própria

Para contribuir com uma informação, o usuário deve selecionar a opção “Marcar incidente” localizada no canto inferior direito da aplicação. Ao selecionar essa opção, é apresentada uma pequena tela onde se encontram dois campos. No primeiro campo o usuário deverá selecionar um evento da lista de eventos que lhe é apresentada. No segundo campo o usuário poderá fornecer uma imagem do incidente. Essa imagem será armazenada juntamente com a opção do evento escolhida. Após selecionado o incidente e a imagem, é necessário clicar na opção “Cadastrar”. Ao selecionar a opção cadastrar, o evento é inserido no banco de dados

juntamente com a localização (coordenada) do usuário, a data e a hora em que fora reportado. A Figura 27 apresenta a janela para realizar o cadastro de um incidente. A imagem anexada se trata de um evento real ocorrido na rua Padre Serafim no centro de Viçosa no dia 22 de outubro de 2016. Na ocasião, a pista cedeu causando o bloqueio do trecho da rua e o motorista conseguiu sair a tempo, antes do veículo ser “engolido” pelo buraco.

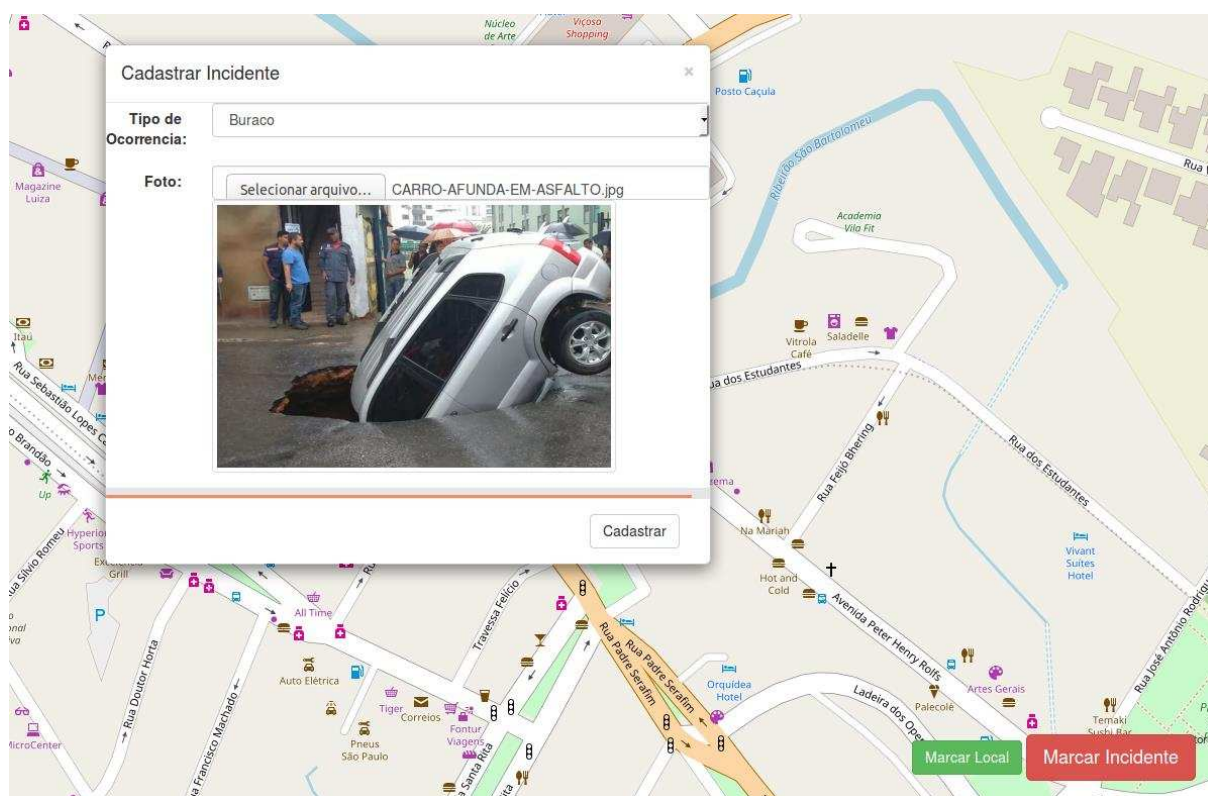


Figura 27 – Cadastro de Incidente  
Fonte: Autoria própria

É importante enfatizar que a opção “Marcar incidente” atribui a coordenada do usuário ao evento reportado. Caso o cidadão não se encontre no local do evento ocorrido e deseje relatar um incidente, deve-se escolher a opção “Marcar Local” localizada ao lado da opção “Marcar incidente”. Ao selecionar essa opção o usuário deve dar dois cliques no ponto do mapa em que o evento foi identificado. Feito isso, será apresentada uma tela para selecionar o evento e incluir uma imagem (Figura 27). Antes de reportar o evento na opção “Cadastrar”, o usuário deve se atentar se o ponto selecionado no mapa corresponde ao local do incidente. Os incidentes são representados no mapa por um marcador. Ao selecionar um marcador será apresentada a imagem, caso tenha sido anexada ao evento reportado. Os eventos também são representados por um mapa de calor. Quanto maior a quantidade de eventos reportados em um determinado local, maior é o raio e a intensidade da cor (tendendo ao vermelho).

O controle e monitoramento dos eventos serão realizados por pessoas capacitadas e qualificadas que atuam direto ou indiretamente do trânsito da cidade, como, por exemplo, policiais, guardas, vigilantes e outras entidades. Os mesmos terão acesso a área do moderador (admin) da aplicação. Para acessar a área administrativa da aplicação o moderador deve realizar seu cadastro. No cadastro devem ser informados o nome, tipo (agente), e-mail e senha para acesso. O cadastro do CPF é opcional. Feito isso, basta clicar na opção “Cadastrar” e realizar acesso ao sistema (*login*).

A Figura 28 apresenta a área do moderador, a qual permite determinar a veracidade dos eventos reportados pelos usuários. No lado direito da tela aparece uma lista de eventos reportados pelos usuários da aplicação. A listagem dos eventos considera os N eventos mais próximos do moderador. Informações como tipo do evento, o local do evento (rua, bairro e cidade), a distância que o evento se encontra em relação a posição do moderador e quantidade que um determinado evento foi reportado são apresentadas. Também é apresentada a posição geográfica (longitude e latitude) do evento na parte superior do mapa. Ao selecionar um evento da lista, aparecerão as opções “Confirmar” - onde o moderador poderá confirmar a veracidade do evento e “Remover” - onde o moderador poderá excluir a informação caso seja falsa ou confidencial. Isso permite que os motoristas tenham acesso apenas a informações relevantes para que possam auxiliá-los a evitarem áreas que possam ocorrer ou esteja ocorrendo congestionamentos.

