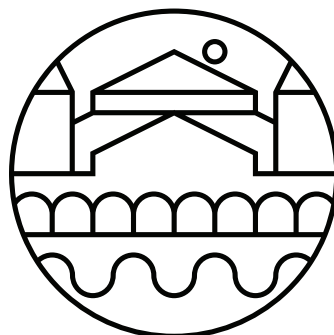




XXXV
SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
REDES DE COMPUTADORES
E SISTEMAS DISTRIBUÍDOS
15 a 19 de maio de 2017
Belém - Pará

Anais I CoUrb 2017





X X X V

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
REDES DE COMPUTADORES
E SISTEMAS DISTRIBUÍDOS

15 a 19 de maio de 2017
Belém - Pará

Anais do I CoUrb 2017

Workshop de Computação Urbana

Editora

Sociedade Brasileira de Computação (SBC)

Organização

Bruno Yuji Lino Kimura (UNIFESP)
Daniel Ludovico Guidoni (UFSJ)
Leandro Aparecido Villas (UNICAMP)
Roberto Sadao Yokoyama (UTFPR)
Thiago Henrique Silva (UTFPR)
Ronaldo Alves Ferreira (UFMS)
Antônio Jorge Gomes Abelém (UFPA)
Eduardo Coelho Cerqueira (UFPA)

Realização

Sociedade Brasileira de Computação (SBC)
Universidade Federal do Pará (UFPA)
Laboratório Nacional de Redes de Computadores (LARC)

Copyright ©2017 da Sociedade Brasileira de Computação
Todos os direitos reservados

Capa: Catarina Nefertari (PCT-UFPA)

Produção Editorial: Denis Lima do Rosário (UFPA)

Cópias Adicionais:

Sociedade Brasileira de Computação (SBC)

Av. Bento Gonçalves, 9500- Setor 4 - Prédio 43.412 - Sala 219

Bairro Agronomia - CEP 91.509-900 - Porto Alegre - RS

Fone: (51) 3308-6835

E-mail: sbc@sbc.org.br

I Workshop de Computação Urbana (1: 2017: Belém, Pa).

Anais / I Workshop de Computação Urbana – CoUrb; organizado por Antônio Jorge Gomes Abelém, Eduardo Coelho Cerqueira, Ronaldo Alves Ferreira, Bruno Yuji Lino Kimura, Daniel Ludovico Guidoni, Leandro Aparecido Villas, Roberto Sadao Yokoyama, Thiago Henrique Silva - Porto Alegre: SBC, 2017

277 p. il. 21 cm.

Vários autores

Inclui bibliografias

1. Redes de Computadores. 2. Sistemas Distribuídos. I. Abelém, Antônio Jorge Gomes II. Cerqueira, Eduardo Coelho III. Ferreira, Ronaldo Alves IV. Kimura, Bruno Yuji Lino V. Guidoni, Daniel Ludovico VI. Villas, Leandro Aparecido VII. Yokoyama, Roberto Sadao VIII. Silva, Thiago Henrique IX. Título.

Sociedade Brasileira da Computação

Presidência

Lisandro Zambenedetti Granville (UFRGS), Presidente

Thais Vasconcelos Batista (UFRN), Vice-Presidente

Diretorias

Renata de Matos Galante (UFGRS), Diretora Administrativa

Carlos André Guimarães Ferraz (UFPE), Diretor de Finanças

Antônio Jorge Gomes Abelém (UFPA), Diretor de Eventos e Comissões Especiais

Avelino Francisco Zorzo (PUC-RS), Diretor de Educação

José Viterbo Filho (UFF), Diretor de Publicações

Claudia Lage Rebello da Motta (UFRJ), Diretora de Planejamento e Programas Especiais

Marcelo Duduchi Feitosa (CEETEPS), Diretor de Secretarias Regionais

Eliana Almeida (UFAL), Diretora de Divulgação e Marketing

Roberto da Silva Bigonha (UFMG), Diretor de Relações Profissionais

Ricardo de Oliveira Anido (UNICAMP), Diretor de Competições Científicas

Raimundo José de Araújo Macêdo (UFBA), Diretor de Cooperação com Sociedades Científicas

Sérgio Castelo Branco Soares (UFPE), Diretor de Articulação com Empresas

Contato

Av. Bento Gonçalves, 9500

Setor 4 - Prédio 43.412 - Sala 219

Bairro Agronomia

91.509-900 – Porto Alegre RS

CNPJ: 29.532.264/0001-78

<http://www.sbrc.org.br>

Laboratório Nacional de Redes de Computadores (LARC)

Diretora do Conselho Técnico-Científico

Rossana Maria de C. Andrade (UFC)

Vice-Diretor do Conselho Técnico-Científico

Ronaldo Alves Ferreira (UFMS)

Diretor Executivo

Paulo André da Silva Gonçalves (UFPE)

Vice-Diretor Executivo

Elias P. Duarte Jr. (UFPR)

Membros Institucionais

SESU/MEC, INPE/MCT, UFRGS, UFMG, UFPE, UFCG (ex-UEPB Campus Campina Grande), UFRJ, USP, PUC-Rio, UNICAMP, LNCC, IME, UFSC, UTFPR, UFC, UFF, UFSCar, IFCE (CEFET-CE), UFRN, UFES, UFBA, UNIFACS, UECE, UFPR, UFPA, UFAM, UFABC, PUCPR, UFMS, UnB, PUC-RS, PUCMG, UNIRIO, UFS e UFU.

Contato

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Centro de Informática - CIn

Av. Jornalista Anibal Fernandes, s/n

Cidade Universitária

50.740-560 - Recife - PE

<http://www.larc.org.br>

Organização do SBRC 2017

Coordenadores Gerais

Antônio Jorge Gomes Abelém (UFPA)

Eduardo Coelho Cerqueira (UFPA)

Coordenadores do Comitê de Programa

Edmundo Roberto Mauro Madeira (UNICAMP)

Michele Nogueira Lima (UFPR)

Coordenador de Palestras e Tutoriais

Edmundo Souza e Silva (UFRJ)

Coordenador de Painéis e Debates

Luciano Paschoal Gaspar (UFRGS)

Coordenadores de Minicursos

Heitor Soares Ramos (UFAL)

Stênio Flávio de Lacerda Fernandes (UFPE)

Coordenadora de Workshops

Ronaldo Alves Ferreira (UFMS)

Coordenador do Salão de Ferramentas

Fabio Luciano Verdi (UFSCar)

Comitê de Organização Local

Adailton Lima (UFPA)

Alessandra Natasha (CESUPA)

Davis Oliveria (SERPRO)

Denis Rosário (UFPA)

Elisangela Aguiar (SERPRO)

João Santana (UFRA)

Josivaldo Araújo (UFPA)

Marcos Seruffo (UFPA)

Paulo Henrique Bezerra (IFPA)

Rômulo Pinheiro (UNAMA)

Ronede Ferreira (META)

Thiêgo Nunes (IFPA)

Vagner Nascimento (UNAMA)

Comite Consultivo

Allan Edgard Silva Freitas (IFBA)

Antonio Alfredo Ferreira Loureiro (UFMG)

Christian Esteve Rothenberg (UNICAMP)

Fabíola Gonçalves Pereira Greve (UFBA)

Frank Augusto Siqueira (UFSC)

Jussara Marques de Almeida (UFMG)

Magnos Martinello (UFES)

Antonio Marinho Pilla Barcellos (UFRGS)

Moisés Renato Nunes Ribeiro (UFES)

Rossana Maria de Castro Andrade (UFC)

Mensagem dos Coordenadores Gerais

Sejam bem-vindos ao 35o Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC 2017) e a acolhedora cidade das mangueiras - Belém / Pará.

Organizar uma edição do SBRC pela segunda vez no Norte do Brasil é um desafio e um privilégio por poder contribuir com a comunidade de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos do Brasil e do exterior. O SBRC se destaca como um importante celeiro para a discussão, troca de conhecimento e apresentação de trabalhos científicos de qualidade.

A programação do SBRC 2017 está diversificada e discute temas relevantes no cenário nacional e internacional. A contribuição da comunidade científica brasileira foi de fundamental importância para manter a qualidade técnica dos trabalhos e fortalecer a ciência, tecnologia e inovação no Brasil.

Após um cuidadoso processo de avaliação, foram selecionados 77 artigos completos organizados em 26 sessões técnicas e 10 ferramentas para apresentação durante o Salão de Ferramentas. Além disso, o evento contou com 3 palestras e 3 tutoriais proferidos por pesquisadores internacionalmente renomados, 3 painéis de discussões e debates, todos sobre temas super atuais, 6 minicursos envolvendo Big Data, sistemas de transportes inteligentes, rádios definidos por software, fiscalização e neutralidade da rede, mecanismos de autenticação e autorização para nuvens computacionais e comunicação por luz visível, bem como 10 workshops.

O prêmio “Destaque da SBRC” e uma série de homenagens foram prestadas para personalidades que contribuíram e contribuem com a área. O apoio incondicional da SBC, do LARC, do Comitê Consultivo da SBRC e da Comissão Especial de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos da SBC foram determinantes para o sucesso do evento. A realização do evento também contou com o importante apoio do Comitê Gestor da Internet no Brasil (CGI.br), do CNPq, da CAPES, do Parque de Ciência e Tecnologia Guamá, da Connecta Networking, da Dantec Telecom, da RNP e do Google. Nosso especial agradecimento à Universidade Federal do Pará (UFPA) e ao Instituto Federal do Pará (IFPA) pelo indispensável suporte à realização do evento.

Nosso agradecimento também para os competentes e incansáveis coordenadores do comitê do programa (Michele Nogueira/UFRP – Edmundo Madeira/UNICAMP), aos coordenadores dos minicursos (Stênio Fernandes/UFPE – Heitor Ramos/UFAL), ao coordenador dos workshops (Ronaldo Ferreira/UFMS), ao coordenador de painéis e debates (Luciano Gaspar/UFRGS), ao coordenador do Salão de Ferramentas (Fabio Verdi/UFSCar) e ao coordenador de palestras e tutoriais (Edmundo Souza e Silva/UFRJ). Destacamos o excelente trabalho do comitê de organização local coordenado por Denis do Rosário.

Por fim, desejamos a todos uma produtiva semana em Belém.

Antônio Abelém e Eduardo Cerqueira

Coordenadores Gerais do SBRC 2017

Mensagem do Coordenador de Workshops

É com grande prazer que os convido a prestigiar os workshops do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC) nos dias 15, 16 e 19 de maio de 2017. Tradicionalmente, os workshops abrem e fecham a semana do SBRC e são responsáveis por atrair uma parcela expressiva de participantes para o Simpósio. Como coordenador de workshops, dividi com os coordenadores gerais do SBRC a nobre tarefa de selecionar os workshops que melhor representam a comunidade e que fortaleçam novas linhas de pesquisa ou mantenham em evidência linhas de pesquisa tradicionais.

Em resposta à chamada aberta de workshops, recebemos dez propostas de alta qualidade, das quais nove foram selecionadas. Além disso, mantivemos a longa colaboração com a RNP por meio da organização do WRNP, que já é uma tradição na segunda e terça-feira da semana do SBRC. Dentre as propostas aceitas, sete são reedições de workshops tradicionais do SBRC que já são considerados parte do circuito nacional de divulgação científica nas várias subáreas de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, como o WGRS (Workshop de Gerência e Operação de Redes e Serviços), o WTF (Workshop de Testes e Tolerância a Falhas), o WCGA (Workshop em Clouds, Grids e Aplicações), o WP2P+ (Workshop de Redes P2P, Dinâmicas, Sociais e Orientadas a Conteúdo), o WPEIF (Workshop de Pesquisa Experimental da Internet do Futuro), o WoSiDA (Workshop de Sistemas Distribuídos Autônomicos) e o WoCCES (Workshop de Comunicação de Sistemas Embarcados Críticos). Como novidade, teremos dois novos workshops com programação diversificada e grande apelo social, o CoUrb (Workshop de Computação Urbana) e o WTICp/D (Workshop de TIC para Desenvolvimento).

Temos certeza que 2017 será mais um ano de sucesso para os workshops do SBRC pelo importante papel de agregação que eles exercem na comunidade científica de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos no Brasil.

Aproveitamos para agradecer o apoio recebido de diversos membros da comunidade e, em particular, a cada coordenador de workshop, pelo brilhante trabalho. Como coordenador dos workshops, agradeço imensamente o apoio recebido da Organização Geral do SBRC 2017.

Esperamos que vocês aproveitem não somente os workshops, mas também todo o SBRC e as inúmeras atrações de Belém.

Ronaldo Alves Ferreira

Coordenador de Workshops do SBRC 2017

Mensagem dos Coordenadores do I CoUrb 2017

O I Workshop de Computação Urbana (CoUrb) é um evento realizado dentro do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos e promovido pela Sociedade Brasileira de Computação (SBC). A computação urbana é uma área interdisciplinar que conecta tecnologia da informação e comunicação, gestão avançada de um grande volume de dados e métodos diversos de análises de dados para propor soluções eficientes para problemas enfrentados pelas cidades. O CoUrb tem como objetivo a criação de um espaço para a discussão e apresentação de pesquisas e atividades relevantes na área de Computação Urbana e da criação de um espaço de colaboração entre pesquisadores de diferentes áreas, não se limitando somente à Ciência da Computação.

Nesta primeira edição, a comunidade enviou 54 artigos, um número excelente, se considerarmos a crise econômica de 2017 e por ser a primeira edição do workshop. O Comitê de Programa foi formado por 44 pesquisadores que realizaram a avaliação dos artigos submetidos. Cada artigo recebeu em média 3 avaliações independentes, sendo que no final do processo de avaliação tivemos ao todo 165 revisões, com 20 artigos classificados para publicação e apresentação no evento, representando uma taxa de aceitação de 37%. Para que fosse realizado um processo de revisão transparente dos 7 artigos submetidos por autores que participaram da organização do evento, a organização indicou um membro sênior do TPC, o qual realizou a distribuição desses artigos para 9 revisores anônimos sem conflito de interesse.

A programação do CoUrb está diversificada e abrangente, contendo trabalhos teóricos, práticos e soluções interessantes para problemas de Computação Urbana no Brasil. Ela está dividida em quatro sessões técnicas, (i) Sensoriamento urbano e aplicações, (ii) Mobilidade Urbana, (iii) m-Health e Computação Social e (iv) Infraestruturas e Estratégias para o Desenvolvimento Urbano, além de uma palestra convidada intitulada “Computação Urbana: Prepare-se para viver em um novo mundo”. O texto dos artigos selecionados encontra-se na íntegra nos Anais do CoUrb.

O CoUrb contou com cinco coordenadores para organização do evento. Os coordenadores desejam expressar os seus agradecimentos aos membros do Comitê de Programa e aos revisores externos por terem aceitado participar voluntariamente do processo de revisão dos artigos. Gostaríamos de agradecer o apoio incondicional dos coordenadores geral do SBRC 2017 Antônio Abelém (UFPA) e Eduardo Cerqueira (UFPA), o coordenador de Workshops Ronaldo Alves Ferreira (UFMS) e ao Denis Rosário (UFPA) pelo apoio técnico na organização do Workshop. Por fim, os coordenadores do CoUrb agradecem a todos os autores que submeteram seus artigos, confiando na idoneidade deste evento.

Os organizadores desejam a todos os participantes do CoUrb um workshop bastante produtivo e rico em discussões técnicas bem como conversas com o objetivo de promover novos projetos e cooperações.

Leandro Villas, Thiago Henrique Silva, Daniel Ludovico Guidoni, Bruno Yuji Lino
Kimura, Roberto Sadao Yokoyama

Coordenadores do CoUrb

Comitê de Programa

- Alexandre Ferreira (UNICAMP)
- Alexandre Graeml (UTFPR)
- Aline Viana (INRIA)
- Alvaro Fazenda (UNIFESP)
- Antonio A. F. Loureiro (UFMG)
- Artur Ziviani (LNCC)
- Augusto Neto (UFRN)
- Anelise Munaretto (UTFPR)
- Bruno Y. L. Kimura (UNIFESP)
- Cristiano Silva (UFSJ)
- Daniel L. Guidoni (UFSJ)
- Danielo Gonçalves Gomes (UFC)
- Denis Rosário (UFPA)
- Eduardo Cerqueira (UFPA)
- Eduardo Mucelli (Blablacar.com)
- Felipe Cunha (PUC-Minas)
- Fernanda Sumika (UFSJ)
- Genaina Rodrigues (UnB)
- Heitor Ramos (UFAL)
- João G. Maia (UFMG)
- Jó Ueyama (USP)
- Leandro Ballico (UFRR)
- Leonardo Botega (UNIVEM)
- Leandro Villas (UNICAMP)
- Luanna L. Lobatto (UFG)
- Luciano Digiampietri (EACH-USP)
- Luiz Bittencourt (UNICAMP)
- Luiz Bona (UFPR)
- Markus Endler (PUC-Rio)
- Pedro Olmo (UFMG)
- Rafael Lopes (UECE)
- Roberto S. Yokoyama (UTFPR)
- Robson de Grande (uOttawa)
- Thiago H. Silva (UTFPR)
- Valério Rosset (UNIFESP)
- Vinícius Mota (UFOP)

Sumário

Sessão Técnica 1 - Sensoriamento Urbano e Aplicações	1
Gerenciamento automático de vagas em estacionamentos baseado em redes de sensores sem fio para ITS	2
Marcelo R. O. Castro (IFSP), Marcio A. Teixeira (IFSP), Luis H. V. Nakamura (IFSP) e Rodolfo I. Meneguette (IFSP)	
Um Padrao de Agrupamento de Cidades a Partir da Dinâmica Social Urbana Extraída de Dados Provenientes de Redes de Sensores Participativos	16
Vilker T. C. Lobo (UFAL), Thiago H. Silva (UTFPR) e Heitor S. Ramos (UFAL)	
Implementação em Hardware de uma Rede de Sensores para Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais	30
Edward Hsiao (UNIFESP), Tiago de Oliveira (UNIFESP), Denise Stringhini (UNIFESP), Luiz E. G. Martins (UNIFESP) e Bruno Y. L. Kimura (UNIFESP)	
Um Novo Mecanismo para Alocação de Recursos em Clouds Veiculares ..	44
Adinovam H. M. Pimenta (UFSCAR), Azzedine Boukerche (EECS) e Rodolfo I. Meneguette (IFSP)	
Acionamento Inteligente de Unidades Móveis em Situações de Emergência em Cidades	58
Sediane C. L. Hernandez (UTFPR), Alcides Calsavara (PUCPR) e Luiz A. P. Lima Jr. (PUCPR)	
Aplicando Estatística Multivariada para Detecção e Diagnóstico de Anomalias em Dados Urbanos	72
Thiago I. A. Souza (UFC), Deborah M.V. Magalhaes (UFC) e Danielo G. Gomes (UFC)	
Sessão Técnica 2 - Mobilidade Urbana	86
<i>TrGeT</i>: geração de <i>traces</i> para simulação de Redes Veiculares <i>Ad Hoc</i> por meio de Redes de Petri Coloridas	87
Vasconcelos, L.C.M (UFC), C. G. Furtado Júnior (IFCE), Soares, J. M. (UFC) e Barroso, G. C. (UFC)	
Métricas de Confiabilidade para Análise Espaço-Temporal de Transmissões V2I em Ambientes Urbanos	101
Bruno Y. L. Kimura (ICT), Márcio V. Barbosa (IPE), Roberto S. Yokoyama (UTFPR) e Valério Rosset (ICT)	

Um Protocolo de Disseminação de Dados Geo-Orientado em Redes Veiculares	115
Luiz Henrique C. Silva (PUC-Minas), Raquel A. F. Mini (PUC-Minas) e Felipe D. Cunha (PUC-Minas)	
Uma Arquitetura para Gerenciamento de Mobilidade de Fluxo para Redes Veiculares	129
Rodolfo I. Meneguette (IFSP)	
Sessão Técnica 3 - m-Health e Computação Social	143
A Mobile Health Solution for Diseases Control Transmitted by <i>Aedes Aegypti</i> Mosquito using Predictive Classifiers	144
Oton C. Braga (IFCE), Olímpia C. Fonsêca (IFCE), Mário W. L. Moreira (IFCE), Joel J. P. C. Rodrigues (IFCE), Francisca R. V. Silveira (IFCE), Antônio M. B. Oliveira (IFCE) e Augusto J. V. Neto (UFRN)	
LAÍS, um Analisador Baseado em Classificadores para a Geração de Alertas Inteligentes em Saúde	157
Cristiano Silva (IFCE), Joyce Quintino (IFCE), Oton C. Braga (IFCE), Ronaldo Ramos (IFCE), Odorico Monteiro (UFC) e Mauro Oliveira (IFCE)	
INCA: Um sistema <i>healthcare</i> flexível baseado no paradigma <i>fog computing</i> e <i>publish/subscribe</i>	170
Jose R. Torres Neto (USP), Geraldo P. R. Filho (USP), Leandro Y. Mano (USP) e Jó Ueyama (USP)	
Modelo de Mobilidade para Encontros de Grupos	184
Ivan O. Nunes (UFMG), Clayson Celes (UFMG), Pedro O. S. Vaz de Melo (UFMG) e Antonio A. F. Loureiro (UFMG)	
Sessão Técnica 4 - Infraestruturas e Estratégias para o Desenvolvimento Urbano	198
Uma Solução para Tomadas de Decisões em um Ambiente Residencial baseado em <i>fog computing</i> e inteligência computacional	199
Geraldo P. R. Filho (USP), Jose R. Torres Neto (USP) e Jó Ueyama (USP)	
Modelagem do Perfil de Atendimento aos Idosos nas Unidades de Saúde de Curitiba	213
Priscila Santin (UTFPR), Anelise Munaretto (UTFPR) e Mauro Fonseca (UTFPR)	
Iniciativa <i>Smart Campus</i>: um estudo de caso em progresso na Universidade Federal do Pará	225
Ana Régia de M. Neves (UFPA), Kaê U. Sarmanho (UFPA), Francisco C. Nascimento Jr. (UFPA) e Bianchi S. Meiguins (UFPA)	
Making Sense of the City: Exploring the Use of Social Media Data for Urban Planning and Place Branding	238

Ville Santala (UFPR), Sandro Miczevski (UTFPR), Saulo A de Brito (UTFPR), Ariane Lao Baldykowski, (UTFPR) Tatiana Gadda (UFPR), Nadia Kozievitch (UTFPR) e Thiago H Silva (UTFPR)

Incentivando o Compartilhamento de Conteúdo via Comunicação Dispositivo-a-Dispositivo 252

Vinícius F. S. Mota (UFMG), Daniel F. Macedo (UFMG) e José Marcos Silva Nogueira (UFMG)

CoUrbD2M: Mineração de Dados Orientada a Computação Urbana em cenários de *Big Data* e Redes 5G 265

Carlos Renato Storck (PUC-Minas), Edwaldo Araújo Sales (PUC-Minas), Luis Enrique Zárate (PUC-Minas), e Fátima de L. P. D. Figueiredo (PUC-Minas)

I Workshop de Computação Urbana (CoUrb)
SBRC 2017
Sessão Técnica 1
Sensoriamento Urbano e Aplicações

Gerenciamento automático de vagas em estacionamentos baseado em redes de sensores sem fio para ITS

Marcelo R. O. Castro¹, Marcio A. Teixeira¹, Luis H. V. Nakamura¹, Rodolfo I. Meneguette¹

¹ Instituto Federal de São Paulo - IFSP
{marcio.andrey, nakamura, meneguette}@ifsp.edu.br

Abstract. *In this paper we developed an intelligent parking service based on wireless sensors for managing public or private spaces. The proposal makes use of a low cost sensor coupled in a node to monitor the parking field. Other nodes capture images of car park field and periodically send them to the intelligent transport system. The system provides a mobile access in which you can perform various management functions, such as finding vacant parking lots and a statistical report. We implemented a prototype of this service using the OpenCV library. The service evaluation demonstrates the effectiveness of the proposed solution, showing that the service can manage the parking places without impair other services that are performed in the intelligent transport system.*

Resumo. *Neste artigo foi desenvolvido um serviço inteligente baseado em sensores sem fio para gerenciamento de vagas em estacionamentos de espaços públicos ou privados. A proposta faz uso de um sensor de baixo custo acoplado em um nó para monitorar o campo de estacionamento. Outros nós capturam imagens do campo e enviam, periodicamente ao sistema de transporte inteligente. O sistema disponibiliza um acesso para dispositivos móveis no qual é possível executar várias funções de gerenciamento, tais como encontrar lotes de estacionamento vagos e gerar um relatório estatístico. Para tanto, foi implementado um protótipo desse serviço utilizando a biblioteca OpenCV. A avaliação desse serviço demonstra a eficácia da solução proposta, mostrando que o serviço pode gerenciar o estacionamento sem prejudicar outros serviços que são realizados no sistema de transporte inteligente.*

1. Introdução

As redes de sensores sem fio (WSN - *Wireless Sensor Network*) tem recebido considerável atenção por parte dos pesquisadores, governos e empresas devido ao seu potencial de fornecer soluções fáceis e econômicas em muitas áreas diferentes [Suryady 2014]. Portanto, uma WSN pode ser integrada com outras tecnologias para auxiliar os serviços do sistema de transporte inteligente (*Intelligent Transportation System-ITS*) [R. E. Barone 2014]. ITS é a junção de várias tecnologias com o foco na prestação de serviços e aplicações que irão monitorar e gerenciar o sistema de transporte tornando-o mais confortável e seguro [Meneguette 2016a].

De acordo com a previsão de McKinsey [Mohr 2013], o número de veículos deve aumentar para 1.32 bilhão unidades em 2020. Este aumento impactará no congestionamento do tráfego devido à maior demanda por espaço nas estradas em períodos de pico

[Meneguette 2016b], bem como, gerará uma escassez de vagas em estacionamentos nas grandes cidades à medida que a demanda excede a oferta.

Atualmente, o método mais utilizado de encontrar uma vaga de estacionamento é pelo método de "força bruta", onde o motorista fica procurando uma vaga pelas vias perto do seu destino. Este método considera o conhecimento do lugar (experiências) e conta com a sorte dos motoristas. Além disso, isso pode aumentar o congestionamento do tráfego devido à baixa velocidade que os motoristas frequentemente trafegam quando estão procurando um espaço de estacionamento [Jung 2016]. Uma alternativa é encontrar um parque de estacionamento pré definido com alta capacidade. No entanto, esta nem sempre é uma solução ideal porque o parque de estacionamento poderia estar longe do destino desejado pelo usuário [T. N. Pham 2015]. Dessa forma, sistemas computacionais poderiam gerenciar o estacionamento através de uma combinação de diferentes tecnologias. O ITS poderia prover um serviço que detecta, gerencia e informa aos usuários sobre vagas disponíveis em um estacionamento mais próximo.

Na literatura, há algumas obras que abordam o problema do estacionamento gratuito [Suryady 2014, T. N. Pham 2015, R. E. Barone 2014, J. Li 2016, Yeh 2016, Huang 2016, P. Sheelarani 2016, Fulya Yuksel Ersoy 2016]. No entanto, alguns destes trabalhos utilizam *hardware* externo para suportar a sua aplicação. Além disso, esses trabalhos incluem um RFID ou outros dispositivos para identificar vagas em estacionamento de veículo. Assim, geralmente é preciso diversos dispositivos (n sensores por vaga) e/ou equipamentos embutidos ao veículo para suportar a gestão do estacionamento.

Neste artigo é proposto um novo serviço que não necessita de vários dispositivos no veículo ou vaga para garantir o gerenciamento de vagas disponíveis nos estacionamentos das cidades. Para detectar uma vaga disponível, o serviço utiliza imagens que podem ser obtidas pelo sistema de câmara da cidade ou por um nó de rede sem fio que faz capturas instantâneas do campo de estacionamento e envia os dados ao centro de dados (*data center*). Esse centro de dados processará a imagem e indicará o estacionamento disponível para o usuário através da aplicação móvel.

As principais contribuições deste trabalho são: (i) Desenvolver e analisar o serviço de processamento de imagens para detectar espaços de estacionamento disponíveis em lugares internos e externos; (ii) Desenvolver um centro de dados do sistema de transporte inteligente para gerenciar e controlar desse serviço; (iii) Desenvolver um dispositivo móvel para notificar aos usuários sobre uma vaga de estacionamento disponível; (iv) Desenvolver um dispositivo barato (nó) que capture as imagens sobre os campos de estacionamento.

O restante deste artigo está estruturado da seguinte forma. Na próxima seção há uma visão geral das principais abordagens existentes para a detecção de congestionamento de veículos em VANETs (*Vehicular Ad Hoc Network*). A solução proposta neste artigo é descrita na Seção 3, enquanto uma avaliação detalhada do desempenho e resultados são apresentados na Seção 4. Finalmente, a Seção 5 é destinada a conclusão deste trabalho e faz sugestões para trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

Na literatura existem alguns trabalhos que abordaram o sistema de gestão de estacionamento para espaços públicos ou privados.

Li et. al. [J. Li 2016] propôs um método por busca de carros baseado em um sistema para *smartphone*. Esse método faz uso de algumas função de localização internas e caminhos registrados por navegação para detectar e pesquisar um veículo estacionado em um grande parque de estacionamento. O autor desenvolveu um aplicativo móvel baseado em QR-Code que é usado para formatar a informação que auxilia a pesquisa e detecção da vaga de estacionamento disponível. Os dados codificados no QR-Code são constituídos pelo estacionamento, andar ou piso e localização da vaga. As aplicações móveis criadas são: mapa *off-line*, leitura do QR-Code para gravar o local de estacionamento, planejamento do melhor caminho para buscar o carro, navegação em tempo real. Assim, os motoristas podem digitalizar e decodificar códigos QR usando um *smartphone* e usar o aplicativo de localização para encontrar o seu veículo em um grande parque de estacionamento.

Pham et.al. [T. N. Pham 2015] propuseram um sistema de estacionamento que ajuda os motoristas a encontrar um espaço gratuito. Este sistema é baseado na Internet de Coisa (IoT- *Internet of Things*) e usa um centro de dados que serve como um servidor na nuvem para calcular os custos de um estacionamento. O autor também usa uma unidade local que armazena a informação de cada vaga de estacionamento e a sua localização no mesmo. Esta unidade local inclui uma unidade de controle que consiste num módulo Arduino que é ligado em um leitor RFID para verificar e autenticar as informações do condutor e veículo calculando as vagas livres em cada parque de estacionamento. Além disso, essa proposta inclui também uma tela que mostra informações sobre a capacidade do parque de estacionamento, o total de espaços livres, o status da verificação de *tag* RFID e um mini mapa do estacionamento local.

Yeh et. al [Yeh 2016] propôs um sistema de integração para estacionamentos de uma cidade. O sistema combina dispositivos móveis inteligentes, tecnologias de computação em nuvem e o sistema de posicionamento global (GPS). Além disso, o autor desenvolveu uma aplicação que faz a reserva da vaga e prover serviços de navegação para o estacionamento. Quando o motorista ativa o aplicativo, ele envia as informações de localização do usuário para o sistema de computação em nuvem que por sua vez, também recebe as informações de estacionamentos através da uma varredura do sistema RFID no estacionamento. Assim, depois de uma análise pelo o sistema, a aplicação do condutor recebe os dados dos cinco estacionamentos mais próximos com as vagas de estacionamento disponíveis, permitindo-lhe escolher a vaga mais adequada.

Barone et.al [R. E. Barone 2014] apontou um modelo de estacionamento chamado de assistente de estacionamento inteligente (IPA - *Intelligent Parking Assistant*). Esta abordagem permite que os condutores façam alguma reserva no estacionamento de destino antes de sua partida. Além disso, ele irá fornecer informações sobre a disponibilidade de vagas em vias públicas. O IPA baseia-se no sistema SPARK que utiliza a RFID para identificar o veículo. O RFID permite que o IPA consiga entrar nas vagas de estacionamento após estas terem sido reservadas sem a necessidade de uma conexão com a Internet. IPA permitem que outras unidades possam fazer uma reserva para outras pessoas,

simplesmente entregando uma pequena identificação de rádio frequência (RFID *tag*).

Sheelarani et al. [P. Sheelarani 2016] têm uma proposta de aplicação que auxilia os motoristas ao estacionar seus veículos em um estacionamento vazio. Esta aplicação baseia-se na plataforma Android e utiliza *hardware* embutido para auxiliar a aplicação. Nesta abordagem, os autores utilizam um infravermelho Sensores (IRS) para encontrar a disponibilidade de uma vaga para estacionar o veículo. Além disso, o veículo possui uma etiqueta RFID que é utilizada para identificar o condutor/proprietário. Assim, os condutores podem reservar uma vaga no parque de estacionamento por meio da sua identificação (RFID *tag*).

Nossa proposta baseia-se nos métodos de processamento de imagem para detectar uma vaga de estacionamento disponível em ambientes internos ou externos. Ao contrário de alguns outros métodos, no método de proposta não é necessário em um *hardware* ou outro dispositivo incorporado no veículo, ele usa imagens capturadas pelo nó de sensores wireless para indicar uma vaga disponível para o motorista. Além disso, o serviço será acessado em qualquer lugar e em qualquer momento, pois o sistema só precisa da conexão com o centro de dados (nuvem).

3. Gerenciamento de vagas em estacionamento baseado em redes de sensores sem fio para ITS

Esta seção descreve uma solução baseada em um serviço para a detecção e gerenciamento de estacionamento disponível em uma cidade, nomeada como SPANS - *Smart Parking Service*. SPANS é um serviço baseado no processo de imagem que detecta vagas disponíveis em um estacionamento. Além disso, este serviço está integrado com uma arquitetura de transporte inteligente que irá fornecer a estrutura necessária para detectar, gerenciar e notificar as unidades sobre essas vagas. Estas infraestruturas visam evitar o tráfego pesado em áreas que têm estacionamento, reduzindo assim o tempo e o consumo de combustível, bem como a poluição causada por veículos que procuram por uma vaga disponível.

A infraestrutura utiliza sensores para realizar a detecção de um lugar de estacionamento e câmeras para registrar as atividades. Sensores e câmeras são usados para detectar informações significativas do estacionamento para que seja permitido inferir se há algumas vagas disponíveis. Além disso, esta infraestrutura consiste em um centro de dados (*cloud*) que fornece um bom mecanismo para a abstração de dados e processamento de imagem, bem como um bom mecanismo de comunicação entre os motoristas e sensores. Além disso, o centro de dados oferecerá um mecanismo de segurança que dificilmente outras pessoas têm acesso à informação. As unidades irão ter acesso ao centro de dados por meio de um aplicativo móvel que pode ser executado em um *smartphone* ou *tablet*. A Figura 1 exibe uma abstração da infra-estrutura proposta que é utilizada para detectar e notificar o usuário sobre o estacionamento gratuito.

Portanto, o centro de dados de tempos em tempos ou quando o sensor detecta uma mudança no ambiente, recebe informações sobre o lugar de estacionamento. Esta informação é processada pelo SPANS que irá detectar se algum estacionamento está disponível. Após esse processamento, o sistema fornecerá essas informações sobre os locais disponíveis para o aplicativo do condutor. Uma vez que o condutor acessa seu aplicativo móvel, as informações lhe mostrarão o local disponível próximo ao seu destino.

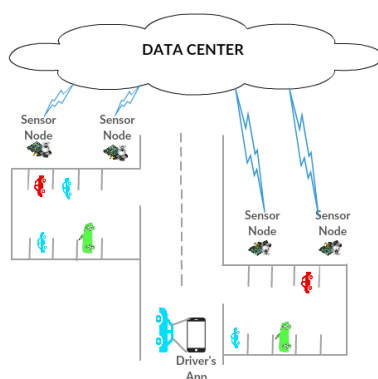


Figura 1. Uma abstração da infra-estrutura da proposta

Nas subsecções seguintes, é descrita a infraestrutura da proposta desenvolvida neste trabalho, bem como quais foram os serviços e equipamentos desenvolvidos e utilizados. Além disso, também são descritos para um nó sensor, no caso do local a ser monitorado não possuir uma estrutura de câmeras que capture as imagens dos estacionamentos.

3.1. Protótipo do Centro de Dados

Para o desenvolvimento deste trabalho, o centro de dados (*data center*) é implementado como serviços web RESTful (*Representational state transfer*) que tem a conexão à Internet para receber solicitações dos aplicativos do motorista, bem como receber as imagens coletadas pelos sensores. O centro de dados consiste em um módulo de abstração e processamento de dados que executa as tarefas no computador central, obtendo dados dos sensores e depois analisando e salvando-os no banco de dados. Os dados são analisados pelo SPANS que irá detectar e indicar as vagas disponíveis no estacionamento. Depois disso, essas informações ficam acessíveis para o aplicativo do condutor.

Um computador ficou dedicado para o centro de dados, nele foram instalados um banco de dados MySQL, o *framework* Apache CXF para criar serviços web, o Jetty como servidor web e *container servlet* em conjunto com nossos algoritmos Java.

3.2. Protótipo de um nó sensor sem fio

Muitas vezes os lugares que oferecem estacionamento não têm um sistema de vigilância que monitora a entrada e saída de veículos, bem como não monitoram o estacionamento em si. Em outras palavras, esse estabelecimento não dispõe de um sistema de câmeras capaz de verificar a entrada e saída de veículos em um espaço de estacionamento particular. Assim, desenvolvemos uma solução para poder monitorar esses ambientes. Este dispositivo, além de enviar de tempos em tempos imagens do lugar monitorado, também detecta a saída e entrada de um veículo em vagas de estacionamento. Em outras palavras, o sensor captura imagens que são utilizadas para detectar mudanças no cenário monitorado, assim, possibilitando a detecção dos movimentos em vagas de um estacionamento particular.

O nó sensor sem fio é baseado em um Raspberry Pi [Pi 2017] modelo B. Raspberry Pi possui uma interface de rede sem fio USB e uma Webcam tradicional. Além disso, o

Raspberry usou um sistema operacional Raspbian, um programa Python para ler os dados dos pinos GPIO (*General Purpose Input / Output*) da Raspberry e o programa Motion para monitorar sinais de vídeo da Webcam.

Foi escolhido o movimento porque este *software* pode ser usado como uma detecção de movimento que grava um arquivo a cada vez que há uma mudança nos quadros de imagem. Para conseguir isso, foi definido um intervalo de tempo em segundos sem nenhuma detecção de movimento que aciona o final de um evento. Assim, uma vez detectado um movimento no ambiente, o programa iria esperar por 10 segundos e então tiraria uma foto. Este intervalo de tempo foi escolhido para que fosse possível ao motorista do veículo sair ou estacionar na vaga.

3.3. As informações do estacionamento

A área do estacionamento está dividida em vários lugares (vagas), como exibe a Figura 2. Cada vaga de estacionamento tem as seguintes informações:

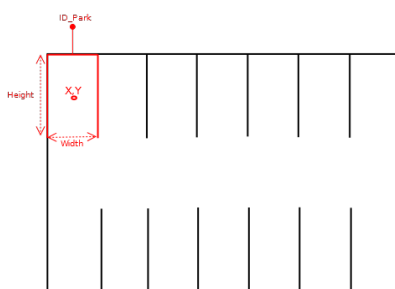


Figura 2. Informação do estacionamento

- ID_Park: Identificação da vaga do estacionamento;
- Desc: Descrição da vaga de estacionamento;
- X: Coordenada "X" da vaga na área do estacionamento;
- Y: Coordenada "Y" da vaga na área do estacionamento;
- Largura: Largura da vaga do estacionamento;
- Altura: Altura da vaga de estacionamento;
- Status: Armazena o *status* atual do espaço do estacionamento. 0 está disponível; 1 está ocupado;

As informações do estacionamento são armazenadas em um banco de dados. Uma vez definidas as vagas de estacionamento, utilizando uma câmera, o sistema receberá uma imagem denominada "Imagem de Base" de cada vaga/espço do estacionamento tendo em conta as coordenadas X e Y e os valores de largura e altura. A "Imagem Base" será armazenada no banco de dados e será usada para verificar se o lugar do estacionamento está disponível ou ocupado. Inicialmente, todos os lugares do estacionamento serão considerados como mostrado na Figura 2.

3.4. Processamento de Imagem

Uma vez que o centro de dados receber as fotos da vaga de estacionamento, ele inicia o serviço SPANS. O SPANS realizará o processamento da imagem com a finalidade de verificar a vaga disponível que o condutor pode estacionar. Para conseguir isso, SPANS

precisa seguir alguns passos para permitir uma detecção eficiente em ambientes internos e externos. A Figura 3 descreve as etapas que o SPANS precisa realizar para poder ter a percepção de vaga de estacionamento disponível independentemente de ser em uma área fechada ou ao ar livre.

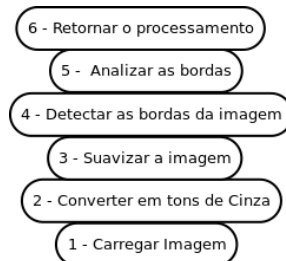


Figura 3. Etapas que o processamento de imagem do SPANS precisa seguir.

Assim, o primeiro passo do SPANS é carregar a imagem que está no centro de dados e que foi recebida a partir do nó sensor. Depois disso, o SPANS converterá a imagem em uma matriz $M \times N$, onde a linha e a coluna indicam como coordenadas espaciais na imagem, a posição do pixel.

Posteriormente, o sistema irá transformar a imagem colorida para uma imagem em escala de cinza. Para conseguir isso, cada pixel da imagem é lido e uma cor de escala de cinza é calculada nesse pixel. A Figura 4 descreve um algoritmo em Java que recebe uma imagem colorida e retorna uma imagem em escala de cinza.

```

public static BufferedImage convertToCinza(BufferedImage imgRGB) {
    // Cria um novo Buffer para BYTE GRAY
    BufferedImage img = new BufferedImage(imgRGB.getWidth(),
        imgRGB.getHeight(), BufferedImage.TYPE_BYTE_GRAY);
    WritableRaster raster = img.getRaster();
    WritableRaster rasterRGB = imgRGB.getRaster();
    // Para cada Pixel realiza a transformação para tons de cinza
    //e joga na nova imagem.
    for (int h = 0; h < 256; h++) {
        for (int w = 0; w < 256; w++) {
            int[] p = new int[4];
            rasterRGB.getPixel(w, h, p);
            p[0] = (int) (0.3 * p[0]);
            p[1] = (int) (0.59 * p[1]);
            p[2] = (int) (0.11 * p[2]);
            int y = p[0] + p[1] + p[2];
            raster.setSample(w, h, 0, y);
        }
    }
    return img;
}
  
```

Figura 4. Convertendo a imagem colorida em um imagem em escala de cinza com Java.

Após este processo, a imagem é passada através de um filtro chamado Gaussiano Blur [Robert A. Hummel 1987] para suavizar a imagem. Trata-se de um filtro passa-baixo que permite passar as baixas frequências, mas irá eliminar os valores relacionados com as altas frequências. Assim, o efeito deste filtro é uma suavização da imagem, uma vez que as altas frequências que correspondem às transições abruptas são atenuadas. A suavização tende a reduzir o ruído nas imagens [M. S. Arulampalam 2002]. O Gaussiano Blur usa uma função de Gaussian que possa ser descrita como:

$$G(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

Quando consideramos a função em duas dimensões resulta no produto de duas equações de uma dimensão:

$$G(x) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

Onde x é a distância da origem no eixo x , y é a distância da origem no eixo y e σ é o desvio padrão da distribuição gaussiana. Escolhendo valores para alfa é possível obtidos *arrays* que serão usados como o *kernel* para convolver a imagem. Após a convolução, é possível verificar uma suavização da imagem.

Outra técnica utilizada é a detecção de bordas que realça contornos de borda e também amplifica o ruído de cena e, em grande parte, os operadores de borda, desfrutam algum tipo de suavização de imagem antes da operação diferencial [Canny 1986]. Neste artigo, usamos o algoritmo de Canny [P. Bao 2005] que é um primeiro operador gaussiano derivativo, suavizando o ruído e localizando as arestas. Para isso, este algoritmo utiliza três regras: (i) detecção: capacidade de localizar e marcar todas as bordas existentes; (ii) Localização: reduzir a distância entre a borda verdadeira ea fronteira detectada; (iii) Resposta: há apenas uma resposta para cada aresta.

Para implementar todo esse processo usamos a biblioteca OpenCV [Kaehler 2016] que fornece vários métodos para serem usados no processamento da imagem. O algoritmo converte as imagens lidas em escala de cinza (linhas 4-5) através da função `cvtColor` (linhas 2-3 no Algoritmo 1). Depois disso, aplica filtros para remover as imperfeições e ruídos (linhas 6-7) pela função `Blur`. Assim, o algoritmo detecta o número de bordas nas imagens (linhas 8-9) usando Canny e comparando-as (10-12) através do `findContours` que recuperam os contornos da imagem. Os contornos são usados para detectar os objetos nas imagens. Se o número da Imagem Atual for maior que a Imagem Base, o sistema definirá o *status* da vaga do estacionamento como ocupado. Caso contrário, o sistema define o *status* da vaga do estacionamento como disponível (linhas 13-16). Essas informações são atualizadas no banco de dados (linha 17) e são usadas pelo aplicativo móvel.

Os resultados desse algoritmo podem ser vistos na Figura 5 que exhibe as imagens obtidas a partir da implementação do algoritmo proposto usando as funções OpenCV.

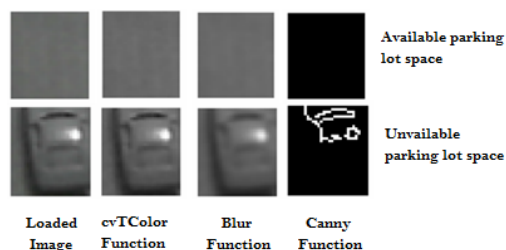


Figura 5. Algoritmo de processamento de imagem.

Algorithm 1 Algoritmo de processamento de imagem.

```

Read Base_Image
Read Current_Image
Transform the Base_Image to Grayscale
Transform the Current_Image to Grayscale
Apply Filter to Remove Noise (Base_Image)
Apply Filter to Remove Noise (Current_Image)
Edge Detection(Base_Image)
Edge Detection(Current_Image)
Number_Boder_base = Extract Border (Base_Image)
Number_Boder_Current = Extract Border (Current_Image)
Compare Borders (Number_Borders_base, Number_Boder_Current)
if (Number_Boder_Current > Number_Boder_Current ) then
    Status[ID_Park]= Busy
else
    Status[ID_Park]= Availabel
end if
Update Database

```

3.5. Aplicativo do Condutor

Para que os motoristas tenham acesso as informações sobre as vagas de estacionamentos disponíveis perto do seu local de destino, desenvolvemos um aplicativo para a plataforma Android que realiza uma comunicação segura com o centro de dados através do protocolo SSL. Esta aplicação também tem uma tela para mostrar o mapa de espaços de estacionamento através do processamento das fotos tiradas pelos sensores, para que o usuário possa verificar a melhor vaga disponível para ele.

4. Caso de Uso

Nesta seção, descrevemos mais detalhes sobre o serviço proposto. O SPANS foi implementado em linguagem C ++ para manter uma compatibilidade entre os elementos que envolve o serviço. No entanto, a implementação do nó sensor sem fio também usa Python para facilitar o gerenciador do dispositivo incorporado. Além disso, o sistema usa a biblioteca OpenCV não só para implementar o processamento de imagem, mas também para criar o mecanismo para controlar as Webcams remotamente. A Figura 6 mostra o diagrama de classes do serviço SPANS no centro de dados.

A classe *Camera* foi criada para encapsular a classe do OpenCV chamada *VideoCapture* a qual fornece uma API para capturar vídeo da Webcam embutida no nó sensor, além de permitir que o SPANS leia arquivos de vídeo e seqüências de imagens no banco de dados ou em qualquer outro sistema de monitoramento. Assim, a câmera de classe é derivada da classe *VideoCapture* que define métodos para acessar as imagens a partir do banco de dados.

A classe *CapThread* é uma das mais importantes do aplicativo, pois é ela que executa todos os pesos de processamento de comparação entre as imagens para descobrir se a vaga monitorada está livre ou não. A renderização compara todas as imagens vazias

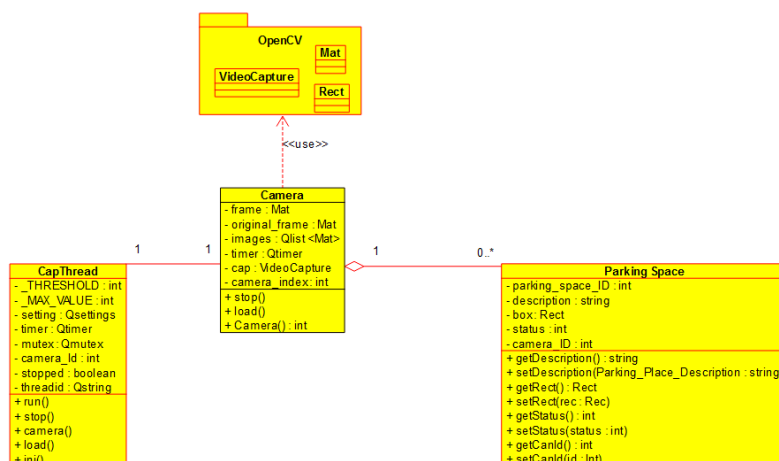


Figura 6. Diagrama de classes usando UML do SPANS.

que foram salvas no repositório local com a imagem atual extraída da moldura que é constantemente atualizada pela câmera. Ao instanciar um novo *CapThread* ele passa como uma instância de uma classe *Camera* em seu construtor de lá o *CapThread* terá acesso a todas as vagas que foram carregadas na classe *Camera*.

Para que a infra-estrutura tenha uma boa eficiência, inicialmente é tirada uma foto do estacionamento. Esta fotografia é solicitada apenas uma vez para registrar as coordenadas de cada espaço de estacionamento, além disso esta imagem será utilizada como a imagem predefinida (*Base_Image*) desse estabelecimento. Assim, a infra-estrutura pode subsequentemente realizar a detecção de vagas de estacionamento disponíveis. A Figura 7 mostra este primeiro estágio do sistema, no qual há uma vaga registrada no sistema, representada pelo quadrado amarelo. O registro das vagas pode ser efetuado pelo proprietário do estabelecimento.

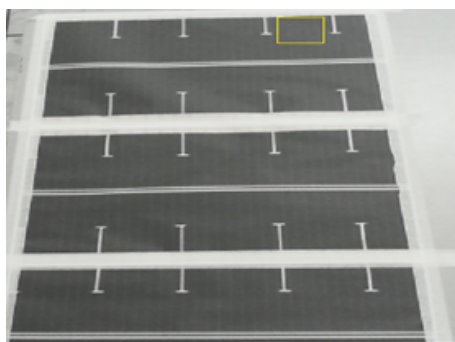


Figura 7. Maquete da área de estacionamento do protótipo.

Uma vez definidos as vagas de estacionamento, o sistema inicia o monitoramento delas através das novas imagens provenientes dos nós de sensores. O centro de dados usará a imagem *Base_Image* e a nova imagem obtida em tempo real do sensor para detectar se a vaga do estacionamento está disponível. O serviço desenha um retângulo verde em todos os lugares disponíveis. Se o sistema detecta que uma vaga foi ocupada, ele atualiza a informação de *status* dessa vaga no banco de dados e desenha um retângulo vermelho nesse lugar, como pode ser visto na Figura 8.



Figura 8. Exemplo do sistema em execução.

As informações armazenadas no banco de dados sobre as vagas de um determinado estacionamento podem ser acessadas pelo aplicativo móvel usando uma interface amigável. A Figura 9 ilustra essa interface que é exibida aos usuários. O aplicativo móvel tem uma interface de grade onde mostra o *status* atual de cada vaga em um estacionamento definido no sistema.



Figura 9. Interface do aplicativo móvel.

4.1. Resultados

Para avaliar o serviço SPANS, foi utilizada a infra-estrutura desenvolvida para fazer testes com um modelo em escala reduzida (maquete) da área de estacionamento onde foram definidos 20 lugares de estacionamento. Os lugares de vagas de estacionamento foram inseridos no banco de dados com o *status* inicial como sendo disponível. Para isso, criamos um modelo que representa o estacionamento da Instituição Federal de São Paulo, Catanduva, Brasil. A Figura 10 mostra o resultado do processamento de imagem levando em consideração o modelo em escala usado nos testes.

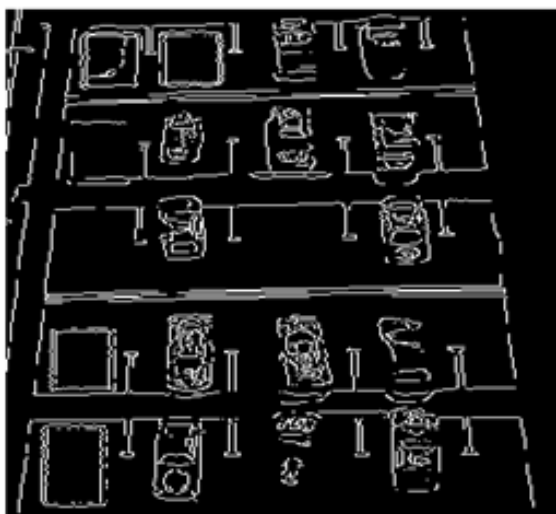


Figura 10. Modelo em escala reduzida da área de estacionamento após o processamento da imagem.

Este teste avalia o tempo que o serviço terá para processar as imagens com base no número de vagas existentes no estacionamento. Portanto, o objetivo é verificar o tempo gasto para encontrar as vagas de estacionamento disponíveis. A Figura 11 mostra o tempo de processamento gasto para encontrar tais vagas disponíveis.

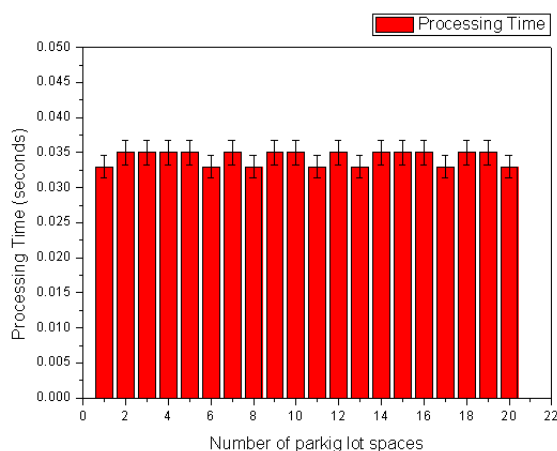


Figura 11. Modelo de escala da área de estacionamento após o processamento da imagem

Como pode ser visto na Figura 11, o tempo médio para encontrar um lugar disponível na área do estacionamento é de 0.036 segundos. Isto significa que o tempo gasto para encontrar as vagas disponíveis é proporcional a área do estacionamento. Assim, o SPANS pode gerenciar lugares de estacionamento sem prejudicar outros serviços que podem ser executados no sistema de transporte inteligente.

5. Conclusão

Neste artigo foi proposto um serviço que detecta e gerencia vagas em um estacionamento. O serviço proposto é baseado no processamento de imagens para detectar vagas disponíveis.

veis em um estacionamento de forma automática para uma arquitetura de transporte inteligente que visa evitar o tráfego pesado em áreas que oferecem vagas de estacionamento. Assim, torna-se possível reduzir o tempo de busca por uma vaga livre e conseqüentemente o consumo de combustível e a emissão de poluentes. Além disso, neste artigo também foram apresentados detalhes que mostram como desenvolver a solução proposta, desde os recursos necessários para a criação do nó sensor até um exemplo de caso de uso que teve o seu desempenho avaliado. Os resultados mostraram que o SPANS pode gerenciar lugares de estacionamento sem prejudicar outros serviços que podem ser realizados no sistema de transporte inteligente.

Como trabalhos futuros, será desenvolvido um submódulo para que os proprietários de estacionamentos possam servir com um nó *skink* no qual as informações de seus nós sensores sejam pré processadas, facilitando a gestão do seu estabelecimento. Este submódulo também permitirá uma diminuição na utilização da largura banda utilizada na comunicação entre os nós e o centro de dados, uma vez que o submódulo só precisará enviar um arquivo de texto ao invés da imagem e isso somente quando houver a indicação de vagas disponíveis. Acrescenta-se ainda a intenção de difundir esta estrutura não somente na universidade, mas também em outros estacionamentos da cidade, em especial, nos estacionamentos com grande números de vagas a fim de avaliar o desempenho do SPANS nesses cenários. Dessa forma, pretende-se ainda realizar testes que avaliem as questões de capacidade de comunicação da rede em cenários com vários estacionamentos distribuídos geograficamente.

6. Agradecimento

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP (processo número 2015/11536-4) pelo apoio financeiro.

Referências

- Canny, J. (1986). A computational approach to edge detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, PAMI-8(6):679–698.
- Fulya Yuksel Ersoy, K. H. e. E. I. (2016). Parking as a loss leader at shopping malls. *Transportation Research Part B: Methodological*, 91:98 – 112.
- Huang, Shizhen e Fu, H. (2016). Design of embedded parking management system. In *Communication Problem-Solving (ICCP), 2016 International Conference On*, pages 1–2. IEEE.
- J. Li, Y. An, R. F. e. H. W. (2016). Smartphone based car-searching system for large parking lot. In *2016 IEEE 11th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, pages 1994–1998.
- Jung, J. K. S. H. G. (2016). Automatic parking space detection and tracking for underground and indoor environments. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 63(9):5687–5698.
- Kaehler, Adrian e Bradski, G. (2016). *Learning OpenCV 3: Computer Vision in C++ with the OpenCV Library*. "O'Reilly Media, Inc."

- M. S. Arulampalam, S. Maskell, N. G. e. T. C. (2002). A tutorial on particle filters for online nonlinear/non-gaussian bayesian tracking. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 50(2):174–188.
- Meneguette, Rodolfo I., F. G. P. R. G. D. L. P. G. V. L. A. e. U. J. (2016a). Increasing intelligence in inter-vehicle communications to reduce traffic congestions: Experiments in urban and highway environments. *PLOS ONE*, 11(8):1–25.
- Meneguette, R. I. (2016b). A vehicular cloud-based framework for the intelligent transport management of big cities. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 12(5):8198597.
- Mohr, Detlev, M. N. K. A. G. P. K. H. K. A. e. H. R. (2013). The road to 2020 and beyond: what’s driving the global automotive industry? *McKinsey&-Company (Pub.), Automotive & Assembly–Latest thinking*, available online at [http://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/dotcom/client_service/Automotive% 20and% 0 Assembly/PDFs/McK_The_road_to_2020_and_beyond.ashx](http://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/dotcom/client_service/Automotive%20and%20Assembly/PDFs/McK_The_road_to_2020_and_beyond.ashx), accessed, 28(3):2014.
- P. Bao, L. Z. e. X. W. (2005). Canny edge detection enhancement by scale multiplication. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 27(9):1485–1490.
- P. Sheelarani, S. P. Anand, S. S. e. K. S. (2016). Effective car parking reservation system based on internet of things technologies. In *2016 World Conference on Futuristic Trends in Research and Innovation for Social Welfare (Startup Conclave)*, pages 1–4.
- Pi, R. (2017). Raspberry pi. Disponível em: <https://www.raspberrypi.org/>. Acessado em 2017.
- R. E. Barone, T. Giuffre, S. M. S. M. A. M. e. G. T. (2014). Architecture for parking management in smart cities. *IET Intelligent Transport Systems*, 8(5):445–452.
- Robert A. Hummel, B. K. e. S. W. Z. (1987). Deblurring gaussian blur. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 38(1):66 – 80.
- Suryady, Zeldi, S. G. R. H. S. S. M. T. e. E. M. F. M. (2014). Rapid development of smart parking system with cloud-based platforms. In *Information and Communication Technology for The Muslim World (ICT4M), 2014 The 5th International Conference on*, pages 1–6. IEEE.
- T. N. Pham, M. F. Tsai, D. B. N. C. R. D. e. D. J. D. (2015). A cloud-based smart-parking system based on internet-of-things technologies. *IEEE Access*, 3:1581–1591.
- Yeh, Her-Tyan, C. B.-C. e. W. B.-X. (2016). A city parking integration system combined with cloud computing technologies and smart mobile devices. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 12(5):1231–1242.

Um Padrão de Agrupamento de Cidades a Partir da Dinâmica Social Urbana Extraída de Dados Provenientes de Redes de Sensores Participativos

Vilker T. C. Lobo¹, Thiago H. Silva², Heitor S. Ramos¹

¹Instituto de Informática – Universidade Federal do Alagoas – UFAL, Brasil

²Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Brasil

vilker.tenorio@gmail.com, heitor@ic.ufal.br, thiagoh@utfpr.edu.br

Abstract. *The social dynamics of cities have been studied over the years, however, with the popularization of the use of smartphones, massification of the Internet and social networks, a new form of such study has emerged. In this context, this paper presents a new way of comparing cities, using the mobility pattern of its inhabitants as a measure of the city's similarity. To validate the study, 1.805.029 Foursquare check-ins were distributed across 8 cities, with the purpose of - using the proposed metrics - presenting different patterns of city grouping.*

Resumo. *A dinâmica social das cidades vem sendo estudada ao longo dos anos, no entanto, com a popularização do uso dos smartphones, massificação da internet e das redes sociais, tem surgido uma nova forma de se realizar tal tipo de estudo. Nesse contexto, este trabalho apresenta uma nova maneira de se comparar cidades, utilizando como medida de similaridade o padrão de mobilidade dos seus habitantes. Como modo de validar o estudo, foram utilizados 1.805.029 check-ins do Foursquare distribuídos por 8 cidades, a fim de - utilizando as métricas propostas - apresentar diferentes padrões de agrupamento das cidades.*

1. Introdução

O estudo do comportamento populacional é uma área de vital importância para a sociedade e vem sendo realizado desde os meados do século XIII, quando *D. Afonso III*, rei de *Portugal*, procedeu uma contagem populacional para saber quantos homens estavam aptos à guerra. Desde então, houve uma enorme evolução tecnológica e as estatísticas populacionais passaram a ser realizadas de modo cada vez mais eficiente. Contudo, na grande maioria dos casos, tais estudos são feitos por meio de entrevistas e formulários respondidos pela população, o que, conforme [Kostakos et al. 2009], implica grande consumo de recursos e tempo, dificulta a coleta longitudinal de dados e possibilita que os dados sejam influenciados por erro de autorelato.

Como alternativa para os problemas apresentados, o uso de dados de redes sociais tem se popularizado nos últimos anos e possibilitado uma nova forma de realizar estudos populacionais, já que essas redes passam a armazenar um grande volume de dados de seus usuários à medida que são utilizadas.

Segundo matéria da [Stewart 2016], os usuários passam, em média, 50 minutos por dia conectados as redes sociais, isso considerando apenas as plataformas *Facebook*, *Messenger* e *Instagram*, sem falar nas ferramentas, como *Youtube*, *Qzone*, *WhatsApp*, *FourSquare* e *Google+*. Esse valor pode até não parecer tão elevado, mas basta considerar que ele corresponde a 6% do tempo útil diário e que supera quase todas as outras atividades de lazer, se aproximando, até mesmo, do tempo gasto em necessidades básicas como comer e beber, 1,07 horas diárias.

Usualmente agrupa-se a população por parâmetros como o comportamento socioeconômico [Tammaru et al. 2016], religioso [Kosmin and Lachman 2011] e étnico [Waters 1994]. A utilização de dados de redes sociais permite não somente a análise comportamental que tradicionalmente se vê nas pesquisas, mas também o estudo da dinâmica social da população por meio de suas atividades diárias. Verificando as semelhanças e diferenças dessas atividades, pode-se agrupar regiões pelo seu padrão de mobilidade urbana, no entanto, realizar tal estudo é uma tarefa árdua, dado que é necessário acompanhar a dinâmica diária da amostra estudada.

Alguns trabalhos têm abordado temas que usam as Redes Sociais como fonte de dados. Por exemplo, [Frias-Martinez et al. 2012] e [Phithakkitnukoon and Olivier 2011] utilizando tais dados para inferir as atividades existentes em determinadas regiões das cidades, em especial, [Cranshaw et al. 2012] estuda as características das cidades dividindo-as em *Livehoods* que é uma nova forma de dividir a cidade pelas atividades predominantes em cada região, para isso o autor analisa 18 milhões de postagens feitas no *Foursquare* e valida seus resultados comparando os grupos formados na cidade de Pittsburgh com a opinião de 27 moradores da cidade.

Outros autores utilizam dados de Redes Sociais juntamente com dados de sensores físicos para obter uma maior precisão nos resultados, como o trabalho de [Xie and Wang] que associa 125 milhões de dados veiculares capturados por sensores de tráfego com 3,4 milhões de postagens - provenientes do *Twitter*, *Foursquare*, *Flickr*, *Picasa*, e *Panoramio* - com intuito de estudar possíveis soluções para a melhoria da mobilidade urbana.

Estudos recentes visam entender o padrão de mobilidade urbana, como [Noulas et al. 2011], [Silva et al. 2012a] e [Silva et al. 2012b]. Neste grupo podemos destacar [Silva et al. 2014] que usa observações capturadas do *Twitter* com a tag do *Foursquare* contendo as 3 seguintes categorias: *Drink*, *Fast-Food* e *Slow-Food* para estudar a preferência dos usuários em relação a estes 3 aspectos em diferentes locais do mundo. Para validar os resultados obtidos, o autor compara seus resultados com um *survey* [Inglehart and Welzel 2010] que estudou aspectos religiosos, políticos, econômicos e de estilo de vida da população de alguns países no período de 2005 à 2008.