Longitude: -42.878873842992 | Latitude: -20.755480394858. Foi Reportado por 1 Pessoa(s). Fica aproximadamente à 74.904 Metros metros de você.

Tipo	Rua	Bairro	Cidade	Distância	Quantidade
Acidente Caminhão	Rua Padre Serafim	Centro	Viçosa - MG	46.268 Metros	1
Buraco	Rua Padre Serafim	Centro	Viçosa - MG	74.904 Metros	1
Acidente	Rua Buenos Aires	Novo Silvestre	Viçosa - MG	6.023 Km	4

Eventos Confirmados

Figura 28 – Área para Avaliação dos Eventos  
Fonte: Autoria própria

Ao selecionar a opção “Confirmar”, uma tela será apresentada (Figura 29), onde, o moderador poderá incluir informações adicionais para o evento ocorrido na opção “Descrição”, definir um tempo para que o evento seja solucionado na opção “Estimativa” ou, definir o impacto do evento reportado na opção “Nível de Gravidade”. Esse último, contém três níveis de classificação (normal, médio e grave). Um evento definido como normal não interfere no tráfego, porém, serve de alerta como um evento que pode se tornar algo mais grave futuramente. Um evento classificado como médio, pode interferir no tráfego provocando lentidão dos veículos que passarão naquele trecho. Já o evento definido como grave, provavelmente causará o bloqueio da pista ou da rua onde o mesmo se encontra.

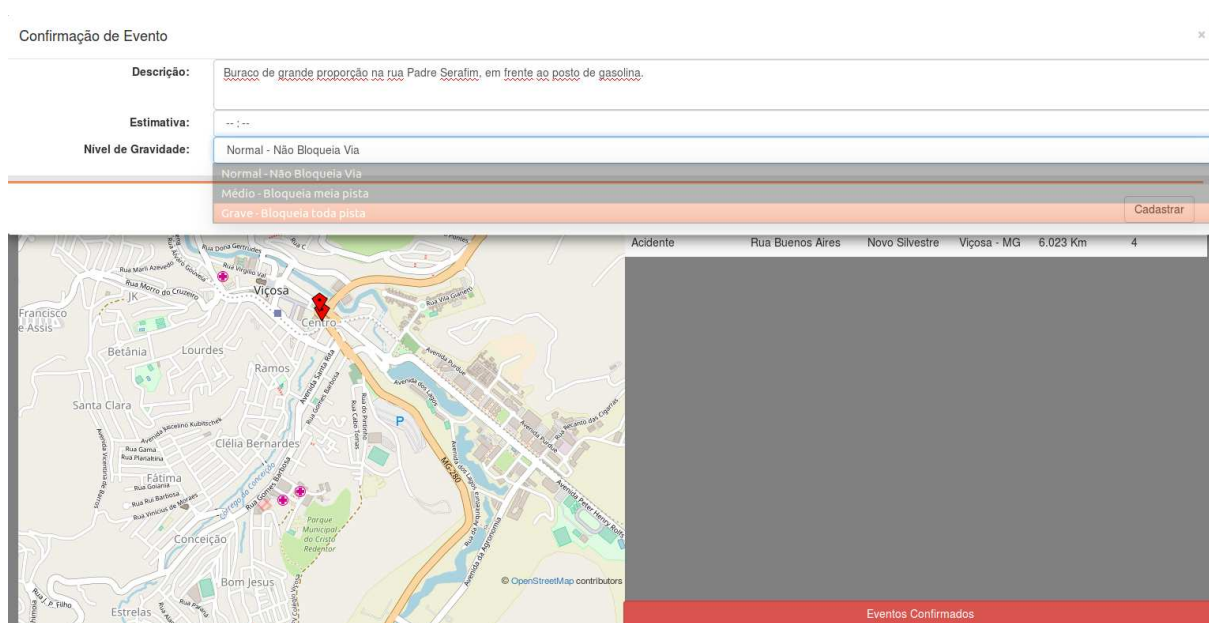


Figura 29 – Área para Aprovação de Eventos  
Fonte: Autoria própria

Na parte inferior da tela onde aparece a lista de eventos reportados para serem analisados aparece a opção “Eventos Confirmados”. Ao selecionar essa opção todos os eventos reportados já confirmados estarão disponíveis, conforme ilustra a Figura 30. Ao selecionar um evento, aparecem duas opções. Na opção “Atualizar”, o moderador pode alterar as informações inseridas no momento da confirmação do evento (descrição, estimativa e nível de gravidade). Na opção “Finalizar”, o moderador pode “concluir” o evento caso o mesmo tenha sido solucionado. Dessa forma, o evento não será mais apresentado no mapa.

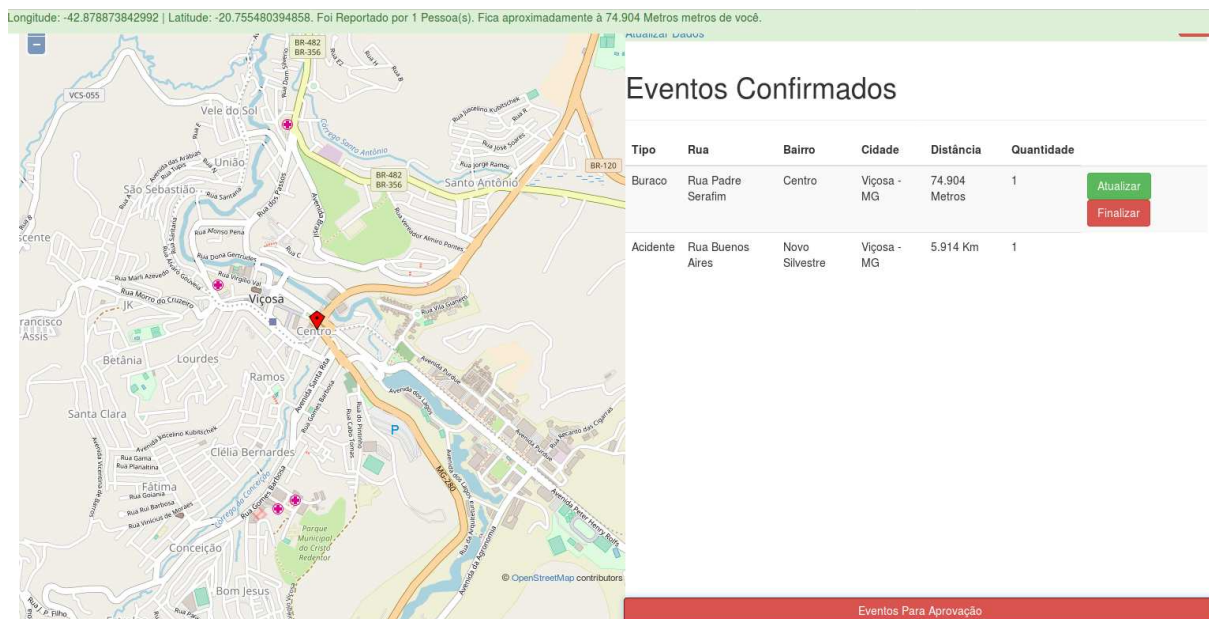


Figura 30 – Área dos Eventos Confirmados  
 Fonte: Autoria própria

O acesso dessas informações, permite que os motoristas evitem os trechos que podem estar congestionados. Essa aplicação é só um exemplo de como a integração de VGI com IDE pode gerar serviços inteligentes para melhoria da qualidade de vida dos cidadãos.

## 5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

A proposta de integrar VGI com IDE se mostrou promissora e permitiu desenvolver uma aplicação para coleta de informações voluntárias sobre eventos que podem influenciar o tráfego de veículos nas cidades. O Sensor Cidadão pode permitir maior eficiência ao sistema através dos dados coletados. Progressivamente, os cidadãos estão gradativamente “habilitados” com dispositivos com acesso à Internet e se tornam grandes colaboradores em sistemas que utilizam VGI. As comunidades definidas podem assumir diversos papéis no sistema. Os papéis especificados de cada comunidade podem compartilhar um mesmo objetivo no sistema como fornecer informações de modo voluntário (VGI).

O problema de congestionamentos de veículos é apenas um exemplo dentre diversos domínios que podem ser amenizados utilizando VGI combinada a IDE. As informações produzidas pelos cidadãos podem ser úteis para os motoristas que utilizam ou tenham acesso à aplicação, permitindo que os mesmos evitem áreas críticas que possam estar bloqueadas ou com tráfego denso (congestionado). Os moderadores atuam no monitoramento e controle dos eventos reportados, a fim de permitir apenas informações verídicas e que não carregue conteúdo confidencial.

A utilização da VGI permitiu que veículos reduzissem o tempo de atraso em seu deslocamento porém, alguns veículos tiveram um acréscimo no tempo de atraso. Isso se justifica por algumas situações como o aumento no fluxo de veículos em suas rotas ocasionadas por incidentes em outras rotas, aumento da distância percorrida ao buscar nova rota para o atual destino, dentre outras.

É iminente a necessidade de desenvolver propostas que também busquem melhorias em outros domínios das cidades. Os indicadores e domínios da ISO/DIS 37120 podem ser muitos úteis fornecendo um caminho inicial para identificação de áreas deficientes que carecem de soluções inteligentes. O SUMO pode ser utilizado como um importante artefato para realizar planejamentos no trânsito das cidades. Por exemplo, verificar qual o melhor sentido de uma determinada rua, verificar se o tráfego flui melhor adicionando em determinada rua configurada como sentido único (*one-way*) ou sentido duplo (*two-way*), analisar se determinada rua suporta adições de faixas (para veículos motorizados ou não, transporte públicos, pedestres), verificar se o número de faixas é adequado para determinada rua, verificar possíveis locais que necessitam de semáforos, analisar se a configuração do semáforo é adequada e proporciona a melhor mobilidade evitando congestionamentos, analisar se a velocidade máxima permitida em determinado trecho é a mais adequada, verificar trechos que são passíveis de ocorrer maior

número de acidentes, identificar pontos estratégicos afim de instalar sensores (câmeras de vigilância e radares) que ajudem a identificar e prevenir incidentes no trânsito e muitas outras.

Este trabalho permitiu a publicação de um artigo na *7th International Conference on Smart Cities and Green ICT Systems (SMARTGREENS)* em 2017 com a proposta apresentada no Capítulo 3. Como trabalhos futuros, utilizar um Sensor Físico a fim de verificar eficiência no Sistema de Redução de Congestionamento de Veículos além de adicionar funcionalidades como cálculos de rotas que considerem informações adicionais como incidentes, áreas de risco, áreas em manutenção, dentre outros eventos, reportadas pelos cidadãos voluntariamente e que devem ser consideradas no momento de traçar o melhor caminho até o destino.