O presente trabalho também objetiva estudar a dinâmica social urbana das cidades, no entanto, difere de outros, como [Silva et al. 2012b], [Silva et al. 2012a] e [Silva et al. 2014], pois oferece uma investigação mais aprofundada das particularidades dos dados. Especificamente, mostra-se que o comportamento social de um dia da semana em particular difere dos demais dias, enquanto os trabalhos citados não fazem esta distinção. Além disso, realiza-se um estudo mais abrangente, investigando mais vertentes da dinâmica urbana (estudando cada característica do comportamento social da população separadamente), e propõe-se um modelo matemático mais consistente representando os

dados por Cadeias de Markov e utilizando robustos testes estatísticos para comparar diferentes cidades.

2. Sensoriamento Participativo

Sensoriamento Participativo é um tipo de sensoriamento remoto onde pessoas agem como sensores, transmitindo, de forma voluntária, suas sensações sobre o ambiente em que se encontram. Um grupo de indivíduos, atuando em conjunto, formam uma *Redes de Sensores Participativos (RSP)*, onde cada um passa a atuar como um nó móvel da rede, gerando informações que, uma vez reunidas, formam uma base de conhecimento sobre o fenômeno que está sendo observado.

Sistemas que utilizam dados de *SP* para seu funcionamento são chamados de *Sistemas de Sensoriamento Participativo (SSPs)*. Estes, alavancados pela massificação do uso dos smartphones e outros dispositivos conectados em rede, se tornaram muito populares nesta década, notadamente por mesclarem aspectos de redes sociais e mecânicas de jogo em seu funcionamento.

Os *SSPs*, comumente conhecidos como redes sociais, geralmente se baseiam e refletem as relações sociais da vida real por meio de plataformas online, como um site, nas quais os usuários podem compartilhar ideias, atividades, eventos e interesses por meio da internet [Zheng and Zhou 2011].

Com a evolução da internet móvel - que, segundo [ICT Data and Statistics Division 2016], oferece cobertura banda larga à 84% da população mundial, com 67% de cobertura em áreas rurais - as pessoas passaram a estar conectadas por meio de seus dispositivos móveis em todos os momentos do dia. Essa interação constante de cada usuário com a rede deixa um rico rastro de dados nos *SSP's* que a medida que os acumula passam a atuar como grandes *RSP's*.

É importante levar em consideração, no entanto, que atividades de sensoriamento descritas pelo usuário são passíveis ao erro, seja por conta de má utilização da ferramenta - como quando um usuário partilha uma foto qualquer afirmando ser do local em que se encontra - ou por conta do estado momentâneo do ambiente - quando, por exemplo, devido a um feriado uma determinada loja está fechada e o usuário indica erroneamente que o estabelecimento sempre está fechado nesse dia da semana. Visando evitar tais problemas, os *SSPs* implementam várias medidas de proteção, como algoritmos de análise de imagens, análise textual, além de ranqueamento de usuários e políticas de uso restritivas, que provocam em alguns casos exclusão de conteúdo e até mesmo, em casos extremos, banimento de contas que não se adequem à política de uso da ferramenta.

Além disso, por não haver, por parte do usuário, a obrigação de fornecimento a informação, nem mesmo de manter o dispositivo operante, o trabalho com dados de *RSP* pode se tornar uma tarefa desafiadora, pois, ao contrário de redes de sensores convencionais, não há garantias da periodicidade da informação disponibilizada. Tal característica deve sempre ser levada em consideração na construção dos experimentos que utilizem esse tipo de fonte de dados.

Contudo, apesar dos problemas apresentados, o uso de dados de *RSP's* ainda apresenta grandes vantagens como o custo e a abrangência da informação, principalmente se comparadas com redes tradicionais uma vez que existe um alto valor envolvido na

implementação redes de sensores tradicionais para sensoriamento em larga escala. Ao se utilizar dados de *RSP's* é possível o acesso a um grande volume de dados tendo como único custo a coleta dos mesmos, já que os dispositivos da rede funcionam de maneira autônoma e não apresentam problemas comuns em redes sem fio tradicionais, como vida útil do dispositivo e gasto de energia.

3. Caracterização dos Dados

Para este trabalho, foram utilizados dados de um *PSS* que oferece serviços de compartilhamento de localização, o *Foursquare*. Segundo [Noulas et al. 2011], este tipo de serviço é construído baseando-se na noção de aproximar locais que visitamos com os amigos aos quais estamos conectados. Devido a sua popularidade crescente, oferecem uma base de dados de atividade humana promissora.

O *Foursquare* é um dos mais populares *SSP's* que oferecem serviços de localização, e sua plataforma é dividida em duas aplicações, o *Foursquare* e o *Swarm*, sendo acessível via navegador e possuindo versões de aplicativo para as principais plataformas móveis (*iOS*, *Android*, *Windows Phone*, *Blackberry* e *Symbian*). A divisão da plataforma se dá pela foco de cada aplicação, enquanto o *Swarm* é voltado para *check-ins* e interação entre usuários, o *Foursquare* se dedica a descobertas e recomendações de locais. Segundo [Foursquare 2016] possui:

- Comunidade: mais de 50 milhões de pessoas usam o *Foursquare* e o *Swarm* a cada mês, em desktops, internet móvel e aplicativos móveis. Pessoas fizeram *check-in* mais de 8 bilhões de vezes mundialmente.
- Plataforma: mais de 65 milhões de locais formam o mapa de negócios no mundo.

3.1. Extração dos Dados

Existem diversas formas de coleta de dados de *PSS's*, as mais comuns são por meio de *API's*, *Web Crawler* e aplicações. Tais processos nem sempre são simples, pois podem demandar bastante tempo, processamento e em alguns casos até um custo financeiro.

Dentre as *API's*, existem dois tipos mais usados para coleta de dados, são elas *REST* e *STREAMING*. Em ambos os casos existem limites severos de quantidade de dados que podem ser extraídos. Tais limites foram criados pois uma das fontes de renda destas ferramentas é a venda de dados para terceiros que desejem minerá-las.

No caso específico do *Foursquare*, sua *API* fornece uma quantidade muito limitada de dados de forma gratuita, como podemos ver em [Foursquare 2017]. Com tudo é possível utilizar outro canal para adquirir tais dados, que é por intermédio de *check-ins* do *Foursquare* que são também compartilhadas no *Twitter*. Baseado no trabalho de [Noulas et al. 2011], é esperado que amostras coletadas utilizando tal mecanismo correspondam de 20% à 30% da quantidade total de dados compartilhados pela plataforma.

Neste trabalho em especial, em virtude da alta demanda computacional e de rede necessária, foram utilizados dados coletados e disponibilizados, por [Silva 2014] que também foram utilizados em [Silva et al. 2012a] e [Silva et al. 2014]. Nesse conjunto de dados estão armazenados 33 dias do fluxo de *check-ins* do *Foursquare* compartilhadas no *Twitter*, no período entre os dias 25-04-2014 à 18-06-2014. Dentre esses dias ocorreram interrupções na captura de dados - dos dias 04-05-2014 à 06-05-2014, 20-05-2014 à

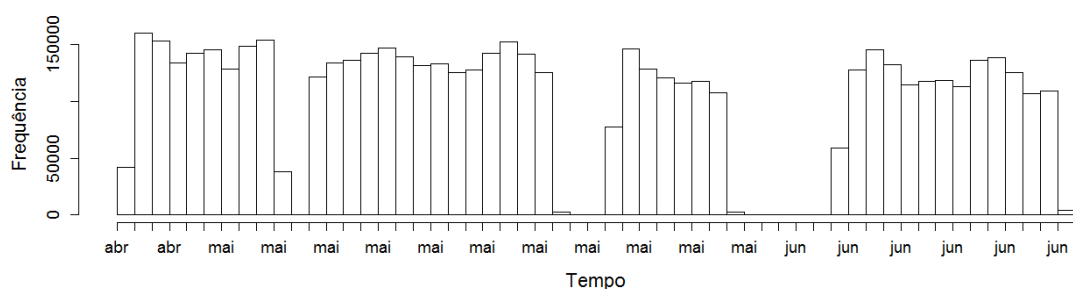


Figura 1. Histograma da frequência de *check-ins*, de 25-04-2014 à 18-06-2014

22-05-2014 e 30-05-2014 à 04-06-2014 – sendo possível vê-las, bem como a frequência diária de *check-ins* em todo o periodo de extração de dados, na figura 1.

Um *Check-In* é muito rico em informações, contendo dentre outros parâmetros, geolocalização, tempo exato de sua postagem, além de um link para uma página do *Foursquare* que possui informações sobre o local onde foi realizada. Utilizando tal link é possível, recorrendo a técnicas de *Web Crawler*, extrair desta página informações sobre a classificação do local da postagem. Esta técnica foi também utilizado por [Noulas et al. 2011], [Phithakkitnukoon and Olivier 2011] e [Silva et al. 2014] em seus trabalhos.

3.2. Tratamento dos Dados

O *Foursquare*, conforme visto anteriormente, tem um vasto banco de dados de locais cadastrados, tais locais são organizados de maneira hierárquica por meio de categorias. Neste trabalho iremos utilizar apenas com 9 das 10 categorias primárias do *Foursquare*, são elas: *Arts & Entertainment (A&E)*, *College & University (C&U)*, *Food (FD)*, *Nightlife Spot (NL)*, *Outdoors & Recreation (O&R)*, *Professional & Other Places (P&O)*, *Residence (RD)*, *Shop & Service(S&S)* e *Travel & Transport (T&T)*. Todos os locais classificados por categorias que são subcategorias destas foram reclassificadas como a categoria principal. A exclusão da décima categoria, *Event*, se deu por conta da não periodicidade da ocorrência de *check-ins* na mesma, já que esta caracteriza atividades esporádicas e que em geral não se repetem, ou se repetem com um período maior do que a amostra que iremos utilizar nesse trabalho, como é o caso de festivais de música, conferências e convenções.

Ao término da etapa de coleta de dados no *Twitter* e a posterior busca das categorias no *Foursquare*, foram escolhidas 10 cidades (New York, Bangkok, Los Angeles, Manila, Mexico City, Moscow, Recife, Rio de Janeiro, São Paulo, St. Petesburg) para, com o auxílio dos dados de geolocalização contidos em cada *Check-In*, criar um subconjunto de dados com postagens realizadas apenas nas cidades selecionadas. Para isso foram cruzadas as localizações de cada mensagem compartilhada com os *Bounding Box* das cidades – caixas imaginárias que definem os limites geográficos das cidades em termos de latitude e longitude – resultando em um novo conjunto de dados apenas com dados das cidades selecionadas.

Após os dados terem sido separados por cidade, foram então separados por dia, no entanto não foi escolhido o formato tradicional de representação do dia, que começa à meia noite e vai até à meia noite do outro dia, foi escolhido trabalhar com o formato

de dia social que vai das 4 às 4 da manhã. Essa abordagem também é utilizada em outros trabalhos, como [Silva et al. 2012b], e é feita principalmente por conta da categoria *Nightlife Spot*, que representa locais de vida noturna, comumente frequentados até muito após à meia noite. Vale salientar que como muito destes locais também funcionam pelo dia, como alguns bares e casas de shows por exemplo, então todas as publicações feitas nestes locais fora do horário noturno, 18 às 4, foram desconsideradas.

Como o foco desse trabalho é em estudar a dinâmica das cidades, foram considerados apenas *check-ins* de usuários com uma certa periodicidade. Mais especificamente, foram apenas consideradas postagens feitas por um mesmo usuário em um mesmo dia social e com até no máximo 6 horas de diferença e com diferença mínima de 10 minutos se as categorias forem diferentes e 30 se forem iguais. Tal escolha foi feita por assim existir uma maior probabilidade destas postagens representarem o real padrão de mobilidade do usuário.

Já que o conjunto de dados conta apenas com *check-ins* feitos por usuários com uma frequência diária de postagens e os locais onde tais *check-ins* foram realizados estão todos classificados por categorias do *Foursquare*. Foi possível então, agrupando as amostras por usuário e data, construir uma sequência de transições de tipos de locais por onde os usuários estiveram ao longo de um determinado dia. É possível ver um exemplo dessa sequência na tabela 1.

Tabela 1. Exemplo da mobilidade diária de um usuário na cidade de Los Angeles.

IDUSER	TIMESTAMP-BEGIN	TIMESTAMP-END	CATEGORY-BEGIN	CATEGORY-END
27377355	2014-05-18 09:28:33	2014-05-18 10:36:23	Food	Residence
	2014-05-18 10:36:23	2014-05-18 12:34:25	Residence	Arts and Entertainment
	2014-05-18 12:34:25	2014-05-18 13:20:23	Arts and Entertainment	Residence
	2014-05-18 13:20:23	2014-05-18 14:29:47	Residence	Food
	2014-05-18 14:29:47	2014-05-18 14:42:10	Food	Food
	2014-05-18 14:42:10	2014-05-18 15:47:08	Food	Travel and Transport
	2014-05-18 15:47:08	2014-05-18 16:00:18	Travel and Transport	Travel and Transport
	2014-05-18 16:00:18	2014-05-18 16:32:40	Travel and Transport	Residence

Por fim, foram criadas matrizes de frequências de transições entre categorias, essas guardam informações a cerca do deslocamento diário de um usuário entre as categorias. Assim, é possível ter ideia do padrão de mobilidade de cada usuário dentro de sua cidade. No entanto, esse trabalho visa realizar um estudo em larga escala e para isso, foram sumarizadas as informações diárias de todos os usuários de uma cidade em uma só matriz que passa a representar a dinâmica social dessa cidade. Essa abordagem é semelhante a de [Silva et al. 2012b] que as utiliza para construir o que chama de *Image of City*. As tabelas 2, 3 e 4 representam um exemplo do processo aplicado a cidade de São Paulo nos dias 12/05/2014, 16/05/2014 e 17/05/2014, respectivamente.

Tabela 2. Segunda

	A&E	C&U	FD	NL	O&R	P&O	RD	S&S	T&T
A&E	13	3	6	1	1	6	4	7	1
C&U	1	28	18	0	6	13	29	10	7
FD	10	23	51	4	22	40	14	34	13
NL	0	2	2	1	1	1	2	1	0
O&R	4	6	20	0	19	24	19	14	18
P&O	7	21	67	2	17	53	29	26	18
RD	1	8	3	0	10	14	11	6	1
S&S	9	10	54	2	18	19	15	64	10
T&T	1	7	20	3	11	23	18	23	64

Tabela 3. Sexta

	A&E	C&U	FD	NL	O&R	P&O	RD	S&S	T&T
A&E	6	3	13	7	7	4	6	5	5
C&U	5	21	18	10	1	12	25	10	9
FD	16	14	72	31	11	35	21	45	10
NL	6	5	8	29	0	2	6	3	3
O&R	6	4	21	1	23	15	21	18	19
P&O	6	12	75	6	15	50	22	38	27
RD	6	5	13	6	9	8	17	7	9
S&S	15	6	81	6	16	18	17	59	11
T&T	8	10	29	10	18	38	14	10	68

Tabela 4. Sábado

	A&E	C&U	FD	NL	O&R	P&O	RD	S&S	T&T
A&E	8	2	26	14	12	4	2	3	5
C&U	3	2	15	0	4	5	3	9	3
FD	28	4	65	18	19	17	29	50	9
NL	6	0	7	12	3	0	2	1	1
O&R	13	5	24	7	27	7	16	23	11
P&O	5	2	29	4	7	19	17	20	8
RD	6	0	16	6	12	12	28	10	6
S&S	22	0	101	10	20	14	26	116	12
T&T	9	7	15	4	20	8	7	21	36

4. Comparações entre Matrizes de Frequência de uma Mesma Cidade

Como mostrado anteriormente, o processo de tratamento teve como resultado matrizes que representam o padrão de mobilidade das cidades. Essas matrizes são separadas por cidade e dia. Nessa seção, elas foram investigadas com o objetivo de responder a duas perguntas: (i) o comportamento social das pessoas independe do dia da semana? Ou seja, é possível agrupar as amostras diárias sem haver distorção da informação? É possível separar por dias de semana e finais de semana? (ii) A população segue uma rotina semanal? Ou melhor, é possível associar os dados de um mesmo dia da semana, mas de semanas diferentes?

Antes de responder tais perguntas, é preciso ter em mente que as cidades se comportam de maneiras diferentes em relação a cada categoria, ou seja, o comportamento social ao longo do tempo das pessoas quanto à alimentação (categoria *FD*), por exemplo, é logicamente diferente se comparado ao comportamento em relação ao trabalho (categoria *P&O*), o que pode ser facilmente percebido analisando verticalmente os histogramas da figura 2. Então, só é aconselhável considerar dois dias semelhantes se todas as categorias, de ambos os dias, tiverem comportamentos similares.

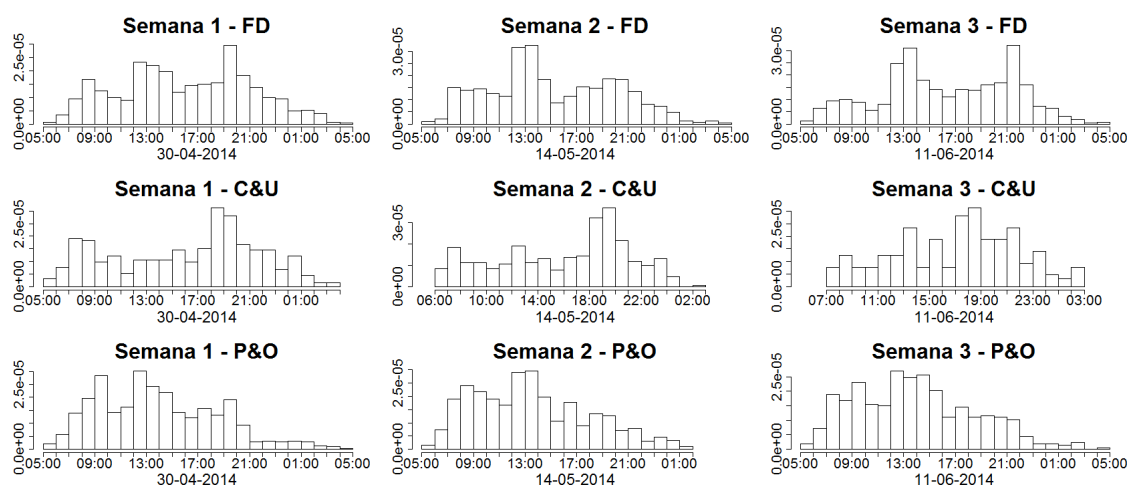


Figura 2. Histogramas da cidade de São Paulo apresentando o comportamento ao longo do tempo de 2 categorias em 3 diferentes semanas.

Dito isso, uma dedução lógica - e que pode ser facilmente confirmada verificando a diferença nos valores das tabelas 2, 3 ou 4 - é que, as chances de transições entre categorias são diferentes, isto é, a probabilidade dos usuários saírem de casa (categoria *RD*) para o trabalho (categoria *C&U*), por exemplo, é diferente da destes irem ao cinema (categoria *A&E*). No entanto, não é possível afirmar facilmente que tais probabilidades se mantêm independente do dia da semana.

Então, para responder a primeira pergunta, foi inicialmente selecionada uma cidade, para em seguida comparar, categoria-a-categoria e dia-a-dia, todas as matrizes de frequência em um período de uma semana. Para isso foi utilizado um teste Qui-quadrado, onde a hipótese nula pode ser enunciada como: as frequências de uma determinada linha l (categoria) da matriz M_{seg} são iguais as frequências da linha l da matriz M_{ter} . Esse teste foi executado para todos os dias da semana e para todas as cidades. Para analisar seu

resultado, foram criadas tabelas para cada categoria com o resultado do nível descritivo (*p-valor*) da comparação de todos os dias da semana.

Tabela 5. NY: Categoria A&E

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
Segunda	1	4.174e-02	2.007e-05	1.864e-05	8.785e-04	3.671e-08	1.166e-01
Terça	4.174e-02	1	1.650e-03	4.499e-02	3.622e-04	9.509e-07	3.808e-07
Quarta	2.007e-05	1.650e-03	1	4.351e-03	2.404e-02	1.640e-02	1.745e-03
Quinta	1.864e-05	4.499e-02	4.351e-03	1	7.654e-02	5.010e-11	3.468e-05
Sexta	8.785e-04	3.622e-04	2.404e-02	7.654e-02	1	2.735e-05	1.838e-06
Sábado	3.671e-08	9.509e-07	1.640e-02	5.010e-11	2.735e-05	1	1.408e-04
Domingo	1.166e-01	3.808e-07	1.745e-03	3.468e-05	1.838e-06	1.408e-04	1

Tabela 6. NY: Categoria C&U

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
Segunda	1	1.325e-01	1.592e-01	2.518e-02	8.763e-01	1.777e-01	8.973e-01
Terça	1.325e-01	1	3.968e-01	6.254e-01	8.302e-01	5.578e-01	2.636e-01
Quarta	1.592e-01	3.968e-01	1	5.749e-01	3.743e-01	7.847e-01	8.973e-01
Quinta	2.518e-02	6.254e-01	5.749e-01	1	4.470e-02	7.952e-01	2.433e-01
Sexta	8.763e-01	8.302e-01	3.743e-01	4.470e-02	1	4.232e-01	7.518e-01
Sábado	1.777e-01	5.578e-01	7.847e-01	7.952e-01	4.232e-01	1	7.518e-01
Domingo	8.973e-01	2.636e-01	8.973e-01	2.433e-01	7.518e-01	7.518e-01	1

Tabela 7. NY: Categoria FD

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
Segunda	1	7.972e-04	6.602e-13	6.601e-20	1.523e-18	5.714e-47	5.848e-11
Terça	7.972e-04	1	9.052e-01	3.381e-11	3.481e-07	2.415e-21	5.306e-05
Quarta	6.602e-13	9.052e-01	1	1.256e-13	2.842e-12	4.191e-35	3.331e-13
Quinta	6.601e-20	3.381e-11	1.256e-13	1	2.266e-07	1.820e-31	8.589e-11
Sexta	1.523e-18	3.481e-07	2.842e-12	2.266e-07	1	5.043e-04	1.669e-05
Sábado	5.714e-47	2.415e-21	4.191e-35	1.820e-31	5.043e-04	1	1.252e-08
Domingo	5.848e-11	5.306e-05	3.331e-13	8.589e-11	1.669e-05	1.252e-08	1

Tabela 8. NY: Categoria NL

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
Segunda	1	6.557e-01	7.122e-01	3.132e-01	1.623e-02	6.435e-08	2.659e-06
Terça	6.557e-01	1	7.180e-01	4.861e-01	3.620e-02	1.351e-05	5.078e-07
Quarta	7.122e-01	7.180e-01	1	2.616e-01	3.299e-02	3.254e-05	2.327e-05
Quinta	3.132e-01	4.861e-01	2.616e-01	1	5.802e-01	1.061e-07	4.072e-04
Sexta	1.623e-02	3.620e-02	3.299e-02	5.802e-01	1	7.615e-04	1.077e-01
Sábado	6.435e-08	1.351e-05	3.254e-05	1.061e-07	7.615e-04	1	2.155e-02
Domingo	2.659e-06	5.078e-07	2.327e-05	4.072e-04	1.077e-01	2.155e-02	1

Tabela 9. NY: Categoria O&R

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
Segunda	1	6.735e-02	7.499e-02	1.706e-02	1.471e-01	3.667e-06	1.766e-05
Terça	6.735e-02	1	6.769e-01	8.912e-02	5.507e-02	2.270e-05	7.171e-05
Quarta	7.499e-02	6.769e-01	1	2.887e-02	2.375e-02	9.105e-07	2.044e-07
Quinta	1.706e-02	8.912e-02	2.887e-02	1	5.958e-01	8.188e-03	1.452e-03
Sexta	1.471e-01	5.507e-02	2.375e-02	5.958e-01	1	4.180e-02	6.020e-03
Sábado	3.667e-06	2.270e-05	9.105e-07	8.188e-03	4.180e-02	1	2.487e-05
Domingo	1.766e-05	7.171e-05	2.044e-07	1.452e-03	6.020e-03	2.487e-05	1

Tabela 10. NY: Categoria P&O

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
Segunda	1	3.162e-01	2.814e-03	7.869e-02	4.240e-02	2.288e-05	2.269e-01
Terça	3.162e-01	1	3.001e-01	8.480e-01	9.817e-01	9.402e-01	1.528e-01
Quarta	2.814e-03	3.001e-01	1	7.929e-01	6.713e-01	3.349e-01	1.134e-01
Quinta	7.869e-02	8.480e-01	7.929e-01	1	5.464e-01	1.918e-01	7.875e-02
Sexta	4.240e-02	9.817e-01	6.713e-01	5.464e-01	1	6.327e-01	2.445e-01
Sábado	2.288e-05	9.402e-01	3.349e-01	1.918e-01	6.327e-01	1	1.733e-02
Domingo	2.269e-01	1.528e-01	1.134e-01	7.875e-02	2.445e-01	1.733e-02	1

Tabela 11. NY: Categoria RD

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
Segunda	1	4.258e-01	5.516e-01	5.874e-03	4.159e-01	6.747e-01	9.173e-01
Terça	4.258e-01	1	2.054e-01	3.204e-01	2.302e-02	5.825e-01	3.865e-01
Quarta	5.516e-01	2.054e-01	1	2.331e-12	1.539e-02	2.058e-01	8.140e-01
Quinta	5.874e-03	3.204e-01	2.331e-12	1	6.036e-02	9.651e-01	7.541e-01
Sexta	4.159e-01	2.302e-02	1.539e-02	6.036e-02	1	4.026e-01	7.358e-01
Sábado	6.747e-01	5.825e-01	2.058e-01	9.651e-01	4.026e-01	1	9.692e-01
Domingo	9.173e-01	3.865e-01	8.140e-01	7.541e-01	7.358e-01	9.692e-01	1

Tabela 12. NY: Categoria S&S

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
Segunda	1	7.866e-05	2.995e-04	1.085e-03	4.423e-11	1.077e-20	3.991e-10
Terça	7.866e-05	1	1.368e-01	4.765e-03	2.636e-04	2.969e-03	9.475e-03
Quarta	2.995e-04	1.368e-01	1	2.705e-02	2.137e-04	1.570e-02	1.819e-01
Quinta	1.085e-03	4.765e-03	2.705e-02	1	4.086e-04	1.717e-04	9.349e-02
Sexta	4.423e-11	2.636e-04	2.137e-04	4.086e-04	1	4.546e-03	9.416e-02
Sábado	1.077e-20	2.969e-03	1.570e-02	1.717e-04	4.546e-03	1	8.935e-03
Domingo	3.991e-10	9.475e-03	1.819e-01	9.349e-02	9.416e-02	8.935e-03	1

Tabela 13. NY: Categoria T&T

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
Segunda	1	4.186e-02	1.623e-01	3.063e-02	2.014e-01	1.330e-04	1.343e-02
Terça	4.186e-02	1	1.502e-01	3.269e-02	1.294e-01	1.705e-05	6.813e-01
Quarta	1.623e-01	1.502e-01	1	5.260e-02	3.721e-02	1.065e-08	4.859e-03
Quinta	3.063e-02	3.269e-02	5.260e-02	1	4.503e-04	5.566e-08	5.337e-03
Sexta	2.014e-01	1.294e-01	3.721e-02	4.503e-04	1	2.745e-02	8.483e-03
Sábado	1.330e-04	1.705e-05	1.065e-08	5.566e-08	2.745e-02	1	1.678e-07
Domingo	1.343e-02	6.813e-01	4.859e-03	5.337e-03	8.483e-03	1.678e-07	1

As tabelas 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 e 13, representam os valores do teste para a cidade de New York (NY). Verificando alguns resultados é possível perceber que, por exemplo, o comportamento da categoria *C&U* (Tabela 6), tende sempre a se manter bastante regular em todos os dias da semana, inclusive nos finais de semana, onde a população deve frequentar bibliotecas e outros locais de estudo. Esse comportamento não se repete em muitas cidades, por exemplo nas cidades brasileiras analisadas há uma clara diferença entre dias de semana e finais de semana.

Já a categoria *NL* (tabela 8), segue um padrão de comportamento bastante homogêneo durante os dias de semana, no entanto no final de semana há um grande aumento nos valores do teste. Esse resultado é bastante plausível, pois, durante a semana, por conta do trabalho, a população tende a não frequentar tanto a vida noturna, no entanto, essa atividade aumenta bastante em finais de semana, em especial sábado. Curiosamente, é possível perceber pela tabela, que o comportamento da população no domingo se assemelha muito mais com o de sexta, esse resultado provavelmente se deve por conta que, tanto o domingo quanto a sexta são dias que nem todos escolhem de sair a noite, já que muitos trabalham sábado e querem descansar no domingo.

Na categoria *S&S* (Tabela 12), é notado um alto grau de desordem entre os resultados, esse comportamento apesar de inconveniente, já era esperado, pois se trata de uma categoria relacionada a compras onde não existe uma periodicidade de comportamento, principalmente se tratando de uma cidade do tamanho de NY.

De fato, analisando todas as tabelas é possível perceber que o comportamento varia muito de acordo com a categoria estudada, sendo possível, normalmente, dividi-las em 3 grupos: (1) categorias *C&U*, *P&O* e *RD*, tem um comportamento mais linear, pois representam a rotina diária da população; (2) *S&S* e *FD*, tem uma maior variação, uma vez que são atividades que não fazem parte do dia-a-dia; (3) *A&E*, *NL*, *O&R* e *T&T* são atividades que seguem padrões bem diferentes em dias de semana e em finais de semana, já que representam, em geral, atividades de lazer.

Como foi possível ver, apenas algumas das categorias mantiveram um padrão ao longo dos dias, as demais têm uma dinâmica bastante diferente. Definindo um nível de significância para o teste de 5% por exemplo, no grupo 1, não existem evidências conclusivas, na grande maioria dos resultados, para rejeitar o teste. No entanto, no grupo 2 existem claras evidências para se rejeitar o teste em praticamente todos os resultados. Já no grupo 3, as categorias aparentam poder ser associadas nos dias de semana, contudo, em finais de semana seguem um padrão de mobilidade bastante diferente. Em suma, conforme dito anteriormente, não é conveniente agregar dois dias a menos que todas as categorias destes sejam semelhantes, então nesse trabalho foram analisados todos os dias da semana separadamente.

Tabela 14. Los Angeles - S1 x S2

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
A&E	2.746e-01	2.767e-01	6.290e-02	8.488e-01	1.686e-02	6.284e-02	7.303e-02
C&U	9.460e-01	3.307e-01	2.564e-01	4.895e-01	6.149e-01		5.637e-01
FD	1.337e-02	7.026e-11	1.164e-02	5.326e-02	2.092e-04	2.243e-01	1.987e-01
NL	8.052e-01	3.509e-01	3.813e-01	6.873e-02	1.340e-05	5.106e-01	1.178e-04
O&R	9.263e-01	6.604e-02	1.112e-03	9.430e-02	2.668e-05	5.531e-01	2.172e-02
P&O	3.705e-02	5.248e-01	9.649e-01	4.444e-01	7.102e-01	5.886e-01	6.547e-01
RD	7.893e-01	6.948e-02	6.881e-01	7.745e-02	2.865e-01	8.614e-01	6.939e-01
S&S	4.326e-01	7.665e-04	7.653e-02	8.367e-07	1.723e-03	5.736e-03	7.513e-02
T&T	5.439e-02	4.869e-01	6.497e-01	2.383e-02	3.102e-04	2.033e-02	1.609e-01

Tabela 15. Los Angeles S2 x S3

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
A&E	9.665e-01	8.898e-03	6.426e-02	9.067e-01	5.600e-01	1.486e-02	3.486e-02
C&U	3.719e-02	8.825e-01	3.173e-01	5.153e-01	8.254e-01		
FD	2.716e-01	8.048e-04	5.207e-05	3.147e-03	2.157e-05	3.167e-01	2.675e-01
NL	7.220e-01	7.746e-02	7.766e-01	1.798e-05	1.166e-01	7.420e-05	1.311e-01
O&R	1.083e-01	1.110e-01	6.540e-05	1.668e-01	7.582e-01	1.144e-02	3.320e-02
P&O	5.878e-02	6.473e-01	1.857e-02	9.796e-06	7.003e-01	5.866e-01	7.237e-01
RD	7.912e-01	8.816e-02	8.326e-02	3.679e-01	8.486e-02	7.578e-01	7.710e-02
S&S	9.013e-01	2.032e-10	4.455e-02	3.967e-01	5.210e-01	2.006e-02	7.809e-02
T&T	7.304e-01	1.958e-04	1.869e-02	3.355e-02	3.522e-04	3.886e-01	4.099e-01

Em relação à dúvida quanto a população seguir ou não uma rotina semanal, foram separadas 3 semanas com amostra diárias de todas as categorias e, de maneira análoga à anterior, executou-se um teste Qui-quadrado para comparar, novamente categoria a categoria, o mesmo dia da semana, das 3 diferentes semanas selecionadas.

Analisando os resultados do exemplo da cidade de Los Angeles (tabelas 14 e 15), foi possível perceber que na comparação da semana *S1* com a semana *S2*, para nível de significância de 5%, não existem evidências para se refutar o teste em aproximadamente 68% dos casos, se aumentado o nível de significância para 1% esse valor sobe para 81%. Já na comparação das semanas *S2* e *S3* esse valores são de, 58% e 76% para níveis de significância de 5% e 1% respectivamente. Vale salientar que os valores em branco nas tabelas não atingiram as condições mínimas para uma execução fidedigna do teste.

Verificando os números acima é possível perceber que existe uma semelhança entre as semanas. As falhas no teste podem representar ruídos nas amostras coletadas, variabilidade intrínseca da população estudada e até mesmo um evento ocorrido em um dado dia classificado em uma categoria específica. Nesse trabalho foi realizado a junção das semanas, mas em trabalhos futuros pretende-se estudar a evolução dos dados ao longo

do tempo, no entanto para isso se faz necessário uma amostra com uma fração de tempo maior que a utilizada.

4.1. Comparações entre Matrizes de Frequência de Diferentes Cidades

Extrapolando a análise na seção anterior, foram comparadas, por categorias e dias da semana, diferentes cidades com o objetivo de se descobrir quais cidades se parecem em relação a características específicas.

A cidade de São Paulo foi escolhida como exemplo, a tabela 16 apresenta os resultados da execução do teste Qui-quadrado para comparação com as demais cidades e suas respectivas categorias, em um dia de segunda-feira, apenas para ilustrar o método.

Nesse caso os *p-valores* foram utilizados para ranquear os resultados. Essa mesma análise foi realizada para todos os dias da semana, e foi feito um ranking das cidades que mais se assemelham à São Paulo em cada categoria, ou seja, que mais vezes aparecem como mais semelhantes durante os outros dias da semana ou do fim de semana. Alguns resultados desta análise merecem destaque:

- Levando em consideração todos os dias úteis, as cidades que mais próximas relação à categoria *P&O* - que representa todas as categorias ligadas atividades de trabalho - são: Moscow, Los Angeles e Mexico City.
- Ainda tendo em conta apenas dias úteis, a categorias ligadas a educação (*C&U*) as que mais parecidas são: Moscow, Rio de Janeiro e Recife.
- Já em relação a finais de semana, na categoria que classifica locais de vida noturna, como bares e casas de show (categoria *NL*), são: Bangkok, Rio de Janeiro e St. Petersburg.
- Também em relação a finais de semana, mas na categoria que representa os hábitos alimentares da população (Categoria *FD*), as cidades mais parecidas são: Moscow, Recife e Rio de Janeiro.
- E por fim, em finais de semana, as cidades mais próximas na categoria que representa locais que oferecem conteúdo de arte e entretenimento, como museus, cinemas e teatros, são: Los Angeles, Moscow e Mexico City.

Observe que os resultados discutidos acima nem sempre se refletem na tabela 16, pois nesta análise também estão incluídos as tabelas dos outros dias da semana (as outras tabelas foram omitidas por limitação de espaço).

Tabela 16. São Paulo: Segunda-feira

	A&E	C&U	FD	NL	O&R	P&O	RD	S&S	T&T
Bangkok	4.128e-03	1.182e-20	1.276e-04	8.595e-04	2.505e-14	1.869e-04	1.234e-05	1.805e-16	2.051e-12
Los Angeles	8.016e-04	1.347e-04	5.219e-17	3.624e-02	2.909e-06	5.544e-06	9.377e-03	2.370e-15	1.572e-29
Manila	9.874e-02	6.360e-15	1.898e-05	8.316e-01	7.100e-08	2.981e-12	8.317e-08	1.358e-37	3.051e-11
Mexico City	3.056e-02	6.841e-11	2.084e-02	5.587e-01	4.583e-02	6.971e-10	7.105e-04	1.948e-01	4.341e-12
Moscow	3.655e-01	2.586e-01	1.400e-08	9.811e-01	1.518e-02	6.168e-06	7.067e-08	1.034e-04	3.874e-05
New York	5.860e-03	4.498e-23	1.215e-03	5.015e-02	1.353e-03	4.746e-08	2.465e-12	2.638e-05	1.628e-52
Recife	3.284e-01	2.577e-03	6.002e-10	4.724e-01	3.425e-13	6.615e-07	1.313e-01	6.673e-10	3.296e-07
Rio de Janeiro	3.181e-01	4.477e-02	2.172e-14	5.637e-01	7.860e-02	1.944e-09	1.120e-02	2.165e-07	6.766e-28
St. Petersburg	1.557e-04	1.218e-07	2.412e-15	3.458e-01	8.977e-03	6.903e-07	2.613e-05	6.459e-10	4.222e-07

4.2. Comparações entre Matrizes de Markov de Diferentes Cidades

Ao estudar o comportamento das cidades separando-as em categorias foi possível entender a permutação entre uma categoria específica e as demais, no entanto, para poder

realmente entender a dinâmica de uma cidade é necessário estudar o comportamento da população em relação a todas as categorias em conjunto.

Para retratar tal comportamento foram utilizadas *Cadeias de Markov em tempo discreto (DTMC)*, onde cada categoria passa a representar um estado das *Matrizes de Transição de Probabilidade*, como logicamente não é possível contar com toda a população necessária para construir tais matrizes, estas foram estimadas a partir dos dados amostrais coletados de cada cidade.

A escolha por *DTMC* foi feita em especial por três características encontradas nestes tipos cadeias, (i) é um processo estocástico bastante utilizado para representar estados discretos; (ii) tem capacidade de representar semelhantemente dados com frequências de amostragem diferentes; e (iii) em *Processos Markovianos* a probabilidade condicional de qualquer evento futuro depende somente do estado presente, sendo assim mais fácil de se representar dados temporais quando se tem apenas amostras de tempo.

Existem diferentes métodos para se estimar as *Matrizes de Transição de DTMCs*, neste trabalho utilizamos a abordagem descrita em [Pardo 2005], que apresenta um estimador de máxima verossimilhança para as probabilidades de transição de estado da matriz de transição.

É importante ressaltar que o estimador descrito em [Pardo 2005] é um estimador de *Máxima Verossimilhança*, sendo este consistente, porém tendencioso, com o viés tendendo a zero a medida que o tamanho da amostra aumenta. Assim, é possível estimar uma *Matriz de Transição* de maneira consistente tendo uma amostra grande o suficiente.

As tabelas 17, 18, 19 e 20 representam Matrizes de Transição de Probabilidade estimadas a partir de dados de dias de semana da cidade de New York, como podemos perceber, existem probabilidades associadas à transição entre todos os estados da *Cadeia de Markov*, então é possível por exemplo estimar a probabilidade dos habitantes de New York que saem dos seus trabalhos para irem a um bar durante um dia de sexta-feira.

Tabela 17. New York: Segunda

	A&E	C&U	FD	NL	O&R	P&O	RD	S&S	T&T
A&E	0.07143	0.017860	0.4286	0.07143	0.07143	0.07143	0.03571	0.16070	0.07143
C&U	0.12500	0.156200	0.2500	0.00000	0.03125	0.18750	0.03125	0.12500	0.09375
FD	0.05469	0.042970	0.2500	0.07031	0.11720	0.14840	0.07031	0.14840	0.09766
NL	0.05128	0.000000	0.2308	0.46150	0.05128	0.02564	0.10260	0.02564	0.05128
O&R	0.00000	0.021740	0.2826	0.07609	0.11960	0.14130	0.05435	0.13040	0.17390
P&O	0.06536	0.039220	0.2745	0.03268	0.14380	0.20920	0.03922	0.11110	0.08497
RD	0.05556	0.000000	0.2778	0.00000	0.11110	0.16670	0.05556	0.22220	0.11110
S&S	0.03093	0.041240	0.2268	0.02577	0.20620	0.11340	0.04639	0.24740	0.06186
T&T	0.02439	0.006098	0.2134	0.02439	0.11590	0.11590	0.02439	0.10370	0.37200

Tabela 18. New York: Quarta

	A&E	C&U	FD	NL	O&R	P&O	RD	S&S	T&T
A&E	0.26320	0.000000	0.4342	0.11840	0.02632	0.02632	0.00000	0.05263	0.07895
C&U	0.04762	0.190500	0.1905	0.14290	0.14290	0.14290	0.00000	0.14290	0.00000
FD	0.17650	0.010700	0.2620	0.09626	0.03209	0.17650	0.03209	0.12830	0.08556
NL	0.20000	0.000000	0.3714	0.37140	0.00000	0.00000	0.02857	0.02857	0.00000
O&R	0.02381	0.023810	0.2381	0.02381	0.16670	0.16670	0.09524	0.09524	0.16670
P&O	0.01639	0.016390	0.3525	0.04098	0.07377	0.23770	0.04918	0.11480	0.09836
RD	0.03846	0.038460	0.1154	0.07692	0.15380	0.26920	0.03846	0.15380	0.11540
S&S	0.03289	0.013160	0.3816	0.02632	0.11180	0.06579	0.05921	0.25000	0.05921
T&T	0.03390	0.008475	0.2034	0.01695	0.10170	0.16100	0.06780	0.06780	0.33900

Tabela 19. New York: Sexta

	A&E	C&U	FD	NL	O&R	P&O	RD	S&S	T&T
A&E	0.18350	0.000000	0.2752	0.20180	0.07339	0.02752	0.05505	0.07339	0.11010
C&U	0.00000	0.105300	0.3158	0.05263	0.05263	0.15790	0.05263	0.21050	0.05263
FD	0.10630	0.013570	0.3529	0.16290	0.09050	0.05882	0.02941	0.12440	0.06109
NL	0.13640	0.006494	0.2987	0.44810	0.01948	0.01299	0.02597	0.01299	0.03896
O&R	0.10500	0.015000	0.3100	0.07500	0.18500	0.09000	0.04000	0.11000	0.07000
P&O	0.05797	0.021740	0.3261	0.07246	0.13040	0.15220	0.03623	0.13770	0.06522
RD	0.04167	0.000000	0.2500	0.12500	0.04167	0.08333	0.12500	0.33330	0.00000
S&S	0.03030	0.012990	0.3117	0.05628	0.10820	0.03896	0.04762	0.37660	0.01732
T&T	0.03289	0.006579	0.1974	0.07237	0.08553	0.08553	0.04605	0.10530	0.36840

Tabela 20. New York: Domingo

	A&E	C&U	FD	NL	O&R	P&O	RD	S&S	T&T
A&E	0.15790	0.008772	0.3772	0.07895	0.13160	0.03509	0.008772	0.15790	0.04386
C&U	0.00000	0.000000	0.6000	0.00000	0.00000	0.40000	0.00000	0.00000	0.00000
FD	0.10850	0.000000	0.3359	0.08786	0.11110	0.05943	0.049100	0.19120	0.05685
NL	0.03846	0.019230	0.4038	0.38460	0.03846	0.00000	0.038460	0.01923	0.05769
O&R	0.11660	0.018400	0.3006	0.05521	0.27610	0.05521	0.018400	0.09202	0.06748
P&O	0.07368	0.000000	0.4947	0.04211	0.09474	0.03158	0.042110	0.15790	0.06316
RD	0.04167	0.000000	0.2500	0.12500	0.12500	0.00000	0.000000	0.25000	0.20830
S&S	0.06038	0.007547	0.3208	0.03396	0.10940	0.04528	0.067920	0.32080	0.03396
T&T	0.10490	0.000000	0.1888	0.02797	0.07692	0.08392	0.041960	0.11890	0.35660

Após todas as Matrizes de probabilidade terem sido estimadas, foi utilizado o teste de hipótese para *Cadeias de Markov* de [Kullback et al. 1962] com intuito de calcular o grau de similaridade entre uma dada cidade e as demais para todos os dias da semana. Na tabela 21 é possível ver os resultados do *p-valor* de tal teste aplicado para comparar todas

as cidades selecionadas à New York. Como o agrupamento é feito por dia da semana, existe uma pequena variação na ordem de proximidade das cidades de acordo com o dia analisado.

Tal variação por exemplo pode ser vista verificando os dias de segunda-feira - onde as três cidades mais próxima de New York são Los Angeles, Mexico City e Manila - e quinta-feira onde apesar da primeira se manter a mesma, a segunda passa a ser São Paulo, com Mexico City como terceira e Manila apenas como a sexta mais próxima.

Tabela 21. New York

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
Bangkok	1.097e-02	4.572e-03	1.293e-03	4.869e-04	2.116e-03	1.203e-03	6.271e-03
Los Angeles	4.444e-02	5.584e-02	1.741e-02	5.440e-02	1.658e-01	1.527e-01	2.280e-01
Manila	1.596e-02	4.678e-03	1.068e-01	4.326e-03	6.587e-03	1.845e-03	3.346e-03
Mexico City	1.752e-02	1.957e-02	3.363e-02	2.489e-02	6.835e-02	1.176e-01	5.227e-02
Moscow	1.518e-04	1.667e-03	8.301e-04	6.633e-03	2.435e-03	2.174e-03	1.132e-03
Recife	1.166e-04	6.562e-04	1.004e-05	6.396e-04	2.427e-05	1.343e-06	6.031e-05
Rio de Janeiro	7.598e-05	1.239e-04	5.212e-05	2.826e-03	7.868e-04	2.239e-05	1.008e-06
Sao Paulo	6.612e-03	1.579e-03	1.552e-03	3.414e-02	2.457e-02	3.123e-02	1.600e-02
St. Petersburg	1.339e-03	2.665e-04	1.267e-04	1.169e-02	5.100e-03	5.277e-03	1.383e-03

Ao término do experimento, serão brevemente discutidas na próxima seção, algumas aplicações que possam fazer uso de tais resultados.

5. Aplicação

Inúmeras aplicações podem se beneficiar do agrupamento de cidades. Dependendo da aplicação, pode ser interessante investigar o grau de semelhança entre as cidades. Por exemplo, a utilização da técnica de análise proposta pode ser utilizada como um engenho para sistemas de recomendação voltados ao turismo. Nesse caso, o estudo pode ser de duas formas diferentes: agrupando apenas algumas categorias ou com todas as categorias juntas.

Por exemplo, dado que um usuário já tenha viajado para Recife e gostado da cidade por conta de seus museus, praças históricas e locais relacionados a cultura, é possível então gerar um agrupamento de cidades parecidas com *Recife* nestes aspectos. Para isso precisa-se primeiro verificar quais dias da semana o usuário pretende passar no local e então realizar um processo semelhante ao feito para cidade de São Paulo na seção 4.1, utilizando os *p-valores* resultante do teste Qui-quadrado para as categorias *Arts & Entertainment* e *Outdoors & Recreation* e então agrupar o resultado utilizando como parâmetro os valores obtidos, como realizado no dendrograma da figura 3.

No entanto, se o usuário deseja examinar se todas as características das cidades são semelhantes as de Recife, para então decidir para qual cidade deseja visitar, basta, após selecionar os dias da viagem, fazer uma comparação entre Matrizes de markov, como a feita para cidade de New York na seção 4.2. No segundo agrupamento da figura 4 é possível ver essa abordagem aplicada à cidade de Recife nos dias de sexta e sábado.

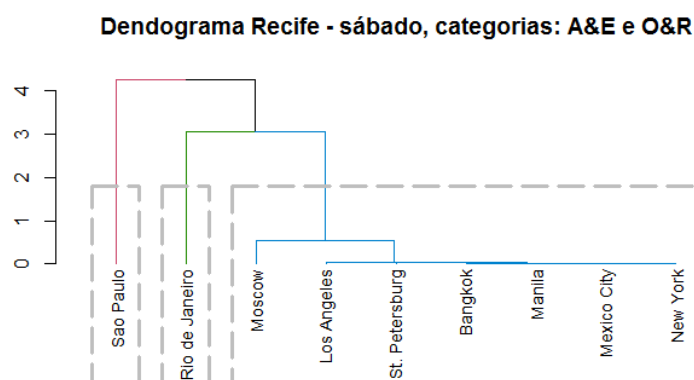


Figura 3. Agrupamento Hierárquico (método Centróide), exemplo de divisão em 3 grupos, usando p -valor do teste Qui-quadrado como parâmetro de agrupamento.

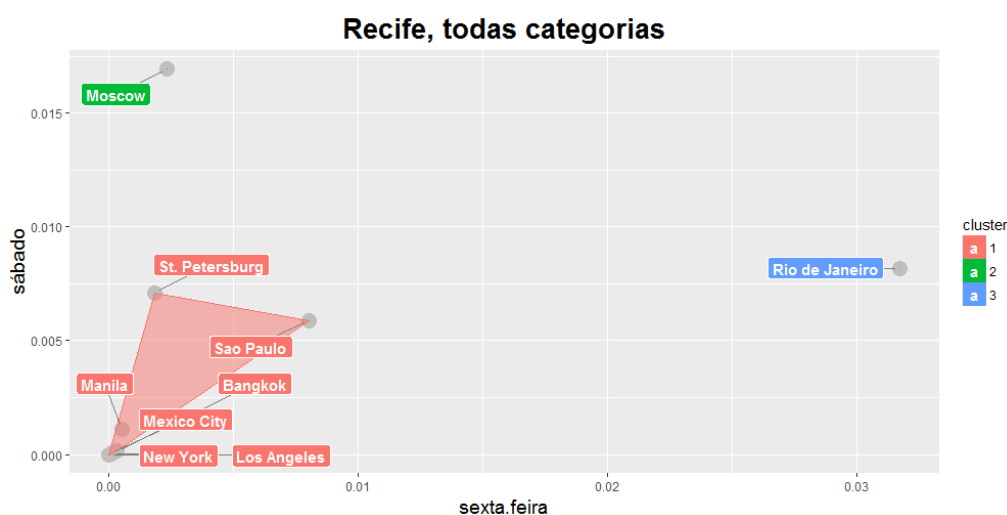


Figura 4. Agrupamento hierárquico (método Centróide), exemplo de divisão em 3 grupos, usando o p -valor do teste para Cadeias de Markov como parâmetro de agrupamento.

6. Conclusão

As técnicas de análise apresentadas podem servir para inúmeras aplicações, como estudo para viabilização de empreendimentos, cálculo de índice cultural da população, estudo de mercado e até análise de deslocamentos. A técnica de estudo populacional apresentada, que leva em consideração a dinâmica social da população nas cidades, é de fácil aplicação e, mesmo quando aplicada em larga escala, pode obter resultados em um curto espaço de tempo, ao contrário das técnicas tradicionais.

Referências

- Cranshaw, J., Schwartz, R., Hong, J. I., and Sadeh, N. (2012). The livelihoods project: Utilizing social media to understand the dynamics of a city. *International AAAI Conference on Weblogs and Social Media*, page 58.
- Foursquare (2016). Foursquare website. Acessado em: 18-12-2016.
- Foursquare (2017). Foursquare para desenvolvedores. Acessado em: 07-04-2017.

- Frias-Martinez, V., Soto, V., Hohwald, H., and Frias-Martinez, E. (2012). Characterizing urban landscapes using geolocated tweets. In *Privacy, Security, Risk and Trust (PAS-SAT), 2012 International Conference on and 2012 International Confernece on Social Computing (SocialCom)*, pages 239–248.
- ICT Data and Statistics Division (2016). ICT Facts & Figures. *14th World Telecommunication/ICT Indicators Symposium (WTIS)*.
- Inglehart, R. and Welzel, C. (2010). Changing mass priorities: The link between modernization and democracy. *Perspectives on Politics*, 8(02):551–567.
- Kosmin, B. A. and Lachman, S. P. (2011). *One Nation Under God: Religion in Contemporary American Society*. Crown Publisher.
- Kostakos, V., Nicolai, T., Yoneki, E., O’Neill, E., Kenn, H., and Crowcroft, J. (2009). Understanding and measuring the urban pervasive infrastructure. *Personal and Ubiquitous Computing*, 13(5):355–364.
- Kullback, S., Kupperman, M., and Ku, H. H. (1962). Tests for contingency tables and markov chains. *Technometrics*, 4(4):573–608.
- Noulas, A., Scellato, S., Mascolo, C., and M., P. (2011). An empirical study of geographic user activity patterns in foursquare. *ICwSM*, 11:70–573.
- Pardo, L. (2005). *Statistical inference based on divergence measures*. CRC Press.
- Phithakkitnukoon, S. and Olivier, P. (2011). Sensing urban social geography using online social networking data. In *The Social Mobile Web*, pages 36–39.
- Silva, T. H. (2014). *Large Scale Study of City Dynamics and Urban Social Behavior Using Participatory Sensor Networks*. PhD thesis, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).
- Silva, T. H., d. Melo, P. O. S. V., Almeida, J. M., Salles, J., and Loureiro, A. A. F. (2012a). Visualizing the invisible image of cities. In *Green Computing and Communications (GreenCom), 2012 IEEE International Conference on*, pages 382–389.
- Silva, T. H., de Melo, P. O., Almeida, J., Musolesi, M., and Loureiro, A. (2014). You are what you eat (and drink): Identifying cultural boundaries by analyzing food & drink habits in foursquare. *arXiv preprint arXiv:1404.1009*.
- Silva, T. H., Vaz de Melo, P. O. S., Almeida, J. M., and Loureiro, A. A. F. (2012b). Visualizing the Invisible Image of Cities. In *Proc. IEEE International Conference on Cyber, Physical and Social Computing*, Besancon, France.
- Stewart, J. B. (2016). Facebook has 50 minutes of your time each day. it wants more. New York Times Online, acessado em: 04-03-2017.
- Tammaru, T., Ham, M. V., Marcinczak, S., and Musterd, S. (2016). *Socio-Economic Segregation in European Capital Cities: East Meets West*. Routledge.
- Waters, M. C. (1994). Ethnic and racial identities of second-generation black immigrants in new york city. *The International Migration Review*, 28(4):795–820.
- Xie, X.-F. and Wang, Z.-J. Combining physical and participatory sensing in urban mobility networks.
- Zheng, Y. and Zhou, X. (2011). *Computing with Spatial Trajectories*. Springer.

Implementação em Hardware de uma Rede de Sensores para Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais

Edward Hsiao, Tiago de Oliveira, Denise Stringhini,
Luiz E. G. Martins, Bruno Y. L. Kimura¹

¹Instituto de Ciência e Tecnologia – Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP)
Av. Cesare Mansueto Giulio Lattes, 1201
Eugênio de Mello, São José dos Campos/SP – Brasil

{ehsiao,tiago.oliveira,dstringhini,legmartins,bruno.kimura}@unifesp.br

Abstract. *This paper presents the development of an open source, low-cost, flexible, reliable and scalable wireless sensor networks system for monitoring and warning of natural disasters. In Brazil, for example, meteorological monitoring system mostly uses wireless mobile telecommunications technology such as 3G networks which are expensive, unreliable and unreachable in some regions. The hardware platform proposed is based on wireless sensor networks and Internet of Things concepts as a better alternative to the systems currently employed. Some prototypes were implemented in hardware using Arduino, Intel Edison, NRF24 wireless communication modules and low-cost sensors. Results of range and packet loss tests indicate the viability of this approach for the monitoring and warning of natural disasters platform proposed.*

Resumo. *Este artigo apresenta o desenvolvimento de um sistema de redes de sensores sem fio de baixo custo, flexível, confiável e escalável para monitoramento e alerta de desastres naturais. No Brasil, por exemplo, o sistema de monitoramento meteorológico utiliza principalmente a tecnologia baseada em rede de telefonia móvel, como redes 3G de custo elevado, pouco confiáveis e inacessíveis em algumas regiões. A plataforma de hardware proposta baseia-se em conceitos de redes de sensores sem fio e de Internet das Coisas como uma melhor alternativa aos sistemas atualmente empregados. Alguns protótipos foram implementados em hardware usando Arduino, Intel Edison, módulos de comunicação sem fio NRF24 e sensores de baixo custo. Os resultados dos testes de alcance e perda de pacotes indicam a viabilidade desta abordagem para a plataforma de monitoramento e alerta de desastres naturais proposta.*

1. Introdução

Em meio a alteração de clima e tempo nas últimas décadas em decorrência do aquecimento global, o estudo das condições do ambiente se tornou uma ferramenta de suma importância para reduzir e minimizar impactos resultantes de desastres naturais. E isso tem despertado o interesse e a atenção de autoridades governamentais para implantação de infraestrutura adequada que suporte a realização desse estudo. Além disso, têm-se buscado a redução do grande volume anual de gasto em políticas sócio-ambientais decorrentes desses desastres e também decorrentes do alto custo de aquisição e manutenção dessa infraestrutura.

Nesse contexto, foi criado pelo governo brasileiro em 10 de Abril de 2012, por meio da lei No 12.608, o sistema de informações e monitoramento de desastres. E, mais recentemente, criou-se o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), que é o órgão responsável pela manutenção desse sistema. No entanto, a maioria das tecnologias atuais para captar as informações que precedem os desastres naturais ainda utiliza o sistema de comunicação baseado na tecnologia de telefonia celular como redes 3G, que por sua vez são de elevado custo de aquisição e ineficientes. Assim, a opção tecnológica a esta aplicação é a adoção de uma rede de sensores sem fio (RSSF) de baixo custo de instalação e operação para ser empregada na supervisão ambiental. No desenvolvimento de um protocolo eficiente de RSSF, é preciso uma determinada série de equipamentos, como sensores, microcontroladores e interfaces de rede compatíveis.

Por meio da colaboração entre a Unifesp e o Cemaden, foi elaborado o projeto CIGARRA, no qual planeja-se desenvolver uma plataforma *open source* com solução de baixo custo, flexível, confiável e escalável:

- **Baixo Custo:** A redução de custos dos sensores permitirá a maior abrangência de monitoramento. Outro aspecto da redução de custo passa pela simplificação da atividade de instalação e de gerenciamento dos sensores.
- **Flexível:** No Brasil, as áreas monitoradas são distintas, assim como os fatores monitorados. Ora monitoram-se as chuvas, ora a seca pode ser o fator de risco. Por isso, é importante contar com uma plataforma interoperável e diversificada de sensores e motes que permita a fácil montagem e implantação de redes de monitoramento.
- **Confiável:** É essencial que as soluções de monitoramento ofereçam dados corretos e que os serviços operem com poucas falhas. Isso exige um alto grau de redundância no número de nós e o uso de modelos de comunicação de rede ad hoc, capazes de funcionar mesmo com a presença de falhas em alguns nós.
- **Escalável:** Atualmente, o Cemaden monitora áreas de risco em apenas 1.000 dos aproximadamente 5.000 municípios brasileiros. Para a ampla cobertura do território nacional, além da redução de custo material e de operação, o sistema deve ser capaz de lidar com volumes altos de transmissão e processamento de dados.

Além disso, o projeto CIGARRA também visa contribuir para a evacuação segura de pessoas que vivem em áreas de risco por meio de alertas, os quais deverão ser emitidos pela central de monitoramento baseando-se nas informações captadas pela rede de sensores.

Para a realização de todo o projeto CIGARRA, foram organizadas três linhas de atuação: Hardware, Comunicação e Sistemas. A proposta desse artigo será apresentar, dentro da linha de Hardware, o projeto físico de uma rede de sensores sem fio para monitoramento e alerta de desastres naturais, com o objetivo de coletar dados ambientais como chuva, temperatura, umidade relativa, pressão atmosférica, entre outros e transmiti-los via um sistema de rádio frequência de baixo custo.

2. Fundamentação Teórica

Nesta seção são descritos o referencial teórico e as tecnologias aplicadas no desenvolvimento deste trabalho. Na subseção 2.1 apresenta-se um breve estudo sobre meteorologia e a previsão do tempo. Na subseção 2.2 é apresentada a definição de redes de sensores sem

fiio (RSSF), suas aplicações e arquitetura. Na subseção 2.3 é descrito o funcionamento do módulo NRF24L01 utilizado neste trabalho. A plataforma Arduino, o *Arduino Intel Edison* e os módulos sensores empregados são apresentados na subseção 2.4.

2.1. Meteorologia e Previsão do Tempo

A meteorologia [Ahrens 2009] é a ciência que analisa dados dos fenômenos observáveis relacionados com a atmosfera terrestre. O foco do estudo da meteorologia é a análise das variáveis climáticas para estudo dos processos ambientais e a previsão do tempo. Para compreender os processos químicos e físicos que estabelecem as condições climáticas, são estudados os dados relativos dos fatores climáticos como temperatura, insolação, pressão atmosférica, chuva, vento, umidade do ar e suas relações com o homem e o meio ambiente. Esses dados são coletados em áreas distintas, visto que a previsão não pode se basear em dados adquiridos em apenas um único lugar, pois como a atmosfera é dinâmica e está intimamente correlacionada, um fenômeno que afeta uma dada região poderá influenciar em outra.

Com o desenvolvimento da eletrônica e da informática, a obtenção de informações meteorológicas hoje em dia se tornou mais rápida e eficaz, garantido uma grande precisão e confiabilidade nos dados obtidos. Desse modo, é possível realizar prognóstico de tempo em áreas urbanas ou rurais a fim de obter um alerta para evitar os efeitos trágicos de desastres naturais. Os desastres naturais são resultado decorrente de fenômenos e instabilidades que ocorrem na natureza, provocados por fatores de origem externa ou de ações humanas, que podem resultar em prejuízos humanos, materiais, econômicos ou ambientais [Org.Pan-AmericanaSaúde 2015].

Além do mais, as aplicações de meteorologia são bastante amplas, podendo ser utilizadas em planejamento da agricultura, estratégias militares, construção civil, entre outros setores que podem ser influenciados pelas condições climáticas.

Por sua vez, a previsão do tempo é uma das áreas de estudo da meteorologia dedicada a realizar uma análise com máxima precisão possível de como o tempo irá agir em um determinado local baseado em dados observados.

Segundo [Pereira et al. 2007], denomina-se *tempo* o estado da atmosfera em um local e instante, sendo definido pela condição de temperatura, pressão, concentração de vapor, velocidade e direção do vento e precipitação de chuva; e *clima* pode ser definido como uma descrição estática que expressa as condições médias (valor mais provável) do tempo nesse mesmo local. No Brasil, a coleta das informações são efetuadas pelos institutos de previsão do tempo com estações espalhadas em diversos lugares específicos, utilizando equipamentos de medição como termômetro (temperatura ambiente), anemômetro (velocidade do vento), pluviômetro (volume de chuva), higrômetro (umidade relativa do ar) e barômetro (pressão atmosférica). Os principais institutos nacionais são o INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos e o INMET - Instituto Nacional de Meteorologia.

2.2. Rede de Sensores sem Fio

Uma Rede de Sensores sem Fio (RSSF) [Faludi 2010] é composta de vários sensores autônomos (denominados nós sensores ou *nodes*) dispersos em um campo de interesse de estudo, que se comunicam usando protocolos de comunicação sem fio. O conjunto de nós

sensores possuem características sensitivas com função de captar atributos de grandezas e enviar estes dados a uma estação central por intermédio de uma rede sem fio. A tecnologia é bastante conhecida na área de instrumentação e medidas por unir computação, sensoriamento e comunicação em um pequeno e exclusivo dispositivo [Hill 2003].

A arquitetura de um nó da RSSF usualmente possui a organização interna apresentada na Figura 1, sendo composta por um ou mais sensores e conversores Analógico/Digital (AD). O conversor AD converte os sinais analógicos para um formato digital, o qual é enviado para a unidade de processamento. A unidade de processamento deve possuir a capacidade computacional e memória para armazenar os resultados produzidos. A unidade de comunicação possui conexões com rádio para realizar a transmissão dos dados. Por fim, o nó sensor deve ser alimentado por uma fonte de energia, que geralmente é uma bateria.

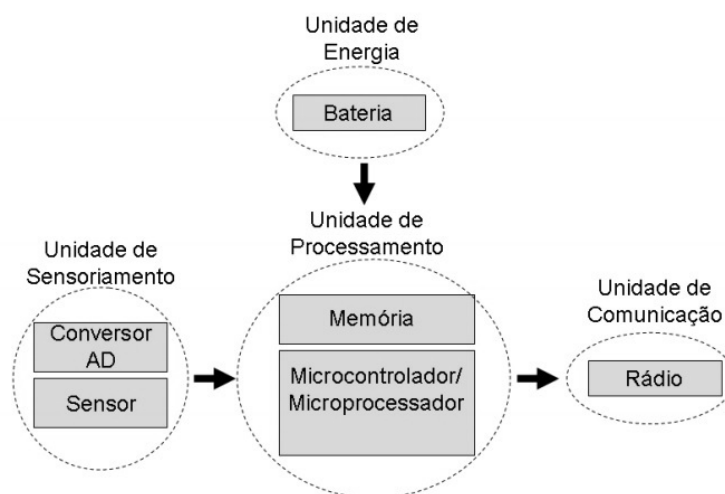


Figura 1. Representação da arquitetura de um nó sensor [Zheng and Jamalipour 2009].