## BIBLIOGRAFIA

- ALLBLACKBERRY. **Real time traffic information with Google Maps**. Disponível em: <https://crackberry.com/real-time-traffic-information-google-maps>. Acesso em: 19 de Janeiro de 2018. 2007.
- ALONSO, G., CASATI, F., KUNO, H., e MACHIRAJU, V. Web Services. In: **Web Services**. Springer Berlin Heidelberg, 2004. p. 123-149.
- ATTARD, M., HAKLAY, M., e CAPINERI, C. The Potential of Volunteered Geographic Information (VGI) in Future Transport Systems. **Urban Planning**, v. 1, n. 4, 2016.
- BEHRISCH, M., BIEKER, L., ERDMANN, J., e KRAJZEWICZ, D. SUMO – Simulation of Urban Mobility: an overview. In: **Proceedings of SIMUL 2011, The Third International Conference on Advances in System Simulation**. Think Mind, 2011.
- BONDY, J. A., and MURTY, U. S. R. **Graph Theory with Applications**. v. 290. London: Macmillan, 1976.
- BROWN, Martin C. **Hacking google maps and google earth**. Wiley Pub., 2006.
- CARAGLIU, Andrea; DEL BO, Chiara; NIJKAMP, Peter. Smart cities in Europe. **Journal of Urban Technology**, v. 18, n. 2, p. 65-82, 2011.
- CONCAR - Comissão Nacional de Cartografia. **Plano de ação para implantação da inde: Infraestrutura de dados espaciais**. Ministério do Planejamento. Comissão Nacional de Cartografia. DF, Brasília, 2009. p. 203.
- LI, D., SHAN, J., SHAO, Z., ZHOU, X., e YAO, Y. Geomatics for smart cities-concept, key techniques, and applications. **Geospatial Information Science**, v. 16, n. 1, p. 13-24, 2013.
- DLR – German Aerospace Center. Institute of Transportation Systems. **SUMO – Simulation of Urban Mobility**. Disponível em: [http://www.dlr.de/ts/en/desktopdefault.aspx/tabid-9883/16931\\_read-41000](http://www.dlr.de/ts/en/desktopdefault.aspx/tabid-9883/16931_read-41000). Acesso em: 17 de Janeiro de 2018. 2001.
- DOM - Diário Oficial do Município. **DECRETO Nº 16.322**, DE 13 DE MAIO DE 2016. Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. Disponível em: [http://geocorp.pbh.gov.br/sites/geoportao.pbh.gov.br/files/pdf/CIDE-BHGE/decreto\\_16.322-13052016\\_criacaoidebhgeo.pdf](http://geocorp.pbh.gov.br/sites/geoportao.pbh.gov.br/files/pdf/CIDE-BHGE/decreto_16.322-13052016_criacaoidebhgeo.pdf). Acesso em: 15 de Janeiro de 2018. 2016.
- FALL, Kevin. A Delay-Tolerant Network Architecture for Challenged Internets. In: **Proceedings of the 2003 Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communications**. ACM, 2003. p. 27-34.
- FERNÁNDEZ, M. J., ÁLVAREZ, P., LÓPEZ, F. J., e MURO, P. R. IDEZar: Un Ejemplo de Implantación de una IDE en la Administración Local. **Actas de las IX Jornadas Sobre Tecnologías de la Información para la Modernización de las Administraciones Públicas** (Tenimap 2006). Sevilla, España, 2006.
- FGDC - FEDERAL GEOGRAPHIC DATA COMMITTEE, (1998). **Content Standard for Digital Geospatial Metadata**. Disponível em: [https://www.fgdc.gov/standards/projects/metadata/base-metadata/v2\\_0698.pdf](https://www.fgdc.gov/standards/projects/metadata/base-metadata/v2_0698.pdf). Acesso em: 12 de Janeiro de 2018.
- GAL-TZUR, A., GRANT-MULLER, S. M., KUFLIK, T., MINKOV, E., NOCERA, S., e SHOOR, I. The Potential of Social Media in Delivering Transport Policy Goals. **Transport Policy**, 32, 115–123, 2014.
- GOODCHILD, M. F. Citizens as Sensors: the world of volunteered geography. **GeoJournal**, 69(4): 211–221, 2007.
- GOOGLE MAPS HELP. **View places, traffic, terrain, biking, and transit**. Disponível em: <https://support.google.com/maps/answer/3092439?co=GENIE.Platform%3DAndroid&hl=en&oco=1>. Acesso em 19 de Janeiro de 2018. 2018.

- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/vicosa>. Acesso em: 7 de Novembro de 2017.
- IBM: **Smarter Thinking for a Smarter Planet**. 2010.
- IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **População e PIB das cidades médias crescem mais que no resto do Brasil** (2008). Disponível em: [http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/32\\_release\\_pibdascidades.pdf](http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/32_release_pibdascidades.pdf). Acesso em: 15 de Dezembro de 2017.
- ISO/DIS-37120. Sustainable Development and Resilience of Communities - **Indicators for City Services and Quality of Life**. International Organization, v. 2013, p.08–27, 2013.
- KERANEN, Ari. **Opportunistic Network Environment Simulator**. Special Assignment Report, Helsinki University of Technology, Department of Communications and Networking, 2008.
- KRAJZEWICZ, D., HERTKORN, G., RÖSSEL, C., e WAGNER, P. SUMO (Simulation of Urban MObility) - an open-source traffic simulation. In: **Proceedings of the 4th middle East Symposium on Simulation and Modelling (MESM 2002)**. p. 183-187, 2002.
- KRAJZEWICZ, D., ERDMANN, J., BEHRISCH, M., e BIEKER, L. Recent Development and Applications of SUMO - Simulation of Urban MObility. **International Journal on Advances in Systems and Measurements**, v. 5, n. 3 e 4: 128-138, 2012.
- KRUMNOW, Mario. Sumo as a Service—Building up a Web Service to Interact with SUMO. In: **Simulation of Urban MObility User Conference**. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 62-70, 2013.
- LAURINI, R. **Geographic Knowledge Infrastructure for Territorial Intelligence and Smart Cities**. 2017.
- LEUNG, Ka-Cheong., LI, V. O. K., e YANG, D. An Overview of Packet Reordering in Transmission Control Protocol (TCP): problems, solutions, and challenges. **IEEE transactions on parallel and distributed systems**, v. 18, n. 4, 2007.
- MANVILLE, Catriona et al. **Mapping Smart Cities in the EU**. 2014.
- McClendon, Brian. **Google Maps and Waze, Outsmarting Traffic Together**. Disponível em: <https://www.blog.google/products/maps/google-maps-and-waze-outsmarting>. Acesso em 19 de Janeiro de 2018. 2013.
- MOTTA, D., MATA, Daniel da. **Crescimento das Cidades Médias**. 2008.
- OSM – OpenStreetMap. **Wiki**. Disponível em: <https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Key:amenity>. Acesso em 26 de Janeiro de 2018. 2018.
- OXFORD, Dictionary. (2017). **Oxford English Dictionary**. Oxford: Oxford University Press. Disponível em: <http://www.oxforddictionaries.com>. Acesso em: 18 de Novembro de 2017.
- PELLICER, F. L., ÁLVAREZ, P., MURO-MEDRANO, P. IDEZar: Procesos, Herramientas y Modelos Urbanos Aplicados a la Integración de Datos Municipales Procedentes de Fuentes Heterogéneas. **Avances en las Infraestructuras de Datos Espaciales**. Treballs D'informàtica I Tecnologia. Castelló de La Plana: Universidad Jaime I De Castellón, p. 105–113, 2006.
- PERCIVALL, G., RONSDORF, C., LIANG, S., MCKENZIE, D., e MCKEE, L. OGC Smart Cities Spatial Information Framework. 2015.
- PÉREZ, M. J., LÓPEZ, J., FERNÁNDEZ, M., MORÁN, V., e RODRIGO, P. Infraestructuras de Datos Espaciales como Eje Central del Desarrollo de las Smart Cities. **Actas de las IV Jornadas Ibéricas de Infraestructuras de Datos Espaciales (JIIDE'2013)**. Toledo, Spain, 2013.
- POSTEL, J. B. **Transmission Control Protocol**. 1981.