2.3. Unidade de Comunicação (Transceptor NRF24L01)

O módulo NRF24L01 é um transceptor (transmissor e receptor) de rádio frequência produzido pela *Nordic Semiconductor*. Este transceptor se caracteriza pelo baixo consumo de energia e pela velocidade de comunicação, com taxa de transmissão configurável para 250Kbps, 1 Mbps ou 2 Mbps. De acordo com a fabricante [Semiconductor 2007], o módulo possui um gerenciamento avançado de energia, permitindo operar entre 1,9V a 3,6V.

O rádio NRF24L01 é elaborado para trabalhar na banda ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) de frequência livre de 2,4GHz (faixa licenciada em que operam outros dispositivos como: Wi-Fi, Bluetooth, telefones sem fio, entre outros), possuindo a capacidade de receber sinais de até seis transmissores sem que haja interferência entre eles. Isso é permitido em virtude do conjunto de seis *Pipes* (tubos) de dados com endereços únicos.

As principais aplicações para esse módulo são:

- Automação e domótica: Por meio de envio de dados pode-se controlar aparelhos, lâmpadas, portões, cafeteiras, entre outros;
- Indústrias: Pode-se estabelecer uma comunicação entre máquinas que enviam informação sobre produção, emergência ou chamados para manutenção;
- Monitoramento ambiental: A partir de uma estação remota pode-se realizar monitoramento de animais, queimadas, abalo sísmico, entre outros.

2.4. Plataforma Arduino, Intel Edison e módulos sensores

O Arduino Uno é uma plataforma de prototipagem eletrônica *open source* baseada no conceito DIY (*Do It Yourself*) criada por Massimo Banzi e David Cuartielles em 2010, com o objetivo de permitir o desenvolvimento de controle de sistema interativos a baixo custo. O componente principal da placa é o microcontrolador ATmega328, um chip de comunicação de oito bits da família AVR com arquitetura RISC. O Arduino Uno conta com 32 KB de memória Flash, 2 KB de RAM e 1 KB de EEPROM, com clock de operação de 16 MHz. Ele possui também 14 pinos de entrada e saída digital (dos quais 6 são utilizados como saída PWM), 6 entradas analógicas. Contém também uma porta de conexão USB, cristal oscilador de 16 MHz, conexão ICSP (*In-Circuit Serial Programming*), entrada de alimentação e um botão de *reset*.

Por sua vez, a plataforma computacional Intel Edison é um SoC (*System-On-Chip*) que dispõe de um processador Intel Atom de 22 nm com dois núcleos operando a 500 MHz, além de um controlador Intel Quark de 32 bits a 100 MHz. Inclui também 1 GB de memória RAM LPDDR3, 4 GB de armazenamento, Wi-Fi *dual-band* e *Bluetooth* 4.0 integrados. Suporta 40 GPIOs com inúmeras formas de configuração e expansão. Ao adquirir o Intel Edison, a distribuição de Linux Yocto 1.6 vêm pré-instalada no sistema, incluindo diversos utilitários de desenvolvimento como Arduino, C/C++, Node.JS, Python, RTOS, entre outros.

No desenvolvimento do trabalho foram utilizados alguns sensores de baixo custo para a fase de testes dos protótipos implementados. Os sensores utilizados são:

- **Sensor de Chuva:** O módulo é dividido em duas partes: a placa do sensor, formada por diversas trilhas de níquel resistentes à oxidação, que detecta o nível de líquido incidido na placa; e o módulo chip comparador LM393, que possui a função de ler as informações e de enviar os dados seja na forma digital ou analógica.
- **Sensor de Temperatura LM35:** O sensor LM35 é um sensor de temperatura de baixo custo fabricado pela *National Semiconductor* muito utilizado para aplicações remotas. De acordo com o seu *datasheet*, o sensor permite a leitura de temperaturas -55°C a 150°C com precisão de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Entre outras características, o sensor possui uma baixa impedância de saída, tensão linear e calibração precisa, resultando em uma leitura puramente simples e um custo reduzido [Texas-Instruments 2016].
- **Sensor de Luminosidade TEMENT6000:** O módulo de sensor de luminosidade TEMENT6000 é um fototransistor NPN sensível à luz montado em uma placa, acompanhado de um resistor de polarização de 10k ohms. O fototransistor é formado por ligação de dois semicondutores, com a propriedade de variar a sua resistência

em função da densidade luminosa. Assim, na falta de luz, as ligações não conduzem corrente elétrica (resistência alta). Caso contrário, com a resistência baixa, haverá uma tensão alta na saída [Semiconductors 2004].

- **Sensor de Umidade do Solo:** Semelhante ao sensor de chuva, o sensor de umidade do solo é constituído de duas partes: um módulo com sensor FC-28, constituído por dois eletrodos (hastes) de níquel protegido contra oxidação, e o chip comparador LM393. Sua funcionalidade é bem simples, para detectar as alterações de umidade, o sensor é colocado em contato com o solo. Dependendo do nível de água acumulada ocorre condução de corrente elétrica entre as hastes, e assim o nível de umidade é obtido por comparação com a resistência. Sendo assim, quanto mais água presente no solo menor a resistência [FastTech 2016].
- **Sensor Barométrico BMP180:** O BMP180 é um sensor barométrico compacto de alta precisão e econômico em termo de energia desenvolvido pela *BOSCH*. Além de também medir a temperatura ambiente, foi desenvolvido com o objetivo de medir a pressão atmosférica (força exercida pelo ar em um determinado ponto da superfície) [Bosch 2013].
- **Sensor de chama:** O sensor de chama utilizado neste projeto analisa a presença de fogo ou fontes de calor presentes no ambiente, possuindo um sensor infravermelho integrado que detecta luz com comprimento de onda entre 760 e 1100 nm [Future-Electronics 2016].
- **Sensor de Gás MQ-7:** O sensor de gás MQ-7 é utilizado para detecção de CO (monóxido de carbono) no ar, amplamente aplicado em projetos de segurança e domótica, visto que este gás é altamente tóxico para o ser humano. Conforme o fabricante, o material sensível utilizado no MQ-7 é o dióxido de estanho, que em um ambiente sem poluição possui uma condutividade baixa. Já em contato com o CO, sua condutividade é aumentada, gerando um sinal de alerta [Winsen-Electronics 2014].
- **Sensor DHT22:** É um sensor híbrido de temperatura e umidade do ar com comunicação digital de fio único. Dispõe de um termistor que realiza leitura de temperatura na faixa de -40 °C a 80 °C (com precisão de $\pm 0,5$ °C) e um sensor de umidade capacitivo com faixa de medição de 0 a 100% (com precisão de $\pm 2\%$) [Aosong-Electronics 2016].

3. Trabalhos Relacionados

Atualmente, a tecnologia de redes de sensores tem sido utilizada em diversos domínios de aplicação, tais como na área da saúde, de infraestrutura e urbanização, da indústria e agricultura, na área militar e de prevenção de crimes e também na área ambiental, como rastreamento de animais, previsão do tempo e monitoramento de desastres [Rawat et al. 2014].

Dentro do contexto de monitoramento de desastres, os autores em [Takayama et al. 2008] propõem uma abordagem específica para o monitoramento de área com risco de deslizamento de terra, definindo-se para isso um protocolo capaz de atuar mesmo quando houver falhas de alguns nós sensores. Por sua vez, os autores em [Cama-Pinto et al. 2016] utilizam uma rede de sensores baseada na tecnologia de comunicação sem fio X-Bee PRO ZB para o monitoramento de inundações em áreas urbanas. O artigo em [Chen et al. 2013] traz vários estudos de caso no uso da tecnologia de redes de sensores sem fio com enfoque em desastres naturais, implementando um sistema para alerta de desastres geológicos.

No Brasil, temos alguns trabalhos relacionados a redes de sensores que podem ser aplicados em monitoramento de variáveis ambientais. No artigo de [Velloso Vianna and Lima 2014] foi apresentada uma solução para o monitoramento ambiental utilizando a plataforma Arduino, um medidor de nível de pressão sonora para a captura de dados ambientais relacionados ao ruído, um *Shield* GSM/GPRS e um chip telefônico habilitado. Este sistema consiste em extrair as informações captadas pelos sensores para serem processados pelo Arduino. Em seguida os dados são enviados para o meio externo a partir do *Shield* GSM/GPRS. Os autores em [Velloso Vianna and Lima 2014] comentam que essa plataforma possui algumas complicações que precisam ser corrigidas, citando que como os APIs utilizados na programação do *Shield* GSM/GPRS não foram otimizados, percebeu-se que a conexão e o envio dos dados poderiam ser aperfeiçoados, diminuindo assim o tempo de processamento no Arduino.

No artigo [Silva and Fruett 2013] foi apresentado um projeto sobre a construção de uma plataforma de monitoramento ambiental composta por um nó coordenador e quatro nós sensores. Nos nós sensores são utilizados um microcontrolador LPC1114 de 32 bits da NXP baseado na arquitetura *ARM* e módulo de comunicação sem fio X-Bee Pro, o qual possibilita a interconexão entre nós por meio da interface UART (*Universal asynchronous receiver/transmitter*). Foram utilizados os seguintes sensores para compor cada um dos quatro nós: SHT1x, que é um sensor híbrido para medição de temperatura e umidade; e um sensor de pressão barométrica. O nó coordenador tem as funções de receber os dados medidos nos nós sensores, gravando as informações em memória física, além de monitorar o nível da bateria e nível de sinal de transmissão de cada nó. Todas essas tarefas são realizadas em um sistema contendo: um microcontrolador LP2378, módulo de comunicação igual do nó sensor, um cartão de memória Flash, uma conexão à rede Ethernet, um relógio de tempo real e um display de caracteres mostrando informações do relógio e identificação da rede.

O trabalho aqui proposto possui alguns diferenciais em relação aos trabalhos citados. O *Shield* GSM/GPRS para envio de dados tem se mostrado de alto consumo energético e de tecnologia defasada para uso em rede de sensores sem fios. Por sua vez, os módulos Xbee são razoavelmente caros, o que poderia inviabilizar um projeto de um sistema de monitoramento de desastres naturais em uma rede de sensores contendo centenas ou milhares de nós. Portanto, dentro deste contexto, o projeto aqui proposto visa o desenvolvimento de um sistema embarcado utilizando hardware livre e soluções de RSSF de baixo custo, flexível, confiável e escalável baseado na plataforma de prototipagem rápida *Arduino*, no *Intel Edison* e no módulo de rádio frequência NRF24L01, oferecendo uma alternativa ao que é usado em aplicações atuais.

4. Desenvolvimento do Trabalho

Para o desenvolvimento do projeto foram definidos quatro protótipos: um nó sensor para monitoramento e detecção de incêndio (Figura 2); um nó sensor para monitoramento pluviométrico (Figura 3); um nó sensor para monitoramento climático (Figura 4) e um nó coordenador receptor (Figura 5).

Os três nós sensores (*motes*) utilizados possuem a função de realizar a extração de dados das variáveis do ambiente, medidas por meio dos sensores instalados, e também de processá-los para serem transmitidos para o nó coordenador (*gateway*). Cada nó sensor

possui uma placa Arduino Uno. A preferência pelo uso do Arduino Uno é devido aos seguintes fatores:

- Possui um ambiente multiplataforma, podendo ser executado em Windows, Linux ou Mac.
- Tem por base um ambiente de fácil utilização baseado em *Processing*.
- Possui hardware e software *open-source*, ou seja, dentro das limitações da licença é possível desenvolver projetos próprios.
- Hardware de baixo custo.

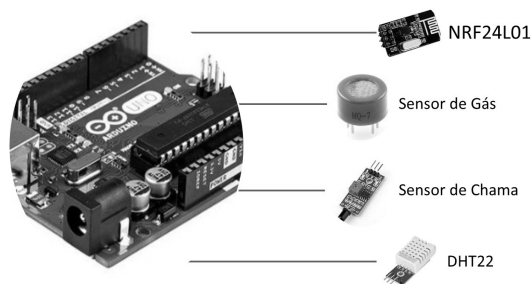


Figura 2. Nó sensor 1 (Mote 1)

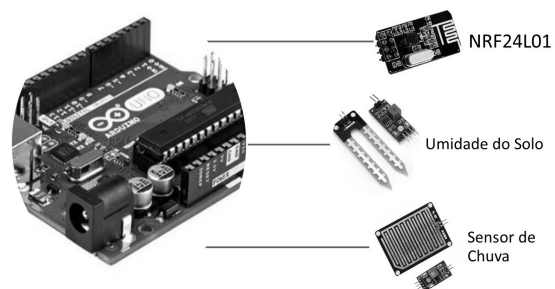


Figura 3. Nó sensor 2 (Mote 2)

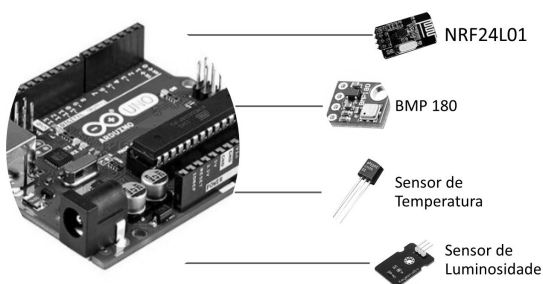


Figura 4. Nó sensor 3 (Mote 3)

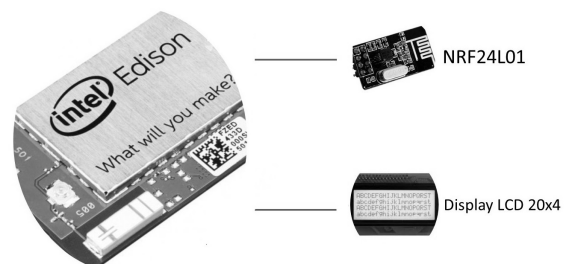


Figura 5. Nó coordenador (Gateway)

Para o nó coordenador foi utilizado o módulo Intel Edison [Intel-Edison 2017] acoplado ao *breakout* do Arduino. Esse módulo é conectado a uma placa eletrônica que possui grande similaridade com o Arduino Uno, com a diferença de possuir um slot para cartão SD, conectores micro USB, conector USB Host 2.0 e, é claro, a substituição do microcontrolador ATmega328 pelo Intel Edison.

A escolha do módulo Intel Edison ocorreu devido a compatibilidade com a plataforma Arduino e também pelo tamanho compacto e o seu poder de processamento. Sua grande potência e pequeno tamanho o torna ideal para projetos focados em aplicações relacionadas a Internet das Coisas [Pfister 2011] que precisem de um grande poder de processamento mas que não dispõem de muito espaço ou capacidade de alimentação.

Para a montagem do protótipo *Mote 1*, foram utilizados o módulo transceptor NRF24L01, o sensor de gás MQ-7, o sensor de chamas e o sensor de DHT22 (umidade

e temperatura). Os módulos de sensor de gás e chamas possuem duas saídas de dados, sendo uma analógica (AO) e uma digital (DO). Para a leitura de dados são utilizados as portas analógicas para que o microcontrolador possa ler o nível de monóxido de carbono e o nível de calor no ambiente, conectando-as, respectivamente, nas portas analógica A0 e A1 do Arduino. A alimentação (VCC) dos sensores é ligada em 5V e o terra no GND. Além dos módulos citados, também foram utilizados um display LCD 16x2 em conjunto com o módulo I2C para exibição dos dados coletados em tempo real. Na figura 6 apresenta-se um exemplo de montagem do protótipo do Nó sensor 1, o qual serve como modelo para os demais nós sensores.

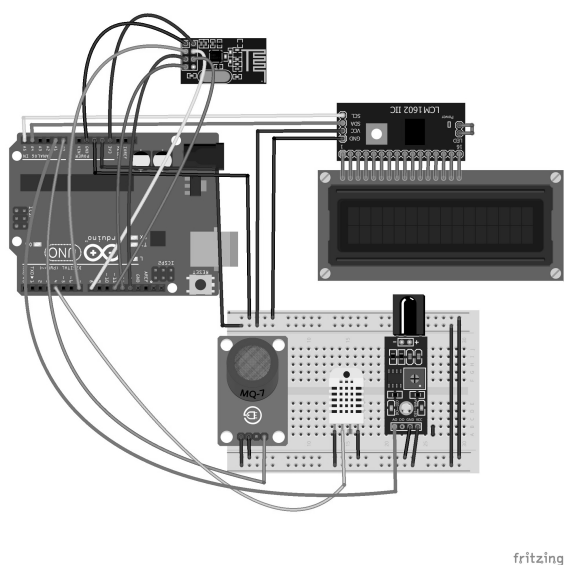


Figura 6. Montagem do protótipo do Nó sensor 1 (Mote 1)

No protótipo *Mote 2*, são utilizados o módulo transceptor NRF24L01, o sensor de chuva, o sensor de umidade do solo e um display LCD 16x2. Esses dois sensores são ligados a partir de duas portas na placa com o chip comparador LM393. Em conjunto com os sensores foi adicionado um LED que irá acender caso ocorra a detecção de chuva. Um outro LED foi adicionado na placa sensora para a umidade do solo: cor vermelha para solo com 0% a 33% de umidade, cor amarela para solo com 33% a 66% e cor verde para solo com 66% a 100% de umidade.

Por sua vez, na montagem do protótipo *Mote 3*, são utilizados o módulo transceptor NRF24L01, o sensor de temperatura LM35, o sensor de luminosidade TEMA6000, o sensor barométrico BMP180 e um display LCD 16x2. Os sensores LM35 e TEMA6000 possuem três pinos cada (VCC, dados, e GND). Os pinos de dados são ligados, respectivamente, nas portas analógica A0 e A1. Para o sensor BMP180, a comunicação ocorre a partir do barramento I2C, utilizando as portas SCL e SDA no Arduino.

Por fim, na montagem do nó coordenador (Figura 7), é conectado o módulo transceptor NRF24L01 no *breakout* do Arduino que contém o Intel Edison. Um display LCD 20x4 foi acoplado ao Arduino para a exibição dos dados, os quais foram coletados nos três nós sensores.

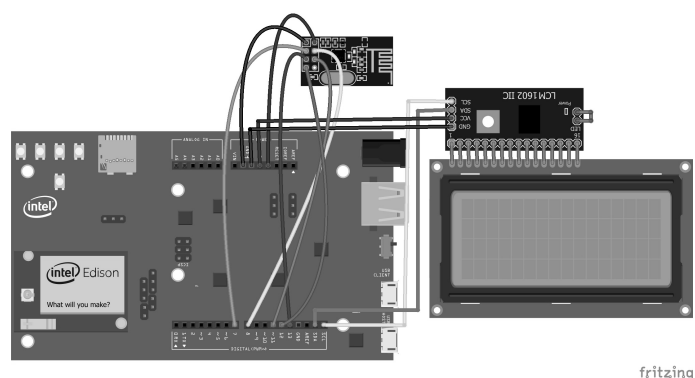


Figura 7. Montagem do protótipo do Nó coordenador (Gateway)

5. Resultados Obtidos e Discussão

Nesta seção apresentam-se os testes realizados com os protótipos desenvolvidos. Para a realização dos testes, o local escolhido foi a Praça Humanismo na cidade de São José dos Campos. Os testes foram realizados com as seguintes configurações para o transceptor NRF24L01: taxa de transmissão de 250kbps e nível de potência no máximo (0 dBm).

O primeiro critério de análise foi o teste de confiabilidade do sistema projetado quanto à distância máxima que o transceptor pode operar. Nesse procedimento foi realizada a comunicação entre os nós sensores *mote* (Figura 8) e o nó coordenador *gateway* (Figura 9), os quais foram afastados entre si até atingir uma distância que desconecta os dois sistemas. Para isso, foi acoplada no protótipo uma antena de 2dBi no transceptor e embarcado um algoritmo capaz de enviar dados que foram coletados pelos nós sensores para o nó coordenador. Os protótipos também foram configurados para que os displays LCDs exibissem os dados coletados pelos sensores e também exibissem a informação de "Pacote Recebido" ou de "Pacote Perdido".

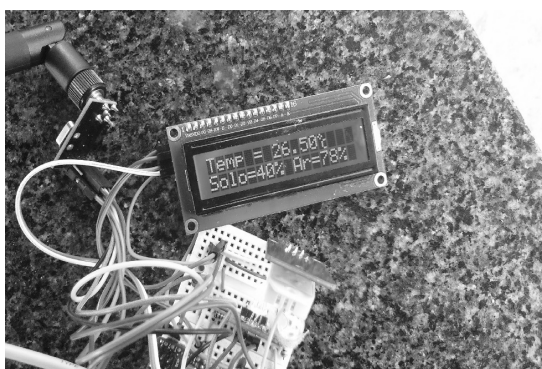


Figura 8. Teste de um nó sensor



Figura 9. Teste do nó coordenador

Na realização desse teste, a falha total entre o envio e o recebimento de pacotes (ponto de desconexão entre os dispositivos) ocorreu aproximadamente em 82 metros de distância. Para efeitos de comparação o autor em [Ortiz 2013] mediu o alcance máximo entre dois dispositivos do sistema em um campo aberto. Nesse projeto, utilizou-se o módulo NRF24 sem o uso de uma antena externa, obtendo-se um valor médio de 49,8 metros.

Um teste de perda de pacotes também foi realizado com a finalidade de verificar a quantidade de pacotes enviados com sucesso na transferência de dados entre os nós sensores e um nó coordenador. Para esse teste, foram estabelecidos quatro cenários, como esquematizado na Figura 10. Para cada cenário foi especificada uma quantidade total de 100 pacotes que foram enviados a cada 2 segundos do emissor para o receptor, onde cada pacote continha 14 bytes de dados provenientes dos sensores.

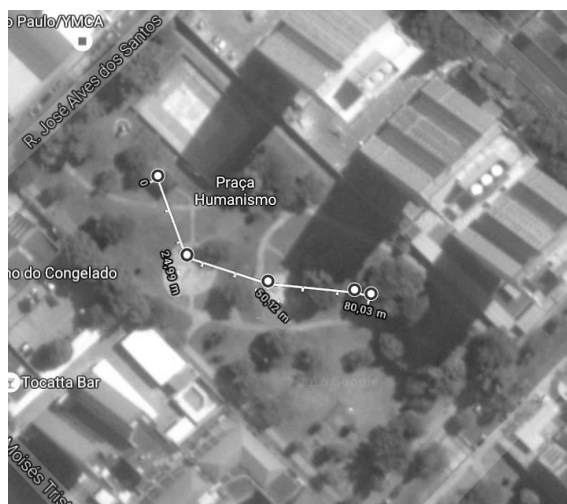


Figura 10. Cenários definidos para o teste de perda de pacotes

Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 1 e na Figura 11. Percebe-se que a taxa de perda aumenta em função da distância entre o ponto de envio e de recepção. Além disso, observa-se que, quando próximo ao limiar máximo do alcance, a taxa de erro passa a aumentar em um ritmo bem acelerado. No entanto, vale a pena observar que não existe uma criticidade quanto à perda de pacotes durante o envio de dados. Primeiro, podemos considerar que os protótipos desenvolvidos não se tratam de um sistema crítico de execução rápida. Segundo, os dados que estão sendo coletados pelos nós sensores em um determinado momento chegarão ao nó coordenador, mesmo quando algumas perdas de pacotes ocorrerem.

Distância	Perda de Pacotes
25 metros	3%
50 metros	12%
75 metros	31%
80 metros	74%

Tabela 1. Perda de pacotes em relação à distância entre os protótipos

Em média, o custo dos equipamentos de cada nó sensor (Motes 1, 2 e 3) foi de aproximadamente U\$17,00, enquanto para o nó coordenador esse custo ficou em torno de U\$95,00. Em contrapartida, cada estação ou sensor de monitoramento meteorológico utilizado pelo Cemaden pode custar até dezenas de milhares de reais. Isso demonstra que o projeto proposto pode ser muito promissor como uma alternativa de hardware livre e de baixo custo em relação às abordagens que vem sendo empregadas atualmente.

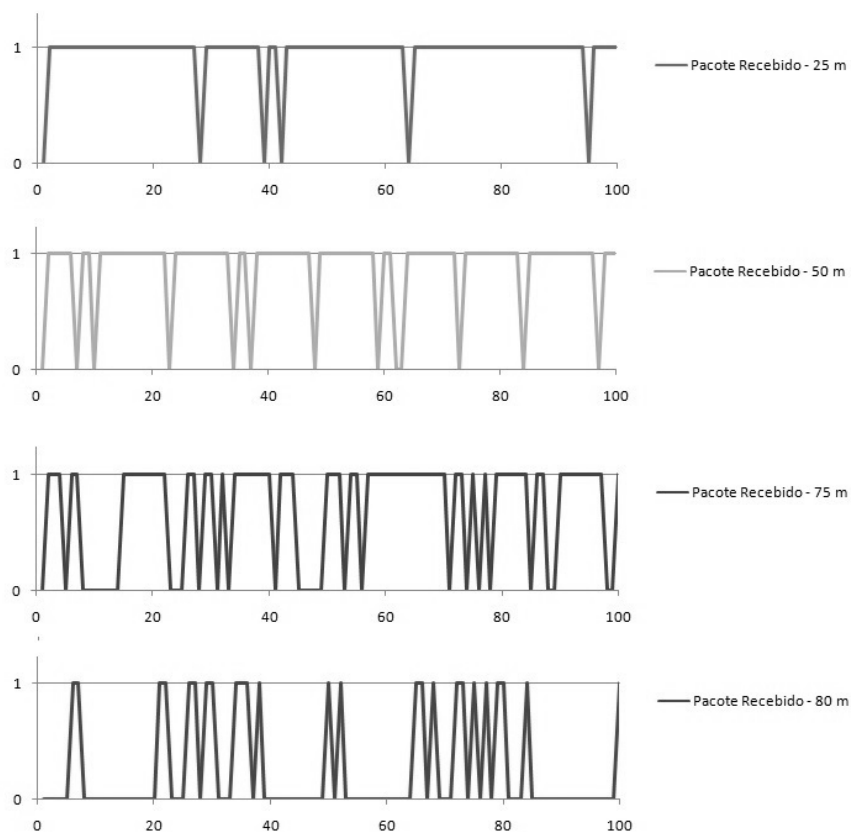


Figura 11. Fluxo de recebimento de pacotes em relação à distância entre os protótipos

6. Considerações Finais

Com a popularização de soluções para a Internet das Coisas, o conhecimento e a aplicação da tecnologia de rede de sensores sem fio são fundamentais nos dias atuais. Por meio do trabalho aqui especificado é possível criar um sistema de monitoramento de baixo custo para ser instalado em áreas urbanas ou rurais com carências de políticas públicas e em locais que possuam alto grau de risco para a ocorrência de desastres naturais. A partir da tecnologia desenvolvida pode-se coletar informações que ajudam a prever esses eventos, evitando perdas humanas, custos materiais, econômicas ou ambientais.

Ainda existem melhorias que devem ser executadas para que o sistema se torne mais robusto para a utilização em um ambiente real. Em razão da natureza da aplicação, onde o fluxo de dados é pequeno, pode-se obter um resultado ainda melhor em relação ao desempenho se utilizarmos uma antena externa mais potente para aprimorar o sinal. Isso resultaria em um aumento do alcance e na melhoria da comunicação. Além disso, pretende-se ampliar o cenário de simulação na realização de testes com maior quantidade de nós e em ambientes reais e variados.

Outra linha de pesquisa refere-se ao desenvolvimento de alguns tipos de sensores que podem ser construídos com baixo custo, como anemômetro, pluviômetro, radiação, deslizamento de terra, entre outros. Além disso, pode-se incluir também uma análise mais detalhada dos gastos de energia de cada protótipo, de forma a encontrar alvos

para otimização, possivelmente envolvendo a troca por outros componentes com melhor eficiência energética.

Com relação a plataforma *Intel Edison* utilizado no nó coordenador, poder-se-á substituí-la pelo sistema de baixo custo *Raspberry Pi* ou similares existentes no mercado, buscando a redução dos custos do projeto da rede de sensores. Além disso, vale ressaltar que o *Intel Edison* apresentou dificuldades razoáveis para a comunicação com o Arduino por trabalharem com arquiteturas diferentes, já que o Arduino é baseado na arquitetura Atmel AVR e o Intel Edison baseia-se numa arquitetura x86.

Por fim, a solução do projeto apresentada aqui para monitoramento e alerta de desastres naturais, além de viabilizar uma tecnologia para a resolução de problemas sociais a baixo custo, pretende a partir da aplicação, estabelecer alternativas para novas áreas de estudos, tais como controle de transporte urbano, processos de fabricação industrial, monitoramento de segurança e vigilância, agricultura, entre outras.

Agradecimentos

Projeto de pesquisa processo nº 2015/18808-0, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP). Esta pesquisa também faz parte do INCT de Internet do Futuro para Cidades Inteligentes financiada pelo CNPq, proc. 465446/2014-0, CAPES proc. 88887.136422/2017-00, e FAPESP, proc. 2014/50937-1.

Referências

- Ahrens, C. (2009). *Meteorology today : an introduction to weather, climate, and the environment*. Brooks/Cole, Cengage Learning, Belmont, CA.
- Aosong-Electronics (2016). Temperature and humidity module am2302 product manual. <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>. acessado em 18/03/2017.
- Bosch, S. (2013). Data sheet bmp180 digital pressure sensor. <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/BST-BMP180-DS000-09.pdf>. acessado em 18/03/2017.
- Cama-Pinto, A., Acosta-Coll, M., Piñeres-Espitia, G., Caicedo-Ortiz, J., Zamora-Musa, R., and Sepúlveda-Ojeda, J. (2016). Diseño de una red de sensores inalámbricos para la monitorización de inundaciones repentinas en la ciudad de barranquilla, colombia. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 24:581 – 599.
- Chen, D., Liu, Z., Wang, L., Dou, M., Chen, J., and Li, H. (2013). Natural disaster monitoring with wireless sensor networks: A case study of data-intensive applications upon low-cost scalable systems. *Mobile Networks and Applications*, 18(5):651–663.
- Faludi, R. (2010). *Building wireless sensor networks : with ZigBee, XBee, Arduino, and processing*. O’Reilly Media, Farnham.
- FastTech (2016). Fc28 soil humidity detection sensor module. <https://www.fasttech.com/product/1380900-fc-28-soil-humidity-detection-sensor-module>. acessado em 18/03/2017.

- Future-Electronics (2016). Flame sensor module. http://www.fut-electronics.com/wp-content/plugins/fe_downloads/Uploads/Flame-sensor-arduino.pdf. acessado em 18/03/2017.
- Hill, J. L. (2003). *System architecture for wireless sensor networks*. PhD thesis, University of California, Berkeley.
- Intel-Edison (2017). Módulo de computação intel edison. <https://software.intel.com/pt-br/iot/hardware/edison>. acessado em 18/03/2017.
- Org.Pan-AmericanaSaúde (2015). *Desastres Naturais e Saúde no Brasil*. Fundação Oswaldo Cruz – Ministério da Saúde.
- Ortiz, M. S. (2013). Plataforma baseada em sensores sem fio para o monitoramento de parâmetros meteorológicos. Master's thesis, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.
- Pereira, A. R., Angelocci, L., and Sentelhas, P. C. (2007). Meteorologia agrícola. *Departamento de Ciências Exatas*.
- Pfister, C. (2011). *Getting started with the Internet of things*. O'Reilly Media, Inc, Sebastopol, Calif.
- Rawat, P., Singh, K. D., Chaouchi, H., and Bonnin, J. M. (2014). Wireless sensor networks: a survey on recent developments and potential synergies. *The Journal of Supercomputing*, 68(1):1–48.
- Semiconductor, N. (2007). nrf24l01 single chip 2.4 ghz transceiver product specification. <http://www.nordicsemi.com/eng/Products/2.4GHz-RF/nRF24L01>. acessado em 18/03/2017.
- Semiconductors, V. (2004). Temt6000. <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Imaging/TEMT6000.pdf>. acessado em 18/03/2017.
- Silva, M. S. and Fruett, F. (2013). Monitoramento ambiental através de rede de sensores sem fio de baixo custo. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, pages 1908–1914.
- Takayama, S., Hiraoka, M., Mori, K., and Kariya, K. (2008). Variable data flow management in wireless sensing network for landslide disaster. *Measurement Science Review*, 8(1):14–17.
- Texas-Instruments (2016). Lm35. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>. acessado em 18/03/2017.
- Velloso Vianna, P. V. P. and Lima, E. A. P. (2014). Aplicação do arduino no monitoramento ambiental. *Jornada em Engenharia Química*.
- Winsen-Electronics (2014). Toxic gas sensor. <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-7%20Ver1.3%20-%20Manual.pdf>. acessado em 18/03/2017.
- Zheng, J. and Jamalipour, A. (2009). *Wireless sensor networks: a networking perspective*. John Wiley & Sons.

Um Novo Mecanismo para Alocação de Recursos em Clouds Veiculares

Adinovam H. M. Pimenta¹, Azzedine Boukerche², Rodolfo I. Meneguette^{2,3}

¹ Universidade Federal de São Carlos - UFSCAR

² School of Electrical Engineering and Computer Science - EECS

³ Instituto Federal de São Paulo - IFSP

adinovam_pimenta@dc.ufscar.br, {boukerch, rmenegue}@site.uottawa.com,

Abstract. *Intelligent Transportation Systems are increasingly attracting attention not only from academics but also industries. These systems aim to improve the quality of transportation through monitoring, management of the transportation system, as well as make the trip more comfortable and safer for drivers and passengers. Intelligent transportation system can benefit from the use of mobile clouds. Due to the characteristics of the vehicular networks, the management, and allocation of the resources of this cloud becomes a challenge. Thus, we propose a mechanism of allocation and management of resources independent of any external infrastructure. Therefore, the mechanism does not consider the communication between vehicles with a roadside unit infrastructure. For this, we formulate the problem of allocation of resources through the Semi-Markov Decision Process (SMDP), which will provide an optimal solution to the problem. In addition, we also utilize the function of reward and an interactive algorithm. The results obtained through simulation showed that the proposed mechanism has a stable behavior independent of the frequency of receiving the service requests.*

Resumo. *Sistemas de Transporte Inteligente vêm chamando cada vez mais a atenção não só da academia mas também da indústria. Esses sistemas têm como objetivo melhorar a qualidade do transporte através de aplicações de monitoramento, gerenciamento do sistema de transporte, bem como tornar a viagem mais confortável e segura para os condutores e passageiros. Sistema de transporte inteligente pode se beneficiar do uso de nuvens móveis. Devido as características das redes veiculares, torna-se um desafio o gerenciamento e alocação dos recursos dessa cloud. Assim, foi proposto neste trabalho um mecanismo de alocação e gerenciamento de recursos independente de qualquer infraestrutura externa. Portanto, o mecanismo não considera a comunicação entre o veículo com uma infraestrutura de acostamento. Para isso, formulamos o problema de alocação de recurso através do Semi-Markov Decision Process (SMDP) que fornecerá uma solução ótima para o problema. Além disso, também utilizamos uma função da recompensa e de um algoritmo iterativo. Os resultados obtidos através de simulação mostraram que o mecanismo proposto possui um comportamento estável independente da frequência do recebimento das requisições de serviço.*

1. Introdução

Um sistema de transporte inteligente consiste de um conjunto de tecnologias aplicadas ao melhoramento da qualidade dos sistemas de transporte [Liu et al. 2016], provendo ser-

viços e recursos com o objetivo de tornar a viagem do condutor e dos passageiros dos veículos mais confortável e segura [Sladkowski and Pamula 2015, Ghazal et al. 2015]. Esses sistemas são disponibilizados para os usuários por meio de uma infraestrutura baseada nas redes veiculares [Ashokkumar et al. 2015]. Portanto, esses sistemas utilizam da comunicação dos veículos com outros veículos e da comunicação dos veículos com uma infraestrutura de acostamento para oferecer serviços aos seus usuários [Meneguette 2016]. Um sistema de transporte inteligente também pode utilizar os dispositivos e sensores embarcados no veículo para aumentar a sua quantidade de recursos [Cheng et al. 2015, Khan et al. 2016]. Para isso, tais sistemas utilizam do sistema de *clouds* veiculares para agregar recursos dos veículos e oferecer serviços aos seus usuários independentemente da localização do veículo [Chirayil and Thomas 2016].

Uma *Clouds* veicular é um grupo de veículos que cooperativamente detectam, comunicam, computam e disponibilizam seus recursos físicos dinamicamente através da cooperação entre os veículos e veículos com uma unidade de acostamento [Ghazizadeh et al. 2016]. Essas *clouds* veiculares podem usar tanto os veículos quanto uma infraestrutura externa para coordenar a alocação e o gerenciamento das requisições de recursos e serviços [Farooq et al. 2016]. Na literatura existem alguns trabalhos direcionados à alocação de recursos nas *clouds* veiculares [Zheng et al. 2015, Meng et al. 2015, Arkian et al. 2015, Miao et al. 2016, Dai et al. 2015, Pyun et al. 2016]. Nos trabalhos de [Zheng et al. 2015, Meng et al. 2015] os autores utilizaram o *Semi-Markov Decision Process* (SMDP) para realizar a alocação de recursos em uma *cloud* veicular. Já nos trabalhos [Arkian et al. 2015, Miao et al. 2016] os autores utilizaram-se da lógica *fuzzy* para auxiliar no processo de alocação dos recursos bem como na seleção dos veículos que iria utilizar na comunicação entre diferentes *clusters*. Nos trabalhos [Dai et al. 2015, Pyun et al. 2016] os autores utilizaram modelos matemáticos para lidar com o problema da alocação em redes veiculares. Para isso, os autores utilizam a comunicação direta entre o veículo e a infraestrutura de acostamento. No trabalho de [Yu et al. 2015] os autores utilizam teoria de jogos para auxiliar no processo de alocação de recursos. Todos esses trabalhos utilizam uma infraestrutura de acostamento para a realização da alocação dos recursos na *cloud* veicular. Além disso, boa parte desses trabalhos não considera que o veículo possui recursos que podem ser agregados na *cloud*, bem como a mobilidade do veículo no momento da alocação do serviço. Portanto, essas soluções não lidam com todos os desafios encontrados em uma rede veicular.

Posto isso, um dos grandes desafios é a realização da alocação e gerenciamento dos recursos pelos próprios veículos [Meneguette et al. 2016]. Assim, os veículos têm que coordenar e cooperar entre si para criar dinamicamente uma infraestrutura de comunicação e controle com intuito de controlar as chegadas de requisições e gerenciar os recursos disponibilizados pelos veículos com objetivo de atender a demanda dos usuários. Com esse desafio em mente, nós propomos um novo mecanismo de alocação de recurso somente entre os veículos, com o objetivo de maximizar a disponibilidade do recurso na *cloud* veicular. Além disso, consideramos que os veículos possuem recursos disponíveis, ou seja, assumimos que o veículo possui vários recursos embarcados que podem ser utilizados pela *cloud*. Para a criação da *cloud* consideramos que os veículos devem cooperar e colaborar entre si para criar uma estrutura que permita o gerenciamento de recurso. Essa estrutura criada é baseada em *cluster*, na qual o *Cluster Head* irá gerenciar as de-

mandas e os recursos disponíveis da sua *cloud*. Portanto, esse *Cluster Head* assumirá o papel de controlador da *cloud* e irá decidir se deve alocar ou não os recursos na *cloud* para atender ao usuário. O mecanismo de alocação de recurso proposto foi formulado através do SMDP que foi resolvido através de um algoritmo de iteração a fim de obter a política ótima. O objetivo é maximizar a recompensa média do sistema e melhorar a disponibilidade dos recursos na *cloud*.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma. Na próxima seção, mostramos uma visão geral das principais abordagens existentes para a alocação de recursos em *clouds* veiculares utilizando SMDP. A nossa proposta de um mecanismo de alocação de recurso é descrita nas seções 3 e 4, enquanto que uma avaliação detalhada do desempenho e dos resultados da simulação são apresentados na seção 5. Finalmente, a seção 6 apresenta as conclusões.

2. Trabalhos Relacionados

Na literatura existem alguns trabalhos que lidam com o problema de alocação de recurso em *clouds* veiculares utilizando SMDP.

Zheng et al. [Zheng et al. 2015] propuseram um mecanismo de alocação de recursos que maximiza a recompensa do sistema de uma *cloud* veicular. Esse mecanismo é baseado no *Infinite Horizon Semi-Markov Process*, que usa: (i) um conjunto de estados que representa a quantidade de recursos atuais e os estados dos serviços requisitados para a *cloud* veicular; (ii) conjunto de ações que podem ser usadas pelo controlador da *cloud* baseado no seu estado atual; (iii) função de recompensa que calcula o ganho e custo de uma tomada de decisão; e (iv) a probabilidade de transição, que calcula a mudança de um estado do sistema para outro estado decorrente de uma ação específica. Esse mecanismo também utiliza um algoritmo iterativo para resolver problema de otimização.

Meng et al. [Meng et al. 2015] propuseram uma melhoria dos trabalhos [Zheng et al. 2015]. Nessa melhoria os autores buscam maximizar o ganho do sistema e melhorar a qualidade de experiência do usuário (veículo). Para isso, os autores também utilizaram o SMDP para otimizar o processo de tomada de decisão do sistema com o objetivo de obter a solução ótima. Para obter essa solução, a recompensa é calculada usando a média da taxa de eventos e o SMDP é passado por um processo de uniformização transformando o modelo em um modelo de tempo discreto. Esse mecanismo também usa um algoritmo iterativo para resolver o SMDP. Diferentemente do trabalho de Zheng [Zheng et al. 2015] esse trabalho tenta melhorar o poder de processamento para economizar mais energia.

Arkian et al. [Arkian et al. 2015] propuseram uma arquitetura para *cloud* veicular, conhecida como COHORT. Essa arquitetura é baseada no mecanismo de aprendizado de máquina. Essa arquitetura utiliza mecanismos como o *Q-learning*, a lógica *fuzzy* e estratégia de clusterização a fim de melhorar e auxiliar o mecanismo de gerenciamento de recursos. A lógica *fuzzy* calcula o FitFactor, que indica qual veículo poderia se tornar um *Cluster Head*. A lógica *fuzzy* usa como entrada informações dos veículos, tais como velocidade, grau de vizinhança, qualidade da conexão entre o veículo e a *roadside unit* (RSU). Com objetivo de auxiliar o gerenciamento de recurso, o COHORT precisa saber quais serão os veículos que irão auxiliar o *Cluster Head* na comunicação tanto interna como externa de seu *cluster*. Essa seleção utiliza os mecanismos de aprendizado por

reforço através do *Q-learning* para selecionar quais serão os melhores veículos que irão auxiliar o *Cluster Head* no gerenciamento de recurso.

A solução proposta neste trabalho difere-se das outras, pois considera que os veículos possuem recursos que podem ser disponibilizados para *cloud* veicular dinâmica aumentando, assim, a capacidade da *cloud* em oferecer mais serviços aos seus usuários (veículos). A solução proposta neste trabalho busca maximizar a disponibilidade dos recursos disponíveis nos veículos com objetivo de maximizar a quantidade de serviços oferecido pela *cloud* veicular.

3. Um Novo Mecanismo para Alocação de Recursos em Clouds Veiculares

Nessa seção descreveremos o modelo de alocação e gerenciamento de requisições de serviços propostos para *clouds* veiculares, chamado de MAVeRIC (Mecanismo de Alocação de recursos em *clouds* VEICulares), que tem como objetivo maximizar a disponibilidade dos recursos na *cloud*. O MAVeRIC não utiliza nenhuma infraestrutura externa para auxiliar na comunicação entre os veículos, bem como na alocação dos recursos. Portanto, os veículos precisam cooperar e colaborar entre si para formarem uma estrutura que permita a disponibilidade de serviços e recursos para os usuários (veículos) da *cloud*. Essa estrutura criará um conjunto de *cluster* na qual permitirá que os veículos possam compartilhar seus recursos, aumentando assim a capacidade da *cloud* veicular.

A formação do *cluster* é baseada no trabalho de Meneguette e colaboradores [Meneguette et al. 2016], que cria um *cluster* entre os veículos sem uma infraestrutura externa. Além disso, os controladores (*Cluster Head*) gerenciam a busca de recursos através de um mecanismo dinâmico de busca. Embora o *Cluster Head* tenha o controle do seu *cluster* (*cloud*), algumas requisições são tratadas diretamente pelo veículo, ou seja, a requisição não passa pelo *Cluster Head*. Neste artigo, consideramos que os veículos têm recursos a serem compartilhados na *cloud*. Além disso, também consideramos que todas as requisições de serviços devem passar pelo *Cluster Head*. Assim, o *Cluster Head* pode ter o controle do estado do *cluster* como um todo, facilitando o gerenciamento e alocação dos recursos. Portanto, dando o poder de decisão de alocação de um determinado recurso ou serviço solicitado. Para isso, formulamos o mecanismo de alocação de recursos usando o SMDP e um algoritmo iterativo para obtenção da solução do problema de alocação. A Figura 1 descreve uma abstração da *cloud* veicular.

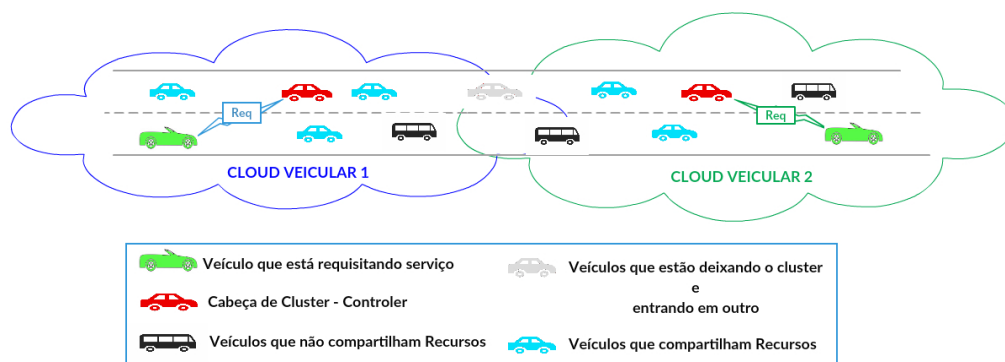


Figura 1. Abstração do MARVERIC considerando a formação da *cloud* veicular através de *cluster*

4. Formulação do Problema

Para formular o SMDP, assumimos que a entrada dos veículos na *cloud* seguem uma distribuição de Poisson, representada neste trabalho pela variável $\lambda_{chegada}$ e a saída desses veículos da *cloud* segue uma probabilidade representada aqui pela variável $Deixar_{cloud}$. A *cloud* consiste de V veículos que compartilham os recursos entre si. A *cloud* disponibiliza K serviços. Cada serviço precisa de b_k recursos, $k \in \{1, 2, \dots, K\}$, para ser executado. O tempo de chegada de uma requisição de serviço segue também uma distribuição de Poisson com uma taxa λ_k . Cada serviço tem uma duração de μ_k segundos.

Na próxima seção, definimos os elementos que compõem o SMDP utilizado neste trabalho, conjunto de estados, ações, probabilidade de transição e função de recompensa do sistema. A Tabela 1 descreve as notações importantes do modelo.

Tabela 1. Lista de Notações Importantes

Termo	Descrição
$\lambda_{chegada}$	Taxa de chegada do veículo
$Deixar_{cloud}$	Probabilidade da saída do veículo
V	Número de veículos na <i>cloud</i>
k	Número de serviços
b_k	Número de recursos alocados para o serviço k
λ_k	Taxa de chegada de requisições de serviço
μ_k	Duração do serviço
n^{Req}	Número de requisições aceitas
n^{Res}	Número de veículos que estão compartilhando seus recursos
$Cheg_k^{Req}$	Chegada de uma nova requisição de serviço k
$Cheg_{Veículo}$	Chegada de um novo veículo na <i>cloud</i>
Fin_k^{Req}	Término de execução de um serviço k
$Deixa_k^{Veículo}$	Saída de um veículo que disponibilizou seus recursos para o serviço k
$R_{chegada}$	Ganho do sistema com a chegada de um veículo
R_{Req}	Ganho do sistema pelo aceite da requisição
R_{Ter}	Ganho do sistema pelo término do serviço
P_{Deixa}	Penalização do sistema devido à saída de um veículo
P_{Req}	Penalização do sistema devido ao bloqueio do serviço
w_u	Peso da utilização do serviço
w_a	Peso da disponibilidade do serviço

4.1. Conjunto de Estados do Sistema

O conjunto de estados do sistema consiste no número de requisições atendidas pelo sistema; número de veículos que estão compartilhando seus recursos; e um conjunto de eventos que podem ocorrer no sistema. Assim, o conjunto de estado do sistema é formulado como:

$$S = \{s | s = (n^{Req}, n^{Res}, e)\}, \quad (1)$$

Onde n^{Req} é definido como:

$$n^{Req} = \{n_1^{Req}, n_2^{Req}, \dots, n_k^{Req}\} \quad (2)$$

A variável n_1^{Req} descreve a quantidade de veículos na *cloud* que tiveram suas requisições de serviços da classe k atendidas. A variável n^{Res} descreve a quantidade de veículos na *cloud* que estão compartilhando seus recursos. Assim, o total de recursos alocados em uma *cloud* deve obedecer a seguinte restrição: $\sum_{k=1}^K b_k n_k^{Req} \leq n^{Res}$. A variável e representa um evento que pode ocorrer no MAVeRIC, sendo que:

$$e \in E = \{Cheg, Fim_k^{Req}, Deixa_k^{Veiculo}\} \quad (3)$$

Assim, o conjunto de eventos E é definido como:

- $Cheg = \{Cheg^{Veiculo}, Cheg_k^{Req}\}$ na qual $Cheg^{Veiculo}$ representa a chegada de um novo veículo na *cloud* veicular que irá compartilhar seus recursos, e a variável $Cheg_k^{Req}$ representa a chegada de uma nova requisição do serviço k ;
- Fim_k^{Req} representa o término da execução de um serviço da classe k ;
- $Deixa_k^{Veiculo}$ representa a probabilidade de um veículo, cujos recursos foram alocados para a classe k , deixar a *cloud* veicular.

4.2. Conjunto de Ações

A cada período de tempo, o MAVeRIC precisa decidir se irá aceitar ou bloquear uma determinada requisição de serviço. Essas decisões são tomadas com base no conjunto de ações do sistema. Portanto, a cada período de tempo, o MAVeRIC selecionará uma ação a de um conjunto de ações A_s , que é descrito pela equação 4.

$$A_s = \begin{cases} \{0, 1, 2, \dots, K\}, & e \in Cheg_k^{Req} \\ \{-1\}, & e \in \{Cheg^{Veiculo}, Fim_k^{Req}, Deixa_k^{Veiculo}\} \end{cases} \quad (4)$$

A ação $a \in \{1, 2, \dots, K\}$ representa a aceitação da requisição do serviço da classe k , ou seja, o sistema alocará os recursos necessários para atender a essa requisição. Quando $a = 0$ indica que houve um bloqueio da requisição do serviço da classe k , ou seja, o sistema irá rejeitar essa requisição. Quando $a = -1$ indica que somente será realizada a atualização das informações do sistema, portanto, o MAVeRIC não irá tomar nenhuma decisão.

4.3. Probabilidade de Transição

A probabilidade de transição entre um estado s para um estado s' decorrente de uma ação a é definida por $p(s'|s, a)$

$$p(s'|s, a) = \begin{cases} \frac{\lambda_{classes_k}}{\varphi(s', a)} & e' = Cheg_k^{Req} \\ \frac{\lambda_{chegada}}{\varphi(s', a)} & e' = Cheg^{Veiculo} \\ \frac{\mu_k n_k^l}{\varphi(s', a)} & e' = Fim_k^{Req} \\ \frac{Deixar_{cloud} * n^{res}}{\varphi(s', a)} & e' = Deixa_k^{Veiculo} \end{cases} \quad (5)$$

Onde $\varphi(s, a) = \gamma(s, a)^{-1}$

$$\gamma(s, a) = \frac{1}{\lambda_{classes_k} + \lambda_{chegada} + 2 * n^{res} * Deixar_{cloud} + \sum_k^K \mu_k * n_k^{Req}} \quad (6)$$

Onde $\lambda_{classes_k} = \sum_k^K \lambda_k * \left\lfloor \frac{n^{Res}}{b_k} \right\rfloor$.

4.4. Função de Recompensa

Considerando um estado s e uma ação a , podemos definir a função de recompensa como:

$$r(s, a) = p(s, a) - g(s, a), \quad (7)$$

Onde $p(s, a)$ é o ganho fixo do sistema após a tomada de uma ação a . A função $g(s, a)$ define o custo esperado do sistema, representando o custo por unidade de tempo durante o período do serviço. A função $p(s, a)$ é expressa como:

$$p(s, a) = \begin{cases} P_{Req} & e \in Cheg_k^{Req}, a = 0 \\ R_{Req} & e \in Cheg_k^{Req}, a \in \{1, 2, \dots, K\} \\ R_{Chegada} & e \in Cheg^{Veículo}, a = -1 \\ -P_{Deixa} & e \in Deixa_k^{Veículo}, a = -1 \\ R_{Ter} & e \in Fim_k^{Req}, a = -1 \\ 0 & \text{Caso Contrário} \end{cases} \quad (8)$$

Na equação 8 a variável $R_{Chegada}$ representa a recompensa do sistema pela chegada de um novo veículo que compartilhará os seus recursos, sendo descrita como $R + \sum_k^K b_k$. A variável R_{Req} representa a recompensa do sistema pelo aceite da requisição do serviço, sendo descrita como $R - b_k$, onde o R é o ganho do sistema por uso dos recursos da *cloud*. Embora haja uma recompensa quando há alocação de recurso na *cloud*, o serviço aceito requerirá b_k recursos da *cloud* veicular, diminuindo os recursos disponíveis. A variável R_{Ter} representa a recompensa do sistema pelo término de execução de um serviço, sendo descrita como $R + b_k$.

As variáveis P_{Deixa} e P_{Req} representam a penalidade do sistema devido à saída de algum veículo da *cloud* ou devido à um bloqueio de alguma requisição de serviço feita para a *cloud*. A variável P_{Deixa} representa a penalidade devido à saída do veículo que está compartilhando seus recursos. Nesse evento a *cloud* perde um conjunto de recursos que poderia ser utilizado pelos seus usuários ($P_{Deixa} = P - b_k$). A variável P representa a penalidade do sistema. A variável P_{Req} representa a penalidade do sistema devido ao bloqueio da requisição de algum serviço.

Embora o recurso do veículo que requisita o serviço possa estar disponível para a *cloud*, o sistema é penalizado devido à sobrecarga de mensagens causada pela requisição. Assim, P_{Req} é definido como $P - \sum_{k=1}^K b_k$.

O custo esperado do sistema $g(s, a)$ é definido como:

$$g(s, a) = \sum_{k=1}^K ((w_u * b_k * n_k^{Req} * \gamma(s, a)) + (w_a (\frac{n^{Res}}{b_k}))) \quad (9)$$

onde w_u e w_a são fatores de ponderação que indicam a importância relativa entre a utilização de recursos e a disponibilidade de recursos, sendo $w_u + w_a = 1$.

4.5. Solução do SMDP

O MAVERIC é baseado no modelo de recompensa médio [Puterman 1994] que maximizará a recompensa média esperada do sistema pelo algoritmo iterativo. A recompensa média da política π , sendo π uma política factível, é definida como:

$$g^\pi = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{E^\pi \left\{ \sum_{n=1}^N r_n(s, a) \right\}}{E^\pi \left\{ \sum_{n=1}^N \tau_n(s, a) \right\}} \quad (10)$$

$$g^* = g^{\pi^*} = \sup_{\pi \in \Pi} g^\pi \quad (11)$$

onde Π é o conjunto de π . Assumindo $v(s)$ como sendo uma função potencial do estado s , a política ótima π que satisfaz a equação 11 pode ser obtida resolvendo a equação de Bellman recursivamente, i.e.,

$$v(s) = \max_{a \in A_s} \left\{ r(s, a) - g\tau(s, a) + \sum_{s' \in S} p(s'|s, a)v(s') \right\}, \forall s \in S \quad (12)$$

Depois disso, precisamos transformar este modelo em um modelo de tempo discreto equivalente. Para isso, usamos a transformação de uniformização que é dada por:

$$\tilde{r}(s, a) = r(s, a) \frac{\sigma(s, a)}{y}, \quad (13)$$

$$\tilde{g} = \frac{g}{y}, \quad (14)$$

$$\tilde{p}(s'|s, a) = \begin{cases} 1 - \frac{[1-p(s|s,a)]\sigma(s,a)}{y} & s' = s \\ \frac{p(s'|s,a)\sigma(s,a)}{y} & s' \neq s \end{cases} \quad (15)$$

Por fim, o Bellman segue como:

$$\tilde{v}(s) = \max_{a \in A_s} \left\{ \tilde{r}(s, a) - \tilde{g} + \sum_{s' \in S} \tilde{p}(s'|s, a)\tilde{v}(s') \right\}, \forall s \in S \quad (16)$$

Depois que o modelo proposto é transformado em um SMDP com espaço de estados e ação finitos, a iteração de valores pode ser usada para encontrar a política ótima. O fluxo do algoritmo iterativo pode ser visto em detalhes no Algoritmo 1.

Algorithm 1 Algoritmo Iterativo

1: $\tilde{v}(s) = 0$ para cada estado s . Especificamos $\varepsilon > 0$ e $n = 0$.

2: **for** cada $s \in S$, calcule $\tilde{v}^{n+1}(s)$ por **do**

3:

$$\tilde{v}^{(n+1)}(s) = \max_{a \in A_s} \left\{ \tilde{r}(s, a) + \sum_{s' \in S} \tilde{p}(s'|s, a) \tilde{v}^n(s') \right\} \quad (17)$$

4: **end for**

5: **if** ($sp(\tilde{v}^{n+1} - \tilde{v}^n) < \varepsilon$) **then**

6: **for** cada $s \in S$, escolha **do**

7:

$$d_\varepsilon(s) \in \arg \max_{a \in A_s} \left\{ \tilde{r}(s, a) + \sum_{s' \in S} \tilde{p}(s'|s, a) \tilde{v}^n(s') \right\} \quad (18)$$

8: **end for**

9: **else**

10: $n = n + 1$ e volte para a linha 2.

11: **end if**

5. Análise de Desempenho

O MAVERIC foi implementado em Matlab [Cros 2015] com o intuito de avaliar o desempenho do método proposto, sendo que para isso assumiu-se que o sistema será executado em uma cidade inteligente, na qual possui uma quantidade relevante de veículos trafegando nas vias e, eventualmente, este fluxo de veículos pode causar um engarrafamento em algum período do dia.

O poder de transmissão desses veículos é de aproximadamente 0.98 mW. Esse poder de transmissão permite uma área de comunicação de aproximadamente 200 metros. Cada veículo tem o tamanho de 4 metros. Os veículos se comunicarão dentro do *cluster*. Esses *clusters (clouds)* têm uma área de cobertura de 200 metros (o tamanho da área de comunicação do *cluster*). A quantidade de veículos de cada *cluster* é dada por $\text{área_de_cobertura}/\text{tamanho_do_veículo}$. Portanto, a *cloud* terá um total de 50 veículos que poderão compartilhar seus recursos.

Com base na quantidade de recursos disponíveis na *cloud* veicular, ela pode oferecer um conjunto de serviços que serão utilizados pelos seus usuários, tais como, processamento, rede, armazenamento, entre outros serviços. Neste trabalho, consideramos que cada *cloud* oferecerá dois tipos de serviços e que cada serviço necessitará de uma quantidade de recursos alocados para poder ser executado. Como exemplo, podemos considerar que uma *cloud* oferecerá armazenamento e processamento, e que esses serviços precisarão alocar um conjunto de recursos que variam entre 2, 3, 4 e 5 recursos. Cada requisição de serviço pode variar entre 5, 10, 15, 20 e 25 requisições por segundo. A Tabela 2 descreve os principais parâmetros utilizados em nossa análise.

O objetivo dessa avaliação é analisar o comportamento do MAVERIC para verificar quais ações que o sistema tomará para maximizar a disponibilidade dos serviços. Para isso, também variamos o tempo de execução de cada serviço.

Parâmetros	Valores
$\lambda_{chegada}$	1, 5, 10, 15, 20
$Deixar_{cloud}$	5, 10, 15, 20, 25
λ_K	2, 4, 6, 8, 12
μ_k	0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8
w_u	0.25
w_a	0.75
K	2
b_k	2, 3, 4, 5
R	10
P	-10

5.1. Métricas de Avaliação

Neste Trabalho, utilizamos duas métricas para avaliar o comportamento de MAVeRIC:

- A **Recompensa Média do Sistema** em diferentes taxas que chegam e saem de veículos e solicitações de serviço;
- A **Porcentagem de Bloqueio** de serviço da classe k .

5.2. Resultados

A Figura 2(a) mostra a média de recompensa do sistema quando variamos o λ_1 e mantemos os valores de $\lambda_{chegada} = 10$, $Deixar_{cloud} = 15$, $\lambda_2 = 2$, μ_1 e $\mu_2 = 0.1$. Podemos observar que ao variarmos a chegada de novas requisições da classe, a recompensa do sistema tende a aumentar em virtude da função de recompensa, que apesar de o sistema estar alocando b_k recursos, ele está atendendo a mais solicitações. Portanto, o sistema está conseguindo disponibilizar mais recursos para atender a demanda solicitada. Esse comportamento também é observado quando variamos o λ_2 , como pode ser visto na Figura 2(b).

A Figura 2(b) mostra a média de recompensa do sistema quando variamos o λ_2 , e mantemos os valores de $\lambda_{chegada} = 10$, $Deixar_{cloud} = 15$, $\lambda_2 = 2$, μ_1 e $\mu_2 = 0.1$. Observando os pontos entre 2 e 5 requisições por segundo podemos observar que os cenários com $b_1 = 3$ e $b_2 = 4$, e $b_1 = 4$ e $b_2 = 3$ possuem o mesmo comportamento devido ao baixo aumento da frequência das requisições no sistema. Entretanto, acima de 5 requisições por segundo o valor obtido na probabilidade de transição sofre um impacto significativo devido à diferença entre a quantidade de recursos alocados, e também devido ao aumento da frequência da requisição da classe 2.

A Figura 2(c) apresenta a média de recompensa do sistema quando variamos a frequência de entrada de veículos na *cloud* mantendo os parâmetros a seguir: $Deixar_{cloud} = 15$, λ_1 e $\lambda_2 = 2$, μ_1 e $\mu_2 = 0.1$. Podemos observar que com a baixa frequência de entrada de veículos na *cloud*, a recompensa do sistema cai, pois os recursos disponíveis estarão alocados devido à alta demanda de serviço e o aparecimento de novos recursos vai depender exclusivamente da entrada de novos veículos. Se observarmos o cenário com $b_1 = 2$ e $b_2 = 3$ a recompensa foi a 0, pois com baixa quantidade de recursos

para atender à duas classes de serviço, os recursos foram alocados rapidamente. Desta forma, o sistema encontra-se sem recursos disponíveis na *cloud*.

A Figura 2(d) apresenta a média de recompensa do sistema quando variamos a probabilidade de saída do veículo da *cloud* e mantendo os valores de $\lambda_{chegada} = 10$, λ_1 e $\lambda_2 = 2$, μ_1 e $\mu_2 = 0.1$. Com o aumento da probabilidade dos veículos deixarem a *cloud*, a recompensa da *cloud* diminui, pois o veículo, ao sair, retira seus recursos da *cloud*. Além disso, caso o veículo tenha solicitado algum recurso, a rede sofrerá uma sobrecarga para que esse serviço seja deslocado para a outra *cloud*. Podemos observar que para serviços que precisam de muitos recursos alocados para poderem ser executados, a queda de recompensa é mais lenta, pois apenas poucos recursos serão realocados para outros veículos. Já em serviços que precisam de poucos recursos a queda é mais rápida, pois o serviço poderá ser requisitado novamente em uma nova *cloud*, ou seja, todo o serviço precisará ser migrado.

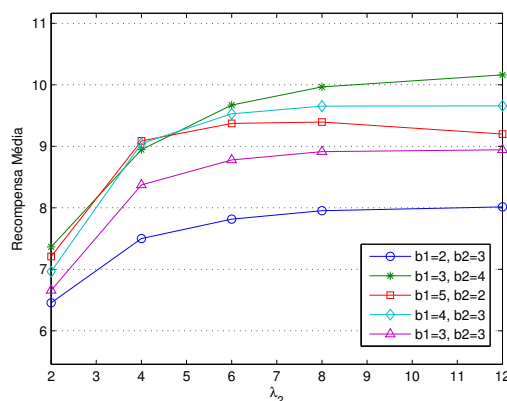
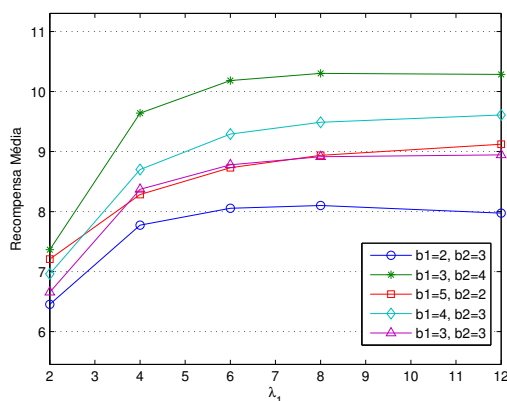
A Figura 2(e) e a Figura 2(f) apresenta a média de recompensa do sistema quando variamos o tempo de execução do serviço da classe 1 (μ_1) e da classe 2 (μ_2) respectivamente, mantendo os valores de $\lambda_{chegada} = 10$, $Deixar_{cloud} = 5$, λ_1 e $\lambda_1 = 2$, $\mu_2 = 0.1$ quando variamos μ_1 e $\mu_1 = 0.1$ quando variamos μ_2 . Ambos os gráficos, possuem comportamento similar, pois o que realmente impacta na probabilidade de transição entre um estado e outro é a quantidade de recursos que uma determinada classe de aplicação necessita para poder executar. Assim, a variação do tempo de execução de cada classe de serviço impactará no tempo esperado para a próxima tomada de decisão, mas não tendo um grande impacto na recompensa do sistema. Portanto, como podemos observar no gráfico somente uma queda em sua recompensa.

O tempo de execução dos serviços não teve um impacto significativo no momento da tomada de decisão do sistemas, como podemos ver na Figura 3. Essa figura mostra a probabilidade de ação de bloqueio pelo sistema quando variamos o tempo de execução dos serviços solicitados. Para isso, mantemos os valores de $\lambda_{chegada} = 10$, $Deixar_{cloud} = 5$, λ_1 e $\lambda_1 = 2$, e $\mu_2 = 0.1$. A baixa probabilidade de ação de bloqueio é decorrente à alta taxa de chegada de veículos na *cloud*, bem como a baixa probabilidade desses veículos deixarem a *cloud* veicular. Portanto, o MAVeRIC demonstrou uma boa eficiência em sua tomada de decisão em alocar ou não os recursos disponíveis na *cloud*.

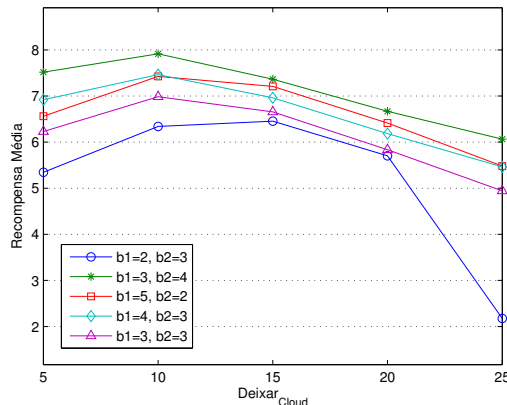
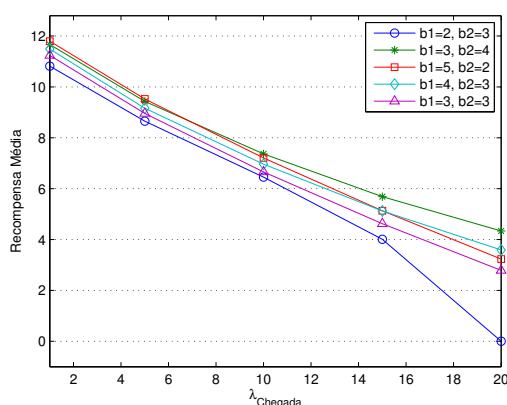
O resultado numérico mostra que o MAVeRIC é estável independentemente da taxa de solicitação de serviço ou da taxa de chegada e saída do veículo. Além disso, o MAVeRIC tem uma taxa de bloqueio com cerca de 2%, mostrando que o MAVeRIC maximiza a disponibilidade de recursos e sua utilização.

6. Conclusão

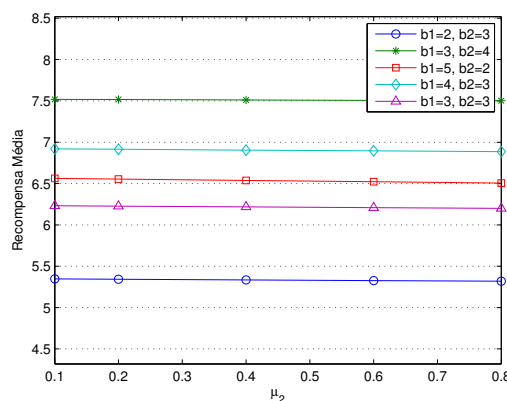
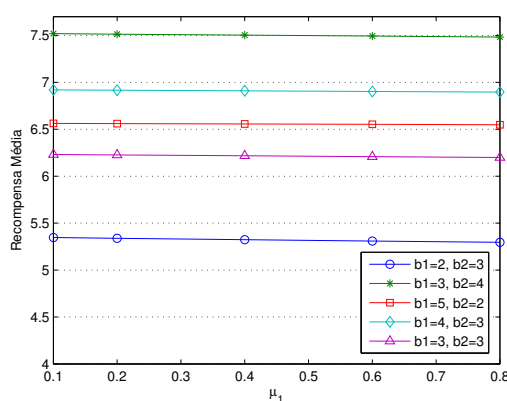
Neste trabalho, propusemos o MAVeRIC, que aborda o problema de gerenciamento e alocação de recursos em uma *cloud* veicular, considerando que os veículos possuem recursos e que esses possam ser compartilhados, aumentando assim o número de serviços oferecidos pela *cloud*. O MAVeRIC foi formulado como Semi-Markov Decision Process. A otimização da tomada de decisão é obtida por meio do algoritmo iterativo, a fim de maximizar a recompensa média esperada do sistema e melhorar a disponibilização dos recursos. Os resultados numéricos mostram que o desempenho de recompensa esperado é significativo, estável, com menor taxa de bloqueio e boa decisão com a relação de alo-



(a) Média de recompensa do sistema quando variamos o λ_1 (b) Média de recompensa do sistema quando variamos o λ_2

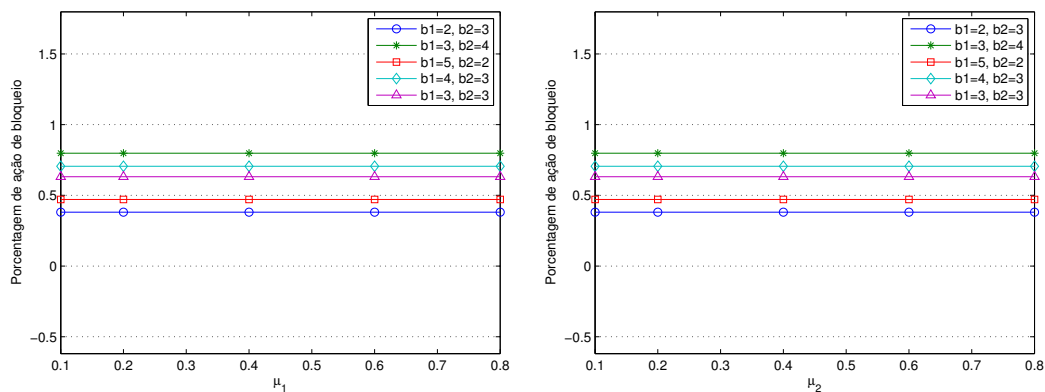


(c) Média de recompensa do sistema quando variamos a frequência de entrada de veículos na *cloud* (d) Média de recompensa do sistema quando variamos a probabilidade de saída do veículo da *cloud*



(e) Média de recompensa do sistema quando variamos o tempo de execução do serviço da classe 1 (μ_1) (f) Média de recompensa do sistema quando variamos o tempo de execução do serviço da classe 2 (μ_2)

Figura 2. Desempenho do MAVeRIC considerando a Recompensa Média do Sistema.



(a) Probabilidade de ação de bloqueio pelo sistema quando variamos o tempo de execução do serviço da classe 1 (b) Probabilidade de ação de bloqueio pelo sistema quando variamos o tempo de execução do serviço da classe 2

Figura 3. Desempenho do MAVeIC considerando a probabilidade da ação de bloqueio do sistema.

cação de recursos.

7. Agradecimento

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP (processo número 2015/11536-4 e o processo número 2015/18898-9) pelo apoio financeiro.

Referências

- Arkian, H. R., Atani, R. E., Diyanat, A., and Pourkhalili, A. (2015). A cluster-based vehicular cloud architecture with learning-based resource management. *The Journal of Supercomputing*, 71(4):1401–1426.
- Ashokkumar, K., Sam, B., Arshadprabhu, R., and Britto (2015). Cloud based intelligent transport system. *Procedia Computer Science*, 50:58 – 63.
- Cheng, X., Yang, L., and Shen, X. (2015). D2d for intelligent transportation systems: A feasibility study. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 16(4):1784–1793.
- Chirayil, G. S. and Thomas, A. (2016). A study on cost effectiveness and security of {VANET} technologies for future enhancement. *Procedia Technology*, 25:356 – 363. 1st Global Colloquium on Recent Advancements and Effectual Researches in Engineering, Science and Technology - {RAEREST} 2016 on April 22nd, 23rd April 2016.
- Cros, M. J. (2015). Markov decision processes (mdp) toolbox. last visited in September, 2016,.
- Dai, P., Liu, K., Sha, E., Zhuge, Q., Lee, V., and Son, S. H. (2015). Vehicle assisted data update for temporal information service in vehicular networks. In *2015 IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems*, pages 2545–2550.

- Farooq, M. U., Pasha, M., and Khan, K. U. R. (2016). Contextual communication patterns for vehicular cloud computing: Towards realizing internet of things. In *2016 10th International Conference on Intelligent Systems and Control (ISCO)*, pages 1–6.
- Ghazal, A., Wang, C. X., Ai, B., Yuan, D., and Haas, H. (2015). A nonstationary wide-band mimo channel model for high-mobility intelligent transportation systems. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 16(2):885–897.
- Ghazizadeh, P., Florin, R., Zadeh, A. G., and Olariu, S. (2016). Reasoning about mean time to failure in vehicular clouds. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 17(3):751–761.
- Khan, N. A., Brujic-Okretic, V., and Khaddaj, S. (2016). Intelligent integration framework for smart transport system. In *2016 12th International Conference on Intelligent Environments (IE)*, pages 76–79.
- Liu, K., Ng, J. K. Y., Lee, V. C. S., Son, S. H., and Stojmenovic, I. (2016). Cooperative data scheduling in hybrid vehicular ad hoc networks: Vanet as a software defined network. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 24(3):1759–1773.
- Meneguet, R., Boukerche, A., and De Grande, R. (2016). SMART: an efficient resource search and management scheme for vehicular cloud-connected system. In *2016 IEEE Global Communications Conference: Mobile and Wireless Networks (Globecom2016 MWN)*, Washington, USA.
- Meneguet, R. I. (2016). A vehicular cloud-based framework for the intelligent transport management of big cities. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 12(5).
- Meng, H., Zheng, K., Chatzimisios, P., Zhao, H., and Ma, L. (2015). A utility-based resource allocation scheme in cloud-assisted vehicular network architecture. In *2015 IEEE International Conference on Communication Workshop (ICCW)*, pages 1833–1838.
- Miao, Z., Li, C., Zhu, L., Han, X., Wang, M., Cai, X., Liu, Z., and Xiong, L. (2016). On resource management in vehicular ad hoc networks: A fuzzy optimization scheme. In *2016 IEEE 83rd Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, pages 1–5.
- Puterman, M. L. (1994). *Markov Decision Processes: Discrete Stochastic Dynamic Programming*. John Wiley and Sons, Inc., New York, NY, USA, 1st edition.
- Pyun, S. Y., Lee, W., and Cho, D. H. (2016). Resource allocation for vehicle-to-infrastructure communication using directional transmission. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 17(4):1183–1188.
- Sladkowski, A. and Pamula, W. (2015). *Intelligent Transportation Systems - Problems and Perspectives*. Springer Publishing Company, Incorporated.
- Yu, R., Huang, X., Kang, J., Ding, J., Maharjan, S., Gjessing, S., and Zhang, Y. (2015). Cooperative resource management in cloud-enabled vehicular networks. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 62(12):7938–7951.
- Zheng, K., Meng, H., Chatzimisios, P., Lei, L., and Shen, X. (2015). An smdp-based resource allocation in vehicular cloud computing systems. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 62(12):7920–7928.

Acionamento Inteligente de Unidades Móveis em Situações de Emergência em Cidades

Sediane C. L. Hernandes¹, Alcides Calsavara², Luiz A. P. Lima Jr.²

¹Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)
85.053-525 – Guarapuava – PR – Brasil

²Programa de Pós-Graduação em Informática (PPGIA)
Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR)
80.215-901 – Curitiba – PR – Brasil

{sedianec}@utfpr.edu.br, {alcides, laplima}@ppgia.pucpr.br

Abstract. *Calls to emergency services in cities, such as calls to the police and hospitals, often requires movement of mobile units. The protocol for activating mobile units should be efficient due to, mainly, risks that are intrinsic to emergency situations, and the high costs involved. However, typically, such protocol is performed by humans, including decision making regarding how many and which mobile units should move to the emergency site. In this article, the problem is formalized, the currently employed platforms for developing systems in Smart Cities are analyzed, and a more suitable middleware for building an intelligent mobile units activation system is proposed.*

Resumo. *Os chamados a serviços de emergência em cidades, tais como chamados a polícia e a hospitais, quase sempre demandam o deslocamento de unidades móveis. O protocolo de acionamento de unidades móveis deve ser eficiente devido, principalmente, aos riscos inerentes a situações de emergência e ao alto custo envolvido. No entanto, tipicamente, o protocolo é realizado por intervenção humana, com a tomada de decisão sobre quantas e quais unidades deslocar até o local de emergência. Neste artigo, o problema é formalizado, são analisadas as plataformas atuais para sistemas em Cidades Inteligentes e é proposto um middleware mais adequado para a construção de um sistema inteligente de acionamento de unidades móveis.*

1. Introdução

Cidades Inteligentes¹ buscam explorar a Tecnologia de Informação e Comunicação (TIC) na gestão dos assuntos públicos a fim de melhorar a qualidade de vida dos cidadãos [Cenedese et al., 2014]. Nos últimos anos, considerável esforço de pesquisa e desenvolvimento tem sido feito em diversas partes do mundo para se criar sistemas computacionais que auxiliem a enfrentar os grandes problemas das cidades, incluindo a gerência de grandes volumes de resíduos, a escassez de recursos, a maior dificuldade de mobilidade de pessoas e veículos, além de preocupações com segurança, saúde e educação. A Internet das Coisas², a qual também pode ser chamada de Internet dos Objetos Inteligentes, aplicada

¹Do Inglês, *Smart Cities*.

²Do Inglês, *Internet of Things*.

em um contexto urbano responde a muitos anseios governamentais em utilizar TIC para auxiliar na gestão de assuntos públicos, tornando possível, assim, automatizar muitos serviços de uma cidade. A chamada *Urban IoT* trata do uso de objetos inteligentes em um contexto urbano de modo a oferecer serviços que venham a auxiliar a administração pública das cidades, as empresas e os cidadãos [Zanella et al. 2014].

Um dos serviços de uma cidade que pode se beneficiar dessa tecnologia é o atendimento em situações de emergência, como incêndios, acidentes de trânsito, etc. No entanto, ainda há pouco relato na literatura sobre teorias e sistemas desenvolvidos para a implementação desse serviço. Trabalhos na área de *Emergency Response*, tais como [Chitumalla et al. 2008], [Patsakis et al. 2015], [Milis et al. 2016], [Abu-Elkheir et al. 2016] e [Dragoicea et al. 2014], focam em apoiar a fase de execução do serviço, especialmente em caso de catástrofes, e dão pouca ênfase no apoio ao processo de tomada de decisão sobre o deslocamento de unidades móveis (veículos propriamente equipados e com profissionais qualificados) para o local de uma emergência, isto é, sobre o problema de acionamento das unidades móveis mais adequadas para atuar em uma situação em particular. Este artigo discute esse problema, chegando a uma definição formal do problema e sua solução, avalia alternativas de projeto e de implementação e, finalmente, propõe um novo middleware para ser usado como plataforma para o acionamento de unidades móveis.

O restante deste artigo está organizado como segue. A Seção 2 discute sobre a complexidade do problema de prestar serviços de emergência em cidades e mostra como pode ser dividido em problemas menores. A Seção 3 formaliza o problema de acionamento de unidades móveis em situações de emergência, com a sua respectiva solução. A Seção 4 discute os requisitos de um sistema computacional para o acionamento de unidades móveis. A Seção 5 discorre sobre a adequação dos middlewares baseados em eventos como plataforma para sistemas computacionais em Cidades Inteligentes, em especial para o acionamento de unidades móveis. A Seção 6 apresenta a proposta de um novo middleware como plataforma para um sistema computacional de acionamento de unidades móveis. Finalmente, a Seção 7 lista as contribuições do trabalho de pesquisa realizado.

2. Serviço de Emergência em Cidades Inteligentes

As situações de emergência possíveis em uma cidade são inúmeras e podem variar significativamente quanto às necessidades de urgência, de intensidade e de diversidade de ação, como ilustram os seguintes exemplos:

- Uma situação de assalto em um estabelecimento comercial requer mais *urgência* de ação por parte da polícia do que uma situação de vandalismo contra edificações.
- Uma situação de incêndio de grandes proporções em um edifício requer uma ação de maior *intensidade*, isto é, com a participação de um número maior de bombeiros e equipamentos contra incêndio do que em uma situação de princípio de afogamento de uma pessoa em um rio.
- Uma situação de acidente de trânsito, pode requerer uma ação conjunta entre polícia, bombeiros e hospitais, isto é, essa ação apresentaria uma *diversidade* de três tipos de serviços, e não de apenas um tipo, como nos exemplos anteriores (somente polícia ou somente bombeiros).

Invariavelmente, uma situação de emergência requer o deslocamento de uma ou mais *unidades móveis*, isto é, veículos apropriadamente equipados e com pessoal técnico especializado.

Como critério de classificação, pode-se posicionar uma situação de emergência em um espaço tridimensional com os seguintes eixos: *Serviço*, *Urgência* e *Intensidade*. No eixo *Serviço* estão representados os vários tipos de serviços, tais como polícia, bombeiros e hospitais. No eixo *Urgência*, a grau de urgência da situação, tais como baixa, média, alta e muito alta, sendo que cada tipo de serviço pode ter seu próprio grau de urgência. No eixo *Intensidade*, a quantidade de unidades móveis alocadas, sendo que pode ser definida uma intensidade diferente para cada tipo de serviço. Assim, o posicionamento de uma situação de emergência é definido por um conjunto de pontos, sendo cada um associado a um tipo de serviço e representado no plano definido por urgência e intensidade. A Figura 1 mostra um exemplo de classificação de uma situação de emergência que requer uma diversidade de três tipos de serviços: polícia, bombeiros e hospitais. Para cada um desses serviços, há um grau específico de urgência e de intensidade.

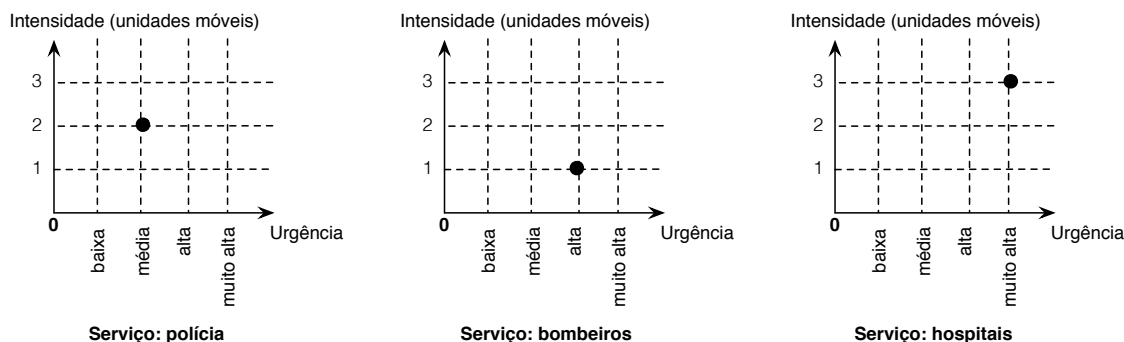


Figura 1. Exemplo de classificação de uma situação de emergência

Na prática, observa-se que, independentemente do grau de urgência, espera-se que o provimento dos serviços ocorra sempre com a maior brevidade possível; qualquer atraso no provimento é justificável somente se houver outra situação com maior grau de urgência sendo atendida, de forma que as unidades móveis sejam, momentaneamente, insuficientes. O provimento de serviços em uma situação de emergência ocorre em, ao menos, duas fases, a saber:

1. *Fase de acionamento dos serviços:* Nesta fase, os correspondentes serviços devem ser comunicados da situação de maneira rápida e confiável. A decisão sobre quais serviços comunicar pode ocorrer em um único passo, quando todos os serviços necessários são comunicados por um único agente (pessoa ou sistema) que tenha detetado a situação de emergência, ou em uma sequência de passos, quando esse agente comunica somente parte dos serviços necessários, os quais, então, decidem comunicar outros, e assim sucessivamente, até que todos os serviços necessários sejam comunicados. Quando comunicado, um serviço determina a urgência e a intensidade da sua ação específica e, com isso, decide quantas e quais unidades móveis serão enviadas ao local da emergência.
2. *Fase de execução dos serviços:* Nesta fase, as unidades móveis deslocam-se até o local da emergência e, quando chegam, executam a ação propriamente dita. Nessa execução, as unidades móveis podem precisar de informações atualizadas sobre

a situação de emergência para fazer ajustes nas suas ações. Ainda nesta fase, é possível que novos acionamentos de serviço ocorram como consequência de revisão das dimensões diversidade e intensidade da ação. Ou seja, a classificação da situação de emergência pode mudar dinamicamente.

Portanto, o problema de provimento de serviços em situações de emergência é complexo e, para efeito de análise e pesquisa, pode ser dividido em problemas menores, mais fundamentais, da seguinte forma:

1. *Definição da estratégia inicial de ação*: Classificar a situação de emergência, determinando os tipos de serviços necessários, bem como a urgência e a intensidade de cada um. Essa definição de estratégia pode se beneficiar de informações coletadas a partir de drones e smartphones próximos do local de emergência, bem como de informações disponíveis em redes sociais.
2. *Acionamento de unidades móveis*: Selecionar e comunicar um conjunto de unidades móveis que satisfaça a necessidade de serviços (em diversidade e intensidade), de forma que os serviços sejam executados pelas unidades mais adequadas no momento, considerando as suas características particulares, incluindo disponibilidade de equipamentos e técnicos, bem como a sua distância relativa do local da emergência para que o serviço seja executado com a maior brevidade possível. Apesar de móvel, uma unidade poderia operar de forma que, em princípio, fosse acionada somente quando estivesse parada num local padrão (por exemplo, uma ambulância somente seria acionada quando estivesse parada no hospital), isto é, o fato de estar fora do local padrão (parada ou em movimento) significa que já está atuando em uma situação de emergência, logo está indisponível para atuar em outras situações. No entanto, é possível que, por uma definição de estratégia de ação, ocorra o cancelamento de um acionamento enquanto a unidade móvel já atua em uma ação e, então, seja acionada para atuar em outra situação de emergência, possivelmente mais urgente. Portanto, no caso geral, o problema de acionamento deve considerar que as unidades móveis possam se deslocar constantemente.
3. *Apoio na execução*: Supervisionar a execução da ação e orientar as unidades móveis na execução das suas ações específicas, fornecendo informações atualizadas sobre a situação de emergência.
4. *Avaliação permanente da estratégia de ação*: Avaliar permanentemente a eficácia da estratégia de ação em execução e, se necessário, readequar a estratégia através de alterações na sua classificação, isto é, nos tipos de serviços e correspondentes urgência e intensidade.

Uma cidade inteligente deve dispor de sistemas computacionais que auxiliem na solução de cada um desses problemas, preferencialmente, com o mínimo de intervenção humana, tanto para se obter maior eficácia no provimento dos serviços, como para o uso mais eficiente dos recursos, em especial, as unidades móveis.

3. Problema de Acionamento de Unidades Móveis

O foco deste trabalho de pesquisa está no problema de acionamento de unidades móveis, conforme apresentado na Seção 2, e visa desenvolver uma solução computacional para o mesmo. Para tanto, nesta seção, o problema é formalizado como segue. Sejam:

- $\Gamma = \{S_1, \dots, S_n\}$ o conjunto dos $n \geq 1$ serviços disponíveis

- $\Phi = \{\alpha_1, \dots, \alpha_r\}$ o conjunto de $r \geq 1$ pontos geográficos de referência de uma cidade (cada ponto corresponde ao centro de uma região da cidade)
- ϵ uma situação de emergência
- $\Psi_\epsilon \in \Phi$ é o ponto geográfico de referência associado a ϵ
- $\Theta_i = \{v_{i,1}, \dots, v_{i,m}\}$ o conjunto de $m \geq 1$ unidades móveis de $S_i \in \Gamma$
- $\Delta_{i,\epsilon} \in \mathbb{N}$ a intensidade de $S_i \in \Gamma$ para atuar em ϵ , dada em número de unidades móveis
- $\beta_{i,j,\epsilon} = \begin{cases} 1 & \text{se } v_{i,j} \in \Theta_i \text{ está selecionada para atender } \epsilon \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$
- $\Omega_{i,j,\alpha_k}, 0 \leq \Omega_{i,j,\alpha_k} \leq 1$, o nível de adequação da unidade móvel $v_{i,j} \in \Theta_i$ relativo a $\alpha_k \in \Phi$

Então, a solução do problema de acionamento de unidades móveis para atender ϵ consiste em determinar $\beta_{i,j,\epsilon}$, $1 \leq j \leq |\Theta_i|$, para cada serviço $S_i \in \Gamma$ que faz parte da estratégia de ação, tal que o nível de adequação geral das unidades móveis selecionadas de Θ_i para atuar em ϵ , denominado $\lambda_{i,\epsilon}$, seja maximizado. Assim, o problema pode ser formalizado da seguinte forma:

$$\text{Maximizar } \lambda_{i,\epsilon} = \sum_{j=1}^{|\Theta_i|} (\Omega_{i,j,\Psi_\epsilon} \times \beta_{i,j,\epsilon})$$

$$\text{Sujeito a } \sum_{j=1}^{|\Theta_i|} \beta_{i,j,\epsilon} \leq \Delta_{i,\epsilon}$$

Dessa forma, o subconjunto de unidades móveis do serviço $S_i \in \Gamma$ selecionadas para atuação é dado por:

$$\{v_{i,j} \in \Theta_i \mid \beta_{i,j,\epsilon} = 1\}$$

A Figura 2 mostra um exemplo de situação de emergência. A área da cidade é mapeada em uma matriz 8×8 de células quadradas idênticas. Como consequência desse mapeamento, é definido um sistema de coordenadas sobre a área da cidade. São definidos 16 pontos geográficos de referência de forma que cada um seja a referência da área definida pelas quatro células à sua volta. O ponto $\rho = (3, 3)$ é referência para a área definida pelo quadrado com vértices $(2, 2)$, $(2, 4)$, $(4, 4)$ e $(4, 2)$. A situação de emergência ϵ ocorre no ponto $P = (2.5, 3.5)$, logo o seu ponto de referência é $\Psi_\epsilon = \rho = (3, 3)$. O serviço S_i demandado dispõe de quatro unidades móveis para atuação: $\Theta_i = \{v_{i,1}, v_{i,2}, v_{i,3}, v_{i,4}\}$. Se a intensidade da situação de emergência for dois ($\Delta_{i,\epsilon} = 2$), a resolução do problema selecionará as duas unidades móveis mais adequadas com relação ao ponto $\Psi_\epsilon = (3, 3)$. Assim, se os níveis de adequação forem $\Omega_{i,1,\Psi_\epsilon} = 0.4$, $\Omega_{i,2,\Psi_\epsilon} = 0.8$, $\Omega_{i,3,\Psi_\epsilon} = 0$ e $\Omega_{i,4,\Psi_\epsilon} = 0.5$, as unidades $v_{i,2}$ e $v_{i,4}$ serão selecionadas para atuar na situação de emergência.

4. Sistema Computacional para Acionamento de Unidades Móveis

O processo de resolução do problema de acionamento de unidades móveis, conforme definido na Seção 3, pode ser realizado através de um sistema computacional a fim de reduzir e, possivelmente, eliminar a intervenção humana no processo. Pela formulação do

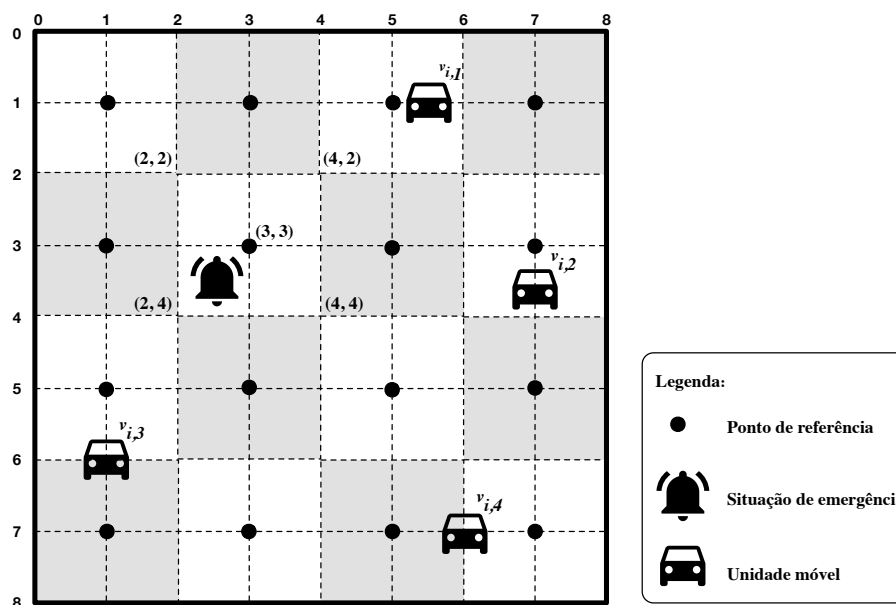


Figura 2. Exemplo de uma situação de emergência

problema, observa-se que a principal dificuldade na sua resolução para um dado serviço $S_i \in \Gamma$ está na determinação de $\Omega_{i,j,\Psi_\epsilon}$ para todo $v_{i,j} \in \Theta_i$. Tendo-se tal informação, a resolução do problema é relativamente trivial do ponto de vista matemático. Em outras palavras, a dificuldade está na determinação do nível de adequação de cada unidade móvel de um serviço para a sua atuação em uma situação de emergência detetada em certo ponto geográfico de referência.

A dificuldade na determinação da adequação de uma unidade móvel decorre de vários fatores. Primeiramente, o nível de adequação varia com a condição corrente da unidade móvel: quando está livre, o seu nível de adequação pode ser qualquer valor entre zero e um, mas, enquanto estiver atuando em uma situação de emergência, o seu nível de adequação é necessariamente zero, uma vez que está indisponível para atuar em novas situações de emergência. Depois, há uma variação intrínseca desse nível de adequação à medida que uma unidade móvel aproxima-se ou afasta-se de um ponto geográfico de referência (quanto mais próximo, maior é o nível de adequação). Finalmente, pode variar de acordo com características particulares de cada unidade móvel, tais como a sua capacidade padrão de prestar serviço (por exemplo, um veículo novo é mais adequado que um veículo antigo, pois desloca-se mais rapidamente), e a disponibilidade ou indisponibilidade momentânea de certos equipamentos ou técnicos.

A eficácia do sistema computacional que resolve o problema de acionamento de unidades móveis está diretamente relacionada com a atualização do estado referente ao nível de adequação das unidades móveis, pois é o fator determinante para a precisão do resultado obtido com a resolução do problema. Essa atualização do estado para um dado serviço pode ser feita segundo uma das seguintes abordagens:

- *Atualização reativa*: o estado é atualizado apenas no momento em que é necessário, isto é, na resolução do problema.
- *Atualização pró-ativa*: o estado é permanentemente atualizado, de forma que es-

teja pronto sempre que for necessário resolver o problema.

A abordagem pró-ativa permite que o processo de tomada de decisão, isto é, resolução do problema e consequente determinação do subconjunto de unidades móveis selecionadas, ocorra de forma imediata, uma vez que todos os dados necessários estão disponíveis e atualizados, enquanto que a abordagem reativa impõe um atraso no processo (tempo para atualização do estado) que pode ser significativamente grande. Por outro lado, a abordagem pró-ativa implica em consumo relativamente muito maior de recursos de sistema, incluindo processamento e comunicação.

Outra questão a ser considerada na arquitetura do sistema diz respeito à abordagem do protocolo de tomada de decisão, a qual pode ser uma das seguintes:

- *Decisão centralizada*: a tomada de decisão é feita por um único processo que concentra todo o estado do sistema (níveis de adequação das unidades móveis para todos os pontos de referência).
- *Decisão descentralizada*: a tomada de decisão é feita por um conjunto de processos cooperantes, sendo que cada processo mantém uma parte do estado do sistema. Esses processos, denominados *brokers*, são distribuídos, tal que cada um gerencie uma região da cidade, sem que haja sobreposição. As funções de gerenciamento de um broker incluem:
 1. Monitorar as unidades móveis presentes na sua região para a atualização do correspondente estado (nível de adequação de cada unidade móvel para cada ponto de referência da cidade).
 2. Iniciar o processo de tomada de decisão para todas as situações de emergência na sua região; a tomada de decisão baseia-se em um protocolo de consenso entre os brokers.

A Figura 3 mostra um exemplo de arquitetura na qual a tomada de decisão é feita em cooperação por quatro brokers, sendo cada um responsável por uma região correspondente a 1/4 da área da cidade. Assim, a tomada de decisão para uma situação de emergência que demanda o serviço S_2 será iniciada pelo broker B_1 , mas envolverá todos os demais brokers em cujas regiões esteja alguma unidade móvel daquele serviço, isto é, brokers B_3 e B_4 . Da mesma forma, a tomada de decisão para a situação de emergência que demanda o serviço S_1 será iniciada pelo broker B_4 , mas envolverá os brokers B_2 e B_3 .

A função da camada física do sistema computacional na abordagem centralizada para tomada de decisão é prover um servidor para hospedar o processo que toma as decisões e a comunicação (para fins de para atualização de estado e acionamento das unidades) entre esse servidor e as unidades móveis. Na abordagem descentralizada, a função da camada física depende da estratégia de alocação dos brokers, que pode ser baseada em cluster ou distribuída por regiões da cidade, como segue.

- *Alocação baseada em cluster*: A estratégia é alocar todos os brokers em um cluster implementado como um *data center* próprio ou através de computação em nuvem. Assim, a função da camada física é semelhante à sua função na abordagem centralizada: prover um cluster e a comunicação entre esse e as unidades móveis (a comunicação entre os brokers é resolvida internamente no próprio cluster).

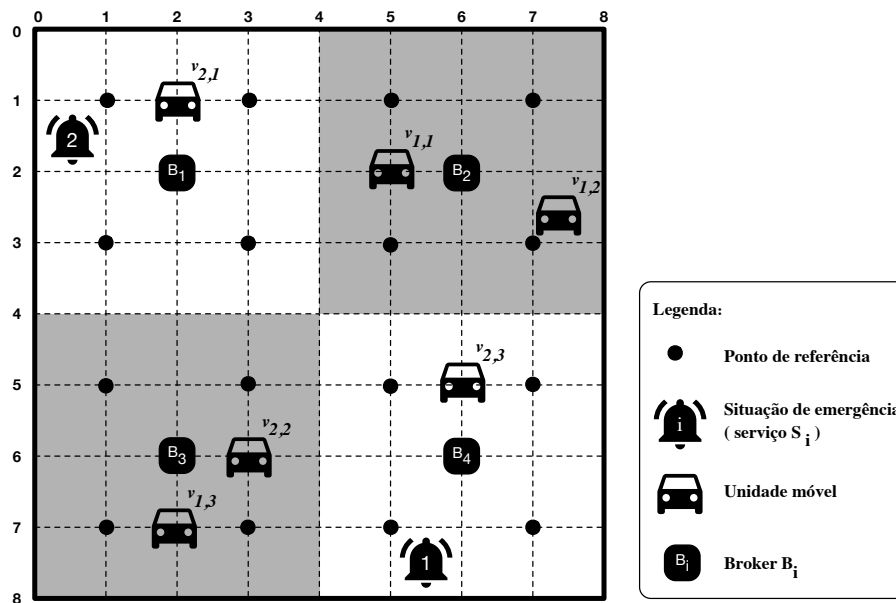


Figura 3. Exemplo de arquitetura descentralizada para tomada de decisão

- *Alocação distribuída por regiões da cidade:* A estratégia é alocar cada broker em um servidor próprio que esteja fisicamente instalado na correspondente região gerenciada. Assim, a camada física deve fornecer um servidor para cada região, comunicação dentro de cada região (entre o respectivo servidor e as unidades móveis presentes na região) e comunicação entre os servidores.

Na decisão descentralizada, a atualização de estado devido a deslocamento é tratada especificamente pelo broker da região onde se encontra a unidade móvel após o deslocamento, enquanto que, na abordagem centralizada, todo e qualquer deslocamento é tratado globalmente pelo processo único do sistema. Ainda, na decisão descentralizada, a tomada de decisão envolve apenas um subconjunto dos brokers (da região da situação de emergência e das regiões com unidades móveis pertinentes), podendo haver muitas tomadas de decisão em paralelo, enquanto que a abordagem centralizada permite apenas uma tomada de decisão por vez. Ou seja, na decisão descentralizada, o processamento é realizado em paralelo por muitos processos, enquanto que, na decisão centralizada, todo o processamento é feito em único ponto, o que pode comprometer a escalabilidade do sistema. Além disso, a decisão descentralizada com alocação distribuída de brokers favorece a disponibilidade e a escalabilidade do sistema, pois, em princípio, não apresenta um ponto único falha e nenhum ponto crítico de sobrecarga (de processamento, armazenamento ou comunicação). A decisão descentralizada com alocação de brokers em cluster também favorece a disponibilidade do sistema, uma vez que clusters, em geral, são tolerantes a falhas, mas o favorecimento da escalabilidade fica restrito ao aspecto de processamento, uma vez que a comunicação é altamente concentrada em um único ponto da rede: o próprio cluster. Finalmente, a abordagem descentralizada, em especial com alocação distribuída de brokers, é naturalmente mais complexa, tanto no seu desenvolvimento quanto na sua operacionalização. A Tabela 1 resume as principais vantagens e desvantagens esperadas das abordagens, considerando as combinações possíveis das suas alternativas.

Tabela 1. Vantagens e desvantagens das abordagens esperadas para a arquitetura de um sistema computacional para acionamento de unidades móveis

Tomada de Decisão	Atualização do Estado	
	<i>reativa</i>	<i>pró-ativa</i>
<i>centralizada</i>	<ul style="list-style-type: none"> ● baixa complexidade ● poucas mensagens ● decisão demorada ● ponto único de falha ● baixa escalabilidade 	<ul style="list-style-type: none"> ● baixa complexidade ● muitas mensagens ● decisão rápida ● ponto único de falha ● baixa escalabilidade
<i>descentralizada, com alocação de brokers em cluster</i>	<ul style="list-style-type: none"> ● média complexidade ● poucas mensagens ● decisão demorada ● alta disponibilidade ● média escalabilidade 	<ul style="list-style-type: none"> ● média complexidade ● muitas mensagens ● decisão rápida ● alta disponibilidade ● média escalabilidade
<i>descentralizada, com alocação distribuída de brokers</i>	<ul style="list-style-type: none"> ● alta complexidade ● poucas mensagens ● decisão demorada ● alta disponibilidade ● alta escalabilidade 	<ul style="list-style-type: none"> ● alta complexidade ● muitas mensagens ● decisão rápida ● alta disponibilidade ● alta escalabilidade

A escolha entre as alternativas de abordagens para que o sistema computacional apresente uma relação custo-benefício satisfatória deve se basear nas características particulares da cidade, nas restrições de recursos e na qualidade desejada para os serviços. Entre as variáveis determinantes para essa escolha, destacam-se as seguintes:

- *Quantidade de pontos de referência*: uma quantidade maior de pontos propicia maior precisão na resolução do problema, mas com maior custo de processamento e comunicação.
- *Quantidade de unidades móveis*: uma quantidade maior de unidades móveis permite obter soluções mais satisfatórias para o problema, mas aumenta o impacto em processamento e comunicação.
- *Frequência de situações de emergência*: quanto maior a frequência, maior é a chance de não ser possível resolver o problema por falta de unidades móveis.
- *Mobilidade das unidades*: no caso de abordagem pró-ativa, quanto maior a mobilidade, maior é a necessidade de atualização de estado, aumentando o consumo de processamento e comunicação.
- *Frequência de atualização de estado*: no caso de abordagem pró-ativa, quanto mais frequente for a atualização, mais precisa é a solução do problema, ao custo de mais processamento e comunicação.

Portanto, a configuração que tende a propiciar a construção de um sistema com mais qualidade de serviço, logo de uso mais geral, é a de decisão descentralizada com alocação distribuída de brokers, especialmente no caso de cidades inteligentes, onde a disponibilidade e a escalabilidade do sistema são primordiais. O grande desafio está em selecionar e empregar ferramentas de construção de sistemas computacionais que assegurem as vantagens esperadas e, ao mesmo tempo, mitiguem as suas desvantagens.

5. Middleware baseado em Eventos

Em [Razzaque et al. 2016], é apresentada uma análise de 61 middlewares quanto à sua adequação para IoT. Os autores concluem que middlewares baseados em eventos são apropriados para aplicações móveis e reativas, pois permitem forte desacoplamento entre os componentes de uma aplicação distribuída, nesse caso, assinantes e publicadores de eventos. Mas, apontam, como desvantagens, o cumprimento insatisfatório de alguns requisitos, tais como interoperabilidade e segurança. Além disso, salientam que o paradigma de programação provido por esses middlewares não é suficientemente flexível, isto é, não se aplicaria para muitas aplicações relevantes.

A pouca flexibilidade do paradigma de programação dos middlewares baseados em eventos deve-se, basicamente, aos modelos de envio de eventos que implementam: o modelo publish-subscribe e o modelo ponto-a-ponto. No modelo publish-subscribe, os publicadores de eventos desconhecem os assinantes, logo, eventos são disseminados para todo o conjunto de assinantes, mas são entregues apenas aos assinantes interessados; é função do middleware fazer a entrega aos assinantes corretos. Para [Rheddane et al. 2014], o modelo publish-subscribe é usado como sinônimo do paradigma de comunicação *um-para-muitos*, onde, para cada mensagem, seu recebimento é garantido para todos os assinantes inscritos através de tópicos. No modelo ponto-a-ponto, produtores enviam mensagens para filas, enquanto recebedores podem estar registrados com algumas filas específicas para, assincronamente, recuperar as mensagens e, então, confirmá-las [Musolesi et al. 2004]. Cada mensagem é entregue somente uma vez, para somente um consumidor, isto é, somente um consumidor pode obter a mensagem. Essa forma de comunicação é também conhecida como *um-para-um*, na qual cada mensagem produzida é consumida apenas uma vez, sendo que isso é realizado pela fila de mensagens. Dessa forma, esse modelo de comunicação permite múltiplos consumidores conectarem-se à fila, mas somente um dos consumidores pode consumir a mensagem. Assim, mensagens são sempre entregues e podem ser armazenadas na fila até que um consumidor esteja pronto para recuperá-la. É função do middleware rotear as mensagens de subscrição e as mensagens com eventos até os assinantes.

Essa pouca flexibilidade foi confirmada no estudo dos middlewares publish-subscribe Hermes [Pietzuch and Bacon 2002], Steam [Meier and Cahill 2002], Siena [Carzaniga et al. 2003], EMMA [Musolesi et al. 2006], Mires [Souto et al. 2006], SensorBus [Ribeiro et al. 2005], RUNES [Costa et al. 2007], PSWare [Lai et al. 2009], PRISMA [Silva et al. 2014] e TinyDDS [Boonma and Suzuki 2010]. Buscou-se compreender arquitetura, modelos de assinatura, método de recebimento de mensagens, topologia dos servidores e, principalmente, como acontece o roteamento de eventos em cada trabalho. Os middlewares Hermes, EMMA, Siena, Mires, RUNES, PSWare e TinyDDS possuem arquitetura distribuída, o middleware Steam arquitetura parcialmente distribuída e os middlewares SensorBus e PRISMA arquitetura centralizada. Hermes utiliza para assinatura de eventos uma adaptação da assinatura baseada em tópico e conteúdo; STEAM utiliza assinatura baseada em tópico, conteúdo e localização; Siena, SensorBus, Runes e PSWare assinatura por conteúdo; enquanto todos os outros middlewares utilizam assinatura baseada em tópico. SensorBus e PRISMA possuem método de recebimento de mensagens pull, enquanto todos os outros middlewares push. Quanto à topologia dos servidores, Hermes e Mires possuem topologia peer-to-peer cíclica; Steam e Siena topologia peer-to-peer acíclica; Runes, PSWare e PRISMA topologia hierárquica. Em relação ao

roteamento de eventos, Hermes utilizou roteamento de eventos seletivo do tipo Rendez-vous, STEAM e Siena *flooding subscription*; entretanto, Siena considera o caminho mais curto para o envio dos eventos. EMMA utiliza o roteamento epidêmico, Mires multi-hop e TinyDDS *flooding event*. A maioria dos middlewares foram desenvolvidos para utilização em redes de sensores sem fio, exceto Hermes e Siena para redes com fio, Steam e EMMA para redes ad-hoc. Com exceção de EMMA que implementa os modelos de mensagens ponto a ponto e publish-subscribe, todos os outros middlewares analisados implementam o modelo de mensagens publish-subscribe.

Em nenhum desses middlewares é possível, por exemplo, criar uma aplicação na qual somente um (os n assinantes de maior prioridade ou mais adequados, segundo algum critério específico da aplicação) recebam um evento, como é o requisito para um sistema computacional para acionamento de unidades móveis, conforme discutido na Seção 4. Por essa razão, é proposto um novo middleware na Seção 6.

6. Middleware E2BS

O middleware *Event to Best Subscribers* (E2BS), aqui proposto, visa cobrir a lacuna identificada em plataformas para o desenvolvimento de aplicações baseadas em eventos, conforme discutido na Seção 5, tal que possa ser usado como plataforma para a implementação de um sistema computacional para o acionamento de serviços de emergência em cidades, segundo a abordagem de tomada de decisão descentralizada, descrita na Seção 4. O middleware E2BS encontra-se em fase de implementação e tem como base o trabalho anterior dos autores sobre Campos Magnéticos Virtuais [Calsavara and Lima Jr. 2010], inicialmente desenvolvido para o roteamento de mensagens em rede ad hoc, de forma a garantir o balanceamento de carga entre réplicas de servidores.

O princípio do E2BS consiste em criar um conjunto de redes overlay sobre a rede física que conecta brokers e unidades móveis, tal que haja uma rede overlay para cada combinação de ponto de referência e tipo de serviço. A função de uma rede overlay para um ponto de referência P e um serviço S é fazer com que um evento referente a uma situação de emergência associada a P seja notificado a um subconjunto de unidades móveis de S , selecionadas de acordo com a definição do problema na Seção 3; a entrega do evento a uma unidade móvel a aciona para atuar na situação de emergência. O conjunto de nós da respectiva rede overlay é composto pelo broker que gerencia a região da cidade que contém P , os brokers que possuem na sua região de gerenciamento alguma unidade móvel de S e as próprias unidades móveis de S .

A Figura 4 mostra um exemplo de como as redes overlay são configuradas para a cidade da Figura 3. Como a cidade possui 16 pontos de referência e dois serviços, devem ser configuradas 32 redes overlay. Na rede física, assume-se que todos os brokers estejam conectados à Internet, o que é válido para a abordagem de alocação de brokers distribuídos por regiões da cidade. Caso a alocação seja baseada em cluster, a comunicação entre brokers é normalmente feita por uma rede local de alta velocidade, mas também pode ser via Internet. A comunicação entre unidades móveis e brokers é, necessariamente, via rede sem fio, podendo ser completada com comunicação via rede cabeada, incluindo a própria Internet (não mostrado na figura). As topologias de rede overlay mostradas aplicam-se aos quatro pontos de referência da região gerenciada pelo broker B_1 : devem

ser configuradas quatro redes overlay para o serviço S_1 e quatro para S_2 . Embora as quatro redes overlay para um serviço tenham a mesma topologia, o estado (informações sobre o nível de adequação das unidades móveis com respeito ao ponto de referência) que cada uma mantém é diferente. Os arcos representados numa rede overlay estão no sentido da propagação de informação sobre adequação das unidades móveis, e no sentido inverso da disseminação dos eventos. Um evento publicado por B_1 com solicitação de duas unidades móveis do serviço S_1 para um ponto ρ será encaminhado às duas unidades móveis de S_1 mais adequadas a ρ , ou seja, duas entre $v_{1,1}$, $v_{1,2}$ e $v_{1,3}$, fazendo roteamento do evento através de B_2 e B_3 .

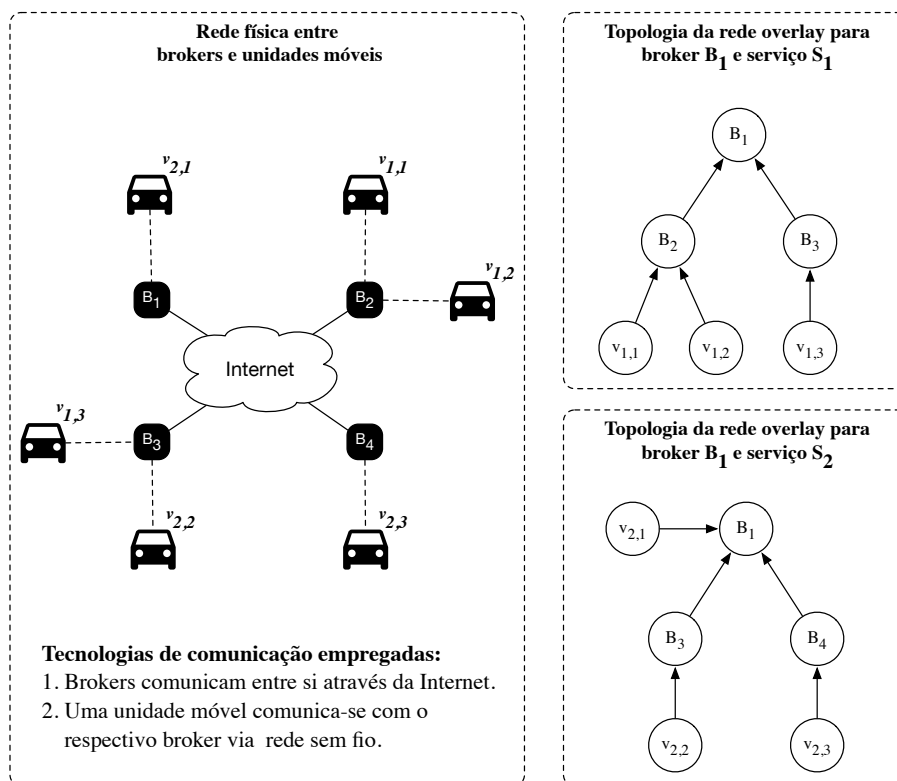


Figura 4. Exemplo de configuração de redes overlay

7. Conclusão

A compreensão das questões envolvendo os serviços de emergência em cidades foi fundamental para o isolamento do problema de acionamento de unidades móveis. A formalização desse problema e correspondente solução permitiu especificar os requisitos para a construção do respectivo sistema computacional que dispense a intervenção humana, em consonância com o conceito de Cidades Inteligentes. A pesquisa sobre plataformas para a implementação de tal sistema mostraram a ausência de um middleware apropriado, motivando a proposta de um novo tipo de middleware baseado em eventos. O middleware proposto, já em fase de desenvolvimento, permitirá avaliar as abordagens de projeto discutidas na Seção 4, bem como verificar quantitativamente as suas vantagens e desvantagens esperadas, descritas na Tabela 1, incluindo métricas de complexidade, eficácia e custo. Em especial, será possível avaliar se o custo (em termos e mensagens e de processamento) decorrente da atualização dinâmica das redes overlay é compensado pela melhor adequação das unidades móveis acionadas em situações de emergência.

Referências

- Abu-Elkheir, M., Hassanein, H. S., and Oteafy, S. M. (2016). Enhancing emergency response systems through leveraging crowdsensing and heterogeneous data. In *Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), 2016 International*, pages 188–193. IEEE.
- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., and Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, 17(4):2347–2376.
- Boonma, P. and Suzuki, J. (2010). TinyDDS: An interoperable and configurable publish/subscribe middleware for wireless sensor networks. In *Principles and Applications of Distributed Event-based Systems*, chapter 9. IGI Global.
- Calsavara, A. and Lima Jr., L. A. P. (2010). Routing based on message attraction. In *2010 IEEE 24th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops*, pages 189–194.
- Carzaniga, A., Rosenblum, D. S., and Wolf, A. L. (2003). Design and evaluation of a wide-area event notification service. In *Foundations of Intrusion Tolerant Systems, 2003 [Organically Assured and Survivable Information Systems]*, pages 283–334.
- Chen, M., Wan, J., and Li, F. (2012). Machine-to-machine communications: Architectures, standards and applications. *KSII Transaction on Internet and Information Systems*, 6(2):480–497.
- Chitumalla, P. K., Harris, D., Thuraisingham, B., and Khan, L. (2008). Emergency response applications: Dynamic plume modeling and real-time routing. *IEEE Internet Computing*, 12(1).
- Costa, P., Coulson, G., Gold, R., Lad, M., Mascolo, C., Mottola, L., Picco, G. P., Sivaharan, T., Weerasinghe, N., and Zachariadis, S. (2007). The RUNES middleware for networked embedded systems and its application in a disaster management scenario. In *Fifth Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom'07)*, pages 69–78.
- Dragoiea, M., Patrascu, M., and Serea, G. A. (2014). Real time agent based simulation for smart city emergency protocols. In *System Theory, Control and Computing (ICSTCC), 2014 18th International Conference*, pages 187–192. IEEE.
- Gyrard, A. and Serrano, M. (2015). A unified semantic engine for Internet of Things and Smart Cities: From sensor data to end-users applications. In *2015 IEEE International Conference on Data Science and Data Intensive Systems*, pages 718–725.
- Lai, S., Cao, J., and Zheng, Y. (2009). PSWare: A publish/subscribe middleware supporting composite event in wireless sensor network. In *2009 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications*, pages 1–6.
- Meier, R. and Cahill, V. (2002). STEAM: event-based middleware for wireless ad hoc networks. In *Proceedings 22nd International Conference on Distributed Computing Systems Workshops*, pages 639–644.
- Milis, G., Kolios, P., Van Melick, G., Staykova, T., Helsloot, I., Ellinas, G., Panayiotou, C., and Polycarpou, M. (2016). Integrated modelling of medical emergency response

- process for improved coordination and decision support. *Healthcare Technology Letters*, 3(3):197–204.
- Musolesi, M., Mascolo, C., and Hailes, S. (2004). Adapting asynchronous messaging middleware to ad hoc networking. In *Proceedings of the 2nd Workshop on Middleware for Pervasive and Ad-hoc Computing*, MPAC '04, pages 121–126, New York, NY, USA. ACM.
- Musolesi, M., Mascolo, C., and Hailes, S. (2006). EMMA: Epidemic Messaging Middleware for Ad hoc networks. *Personal and Ubiquitous Computing*, 10(1):28–36.
- Patsakis, C., Papageorgiou, A., Falcone, F., and Solanas, A. (2015). s-health as a driver towards better emergency response systems in urban environments. In *Medical Measurements and Applications (MeMeA), 2015 IEEE International Symposium on*, pages 214–218. IEEE.
- Pietzuch, P. R. and Bacon, J. M. (2002). Hermes: A distributed event-based middleware architecture. In *Distributed Computing Systems Workshops, 2002. Proceedings. 22nd International Conference on*, pages 611–618. IEEE.
- Razzaque, M. A., Milojevic-Jevric, M., Palade, A., and Clarke, S. (2016). Middleware for Internet of Things: A survey. *IEEE Internet of Things Journal*, 3(1):70–95.
- Rheddane, A. E., Palma, N. D., Tchana, A., and Hagimont, D. (2014). Elastic message queues. In *2014 IEEE 7th International Conference on Cloud Computing*, pages 17–23.
- Ribeiro, A. R. L., Silva, F. C. S., Freitas, L. C., Costa, J. a. C., and Francês, C. R. (2005). SensorBus: A middleware model for wireless sensor networks. In *Proceedings of the 3rd International IFIP/ACM Latin American Conference on Networking*, LANC '05, pages 1–9, New York, NY, USA. ACM.
- Rose, K., Eldridge, S., and Chapin, L. (2015). The Internet of Things: an overview. *The Internet Society (ISOC)*, pages 1–50.
- Silva, J. R., Delicato, F. C., Pirmez, L., Pires, P. F., Portocarrero, J. M., Rodrigues, T. C., and Batista, T. V. (2014). PRISMA: A publish-subscribe and resource-oriented middleware for wireless sensor networks. In *Proceedings of the Tenth Advanced International Conference on Telecommunications, Paris, France*, pages 87–97.
- Souto, E., Guimarães, G., Vasconcelos, G., Vieira, M., Rosa, N., Ferraz, C., and Kelner, J. (2006). Mires: a publish/subscribe middleware for sensor networks. *Personal and Ubiquitous Computing*, 10(1):37–44.
- Verma, P. K., Verma, R., Prakash, A., Agrawal, A., Naik, K., Tripathi, R., Alsabaan, M., Khalifa, T., Abdelkader, T., and Abogharaf, A. (2016). Machine-to-machine (M2M) communications: A survey. *Journal of Network and Computer Applications*, 66:83–105.
- Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., and Zorzi, M. (2014). Internet of Things for Smart Cities. *IEEE Internet of Things Journal*, 1(1):22–32.

Aplicando Estatística Multivariada para Detecção e Diagnóstico de Anomalias em Dados Urbanos

Thiago I. A. Souza, Deborah M.V. Magalhães, Danielo G. Gomes

¹Universidade Federal do Ceará (UFC)
Grupo de Redes de Computadores, Engenharia de Software e Sistemas (GREat)
Av. Mister Hull, s/n – Campus do Pici – Bloco 942-A
60455-760 – Fortaleza – CE – Brasil

[thiagoiachiley, deborah, dgomes]@great.ufc.br

Abstract. *By 2020 around 40 ZB of data will be generated per year. In a such scenario of smart cities, for example, the analysis and mining of a large amount of data generated by its residents can help public managers to improve and deploy services aimed at the welfare of the citizens. In this context, the anomalies detection gains importance in the effective environmental monitoring of an intelligent urban space. Here we apply multivariate statistics in urban data (e.g. temperature, humidity, pollutant gases, noise level) in the following methodological sequence: (i) Principal Component Analysis (PCA) to reduce data dimensionality; (ii) D- and Q-statistics for anomalies detection and (iii) CDC (Complete Decomposition Contribution) method for diagnosis (causes) of the anomalies found. We analyzed two real databases of the Smart Citizen platform and the results point to the efficiency of our proposal, indicating which environmental variables have the highest impact on the dataset anomalous pattern*

Resumo. *Estima-se que até 2020 cerca de 40 ZB (Zettabytes) de dados serão gerados por ano. Em um cenário de cidades inteligentes, por exemplo, a análise e mineração de um grande volume de dados gerados pelos seus moradores pode ajudar os gestores públicos na melhoria e implementação de serviços voltados ao bem-estar do cidadão. Neste contexto, a detecção de anomalias (valores discrepantes) ganha importância no monitoramento ambiental eficaz de um espaço urbano. Neste artigo, aplicamos estatística multivariada em dados urbanos (temperatura, umidade, gases poluentes, nível de ruído sonoro) na seguinte sequência metodológica: (i) PCA (Principal Component Analysis) para redução da dimensionalidade dos dados; (ii) Estatísticas D e Q para detecção de anomalias e (iii) Método CDC (Complete Decomposition Contribution) para diagnóstico (causas) das anomalias encontradas. Analisamos duas bases de dados reais da plataforma Smart Citizen e os resultados apontam para a eficiência da nossa proposta, indicando quais variáveis ambientais apresentaram maior impacto no comportamento anômalo dos dados.*

1. Introdução

De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU), atualmente há mais pessoas vivendo nas cidades do que no campo e a estimativa é de que a população mundial urbana, que não passava dos 30% em 1950, atingirá um patamar de 66% em 2050

[United Nations and Social Affairs 2015]. Esse adensamento dos aglomerados urbanos implica evidentemente em um aumento dos problemas típicos das cidades, sobretudo das capitais e metrópoles. Por conseguinte, a infraestrutura e os serviços atuais providos pelo poder público podem revelar-se insuficientes para lidar com questões cada vez mais críticas de mobilidade urbana, segurança pública, acesso à saúde, poluição ambiental e gestão de ativos (energia elétrica, água e gás). Apesar de indesejáveis obstáculos do nosso cotidiano, estes problemas geram oportunidade para um planejamento urbano alinhado com o conceito moderno de cidades inteligentes, agregando soluções baseadas em Internet das Coisas (*Internet of Things*, IoT) [Gomes and Forster 2015], bem como análise e mineração de dados sensorizados por diversos e heterogêneos objetos inteligentes distribuídos em um espaço urbano [Rathore et al. 2016] [Abellá-García et al. 2015].

Nesta perspectiva de cidades populosas e inteligentes, nas quais uma vasta quantidade de dispositivos, sejam eles fixos (e.g. nós sensores, prédios) ou móveis (e.g. *smartphones*, veículos), sensoriam o ambiente urbano e trocam informações entre si, podemos considerar um volume massivo e heterogêneo de dados gerados, processados e em trânsito. Monitorar, analisar e minerar esse volume de dados são desafios da chamada Computação Urbana [Kamienski et al. 2016] [Silva and Loureiro 2016]. O desafio aumenta criticamente quando esses dados apresentam anomalias ou *outliers*, i.e. valores discrepantes.

Detecção de anomalias é uma das tarefas fundamentais na mineração de dados, juntamente com modelagem preditiva, análise de *cluster* e análise exploratória [Zhang et al. 2010]. Anomalias podem ter uma influência considerável nos resultados de uma análise através de estimativas tendenciosas de parâmetros ou mesmo previsões incorretas. Entretanto, apesar das anomalias em geral serem causadas por erros de medições, algumas vezes elas podem indicar eventos de interesse (e.g. detecção de fraude em cartões de crédito, intrusão em rede, rastreamento de alvos, monitoramento de sinais vitais [Cucina et al. 2014]). No contexto deste artigo, cujo escopo é de cidades inteligentes, as anomalias podem indicar congestionamentos, níveis elevados de poluição (do ar, sonora), ilhas de calor, dentre outros eventos de interesse e que estejam fora do padrão normal.

A partir de conjuntos de dados sensorizados nas cidades de Quito e Hong Kong, este artigo propõe a análise e mineração dos dados de cidades inteligentes aplicando estatística multivariada baseada na Análise de Componentes Principais (PCA). Nosso objetivo central é a detecção de anomalias de variáveis ambientais urbanas e respectivo diagnóstico de suas causas. Para tal, seguimos os seguintes passos metodológicos: (i) validação das bases de dados coletadas para a utilização do método multivariado PCA (subseção 3.3.1); (ii) redução de ambos os conjuntos de dados analisados para extração das componentes principais mais representativas (subseção 3.3.2); (iii) detecção de anomalias no espaço reduzido das componentes principais selecionadas da PCA (subseção 3.3.3); (iv) diagnóstico das causas das anomalias (subseção 3.4).

Até onde sabemos, este é o primeiro artigo a aplicar estatística multivariada [Green 2011] e o método *Complete Decomposition Contribution* [Acala and Qin 2011] para detecção e diagnóstico de anomalias, respectivamente, no contexto de cidades inteligentes e da computação urbana.

2. Estatística Multivariada Baseada em PCA

Os métodos de análise multivariada têm surgido com o intuito de extrair do conjunto de dados os mais significativos padrões de informações. A estatística multivariada abrange um determinado conjunto de métodos estatísticos, que tornam em estudos mais robustos e apreciáveis, a análise da informação .

Diante deste contexto a estatística multivariada, no que concerne a análise exploratória dos dados, busca encontrar padrões de informações intrínsecos dos complexos conjuntos de dados. A Análise de Componentes Principais (PCA) tem se destacado como uma das principais técnicas exploratória de dados na redução do volume de dados e identificação de tendências.

A PCA tem como objetivo identificar a relação entre características extraídas dos dados visando sua redução, eliminação de sobreposições desprezíveis e a escolha das formas mais relevantes das mesmas a partir de combinações lineares das variáveis originais [Machado et al. 2004], [Camacho 2010]. Desta forma, a PCA transforma variáveis discretas em coeficientes descorrelacionados através de uma transformação linear aplicada aos dados, de modo que, os dados transformados tenham suas projeções mais relevantes preservadas (componentes principais) para análise, em detrimento daquelas menos relevantes, os quais são desprezados. Para atingir esse objetivo, a PCA envolve o cálculo da decomposição em autovalores de uma matriz de covariância de dados ou da decomposição em valores singulares de uma matriz de dados.