- RAJABIFARD, Abbas e WILLIAMSON, Ian P. Spatial Data Infrastructures: Concept, SDI Hierarchy and Future Directions. In: **Proceedings of GEOMATICS'80 Conference**. 2001.
- RAJABIFARD, A., WILLIAMSON, Ian P. Spatial Data Infrastructures: an initiative to facilitate spatial data sharing. **Global environmental databases-present situation; future directions**, v. 2, 2002.
- SMITH, A. e JONES, B. On the Complexity of Computing. In **Advances in Computer Science**, p. 555–566, 1999.
- SOARES, G., KOKKINOGENIS, Z., MACEDO, J. L., e ROSSETTI, R. J. Agent-based Traffic Simulation using SUMO and JADE: an integrated platform for Artificial Transportation Systems. In: **Simulation of Urban MObility User Conference**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2013. p. 44-61.
- SUMO – Simulation of Urban MObility. **NETCONVERT**. Disponível em: <http://sumo.dlr.de/userdoc/NETCONVERT.html>. Acesso em: 25 de Janeiro de 2018. 2017a.
- SUMO – Simulation of Urban MObility. **POLYCONVERT**. Disponível em: <http://sumo.dlr.de/userdoc/POLYCONVERT.html>. Acesso em: 26 de Janeiro de 2018. 2017b.
- SUMO – Simulation of Urban MObility. **Networks/Import/OpenStreetMap**. Disponível em: <http://sumo.dlr.de/wiki/Networks/Import/OpenStreetMap>. Acesso em: 26 de Janeiro de 2018. 2017c.
- SUMO – Simulation of Urban MObility. **DUAROUTER**. Disponível em: <http://sumo.dlr.de/wiki/DUAROUTER>. Acesso em: 08 de Fevereiro de 2018. 2017d.
- SUMO – Simulation of Urban MObility. **Tools/Trip**. Disponível em: <http://sumo.dlr.de/wiki/Tools/Trip>. Acesso em: 08 de Fevereiro de 2018. 2017e.
- SUMO – Simulation of Urban MObility. **Definition of Vehicles, Vehicle Types, and Routes**. Disponível em: [http://sumo.dlr.de/wiki/Definition\\_of\\_Vehicles,\\_Vehicle\\_Types,\\_and\\_Routes#departSpeed](http://sumo.dlr.de/wiki/Definition_of_Vehicles,_Vehicle_Types,_and_Routes#departSpeed). Acesso em: 08 de Fevereiro de 2018. 2017f.
- SUMO – Simulation of Urban MObility. **Simulation/Pedestrians**. Disponível em: <http://sumo.dlr.de/wiki/Simulation/Pedestrians>. Acesso em: 09 de Fevereiro de 2018. 2018a.
- TAO, W. Interdisciplinary Urban GIS for Smart Cities: Advancements and Opportunities. **Geospatial Information Science**, v. 16, n. 1, p. 25-34, 2013.
- THEONE - **The Opportunistic Network Environment simulator**. Disponível em : <http://www.netlab.tkk.fi/tutkimus/dtn/theone>. Acesso em: 16 de Janeiro de 2018.
- TOMTOM – TomTom Traffic Index. **Measuring congestion worldwide**. Disponível em: [http://www.tomtom.com/en\\_gb/trafficindex](http://www.tomtom.com/en_gb/trafficindex). Acesso em: 28 de ago. de 2017. 2016.
- WEST, D. Brent. **Introduction to Graph Theory**. v. 2. Upper Saddle River: Prentice hall, 2001.
- WHO - World Health Organization. **World Health Statistics 2016: Monitoring Health for the SDGs (Sustainable Development Goals)**. Geneva. World Health Organization, 2016.

## APÊNDICE A

Este apêndice apresenta um tutorial para realização de uma simulação utilizando o Simulador de Mobilidade Urbana (SUMO) em um ambiente real exportado do *OpenStreetMap*.

### 1 Construindo o Ambiente de Simulação

O SUMO trabalha com um conjunto de arquivos representados em XML. Esses arquivos contêm a representação da geometria e topologia do ambiente e as configurações necessárias para que o SUMO consiga carregar e exibir a rede formada pelos arquivos em sua interface. Este trabalho utiliza um ambiente “real” da cidade de Viçosa exportada do OpenStreetMap para realização da simulação.

Para que o SUMO reconheça a rede importada é necessário realizar conversão para o formato XML. Essa conversão é realizada utilizando uma aplicação de linha de comando: NETCONVERT (SUMO, 2017a). Essa aplicação realiza a conversão da rede viária de uma cidade sem que haja perdas de informação. Para realizar a conversão basta executar o seguinte comando no terminal:

```
netconvert --osm-files nome_do_arquivo.osm -o nome_do_arquivo.net.xml
```

A primeira cláusula “netconvert” é para iniciar a aplicação, as demais são parâmetros onde a entrada (input) --osm-files <FILE> deve conter o nome do arquivo exportado do OpenStreetMap e para a saída -o <FILE> deve ser fornecido o nome de um arquivo para guardar o resultado da conversão. Caso não seja especificado um arquivo de saída, será gerado um arquivo <net-file> padrão chamado “net.net.xml”. Feito o processo de conversão, basta passar o nome do arquivo gerado (nome\_do\_arquivo.net.xml) como entrada <input> no arquivo de configuração <configuration> conforme o código abaixo:

```
<configuration>  
  <input>  
    <net-file value="nome_do_arquivo.net.xml"/>  
  </input>  
</configuration>.
```

Para visualizar o mapa no ambiente do SUMO, o arquivo de configuração (nome\_do\_arquivo.sumo.cfg) deve ser executado no terminal na seguinte forma:

```
sumo-gui -c nome_do_arquivo.sumo.cfg
```

O comando “sumo-gui” inicia a interface do SUMO e o -c<FILE> recebe como parâmetro o arquivo de configuração. A Figura A1 mostra o resultado da conversão da parte central da cidade de Viçosa, representada na interface do SUMO. Apenas os trechos de

mobilidade foram importados além dos objetos que os compõem como: semáforos, calçadas, estacionamentos, etc.