Para o cálculo da PCA considere uma matriz de dados $\mathbf{X} \in \mathfrak{R}^{m \times n}$ formada por n vetores coluna, cada um de dimensionalidade m , $\mathbf{X} = [\mathbf{x}_1 : \mathbf{x}_2 : \dots : \mathbf{x}_n]$. Desta forma, PCA pode ser expressa da seguinte forma:

$$\mathbf{X} = \mathbf{T}\mathbf{P}^t + \mathbf{E}, \quad (1)$$

em que t denota o símbolo de transposição da matriz, \mathbf{T} é a matriz dos scores ($m \times n$), \mathbf{P} ($n \times n$), também conhecida como matriz de carregamento, é a matriz formada pelos autovetores da matriz de covariância Σ , e \mathbf{E} é a matriz de resíduos ($m \times n$). A matriz de covariância Σ é definida como se segue

$$\Sigma = \frac{1}{m-1} \mathbf{X}^t \mathbf{X} = \mathbf{P} \Lambda \mathbf{P}^t, \quad \text{com} \quad \mathbf{P} \mathbf{P}^t = \mathbf{P}^t \mathbf{P} = \mathbf{I}, \quad (2)$$

em que $\Lambda = \text{diag}(\lambda_1, \dots, \lambda_n)$ é uma matriz diagonal contendo os autovalores da matriz de covariância em ordem decrescente, e \mathbf{I} é a matriz identidade. Cada autovalor codifica a variação relacionada ao componente correspondente. Então, a partir dos autovalores a variância explicada (VE) e a variância explicada cumulativa (VEC) associada a cada k -ésima componente extraída do modelo PCA podem ser calculadas:

$$VE_k = \frac{\lambda_k}{\sum_{j=1}^n \lambda_j}, \quad (3)$$

$$VEC_k = \frac{\sum_{j=1}^k \lambda_j}{\sum_{j=1}^n \lambda_j}. \quad (4)$$

Considerando que apenas k componentes significativas (com $k < n$) sejam retidas pela técnica PCA, então a matriz de carregamento \mathbf{P} diminui de $n \times n$ para $n \times k$ e as amostras são projetadas para um espaço dimensional inferior definido pelas componentes principais significativas dada pela seguinte expressão:

$$\mathbf{T}_k = \mathbf{P}_k^t \mathbf{X}_k. \quad (5)$$

Dentre as principais aplicações da PCA destaca-se a redução de dimensionalidade [Li 2016], o que é muito útil para lidar com conjuntos de dados com elevado grau de correlação cruzada entre as variáveis [Harrou et al. 2016]. Esta capacidade é de extrema relevância para a detecção de anomalias, haja vista que um grande número de variáveis das mais diversas fontes podem ser analisadas ao mesmo tempo [Camacho and Ferrer 2014]. Além disso, padrões de comportamento anômalos podem ser detectados e interpretados a partir da inspeção da contribuição das variáveis envolvidas [Acala and Qin 2011].

3. Material e Métodos

Esta seção descreve os aspectos metodológicos da pesquisa que nortearam a obtenção dos dados, os métodos multivariados que foram aplicados no contexto do processamento, análise e extração de informações relevantes dos conjuntos de dados em estudo, bem como a detecção e o diagnóstico das anomalias.

3.1. Base de Dados e Contexto da Amostra

Neste estudo foram utilizados os dados obtidos da plataforma Smart Citizen¹, um projeto que tem como objetivo conectar as pessoas com seus ambientes e cidades. O Smart Citizen Kit² baseia-se na geolocalização para coleta e compartilhamento de dados e fornece dados em tempo real de temperatura, umidade, ruído, níveis de monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrogênio (NO₂) e luminosidade (com uma variável que envolve a luminosidade captada do sol e uma outra variável, completando as 7, que capta a luminosidade de placas solares). Até o momento em que se deu esta pesquisa, a referida plataforma contava com 661 nós sensores (online, offline, indoor e outdoor) de monitoramento de variáveis de ambientes urbanos espalhados pelos cinco continentes. Entretanto, nem todos os nós sensores encontravam-se ativos. Além disso, foi observado que grande parte das medições não são contínuas no tempo, havendo várias lacunas temporais nas leituras dos sensores. Desta forma, escolhemos como objeto de estudo os nós sensores das cidades de Quito e Hong Kong por possuírem nós sensores *online* e com medições capturadas em tempo real sem falhas nas leituras.

3.2. Organização e Simulação dos Dados Multivariados

A natureza do conjunto de dados obtidos nesta pesquisa é multidimensional [Prada et al. 2012]. Os dados capturados da plataforma Smart Citizen foram organizados em um tensor \mathcal{X} (Figura 1) com dimensões 2160 tempo em horas (linhas) versus 7 variáveis monitoradas (colunas) versus 2 cidades analisadas (cada cidade uma matriz).

¹<https://smartcitizen.me/>

²<http://docs.smartcitizen.me/#/start/hardware>

Assim, o tensor \mathcal{X} foi matriciado de forma que possamos analisar individualmente as matrizes de cada cidade. As marcações em vermelho da Figura 1 representam as possíveis anomalias existentes no conjunto de dados que serão detectadas e diagnosticadas neste trabalho.

A modelagem de dados deste estudo tem a complexidade de lidar com um arranjo tensorial de dados 3D, mas ao mesmo tempo oferece a possibilidade de explorar uma abordagem matricial de dados através da aplicação da técnica multivariada PCA. Para tanto, cada matriz contendo as variáveis ambientais, correspondendo às cidades investigadas, foi analisada individualmente pela técnica multivariada.

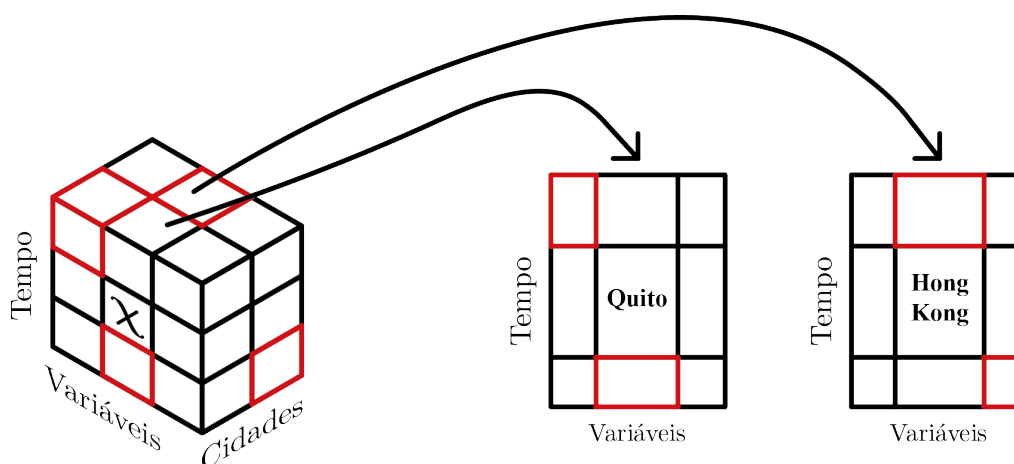


Figura 1. Arranjo tensorial 3D dos dados tratados neste artigo.

3.3. Aplicação da Estatística Multivariada Baseada na PCA

A estatística multivariada baseada em PCA utilizando as estatísticas D e Q no monitoramento de processos foi utilizada em uma gama de cenários, tais como: monitoramento de processos industriais [Zhao and Gao 2016], perdas de pacotes em redes de sensores sem fio [Magan-Carrion et al. 2015], monitoramento de redes [Camacho et al. 2016], dentre outros. Nossa pesquisa se diferencia de tais trabalhos, pelo fato de que utilizamos as estatísticas D e Q como complementares na análise e não de forma comparativa como usualmente acontece. Ou seja, é investigado o caráter exploratório de ambas as estatísticas em que uma pode revelar algum padrão anômalo não identificado pela outra, como também ambas corroborarem com o padrão encontrado. Além disso, as estatísticas D e Q são utilizadas para ampliar a capacidade de detecção de padrões anômalos no espaço reduzido gerado pela PCA. Desta forma, será apresentado a seguir os procedimentos para aplicação da estatística multivariada baseada na PCA.

3.3.1. Validação da Análise Exploratória

Para avaliar a adequação do conjunto de dados coletados nesta pesquisa à aplicação da PCA, utilizou-se a medida da adequação da Amostra de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) [Green 2011]. O teste indica que um valor acima de 0,6 é considerado adequado

para aplicação da técnica multivariada [Green 2011]. Além de utilizar o KMO, avaliou-se também a matriz de correlação dos parâmetros ambientais coletados através do teste de esfericidade de Bartlett [Green 2011] no intuito de testar a hipótese de que a matriz de correlação é uma matriz identidade. Caso seja verdadeira a hipótese, significa dizer que não há correlações entre as variáveis, e portanto, a análise não pode ser realizada [Dunteman 1989].

3.3.2. Modelagem da PCA

Conforme descrito na Seção 2, PCA tem sido amplamente aplicada no domínio de redução de dimensionalidade. Tal domínio, explorado neste trabalho, permite que a análise de dados concentre-se nas informações mais relevantes dos dados originais, contidas agora nas novas variáveis descorrelacionadas geradas pelo modelo multivariado. Para tanto, procedeu-se com a extração das componentes mais significativas através da variação de cada componente principal codificada por cada autovalor correspondente (Equações 3 e 4).

3.3.3. Detecção de Anomalias

Neste artigo, o monitoramento das grandezas físicas ambientais para a detecção de anomalias baseada na PCA consiste no cálculo de duas estatísticas, a saber: estatística D [Hotelling 1947] calculada a partir dos scores das componentes principais; e estatística Q [Jackson and Mudholkar 1979] calculada a partir dos resíduos das componentes principais. Assim, tanto a estatística D quanto a estatística Q são calculadas pelas seguintes expressões, respectivamente:

$$D = \sum_{i=1}^k \frac{p_i^2}{\lambda_i}, \quad (6)$$

$$Q = \sum_{i=1}^n (e_i)^2, \quad (7)$$

em que p_i representa a i -ésima componente principal, λ_i é o autovalor correspondendo à i -ésima componente principal, e e_i representa o valor residual correspondente à n -ésima variável. Ambas as estatísticas, além de serem complementares, geram gráficos de controle que permitem o monitoramento dos mais variados processos multivariados [Camacho et al. 2016].

3.3.4. Diagnóstico de Anomalias

O monitoramento de processos multivariados não consiste apenas em detectar eventos anormais. Além da detecção de anomalias, deseja-se um sistema diagnóstico capaz de encontrar a fonte responsável por gerar anomalias [Shang et al. 2016]. Desta forma, a abordagem mais generalizada para diagnósticos em estatística multivariada é a

contribuição das parcelas [Nomikos and MacGregor 1994]. Os gráficos de contribuição identificam a influência das variáveis para um valor anômalo detectado pelas estatísticas de monitoramento (D e Q). Em outras palavras, trata-se de diagramas de barras em que a contribuição do conjunto de variáveis para uma estatística (D e/ou Q) será inspecionada. Neste trabalho foi utilizado o método diagnóstico denominado Contribuição de Decomposição Completa *Complete Decomposition Contribution - CDC* [Acala and Qin 2011].

$$CDC_i = \mathbf{x}_m \mathbf{M}^{\frac{1}{2}} \xi_i^t \xi_i \mathbf{M}^{\frac{1}{2}} \mathbf{x}_m^t, \quad (8)$$

em que ξ_i é um vetor $1 \times n$ que corresponde a i -ésima coluna da matriz identidade, $\xi_i = [00\dots 1\dots 0]^t$, e \mathbf{M} é definido de acordo com a estatística diagnosticada. Para a estatística D, \mathbf{M} é definido como:

$$\mathbf{M} = \mathbf{P}_k \Lambda^{-1} \mathbf{P}_k^t, \quad (9)$$

em que Λ é uma matriz diagonal contendo as k primeiras componentes principais ou autovetores da matriz de covariância Σ , definida na Seção 3 pela Equação 2. Para a estatística Q, \mathbf{M} é definido como:

$$\mathbf{M} = \mathbf{P}_k \mathbf{P}_k^t, \quad (10)$$

em que \mathbf{P}_k corresponde a uma matriz de k autovetores extraídos de $\mathbf{E}_k^t \mathbf{E}_k$, em que \mathbf{E} é a matriz de resíduos apresentada na Seção 2 pela Equação 1.

4. Resultados

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos a partir da aplicação da análise dos componentes principais considerando os testes estatísticos para validação da base de dados, seleção das componentes principais da PCA e, por fim, as etapas de detecção de anomalias e respectivo diagnóstico.

4.1. Testes Estatísticos e Validação

Conforme colocado na subseção 3.3.1, para a validação da base de dados visando aplicação da PCA, foram realizados os testes de Esfericidade de Bartlett e a medida de adequação da Amostra de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) [Green 2011]. Os resultados são apresentados na Tabela 1. O teste de KMO examina o ajuste dos dados tomando todas as variáveis simultaneamente e provê uma informação sintética sobre os dados indicando a proporção da variância dos dados que pode ser considerada comum a todas as variáveis. O teste indica que, quanto mais próximo da unidade, melhor o resultado. Já o teste de esfericidade de Bartlett, testa a hipótese de que a matriz de correlação é uma matriz identidade, isto é, que não há correlações entre as variáveis [Dunteman 1989].

Juntos, ambos os testes fornecem um padrão mínimo que deve ser observado antes que a análise de componentes principais seja realizada. Neste contexto, os valores obtidos pelos testes (KMO $\geq 0,6$ e Esfericidade de Bartlett com rejeição da hipótese nula conforme recomendado por [Green 2011]) apontam para a validação sobre a utilização da PCA com respeito à matriz de correlação.

Teste	Base de Dados I - Quito	Base de Dados II - Hong Kong
Adequação da Amostra - KMO	0,70	0,65
Esfericidade de Bartlett	16267,027	38232,98

Tabela 1. Testes e Validação dos Dados.

4.2. Seleção das Componentes da PCA

Os procedimentos de seleção das componentes principais da PCA compreendem-se em duas etapas, a saber: (i) análise do percentual da variância total explicada por cada componente associado ao seu respectivo autovalor; (ii) e o critério de Kaiser, o qual diz que as componentes a serem consideradas devem apresentar autovalores superiores a unidade [Green 2011].

Parâmetros Analisados			
Componentes	Autovalores	% Variância	% Variância Acumulada
1	3,87	55,34	55,34
2	1,83	26,15	81,49
3	0,60	8,60	90,10
4	0,36	5,11	95,20
5	0,22	3,20	98,39
6	0,074	1,06	99,45
7	0,55	0,54	100

Tabela 2. Variância Explicada - Base de Dados I - Quito.

Parâmetros Analisados			
Componentes	Autovalores	% Variância	% Variância Acumulada
1	3,462	49,45	49,45
2	1,676	23,94	73,40
3	0,880	12,56	85,96
4	0,603	8,60	94,57
5	0,297	4,24	98,82
6	0,082	1,17	99,96
7	$2,6 \times 10^{-7}$	$3,7 \times 10^{-6}$	100

Tabela 3. Variância Explicada - Base de Dados II - Hong Kong.

Observando o percentual de variância explicada que cada componente principal preserva, pode-se reduzir o conjunto de dados original que engloba as 7 variáveis ambientais, para um número menor que apresente significativo percentual de informação útil para ser analisada. Desta forma, reduziu-se ambos os conjuntos originais de dados para 2 componentes principais, as quais representam um percentual de variância explicada em torno de 81%, para a base de dados I (Tabela 2), e de 73% de informação dos dados originais para a base de dados II (Tabela 3).

No intuito de fundamentar a escolha das componentes principais que serão objetos de análise, considerou-se além do valor do percentual de variância explicada retida por cada componente principal, o critério de Kaiser [Green 2011]. Portanto, este critério

(que toma os autovalores superiores a unidade) corrobora com o percentual de variância explicada retida pelas duas primeiras componentes, para ambas as bases de dados.

4.3. Detecção e Diagnóstico de Anomalias

4.3.1. Etapa de Detecção

Após a seleção das componentes principais para cada base de dados, aplicou-se as estatísticas D (Equação 6) e Q (Equação 7) para a detecção das anomalias nas duas componentes principais selecionadas. Nesta perspectiva, para a cidade de Quito tanto a estatística D quanto a estatística Q não identificaram nenhum comportamento anômalo nos dados para a componente principal #1 (Figura 2) com relação à janela de tempo analisada, indicando normalidade nos parâmetros ambientais coletados pelos sensores. O mesmo padrão de normalidade é observado em relação à componente principal #2, em que as estatísticas D (Figura 3(a)) e Q (Figura 3 (b)) não identificaram nenhuma anomalia.

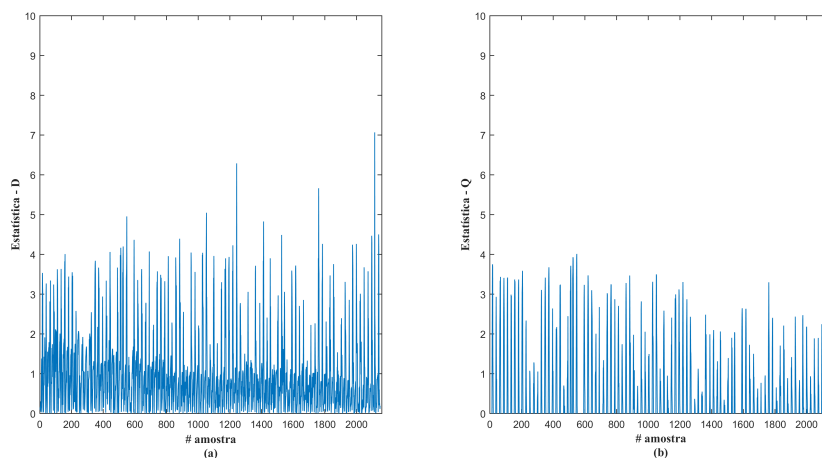


Figura 2. Componente principal #1 - Cidade de Quito.

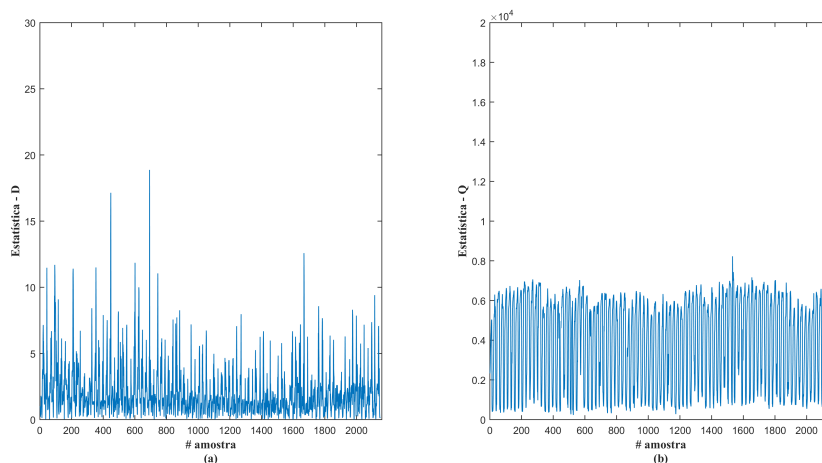


Figura 3. Componente principal #2 - Cidade de Quito.

Para o segundo cenário analisado, cidade de Hong Kong, as estatísticas identificaram uma alteração no comportamento dos dados no espaço das duas componentes selecionadas. Desta forma, a estatística D apontou para uma anomalia presente nos parâmetros ambientais para a componente principal #1 (Figura 4 (a)), a saber a coleta #1208. Para a estatística Q a observação anômala detectada corresponde à mesma coleta #1208 (Figura 4 (b)). Neste caso, a anomalia detectada pela estatística D é também detectada pela estatística Q, corroborando ambas para o monitoramento dos parâmetros ambientais.

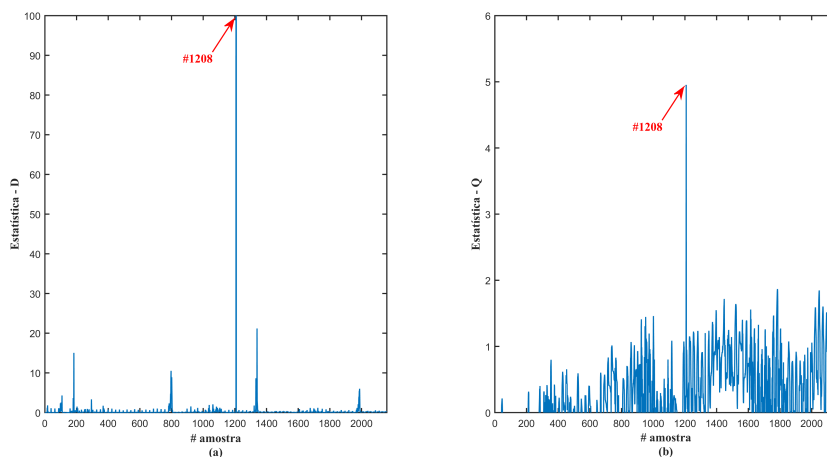


Figura 4. Componente principal #1 - Cidade de Hong Kong.

Em relação à componente principal #2, a estatística D também identifica a anomalia #1208 (Figura 5 (a)), sendo corroborada com a estatística Q que identifica novamente o mesmo padrão anômalo (Figura 5 (b)). Desta forma, percebe-se que para ambas as duas componentes principais selecionadas, os gráficos de monitoramento das estatísticas D e Q apontam para uma mesma observação que se desvia das demais.

Comparando os resultados obtidos com os dados coletados da plataforma Smart Citizen, observamos que não há ocorrência de eventos anômalos na cidade de Quito (Figuras 2 e 3). Já com relação à cidade de Hong Kong, há destaque para um evento anômalo que ocorre na coleta #1208 (correspondendo às 17 horas do dia 06/06/2016, vide Figuras 4 e 5), momento em que ocorre a anomalia.

Os gráficos retornados pelas estatísticas D e Q se mostraram úteis no tocante ao monitoramento de tendências e padrões das variáveis ambientais de cidades inteligentes. Quando o objetivo é identificar anomalias, métodos clássicos de monitoramento estatístico podem ser ineficazes na identificação de tendências ou padrões cíclicos das métricas [O'Leary et al. 2016]. Assim, dentre as amostras medidas, identificamos a mais discrepante, permitindo estabelecer conclusões sobre o padrão das variáveis ambientais analisadas.

4.3.2. Etapa de Diagnóstico

O monitoramento de processos não consiste apenas em detectar eventos anormais, mas também em encontrar as variáveis que contribuam para o desvio. Desta forma, uma

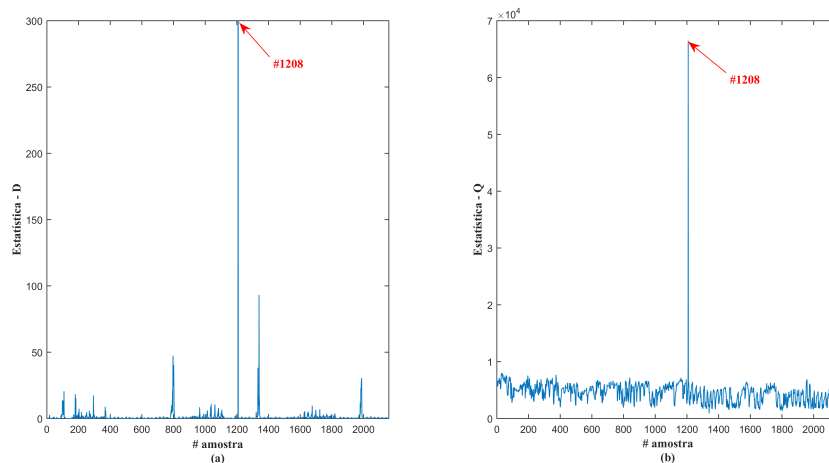


Figura 5. Componente principal #2 - Cidade de Hong Kong.

vez que uma anomalia foi detectada, as parcelas de contribuição do modelo PCA são calculadas para identificar as possíveis variáveis responsáveis pelo desvio. Assim, foram calculadas as parcelas de contribuição do modelo PCA no espaço das duas componentes principais selecionadas para a anomalia detectada (coleta #1208) utilizando o método diagnóstico CDC, tanto para a estatística D quanto para Q (Figuras 6 e 7). É importante destacar que como nenhuma anomalia foi detectada pelas estatísticas para a base de dados da cidade de Quito, a etapa de diagnóstico corresponde a apenas a cidade de Hong Kong.

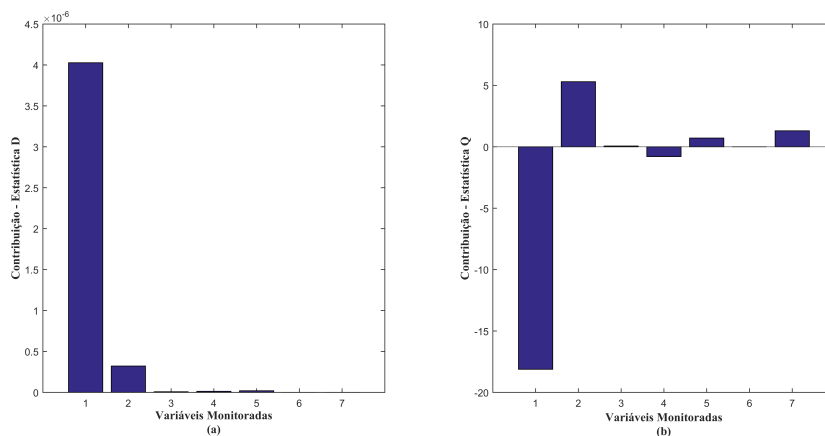


Figura 6. Plots Diagnósticos - Componente principal #1, cidade de Hong Kong.

No caso da Figura 6(a), observa-se que o método CDC calculado sobre a estatística D aponta para a variável temperatura como a responsável por causar o desvio no comportamento dos dados, no espaço da componente principal #1. Entretanto, quando calculado sobre a estatística Q, o método CDC aponta para uma influência negativa da temperatura (Figura 6(b)). Para tal padrão, detectado na coleta #1208, observamos que quando verificado na base de dados original, este é o momento no qual foi registrado o menor valor de temperatura pelos sensores no intervalo de tempo monitorado, caracterizando uma anomalia. Portanto, o método CDC para a estatística D permitiu identificar que dentre as variáveis ambientais monitoradas, a que contribuiu para o desvio da coleta #1208

foi a temperatura. Tal análise foi complementada pelo método CDC para a estatística Q, indicando o sentido (negativo) da contribuição da variável temperatura, ou seja, na realidade não houve um pico (um valor de máximo) no valor da temperatura como poderia se imaginar através da estatística D, mas sim um vale (um valor de mínimo) revelado pela estatística Q. Podemos inferir que este desvio influenciado pela temperatura pode indicar um erro instrumental do sensor, uma vez que até o momento do *outlier* detectado (amostra #1208), não havia nenhuma variação discrepante dos dados.

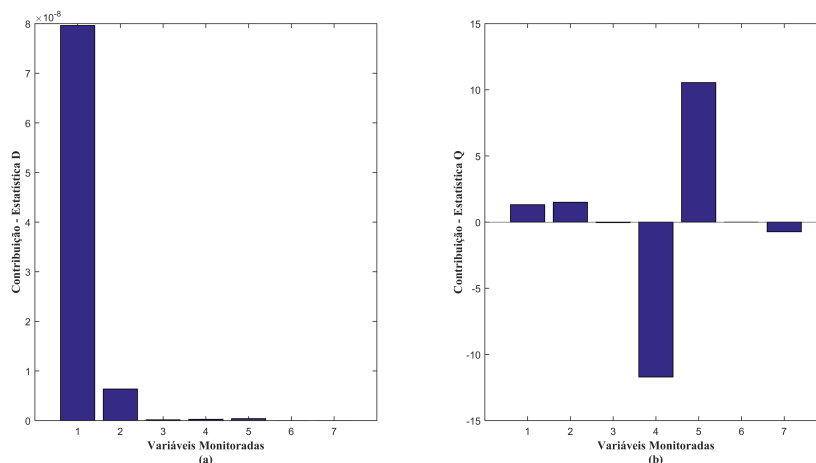


Figura 7. Plots Diagnósticos - Componente principal #2, cidade de Hong Kong.

Com relação ao espaço da componente principal #2, o método CDC calculado sobre a estatística D (Figura 7(a)) continua apontando para a variável temperatura como a responsável pelo desvio da amostra #1208. Entretanto, quando aplicado à estatística Q (Figura 7(b)), o método destaca outras duas variáveis como sendo as que influenciaram no comportamento anômalo, a saber as variáveis: CO e NO₂. Ao se verificar a base de dados original, observamos que este é o momento no qual para ambas as variáveis (CO e NO₂) as medições excederam os padrões dos valores sensoriados no intervalo de tempo monitorado. Voltando ainda a verificar a Figura 5(a), verificamos que existem outros *outliers* (além da amostra #1208), porém não tão significativos. Esta observação permite-nos concluir a inferência acerca do diagnóstico gerado pela Figura 7(b), em que o CO e NO₂ influenciaram o comportamento anômalo dos dados indicando que a poluição gerada por eles não se deveu a uma única medição anômala mas sim a uma série de medições que excederam determinados limites em um dado intervalo de tempo [Martinez et al. 2014], como a que ocorreu na amostra #1208.

5. Conclusão

Neste artigo, aplicamos a técnica da estatística multivariada PCA no monitoramento de variáveis ambientais urbanas. Apesar dos dados serem coletados de diferentes e heterogêneos sensores, nossa proposta propicia a detecção de anomalias com identificação do exato momento de sua ocorrência. A partir da técnica de diagnóstico proposta, é possível afirmar quais variáveis causam o desvio da amostra.

A principal contribuição deste artigo é o diagnóstico das causas das anomalias detectadas pelas estatísticas D e Q, através das quais identificamos quais variáveis ambi-

entais contribuíram para o comportamento anômalo dos dados. Para tanto, propomos o uso do método estatístico *Complete Decomposition Contribution* para cálculo das parcelas de contribuição das variáveis para uma determinada anomalia detectada.

Os resultados alcançados podem oferecer indicadores para um planejamento urbano inteligente e sustentável. A partir destes indicadores, gestores públicos (e mesmo cidadãos participativos) podem tomar decisões mais apropriadas acerca de mudanças críticas de temperatura, umidade, ruído, níveis de monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrogênio (NO₂) e luminosidade.

Como perspectivas de trabalhos futuros, sugere-se (i) aumentar o número de observações e estender o estudo para outras cidades da plataforma Smart Citizen, (ii) considerar a natureza multidimensional dos dados e utilizar métodos tensorais de decomposição de dados, (iii) utilizar outras técnicas da estatística multivariada na detecção de *outliers* e outros métodos para diagnóstico de anomalias.

Referências

- Abellá-García, A., de Urbina-Criado, M. O., and De-Pablos-Heredero, C. (2015). The ecosystem of services around smart cities: An exploratory analysis. *Procedia Computer Science*, 64:1075 – 1080.
- Acala, C. F. and Qin, J. (2011). Analysis and generalization of fault diagnosis methods for process monitoring. *Journal of Process Control*, 21:322–330.
- Camacho, J. (2010). Missing-data theory in the context of exploratory data analysis. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 103:98–104.
- Camacho, J. and Ferrer, A. (2014). Cross-validation in pca models with the element-wise k-fold (ekf) algorithm: Practical aspects. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 131:37–50.
- Camacho, J., Villegas, A. P., Teodoro, P. G., and Fernandez, G. M. (2016). Pca-based multivariate statistical network monitoring for anomaly detection. *Computers and Security*, 59:118–137.
- Cucina, D., Salvatore, A., and Protopapas, M. K. (2014). Outliers detection in multivariate time series using genetic algorithms. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 132:103–110.
- Dunteman, G. H. (1989). *Principal components analysis (Quantitative Applications in the Social Science)*. Sage Publications.
- Gomes, D. G. and Forster, A. (2015). Introduction to the special issue on green engineering: Towards sustainable smart cities. *Computers & Electrical Engineering*, 45:141–142.
- Green, P. E. (2011). *Multivariate Data Analysis*. Cengage Learning.
- Harrou, F., Ramahaleomiarantsoa, J. F., Nounou, M. N., and Nounou, H. N. (2016). A data-based technique for monitoring of wound rotor induction machines: A simulation study. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 19:1424–1435.
- Hotelling, H. (1947). *Multivariate quality control*. In: *Techniques of statistical analysis*. New York: McGraw-Hill.

- Jackson, J. E. and Mudholkar, G. S. (1979). Control procedures for residuals associated with principal component analysis. *Technometrics*, 21:331–349.
- Kamienski, C., Biondi, G. O., Borelli, F. F., Heideker, A., Ratusznei, J., and Kleinschmidt, J. H. (2016). Computação urbana: Tecnologias e aplicações para cidades inteligentes. *Minicursos XXXIV SBRC - Simposio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribudos*.
- Li, H. (2016). Accurate and efficient classification based on common principal components analysis for multivariate time series. *Neurocomputing*, 171:744–753.
- Machado, A. M., Gee, J. C., and Campos, M. F. (2004). Structural shape characterization via exploratory factor analysis. *Artificial Intelligence in Medicine*, 30:97–118.
- Magan-Carrion, R., Camacho, J., and Garcia-Teodoro, P. (2015). Multivariate statistical approach for anomaly detection and lost data recovery in wireless sensor networks. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, pages 1–40.
- Martinez, J., Saavedra, A., Garcia-Nieto, P. J., Pineiro, J. I., Iglesias, C., Taboada, J., Sancho, J., and Pastor, J. (2014). Air quality parameters outliers detection using functional data analysis in the langreo urban area (northern spain). *Applied Mathematics and Computation*, 241:1–10.
- Nomikos, P. and MacGregor, J. F. (1994). Monitoring batch processes using multiway principal component analysis. *AIChE Journal*, 40:1361–1375.
- O’Leary, B., Reiners, J. J., Xu, X., and Lemke, L. D. (2016). Identification and influence of spatio-temporal outliers in urban air quality measurements. *Science of the Total Environment*, 573:55–65.
- Prada, M. A., Toivola, J., Kullaa, J., and Hollmen, J. (2012). Three-way analysis of structural health monitoring data. *Neurocomputing*, 80:119–128.
- Rathore, M. M., Ahmad, A., Paul, A., and Rho, S. (2016). Urban planning and building smart cities based on the internet of things using big data analytics. *Computer Networks*, 101:63–80.
- Shang, C., Huang, B., Yang, F., and Huang, D. (2016). Slow feature analysis for monitoring and diagnosis of control performance. *Journal of Process Control*, 39:21–34.
- Silva, T. H. and Loureiro, A. A. F. (2016). Computação urbana: Técnicas para o estudo de sociedades com redes de sensoriamento participativo. *XXXV Jornadas de Atualização em Informática (JAI 2016) do Congresso da Sociedade Brasileira de Computação (CSBC)*, pages 61–117.
- United Nations, D. o. E. and Social Affairs, P. D. (2015). World urbanization prospects: The 2014 revision, highlights.
- Zhang, Y., Meratnia, N., and Havinga, P. (2010). Outlier detection techniques for wireless sensor networks: A survey. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 12:159–170.
- Zhao, C. and Gao, F. (2016). Fault subspace selection approach combined with analysis of relative changes for reconstruction modeling and multifault diagnosis. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 24:928–939.

I Workshop de Computação Urbana (CoUrb)
SBRC 2017
Sessão Técnica 2
Mobilidade Urbana

TrGeT: geração de traces para simulação de Redes Veiculares Ad Hoc por meio de Redes de Petri Coloridas

Vasconcelos, L.C.M.¹, C. G. Furtado Júnior², Soares, J. M.¹, Barroso, G. C.³

¹Departamento de Engenharia de Teleinformática
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Campus do Pici - Bloco 725 - CEP 60455-970 - Fortaleza, CE – Brasil

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)
Av. Parque Central, S/N - Distrito Industrial I - Maracanaú/CE - CEP: 61.939-140

³Departamento de Física - Universidade Federal do Ceará (UFC)
Campus do Pici - Bloco 922 - CEP 60455-554 - Fortaleza, CE – Brasil.

luis.vasconcelos@sti.ufc.br, cjunior@ifce.edu.br, {marques, gcb}@ufc.br

Abstract. *In this work, we introduce the TrGeT tool developed in timed hierarchical coloured Petri nets that generates mobility traces to simulate VANETs in network simulators. The scenarios configuration for generation of traces is carried out in a simplified way and without the need of knowledge of traffic and urban mobility simulators. The performance evaluation of the tool shows the effectiveness of the generated mobility traces.*

Resumo. *Neste trabalho, apresentamos a ferramenta TrGeT desenvolvida em rede de Petri colorida hierárquica temporizada que gera traces de mobilidade para simulação de VANETs em simuladores de rede. A configuração dos cenários para geração dos traces é realizada de forma simplificada e sem necessidade de conhecimento de simuladores de tráfego e mobilidade urbana. A análise de desempenho da ferramenta mostra a eficácia dos traces de mobilidades gerados.*

1. Introdução

As redes veiculares *ad hoc* (VANET - *Veicular ad hoc networks*) são uma sub-classe das redes *ad hoc* móveis (MANET - *Mobile ad hoc network*). Elas representam um sistema de comunicação veicular que tem potencial para melhorar a segurança no trânsito por meio do compartilhamento de informações para a prevenção de acidentes, além de poderem auxiliar também na investigação pós-acidente. A realização de testes em cenários reais é uma tarefa árdua devido a questões como alto custo econômico e constantes mudanças na topologia da rede, fazendo com que a simulação seja considerada a melhor forma de se realizar a análise de desempenho em uma VANET [Al-Sultan et al. 2013].

Para avaliar o desempenho de um protocolo utilizado em uma VANET, é crítica a necessidade de um modelo de mobilidade, cujo principal papel é imitar o comportamento do movimento do móvel. O modelo de mobilidade deve refletir as restrições de movimentação dos veículos (*mobile hosts* - MH), incluindo os dados de modelos de tráfego. De acordo com a taxonomia utilizada em [Harri et al. 2009], os modelos de mobilidade podem ser classificados como: *traces* sintéticos baseados em pesquisa, *traces*

de aplicações reais e *traces* sintéticos gerados por simuladores de tráfego e mobilidade urbana. Como as VANETs ainda não são utilizadas em larga escala, existe dificuldade em se obter *traces* reais. Portanto, os *traces* sintéticos representam grande importância para a simulação das redes veiculares.

A utilização de ferramentas específicas de simulação de tráfego e mobilidade urbana, como o SUMO [Behrisch et al. 2011], demandam estudo de parâmetros do cenário de simulação como cruzamentos, junções, sinais de trânsito, diferentes tipos de vias e fluxos de trânsito. Para mitigar essa complexidade na configuração dos cenários de simulação, foram desenvolvidas ferramentas que permitem a geração de *traces* de forma rápida, como o *VanetMobiSim* e MOVE. Nessas ferramentas a configuração é simplificada por não levar em consideração parâmetros que não tenham relevância para geração de *traces* de mobilidade [Karnadi et al. 2007].

Nessas ferramentas não existe a opção de interagir com a simulação por meio da manipulação das variáveis envolvidas, como velocidade ou localização dos veículos, ou modificar o estado inicialmente configurado, como adicionar novos veículos. Neste trabalho apresentamos a ferramenta *TrGeT: Traces Generator Tool*, desenvolvida em rede de Petri colorida (RPC) hierárquica temporizada por meio da ferramenta *CPN Tools* [cpn]. Assim como as ferramentas *VanetMobiSim* e MOVE, *TrGeT* gera *traces* de mobilidade para simulação de VANETs de forma rápida. Como diferencial, no *TrGeT* é possível alterar o comportamento do modelo ao longo da simulação, permitindo o acompanhamento passo a passo (forma *stepwise*) da geração de *traces* para estudos e análises específicas. O *TrGeT* pode ser estendido e modificado por meio de mudanças no modelo RPC.

Este artigo é organizado da seguinte forma: Na Seção 2 são introduzidas as RPC. Na Seção 3 são apresentados os trabalhos relacionados. Na Seção 4 é tratado o modelo *Intelligent driver model* (IDM). Na Seção 5 a ferramenta *TrGeT* é detalhada. Na Seção 6 é apresentada uma simulação realizada com a ferramenta. Na Seção 7 é discutido o desempenho da simulação realizada. Finalmente, na Seção 8 são apresentados os resultados obtidos e os trabalhos futuros.

2. Redes de Petri coloridas

Redes de Petri (RP) são uma ferramenta de modelagem gráfica e matemática que permite descrever e estudar sistemas de processamento de informações que são caracterizados como sendo concorrentes, assíncronos, distribuídos, paralelos, não determinísticos, e/ou estocásticos. Redes de Petri coloridas (RPC), utilizadas neste trabalho, são uma linguagem gráfica para construção de modelos de sistemas concorrentes e análise de suas propriedades. RPC é uma linguagem de modelagem de eventos discretos que combina o potencial das redes de Petri com o potencial das linguagens de programação de alto nível [Jensen and Kristensen 2009].

Constituindo-se de um grafo bipartido com nós representando lugares (elipses) e transições (retângulos), ligados por arcos (fluxos orientados), o estado de um sistema é definido pela quantidade e tipo de fichas que são depositadas nos lugares. Nas RPC, as fichas depositadas em um lugar possuem tipo específico, denominado cor. Para simular o comportamento dinâmico de um sistema, os modelos de RPC alteram os valores e quantidades das fichas nos lugares a partir dos disparos das transições. Uma transição é dita habilitada, e pode ser disparada, caso haja uma quantidade de fichas nos lugares de

entrada que satisfaça as expressões dos seus respectivos arcos de entrada. Após o disparo de uma transição, fichas são removidas dos lugares de entrada e outras inseridas nos lugares de saída de acordo com as expressões dos arcos de entrada e saída, respectivamente, da referida transição. O detalhamento de simulações usando RPC é feito ao longo da apresentação do modelo contido na ferramenta *TrGeT*.

O modelo *TrGeT* foi desenvolvido na ferramenta *CPN Tools*. Para realizar uma simulação, além da parametrização inicial, é possível escolher a forma na qual a simulação será executada, que pode ser de duas formas: (i) *fast forward*, em que, como nas ferramentas convencionais, o usuário inicia a simulação e aguarda o resultado final; (ii) *stepwise*, na qual a simulação evolui passo a passo de acordo com a interação do usuário. Esta última forma permite a manipulação das variáveis envolvidas na simulação por meio da alteração da marcação das fichas nos lugares desejados, possibilitando levar a simulação a situações específicas. É possível, por exemplo, elevar a velocidade de um veículo para além da permitida para verificar o comportamento do modelo ou alterar sua localização. Na forma *stepwise* é também possível verificar determinadas regras de um modelo sem a necessidade de iniciar uma nova simulação e aguardar até que a mesma alcance o estado desejado. Com isso, a modificação e, conseqüentemente, a evolução do modelo pode ser feita de forma mais rápida.

3. Trabalhos relacionados

Os modelos de mobilidade veiculares podem ser classificados como macroscópicos e microscópicos. Os macroscópicos consideram valores como densidade e média das velocidades dos veículos, tempo total de viagem, chegadas e partidas de veículos em larga escala, tratando o tráfego veicular de acordo com a dinâmica dos fluidos. A abordagem microscópica considera cada veículo como uma entidade distinta, modelando o seu comportamento (aceleração, desaceleração, mudança de faixa) de forma mais precisa [Harri et al. 2009]. Os modelos de mobilidade baseados em simuladores de tráfego realizam uma modelagem microscópica. Neles são determinados os movimentos de cada veículo, podendo simular realisticamente infraestrutura de ruas, avenidas e estradas, bem como interações entre veículos.

SUMO (*Simulation of Urban MObility*) [Behrisch et al. 2011] é um simulador de tráfego rodoviário microscópico de código aberto projetado para lidar com grandes redes rodoviárias. Possui funcionalidades como: movimento veicular sem colisões, roteamento individual dos veículos, ruas com várias pistas com mudança de faixa. Porém, como afirmam [Karnadi et al. 2007], o esforço de escrever *scripts* de simulação, bem como aprender sobre os detalhes internos do simulador (parametrização do cenário de simulação com cruzamentos, conexões entre as ruas, sinais de trânsito, diferentes tipos de vias e veículos, fluxos de trânsito) torna demorado o processo de coletar *traces*. A utilização de ferramentas de simulação de tráfego e mobilidade urbana são indicados para *testbeds* de cenários que demandam a utilização de grandes redes rodoviárias e onde se deve considerar os múltiplos fatores envolvidos na mobilidade urbana com o maior nível de realismo possível. Para se obter uma avaliação rápida de protocolos de rede ou de ferramentas que exijam um *time to market* curto, as ferramentas de geração de *traces* de forma rápida são indicadas [D. Cabarkapa 2016].

MOVE (*MObility model generator for VEhicular networks*) [Karnadi et al. 2007]

gera modelos de mobilidade para simulações VANET. A ferramenta é integrada ao SUMO, funcionando o MOVE como *parser* para o SUMO. O MOVE gera *traces* de mobilidade que podem ser usados por ferramentas de simulação de rede, como o NS-2, e possui uma interface gráfica que permite gerar rapidamente cenários de simulação. Entretanto, uma limitação da ferramenta é a exigência de instalação da versão 0.12.3 do SUMO, sendo que a versão corrente (no momento em que esse trabalho está sendo escrito) é a 0.29. Apenas a versão 0.12.3 do SUMO é compatível com o MOVE, comprometendo possíveis atualizações da ferramenta, além de possuir uma instalação não trivial.

VanetMobiSim (*Vehicular Ad Hoc Networks Mobility Simulator*) [Härri et al. 2006] é um simulador de modelos de mobilidade desenvolvido em *Java*. O *VanetMobiSim* gera *traces* de movimento em diferentes formatos, suportando diferentes ferramentas de simulação para redes móveis, incluindo NS-2, GloMoSim e QualNet. *VanetMobiSim* apresenta modelos de movimentos automotivos, tanto em níveis macroscópicos como microscópicos. Permite importar mapas do banco de dados digital TIGER [tig] e adiciona suporte para estradas com várias pistas, fluxos direcionais separados, restrições de velocidade diferenciadas e sinais de trânsito nas interseções. Para que a ferramenta *VanetMobiSim* seja estendida ou modificada é necessário o conhecimento de sua estrutura interna, possuindo a ferramenta mais de 120 classes *Java* sem documentação para desenvolvedores (conta-se apenas com o manual do usuário).

Em [Khan et al. 2014] é apresentado um modelo de redes de Petri coloridas em que nós móveis se deslocam em um terreno bidimensional de forma aleatória, e de acordo com o modelo de mobilidade *Random Walk* (RW) [Camp et al. 2002], sem possuir o efeito de borda e decaimento de velocidade. Os autores afirmam que, até a época em que o trabalho foi desenvolvido, era a primeira implementação do RW usando RPC. Em [Khan et al. 2015] os autores criam em RPC o modelo SHER (*Show Home and Exclusive Regions*), no qual o modelo detalhado em [Khan et al. 2014] é estendido. De acordo com os autores, o modelo elimina as seis questões-chave dos modelos de mobilidade aleatória, isto é, paradas repentinas, movimentos sem memória, efeito de borda, dependência temporal da velocidade, dependência do tempo de pausa e decaimento da velocidade. Ambas as implementações geram modelos de mobilidade para serem utilizados em redes de malhas (*Wireless Mesh Network - WMN*) [Akyildiz et al. 2005], onde não é necessário modelar as restrições de mobilidade como ruas, avenidas e veículos, não sendo adequados para simulações de VANETs.

A ferramenta *TrGeT* possibilita a geração de *traces* para simulações de VANETs de forma rápida e com configuração do cenário da simulação simplificada, sem que seja necessário que o usuário tenha um conhecimento prévio de simulações de tráfego. Como pré-requisitos para a execução da simulação são necessários apenas os programas *CPN Tools* e *Java*, disponibilizados gratuitamente e com versões atualizadas. A ferramenta apresenta um grande potencial de ser estendida ou modificada já que seu núcleo foi desenvolvido de forma modular em RPC.

4. Intelligent driver model (IDM)

O modelo de mobilidade *Intelligent driver model* (IDM) [Kesting et al. 2010] pertence à classe de modelos microscópicos chamada de *car following models* (CFM). Nestes modelos a mobilidade de um veículo é adaptada de acordo com um conjunto de regras para

evitar contato com o veículo que está à frente. O modelo IDM mostra uma dinâmica coletiva livre de colisões, exibe propriedades de estabilidade controláveis e implementa uma estratégia de frenagem inteligente com transições suaves entre comportamento de aceleração e desaceleração. No algoritmo IDM, se não existir outro veículo à frente, um veículo segue livre até que alcance a velocidade máxima desejada, caso contrário, regras precisam ser obedecidas para evitar a colisão. O modelo foi desenvolvido para delinear o comportamento da condução humana. Portanto, possui os seguintes parâmetros comportamentais: velocidade desejada, aceleração, desaceleração confortável e tempo de segurança para avanço [Kesting et al. 2010].

A aceleração no modelo IDM é uma função contínua que incorpora diferentes modos de condução para todas as velocidades no tráfego de rodovia, assim como no tráfego urbano. Além da distância s para o veículo da frente (principal) e a velocidade atual v , o modelo IDM também leva em conta a diferença de velocidade do veículo principal (taxa de aproximação) $\Delta v = v - v_1$. A aceleração do modelo IDM é calculada de acordo com a equação 1.

$${}^{\alpha}IDM(s, v, \Delta v) = \frac{dv}{dt} = \alpha \left[1 - \left(\frac{v}{v_0} \right)^{\delta} \left(\frac{s^*(v, \Delta v)}{s} \right)^2 \right] \quad (1)$$

em que

$$s^*(v, \Delta v) = S_0 + vT + \frac{v\Delta v}{2\sqrt{ab}}. \quad (2)$$

Na equação 1, v_0 representa a velocidade desejada, δ o expoente de aceleração livre (representa como a aceleração diminui com a velocidade), T o intervalo de tempo desejado entre os veículos, S_0 a distância de congestionamento, a a aceleração máxima, b a desaceleração confortável (ou desejada). Os parâmetros IDM v_0 , T , S_0 , a e b são empiricamente mensuráveis e têm valores realistas [Treiber et al. 2000].

5. *TrGeT: Traces Generator Tool*

TrGeT é uma ferramenta de geração rápida de *traces* para simulação de VANETs. O usuário pode visualizar o comportamento do modelo pela interação com a ferramenta e pode também alterar parâmetros do sistema durante a simulação. O modelo de mobilidade adotado foi o IDM, dado que o mesmo é um dos modelos mais utilizados em simulações de tráfego [Harri et al. 2009], mas é possível realizar mudanças no modelo de mobilidade utilizado e estender a ferramenta com a adição de novos modelos.

A arquitetura da ferramenta é apresentada na Figura 1. A ferramenta é composta por dois componentes principais: (i) o modelo RPC onde é implementada a lógica da simulação; (ii) o *parser* que transforma a ficha gerada pelo *CPN Tools* em *traces* que podem ser lidos por simuladores de rede.

5.1. Modelo RPC

O modelo *TrGeT* foi desenvolvido em RPC hierárquicas temporizadas por meio da ferramenta *CPN Tools* [cpn]. Redes hierárquicas permitem a construção de modelos com

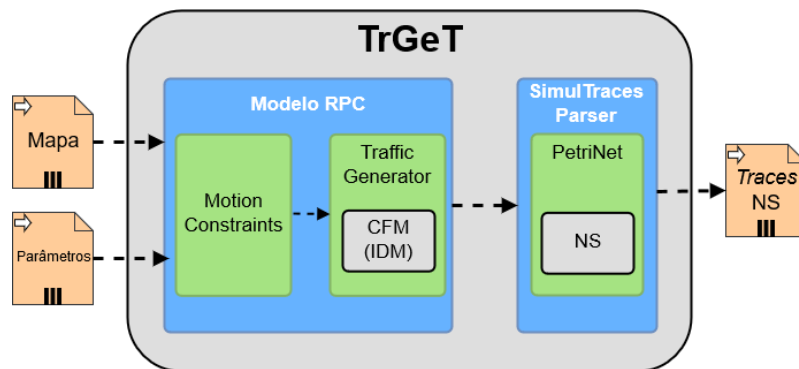


Figura 1. Arquitetura

múltiplos módulos organizados em diferentes níveis de abstração, como em linguagens de programação. A hierarquização é realizada em RPC, substituindo-se uma transição de substituição por uma sub-rede. Uma RPC temporizada possui, além das cores das fichas, um valor chamado de "selo de tempo" e um "relógio global". Isso permite que sistemas possam ser modelados e avaliados levando em consideração restrições de tempo. A definição formal das RPC hierárquicas temporizadas pode ser encontrada em [Jensen and Kristensen 2009].

O modelo RPC possui dois módulos assim denominados: *Motion Constraints* e *Traffic Generator*; *IDM* é um submódulo de *Traffic Generator* e representa a parte do modelo que pode ser estendida por meio da adição (ou substituição) de novos CFMs no mesmo nível hierárquico do submódulo *IDM*. A hierarquia é apresentada na Figura 2.

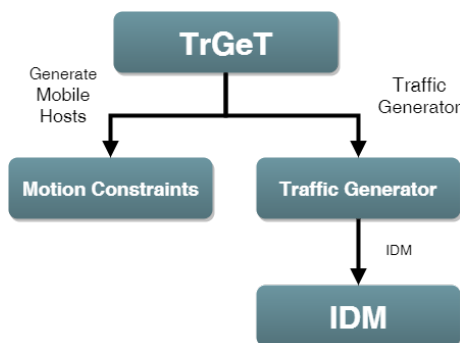


Figura 2. Hierarquia do modelo

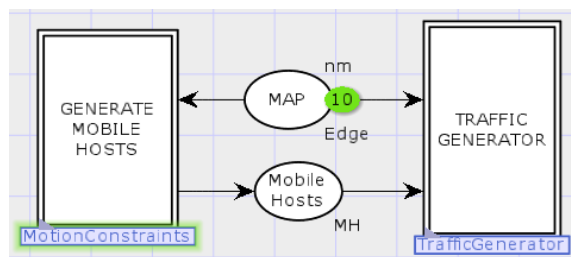


Figura 3. Página principal

Em RPC, uma sub-rede também é denominada página, acomodando-se, portanto, cada módulo do simulador em uma página. A página *TrGeT* apresentada na Figura 3 é a de maior nível hierárquico, correspondendo à página principal do modelo. Nela pode-se observar duas transições de substituição (TS) representadas por retângulos de borda dupla. A TS GENERATE MOBILE HOSTS recebe, por meio do arco de entrada, o mapa da área que será utilizada na simulação, e retorna, por meio do arco de saída, após executada a TS, um conjunto de *Mobile Hosts* (MHs), cada um com sua posição inicial, velocidade inicial zero e velocidade desejada escolhida aleatoriamente dentro das faixas definidas por meio de parâmetros de entrada. A TS TRAFFIC GENERATOR recebe pelos arcos de entrada o mesmo mapa e os MHs gerados anteriormente.

A estrutura e o comportamento das duas transições de substituição da página principal são descritas nas sub-redes *Motion Constraints* e *Traffic Generator*. A página *Motion Constraints*, é responsável pela geração dos MHs e por direcioná-los ao gerador de tráfego. A página *Traffic Generator* recebe os MHs e verifica se os mesmos estão próximos o suficiente de um cruzamento para determinar se mudam de via ou se continuam a se locomover na mesma via, obedecendo a um algoritmo CFM. No modelo *TrGeT*, o algoritmo escolhido foi o IDM, modelado na página IDM.

O mapa do cenário modelado é representado por meio do lugar *MAP* de cor *Edge* na página principal. A cor *Edge* é a representação de uma rua. Para modelar o mapa utilizamos dois conjuntos de cores: *Vertex* e *Edge*. O *Vertex*, representa uma coordenada (x, y) com um determinado *ID*. Um *Edge* é o equivalente a uma reta no plano cartesiano, ligada por dois pontos, no caso dois *Vertex*. O lugar *Mobile Hosts* de cor *MH* da página principal representa os veículos (*mobile hosts* - MH) presentes na simulação. Durante a simulação, um MH está em uma determinada rua e faixa com uma dada velocidade. O lugar MHs presente no submódulo *IDM* recebe fichas da cor *Platoon*, que é modelada como uma lista de MHs. O lugar é utilizado para tratar a posição em que um MH está em relação aos outros MHs na mesma rua e faixa que ele se encontra, de acordo com o algoritmo IDM [Treiber et al. 2000].

As funções utilizadas no modelo estão disponíveis no arquivo *functions.sml*, na pasta *declarations* do repositório GitHub [git]. Um exemplo é a função *addMovement*. Ela recebe um ponto $P(px, py)$ que representa a localização do MH, a rua, representada por meio da reta que passa pelos pontos $v1(x1, y1)$ e $v2(x2, y2)$, o deslocamento s que será realizado, a distância euclidiana n entre os pontos $v1$ e $v2$ (tamanho da rua) e a faixa em que o MH se encontra. A função adiciona a distância n ao ponto P em que o MH se encontra, e de acordo com a faixa da rua em que se encontra. Foi utilizado o sentido de circulação pela direita (mão francesa) em que os veículos trafegam pela faixa da direita, que no caso do modelo *TrGeT* é a *Lane 1*. Os MH que trafegam pela *Lane 1* se movem no sentido crescente do eixo x (abscissa) e y (ordenada), enquanto os que trafegam na *Lane 2* se movem no sentido decrescente dos eixos x e y . As coordenadas dos pontos são limitadas ao 1º quadrante do plano cartesiano.

5.2. SimulTraces Parcer

O módulo *SimulTraces Parcer* foi implementado em Java e transforma a saída da simulação RPC (marcação final gerada no *CPN Tools*) em *traces* de mobilidade que podem ser lidos por simuladores de rede. O módulo está preparado para adição de formato de novos simuladores, de acordo com o que foi apresentado na Figura 1. Atualmente apenas o simulador NS (NS-2 e NS-3) foi implementado.

6. Simulação

Para realizar uma simulação na ferramenta *TrGeT* é necessário configurar *a priori* a lista de parâmetros indicados na Tabela 1. Os valores configurados para estes parâmetros em nossa simulação estão listados na terceira coluna desta tabela.

Os parâmetros *numberMH* e t são inerentes à simulação. Os demais parâmetros são inerentes ao modelo IDM. Mais detalhes sobre a escolha dos valores para os parâmetros IDM e como estes interagem entre si podem ser encontrados em [Kesting et al. 2010].

Além dos parâmetros é necessário o mapa do local que será simulado. As coordenadas das ruas e dos cruzamentos dos mapas podem ser obtidos por meio de serviços de mapa como o **OpenStreetMap** [ope]. Porém, é necessário um tratamento posterior do arquivo gerado nesses serviços para transformá-lo em marcações de fichas que podem ser lidas pelo *CPN Tools*. As cores das fichas que representam um mapa são detalhadas na Seção 7. Foi utilizado um trecho da cidade de Málaga, Espanha, representado na Figura 4. As ruas e cruzamentos delimitados pela área mais clara foram utilizados na simulação. A sequência da simulação é apresentada nas próximas subseções.

Tabela 1. Parâmetros da simulação

Parâmetro	Descrição	Valor
$numberMH$	Número de MH	10
t	Duração da simulação	180 s
l	Tamanho do veículo	5,0 m
a	Aceleração	0,6 m/s ²
b	Desaceleração confortável	0,9 m/s ²
T	Tempo de segurança entre os MHs	0,5 s
S_0	Distância mínima entre os MHs	2,0 m
v_0	Velocidade desejada	13,88 m/s
v_{min}	Velocidade mínima	2,78 m/s
$delta$	Expoente de aceleração δ	4,0 m/s ²



Figura 4. Mapa

6.1. Página principal: coordenação da simulação no *TrGeT*

A coordenação de uma simulação é realizada pela execução sequencial de dois blocos. O primeiro é representado pela TS GENERATE MOBILE HOSTS. Na Figura 3 pode-se ver a página principal no estado inicial da RPC, na qual apenas a TS GENERATE MOBILE HOSTS está habilitada, o que é garantido pela disponibilidade de 10 fichas do tipo Edge no lugar *MAP*.

Após a execução da TS GENERATE MOBILE HOSTS, o lugar *Mobile Hosts* será alimentado por fichas do tipo MH, habilitando a TS TRAFFIC GENERATOR. Portanto, este segundo bloco recebe como valores de entrada tanto o Mapa (fichas do lugar *MAP*) como os MHs gerados no primeiro bloco (fichas do lugar *Mobile Hosts*). Os dois lugares da página principal do *TrGeT* correspondem a *sockets de RPC* que podem ser acessados nas sub-páginas pelas suas respectivas *ports*.

6.2. Página *Motion Constraints*: geração e posicionamento inicial de MHs no mapa

A página *Motion Constraints* apresentada na Figura 5 recebe, pela porta de entrada (*port in*) no lugar *Edges*, o mapa da simulação. Apenas a transição *Generate Map* estará habilitada na marcação inicial. Ela irá disparar até que todas as distâncias euclidianas n das fichas contidas no lugar *Edges* sejam calculadas e atualizadas.

O lugar *Available Spots* possui uma ficha da cor *Spots*, que representa uma lista de *Spot*. O conjunto de cor *Spot* representa a localização aleatória dentro do mapa em que um MH pode estar no início da simulação. A cada disparo da transição *Generate Map* é retirada uma ficha do lugar *Edges* e executada a função *makeSpots* que irá alterar a marcação do lugar *Available Spots*. Ao final desse processo, a marcação do lugar terá uma lista de todos os lugares disponíveis (*Spot*) para a alocação dos MHs.

Após a atualização de todas as fichas *Edge* e da lista de *Spot*, a transição *Generate New Hosts* é habilitada. Ela é responsável por selecionar aleatoriamente um *Spot* e

um veículo. A transição permanece habilitada até que todos os veículos sejam posicionados. A última transição da página *Motion Constraints* é a *Generate MHs*. O disparo da transição gera um veículo (MH) no lugar *Mobile Hosts* que funciona como uma porta de saída (*out port*).

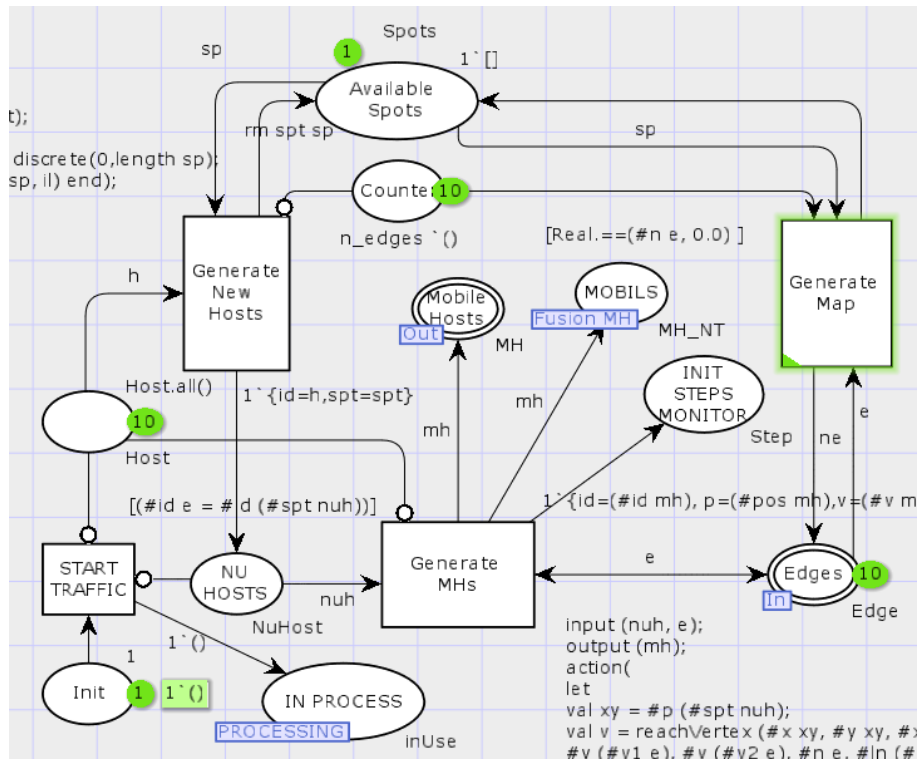


Figura 5. Página *Motion Constraints*.

6.3. Traffic Generator: gerador de movimentação dos veículos

As fichas chegam na página *Traffic Generator* por meio das portas de entrada (*in ports*) dos lugares *Map* e *Mobile Hosts* de acordo com a Figura 6. Esses lugares são interfaces com a página principal. A página *Traffic Generator* é responsável pela movimentação dos veículos pelas ruas, identificando se o mesmo deve permanecer na mesma ou chegou a um cruzamento.

A página possui três transições: *TO INTERSECTION*, *CHANGE STREET* e *IDM*. De acordo com a velocidade que o MH se move é calculada a distância percorrida em 1 s, tempo que dura um passo de simulação (*step*). Se a distância a ser percorrida no passo for maior do que a distância para alcançar o fim da rua o veículo deve se preparar para chegar a um cruzamento, habilitando a transição *TO INTERSECTION*. Caso contrário, o veículo permanecerá na rua e habilitará a transição *IDM*, responsável pelo *Car Following Model IDM*.

A transição *TO INTERSECTION* seleciona um MH apto a mudar de rua. A transição *CHANGE STREET* recebe o MH e verifica a rua (*Edge*) e faixa (*Lane*) que o mesmo se encontra. Na função *changeStreet* é verificado quais ruas se ligam ao cruzamento que o MH se encontra e aleatoriamente é escolhida uma delas. Então, a marcação do MH é atualizada com sua nova localização, velocidade e tempo de simulação. Para

modelar o comportamento real do condutor ao se deparar com um cruzamento, foi adicionada uma probabilidade de 50% para que o veículo pare (velocidade zero) ou continue sua viagem com a mesma velocidade.

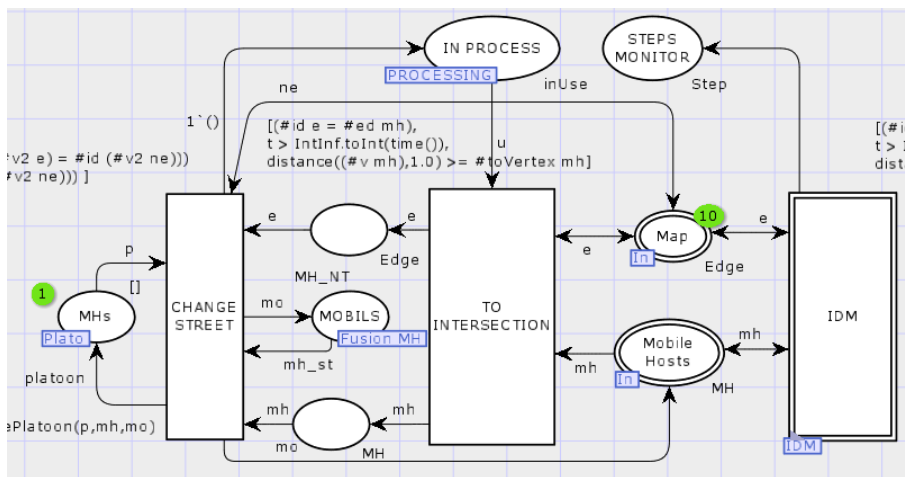


Figura 6. Página *Traffic Generator*

6.4. IDM: car following model

A página IDM controla a movimentação dos veículos que permanecem na mesma faixa e rua. É importante ressaltar que o módulo IDM pode ser substituído por outro módulo que implemente um algoritmo CFM, devido à forma hierárquica que a ferramenta *TrGeT* foi concebida. Para tal, basta que a nova página tenha as mesmas *ports* de entrada e saída que a página IDM tem.