Figura A1 – Interface do SUMO - Resultado da Conversão com NETCONVERT da Parte Central de Viçosa  
Fonte: Autoria própria

Para que o SUMO importe polígonos ou pontos de interesse de uma determinada área, existe a aplicação POLYCONVERT (SUMO, 2017b). Assim como o NETCONVERT, essa aplicação também é em linha de comando, porém, seu propósito é a transformação de formas geométricas de diferentes fontes, em uma representação que pode ser visualizada pelo SUMO. Para realizar a conversão é utilizado o seguinte comando:

```
polyconvert --net-file nome_do_arquivo.net.xml --osm-files nome_do_arquivo.osm --type-file typemap.xml -o nome_do_arquivo.poly.xml
```

Primeiro deve-se iniciar a aplicação “polyconvert” para em seguida incluir os arquivos entrada --net-file <FILE> o qual foi gerado anteriormente com o NETCONVERT. Além disso é necessário o arquivo --type-file <FILE> para captura e representação das formas geométricas (construções, rios, estacionamentos, parques, florestas, etc.). O SUMO fornece alguns modelos dentre eles o “typemap.xml” que pode ser encontrado em (SUMO, 2017c). O último parâmetro -o <FILE> especifica o nome do arquivo de saída. Feito isso, basta incluir o arquivo resultante (nome\_do\_arquivo.poly.xml) como arquivo adicional <additional-files> no arquivo de configuração conforme o código abaixo:

```
<configuration>
  <input>
    <net-file value="nome_do_arquivo.net.xml"/>
    <additional-files value="nome_do_arquivo.poly.xml"/>
  </input>
</configuration>.
```

A Figura A2 mostra o resultado dessa transformação. É possível identificar alguns polígonos em diferentes cores. Por exemplo, o polígono maior na parte inferior, direita, representado pela cor rosa (RGB color="0.93, 0.78, 0.78") é definido um polígono do tipo (*polygonType*) amenidade "amenity", ou seja, "representa instalações úteis e importante para visitantes e residentes" (OSM, 2018). Deste modo, a definição satisfaz a área representada onde se encontra o campus da Universidade Federal de Viçosa. No interior e próximo a esse polígono pode-se observar algumas áreas cinzas (RGB color="0.72, 0.72, 0.70") que representam áreas de estacionamento (*parking*).

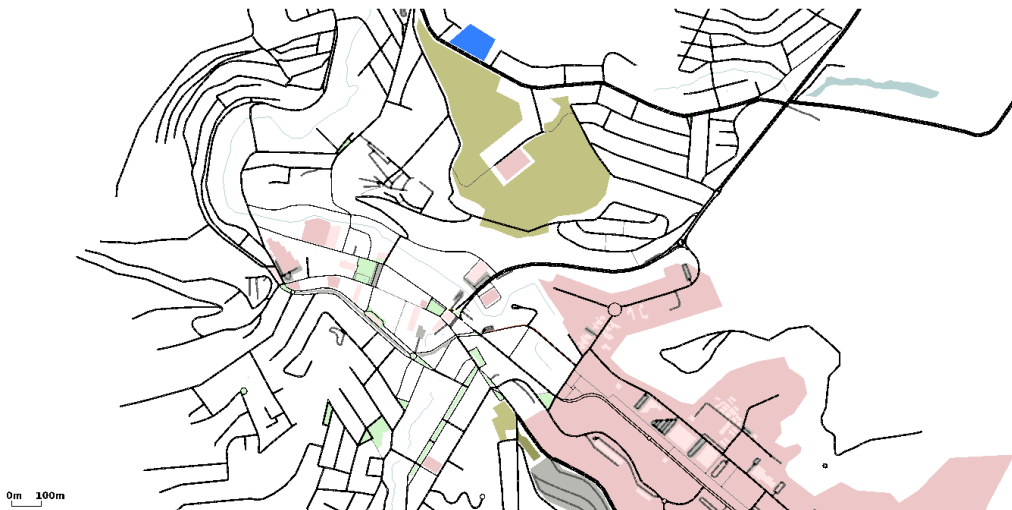


Figura A2 – Interface do SUMO - Transformação das Formas Geográficas Presentes no Ambiente  
Fonte: Autoria própria

Existem outras aplicações para realizar transformações e configurações que podem ser utilizadas no ambiente. Porém, apenas as que foram utilizadas são apresentadas neste trabalho.

### 1.1 Incluindo Veículos e suas Rotas

Após realizada a configuração do ambiente o próximo passo é inserir elementos de mobilidade: veículos (*vehicles*) e pedestres (*pedestrians*). Para incluir veículos no SUMO é necessário definir três parâmetros: o tipo `<vType>` que descreve as propriedades físicas do veículo, uma rota `<route>` que o veículo percorrerá no ambiente e o próprio veículo. Veículos distintos podem pertencer ao mesmo grupo e compartilhar a mesma rota. O motorista não

precisa ser definido explicitamente ao definir um veículo. Neste trabalho foi utilizada a geração automática dos veículos e suas rotas, via linha de comando.

Para criar automaticamente veículos e rotas para a simulação, primeiro deve-se definir um arquivo adicional (nome\_do\_arquivo.add.xml) que deverá ser passado como entrada no arquivo de configuração (nome\_do\_arquivo.sumo.cfg). O arquivo adicional com as propriedades físicas do veículo é definido da seguinte forma:

```
<additional>
  <vType id="myType"vClass="group" length="float" minGap=" float"
  speedDev="float"/>
</additional>
```

A opção *id="myType"* define o identificador do veículo, o *vClass="type"* define o tipo ao qual o veículo pertence: táxi (*taxi*), ônibus (*bus*), carro (*car*), bicicleta (*bicycle*), dentre outros; *length="float"* define o comprimento do veículo em metros, o *minGap="float"* define a distância mínima a ser mantida entre dois veículos e; *speedDev="float"* define a porcentagem da variação da velocidade do veículo (*maxSpeed*). Quando não é fornecida a velocidade máxima do veículo por padrão é definido randomicamente (*random*). Se o *speedDev* for definido como 0.1, significa que pode haver uma variação da velocidade máxima do veículo em até 10%, para mais ou para menos. Desse modo, o arquivo de configuração é definido da seguinte forma:

```
<configuration>
  <input>
    <net-file value="nome_do_arquivo.net.xml"/>
    <additional-files value="nome_do_arquivo_car.add.xml,
      nome_do_arquivo.poly.xml"/>
  </input>
</configuration>.
```

Definidas as propriedades físicas do veículo, é necessário criá-los e gerar suas rotas. Para isso, utiliza-se a aplicação DUAROUTER (SUMO, 2017d). A aplicação tem como objetivos a construção e computação das rotas e reparação de problemas de conectividade no arquivo de rotas existente. A entrada é a rede gerada no NETCONVERT (nome\_do\_arquivo.net.xml) e como saída primária, para armazenar a definição, os tipos dos veículos e as rotas utilizáveis, deve ser passado na opção *-r <FILE>*, um arquivo com a seguinte nomenclatura: nome\_do\_arquivo.rou.xml. Além disso, é gerado outro arquivo “nome\_do\_arquivo\_car.rou.alt.xml” com mesmo prefixo do arquivo da saída primária. Esse

arquivo alternativo contém a distribuição de rotas para cada veículo. A aplicação importa diferentes definições de demanda, calculando para os veículos, rotas com menor caminho.