Na sub-página IDM temos as transições *SELECT ONE MH*, *MAKE PLATOON*, *FREE TO GO* e *STOP AND GO* de acordo com a Figura 7. A transição *SELECT ONE MH* seleciona aleatoriamente um dos MH que estão aptos a se movimentar, de acordo com as restrições temporais inerentes às RPC e aos critérios já citados anteriormente que levaram o MH a necessidade de se mover na mesma rua e faixa. A transição *MAKE PLATOON* monta um pelotão (*PLATOON*) com os MHs que estão na mesma rua e faixa do MH selecionado. O pelotão só é montado completamente uma única vez durante a simulação. Após sua montagem inicial, a cada passo dado por um MH, a posição do mesmo é atualizada dentro do pelotão.

Se o MH estiver à frente do pelotão, ele estará livre para se mover e alcançar a velocidade desejada $v_{desired}$. Isso ocorre no disparo da transição *FREE TO GO* em que, de acordo com a velocidade atual do MH e a aceleração a (configurada como constante no modelo), será calculada a distância percorrida, a nova posição e velocidade do MH.

Caso o MH possua um MH a sua frente, sua nova velocidade deve ser calculada de acordo com o algoritmo IDM. Isso ocorre no disparo da transição *STOP AND GO*. Antes do cálculo da nova velocidade é calculada a distância percorrida com a velocidade atual e sua nova localização. Após isso, será calculada a nova velocidade e atualizada a marcação do MH junto com a nova posição.

Após o disparo da transição *STOP AND GO* ou *FREE TO GO*, o lugar *Mobile Hosts* pertencente às sub-páginas *Traffic Generator* e *TrGeT* será atualizado e a simulação

seguirá até que todos os MHs se movam e alcancem o tempo de parada configurado por meio da constante t , que representa o tempo de simulação desejado em segundos.

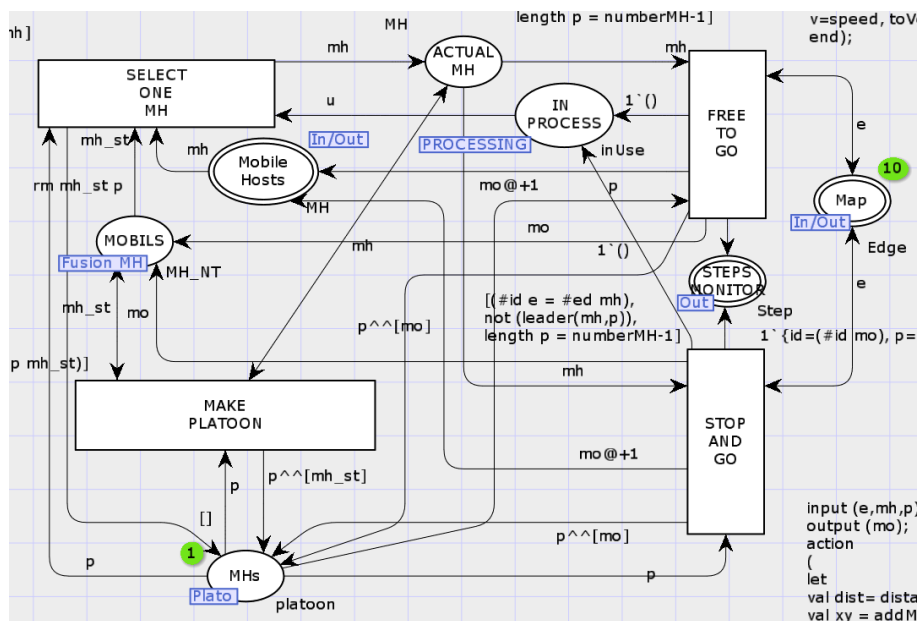


Figura 7. Página com o módulo IDM

Ao final da simulação, toda a movimentação dos MHs se encontra nas fichas do lugar *Steps Monitor* da sub-página *TrafficGenerator*. O lugar recebe fichas da cor *Step* e vinculado a ele existe um monitor *CPN Tools* do tipo *write in file* chamado *Steps*. O monitor gera um arquivo de formato texto na pasta *output* dentro do diretório corrente com a marcação do lugar. Um exemplo da marcação gerada é:

$1\{id = 0, p = \{x = 260.602831871, y = 242.481309487\}, v = 15.8698059436\}@6.$

A marcação traz a velocidade ($v = 15.8698059436$) e a localização ($x = 260.602831871, y = 242.481309487$) de um determinado veículo ($id = 0$) em um dado tempo ($@6$).

7. Validação

A validação da ferramenta *TrGeT* foi feita em duas etapas: i) comparação dos *traces* gerados pelas ferramentas *TrGeT* e *VanetMobiSim*; ii) simulação e comparação da VANET no simulador de rede NS-2 utilizando os *traces* de mobilidade gerados pelas ferramentas *TrGeT* e *VanetMobiSim*. Os arquivos utilitários criados para a análise de desempenho se encontram no repositório GitHub [git].

O cenário de simulação no *VanetMobiSim* é configurado por meio de um arquivo *xml*. O arquivo *scenario_malaga.xml* foi configurado com as mesmas propriedades utilizadas pelo modelo *TrGeT*: tempo de simulação, número de veículos, mapa (Málaga, Espanha) e modelo de mobilidade IDM. No final da execução é gerado o arquivo de *traces* *dumpTraces.tcl*.

Para a simulação do cenário da VANET no NS-2, foi definido um fluxo de dados específico representando as diferentes possibilidades de comunicação existentes entre os

veículos, tomando como base os experimentos realizados em [Toutouh et al. 2012]. O modelo de fluxo de dados executa 10 sessões de um gerador de dados com taxa de bits constante (*constant bitrate* - CBR). Este fluxo opera sobre agentes UDP (*user datagram protocol*) definidos nos nós (veículos). Assim, os veículos interconectados trocam os dados gerados pelos agentes CBR. O tamanho do pacote de dados CBR é 512 bytes a taxa de 4 pacotes/s. O restante dos parâmetros de simulação estão resumidos na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros da simulação NS-2

Parâmetro	Valor	Parâmetro	Valor
Modelo de propagação	<i>Nakagami</i>	Frequência da portadora	5.89 GHz
Largura de banda	6 Mbps	Camada PHY/MAC	802.11p
Camada de roteamento	<i>OLSR</i>	Camada de transporte	<i>UDP</i>
Taxa de transmissão CBR	100 kbps	Intervalo CBR	60 s

Para avaliar a qualidade do modelo *TrGeT*, utilizamos duas métricas de *QoS*, como proposto em [Toutouh et al. 2012]: (i) taxa de entrega de pacotes (*packet delivery ratio* - PDR), correspondente à fração de pacotes de dados originado por um aplicativo completamente e corretamente entregue; (ii) o atraso de fim a fim (*end-to-end delay* - E2ED), que é a diferença entre o tempo em que um pacote de dados é originado por um aplicativo e o tempo que o mesmo é recebido em seu destino.

7.1. Resultados

Na Figura 8 é mostrado o gráfico da variação das médias das velocidades por quantidade de veículos no cenário de simulação. Foram realizadas 10 rodadas de simulação para cada uma das seguintes quantidades de veículos: 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 e 100. O gráfico mostra como a média das velocidades se comporta à medida que a quantidade de veículos aumenta, simulando o comportamento de um engarrafamento.

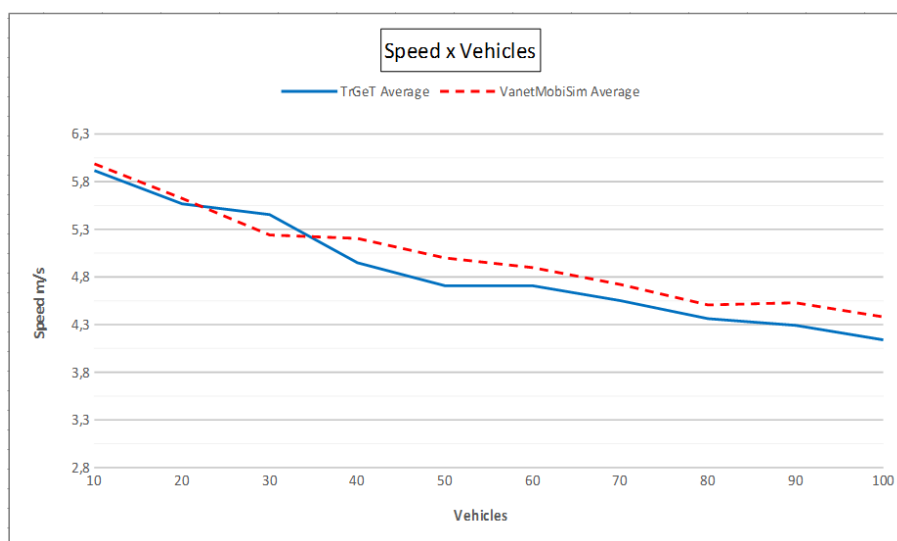


Figura 8. Média das velocidades por quantidade de MHS

Pode-se observar a tendência de diminuição na média das velocidades a medida que a quantidade de veículos é incrementada em ambas as ferramentas. Pelo fato da

aleatoriedade permear toda a simulação (escolha da localização inicial de cada veículo, velocidades desejadas e locais de origem e destino de cada jornada) é esperado que as linhas do gráfico apresentem pontos diferentes para cada ferramenta. Porém, a tendência da diminuição das médias das velocidades também é esperada e é confirmada por meio do gráfico, mostrando o mesmo padrão de comportamento das velocidades nos *traces* gerados por ambas as ferramentas.

Na simulação da VANET no NS-2 os seguintes resultados foram obtidos: a simulação realizada por meio dos *traces* de mobilidade gerados pela ferramenta *TrGeT* apresentou a mediana da PDR de 99,52% e a mediana do E2ED de 3,76 *ms*; a simulação realizada com os *traces* de mobilidade gerados por meio da ferramenta *VanetMobiSim* apresentou a mediana da PDR de 99,99% e a mediana do E2ED de 1,97 *ms*. Os valores das métricas apresentam variações mínimas e de acordo com os encontrados em [Toutouh et al. 2012], validando a ferramenta *TrGeT*. A variação das medianas de PDR e E2ED entre as ferramentas é de 0,47% e 1,79 *ms*, respectivamente.

8. Conclusão

Neste trabalho, foi apresentada a ferramenta *TrGeT*, que tem por objetivo gerar, de forma rápida e com configuração de cenário simplificada, os *traces* de mobilidade usados para simulação de VANETs. Os *traces* gerados, por sua vez, servem como dados de entrada para simuladores de rede.

Constituindo-se em um simulador modelado em RPC, o que sugere grande potencial de expansão e adaptação quando comparado a implementações feitas exclusivamente em linguagem de programação, a ferramenta *TrGeT*, durante a análise de desempenho, mostrou resultados comparáveis ao *VanetMobiSim*. Isto foi verificado por meio do gráfico da variação das médias das velocidades dos veículos por quantidade de veículos, bem como pelo uso do modelo de mobilidade IDM gerado como entrada no simulador de rede NS-2. Como diferencial relativamente a outras ferramentas, pelo fato de ser modelado em RPC, o *TrGeT* permite a depuração da geração de *traces* e a interferência no estado do sistema ao longo da simulação, o que pode ser útil para estudos e análises específicas do modelo de mobilidade utilizado.

Como trabalho futuro pretendemos realizar um estudo minucioso sobre os algoritmos de mobilidade microscópicos CFM para posterior adição à ferramenta *TrGeT*.

References

- [cpn] CPN Tools. <http://cpntools.org/>. [Online; acessado em 22/02/2017].
- [git] GitHub Repository - TrGeT. <https://github.com/lcvasconcelos/trget>. [Online; acessado em 22/02/2017].
- [ope] OpenStreetMap. <https://www.openstreetmap.org>. [Online; acessado em 22/02/2017].
- [tig] TIGER - Topologically Integrated Geographic Encoding and Referencing. https://tigerweb.geo.census.gov/tigerwebmain/TIGERweb_main.html. [Online; acessado em 22/02/2017].
- [Akyildiz et al. 2005] Akyildiz, I. F., Wang, X., and Wang, W. (2005). Wireless mesh networks: a survey. *Computer networks*, 47(4):445–487.

- [Al-Sultan et al. 2013] Al-Sultan, S., Al-Doori, M. M., Al-Bayatti, A. H., and Zedan, H. (2013). A comprehensive survey on vehicular ad hoc network. *Journal of network and computer applications*, 37:380–392.
- [Behrisch et al. 2011] Behrisch, M., Bieker, L., Erdmann, J., and Krajzewicz, D. (2011). Sumo—simulation of urban mobility: an overview. In *Proceedings of SIMUL 2011, The Third International Conference on Advances in System Simulation*. ThinkMind.
- [Camp et al. 2002] Camp, T., Boleng, J., and Davies, V. (2002). A survey of mobility models for ad hoc network research. *Wireless communications and mobile computing*, 2(5):483–502.
- [D. Cabarkapa 2016] D. Cabarkapa, M. M. (2016). Importance of realistic mobility software models for vanets simulations. In *The 7th International Conference - Information Technologies and Education Development - ITRO 2016*.
- [Harri et al. 2009] Harri, J., Filali, F., and Bonnet, C. (2009). Mobility models for vehicular ad hoc networks: a survey and taxonomy. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 11(4).
- [Härri et al. 2006] Härri, J., Filali, F., Bonnet, C., and Fiore, M. (2006). Vanetmobisim: generating realistic mobility patterns for vanets. In *Proceedings of the 3rd international workshop on Vehicular ad hoc networks*, pages 96–97. ACM.
- [Jensen and Kristensen 2009] Jensen, K. and Kristensen, L. M. (2009). *Coloured Petri nets: modelling and validation of concurrent systems*. Springer Science & Business Media.
- [Karnadi et al. 2007] Karnadi, F. K., Mo, Z. H., and Lan, K.-c. (2007). Rapid generation of realistic mobility models for vanet. In *Wireless Communications and Networking Conference, 2007. WCNC 2007. IEEE*, pages 2506–2511. IEEE.
- [Kesting et al. 2010] Kesting, A., Treiber, M., and Helbing, D. (2010). Enhanced intelligent driver model to access the impact of driving strategies on traffic capacity. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 368(1928):4585–4605.
- [Khan et al. 2014] Khan, N., Ahmad, F., and Baig, W. (2014). Formal model of random walk mobility model for wmn using coloured petri nets. In *Applied Sciences and Technology (IBCAST), 2014 11th International Bhurban Conference on*, pages 436–444. IEEE.
- [Khan et al. 2015] Khan, N. A., Ahmad, F., and Khan, S. A. (2015). Sher: a colored petri net based random mobility model for wireless communications. *PloS one*, 10(8):e0133634.
- [Toutouh et al. 2012] Toutouh, J., García-Nieto, J., and Alba, E. (2012). Intelligent olsr routing protocol optimization for vanets. *IEEE transactions on vehicular technology*, 61(4):1884–1894.
- [Treiber et al. 2000] Treiber, M., Hennecke, A., and Helbing, D. (2000). Congested traffic states in empirical observations and microscopic simulations. *Physical review E*, 62(2):1805.

Métricas de Confiabilidade para Análise Espaço-Temporal de Transmissões V2I em Ambientes Urbanos

Bruno Y. L. Kimura¹, Márcio V. Barbosa², Roberto S. Yokoyama³ Valério Rosset¹

¹Instituto de Ciência e Tecnologia (ICT)
Universidade Federal São Paulo (UNIFESP), São José dos Campos - SP

{bruno.kimura, vrosset}@unifesp.br

²Instituto de Pesquisas Eldorado, Campinas - SP

marcio.barbosa@eldorado.org.br

³Departamento Acadêmico de Computação (DACOM)
Universidade Federal Tecnológica do Paraná (UTFPR), Cornélio Procópio - PR

yokoyama@utfpr.edu.br

Abstract. *In this paper, we evaluate the performance of a TCP client/server application from simulations of Drive-Thru Internet opportunistic access in public WiFi hotspots deployed on an urban environment. We observed that the use of Quality of Service (QoS) metrics for evaluating these distributed applications, when generalizing results, it leads to limited analysis of the quality of Vehicle-to-Infrastructure (V2I) transmissions. To overcome such a limitation, we apply new metrics of evaluation such as connection interval, disconnection interval, connectivity rate, and connectivity intermittency rate, which are mapped into the well-known metrics of Dependable Computing such as MTTF, MTTR, Availability, and MTBF, respectively. When looking at the transmissions under the time and space of the vehicles' displacements, we verified that the metrics of dependability can complement and better justify the evaluation from traditional metrics of QoS and, therefore, provide a wider and deeper performance analysis about the quality of V2I transmissions.*

Resumo. *Neste artigo, avaliamos o desempenho de uma aplicação cliente/servidor TCP a partir de simulações de acesso oportunístico de Drive-Thru Internet em Hotspots WiFi públicos implantados em um ambiente urbano. Observamos que apenas o uso de métricas de Qualidade de Serviço (QoS) na avaliação dessas aplicações distribuídas, ao generalizar os resultados, limitam a análise sobre a qualidade das transmissões Veículo-para-Infraestrutura (V2I). Para contornar essa limitação, propomos aplicar novas métricas de avaliação, como intervalo de conexão, intervalo de desconexão, taxa de conectividade e taxa de intermitência de conectividade, as quais são mapeadas nas métricas de confiabilidade bem conhecidas, como MTTF, MTTR, Disponibilidade e MTBF, respectivamente. Ao considerar a transmissão no tempo e espaço de deslocamento dos veículos, verificamos que métricas de confiabilidade permitem complementar e melhor justificar a avaliação por métricas tradicionais de QoS, possibilitando uma análise de desempenho mais ampla e detalhada quanto à qualidade de transmissões V2I.*

1. Introdução

Com o recente aumento na popularidade da Internet das Coisas (IoT - *Internet of Things*) e rumo à Internet de Tudo (IoE - *Internet of Everything*), a necessidade de novas formas de comunicação entre dispositivos variados têm motivado diversos setores da Indústria e Academia. Mais especificamente, na indústria automotiva, a Internet de Veículos (IoV - *Internet of Vehicles*) [Gerla et al. 2014] prevê a existência uma Rede de Comunicação Veicular que permita aos veículos atuarem como dispositivos de comunicação de alta mobilidade. Nesse sentido, a interconexão de veículos em rede possibilita a implementação de inúmeras aplicações de Sistemas de Transporte Inteligentes (ITS - *Intelligent Transportation Systems*), como por exemplo [Papadimitratos et al. 2009]: serviço de Internet móvel; serviço de segurança a partir da detecção e disseminação de eventos de interesse (e.g. alertas sobre condições de tráfego, condições da pista, acidentes, vias impedidas); serviço de suporte para navegação autônoma a partir da disseminação de dados capturados de sensores de veículos (e.g. distância entre veículos, velocidade, aceleração). Para tanto, os veículos devem ser equipados com unidades de bordo (OBUs - *On-board Units*) capazes de comunicar-se entre si e com a infraestrutura de rede móvel local, sendo esses tipos de comunicação denominados, respectivamente, de comunicação entre veículos (V2v - *Vehicle-to-Vehicle*) e comunicação Veículo-para-Infraestrutura (V2I - *Vehicle-to-Infrastructure*). A infraestrutura na comunicação V2I geralmente é composta por unidades de acostamento (RSUs - *Road-side Units*), que atuam como pontos de acesso à Internet implantados às margens de rodovias, ruas e avenidas.

Em ambientes urbanos, a infraestrutura de acesso móvel é comumente disponibilizada por operadoras de rede celular. No entanto, as redes celulares atualmente enfrentam um desafio de escalabilidade para atender o crescimento exponencial do tráfego de dados gerado anualmente nessas redes [Lu et al. 2016]. Esse desafio tem sido atacado com pesquisas em Redes 5G, através de estratégias de mitigação de tráfego a partir de HetNets (*Heterogeneous Networks*) - onde o tráfego de dados da rede celular é descarregado (*offloading*) em células pequenas (*small cells*) providas por estações bases de redes de acesso de pequeno alcance [Bangerter et al. 2014]. A tecnologia de comunicação mais viável para implementar as *small-cells* é o WiFi [Cimmino et al. 2014]. Segundo [Lu et al. 2016], ao operar em bandas de frequência não-licenciadas, o Wi-Fi se tornou surpreendentemente popular com milhões de *hotspots* implantados para acesso público à Internet em todo o mundo. Essa alta penetração de *hotspots* Wi-fi deve-se também ao baixo custo de implantação de pontos de acesso IEEE 802.11 e a sua dupla aplicação, servindo tanto usuários estacionários em ambientes internos (*indoor*) quanto a usuários sob mobilidade em ambientes externos (*outdoor*). Por essas razões, segundo [Lu et al. 2016] e [Cheng et al. 2014], o Wi-Fi torna-se uma ferramenta complementar e bastante atraente para realizar o *offloading* veicular, possibilitando o acesso móvel à Internet quando veículos cruzam a área sob cobertura dos *hotspots*. O uso de *hotspot* WiFi como infraestrutura de acesso móvel veicular, contudo, não é recente [Ott and Kutscher 2004] [Ott and Kutscher 2005] [Bychkovsky et al. 2006]. Esse tipo de acesso oportunístico é conhecido na literatura como *Drive-Thru Internet* [Ott and Kutscher 2004].

Além de serviços críticos para segurança humana no tráfego rodoviário, uma das principais classes de aplicações veiculares que irá usufruir de acessos do tipo *Drive-Thru*

*Internet é a infortainment*¹, possibilitando acesso à informação e entretenimento sobre rodas. Nessa classe, destacam-se as aplicações de download de conteúdo que, segundo [Malandrino et al. 2013], deverão ser amplamente populares entre os usuários de uma rede veicular, por exemplo: motoristas interessados em baixar mapas locais contextualizados com as condições de tráfego atual, passageiros que desejam fazer download de arquivos multimídia e/ou de informação turística da Internet. Essas aplicações, do ponto de vista de Redes de Computadores, pertencem à classe de *Bulk Transfer TCP*, pois envolvem transferência em fluxo contínuo geralmente de grandes volumes de dados entre dois sistemas finais na Internet através do protocolo TCP.

Neste artigo, avaliamos o desempenho dessas aplicações em um ambiente urbano-veicular. Para tal, simulamos uma rede veicular para acesso oportunístico de *Drive-Thru Internet* em um centro urbano, onde a infraestrutura é disponibilizada por *hotspots* Wi-Fi a partir de pontos de acesso IEEE 802.11. Então, avaliamos o desempenho de aplicações distribuídas cliente-servidor TCP em três diferentes cenários: 20, 40 e 80 veículos clientes em movimento realizando download de conteúdo de um servidor estacionário. A partir dos resultados das simulações, observamos que as métricas de QoS unicamente aplicadas na avaliação dessas aplicações não permitem chegar a conclusões mais precisas quanto à qualidade da comunicação observada, uma vez que generalizam os resultados e não levam em conta os diferentes percursos e instantes de deslocamentos dos veículos. Para contornar essa limitação, neste artigo propomos aplicar métricas de confiabilidade de sistemas computacionais para avaliar o desempenho de aplicações distribuídas em ambiente urbano-veicular. A partir da definição de estados de conectividade na transmissão, identificamos os intervalos de conexão, os intervalos de desconexão e o nível de intermitência de conectividade durante o tempo total de percurso dos veículos. Com isso, mapeamos essas métricas nas respectivas métricas bem conhecidas de confiabilidade MTTF (*Mean Time To Failure*), MTTR (*Mean Time To Recovery*) e MTBF (*Mean Time Between Failure*), respectivamente. Verificamos que métricas de confiabilidade, ao relacionar a transmissão ao tempo e espaço de deslocamento do veículo, permitem complementar a avaliação de desempenho por métricas tradicionais de QoS, possibilitando uma análise mais ampla e detalhada sobre a qualidade das transmissões V2I.

O restante deste artigo está organizado em outras mais 5 seções. A próxima seção apresenta detalhes das simulações realizadas. A Seção 3 discute as limitações de métricas de QoS na avaliação de aplicações distribuídas em ambiente urbano-veicular. A Seção 4 descreve em detalhes as métricas de confiabilidade propostas, bem como a respectiva análise dos resultados das simulações. Por fim, a Seção 6 traz as principais conclusões e um direcionamento para trabalhos futuros.

2. Simulação de Ambiente Urbano-Veicular

Nessa seção apresentamos os detalhes do cenário urbano, bem como as suposições sobre o modelo do sistema, configurações de rede e parâmetros utilizados nas simulações. As simulações foram realizadas considerando um número arbitrário de veículos que, durante o período de simulação, realizaram o download de conteúdo (via TCP) a partir de um servidor remoto por meio do modelo comunicação V2I. Para simular a comunicação prevista nesse cenário urbano, foi utilizado o simulador de Omnet++². O tráfego rodoviário

¹Neologismo que combina as palavras *information* e *entertainment*.

²<https://omnetpp.org/>

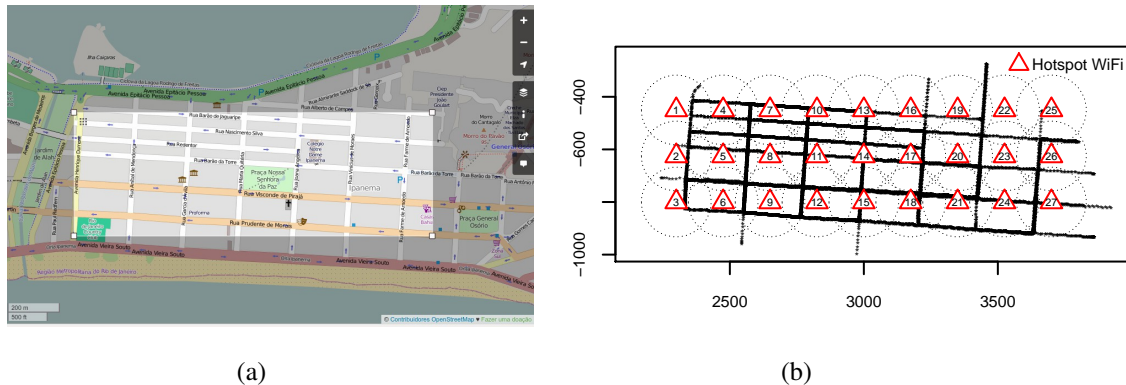


Figura 1. Seleção da área de simulação: (a) imagem do sistema web do OpenStreetMap na seleção da área usada na simulação; (b) gráfico resultante dos percursos realizados pelos veículos no simulador SUMO e a distribuição dos pontos de acesso dos hotspots WiFi na área.

e a mobilidade dos veículos foram simulados pelo SUMO³ (*Simulation of Urban Mobility*). Para integrar os dois simuladores e possibilitar a sincronização de eventos de rede e eventos de tráfego, foi utilizado o *framework* Veins⁴ (*Vehicles in Network Simulation*).

2.1. Cenário Urbano Simulado

O SUMO permite que as simulações sejam realizadas sobre mapas reais. Para tanto, um mapa no formato adequado, contendo as informações de rotas, semáforos, ruas e obstáculos, pode ser obtido pelo serviço fornecido pelo OpenStreetMap⁵ [Haklay and Weber 2008]. A Figura 1(a) ilustra a seleção da área do mapa exportado, que foi utilizada nas simulações. A escolha de uma parte da cidade do Rio de Janeiro, especificamente, alguns bairros entre a Praia de Ipanema e a Lagoa Rodrigo de Freitas, como cenário simulado neste trabalho levou em conta a qualidade da representação da cidade na ferramenta. A área do mapa corresponde a 1,388 Km².

2.2. Rede Veicular de Acesso Drive-Thru Internet

Nesse cenário, as RSUs foram implantadas através de pontos de acesso em *hotspots* WiFi uniformemente distribuídos, de modo a possibilitar ampla área de cobertura para comunicação dos veículos com um servidor de distribuição de conteúdo. Portanto, o cenário caracteriza uma típica simulação de comunicação móvel infraestruturada, conforme o modelo de comunicação V2I. A Figura 1(b) apresenta a sobreposição dos percursos realizados pelos carros nas simulações. Foram definidos 27 pontos de acesso, espaçados a 175 m uns dos outros. Essa configuração foi escolhida e definida manualmente na simulação de forma a garantir cobertura de acesso móvel para que qualquer veículo tenha sinal de alcance de pelo menos um *hotspot* e possa comunicar com o servidor nos pontos trafegáveis.

³http://sumo.dlr.de/wiki/Simulation_of_Urban_MObility_-_Wiki

⁴<http://veins.car2x.org/>

⁵www.openstreetmap.com.br

Embora seja previsto o uso do padrão IEEE 802.11p para comunicação veicular, centros urbanos integrados à Internet são caracterizados por alta densidade de *hotspots* WiFi, os quais são tipicamente implantados por tecnologia convencional de redes locais sem fio por meio dos padrões IEEE 802.11b/g/n. Dessa forma, as RSUs na simulação foram implementadas por pontos de acesso 802.11g, cuja taxa de transmissão nominal da tecnologia é de 54 Mbps⁶. É importante ressaltar que neste trabalho o objeto de estudo é a aplicação de métricas de confiabilidade para uma melhor avaliação de desempenho de aplicações distribuídas que demandam transmissão veicular em V2I. Uma vez que as métricas são independentes de tecnologias de transmissão, a rede veicular poderia ser implementada por qualquer outra tecnologia de comunicação sem fio.

A topologia de rede do cenário urbano ilustrado na Figura 1 consiste em uma única rede IP, em que todos os nós (veículos clientes, pontos de acesso e servidor) estão endereçados. O servidor e cada ponto de acesso estão ligados a um *switch fast ethernet* através de enlaces cabeados de 100 Mbps. Além de os nós pertencerem à mesma rede IP, todos os pontos de acesso são configurados com o mesmo SSID (*Service Set Identifier*). Isso possibilitou que a própria camada de enlace dos pontos de acesso e dos nós móveis tratassem, de forma transparente às camadas superiores, os *handovers* durante os deslocamentos dos veículos entre os diversos *hotspots* WiFi no percurso urbano. Portanto, nas simulações não foi habilitado nenhum mecanismo de gerenciamento de mobilidade para prover tolerância a atraso e desconexões nas aplicações, como em [Kimura et al. 2014].

2.3. Parâmetros de Simulação

Na simulação, a aplicação distribuída de download de conteúdo prevê $n(v)$ veículos clientes realizando download de conteúdo de apenas um nó servidor, onde o número de veículos $n(v)$ foi variado em diferentes experimentos. A tarefa do servidor é: *i*) receber solicitação de estabelecimento de conexão TCP de um veículo cliente; *ii*) receber uma requisição de download de um conteúdo de 5 MB desse cliente; e *iii*) responder, enviando mensagem com o conteúdo solicitado em fluxo contínuo de volta para o cliente. Os veículos foram configurados para, mediante recebimento de um conteúdo, requisitarem um número máximo de 10 conteúdos. Esse volume de dados com transmissão de conteúdos em mensagens 5 MB foi escolhido para caracterizar um cenário de comunicação V2I de download através de aplicações do tipo *Bulk Transfer TCP*.

Para verificar o desempenho da rede veicular na distribuição de conteúdo através de transmissões V2I, foram realizados três experimentos variando $n(v)$ em 20, 40 e 80 veículos. Essas quantidades de veículos foram arbitrariamente definidas, levando em conta a variabilidade desejada em termos de densidade da rede e o custo de execução da simulação. A Tabela 1 resume os principais parâmetros da simulação.

3. Limitações de Métricas de QoS na Avaliação de Transmissões V2I

Frequentemente, a avaliação de desempenho de sistemas distribuídos é realizada sob a perspectiva dos parâmetros de QoS. Particularmente, as aplicações de download de conteúdo, por envolverem transferência de arquivos, são sensíveis à perda de pacotes, enquanto são tolerantes à latência. No contexto de transmissões V2I dessas aplicações, a

⁶Utopicamente sob cobertura de um sinal perfeito.

Tabela 1. Parâmetros da Simulação.

Parâmetros	Descrição
Simuladores:	Omnnet++, Veins, SUMO
Área de Simulação:	780 m × 1780 m
Interface de rede:	IEEE 802.11g
Frequência Tx:	2.4 GHz
Protocolos de Rede:	Pilha TCP/IP
Aplicação veicular:	Download de Conteúdo
Tipo de aplicação:	<i>Bulk Transfer TCP</i>
Arquitetura distribuída:	Cliente-Servidor
Densidades da rede:	20, 40 e 80 veículos
Números de RSUs:	27 WiFi Hotspots 802.11g

vazão torna-se a principal métrica de QoS para avaliação do desempenho das transmissões *downstream* na rede veicular.

A Figura 2(a) apresenta os resultados sumarizados, em gráficos no formato *boxplot*, da vazão (*goodput*) observada nas simulações. Nota-se a evidente proporção inversa entre vazão e densidade da rede. À primeira vista, um dado veículo v_k , estando conectado com o servidor por uma conexão TCP durante todo o seu percurso, poderia realizar downloads de conteúdo a uma vazão média (ponto vermelho) de 613 Kbps em uma rede com 20 veículos, a 413 Kbps em uma rede com 40 veículos e 368 Kbps em uma rede com 80 veículos.

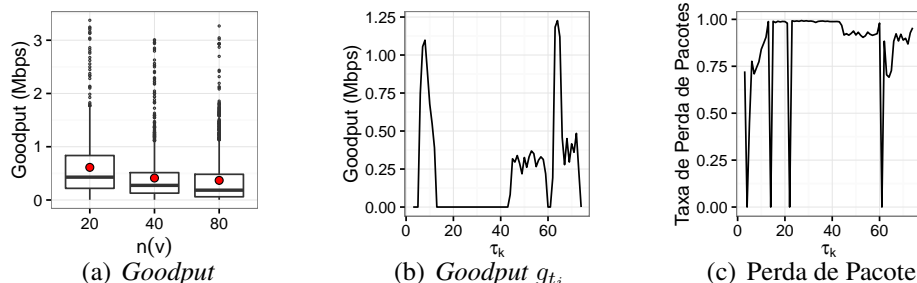


Figura 2. (a) Boxplot da vazão (*goodput*) dos veículos observados nas simulações em diferentes densidades de rede. (b) e (c) Taxas de *goodput* e perda de pacotes observadas no percurso de um veículo v_k .

Entretanto, em uma análise temporal sobre vazão observada por um veículo v_k durante todo o seu tempo de deslocamento τ_k é possível verificar a ocorrência de intervalos consideráveis de ausência total transmissão, conforme observado nos intervalos de *goodput* zero no gráfico da Figura 2(b). A razão disso é a elevada taxa de perda de pacotes observada nos respectivos intervalos sem transmissão do veículo, como mostra o gráfico da Figura 2(c).

Ressalta-se que dois dos principais fatores que influenciam a perda de pacotes são a densidade da rede e a velocidade dos veículos. Reñé *et al.* [Reñé et al. 2011] observou o aumento da taxa de perda de pacotes com o aumento da velocidade dos carros, dada a ocorrência de um maior número de trocas (*handovers*) entre os pontos de acesso. Ning *et al.* [Ning et al. 2012], por sua vez, relacionou o aumento da densidade de nós em redes sem fio com o aumento da perda de pacotes. Há outros problemas de natureza de

transmissão sem fio (e.g. interferência no espectro de rádio no ambiente denso, caminhos múltiplos e desvanecimento do sinal) que podem gerar taxas de perda de pacotes em momentos específicos, anulando a transmissão naquele momento [Lu et al. 2013]. Identificar e discutir esses problemas da transmissão móvel nos resultados das simulações, contudo, estão fora do escopo e dos objetivos deste trabalho.

Nesse contexto, pode haver uma vazão observada na rede veicular que é aceitável por uma determinada aplicação, mas não se pode assumir que a aplicação estará conectada por todo o tempo e que, portanto, poderá se beneficiar de fato dessa vazão durante o deslocamento do veículo. O ponto em questão neste trabalho é que analisar o desempenho de aplicações distribuídas que demandam transmissões V2I unicamente a partir de parâmetros de QoS, devido à generalização dos resultados, pode levar a conclusões parciais, e até inconsistentes, quanto à qualidade das transmissões em diferentes percursos e instantes de deslocamentos dos veículos.

4. Métricas de Confiabilidade para Análise Espaço-Temporal de Transmissões V2I

Com o objetivo de possibilitar conclusões mais precisas a cerca do desempenho dessas aplicações, propomos utilizar métricas de confiabilidade para associar a transmissão V2I ao tempo e espaço de deslocamento do veículo e, então, complementar a avaliação de desempenho por métricas tradicionais de QoS, possibilitando uma análise mais ampla e detalhada.

4.1. Estados de Conectividade Veicular

Consideramos que o tempo de deslocamento veicular, τ , é conhecido e medido em segundos. Neste trabalho, esse tempo se refere ao tempo de simulação do veículo. Durante τ , um veículo pode estar em diferentes estados de conectividade, conforme Definição 1.

Definição 1 (Estados de Conectividade). *Durante a transmissão de fluxo contínuo em um download de conteúdo, um dado veículo v_k em um instante t_i , $t_i \in \tau_k$, pode estar em um dos dois estados: t_i^+ , quando conectado, ou t_i^- , quando desconectado.*

Um estado de conectividade $s(v_k, t_i)$ é definido da seguinte forma:

$$s(v_k, t_i) = \begin{cases} t_i^+, & \text{se } g_{t_i} > 0, v_k \text{ está conectado,} \\ t_i^-, & \text{se } g_{t_i} = 0, v_k \text{ está desconectado,} \end{cases} \quad (1)$$

em que g_{t_i} é taxa de *goodput* em Mbps observada no veículo v_k no segundo t_i . Essa noção de conectividade na transmissão V2I não se refere tecnicamente à conexão TCP. Uma conexão TCP pode estar permanentemente estabelecida entre o veículo e o servidor durante todo o deslocamento τ_k . Entretanto, para uma aplicação de fluxo contínuo, se, por alguma razão, não houver transmissão ou recepção de dados no veículo em um dado instante, i.e. $g_{t_i} = 0$, a conectividade é nula nesse instante e o veículo, na prática, está desconectado.

A Figura 3(a) apresenta os estados de conectividade na simulação durante o deslocamento do veículo v_k (o mesmo discutido na Figura 2 da seção anterior) e o posicionamento dos pontos de acesso de *hotspots* WiFi mais próximos no seu percurso. Embora

havendo cobertura de acesso provido pelos *hotspots*, observa-se espaços contínuos de desconexão, identificados na figura pelos estados t_i^- (círculos vermelhos). A razão por tal desconexão foi discutida na seção anterior, a partir das taxas de perda de pacotes apresentadas na Figura 2(c). As Figuras 3(a) e 3(b) complementam as observações temporais desse veículo v_k com observações espaciais das taxas de *goodput* e perdas de pacotes através de mapas de calor, permitindo identificar os trechos de maior e menor intensidade.

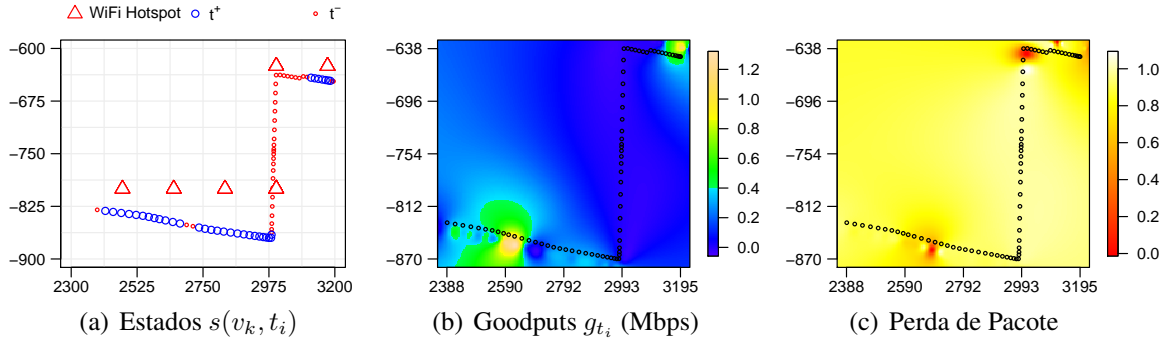


Figura 3. Mapas de calor para vazão e perda de pacotes observadas no deslocamento de um veículo v_k .

4.2. Taxa de Conectividade Veicular

Os intervalos de tempo sob os estados de conectividade podem ser quantificados para determinar uma taxa total de conectividade ou desconectividade observada no veículo v_k durante seu deslocamento τ_k , conforme Definição 2.

Definição 2 (Intervalos de Conectividade). *Seja $\Delta\tau_k = \{\delta t_1, \dots, \delta t_m\}$ um conjunto de intervalos de tempos $\delta t_j = t_a - t_b \mid a > b, \forall t \in \tau_k$. Os conjuntos contendo os intervalos de tempo em que o veículo esteve conectado e desconectado durante τ_k são $\Delta\tau_k^+$ e $\Delta\tau_k^-$, respectivamente.*

A taxa r de conectividade ou desconectividade a partir de um conjunto de intervalos observados é

$$r(\Delta\tau) = \frac{\sum_{j=1}^{n(\Delta\tau)} \delta t_j}{\tau}, \quad (2)$$

em que $n(v) = |v|$, representa o número de elementos do conjunto v . Portanto, $r(\Delta\tau_k^+)$ e $r(\Delta\tau_k^-)$ representam as taxas de conectividade e desconectividade do veículo v_k , respectivamente. A Figura 3(a) permite a visualização no espaço e tempo do conjunto $\Delta\tau_k^+$ observado, onde um círculo representa uma medição por segundo. Nesse exemplo amostral de v_k , durante o tempo de deslocamento $\tau_k = 71$ s, v_k esteve conectado por três intervalos conforme $\Delta\tau_k^+ = \{7$ s, 16 s, 12 s $\}$ (sequências de círculos azuis), bem como o conjunto $\Delta\tau_k^- = \{2$ s, 31 s, 2 s, 1 s $\}$, com 4 intervalos de desconexão (sequências de círculos vermelhos).

Uma vez definida a taxa de conectividade do veículo, é possível utilizá-la como métrica para avaliar as transmissões veiculares em função do tempo total de deslocamento

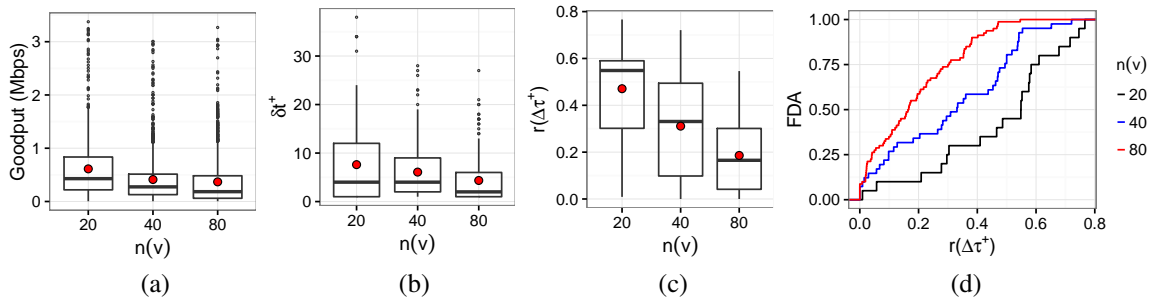


Figura 4. Análise espaço-temporal de transmissões V2I em diferentes densidades de rede $n(v)$: (a) *goodput* observado (b) boxplot dos intervalos de conexão $\Delta\tau^+$ em segundos, (c) taxa de conectividade $r(\Delta\tau^+)$, (d) função de distribuição acumulada das taxas de conectividade .

dos veículos no ambiente urbano. Assumindo a desconexão como uma falha, do ponto de vista da confiabilidade de sistemas [Reussner et al. 2003], o intervalo de conectividade $\Delta\tau^+$ é o período em que o sistema permaneceu ativo (*uptime*), portanto, refere-se a métrica MTTF (*mean time to failure*). O tempo de desconexão $\Delta\tau^-$, por sua vez, é o tempo de inatividade (*downtime*), sendo equivalente ao MTTR (*mean time to recovery*). Considerando que a disponibilidade (*availability*) de um sistema é a porção de tempo em que o sistema permaneceu ativo em relação ao tempo total de sua execução, i.e. $\frac{MTTF}{MTTF+MTTR}$, a taxa de conectividade $r(\Delta\tau_k^+)$ é, portanto, equivalente à métrica de disponibilidade aplicada ao tempo total de deslocamento de um veículo.

A Figura 4 apresenta uma análise espaço-temporal dos resultados obtidos nas simulações. A Figura 4(a) se refere a mesma vazão apresentada na Figura 2(a), a qual foi trazida para a Figura 4 para facilitar visualização e discussão dos resultados. A Figura 4(b) sumariza os intervalos de conectividade $\delta t^+ \in \Delta\tau^+$ observados em diferentes densidades de veículos $n(v)$ nas simulações realizadas. Observam-se intervalos de conectividade predominantemente baixos, com mediana inferior a 5 s, havendo degradação com o aumento da densidade da rede para 40 e 80 veículos. Pelos gráficos das Figuras 4(b) e 4(c), pode-se verificar a considerável influência da densidade da rede na taxa de conectividade dos veículos. Considerando as medianas observadas, na simulação com densidade de rede $n(v) = 20$ veículos, os veículos permaneceram conectados por 58 % do tempo total τ de deslocamentos. Aumentando a densidade para 40 e 80 veículos, a mediana cai drasticamente, levando aos percentuais de apenas 32 % e 18 % de conectividade durante os percursos dos veículos, respectivamente. Do ponto de vista da confiabilidade, esses resultados apresentam um sistema de transmissão veicular de baixa disponibilidade, onde a atividade dos nós é inferior a 50 % do tempo em dois dos três cenários observados.

Complementando a análise a partir das métricas de QoS, pode-se, agora, verificar que a vazão observada na Figura 4(a) se refere apenas aos intervalos de conexão δt^+ da Figura 4(b) e, portanto, está associada a taxa de conectividade $r(\Delta\tau^+)$ da Figura 4(c). A partir das métricas de confiabilidade, uma releitura mais conclusiva dos resultados das simulações é possível: *i*) na rede veicular de densidade 20, pelo menos metade dos veículos permaneceu conectada por 58 % do tempo e, em intervalos médios de conexão de 7.6 s, os veículos conectados realizaram download a uma taxa média de 613 Kbps; *ii*) na rede com 40 veículos, pelo menos metade dos veículos obteve vazão média de 413 Kbps

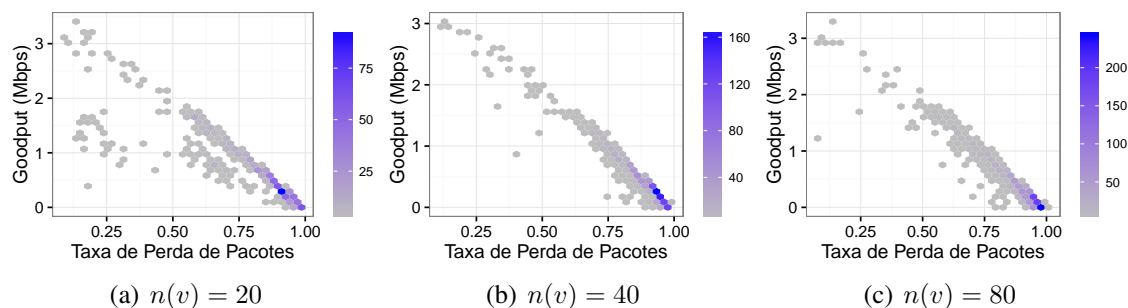


Figura 5. Relação entre *goodput* e perda de pacotes e as frequências observadas em cada simulação.

durante intervalos médios de conectividade de 6.1 s em apenas 32 % do tempo; e *iii*) na rede com 80 veículos, em apenas 18 % do tempo, metade dos veículos realizou download em taxa média de 368 Kbps durante intervalos médios de conectividade de 4.4 s.

O fato observado nas simulações foi que a desconectividade espaço-temporal foi predominantemente causada pela respectiva taxa elevada de perda de pacotes. Tal fato pôde ser observado com os resultados amostrais de um dado veículo v_k nas Figuras 2 e 3. Essa correlação entre *goodput* e taxa de perda de pacotes torna-se evidente ao considerar os resultados observados de todos veículos em diferentes densidades de rede nas simulações realizadas, conforme apresentam os gráficos da Figura 5. Portanto, nas simulações realizadas, considerando o cenário urbano, a tecnologia de transmissão, o posicionamento dos pontos de acesso dos *hotspots* WiFi e a aplicação distribuída, observou-se que, quanto mais veículos há na rede, maior é a taxa de perda de pacotes, conseqüentemente, menor é a taxa de conectividade $r(\Delta\tau^+)$ dos nós.

4.3. Nível de Intermitência de Conectividade Veicular

Nas transmissões V2I de aplicações baseadas em TCP, a ausência de transmissão efetiva durante os intervalos $\Delta\tau^-$ impede a chegada das confirmações ACK no servidor, forçando o mesmo a iniciar o mecanismo *keepalive* com envio *probes* ao veículo cliente para verificar sua disponibilidade. Em estado de perda de pacotes na rede, esses *probes* não chegarão ao veículo cliente e, após um número *probes* não confirmados pelo veículo, o servidor encerra a sessão TCP. Em sistemas Linux, os parâmetros do TCP relacionados ao *keep-alive* são configurados, por padrão, com valores de tempo excessivamente elevados⁷, os quais são reconfigurados pelas aplicações, conforme valor de temporização de interesse. Para rápida detecção da indisponibilidade de aplicações em dispositivos móveis, parâmetros do *keepalive* do TCP precisam ser reduzidos ao mínimo possível [Kimura et al. 2010].

Nesse contexto, os intervalos de desconexões $\Delta\tau^-$, pela ausência de transmissão entre os sistemas finais, podem levar ao estouro de temporizadores de *keepalive* do TCP que são configurados por essas aplicações, conseqüentemente, levando à ruptura das sessões TCP entre os veículos clientes e o servidor. Para definição de algoritmos mais eficientes para tolerância a atrasos e desconexões em aplicações móveis [Kimura et al. 2014], é importante conhecer quão frequente ocorrem os intervalos de desconexões $\Delta\tau^-$ durante

⁷O envio de *probes* é iniciado após ociosidade de 2 horas na conexão TCP; após iniciar, *probes* são enviados em intervalos de 75 s; após 9 *probes* sem resposta do par remoto, a conexão é encerrada pelo par local.

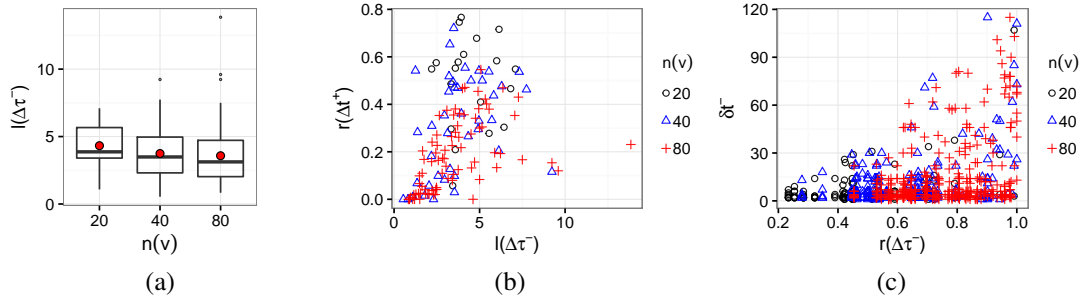


Figura 6. Análise dos níveis de intermitência de conectividade $l(\Delta\tau^-)$ observados nas simulações.

a mobilidade. Para tal, um nível l de intermitência de conectividade pode ser indicado pelo número de intervalos de desconexões observados por minuto:

$$l(\Delta\tau^-) = \frac{n(\Delta\tau^-)}{\tau/60}, \quad (3)$$

onde $n(\Delta\tau^-)$ é o número de intervalos de desconexão δt^- .

Do ponto de vista da confiabilidade de sistemas [Reussner et al. 2003], assumindo a desconexão como falha, o nível de intermitência de conectividade, embora aqui medido em desconexões por minuto, é uma métrica equivalente ao MTBF (*mean time between failure*), que indica o tempo médio de ocorrência de falhas. Considerando que uma das razões da desconexão é *handover* entre pontos de acesso, o nível de intermitência pode indicar a frequência de saltos do veículo durante os acessos oportunistas a partir dos diversos *hotspots* WiFi no percurso.

Nos resultados obtidos das simulações, o nível de intermitência de conectividade não teve variação significativa, apresentando mediana entre 3 e 4 intervalos de desconexões por minuto, conforme mostra a Figura 6(a). A Figura 6(b) indica uma tendência de o aumento da taxa de conectividade do veículo ocorrer conforme o aumento do nível de intermitência de conexão. Embora, à primeira vista pareça contraditória, essa relação foi observada nas simulações devido ao intervalo de desconexão $\delta t^- \in \Delta\tau^-$ também aumentar conforme a taxa de desconexão $r(\Delta\tau^-)$, como mostra o gráfico da Figura 6(c). Isso significa que as taxas elevadas de desconexão foram decorrentes de intervalos maiores de desconexão δt^- e não por níveis elevados de intermitência de conexão $l(\Delta\tau^-)$.

5. Trabalhos Relacionados

Silva e Meira [Silva and Meira 2015] propuseram a métrica *Delta Network* $\Delta_{\rho_2}^{\rho_1}$ para auxiliar no projeto de novas redes veiculares, possibilitando a identificação de melhores estratégias de implantação de infraestrutura de rede. Para tanto, os autores definem Δ como uma relação entre um fator ρ_1 de duração de conectividade experimentada por veículos e um percentual ρ_2 de veículos que apresentam essa duração de conectividade na rede. De modo similar ao parâmetro ρ_1 , propomos a taxa $r(\Delta\tau^+)$ para identificar um fator $0 \leq r \leq 1$ de conectividade obtida a partir dos intervalos de conexões $\Delta\tau^+$ experimentados pelos veículos durante suas trajetórias. Enquanto $\Delta_{\rho_2}^{\rho_1}$ é uma métrica para

avaliar a abrangência da operação de rede a partir de uma infraestrutura implantada, e vice-versa, utilizamos $r(\Delta\tau^+)$ como taxa de disponibilidade do nó veicular a partir de parâmetros de confiabilidade MTTF e MTTR, juntamente com MTBF mapeado em nível de intermitência de conectividade $l(\Delta\tau^-)$, para complementar a avaliação de desempenho de aplicações distribuídas em rede veicular apoiada às métricas tradicionais de QoS.

Recentemente Lu *et al.* [Lu et al. 2016] propuseram um *framework* para analisar o custo efetivo do acesso *drive-thru* WiFi por veículos em cidades. Duas métricas são consideradas. A primeira é o custo TCO (*total cost of ownership*) da rede, que inclui os gastos de capital (ocorridos uma única vez em fase de implantação) e gastos de custeio (recorrentes para manter a rede operacional). A segunda métrica é o fator NSD (*normalized service delay*), que reflete a degradação de QoS de uma rede Wi-Fi em relação a correspondente efetividade de custos. O *framework* possibilita quantificar tanto o TCO que pode ser economizado por operadoras de rede móvel celular, quanto a degradação de serviço NSD que os usuários veiculares poderão tolerar com as rede WiFi. No mesmo direcionamento de [Silva and Meira 2015], as métricas TCO e NSD de Lu *et al.* [Lu et al. 2016] são utilizadas para avaliar a rede veicular, especificamente, identificar o custo de implantação da rede acesso *drive-thru* WiFi em relação à satisfação do usuário a partir de uma possível degradação da qualidade do serviço. De forma semelhante, nossas métricas propostas são aplicadas na avaliação de redes veiculares disponibilizadas por *drive-thru* WiFi. Entretanto, nosso trabalho se difere das métricas de TCO e NSD, pois utilizamos métricas de confiabilidade para melhor justificar métricas de QoS na avaliação do desempenho de aplicações distribuídas que demandam transmissão V2I nessas redes.

Ott e Kutscher [Ott and Kutscher 2004] [Ott and Kutscher 2005] reportaram os primeiros resultados de desempenho obtidos em transmissões reais por acesso *drive-thru* Internet a partir de um veículo em uma rodovia. Em [Ott and Kutscher 2004], os autores demonstram que a tecnologia 802.11 pode ser usada para comunicação veicular, obtendo uma taxa média de transferência dados de 6.4Mbps com o veículo a uma velocidade de 120 km/h. Em [Ott and Kutscher 2005], os autores avaliam a tecnologia 802.11b no acesso à Internet de um veículo a partir de um ou dois pontos de acessos. Ao analisar os protocolos de transporte UDP e TCP, os autores observaram que o UDP obteve resultados piores para as transmissões originadas do veículo para o ponto de acesso, se comparadas às taxas da comunicação do ponto de acesso para o veículo; enquanto no protocolo TCP, essa diferença não foi significativa. Os autores observaram a relação inversa entre velocidade e vazão, que é causada pelo maior ou menor tempo de contato com o ponto de acesso de acordo com uma menor ou maior velocidade do nó, respectivamente.

Posteriormente Rubinstein *et al.* [Rubinstein et al. 2009] também investigaram o desempenho de transmissões veiculares em experimentos reais com aplicações TCP e UDP. Dentro de um campus universitário, os experimentos consistiram em dois veículos trafegando em direções opostas se comunicando em modo V2V. Variando a velocidade dos veículos e o tamanho do pacote, os autores avaliaram métricas de QoS, como vazão e taxa de erro, além do tempo de contato entre-veículos e o total de bytes transferidos. Contatos de até 45 s, picos de vazão superiores a 6.0 Mbps de veículos lado-a-lado e taxas médias que variaram de 0 a 25 % de erro possibilitaram condições para transferência V2V de alguns MBytes de dados entre os dois veículos. Diferente de Rubinstein *et al.*, tal desempenho em QoS não foi observado em nossas simulações, pois *i*) consideramos

um cenário urbano denso no número de veículos e sujeito a interferências, *ii*) avaliamos transmissões V2I de downstream veicular.

Nosso trabalho se difere de [Ott and Kutscher 2004] [Ott and Kutscher 2005] e [Rubinstein et al. 2009] ao aplicar métricas de QoS e de confiabilidade na avaliação de transmissões V2I resultantes de simulações de $20 \leq n(v) \leq 80$ veículos em um ambiente urbano, cuja infraestrutura de rede é provida por 27 *hotspots* WiFi 802.11g. Evidentemente, os ambientes analisados se diferem também em escala, tanto na densidade de veículos quanto no número pontos de acesso. Por essa razão, as taxas elevadíssimas de perda de pacotes que foram observadas nas nossas simulações no ambiente urbano-veicular não ocorreram nas transmissões reais de [Ott and Kutscher 2004] [Ott and Kutscher 2005] [Rubinstein et al. 2009] de um único veículo em rodovia, o que justifica a tamanha diferença entre as vazões observadas.

6. Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste trabalho, propomos aplicar métricas de confiabilidade para melhor avaliar o desempenho de aplicações distribuídas que demandam transmissões V2I. Partimos da definição de estados de conectividade na transmissão para identificar outros parâmetros de avaliação, como os intervalos de conexão, os intervalos de desconexão e o nível de intermitência de conectividade durante o tempo total de percurso dos veículos. Com isso, pudemos mapear esses parâmetros nas respectivas métricas bem conhecidas de confiabilidade, como MTTF, MTTR e MTBF, respectivamente. A partir de simulações de aplicações cliente/servidor TCP para download de conteúdo em rede urbano-veicular de acesso *drive-thru* WiFi, verificamos que métricas de confiabilidade, ao ponderar as métricas tradicionais de QoS no espaço e no tempo de deslocamento dos veículos, permitem uma análise de desempenho mais ampla e detalhada.

Embora possibilitando uma melhor avaliação de desempenho, o uso de métricas de QoS complementadas com métricas de confiabilidade ainda não refletem o impacto da qualidade das transmissões V2I em relação à Qualidade de Experiência (QoE) dos usuários. Como trabalhos futuros, pretende-se ampliar a avaliação desempenho de aplicações distribuídas em ambientes urbano-veiculares, mapeando também as métricas de QoE.

Agradecimentos

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processo #2015/18808-0.

Referências

- Bangerter, B., Talwar, S., Arefi, R., and Stewart, K. (2014). Networks and devices for the 5g era. *IEEE Communications Magazine*, 52(2):90–96.
- Bychkovsky, V., Hull, B., Miu, A., Balakrishnan, H., and Madden, S. (2006). A measurement study of vehicular internet access using in situ wi-fi networks. In *Proceedings of the 12th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, MobiCom '06, pages 50–61. ACM.
- Cheng, N., Lu, N., Zhang, N., Shen, X. S., and Mark, J. W. (2014). Vehicular wifi offloading: Challenges and solutions. *Vehicular Communications*, 1(1):13–21.

- Cimmino, A., Pecorella, T., Fantacci, R., Granelli, F., Rahman, T. F., Sacchi, C., Carlini, C., and Harsh, P. (2014). The role of small cell technology in future smart city applications. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 25(1):11–20.
- Gerla, M., Lee, E.-K., Pau, G., and Lee, U. (2014). Internet of vehicles: From intelligent grid to autonomous cars and vehicular clouds. In *IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, pages 241–246.
- Haklay, M. and Weber, P. (2008). Openstreetmap: User-generated street maps. *IEEE Pervasive Computing*, 7(4):12–18.
- Kimura, B. Y. L., Guardia, H. C., and d. S. Moreira, E. (2014). A session-based mobile socket layer for disruption tolerance on the internet. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 13(8):1668–1680.
- Kimura, B. Y. L., Yokoyama, R. S., Lopes, R. R. F., Guardia, H. C., and Moreira, E. S. (2010). Prototyping applications to handle connection disruptions in end-to-end host mobility. In *2010 Seventh International Conference on Wireless On-demand Network Systems and Services (WONS)*, pages 1–8.
- Lu, N., Cheng, N., Zhang, N., Shen, X. S., Mark, J. W., and Bai, F. (2016). Wi-fi hotspot at signalized intersection: Cost-effectiveness for vehicular internet access. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 65(5):3506–3518.
- Lu, N., Zhang, N., Cheng, N., Shen, X., Mark, J. W., and Bai, F. (2013). Vehicles meet infrastructure: Toward capacity–cost tradeoffs for vehicular access networks. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 14(3):1266–1277.
- Malandrino, F., Casetti, C., Chiasserini, C. F., and Fiore, M. (2013). Optimal content downloading in vehicular networks. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 12(7):1377–1391.
- Ning, J., Singh, S., Pelechrinis, K., Liu, B., Krishnamurthy, S. V., and Govindan, R. (2012). Forensic analysis of packet losses in wireless networks. In *2012 20th IEEE International Conference on Network Protocols (ICNP)*, pages 1–10.
- Ott, J. and Kutscher, D. (2004). Drive-thru internet: Ieee 802.11b for “automobile”users. In *IEEE INFOCOM 2004*, volume 1, page 373.
- Ott, J. and Kutscher, D. (2005). Exploiting regular hot-spots for drive-thru internet. In *Kommunikation in Verteilten Systemen (KiVS)*, pages 218–229. Springer.
- Papadimitratos, P., Fortelle, A. D. L., Evenssen, K., Brignolo, R., and Cosenza, S. (2009). Vehicular communication systems: Enabling technologies, applications, and future outlook on intelligent transportation. *IEEE Communications Magazine*, 47(11):84–95.
- Reñé, S., Ganan, C., Caubet, J., Alins, J., Mata, J., and Munoz, J. L. (2011). Analysis of video streaming performance in vehicular networks. In *The First International Conference on Advanced Communications and Computation, INFOCOMP*, volume 10, page 2011.
- Reussner, R. H., Schmidt, H. W., and Poernomo, I. H. (2003). Reliability prediction for component-based software architectures. *Journal of Systems and Software*, 66(3):241–252.
- Rubinstein, M. G., Abdesslem, F. B., Amorim, M. D. D., Cavalcanti, S. R., Alves, R. D. S., Costa, L. H. M. K., Duarte, O. C. M. B., and Campista, M. E. M. (2009). Measuring the capacity of in-car to in-car vehicular networks. *IEEE Communications Magazine*, 47(11):128–136.
- Silva, C. M. and Meira, W. (2015). Evaluating the performance of heterogeneous vehicular networks. In *Vehicular Technology Conference (VTC Fall), 2015 IEEE 82nd*, pages 1–5.

Um Protocolo de Disseminação de Dados Geo-Orientado em Redes Veiculares

Luiz Henrique C. Silva¹, Raquel A. F. Mini¹, Felipe D. Cunha¹

¹Departamento de Ciência da Computação
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-Minas)

lhcsilva@sga.pucminas.br, raquelmini@pucminas.br, felipe@pucminas.br

Abstract. *Vehicular networks are a promising type of mobile networks that allow communication among vehicles, roadside structures, and the Internet. Many of the applications in VANETs requires the network capacity of catch up many vehicles; a task called data dissemination. In this way, this work shows the development of a proposal solution to data dissemination in vehicular ad hoc networks with a local approach, multi-hop and geo-oriented. Several methods found in the literature depart from the choice of the best retransmitter vehicles as a strategy for a better performance in the data dissemination. Most of the time, these strategies are based on communication between vehicles for the election of the relay vehicles. This decision causes an overhead that can be avoided. In this work we propose an approach that is also concerned with finding the best retransmitters, however, establishing parameters for purely local decision making. Taking into account the simulations with low-density ranging to high densities the approach presents a good delivery rate, keeping the transmission rate low, ensuring an excellent performance to the network.*

Resumo. *Redes veiculares são um tipo promissor de rede móvel que permite comunicação entre veículos, estruturas físicas nas estradas e a Internet. Várias aplicações em redes veiculares exigem a capacidade da rede de alcançar muitos veículos o que é objetivo da atividade de disseminação de dados. Dessa forma, este trabalho mostra o desenvolvimento de uma proposta de solução para disseminação de dados em redes veiculares com uma abordagem puramente local, multi-hop e geo-orientada. Diversas abordagens encontradas na literatura partem da escolha dos melhores veículos retransmissores como estratégia para um melhor desempenho na disseminação de dados. Na maioria das vezes, essas estratégias se baseiam na comunicação entre os veículos para a eleição dos veículos retransmissores. Essa decisão provoca um overhead que pode ser evitado. Neste trabalho propomos uma abordagem que também preocupa-se em encontrar os melhores veículos retransmissores, entretanto, estabelecendo parâmetros para uma tomada de decisão puramente local. Partindo de simulações com baixa densidade de veículos e evoluindo a cenários densos, percebeu-se que a abordagem consegue uma boa taxa de entrega mantendo baixo o número de transmissões feitas, dessa forma melhorando o desempenho da rede.*

1. Introdução

Redes veiculares (*Vehicular Ad Hoc Networks* - VANETs) são um tipo de redes formadas por veículos automotores com capacidade de comunicação, processamento e sensoriamento.

Nessas redes, os nós podem ser carros, ônibus, motos e outros veículos com interface de comunicação sem fio. Esses nós podem obter dados através da comunicação com outros veículos (*Vehicle-to-Vehicle, V2V*), com infraestruturas (*Vehicle-to-Infrastructure, V2I*) ou ainda através da Internet. Redes veiculares têm sido objeto de vários estudos, devido ao seu grande potencial em oferecer melhorias nos serviços de transporte, tráfego seguro, entretenimento, além da contribuição para o desenvolvimento de cidades inteligentes.

Algumas aplicações em redes veiculares exigem baixa latência na comunicação e que a mensagem alcance um número esperado de veículos. Por exemplo, a notificação rápida de um acidente em uma rodovia permitiria que os motoristas próximos se deslocassem com cautela. Os mais distantes seriam capazes de mudar sua trajetória a fim de evitar congestionamento, e os serviços de urgência poderiam ser alertados a iniciarem os trabalhos de deslocamento antes que uma ligação telefônica os acionasse. Em outro contexto, algumas aplicações podem ter como objetivo atingir apenas alguns nós da rede, nós esses que estão numa região de interesse (*Region of Interest, ROI*). Por exemplo, pode interessar a um comerciante que os motoristas num raio de alguns quilômetros saibam da ocorrência de evento promocional nos próximos minutos, mas não é seu objetivo que essa mensagem alcance o outro lado da cidade. Essa tarefa é conhecida como disseminação de dados e consiste no envio de mensagens a partir de uma fonte para todos os veículos localizados dentro de uma região geográfica [Cunha et al. 2014a]. A disseminação de dados tem como objetivo alcançar muitos nós da rede numa *ROI*, com uma baixa latência na transmissão.

Uma importante característica das redes veiculares é a apresentação de topologia dinâmica. Devido à mobilidade dos nós, conhecer suas posições e distâncias entre eles não é uma tarefa simples, o que torna a disseminação de dados um desafio. Além disso, dois importantes problemas desafiam os pesquisadores em *VANETs*. Primeiro, o conhecido como *broadcast storm problem*, consiste num elevado número de colisões de pacotes em razão de muitos nós próximos efetuando transmissões ao mesmo tempo, ocasionando um alto tráfego de dados, congestionamento da rede e eventual interrupção de serviço na camada de controle de acesso ao meio [Williams and Camp 2002]. O segundo, conhecido como *intermittently connected network problem*, consiste na existência de partições na rede que impedem que alguns nós recebam os pacotes, basicamente por não terem vizinhos próximos o suficiente para encaminhar a informação [Spyropoulos et al. 2008]. Este cenário é muito comum em cidades onde o número de veículos é muito pequeno ou mesmo em dias e horários de pouco tráfego, seja em um período de férias ou mesmo durante a madrugada.

Uma solução genérica que é capaz de contornar esses problemas mencionados e que garante bom desempenho da disseminação de dados em todos os cenários provavelmente se tornará uma referência, garantindo a entrega das mensagens e promovendo um avanço factível nos estudos em redes veiculares, afinal, diversas das aplicações dependem da atividade de disseminação. Diante da busca por este protocolo ideal, as estratégias utilizadas para alcançá-lo variam bastante. Algumas abordagens escolheram o tempo de espera para retransmissão como a variável fundamental para inibir o *broadcast storm problem*. Dado o envio de uma mensagem por um nó fonte f com um raio de alcance r , para que não haja colisões nas retransmissões efetuadas pelos nós alcançados em r , os tempos entre retransmissões são diferentes, definidos a partir de alguma lógica bem elaborada. Nesta estratégia o importante é a lógica utilizada para determinar o tempo que cada nó

espera. Mas é importante observar que algumas aplicações são extremamente sensíveis ao tempo, e a utilização dessa abordagem não é indicada por depender da espera. Uma outra estratégia para a retransmissão da mensagem enviada por f é baseada em probabilidade. Nessas soluções, os estudiosos buscam através de análises estatísticas e de redes sociais escolher os nós retransmissores ideais, de maneira que apenas alguns nós, os melhores ou mais recomendados, recebam a tarefa de retransmitir a mensagem.

Diante deste contexto, o objetivo deste trabalho é apresentar, em duas versões, um novo protocolo de disseminação de dados cujos algoritmos implementados tratam informações espaciais criando um mecanismo que mistura as duas abordagens anteriores sem qualquer *overhead* na comunicação. A primeira versão, baseada em tempo de retransmissão, apresentará uma estratégia para o cálculo dos tempos de cada nó eleito retransmissor, de forma a atender as demandas de aplicações não sensíveis ao tempo. De maneira semelhante, a versão probabilística apresentará uma estratégia para determinar qual a probabilidade de retransmissão obtida por um determinado veículo de acordo com sua localização, velocidade e direção. As duas versões possuem duas etapas. Primeiro, estabelecer localmente critérios para eleição de nós retransmissores de forma que alguns nós sejam descartados dessa tarefa, em seguida, para cada uma das versões, decidir o tempo ou probabilidade para a retransmissão da mensagem. Nesta proposta os veículos são capazes de tomar todas as decisões localmente, dessa forma não ocorre nenhum *overhead* na comunicação, como acontece em soluções que exigem o conhecimento da localização ou demais informações dos vizinhos.

O restante deste trabalho está organizado da seguinte forma. A Seção 2 apresenta uma visão geral dos trabalhos relacionados encontrados na literatura. A Seção 3 apresenta a solução proposta descrevendo detalhes técnicos. A Seção 4 apresenta o ambiente de simulação, a metodologia de testes e os resultados obtidos com a simulação. Finalizando, a Seção 5 apresenta a conclusão do trabalho e direções futuras.

2. Trabalhos Relacionados

A forma mais simples conhecida para disseminação de dados em redes veiculares é através do mecanismo de *flooding*, como mostrado por [Tseng et al. 2002]. Neste mecanismo, uma fonte S inicia a transmissão de uma mensagem m a todos os veículos no seu raio de alcance. Cada veículo alcançado por S efetua a retransmissão de m também a todos que estão em seu raio de alcance. Estas retransmissões ocorrem sucessivamente até que a rede seja inundada com os pacotes. Esta abordagem é bem simples mas sofre do conhecido *broadcast storm problem*. A literatura apresenta uma vasta gama de soluções para a disseminação de dados que utilizam mecanismos diferentes de *flooding* e diversos que implementam melhorias neste mecanismo. Num estudo bem amplo a respeito dos problemas causados pelo excesso de retransmissões, em [Tseng et al. 2002] os autores apresentaram diferentes esquemas que, devido às diversas possibilidades de variações, são considerados como famílias de soluções para disseminação de dados em MANETs (*Mobile Ad Hoc Networks*), um campo que engloba as VANETs. Além disso esse trabalho apresenta uma taxonomia para classificação destas soluções, que serão apresentadas a seguir.

2.1. Probabilistic Scheme

Esta classe de soluções explora a probabilidade como uma forma intuitiva de reduzir o número de retransmissões. Define-se que os veículos tenham uma probabilidade P de efetu-

arem retransmissões, dessa forma veículos mais interessantes para retransmissões recebem P mais próximo de 1. Nota-se que quando $P = 1$ para todos os veículos, o mecanismo se comporta como o algoritmo de *flooding*. Exemplos de protocolos desta família podem ser vistos em [Drabkin et al. 2007, Bakhouya et al. 2011]. Em [Bakhouya et al. 2011] os autores contam a quantidade de vezes que os veículos recebem uma mensagem para determinarem a probabilidade P de retransmitirem.

2.2. Counter-Based Scheme

Este mecanismo de transmissão explora o conhecimento que os veículos têm das retransmissões feitas por seus vizinhos. Enquanto um veículo aguarda para retransmitir uma mensagem, ele pode receber a mesma mensagem repetidas vezes de seus vizinhos. Através da definição de um limiar k ideal, se o veículo recebe a mensagem que quer retransmitir k vezes antes de retransmitir, cancela sua retransmissão. Isso ocorre devido à percepção de que sua retransmissão não trará benefício algum para a rede. O protocolo AID visto em [Bakhouya et al. 2011] possui um mecanismo híbrido que utiliza a contagem das mensagens recebidas para o cálculo da probabilidade de retransmitir.

2.3. Distance-Based Scheme

Neste esquema, os veículos usam a distância relativa entre eles para a tomada de decisão sobre a retransmissão. Dado que uma fonte S efetua a transmissão de uma mensagem e um veículo V recebe esta mensagem, V verifica sua distância de S . Enquanto mais próximo de S , menor a cobertura adicional de V , o que leva a crer que uma retransmissão não alcançará muitos novos veículos. Em contrapartida, veículos distantes terão uma cobertura adicional superior, o que é uma característica interessante para um bom retransmissor. Em [Villas et al. 2014], os autores consideram a distância da fonte S combinada a uma zona de preferência para definir um tempo de espera para a retransmissão da mensagem.

2.4. Location-Based Scheme

Esta abordagem é baseada na localização conhecida dos veículos. Por exemplo, dado que um veículo V recebeu a mesma mensagem de k diferentes fontes e o mesmo conhece suas k localizações, V é capaz de calcular a cobertura destas fontes e verificar quão interessante é sua retransmissão, utilizando este fator como referência para a tomada de decisão. Em [Maia et al. 2013], os autores implementaram uma solução híbrida em que os veículos trocam pacotes denominados *beacons*, contendo suas localizações, para o conhecimento dos vizinhos a um salto de distância. A partir do conhecimento dos vizinhos, os veículos são capazes de se adaptarem às condições do tráfego local para garantir uma alta taxa de entrega de pacotes em uma RoI.

2.5. Cluster-Based Scheme

Para esta estratégia alguns pressupostos são definidos. Primeiro, veículos possuem identificadores. Segundo, veículos trocam *beacons* periodicamente com seus identificadores e suas localizações. Através dessas informações, os veículos conseguem saber quais outros veículos estão na vizinhança. Esta vizinhança pode ser chamada *cluster*. Uma possibilidade de aplicação do esquema pode ser a seguinte: para cada *cluster*, o veículo com menor identificador eleger-se o líder deste *cluster*. Um veículo com capacidade para comunicação com outro *cluster* será chamado de veículo-ponte. Portanto, num *cluster*

existem três papéis possíveis: o líder, os veículos-ponte e os demais. Quando uma mensagem é transmitida, se um veículo é um líder ou um veículo-ponte, ele pode efetuar retransmissões baseando-se em qualquer esquema anteriormente definido, *probabilistic-based*, *counter-based*, *distance-based* e *location-based*. Várias soluções utilizam *beacons* para conhecimento dos vizinhos a um salto de distância, além de outras características particulares dos vizinhos de acordo com cada diferente estratégia [Drabkin et al. 2007, Viriyasitavat et al. 2010, Tonguz et al. 2010, Schwartz et al. 2011].

2.6. Delay-Based Scheme

No mecanismo de *flooding* o excesso de retransmissões ao mesmo tempo é o núcleo dos problemas. Uma possibilidade através do *Delay-Based Scheme* é a definição de tempos de espera aleatórios para as retransmissões. Desta forma, ao receber uma mensagem o veículo deverá aguardar um tempo aleatório antes de retransmiti-la. Esta é uma possível variação do mecanismo de *flooding* que consegue reduzir a dimensão do problema, mas não o resolve. Várias soluções [Drabkin et al. 2007, Villas et al. 2014, Ros et al. 2012, Mirani et al. 2013] encontradas na literatura utilizam este esquema de forma híbrida para melhorar o desempenho no que tange ao *broadcast storm problem*.

2.7. Social Metrics Based Scheme

Além dessas diferentes abordagens, novas propostas utilizam métricas de análise de redes sociais para composição de novos protocolos. Em [Cunha et al. 2014b, Fiore and Härrri 2008], os autores mostraram a importância de considerar métricas de características sociais para a melhoria do desempenho de protocolos em redes veiculares. O conhecimento de métricas como grau dos nós, coeficiente de agrupamento, persistência de aresta dentre outras, permitem que os diversos esquemas aqui apresentados sejam combinados com maior inteligência na tomada de decisão para retransmissão da mensagem.

2.8. Space-Based Scheme

A solução apresentada aqui é também uma estratégia híbrida que possui em sua composição um esquema pouco comum chamado *Space-Based Scheme*. Em [Singh and Gupta 2011], os autores apresentaram um protocolo com abordagem semelhante à deste estudo. Consideraram que os veículos possuem raio R de alcance da comunicação iguais, o cenário é dividido em zonas distintas de tamanho R , e em cada zona um veículo era eleito responsável pela retransmissão das mensagens.

Diversos protocolos de Disseminação de Dados implementam algoritmos híbridos na sua composição e resultados interessantes estão sendo alcançados. [Bakhouya et al. 2011], [Tonguz et al. 2010], [Viriyasitavat et al. 2010], [Villas et al. 2014] são exemplos de soluções mais recentes que conseguem em seus respectivos contextos atingirem resultados satisfatórios na resolução de problemas da disseminação de dados. Embora apresentem resultados satisfatórios, estes e diversos outros que estão sendo propostos utilizam de mecanismos de comunicação entre os veículos para a obtenção de informações prévias para a seguir disseminarem a mensagem. Observa-se que antes da troca da mensagem recebida pelo veículo, mensagem a disseminar, ocorre uma troca de mensagens entre os vizinhos para dar suporte à disseminação, provocando um *overhad* necessário. A proposta deste trabalho é zero *overhead*, ou seja, os veículos apenas trocarão mensagens a serem disseminadas. Combinando o *Delay-Based Scheme* e

Probabilistic Scheme, os veículos recebem um tempo de espera ou uma probabilidade p para a retransmissão da mensagem numa zona, e todos concorrem a retransmissores, de acordo com sua localização, velocidade e direção em que se desloca. Diferente de todos mecanismos híbridos que exigem conhecimento da posição dos vizinhos para a decisão de retransmissão, o protocolo apresentado não provoca nenhum *overhead* na comunicação.

3. Disseminação de Dados Geo-Orientada

Neste trabalho, a solução para a disseminação de dados considera, como inspiração para a proposta de um protocolo, uma abordagem para disposição de antenas telefônicas. Em seu livro sobre telefonia celular digital, [ALENCAR 2004] lista alguns fatores que definem a extensão da área de cobertura de uma estação radiobase (ERB), dentre eles a altura e localização da antena. Consideremos como introdução à nossa proposta apenas a localização da antena. Dado um mapa e uma antena com raio de alcance máximo r , qual o maior número de antenas possível a serem dispostas no mapa sem que haja interseção na cobertura das antenas? A Figura 1 exemplifica um cenário no qual o maior número de antenas possível é quatro.

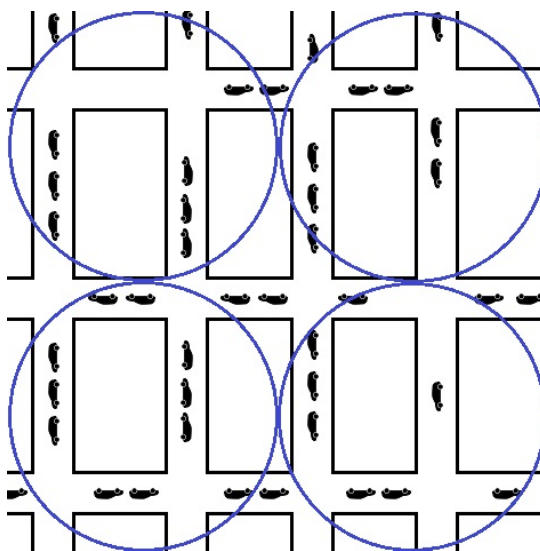


Figura 1. Disposição do maior número de antenas de raio r possível sem interseção na cobertura.

É fácil perceber que a cobertura total do mapa exigiria mais de quatro antenas e que necessariamente existiriam áreas com cobertura de mais de uma antena. Na Figura 1, o mapa tem um percentual de cobertura pelas antenas superior a 70% de seu total e essas antenas estão dispostas estaticamente de maneira otimizada, alcançando o máximo que podem do mapa. Observe que o objetivo deste trabalho não é prover cobertura, mas sim uma estratégia eficiente para disseminação de dados. Para posteriores referências, definiu-se que a localização de cada antena será chamada *HotPoint*, e um raio inferior ao seu alcance máximo, chamado de *HotZone*. Ao observar o problema de *broadcast storm*, verifica-se que ocorre devido ao excesso de retransmissores e conseqüentemente o excesso de mensagens transmitidas. Encontrar o menor número de antenas capazes de cobrir um mapa nos permite verificar qual o menor número de retransmissões necessárias para que as mensagens alcancem os extremos deste mapa, conseqüentemente um número mínimo de

antenas capazes de efetuar essas retransmissões. De maneira análoga, buscamos atribuir a tarefa de retransmissão para um número mínimo de veículos, otimizando o número de retransmissões.

A observação de um número otimizado de antenas capazes de cobrirem um espaço muito grande do mapa permite que as posições dessas antenas sejam consideradas locais interessantes, ou pontos de referência, para se efetuar retransmissões de mensagens a fim de alcançar toda a região de interesse. É fato que não podemos considerar veículos estaticamente posicionados. Entretanto, pode-se acreditar que os veículos mais próximos de cada *HotPoint*, ainda que se movendo em direções e velocidades diversas, são veículos que, sozinhos, cobririam uma parte da região de interesse superior aos demais veículos. A Figura 2 exibe um mapa com o alcance da interface de comunicação de veículos se estivessem localizados exatamente nos *HotPoints*.

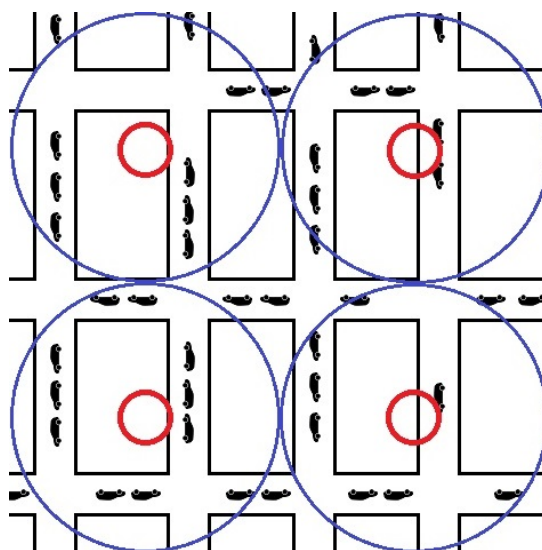


Figura 2. Os *HotPoints* localizam-se nos centros dos círculos vermelhos. O círculo vermelho destaca a região dos veículos mais próximos do *HotPoint*, os círculos azuis representam o raio de alcance máximo dos dispositivos de comunicação posicionado no *HotPoint*.

Partindo dos pressupostos apresentados, definiu-se uma estratégia híbrida para a seleção dos veículos retransmissores, que seleciona dentre um grupo de veículos, o mais indicado para retransmissão ou define um tempo de espera baseado em prioridades, onde os veículos mais próximos dos *HotPoints* efetuam a retransmissão primeiro.

Para a solução apresentada foram consideradas três variáveis: a distância, a direção e a velocidade. Uma vez que os nós conhecem as coordenadas dos *HotPoints*, sabem também a distância que estão deles além de qual é o *HotPoint* mais próximo. A partir desta distância, os nós conseguem saber onde se encontram no que tange às três regiões importantes do mapa. A Figura 3 mostra as diferentes regiões e os nomes que as identificam. A variável direção pode assumir diversos valores, mas para o algoritmo em questão interessa saber se o veículo está se aproximando do *HotPoint* mais próximo ou não, o que pode ser verificado com a posição do veículo e um instante de tempo posterior, considerando que o comportamento do veículo é mantido. A variável velocidade complementa a informação dada pela variável direção, já que nos diz com que velocidade o veículo se aproxima ou

se distância do *HotPoint* mais próximo. A variável velocidade pode assumir os valores velocidade zero (para veículos que estão estacionados), velocidade baixa, velocidade alta e velocidade extremamente alta. Os limites superiores e inferiores para velocidades baixas, altas e extremamente altas podem ser ajustados conforme o objetivo da simulação e o cenário.

Considerando essas variáveis básicas e a necessidade de verificação de distância entre o veículo e o *HotPoint* mais próximo, propomos um Coeficiente de Proximidade. O Coeficiente de Proximidade é definido como um valor inteiro que pode assumir valores entre 0 e 7 e considera as regiões em que o veículo pode se encontrar num instante de tempo além dos valores que as variáveis distância, direção e velocidade podem assumir, conforme a Tabela 1. Os valores de distância, posição e velocidade da tabela foram definidos de maneira intuitiva, baseados no comportamento esperado dos veículos, valores ajustáveis conforme objetivo da simulação e o cenário. A partir dos valores escolhidos podemos destacar alguns comportamentos: (1) os veículos que se encontram na região dos não indicados pouco sofrem alterações quando observadas a direção e a velocidade. Apenas os veículos que estão em alta velocidade voltados para os respectivos *HotPoints* mais próximos, passam a ser considerados de alguma forma próximos; (2) os veículos localizados na região dos indicados podem assumir diversos valores para o Coeficiente de Proximidade devido à grande quantidade de comportamentos possíveis; (3) os veículos da região dos mais indicados, por pior que se comportem nos quesitos direção e velocidade, concorrem fortemente a retransmissores, já que se encontram muito próximos do *HotPoint* mais próximo.

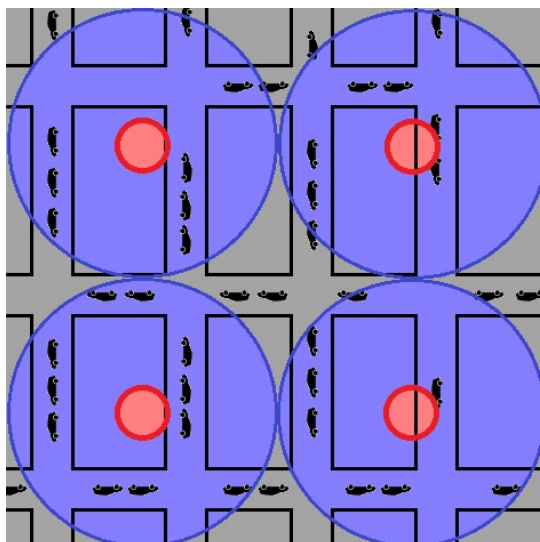


Figura 3. As regiões externas(cinzas) às áreas de cobertura são as regiões dos não-indicados, as regiões internas(azuis) às áreas de cobertura mas externas aos *HotPoints* são as regiões dos indicados. As regiões internas aos *HotPoints*(vermelhas) são as regiões dos altamente indicados.

Nesta proposta, os *HotPoints* são arbitrariamente posicionados. Em cenários onde existe um conhecimento prévio de padrões de comportamento dos condutores, horários de pico e outras informações relevantes ao trânsito local, é possível melhor definir suas localizações. Independente da estratégia utilizada na definição dos *HotPoints*, eles são estáticos e conhecidos por todos os veículos. Determinada a proximidade do veículo para

o *HotPoint* mais próximo através do Coeficiente de Proximidade, podemos utilizá-lo das seguintes formas: (1) no cálculo do tempo de retransmissão de uma mensagem, ou (2) no cálculo de uma probabilidade de se efetuar a retransmissão. Para o cálculo do tempo de retransmissão, definiu-se o seguinte modelo matemático:

$$T = \frac{TTL}{CP} + \frac{d}{r}$$

Neste modelo, *CP* refere-se ao Coeficiente de Proximidade. *TTL* refere-se ao tempo de vida da mensagem. *d* e *r* são a distância do veículo para o *HotPoint* mais próximo e o raio de alcance da comunicação, respectivamente. Os veículos que obtiverem Coeficiente de Proximidade igual a 0 não concorrem para retransmissores, nessa etapa do protocolo são selecionados os veículos que poderão retransmitir e que tempo os eleitos aguardam para efetuar a retransmissão.

É fácil perceber que o fato do Coeficiente de Proximidade assumir apenas alguns poucos valores inteiros implica numa alta taxa de veículos que assumem o mesmo valor de *CP* para uma determinada região geográfica. Se apenas o *CP* fosse utilizado para gerar os tempos de espera para retransmissões, provavelmente vários veículos teriam tempos iguais, o que provocaria colisões durante as retransmissões, conseqüentemente degradando o desempenho da rede. Para tratar este problema utilizou-se um valor de desempate que é obtido através da divisão da distância do veículo ao *HotPoint* mais próximo pelo raio de alcance da comunicação. Ou seja, enquanto mais próximo do *HotPoint*, menor será o valor recebido pelo veículo, garantindo sua prioridade na retransmissão e removendo a sincronização entre os retransmissores.

De uma maneira mais simples, o Coeficiente de Proximidade pode ser utilizado de forma direta para o cálculo de uma probabilidade *P* de o veículo efetuar a retransmissão da mensagem recebida. Ao receber uma mensagem, analisar a região do mapa em que está localizado, sua posição e velocidade, o veículo calcula seu Coeficiente de Proximidade e utiliza o mecanismo de regra de três para determinar a probabilidade *P* de efetuar a retransmissão, sendo *CP* = 0 equivalente a 0% de chance e *CP* = 7 equivalente a 100% de chance de efetuar a retransmissão. De maneira semelhante à forma baseada em tempo, espera-se um tempo aleatório curto, para remover a sincronização de retransmissões.

4. Avaliação de Desempenho

Devido as restrições de implementação física de um cenário real para testes, utilizou-se de softwares simuladores para avaliar o desempenho da solução proposta. As seções a seguir apresentarão as ferramentas utilizadas para simulação além de alguns aspectos técnicos sobre a comunicação dos veículos, o cenário implementado e a metodologia. Ao final, os resultados das simulações são apresentados e discutidos.

4.1. Ferramentas Utilizadas

O ambiente de simulação é composto pelos seguintes componentes:

- OMNET++ [Varga 2003]: um simulador de redes que disponibiliza diversos tipos de modelos e recursos para simulações de redes em geral.
- SUMO [Behrisch et al. 2011]: uma ferramenta que implementa comportamento realístico de mobilidade urbana.

Região	CP Inicial	Posição	Velocidade
Não Indicados	0	Aproximando-se da <i>HotZone</i>	Parado: +0
			Baixa: +0
			Alta: +2
			Muito Alta: +2
		Distanciando-se da <i>HotZone</i>	Parado: +0
			Baixa: +0
			Alta: +0
			Muito Alta: +0
Indicados	3	Aproximando-se da <i>HotZone</i>	Parado: +0
			Baixa: +1
			Alta: +2
			Muito Alta: +2
		Distanciando-se da <i>HotZone</i>	Parado: +0
			Baixa: -1
			Alta: -2
			Muito Alta: -3
Altamente Indicados	5	Aproximando-se do <i>HotPoint</i>	Parado: +2
			Baixa: +2
			Alta: +1
			Muito Alta: +0
		Distanciando-se do <i>HotPoint</i>	Parado: +2
			Baixa: +1
			Alta: +0
			Muito Alta: -1

Tabela 1. Dispõe os valores do Coeficiente de Proximidade pré-determinados pela região em que os veículos se encontram e define valores de incrementos dadas as condições do veículos num instante de tempo.

- VEINS [Sommer et al. 2011]: um *framework* para simulações em redes veiculares que utiliza OMNET++ e SUMO como base de desenvolvimento.

4.2. Parâmetros de Simulação

A comunicação entre os nós envolvidos na simulação ocorre através do protocolo IEEE 802.11p. Em 2004, o IEEE iniciou a padronização das comunicações em redes veiculares dentro do grupo de trabalho IEEE 802.11. O padrão foi denominado de IEEE 802.11p *Wireless Access in Vehicular Environment* (WAVE). Nos Estados Unidos, o padrão IEEE 802.11p opera na faixa entre 5.850 GHz e 5.925 GHz. Nessa faixa de frequência, os veículos conseguem se comunicar a uma distância máxima de 1000 metros, com taxas de transmissão que variam de 1 a 27 Mbps, entretanto, para a avaliação do protocolo proposto foi utilizado um raio de comunicação equivalente a 250 metros. De acordo com [Alves et al. 2009], o IEEE 802.11p consegue garantir a transmissão de dados em veículos que se movem entre si com uma velocidade de até 200 km/h.

O cenário de simulação implementado é um *Grid* de Manhattan. A escolha do *grid* como cenário para avaliação do protocolo deve-se à simplicidade de implementação e ao fato de apresentar condições equivalentes a todos os veículos, representação considerada suficiente para avaliação da capacidade de disseminar dados. Para avaliação dos protocolos, definiu-se um *grid* com 10 vias duplas uniformemente espaçadas em uma área de 1 km^2 com quarteirões de 100m x 100m. Com o objetivo de quantificar a evolução do tráfego neste cenário, a densidade de veículos foi variada de 20 veículos/ km^2 a 200 veículos/ km^2 . O tráfego neste cenário foi gerado pelo simulador de mobilidade SUMO e no centro do *grid* foi posicionada uma RSU (*Road Side Unit*), responsável pela criação e envio da mensagem a ser disseminada. A RSU participa da simulação unicamente efetuando o envio de uma única mensagem de tamanho 2048 bytes. Para cada densidade de veículos foram simuladas 30 replicações e os resultados apresentam valores médios.

4.3. Métricas Avaliadas

A seguir são apresentadas as métricas que foram consideradas para avaliação do desempenho das soluções. Os principais objetivos são a avaliação do alcance do protocolo, as redundâncias nas retransmissões, além do atraso em diferentes condições de tráfego.

- Total de Mensagens Recebidas: representa o número de mensagens de dados gerados pelo veículo fonte e entregues a todos os destinatários pretendidos.
- Total de Mensagens Transmitidas: esta métrica retrata o total de mensagens transmitidas durante toda a disseminação. É uma métrica importante para capturar o número de transmissões redundantes, causadas pelo problema de *broadcast storm*.
- Atraso: esta métrica representa a média do tempo que uma mensagem de dados leva para ser transmitida da origem ao destino.

Com o objetivo de comparar o desempenho das duas versões do protocolo proposto, foram implementados outros três protocolos que implementam algoritmos já conhecidos pela comunidade acadêmica. Embora não sejam os algoritmos que apresentam os melhores resultados, foram escolhidos devido a não apresentarem qualquer *overhead* na comunicação. Alguns detalhes de suas implementações são os seguintes:

- *flooding*: o protocolo implementa o algoritmo de *flooding*. Neste protocolo todos os veículos que recebem a mensagem retransmitem imediatamente uma vez.
- *counter*: como descrito na seção 2.2, os veículos que recebem a mensagem estão aptos a reenviar as mensagens caso as tenham recebido um número de vezes inferior a k . Para a presente implementação, definiu-se $k = 3$.
- *distance*: conforme descrito na seção 2.3, o algoritmo deste protocolo calcula um tempo proporcional à distância da fonte da mensagem e escalona uma retransmissão para este tempo calculado. Enquanto maior for a distância, menor será o tempo.

4.4. Resultados

Devido à diferença de comportamento observado pelo protocolo que implementa o algoritmo de *flooding*, todos os resultados apresentados a seguir comparam os protocolos de duas formas: com e sem o desempenho do protocolo que implementa o algoritmo de *flooding*. Assim, pode-se observar os desempenhos em condições semelhantes.

A Figura 4 apresenta o número total de pacotes recebidos para os diferentes protocolos. Quando não se observa o protocolo com *flooding* as duas versões do protocolo proposto se comportam de maneira semelhante aos demais. Considerando o protocolo com o *flooding*, observa-se que sua capacidade de entrega neste cenário simplificado é muito superior. De fato, o *flooding* apresenta a capacidade de entrega de mensagens ideal para os algoritmos de disseminação de dados, mas essa superioridade tem um custo muito alto. O desempenho da rede cai drasticamente para alcançar o patamar apresentado.

Através da Figura 5 pode-se verificar o total de mensagens transmitidas na rede e o custo da superioridade do *flooding*. Observa-se que em ambos pontos de vista, as duas versões do protocolo proposto apresentam resultados satisfatórios, efetuando um número de envios inferior que os demais protocolos. Estes resultados demonstram o quanto o protocolo proposto consegue impedir o número de transmissões redundantes. O desempenho do protocolo proposto supera e mantém superior ao dos demais em todas as densidades. Entre as duas versões, a versão probabilística apresenta resultados ainda

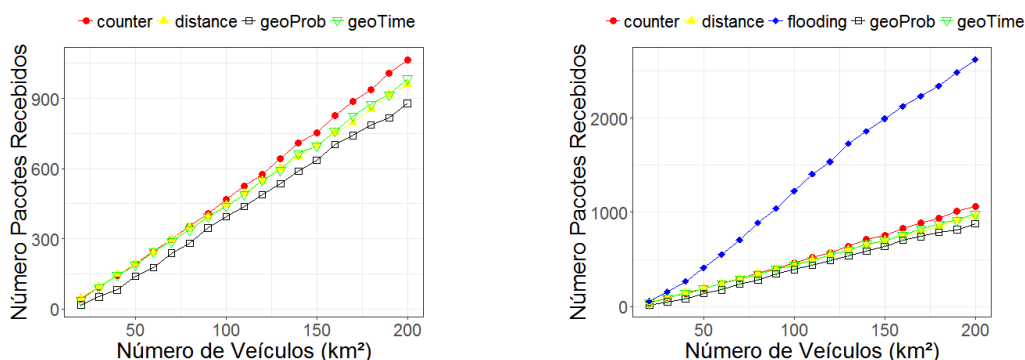


Figura 4. Comparação da taxa de entrega para os diferentes protocolos.

melhores. Quando observados em contraste com a abordagem de *flooding*, percebe-se o motivo deste ter apresentado uma capacidade de entrega superior. O número de mensagens transmitidas cresce conforme a densidade de veículos aumenta, o que provoca um tráfego muito elevado, além de degradar o desempenho da rede.

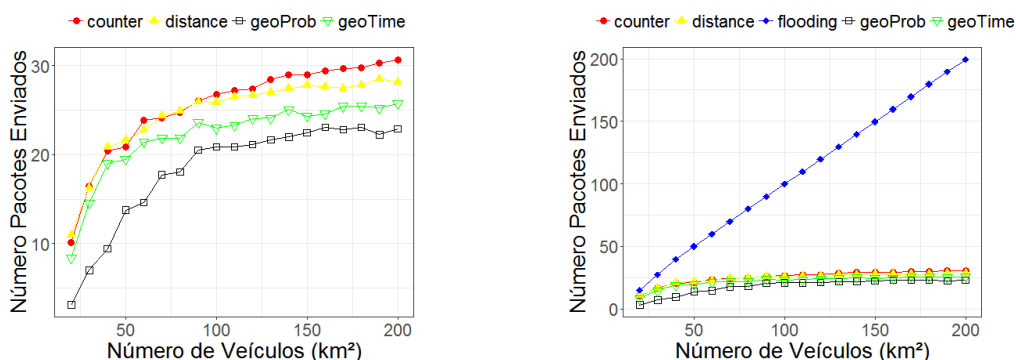


Figura 5. Comparação do total de mensagens transmitidas para os diferentes protocolos.

Por último, a Figura 6 apresenta o desempenho dos protocolos quanto ao atraso. Observando os protocolos baseados em tempo de retransmissão, verifica-se que o protocolo proposto apresenta um tempo de espera inferior ao *distance-based* em cenários com até 50 veículos/ km^2 . Como esperado, os dois protocolos baseados em tempo de retransmissão apresentam um atraso médio na transmissão da origem até o destino superior aos demais protocolos. Com o crescer das densidades, ambos apresentaram redução considerável no atraso, o que ocorre devido ao fato de que ao aumentar o número de veículos mantendo-se a área equivalente a $1km^2$ a distância entre eles diminui, consequentemente o tempo para que as mensagens cheguem ao destino também.

5. Conclusão e Trabalhos Futuros

Através da comparação dos desempenhos dos protocolos de disseminação de dados com a proposta de zero *overhead*, verificou-se que o protocolo proposto tem desempenho satisfatório especialmente em dois aspectos. Com um número de mensagens recebidas satisfatório, transmite um número menor de mensagens que os demais protocolos, melhorando a utilização dos recursos de rede. Além disso, ao verificar os protocolos baseados

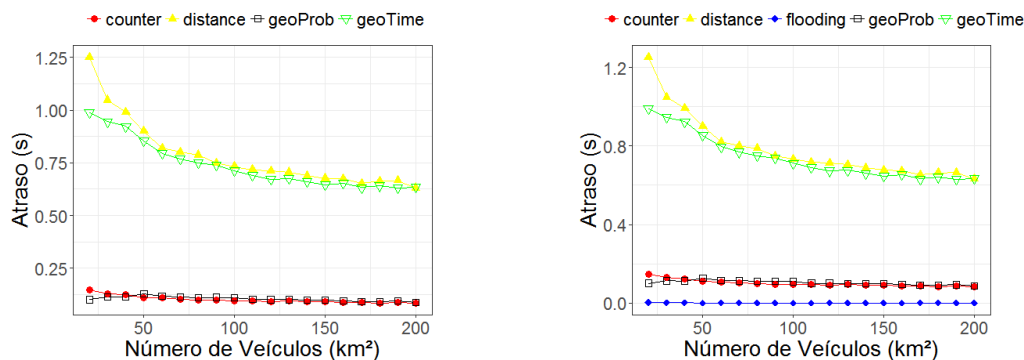


Figura 6. Comparação do atraso na disseminação para os diferentes protocolos.

em tempos de retransmissão em cenários esparsos, percebeu-se que o protocolo proposto supera o *distance-based*. Essa abordagem Geo-Orientada permitiu ganhos relevantes na atividade de disseminação de dados garantindo, sobretudo, a ausência de *overhead*.

Para trabalhos futuros, espera-se trabalhar a forma como o Coeficiente de Proximidade é calculado a fim de torná-lo um valor não inteiro, passando a descartar um cálculo extra para desempate de tempo de espera para retransmissão na versão baseada em tempo. Este valor não inteiro pode permitir que o valor encontrado para o coeficiente represente melhor a realidade de cada veículo no mapa. Além disso, com novas simulações também em cenários reais, espera-se demonstrar o ganho de maneira real e identificar valores ideais para a tabela do Coeficiente de Proximidade.

Referências

- ALENCAR, M. S. d. (2004). *Telefonia celular digital*. São Paulo: Érica.
- Alves, R. d. S., Campbell, I. d. V., Couto, R. d. S., Campista, M. E. M., Moraes, I. M., Rubinstein, M. G., Costa, L. H. M., Duarte, O. C. M., and Abdalla, M. (2009). *Redes veiculares: Princípios, aplicações e desafios*. *Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, SBRC*.
- Bakhouya, M., Gaber, J., and Lorenz, P. (2011). An adaptive approach for information dissemination in vehicular ad hoc networks. *Journal of Network and Computer Applications*, 34(6):1971–1978.
- Behrisch, M., Bieker, L., Erdmann, J., and Krajzewicz, D. (2011). Sumo—simulation of urban mobility. In *The Third International Conference on Advances in System Simulation (SIMUL 2011)*, Barcelona, Spain.
- Cunha, F. D., Maia, G. G., Viana, A. C., Mini, R. A., Villas, L. A., and Loureiro, A. A. (2014a). Socially inspired data dissemination for vehicular ad hoc networks. In *Proceedings of the 17th ACM international conference on Modeling, analysis and simulation of wireless and mobile systems*, pages 81–85. ACM.
- Cunha, F. D., Vianna, A. C., Mini, R. A., and Loureiro, A. A. (2014b). Is it possible to find social properties in vehicular networks? In *2014 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*, pages 1–6. IEEE.
- Drabkin, V., Friedman, R., Kliot, G., and Segal, M. (2007). Rapid: Reliable probabilistic dissemination in wireless ad-hoc networks. In *Reliable Distributed Systems, 2007. SRDS 2007. 26th IEEE International Symposium on*, pages 13–22. IEEE.

- Fiore, M. and Härrri, J. (2008). The networking shape of vehicular mobility. In *Proceedings of the 9th ACM international symposium on Mobile ad hoc networking and computing*, pages 261–272. ACM.
- Maia, G., Boukerche, A., Aquino, A. L., Viana, A. C., and Loureiro, A. A. (2013). A data dissemination protocol for urban vehicular ad hoc networks with extreme traffic conditions. In *2013 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, pages 5997–6001. IEEE.
- Mirani, F., Busson, A., and Adjih, C. (2013). Improving delay-based data dissemination protocol in vanets with network coding. *REV Journal on Electronics and Communications*, 2(3-4).
- Ros, F. J., Ruiz, P. M., and Stojmenovic, I. (2012). Acknowledgment-based broadcast protocol for reliable and efficient data dissemination in vehicular ad hoc networks. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 11(1):33–46.
- Schwartz, R. S., Barbosa, R. R., Meratnia, N., Heijenk, G., and Scholten, H. (2011). A directional data dissemination protocol for vehicular environments. *Computer Communications*, 34(17):2057–2071.
- Singh, R. P. and Gupta, A. (2011). Information dissemination in vanets using zone based forwarding. In *Wireless Days (WD), 2011 IFIP*, pages 1–3. IEEE.
- Sommer, C., German, R., and Dressler, F. (2011). Bidirectionally Coupled Network and Road Traffic Simulation for Improved IVC Analysis. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 10(1):3–15.
- Spyropoulos, T., Psounis, K., and Raghavendra, C. S. (2008). Efficient routing in intermittently connected mobile networks: the multiple-copy case. *Networking, IEEE/ACM Transactions on*, 16(1):77–90.
- Tonguz, O. K., Wisitpongphan, N., and Bai, F. (2010). Dv-cast: A distributed vehicular broadcast protocol for vehicular ad hoc networks. *IEEE Wireless Communications*, 17(2):47–57.
- Tseng, Y.-C., Ni, S.-Y., Chen, Y.-S., and Sheu, J.-P. (2002). The broadcast storm problem in a mobile ad hoc network. *Wireless networks*, 8(2-3):153–167.
- Varga, A. (2003). Omnet++ simulator. *Department of Telecommunications, Technical University of Budapest, Budapest, Hungary*.
- Villas, L. A., Boukerche, A., Maia, G., Pazzi, R. W., and Loureiro, A. A. (2014). Drive: An efficient and robust data dissemination protocol for highway and urban vehicular ad hoc networks. *Computer Networks*, 75:381–394.
- Viriyasitavat, W., Bai, F., and Tonguz, O. K. (2010). Uv-cast: an urban vehicular broadcast protocol. In *Vehicular Networking Conference (VNC), 2010 IEEE*, pages 25–32. IEEE.
- Williams, B. and Camp, T. (2002). Comparison of broadcasting techniques for mobile ad hoc networks. In *Proceedings of the 3rd ACM international symposium on Mobile ad hoc networking & computing*, pages 194–205. ACM.

Uma Arquitetura para Gerenciamento de Mobilidade de Fluxo para Redes Veiculares

Rodolfo I. Meneguette¹,

¹Instituto Federal – IFSP
meneguette@ifsp.edu.br

Abstract. *Vehicular network applications may be benefited by the simultaneous use of more than one network interface, thus maximizing throughput and reduce latency. In order to take advantage of all radio interfaces of the vehicle and to provide a good quality service for vehicular applications, we have developed an architecture for perform the managing the flow of mobility based on some application classes of vehicle network. Our goal is to minimize the time of handover between the rings of flows in order to meet the minimum requirements of vehicular application classes as well as to maximize your income. NS3 simulations were performed to analyze the behavior of our architecture, comparing it to other four. As a result of this work, it was observed that the proposed architecture presented a low delivery time of messages, packets with lower loss and lower delay.*

Resumo. *Aplicações para as redes veiculares podem ser beneficiadas pelo uso simultâneo de mais de uma interface de rede, assim maximizando a taxa de transferência e reduzindo a latência. A fim de tirar proveito de todas as interfaces de rádio do veículo e para proporcionar uma boa qualidade de serviço para aplicações veiculares, desenvolvemos uma arquitetura para realizar a gestão da mobilidade dos fluxos com base em algumas classes de aplicação de rede veiculares. Nosso objetivo é minimizar o tempo de handover entre a toca dos fluxos, a fim de cumprir os requisitos mínimos de classes de aplicação veicular, bem como para maximizar a taxa de transferência. Simulações no NS3 foram realizadas para analisar o comportamento de nossa arquitetura, comparando-a com outras quatro. Como resultado deste trabalho, observou-se que a arquitetura proposta apresentou um baixo tempo de entrega das mensagens, com menor perda de pacotes e menor atraso.*

1. Introdução

Na última década, a utilização de dispositivos móveis, comunicação *ad hoc* e computação ubíqua mudaram o estilo de vida das pessoas, possibilitando a troca de informação em qualquer lugar e a qualquer tempo. Espera-se que a utilização da comunicação móvel em veículos seja realidade em poucos anos, uma vez que a indústria automobilística, governos e universidades ao redor do mundo estão aplicando recursos para criar um sistema de transporte eficiente e seguro [Al-Sultan et al. 2014, Hartenstein and Laberteaux 2008, Marfia et al. 2013, Cesana et al. 2010]. Redes *ad hoc* veiculares ou simplesmente redes veiculares, são um tipo especial de redes móveis *ad*

hoc, onde os veículos são equipados com uma interface sem fio e dispositivos de processamento e sensoriamento. Tais veículos criam uma rede móvel durante seu percurso pelas estradas [Al-Sultan et al. 2014, Karagiannis et al. 2011].

As aplicações em redes veiculares podem ser divididas em três classes [Hartenstein and Laberteaux 2008]: entretenimento, segurança e assistência ao motorista. As aplicações de entretenimento dão suporte ao acesso a internet, propagandas, compartilhamento de conteúdo, chats entre outras. As aplicações relacionadas a segurança tem como objetivo disponibilizar para o motorista informações relacionadas com o tráfego de carros em seu percurso, engarrafamentos, condições da estrada, acidentes entre outras. O propósito dessas aplicações é encaminhar informações para que o motorista possa decidir, em tempo hábil, a melhor solução para um transporte seguro. As aplicações de suporte ao motorista disponibilizam informações sobre abastecimento, alimentação, manutenção do veículo ao longo das estradas entre outras. O conjunto dessas aplicações suportam soluções para os sistemas de transporte inteligentes (ITS) [Caulfield and O'Mahony 2007, Hartenstein and Laberteaux 2008].

Além da comunicação entre veículos, tecnologias de informação e comunicação podem ser utilizadas para suportar as diversas aplicações em sistemas de transporte inteligentes. Através da utilização de diferentes tecnologias de comunicação, os veículos, utilizando diferentes interfaces de rede, podem encaminhar pacotes para diferentes redes com o objetivo de não perder a conexão de dados para suportar uma determinada aplicação. A gestão da mobilidade de redes é feita através do componente de *handover*. Um bom gerenciamento de *handover* pode permitir que um dispositivo móvel mantenha sua conexão ativa utilizando diferentes redes de comunicação.

O *handover* é necessário quando um dispositivo, conectado a outro dispositivo/ponto de acesso, se afasta da sua área de cobertura, entrando na área de cobertura de um outro dispositivo/ponto de acesso. Nesse contexto, é necessário um mecanismo de transferência de conexão para que a conexão atual não seja interrompida. O *handover* pode ser dividido de duas formas: horizontal e vertical. O *handover* horizontal acontece quando é necessário a transferência de conexão entre dispositivos que possuem a mesma tecnologia de rede. O *handover* vertical acontece quando é necessário a transferência de conexão entre dispositivos que possuem tecnologias de redes diferentes, ou seja, redes heterogêneas. Assim, ao executar o *handover*, questões como segurança, largura de banda, atraso e fluxo de dados devem ser levadas em consideração.

Dessa forma, é necessário uma arquitetura de comunicação para o gerenciamento de diferentes conexões considerando diferentes tecnologias de rede. O objetivo desse trabalho é propor uma arquitetura de comunicação comum para realizar o *handover* vertical de maneira eficiente. Foi feito um estudo sobre as diferentes classes de aplicações, definindo requisitos mínimos referentes a perda de pacotes, vazão e atraso na comunicação. O gerenciador de fluxo analisa o estado das conexões ativas que podem ser utilizadas para realizar o *handover* com base nos requisitos mínimos da aplicação. O *handover* vertical é feito considerando as seguintes tecnologias de comunicação, WiFi, LTE (*Long Term Evolution* e 802.11p). A solução proposta foi comparada com soluções da literatura considerando as seguintes métricas de rede: atraso na comunicação, tempo para realizar o *handover*, quantidade de mensagens de controle, perda de pacotes e vazão de dados. Os

resultados mostram que a arquitetura proposta é capaz de realizar *handover* vertical de maneira mais eficiente em comparação com as demais soluções.

O restante do trabalho está estruturado da seguinte maneira. A seção 2 apresenta os trabalhos da literatura. A seção 3 propõe a arquitetura para realizar o *handover* vertical em redes veiculares. Os resultados da comparação da arquitetura proposta em comparação com outras soluções da literatura são apresentados na seção 4. A seção 5 apresenta a conclusão e os trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

Essa seção apresenta algumas trabalhos relacionados com mecanismos que, de alguma forma, melhora o desempenho de *handover*, permitindo a utilização simultânea de múltiplas interfaces durante a mobilidade dos veículos para garantir um fluxo de dados contínuo.

Kim e colaboradores [Kim et al. 2012] propuseram um mecanismo de *handover* para o fluxo contínuo sobre IP. O mecanismo é otimizado para tráfego de pacotes e é baseado em gerência de mobilidade *network-based*. O mecanismo proposto utiliza o protocolo *fast handover for PMIPv6* (FPMIPv6). Por esse protocolo não suportar gerenciamento de fluxo, os autores definiram novos cabeçalhos de mobilidade, como o *handover initiation for flow mobility* (HIF), que envia informações de uma MAG (*Mobile Access Gateway*) para a outra sobre o nó móvel. Outra mensagem que foi incorporada pelos autores foi a *handover acknowledge for flow mobility* (HAF), que é uma extensão da mensagem *handover acknowledge* (HACK) responsável por enviar comandos para a MAG. A mensagem HACK é definida pelo protocolo FPMIPv6. Esses cabeçalhos são uma extensão do *handover initiate* (HI), que é responsável pelo gerenciamento de mobilidade do protocolo FMIPv6. Essa extensão foi realizada com o intuito de obter maior eficiência no suporte a mobilidade de fluxo no FPMIPv6. Além disso, uma nova opção de mobilidade é definida para a transmissão de informações da interface de comunicação, opção chamada de *interface-status-and-action* (ISA), que indica o estado do nó móvel bem como a ação desejada da interface de rede do nó móvel.

Em [Makaya et al. 2012], os autores propuseram um novo mecanismo para *selective IP traffic offload* (SIPTO) considerando redes de comunicação veiculares. Este mecanismo fornece suporte para *offload* de dados, transferência sem descontinuidades e mobilidade de fluxo IP para dispositivos móveis equipados com múltiplas interfaces. Os autores criaram um mecanismo chamado *multilink striping management* (MSM), que permite o descarregamento de dados e fluxo de mobilidade entre diferentes tecnologias de rede de acesso. Os relatórios sobre a qualidade do enlace e do estado da rede (ou seja, o núcleo da rede e o acesso) são usados como gatilhos para o MSM decidir se haverá uma mudança no fluxo, ou um *offload* de dados ou um *handover*, necessário para evitar interrupções da sessão. Os serviços MIH são usados para acionar a necessidade de uma troca de fluxo, *offload* de dados, ou de *handover*. Usando as primitivas MIH, a mobilidade do fluxo IP, o *handover*, e o *offload* de dados são feitos sem problemas e permitem uma melhor utilização dos recursos da rede, reforçando simultaneamente a capacidade da rede.

Chen-wen e Ping [Chen-wen and Ping 2009] propuseram o "*improved fast han-*

dover scheme for hierarchical mobile IPv6" (IF-HMIPv6) de modo a reduzir o atraso de transferência e perda de pacote. O *Mobile Node* (MN) envia a mensagens de solicitação de roteador para o *proxy* (IRtSolPr). A mensagem IRtSolPr contém informações sobre o endereço MAC ou o identificador do AP. Além disso, como uma maneira de identificar o MAP que MN segue durante o processo de IF-HMIPv6, um "I Flag" foi incluído na mensagem IRtSolPr. Ao utilizar este "I Flag", MAP foi capaz de processar o novo processo de configuração CoA e envia uma mensagem *mensagem handover initiation* (HI) para o NAR, a fim de estabelecer um túnel.

Meneguette e colaboradores [Meneguette et al. 2013] propuseram o desenvolvimento de uma arquitetura, chamada de *Seamless Flow Mobility Management Architecture* (SFMMA), que consiste de uma infraestrutura comum para tecnologia multi-acesso de forma transparente em redes sem fio, trabalhando com tecnologias como WiMax e LTE, além de tecnologias sem fio para redes veiculares, provendo uma conexão contínua e transparente para as aplicações veiculares. O objetivo desta arquitetura é maximizar o tráfego da rede, mantendo os requisitos mínimos das aplicações veiculares, tais como perda de pacote, vazão e atraso. Para isso, foi criado um gerenciador de fluxo baseado nas classes de aplicação das redes veiculares e no estado de cada rede ativa no ambiente. Entretanto, essa proposta possui um alto número de mensagens de controle para estabelecer a troca de fluxo entre as interfaces. Devido ao uso do protocolo 802.21 para a realização da troca de fluxo, a arquitetura SFMMA usa uma quantidade significativa de mensagens de controle, por exemplo, para uma troca de fluxo iniciada pelo MN é necessário pelo menos 13 mensagens de controle, o que pode deixar a gerência de mobilidade lenta e possivelmente instável.

Neste trabalho é proposto uma arquitetura que supera as limitações da arquitetura SFMMA. Na arquitetura proposta AMOMENT foi retirada os mecanismos de decisão de mudança tanto no MAG como no Nó móvel, assim a decisão de qual rede irá mudar ficara somente a cargo do LMA diminuindo assim trocas desnecessárias, além disso diminuindo a inconsistência que existia no SFMMA. Além das modificação do mecanismo de decisão de troca do fluxo da mensagem, o protocolo AMOMENT propõe uma estruturação nas mensagens que são trocadas entre os elementos da rede, o LMA, MAG e NM, com o objetivo de diminuir a quantidade de mensagens de controle na rede.

3. Uma Arquitetura para Gerenciamento de Mobilidade de Fluxo para Redes Veiculares

Neste artigo, propomos o desenvolvimento de uma arquitetura, chamada *MObility Management NeTworks - AMOMENT*, que consiste de uma infraestrutura comum para tecnologia multi-acesso de forma transparente em redes sem fio, integrando tecnologias como LTE, além de tecnologias sem fio para redes veiculares com o objetivo de prover uma conexão contínua e transparente para as aplicações veiculares. O objetivo desta arquitetura é maximizar a vazão da rede, mantendo os requisitos mínimos das aplicações veiculares, tais como perda de pacote, vazão e atraso. Para isso, criamos um gerenciador de fluxo baseado nas classes de aplicação das redes veiculares e no estado de cada rede ativa no ambiente.

Essa arquitetura é uma evolução do *Seamless Flow Mobility Management Archi-*

tecture (SFMMA) [Meneguette et al. 2013]. A arquitetura AMOMENT utiliza o protocolo PMIPv6 para fazer o gerenciamento de endereço. Além disso, a arquitetura usa somente um mecanismo de decisão encontrada no LMA, com o intuito de diminuir o número de troca de fluxo desnecessárias entre as interfaces de rede [Safa Sadiq et al. 2014]. A arquitetura AMOMENT também propõem uma nova estruturação das mensagens que são trocadas entre os elementos da rede, diminuindo assim a quantidade de mensagens de controle da rede, bem como auxiliando no mecanismo de decisão de troca de fluxo deixando apenas para o LMA esse função, porém o Nó Móvel poderá iniciar o processo de troca.

A arquitetura AMOMENT usa o módulo do MAG para fazer o monitoramento dos fluxos de dados, porém não permitindo que o MAG tomem qualquer decisão e iniciativa para a realização da troca de fluxo. Assim, o LMA realiza toda a decisão de troca de fluxo baseado nas informações obtidas. Com essas informações o LMA poderá, além de selecionar a rede, isolar os fluxos de informação de cada MAG que está em seu domínio, obtendo assim uma maior flexibilidade no momento da tomada de decisão de mudança de fluxo.

O módulo embarcado no veículo possui um componente de gestão de mobilidade que é uma reestruturação do protocolo 802.21. Essa reestruturação permitira uma redução no número de mensagens de controle na rede, bem como facilitar na obter informações dos estados das interfaces de rede, ou seja, o MAG em que a interface de rede está conectada, e como essas interfaces estão conectadas. Essa informação é necessária realizar o mapeamento entre os fluxos das mensagens com as interfaces de rede. Além disso, esse módulo possui mecanismos de gerência de requisitos das aplicações. Como o veículo possui múltiplas interfaces de rede é necessário lidar com várias tecnologias de rede, como o WiMax, LTE das redes celulares ou com alguns protocolos da família 802.11.

3.1. Reestruturação do 802.21

Os serviços definidos pelo protocolo 802.21 (MIES, MICS e MIIS) permitem obtenção e armazenamento de informações relevantes sobre o estado da rede, tais como a perda, vazão, e a informação de quais são as sub-redes existentes.

Para a eliminação de mensagens de controle do protocolo 802.21 padrão, criamos uma nova mensagem chamada *Change_Flow* que tem a responsabilidade de indicar, iniciar e auxiliar no gerenciamento da mobilidade do fluxo, ou seja, facilitará na troca de fluxo entre as interfaces de rede. Com essa mensagem podemos diminuir a quantidade de mensagens de controle na rede, agilizando o processo de troca dos fluxos pois carrega consigo informações relevantes para essa troca, assim, eliminando aproximadamente 5 mensagens do protocolo 802.21 padrão.

A mensagem contém os seguintes campos:

- ID_message: identificador da mensagem.
- ID_Source: identificador de quem iniciou a troca: MN ou LMA.
- ID_Flow: identificador do fluxo.
- HNP: indica os prefixos que precisam ser modificados
- MAG: indica o MAG que está atualmente roteando o fluxo que precisa ser modificado.

- MN: indica qual é o MN que está transmitindo o fluxo.

A Figura 1 ilustra os campos da mensagem *Change_flow*. Essa mensagem é utilizada quando o nó móvel solicita a mudança de um determinado fluxo para o LMA. Podemos observar que o campo MN está vazio, pois é o próprio nó móvel que está enviando a solicitação já foi identificado no campo *ID_source*, assim, não precisando usar o campo MN. Além disso, é preciso indicar qual é o fluxo o prefixo e o MAG que ele está conectado. Quando a mensagem tem a intenção de informar algum MAG de alguma mudança, ou seja, uma mensagem que sai do LMA para o MAG, no campo MAG estará o endereço do novo MAG que assumirá o fluxo.

ID_MESSAGE	ID_SOURCE	ID_FLOW	HNP	MAG	NULL
------------	-----------	---------	-----	-----	------

Figura 1. Mensagem *Change_flow*

Quando a troca é estabelecida, ou seja, quando as tabelas do PMIPv6 e do 802.21 são atualizadas, é enviada uma mensagem de reposta a essa requisição (como podemos ver na Figura 2). Essa mensagem contém o ID da mensagem para saber qual foi a requisição e um campo de resposta, que indica a situação da requisição. Caso a atualização de mudança foi realizada com sucesso, a resposta será um OK, caso contrário, será indicado o erro ocorrido. Na presença de algum erro, uma nova solicitação é realizada. As mensagens de *Get_Inform*, mensagem padrão do protocolo 802.21, são mantidas para que o nó móvel e o LMA possam ter informações do estado da rede e de seus fluxos.

ID_MESSAGE	1- MUDANÇA ESTABELECIDA
------------	-------------------------

Figura 2. Confirmação da mensagem *Change_flow*

3.2. Fluxo de Informação

Agrupamos aplicações das redes veiculares em três classes de acordo com seus objetivos gerais: *segurança*, *conforto* e *usuário*. A classe de segurança compreende aplicações destinadas a ajudar motoristas a lidar com eventos imprevisíveis ou perigos das vias públicas através do monitoramento do tráfego próximo ao veículo através de mensagens [Singh et al. 2011]. A classe de conforto inclui aplicações que se concentram no conforto e na eficiência do fluxo de carros nas ruas e estradas. Em outras palavras, esses aplicativos aumentam o grau de conveniência de motoristas e eficiência do tráfego através da troca de informação de tráfego entre as infraestruturas de acostamento e veículos [Singh et al. 2011]. A classe de usuário é composta de aplicações que estão focadas na interação entre os ocupantes do veículo e informações, anúncios, entretenimento e vários tipos de serviço de comunicação.

Essa classificação das aplicações da rede veicular permite a divisão do fluxo de informação da rede em três fluxos distintos: o primeiro fluxo para a classe de segurança, o segundo fluxo para classe de conforto e o terceiro fluxo para a classe de usuários. Para diferenciar estes fluxos, utilizamos uma 2-tupla, que consiste no protocolo usado para transmissão e a porta de destino. Em resumo, o fluxo é a agregação do tráfego das mensagens das aplicações de uma mesma classe.

3.3. Procedimento de *Handover*

A criação de um fluxo ocorre quando um nó móvel inicia uma aplicação e começa a enviar mensagens na rede. No entanto, a maneira como o fluxo passa através da rede pode ser alterada ao longo do tempo, ou seja, ao longo da sua existência, um fluxo que foi originalmente definido para ser enviado através de uma tecnologia de rede em particular, pode ser encaminhado por outra tecnologia. Essa alteração no fluxo pode ser inicializada em dois locais diferentes: no nó móvel e no LMA.

A troca do fluxo pode ser inicializada pelo veículo. Essa inicialização pode ocorrer por duas razões: (i) quando da ativação de uma interface de rede, ou (ii) quando os parâmetros de rede ou o estado do fluxo atual não satisfazem os requisitos mínimos da aplicação (vazão, perda de pacotes e atraso).

Quando uma nova interface de rede é ativada, há dois eventos a considerar: (1) se todas as aplicações são mapeadas para outra interface de rede, e (2) se houver um fluxo previamente mapeado para essa interface, e este fluxo foi estabelecido na LMA, a LMA atribui o mesmo prefixo de rede com o fluxo de destino. Caso contrário, a LMA atribui um novo prefixo de rede.

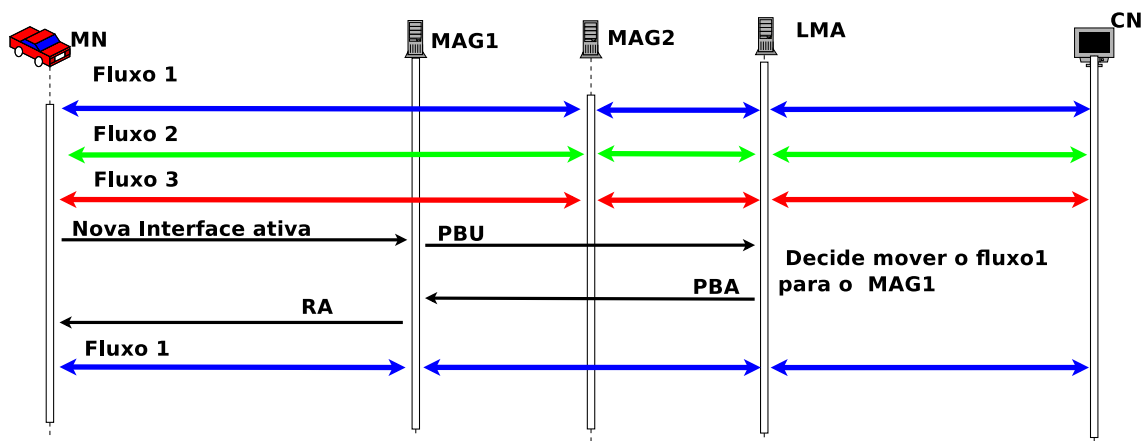


Figura 3. Diagrama de Sequência para troca de fluxo inicializada pelo nó móvel devido à disponibilidade de uma nova interface de rede

A Figura 3 ilustra a troca de fluxo para a mobilidade de fluxo pela ativação de outra interface de rede. Há três fluxos de tráfego passando pela interface 1. Supõe-se que a preferência da interface 2 é para o fluxo 1. Quando a interface de LTE é ativada, o fluxo 1 será movido para esta nova interface. No processo de atualização do *binding*, o fluxo de entrega está previsto para a nova interface e o LMA atribui HNP1 para a nova interface. Portanto, a interface LTE fica com o prefixo HNP1 como um prefixo de rede.