Para que cada veículo siga um percurso é necessário definir caminhos ou viagens (*trips*). Para isso o SUMO conta com a ferramenta *randomTrips* que permite a geração de um conjunto de viagens aleatórias para uma determinada rede. As viagens são construídas através da escolha aleatória de um ponto de origem e um ponto de destino nas faixas (*edges*) que compõe as pistas (*lanes*) da rede. Por padrão, as viagens iniciam no tempo 0 segundo (opção -b, padrão 0) da simulação e finalizam no tempo padrão de 3.600 segundos (opção -e, padrão 3.600). O número de viagens é definido pela taxa de repetição (opção -p, padrão 1) em segundos. As viagens são armazenadas em arquivo XML (opção -o, padrão trips.trips.xml). Quanto à quantidade de veículos gerados, cria-se um veículo para cada taxa de repetição (-p) até o término (-e) da simulação. Isso significa que ao deixar ambos com valor padrão (-p=1s e -e=3.600s), será criado a cada 1 segundo um veículo até atingir 3.600 segundos. Ao final serão gerados 3.600 veículos onde cada um terá uma rota e caminho a ser percorrido (SUMO, 2017e). Tudo isso pode ser gerado com o seguinte comando:

```
python <SUMO_HOME>/tools/randomTrips.py --n nome_do_arquivo.net.xml -r
nome_do_arquivo_car.rou.xml -t "type=\"myType\" departSpeed=\"max\" departLane=
\"best\"" -c passenger --additional-files nome_do_arquivo_car.add.xml -p <float> -e <int>
-l
```

A opção -t <string> é utilizada para passagem de parâmetros adicionais que podem ser atribuídos aos veículos gerados. O parâmetro “myType” refere-se ao vType id="myType" do arquivo adicional com as propriedades físicas do veículo. A variável *departSpeed* recebe como parâmetro a velocidade com que o veículo entra na rede. Se o parâmetro for um valor maior ou igual a 0, ( $\geq 0$ ) o veículo sofre uma tentativa de inserção na rede usando a velocidade dada. Se o parâmetro for “random”, o veículo é inserido na rede com uma velocidade aleatória entre 0 e um valor mínimo (velocidade máxima do veículo, velocidade máxima da pista); e, se o parâmetro for “max” é utilizada a velocidade máxima permitida para o veículo na pista de partida escolhida. A variável *departLane* determina em qual faixa (*lane*) o veículo será incluído. O parâmetro “best” insere o veículo na faixa mais livre (*free*) ou menos ocupada que permite o trajeto mais longo sem que haja necessidade de mudança de pista. Outros parâmetros estão disponíveis em (SUMO, 2017f). Na opção -c é passado como parâmetro a classe (vClass) padrão passageiro (*passenger*) que indica carros com a possibilidade de haver passageiros. A opção -l é para permitir a saída detalhada das mensagens, avisos e erros no SUMO. Feito isso,

basta incluir o arquivo de rotas dos veículos (`nome_do_arquivo_car.rou.xml`) como entrada no arquivo de configuração ficando da seguinte forma:

```
<configuration>
  <input>
    <net-file value="nome_do_arquivo.net.xml"/>
    <route-files value=" nome_do_arquivo_car.rou.xml "/>
    <additional-files value="nome_do_arquivo_car.add.xml,
      nome_do_arquivo.poly.xml"/>
  </input>
</configuration>.
```

Qualquer alteração, ou inclusão de novos objetos e configurações pode ser testado se foram realizados com êxito utilizando o seguinte comando:

```
sumo-gui -c nome_do_arquivo.sumo.cfg
```

Feita a definição e configuração do ambiente e dos veículos com suas respectivas rotas e trajetos, é o momento de introduzir pedestres (*pedestrian*) e os eventos ou incidentes (*points*) na rede. Neste trabalho eventos e pontos são definidos como sinônimos.

## 1.2 Incluindo Pedestres

Os pedestres (*pedestrian*) são definidos como pessoas (*persons*) que caminham pelo ambiente são representados neste trabalho como o segundo elemento de mobilidade. O ambiente pode conter vias (*edges*) específicas para mobilidade de diferentes classes ou tipos de elementos, além disso, as vias podem conter restrições de permissões para diferentes modos de tráfego (SUMO, 2018a). Assim como para os veículos é necessário definir um arquivo adicional (`nome_do_arquivo.add.xml`) que deverá ser passado como entrada no arquivo de configuração (`nome_do_arquivo.sumo.cfg`). O arquivo adicional com as propriedades físicas do pedestre é definido da seguinte forma:

```
<additional>
  <vType id="myType" vClass="group" length="float" width="float" minGap="float"
    maxSpeed="float" />
</additional>
```

A opção `id="myType"` define o identificador da pessoa; o `vClass="group"` define o tipo ao qual a pessoa pertence: pedestres (*pedestrian*); o `length="float"` define o comprimento (em metros) do pedestre para visualização no ambiente; o `minGap="float"` define a distância mínima a ser mantida entre dois pedestres; e, `maxSpeed="float"` define a velocidade máxima que o

pedestre pode atingir. Quando não é fornecida a velocidade máxima do pedestre, por padrão é definido 1.39m/s (5km/h). Assim sendo, o arquivo de configuração ficará da seguinte forma:

```
<configuration>
  <input>
    <net-file value="nome_do_arquivo.net.xml"/>
    <additional-files value="nome_do_arquivo_car.add.xml,
      nome_do_arquivo_ped.add.xml, nome_do_arquivo.poly.xml"/>
  </input>
</configuration>
```

O primeiro parâmetro indica o arquivo adicional do veículo e o segundo indica o arquivo adicional do pedestre, ou vice-versa. Ambos, mudam apenas de prefixo. O próximo passo é gerar os pedestres e suas rotas. Esse processo é similar ao realizado para os veículos utilizando o DUAROUTER. A entrada, é a rede gerada no NETCONVERT (nome\_do\_arquivo.net.xml) e como saída primária, para armazenar a definição dos pedestres e as rotas utilizáveis, deve ser passado na opção `-r <FILE>`, um arquivo com a seguinte nomenclatura: nome\_do\_arquivo.rou.xml. Além disso, é gerado outro arquivo “nome\_do\_arquivo\_ped.rou.alt.xml” com mesmo prefixo do arquivo da saída primária com o prefixo definido para os pedestres. Caso não sejam especificadas as faixas (*edges*) que o pedestre poderá se locomover, o pedestre mesmo será encaminhado de acordo com o caminho mais curto ao longo das faixas das vias.

As viagens (*trips*) para os pedestres são definidas semelhantemente ao modo como são definidas as viagens dos veículos utilizando a ferramenta *randomTrips*. Os pedestres podem se locomover tanto nas calçadas (*sidewalks*) quanto nas pistas (*lanes*). Quando veículos e pedestres se movem na mesma pista, farão o possível para evitar uma colisão entre ambos (SUMO, 2018a). O padrão das viagens é o mesmo dos veículos: iniciam no tempo 0 segundo (opção `-b`, padrão 0) da simulação e finalizam no tempo padrão de 3.600 segundos (opção `-e`, padrão 3.600). O número de viagens é definido pela taxa de repetição (opção `-p`, padrão 1) em segundos. As viagens são armazenadas em arquivo XML (opção `-o`, padrão `trips.trips.xml`). Quanto à quantidade de pedestres gerados, cria-se um pedestre para cada taxa de repetição (`-p`) até o término (`-e`) da simulação. Isso significa que ao deixar ambos com valor padrão (`-p=1s` e `-e=3.600s`), será criado a cada 1 segundo um pedestre até atingir 3.600 segundos. Ao final serão gerados 3.600 pedestres onde cada um terá uma rota e caminho a ser percorrido. Tudo isso pode ser gerado com o seguinte comando:

```
python <SUMO_HOME>/tools/randomTrips.py --n nome_do_arquivo.net.xml -r
nome_do_arquivo_ped.rou.xml -t "type=\"myType\"" -c pedestrian --pedestrians --
additional-files nome_do_arquivo_ped.add.xml -p <float> -e <int> -l
```

As opções são as mesmas definidas para os veículos. Somente alguns parâmetros são alterados. A opção `-r` é define o arquivo de rotas dos pedestres (nome\_do\_arquivo\_ped.rou.xml); A opção `-t <string>` é utilizada para passagem de parâmetros adicionais que podem ser atribuídos aos pedestres gerados. O parâmetro “myType” refere-se ao `vType id="myType"` do arquivo adicional com as propriedades do pedestre. Na opção `-c` é passado como parâmetro a classe (`vClass`) pedestre (`pedestrian`). A opção `-l` é para permitir a saída detalhada das mensagens, avisos e erros no SUMO. Feito isso, basta incluir o arquivo de rotas dos pedestres (nome\_do\_arquivo\_ped.rou.xml) como entrada no arquivo de configuração ficando da seguinte forma:

```
<configuration>
  <input>
    <net-file value="nome_do_arquivo.net.xml"/>
    <route-files value="nome_do_arquivo.rou_car.xml,nome_do_arquivo_ped.rou.xml"/>
    <additional-files value="nome_do_arquivo_car.add.xml,
      nome_do_arquivo_ped.add.xml, nome_do_arquivo.poly.xml"/>
  </input>
</configuration>
```

O primeiro parâmetro do “value” recebe o arquivo com a rota dos veículos e o segundo parâmetro recebe o arquivo com a rota dos pedestres, ou vice-versa. Deste modo a rede está configurada para simular pedestres e veículos. Para visualizar basta executar:

```
sumo-gui -c nome_do_arquivo.sumo.cfg
```

Definido o ambiente e os elementos de mobilidade (veículos e pedestres), o próximo passo é definir os pontos de interesse.

### 1.3 Incluindo Pontos de Interesse (POIs)

Os pontos de interesse representam os eventos neste trabalho. Esses eventos são inseridos na simulação como incidentes ou situações que podem causar interferências na mobilidade dos veículos. Para definir um ponto basta criar um arquivo adicional (*additional file*) com a seguinte nomenclatura: nome\_do\_arquivo\_POIs.add.xml. O arquivo com os pontos é definido da seguinte forma:

```
<additional>
  <poi id = "string_id" type = "typename" color = "red, green, blue" x = "x_pos" y =
    "y_pos" />
</additional>
```

A variável “id” define um identificador único, do ponto. A variável “type” define um nome para o ponto. A variável “color” que define a cor para visualização do ponto no padrão RGB, onde, “red, green, blue” devem ser números decimais entre 0 e 1 separados por vírgula. As variáveis x e y representam a posição (coordenada) do ponto em relação ao eixo x (longitude) e ao eixo y (latitude). Feito isso, basta inserir como parâmetro o nome do arquivo com os pontos (nome\_do\_arquivo\_POIs.add.xml) no arquivo de configuração. O resultado é apresentado da seguinte forma:

```
<configuration>
  <input>
    <net-file value="nome_do_arquivo.net.xml"/>
    <route-files value="nome_do_arquivo_car.rou.xml,nome_do_arquivo_ped.rou.xml"/>
    <additional-files value="nome_do_arquivo_car.add.xml,
      nome_do_arquivo_ped.add.xml, nome_do_arquivo.poly.xml,
      nome_do_arquivo_POIs.add.xml"/>
  </input>
</configuration>
```

Assim, o ambiente está configurado com veículos, pedestres e eventos, e pronto para ser executado:

```
sumo-gui -c nome_do_arquivo.sumo.cfg
```

O SUMO dispõe de uma grande quantidade de ferramentas e funções que permitem diversas configurações para criação de simulações mais realistas. Todos os procedimentos realizados para configuração do ambiente e componentes inseridos na rede, podem ser realizados utilizando a Interface de Controle de Tráfego (TRACI).