Se um parâmetro de rede está fora dos limites esperados (a perda de pacote é elevada, ou o atraso de um dado fluxo é elevado), o nó pode iniciar uma troca de interface para que os requisitos do fluxo possam ser cumpridos.

A Figura 4 descreve as etapas envolvidas na troca de fluxo quando a iniciativa é do nó móvel. Quando o nó percebe que alguns dos parâmetros do estado do fluxo ou os parâmetros de rede se encontram fora dos valores esperados (etapa 1), então inicia a troca

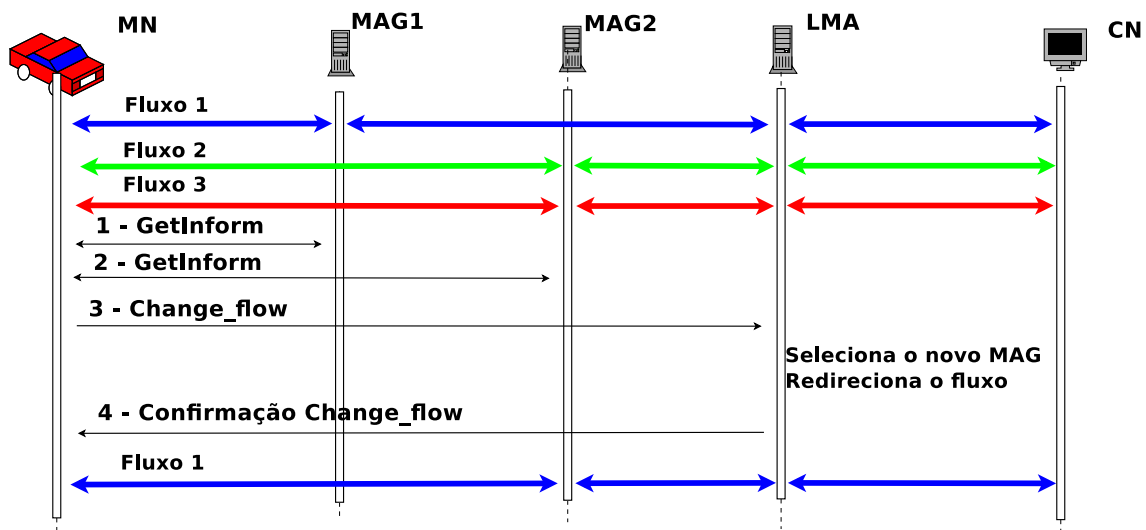


Figura 4. Diagrama de Sequência para troca de interface devido à iniciativa do nó móvel

de fluxo para uma nova interface. Em primeiro lugar, o MN envia um pedido para o LMA (etapa 2), solicitando a troca do fluxo. O LMA irá analisar qual é o melhor MAG para aquele nó móvel e irá se conectar, alterando o fluxo para esse novo MAG e informando o veículo da situação dessa mudança (etapa3). O MN, depois de receber essa mensagem, começa a enviar mensagens para o fluxo através do novo caminho.

O processo de troca de fluxo no LMA é muito mais simples do que no MN porque o LMA possui uma visão geral sobre o estado atual da rede, bem como toda a informação necessária para realizar uma mudança no fluxo. Existem duas maneiras de realizar essa mudança: (i) quando o LMA sabe que o MAG tem um HNP ligado a esse fluxo, e (ii) quando o MAG não tem um HNP ligado a esse fluxo.

A Figura 5 descreve a mudança do fluxo feita pelo LMA. No primeiro caso, o LMA sabe que o MAG2 já tem o HNP1 ligado ao fluxo 1, assim o LMA realiza a mudança do fluxo diretamente. No segundo caso, MAG1 não tem o HNP2 ligado ao fluxo 2, então o LMA informa ao MAG1 que HNP2 será responsável por encaminhar os pacotes do fluxo 2 (1). No final, o MN é notificado e começará a transmitir pacotes para o novo MAG (2).

Para auxiliar na decisão de troca de mensagem é necessário um mecanismo que indique qual será a melhor interface para um determinado fluxo. Para isso, utilizou-se o mecanismo baseado em lógica fuzzy desenvolvido por Meneguette e Colaboradores [Meneguette et al. 2013].

4. Avaliação

Nessa seção são descritos em detalhes os cenários utilizados para realizar as simulações bem como os resultados obtidos da comparação da arquitetura proposta para gerenciamento de mobilidade de fluxo para redes veiculares (AMOMENT) com outras arquiteturas presentes na literatura.

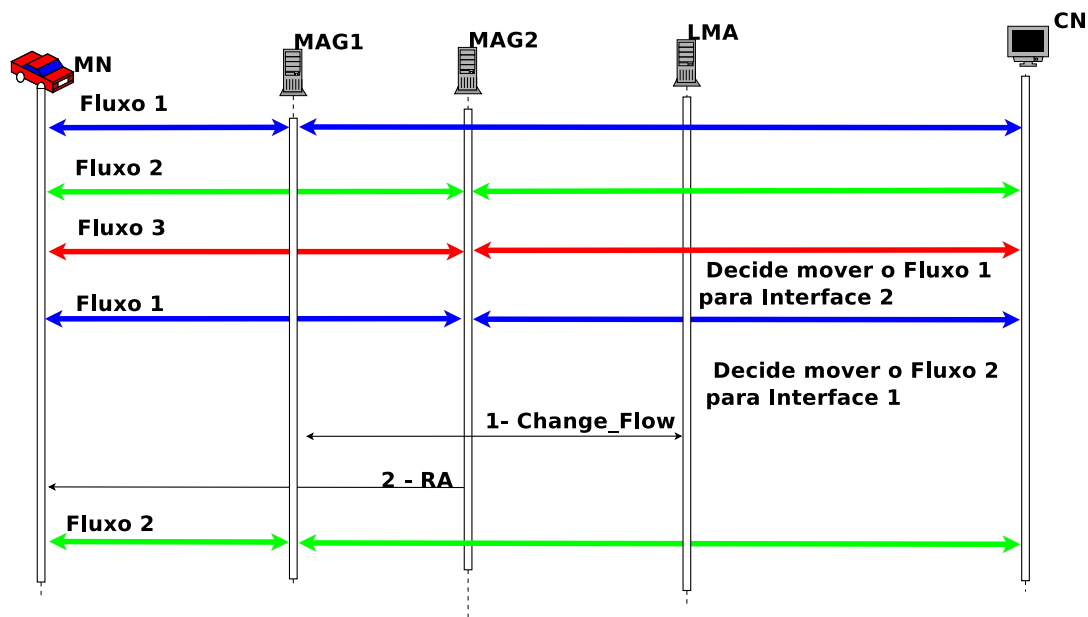


Figura 5. Diagrama de Sequência para troca de fluxo inicializada pelo LMA

4.1. Descrição dos Cenários

A arquitetura AMOMENT foi implementada no simulador network simulator (NS 3.13). Usamos o modelo PMIPv6 que foi desenvolvido por Hyon-Young Choi [Choi et al. 2010], bem como o modelo 802.21 [Salumu 2012]. O objetivo das simulações foi verificar o impacto que nossa arquitetura causaria tanto para a rede e as aplicações. Com isso, pretendemos verificar se a nova estruturação do 802.21 não causou uma sobrecarregar a rede e se o tempo de mudança de fluxo não afeta o aplicativo e rede. Para isso, usamos quatro métricas para avaliar a nossa arquitetura: vazão, perda de pacotes, atraso, tempo de *handover*, quantidade de mensagens de controle.

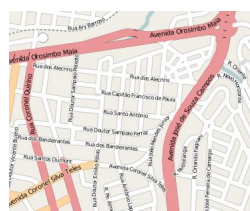
Em nosso cenário de simulação, cada veículo estava executando uma aplicação de cada classe de aplicação, ou seja, uma aplicação de classe de segurança, uma aplicação de classe conforto, e uma aplicação de classe de usuário. A frequência das mensagens para cada aplicação segue os padrões do Instituto Europeu de Normalização das Telecomunicações (ETSI) [European Telecommunications Standards Institute 2009], onde a aplicação de classe de segurança envia uma mensagem a cada 0.1s, a aplicação de classe usuário envia uma mensagem a cada 1s, e a aplicação da classe conforto envia uma mensagem a cada 0.5 segundos. A quantidade de veículos nas simulações variou de 100 a 500 veículos e todos os veículos executaram uma aplicação de cada classe de aplicações ao mesmo tempo. Todos os veículos estavam dentro do alcance de um ponto de acesso de rede celular. Pontos de acesso a rede sem fio foram espalhados pelo mapa. Entretanto, os pontos de acesso não cobrem todos os pontos do mapa.

O mapa utilizado para a simulação foi retirado de um bairro na cidade de Campinas, no Estado de São Paulo, Brasil. Foi utilizado o simulador de Mobilidade Urbana (SUMO) [Behrisch et al. 2011] para converter o mapa extraído do OpenStreetMap [OpenStreetMap 2012], como mostrado na Figura 6(b). Além disso, todos os veícu-

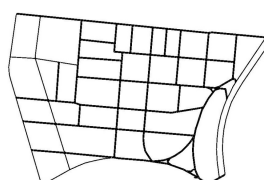
Tabela 1. Parâmetros de simulação

Parâmetros	Valores
Poder de transmissão	1.6 mW
Alcance de transmissão	200 m
Número de veículos	100, 200, 300, 400, 500 veículos/hora
Frequência classe de segurança	0.1s
Frequência classe usuário	1s
Frequência classe conforto	0.5s
Número de execuções	40
Intervalo de confiança	95%

los têm duas interfaces de rede, LTE e 802.11p, e ambas as interfaces têm seus endereços previamente atribuídos. Para a configuração só LTE usamos a configuração padrão do NS-3, que proporciona uma área de cobertura de aproximadamente 5 km para o LTE cobrindo todo o mapa. Entretanto para as configurações do 802.11p utilizamos um modelo de propagação de rádio two-ray ground e o raio de transmissão é 200 m. A Tabela 1 descreve os parâmetros da simulação.



(a) Real OpenStreet map



(b) SUMO map

Figura 6. Mapa de Campinas

Foram realizadas 40 execuções e calculamos intervalos de confiança de 95%. Nós comparamos nossa arquitetura com, SFMMA [Meneguet et al. 2013] e IF-HMIPv6 [Chen-wen and Ping 2009], além disso, definimos 3 cenários para avaliar o modelo de gerenciamento de mobilidade proposto:

- LTE: Todos os nós utilizam somente a rede LTE para transmitir e receber informações.
- WiFi: Todos os nós utilizam somente a rede WiFi para transmitir e receber informações.
- Híbrida: Ambas as redes, LTE e WiFi, estão ativas no ambiente, mas os nós apenas enviam informações sobre uma única interface, isto é, pela interface ao qual o nó está atualmente conectado. Para trocar um nó de interface de rede, utilizamos o mecanismo de limiar considerando a potência do sinal para a execução do *handover*. Todos os nós estão conectados inicialmente à rede WiFi.

4.2. Resultados

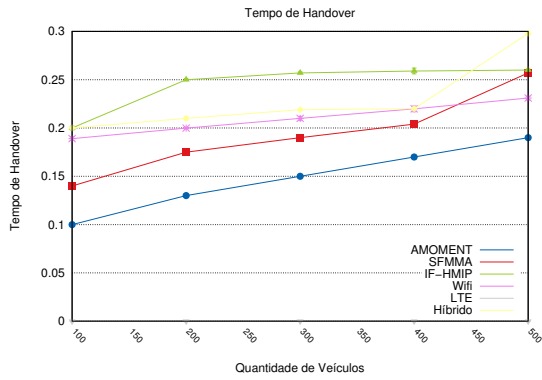
A Figura 7(a) mostra a média do tempo de *handover*. Nesses gráficos, pode-se observar que o AMOMENT tem um menor tempo de *handover*. Esse resultado está relacionado com o número de *handover* ocorridos e o estado da rede no momento do *handover*, além de estar relacionado com a quantidade de mensagens de controle na rede. Analisando o gráfico, o protocolo AMOMENT proporcionou uma redução de aproximadamente 44% em comparação com o SFMMA e uma redução de 60% comparado com o IF-HMIP. Essa redução ocorre devido ao conhecimento prévio sobre as condições da rede e os seus fluxos, evitando mudanças desnecessárias, bem como a diminuição do número de mensagens de controle na rede, como podemos ver na Figura 7(b).

A Figura 7(b) mostra a quantidade de mensagens de controle geradas na rede para a realização do *handover*. Podemos observar que a solução proposta está próximo do cenário que só possui o wifi, na qual as mensagens de controle corresponde somente a conexão do veículo ao ponto de acesso. Portanto, o protocolo proposto gera poucas mensagens devido ao uso da mensagem *Change_flow* que substitui algumas mensagens padrão do protocolo 802.21. O protocolo AMOMENT também ofereceu uma redução de aproximadamente 5% com relação ao Híbrido e uma redução de aproximadamente 50% em comparação ao IF-HMIPv6. O LTE manteve no 0 pois só possui uma única antena, não realizando nenhuma troca de fluxo. A quantidade de mensagens de controle e tempo de *handover* possuem um impacto nos resultados de atraso de mensagem, perda de pacote e, conseqüentemente, na vazão da rede.

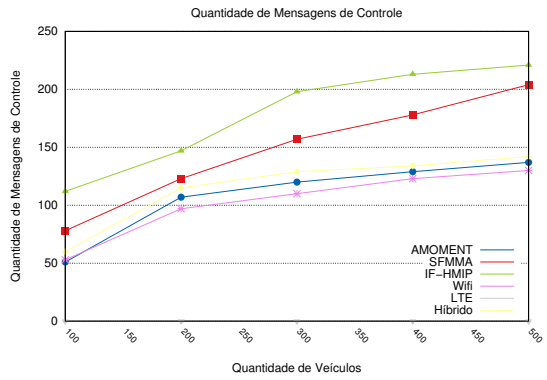
A Figura 7(c) mostra o atraso médio de todas as classes de aplicação. Podemos observar que o AMOMENT apresenta uma redução média no atraso de aproximadamente 33% em comparação com o WIFI e 23% em relação ao Híbrido. Quando há 500 carros na simulação, a solução proposta AMOMENT teve uma redução de 2% em média de atraso em relação ao SFMMA e uma redução 10% comparado com o mecanismo que possui somente o LTE. Isso ocorre porque o AMOMENT obtém um melhor equilíbrio dos pacotes a serem enviados entre as interfaces de rede, assim, não sobrecarregando nenhuma tecnologia.

Podemos ver na Figura 7(d) que a AMOMENT teve menos perdas de pacotes para todos os cenários. Dessa forma, ao dividir o tráfego entre múltiplas interfaces evita a sobrecarga de pacotes nos escalonadores de cada interfaces de rede no dispositivo. O protocolo AMOMENT proporcionou uma divisão entre as interfaces diminuindo essa disputa de pacote e obtendo um baixo tempo de *handover*. Proporcionando uma redução de perda de pacote de 5% comparado com o SFMMA e aproximadamente 80% comparado com o WiFi. Essa baixa quantidade de pacote impactou no resultado da vazão da rede, como veremos a seguir.

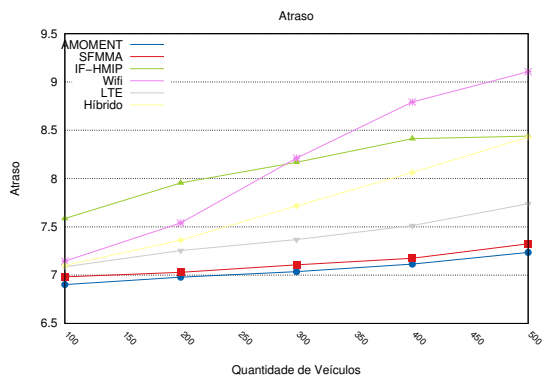
A Figura 7(e) mostra a vazão da rede em um cenário com 500 veículos. Podemos observar que o protocolo AMOMENT obteve uma menor variação em sua vazão, mostrando assim uma estabilidade da arquitetura para lidar com uma quantidade relevante de veículo. Diferentemente do SFMMA, que possui muito pontos espalhados, a solução proposta se mostra mais concisa. Se analisarmos os protocolos IF-MIPv6, LTE, WiFi e Híbrido, podemos observar o mesmo comportamento de variação de seus valores, devido



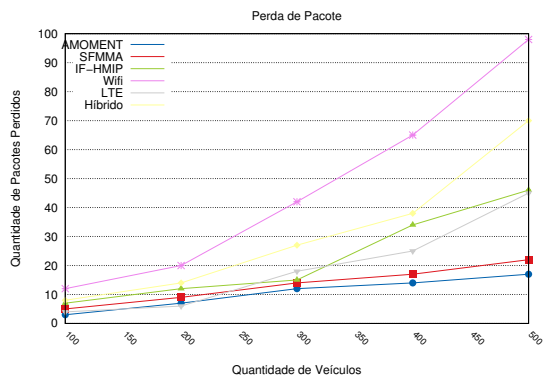
(a) Tempo de Handover



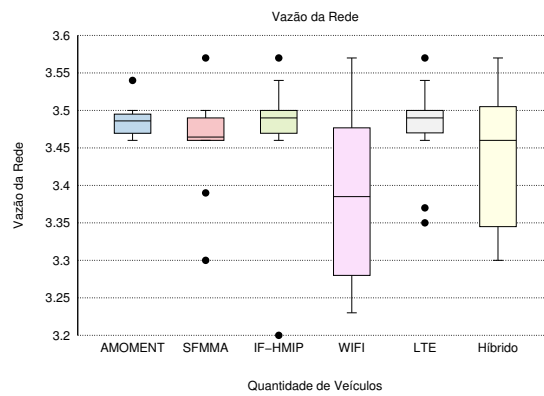
(b) Quantidade de Mensagem de Controle



(c) Atraso



(d) Perda de pacote



(e) Vazão

Figura 7. Resultados

a uma instabilidade das arquiteturas.

Para resumir, a solução proposta oferece uma arquitetura estável que mantém seu comportamento até em alta quantidade de dados, com baixa perda de pacote, com um atraso médio baixo, que acarretou em uma boa quantidade de mensagens recebidas, uma boa vazão. Isso foi possível pois o protocolo AMOMENT diminuiu a quantidade de mensagens de controle na rede e diminuiu o tempo de *handover*, pois a rede tinha informações relevantes da sobre as condições de fluxos que ela transmite, a decisão de troca de fluxo ficou centralizada no LMA e utilizamos somente uma mensagem para realizar a troca de fluxo.

5. Conclusão

Neste trabalho foi explorado o uso de mais do que uma tecnologia de rede para maximizar a QoS para aplicações em redes veiculares. As propostas de fluxo de gestão de mobilidade arquitetura lida com diferentes interfaces de rede, ao mesmo tempo, buscando maximizar o rendimento da rede, para diminuir o tempo de entrega, e para satisfazer os requisitos mínimos de perda de pacotes e latência para cada classe de aplicação de rede veicular. Como resultado deste trabalho, observou-se que a arquitetura proposta apresentou um baixo tempo de entrega das mensagens, com menor perda de pacotes e menor atraso. Como trabalhos futuros pretendemos melhorar os métodos de decisão e seleção dos próximos MAGs com o objetivo de minimizar ainda mais a quantidade de mensagens de controle na rede.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP (processo número 2015/11536-4 e o processo número 2015/18898-9) pelo apoio financeiro.

Referências

- Al-Sultan, S., Al-Doori, M. M., Al-Bayatti, A. H., and Zedan, H. (2014). A comprehensive survey on vehicular ad hoc network. *Journal of Network and Computer Applications*, 37:380–392.
- Behrisch, M., Bieker, L., Erdmann, J., and Krajzewicz, D. (2011). SUMO - Simulation of Urban MObility: An Overview. In *International Conference on Advances in System Simulation (SIMUL '11)*.
- Caulfield, B. and O'Mahony, M. (2007). An examination of the public transport information requirements of users. *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, 8(1):21–30.
- Cesana, M., Fratta, L., Gerla, M., Giordano, E., and Pau, G. (2010). C-vet the ucla campus vehicular testbed: Integration of vanet and mesh networks. In *Wireless Conference (EW), 2010 European*, pages 689–695.
- Chen-wen, W. and Ping, W. (2009). Improved fast handover scheme for hierarchical mobile ipv6. In *Computer Science Education, 2009. ICCSE '09. 4th International Conference on*, pages 294–297.

- Choi, H.-Y., Min, S.-G., Han, Y.-H., Park, J., and Kim, H. (2010). Implementation and evaluation of proxy mobile ipv6 in ns-3 network simulator. In *5th Intl. Conference on Ubiquitous Information Technologies and Applications*, pages 1 –6.
- European Telecommunications Standards Institute (2009). Intelligent transport systems (ITS); vehicular communications; basic set of applications; definitions. Technical Report 102 638, ETSI.
- Hartenstein, H. and Laberteaux, K. (2008). A tutorial survey on vehicular ad hoc networks. *Communications Magazine, IEEE*, 46(6):164–171.
- Karagiannis, G., Altintas, O., Ekici, E., Heijenk, G., Jarupan, B., Lin, K., and Weil, T. (2011). Vehicular networking: A survey and tutorial on requirements, architectures, challenges, standards and solutions. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 13(4):584–616.
- Kim, J., Morioka, Y., and Hagiwara, J. (2012). An optimized seamless ip flow mobility management architecture for traffic offloading. In *Network Operations and Management Symposium (NOMS), 2012 IEEE*, pages 229 –236.
- Makaya, C., Das, S., and Lin, F. (2012). Seamless data offload and flow mobility in vehicular communications networks. In *Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW), 2012 IEEE*, pages 338 –343.
- Marfia, G., Rocchetti, M., Amoroso, A., and Pau, G. (2013). Safe driving in la: Report from the greatest intervehicular accident detection test ever. *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, 62(2):522–535.
- Meneguette, R. I., Bittencourt, L. F., and Madeira, E. R. M. (2013). A seamless flow mobility management architecture for vehicular communication networks. *Journal of Communications and Networks*, 15(2):207–216.
- OpenStreetMap (2012). OpenStreetMap - the wiki of free maps. Available at: <http://www.openstreetmap.org/>. Acessado em 2012.
- Safa Sadiq, A., Faisal, N. B., Ghafoor, K. Z., and Lloret, J. (2014). Advanced mobility handover for mobile ipv6 based wireless networks. *The Scientific World Journal*, 2014.
- Salumu, M. (2012). ns3 - 802.21. Available at: <http://code.nsnam.org/salumu/ns-3-mih/>. Acessado em 2012.
- Singh, A., Kumar, M., Rishi, R., and Madan, D. K. (2011). A relative study of MANET and VANET: Its applications, broadcasting approaches and challenging issues. In *Advances in Networks and Communications*, volume 132, pages 627–632. Springer Berlin Heidelberg.

I Workshop de Computação Urbana (CoUrb)
SBRC 2017
Sessão Técnica 3
m-Health e Computação Social

A Mobile Health Solution for Diseases Control Transmitted by *Aedes Aegypti* Mosquito using Predictive Classifiers

Oton C. Braga¹, Olimária C. Fonsêca¹, Mário W. L. Moreira^{1,2},
Joel J. P. C. Rodrigues,^{2,3,4} Francisca R. V. Silveira¹,
Antônio M. B. Oliveira¹, Augusto J. V. Neto⁵

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), Aracati, CE - Brazil

²Instituto de Telecomunicações, Universidade da Beira Interior, Covilhã - Portugal

³Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel), Santa Rita do Sapucaí, MG - Brazil

⁴Universidade de Fortaleza (UNIFOR), Fortaleza, CE - Brazil

⁵DIMAP, Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal, RN - Brazil

{otoncbraga, olimariacastro, amauroboliveira}@gmail.com

raquel.silveira@ifce.edu.br, agosto@dimap.ufrn.br

{joelj, mario.moreira}@ieee.org

Abstract. *In healthcare, uncertainty moments are frequent, especially when they come from diseases with similar signals and symptoms. This work proposes a mobile health application based on predictive classifiers as inference mechanism capable to support health professionals in the identification of diseases transmitted by the Aedes Aegypti mosquito. The proposed system identifies the most probable disease in the case of dengue and chikungunya, given a set of symptoms presented by a patient. This work evaluates the experiments by cross-validation using real data, and the results show that decision tree perform well for the proposed solution.*

1. Introduction

Latest technologies have transformed the way people live and communicate. In healthcare [Manirabona et al. 2017], for example, developments of prostheses and mechanical arms used in surgeries are already a reality. In information and communication technologies, smart decision support systems (DSSs) try to find solutions capable to improve the outcome of extremely complex processes.

For several reasons, moments of uncertainty often occur in medicine and healthcare. Some diseases have similar or identical symptoms, requiring specific evaluations for a more accurate diagnosis. In some cases, tests are not able to provide a correct diagnosis. DSSs propose interesting contributions for problem-solving involving lack of information. DSSs embedded in mobile technologies can infer a more reliable result in an automated manner at any time and any where [Laguna and Finat 2013]. The application of these systems on health has brought several benefits to both physicians and patients, improving medical care and supporting professionals in the decision-making process [Gardini et al. 2013, Raffaeli et al. 2016, Joseph and Brown 2017]. Although it

is recommended that patients have a medical appointment when present symptoms of dengue or *chikungunya*, this process may be time-consuming in several countries, such as Brazil, given the pressure of population that demands healthcare services. The *Aedes Aegypti* mosquito mitigation, which is the transmitter of these diseases, has become the primary target of public health campaigns, in Brazil, last times. According to the Ministry of Health, more than R\$ 20 million (Brazilian real) were released, in 2016, to combat the mosquito [Brazil 2016b]. Some initiatives have been taken to stem its progress. However, mosquitoes develop rapidly and replicate quickly in favorable environments.

DSSs can assist health specialists and general population in the process of identifying mosquito-related diseases and their severity, which are commonly confused, due to the similarity of their symptoms. In the same way, using mobile technology, together with intelligent systems, can contribute to the reduction of queues in hospitals when related to these diseases. In this context, this study proposes a mobile system to identify diseases transmitted by the *Aedes Aegypti* mosquito, using classification methods. From the user-informed symptoms, via the user interface provided by the application, the system calculates the probability of the patient being infected with dengue or *chikungunya* through a supervised machine learning (ML) algorithm. The system can be used by both doctors and users in uncertainty moments on triage. The objective of the proposed system is to contribute for fighting against this mosquito, as well as the diseases that it transmits.

The rest of the paper is organized as follows. Section 2 deals with works related to smart DSSs, both in several knowledge areas and applied to healthcare. Section 3 deals with the use of classifiers, highlighting those based on probabilistic models and decision trees. Data pre-processing and sorting are considered in Section 4. Section 5 presents and describes the created mobile solution and, finally, Section 6 concludes the paper and suggests further works.

2. Intelligent Approaches to Support Decision-making Process

Decision Support Systems (DSSs) use several strategies to solve a given problem related to the topic under study. Some approaches apply inductive inference to adapt to new situations while other methods use probability-based mathematical models for information and knowledge discovery in large data sets. Another well-known method is ML, which is a well-known artificial intelligence tool under use. This approach uses pattern recognition to perform deductions from a set of examples. A learning model classifies a particular class through its attributes, which helps prediction rules to treat new situations, for instance, to generate a precise diagnosis [Stange and Neto 2010]. Both approaches have evolved rapidly and many methods already produce reliable results in different situations [Faceli et al. 2015]. Thus, this work uses supervised ML algorithms based on probabilistic methods and search. This approach involves data mining (DM) statistical models that identify the data arrangement in a sample. The classifiers based on Bayes' theorem are examples of this strategy. The search-based methods represent other leading techniques group. The tree-based models determine a hierarchical data description. Decision trees and adaptive systems are approaches that fit this strategy. Therefore, it is possible to find several applications for each approach and the above-mentioned data classification strategies. In Morais and Fehine [Morais and Fehine 2013], the authors use a system to support the teacher in the decision-making process. The paper analyzes the most relevant factors in a distance education course. This system uses DM tech-

niques in a virtual learning environment (VLE) to classify educational data, to know, decision trees and Bayesian networks (BNs). Both techniques presented similar results. Thanathornwong *et al.* use a system for predicting dental whitening procedure results. This work applies multiple regression equations in a set data of CIELAB color coordination, before and after the procedure. Results show this method can predict other cases precisely [Thanathornwong et al. 2016]. Teles *et al.* present a DSS focused on the dengue diagnosis and its severity. This system uses BNs to support dengue diagnosis in uncertainty cases. The system analyzes user data (symptoms) and infers about the disease severity [Teles et al. 2014]. In [Moreira et al. 2016a] the authors use BNs to support decision making in uncertainty moments. This research develops an inference mechanism based on ML techniques using the Naïve Bayes (NB) classifier in a health database to classify hypertensive disorders in pregnancy focusing on the preeclampsia care. This system analyzes the data disposition and sort them in the network. From the symptoms presented by the pregnant woman, the system infers the severity of the case using statistical data. Results show this approach can assist the specialist in the preeclampsia diagnosis. This method proved to be accurate even with a small amount of data. Ayyaz *et al.* use mathematical models to simulate epidemics, creating preventive measures to combat diseases with epidemic characteristics. The presented models can identify the spread disease particularities and predict with reasonable efficiency where can occur epidemic problems. The work shows an application for *Aedes Aegypti* mosquito propagation [Ayyaz et al. 2015]. Moreira *et al.* compare the Naive Bayes method with the J48 decision tree-based classifier. This paper analyzes a data set related to hypertensive disorders in pregnancy to evaluate complications in gestation using a confusion matrix and its predictive parameters. Although the two classifiers have presented close values, the results show that J48 decision tree algorithm is the classifier with greater precision for this situation [Moreira et al. 2016c].

3. Using Classifiers in Smart DSSs as strategy to control the *Aedes Aegypti* Mosquito

A physician needs to follow a particular procedure to give a diagnostic. Firstly, the physician analyzes the information presented by the patient to formulate an hypothesis; then, requests exams to validate it, providing a more accurate diagnosis. However, many factors can influence the physician decision-making process, affecting the final diagnosis. The environment, fatigue, stress, excess of patients, emotional factors, among others, can contribute negatively to consultation result. Classifiers work in a similar way, though in a less complex procedure. These approaches analyze a data set and separate it into individual classes that rely on a set of specific or shared characteristics. The classifier seeks data in the electronic medical records to analyze the symptoms presented in a new case. Then, it calculates the probability for each class.

3.1. Epidemiological Context

Dengue is a problem of greater significance in Brazil due to its high mortality rate. The vector *Aedes Aegypti* transmits this disease. This mosquito spreads quickly in favorable environments, and it has been reproducing mainly because of inadequate sanitary conditions and standing water exposure. The Brazilian government has already taken several steps to mitigate the problem. Despite high expenses, the Brazilian health ministry

had obtained no significant results, and the population infected with dengue grows each year. This issue has become an object of the leading public campaign in the country. Notwithstanding, this mosquito also carries virus from other diseases, such as Zika virus and chikungunya. The incidence of these diseases has increased in recent years and has caused significant harms to public health. The cases evolved mainly in the rainy seasons usually by the first weeks of the year. The health ministry publicized more than 800,000 dengue cases only in 2016 [Brazil 2016a].

3.2. The Naïve Bayes Classifier

Statistical assumptions characterize the Bayesian classifiers. This approach calculates the frequency of event occurrence to define a mathematical model suitable for predicting the result of a new event still unknown. This proposal use the Bayes' theorem, which calculates the probability of an event c_i given an event x , $P(c_i|x)$. For example, a patient likelihood having dengue fever if it has a fever, back pain, among others symptoms. Equation 1 shows this theorem.

$$P(c_i|x) = \frac{P(x|c_i)P(c_i)}{P(x)} \quad (1)$$

Where, $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ represents the set of attributes (symptoms) and $c = (c_1, c_2, \dots, c_m)$ the classes (diseases). $P(x_j)$, $P(c_i)$ are the *a priori* probabilities. Like this, $P(c_i|x)$ are the conditional probabilities of the attributes for each class and $P(x|c_i)$ the likelihood for new events.

The NB classifier is one of the most used Bayesian classifiers in DM. Although using a simple premise and considering the independent attributes of each other, it presents accurate results for cases appropriate to its context. From the Bayes theorem showed in (1), this work disregards the term $P(x)$, since it will be the same for all the classes, thus simplifying this theorem by obtaining (2).

$$P(c_i|x) \propto P(c_i) \prod_{j=1}^n P(x^j|c_i) \quad (2)$$

Equation 3 shows the theorem application to the diseases context, considering the independence of symptoms among themselves.

$$P(Disease_i|Symp) = P(Symp_1|Disease_i) \cdot \dots \cdot P(Symp_n|Disease_i) \cdot P(Disease_i) \quad (3)$$

Figure 1 presents the nodes relationship constructed by the NB classifier. It gives the graphical structure of the relationship between input nodes (symptoms) and output nodes (diseases). In this case, each disease depends on the *a priori* probability of its symptoms group.

3.3. The Decision Tree-based Classifier

Decision trees represent directed graph structures. Its nodes can be root nodes, where the tree begins, nodes that divide a given attribute and generate branches, and leaf nodes that

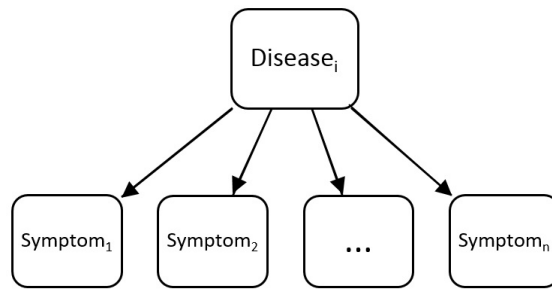


Figure 1. The NB classifier Representation.

contain the classification information of the algorithm. This method uses search-based algorithms to achieve the best possible representative graphical model of the observed experience. Figure 2 shows a decision tree construction example.

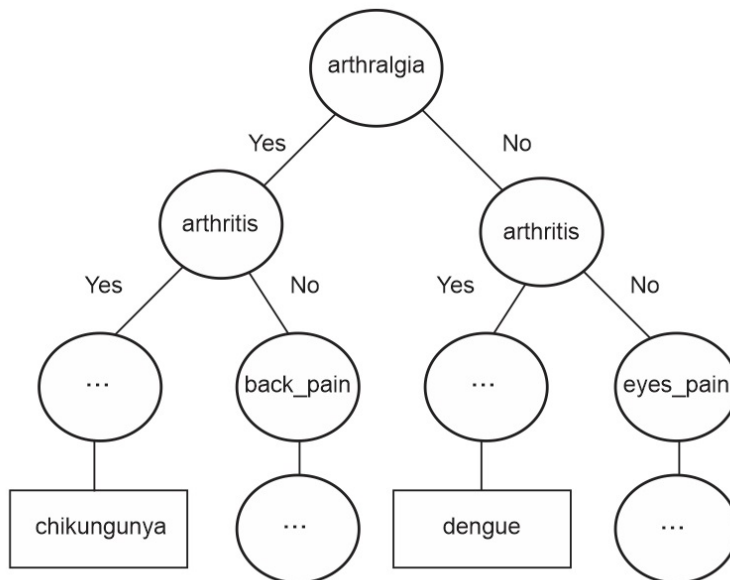


Figure 2. Example of a Decision Tree Graph.

To obtain this graphic representation it is necessary to perform several search functions. Equation 4 calculates the purity degree of an attribute. The value found on attribute divisions represents the amount of class information, *e.g.*, the relationship between fever and dengue fever. Thus, performing a weighted sum of this sample set, it is possible to discover the purity degree of that attribute.

$$IG(X, A) = Entropy(X) - \sum_{i=1}^n \frac{|n_i|}{|N|} Entropy(X) \quad (4)$$

Where $X = (n_1, n_2, \dots, n_n)$ represents the attributes, n_i expresses the size of X , and N is the training set. The term $Entropy(X)$ measures the variable variation, *i.e.*, how difficult is to predict this variable. It is necessary to separate the attributes into distinct

classes to find a maximum entropy. Otherwise, the entropy is zero. Thus, as much as fever cases are distributed between dengue and *chikungunya*, more difficult will be their prediction. However, as much as fever cases are distributed for one of the diseases, it improves its prediction. Equation 5 shows the entropy equation.

$$Entropy(X) = - \sum_{j=1}^{Nclass} p(c_j|n_i) \log_2 p(c_j|n_i) \quad (5)$$

The difference between the entropy of the first sets case and the partitions entropy defines the information gain of an X attribute. Equation 5 presents this relationship. The node that has the highest information gain determines the best attribute to be used, simplifying the tree structure. Thus, the symptoms that have the best entropy will be at the top of the tree.

4. Data Classification of Dengue Fever and *Chikungunya*

The identification difficulty of these diseases is due to its symptoms similarity. It is an interesting research topic for artificial intelligence context. Thus, this study uses data on diseases caused by the dengue fever mosquito for training the classifiers.

4.1. Data Analysis and Preprocessing

The data analyzed were extracted from the open data portal of the Recife prefecture, Brazil [Recife 2016]. These data present clinical and laboratory attributes. It requires technical or invasive procedures on its acquisition. Therefore, this work disregarded such data, paying attention to the characteristics related to the diseases symptoms under study. Table 1 shows the main symptoms presented by patients.

Table 1. Main Symptoms Presented by Patients.

Symptoms
Fever
Nausea
Vomiting
Arthritis
Conjunctivitis
Headache
Back pain
Muscle pain
Arthralgia intense
Pain around the eyes
Red spots on the skin
Red dots on the skin

Data about the patient's health history can also be extremely relevant for a disease diagnosis. Therefore, some attributes express preexisting conditions. Table 2 shows these conditions. This study concerned to verify only prevalent diseases, with the intention to reach ordinary people. This work truncated cases that contained missing data.

Table 2. Preexisting Diseases.

Diseases
Diabetes
Hepatitis/cirrhosis
Chronic kidney disease
Hypertension

The "Month of the Year" field was separated into four periods to highlight rainy seasons. Thus, the first weeks of the year, when more cases occur, the diseases under study are clearly distinguished.

The database includes 1,274 *chikungunya* cases and 4,687 dengue fever cases. Hence, performance evaluation uses the SMOTE technique to perform a data balancing to obtain a better classification [Chawla et al. 2002]. This evaluation also performs a balancing percentage ranging between 200% to 350% depending on the algorithm behavior. Thus, *chikungunya* cases numbers are close to the dengue fever cases. Some algorithms presented better results after an attribute selection, which truncates the less relevant attributes to highlight the most significant ones [Hall and Holmes 2003]. Thus, this study also applies this strategy to some algorithms.

4.2. Data Classification

An intense search from related works to diseases' diagnosis in doubt moments allowed choosing the most appropriate classifier for the problem. For this, the search used parameters such as uncertainty, disease, classifiers, and DSS. It highlighted some classifiers such as J48, NB, Random Forest (RF), and Bayes Net [Webb 2011] [Bradley 1997] [Moreira et al. 2016b].

These classifiers present satisfactory results for specific situations but lose their effectiveness when applied to other circumstances [Chakraborty et al. 2016, Parida and Dehuri 2014]. Thus, this research concludes that there is a classifier that is the most suitable for each situation. Therefore, a 10-fold cross-validation test indicated the most appropriate classification for the dataset used in this work. It consists of dividing the database into ten subsets and selecting one for testing and the remainder for learning. This validation method uses each set only one time for the test, *i.e.*, this procedure occurs ten times. This method developed by [Browne 2000] is widely used in validation tests.

4.3. Performance Evaluation and Results Analysis

Performance evaluation used two preprocessing strategies: balancing and attribute selection. Table 3 shows the used mechanisms in each algorithm as well as its configurations. For this, the use of different balancing and attribute selection settings reached to 20 experiments. The harmonic mean used in this study is a performance measure widely used in forecasting tasks. Combining precision and recall, avoiding disadvantages of simple metrics such as error rate, especially in cases of unbalanced class distributions [Busa-Fekete et al. 2015]. Precision and recall are measures obtained by the ratio of the positive examples and the success rate of the real class respectively. Table 3 shows the best results achieved by each algorithm.

Table 3. F-Measure Classification Results.

F-Measure				
Algorithm	Dengue Fever	<i>Chicungunya</i>	Attribute Selection	Balancing
Random Tree	74.2	80.2	No	350%
Random Forest	75.4	79.7	No	320%
Naive Bayes	70.2	70.4	Yes	300%
Bayes Net	73.1	78.5	No	350%

According to table 3, the algorithms based on decision tree presented better results for the data set considered in this work. Table 4 shows the confusion matrix for the two considered algorithms. The confusion matrix shows the relationship between the real cases and the cases classified by the algorithm. This model allows to discover the sensitivity and specificity.

Table 4. Confusion Matrix.

Bayes Net			Random Forest		
Classified	D	C	Classified	D	C
Real			Real		
Dengue Fever	3387	1300	Dengue Fever	3426	1261
<i>Chicungunya</i>	1192	4741	<i>Chicungunya</i>	972	4378

The symptoms presented by the diseases are very similar and are easily confused. The matrices show the relationship between the classes predicted by the algorithms and their real values. Both algorithms make mistakes in the classification of some cases. However, the results are relevant, indicating excellent predictors for identifying significant number of cases. The more specific used attributes would certainly improve this prediction. However, since the objective proposed by this work is to perform a first patient screening, it would not be feasible to use such attributes.

Table 5. Random Forest Classifier Results.

Precision Measurements				
	Precision	Recall	F-Measure	ROC Area
Dengue Fever	77.6	81.8	75.4	85.6
<i>Chikungunya</i>	77.9	73.1	79.7	85.6

The RF classifier performed well, in average. The ROC area presents appropriate values. However, the precision, recall, and F-Measure show the classifier's deficiency in handling the furnished data. The relationship between sensitivity and specificity provides these measures, calculated from false positive, false negative, true positive, and true negative values. These indicators estimate the system reliability [Powers 2011].

5. Mobile Solution to Support Experts in the Decision-making Process

From the analysis of the algorithms, it was possible the development of a remote system dedicated to first care systems for patients with suspicion of the diseases under study. The system receives HTTP requests from any application (containing the patient disease's

symptoms) and returns the probability for each illness and explanation for the suggested diagnosis results. The RF classifier processes the data. This approach had the best adaptation for each case under study, showing better results in the classification process. This research also developed a mobile application that captures a set of symptoms reported by the patient from an objective questionnaire. After filling the survey, the users' interface provides a button for classifying the user's symptoms. After, it sends the obtained classification from the patient to a remote server, as shown in Figures 3 and 4.

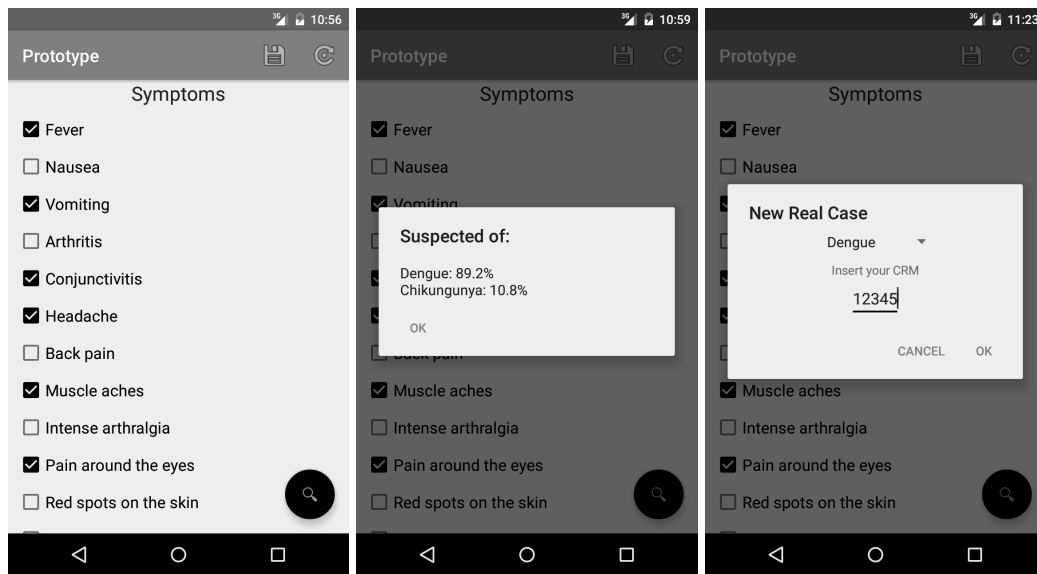


Figure 3. Some Mobile Application User's Interface.

The system offers a collaboration option of experts on healthcare. After validation of the CRM (Brazilian Regional Medical Record), experts can increase the system with new cases. The remote system database receives the increased data. Figure 3 (third screen) shows this functionality. Figure 4 shows the proposed architecture for the model. With more cases registered in the database, the algorithm can train on different situations and improve its prediction accuracy. The dataset formed by 5,961 cases of diseases under study was used to prepare the application. The Apache Tomcat framework, available at <http://tomcat.apache.org> was used to develop the Web system using JAVA EE, and the WEKA API performed the classifications. This API can be found on "Data Mining Software in Java" [Frank et al. 2016]. The API has several classification algorithms widely used in DM. The Data Server uses MySQL, available in <https://www.mysql.com>. The system runs in the cloud, supporting multiples requests simultaneously. The mobile application development in JAVA uses the IDE platform Android, named Android's Official Studio. It uses the SDK Android 22. It is available for devices with versions from 4.0 (Jelly Bean). Other applications can also send HTTP requests to the system.

6. Conclusion and Future Work

The analysis of different strategies is essential in prediction processes and DM. The algorithms comparison applied to particular problems are determinant in any ML practice. The uniqueness of data precludes a deduction efficient because the algorithms can behave

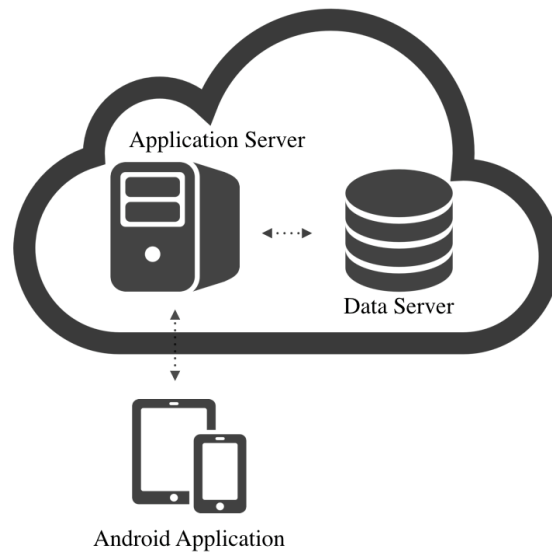


Figure 4. Simplified Illustration of the System Architecture.

differently in individual cases. Finding a classifier that presents better results for a given data set is substantial for a system success. The decision tree-based classifier, named RF, although showed high values to predict all the diseases proved to be very useful for the system requirement. Each symptom can be presented in various illness transmitted by the mosquito and it has an absolute randomness, which complicates the classification. However, the accuracy given by the system has significantly relevance to control the population uncertainty and help health professionals about these diseases. This work concludes that the proposed system offers a significant contribution to the society, in general, supporting also health professionals to combine the patient symptoms to the right disease precisely, functioning as a query tool for users in general.

The created application only considers attributes and symptoms identified in a case analysis available on a single database. In this way, further works propose the creation of an adaptive system for new attributes or classes in the network, improving the data prediction. Other diseases transmitted by the *Aedes Aegypt* mosquito is an important research topic. Zika fever represents a dangerous disease transmitted by the same vector and has caused serious harm in the population. There is an increased occurrence of microcephaly in the country associated with this disease (Brazil), considered as a national urgency [Luz et al. 2015]. The public records lack for this illness made it impossible for their inclusion in the classification process of this research.

Acknowledgments

This work was supported by the by National Funding from the FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia through the *UID/EEA/50008/2013* Project, by Finep, with resources from Funttel, Grant No. 01.14.0231.00, under the Centro de Referência em Radiocomunicações - CRR project of the Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel), Brazil, by Ciência sem Fronteiras of CNPq, Brazil, through the process number 207706/2014 – 0, and by FUNCAP (Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento

Científico e Tecnológico) under the Program of Research Productivity Grants, Incentive for Interiorization and Technological Innovation - BPI, FUNCAP Edital No. 09/2015.

References

- [Ayyaz et al. 2015] Ayyaz, A., Muaz, U., Awan, S., and Ayyaz, M. N. (2015). Simulation model for counter-measures against *Aedes Aegypti*. In *2015 13th International Conference on Frontiers of Information Technology (FIT), December 14-16, Islamabad, Pakistan*, pages 98–103.
- [Bradley 1997] Bradley, A. P. (1997). The use of the area under the ROC curve in the evaluation of machine learning algorithms. *Pattern Recognition*, 30(7):1145–1159.
- [Brazil 2016a] Brazil (2016a). Ministério da saúde. monitoramento dos casos de dengue, febre de chikungunya e febre pelo vírus zika até a semana epidemiológica 13. <http://portalsaude.saude.gov.br/images/pdf/2016/abril/26/2016-014---Dengue-SE13-prelo.pdf>. Accessed: 2017-04-29.
- [Brazil 2016b] Brazil (2016b). Ministério da saúde. prevenção e combate: Dengue, chikungunya e zika. <http://portalsaude.saude.gov.br/>. Accessed: 2017-04-29.
- [Browne 2000] Browne, M. W. (2000). Cross-Validation Methods. *Journal of Mathematical Psychology*, 44:108–132.
- [Busa-Fekete et al. 2015] Busa-Fekete, R., Szörényi, B., Dembczynski, K., and Hüllermeier, E. (2015). Online f-measure optimization. In *Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS 2015), December 7-12, Montreal, Canada*, pages 595–603.
- [Chakraborty et al. 2016] Chakraborty, C., Gupta, B., and Ghosh, S. K. (2016). Chronic wound characterization using bayesian classifier under telemedicine framework. *International Journal of E-Health and Medical Communications (IJEHMC)*, 7(1):76–93.
- [Chawla et al. 2002] Chawla, N. V., Bowyer, K. W., Hall, L. O., and Kegelmeyer, W. P. (2002). Smote: synthetic minority over-sampling technique. *Journal of artificial intelligence research*, 16:321–357.
- [Faceli et al. 2015] Faceli, K., Lorena, A. C., Gama, J., and de Carvalho, A. C. (2015). *Inteligência Artificial: Uma Abordagem de Aprendizado de Máquina*. LTC, Rio de Janeiro, Brazil.
- [Frank et al. 2016] Frank, E., Hall, M. A., and Witten, I. H. (2016). The weka workbench. online appendix for "data mining: Practical machine learning tools and techniques". http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/Witten_et_al_2016_appendix.pdf. Accessed: 2017-04-29.
- [Gardini et al. 2013] Gardini, L. M., Braga, R., Bringel, J., Oliveira, C., Andrade, R., Martin, H., Andrade, L. O. M., and Oliveira, M. (2013). Clariisa, a context-aware framework based on geolocation for a health care governance system. In *2013 IEEE 15th International Conference on e-Health Networking, Applications Services (Healthcom), October 9-12, Lisbon, Portugal*, pages 334–339.
- [Hall and Holmes 2003] Hall, M. and Holmes, G. (2003). Benchmarking attribute selection techniques for discrete class data mining. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 15(6):1437–1447.

- [Joseph and Brown 2017] Joseph, R. and Brown, P. (2017). The cloud gets personal: Perspectives on cloud computing for personalized medicine. *International Journal of E-Health and Medical Communications (IJEHMC)*, 8(2):1–17.
- [Laguna and Finat 2013] Laguna, M. A. and Finat, J. (2013). Personalized mobile applications for remote monitoring. *International Journal of E-Health and Medical Communications (IJEHMC)*, 4(1):1–11.
- [Luz et al. 2015] Luz, K. G., Santos, G. I. V. d., and Vieira, R. d. M. (2015). Febre pelo vírus zika. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, 24(4):785–788.
- [Manirabona et al. 2017] Manirabona, A., Fourati, L. C., and Boudjit, S. (2017). Investigation on healthcare monitoring systems: Innovative services and applications. *International Journal of E-Health and Medical Communications (IJEHMC)*, 8(1):1–18.
- [Morais and Fachine 2013] Morais, A. M. and Fachine, J. (2013). Mineração de dados educacionais no apoio ao processo de tomada de decisão do docente. In *Congresso da Sociedade Brasileira de Computação, July 23-26, Maceió, AL, Brazil*, pages 478–483.
- [Moreira et al. 2016a] Moreira, M. W., Rodrigues, J. J., Oliveira, A. M., Ramos, R. F., and Saleem, K. (2016a). A preeclampsia diagnosis approach using bayesian networks. In *2016 IEEE International Conference on Communications (ICC), May 23-27, Kuala Lumpur, Malaysia*, pages 1–5.
- [Moreira et al. 2016b] Moreira, M. W. L., Rodrigues, J. J. P. C., Oliveira, A. M. B., Saleem, K., and Neto, A. V. (2016b). An inference mechanism using bayes-based classifiers in pregnancy care. In *2016 IEEE 18th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom), September 14-17, Munich, Germany*, pages 1–5.
- [Moreira et al. 2016c] Moreira, M. W. L., Rodrigues, J. J. P. C., Oliveira, A. M. B., Saleem, K., and Venancio Neto, A. J. (2016c). Performance evaluation of predictive classifiers for pregnancy care. In *2016 IEEE Global Communications Conference, December 4-8, Washington, DC, USA*, pages 1–5.
- [Parida and Dehuri 2014] Parida, S. and Dehuri, S. (2014). Review of fmri data analysis: A special focus on classification. *International Journal of E-Health and Medical Communications (IJEHMC)*, 5(2):1–26.
- [Powers 2011] Powers, D. M. (2011). Evaluation: from precision, recall and f-measure to roc, informedness, markedness and correlation. *Journal of Machine Learning Technologies*, 2(1):37–63.
- [Raffaelli et al. 2016] Raffaelli, L., Spinsante, S., and Gambi, E. (2016). Integrated smart tv-based personal e-health system. *International Journal of E-Health and Medical Communications (IJEHMC)*, 7(1):48–64.
- [Recife 2016] Recife (2016). Prefeitura de recife. casos de dengue, zika e chikungunya. <http://dados.recife.pe.gov.br/dataset/casos-de-dengue-zika-e-chikungunya>. Accessed: 2017-04-29.
- [Stange and Neto 2010] Stange, R. L. and Neto, J. J. (2010). Reconhecimento de padrões em classificadores – comparação de técnicas e aplicações. In *IV Workshop de Tecnologia Adaptativa (WTA 2010), January 21-22, São Paulo, SP, Brazil*, pages 63–67.

- [Teles et al. 2014] Teles, G., Oliveira, C., Braga, R., Andrade, L., Ramos, R., Cunha, P., and Oliveira, M. (2014). Using bayesian networks to improve the decision-making process in public health systems. In *2014 IEEE 16th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom), October 11-15, Natal, RN, Brazil*, pages 565–570.
- [Thanathornwong et al. 2016] Thanathornwong, B., Suebnukarn, S., and Ouivirach, K. (2016). Decision support system for predicting color change after tooth whitening. *Computer methods and programs in biomedicine*, 125:88–93.
- [Webb 2011] Webb, G. I. (2011). Naïve bayes. In *Encyclopedia of Machine Learning*, pages 713–714. Springer.

LAÍS, um Analisador Baseado em Classificadores para a Geração de Alertas Inteligentes em Saúde

Cristiano Silva¹, Joyce Quintino¹, Oton C. Braga¹, Ronaldo Ramos²,
Odorico Monteiro³, Mauro Oliveira¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)
Aracati, CE - Brasil

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)
Fortaleza, CE - Brasil

³Universidade Federal do Ceará (UFC)
Fortaleza, CE - Brasil

{cristianocagece, joycequintino11, otoncbraga, ronaldo.ramos,
odorico0811, amauroboliveira}@gmail.com

Abstract. *Although the infant mortality index has been reduced in recent years, this issue is still considered a serious problem in Brazilian health system indicators. In this context, the GISSA Framework (Intelligent Governance Framework for Brazilian Health System) emerges as a framework for the Federal Government program, called “Rede Cegonha”. The main objective is to improve the health care for pregnant woman as well as the newborn. This framework aims to generate alerts focusing on the health status verification of newborns and pregnant woman in order to help healthy decision-makers in preventive actions that may mitigate the problem. Therefore, this paper presents the LAIS, an Intelligent Health System Analyzer based on data mining classifiers, which the objective is to generate alerts. Finally, we present the proposal results of an application that provides the death probability of a newborn, based on the analysis of his attributes and his mother.*

Resumo. *Embora nos últimos anos o índice de mortalidade infantil tenha sido reduzido, este tema ainda é considerado um grave problema nos indicadores da saúde no Brasil. O GISSA (Governança Inteligente em Sistema de Saúde) é um framework destinado ao Programa Rede Cegonha do Governo Federal, cujo objetivo é preservar a saúde da gestante e do recém-nascido. Este framework tem a função de gerar alertas relativos ao estado de saúde do recém-nascido e da gestante, de modo a ajudar os tomadores de decisão em saúde nas ações preventivas que possam mitigar o problema. Este trabalho propõe o LAÍS, um analisador baseado em mineração de dados, com objetivo de tornar inteligentes os alertas em Sistemas de Saúde. São apresentados os resultados de uma aplicação que fornece a probabilidade de um recém-nascido vir à óbito, a partir da análise de seus atributos e de sua mãe.*

1. Introdução

A mortalidade infantil é um problema que atinge todos os países, com maior incidência naqueles socialmente subdesenvolvida. De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU), a taxa de mortalidade no Brasil caiu 77% em 22 anos [ONU 2016]. Embora em redução no Brasil, esta taxa ainda é considerada muito elevada.

Com o avanço na tecnologia da informação, muito tem sido feito para auxiliar os gestores de saúde nos processos de tomada de decisão. Ela oferece meios que podem melhorá-los a partir da utilização de soluções inteligentes. Por exemplo, o uso de técnicas de mineração de dados pode tornar o sistema capaz de emitir alertas sobre o risco que um recém-nascido possui de vir a óbito. É o que se propõe neste trabalho.

O GISSA é um *framework* desenvolvido a partir do LARIISA [Oliveira et al. 2010], um sistema inteligente de governança para o apoio à tomada de decisão em ambientes de saúde. Assim, o GISSA é uma instância do LARIISA destinado ao Programa Rede Cegonha do Ministério da Saúde, cujo o objetivo é preservar a saúde da mãe e da criança, em especial nos primeiros anos de vida. Um protótipo do GISSA está sendo implementado na cidade de Tauá, no Ceará. Atualmente, ele dispõe das seguintes funcionalidades: geração de alertas de um nascido vivo com baixo peso, vacinação atrasada, pré-natal, campanha de vacina, entre outras. Contudo, essas funcionalidades ainda não fazem uso de mecanismos inteligentes.

Este trabalho apresenta o LAÍS, um analisador que utiliza técnicas de Mineração de Dados, para emissão de alertas para sistemas de saúde. Na prototipação foram usadas como dados as bases dos sistemas SIM (dados sobre mortalidade) e do SINASC (dados sobre nascidos vivos), ambos pertencentes ao DATASUS (Departamento de Informática do SUS). O resultado foi um modelo de previsão capaz de classificar novos casos de mortalidade infantil, permitindo a tomadores de decisão de mitigar o problema da mortalidade infantil, a partir de dados do recém-nascido e de sua mãe.

Este trabalho está organizado da seguinte forma. Na seção 2 é apresentado o LARIISA, descrevendo a importância do GISSA e do processo de Descoberta de Conhecimento em Bases de Dados, além de se discutir o conceito de Mineração de Dados para o propósito buscado; na seção 3, são abordados trabalhos relacionados ao presente contexto; na seção 4, são descritos os estudos realizados, a tarefa de Mineração de Dados usada, os algoritmos de Aprendizagem de Máquina; na seção 5, é apresentado o LAÍS o analisador desenvolvido para alertas em saúde; na seção 6, é discutida a importância desse trabalho que agrega inteligência aos alertas do projeto GISSA.

2. Fundamentação Teórica

2.1. LARIISA

O LARIISA é uma plataforma que visa prover inteligência de governança na tomada de decisão em sistemas de saúde, a partir do manejo de bases de dados relacionados à saúde, dispersos em bases governamentais ou não, cruzando-as com informações capturadas em tempo real [Gardini et al. 2013].

A figura 1 mostra um cenário de aplicação do LARIISA: dados de saúde são capturados por sensores, e ações são tomadas a partir da inferência sobre esses dados, podendo

resultar no envio de uma ambulância ou de um agente de saúde, compra de medicamento, regulação em hospitais, remanejamento de agentes de saúde.

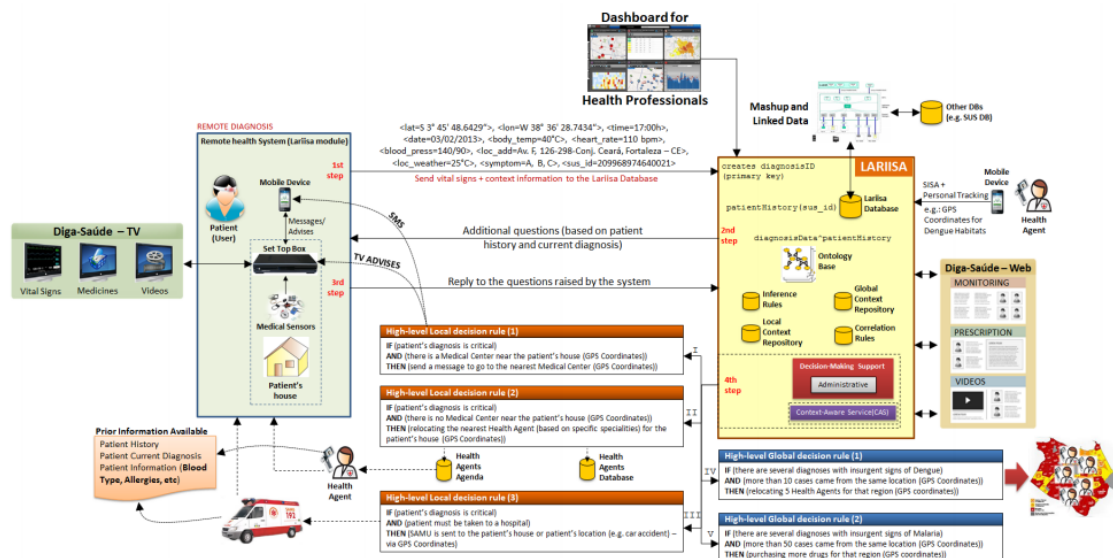


Figura 1. Cenário de interação domiciliar [Gardini et al. 2013].

2.2. GISSA

O *framework* GISSA (Governança Inteligente dos Sistemas de Saúde) é uma solução criada a partir do LARIISA para construção de sistemas de informação que apoiem o processo de tomada de decisão no contexto do projeto Rede Cegonha do Ministério da Saúde. O projeto GISSA implementou uma Prova de Conceito (PoC) no município de Tauá-CE. O *framework* GISSA é formado por um conjunto de componentes que permitem a coleta, integração e visualização de informações revelantes ao processo de tomada de decisão [Andrade et al. 2015].

Atualmente, o GISSA dispõe dos seguintes alertas: nascido vivo com baixo peso; vacinação atrasada; relacionadas ao pré-natal; campanha de vacina; entre outros (figura 2).

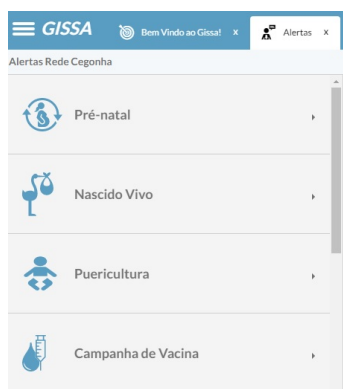


Figura 2. Alertas GISSA

2.3. Descoberta de Conhecimento em Bases de Dados

Em diversas aplicações, onde é necessário manipular uma grande quantidade de dados, o processo de descoberta de conhecimento em bases de dados (*Knowledge Discovery in Database-KDD*) tem o objetivo de extrair novas informações desses dados. FAYYAD define KDD como sendo “um processo interativo e iterativo, não trivial, constituído por diversas etapas, de extração de informações implícitas, anteriormente desconhecidas e potencialmente úteis, a partir dos dados armazenados” [FAYYAD et al. 1996]. O termo interativo refere-se a necessidade da atuação do homem como responsável pelo controle do processo, ou seja, analisar e interpretar os resultados obtidos ao longo do processo. Já o termo iterativo sugere a necessidade de repetições do processo de KDD, a fim de buscar os melhores resultados por meio de sucessivos refinamentos.

3. Trabalhos Relacionados

Em [Markos et al. 2014] foram utilizados algoritmos de classificação para encontrar padrões relativos ao estado nutricional de crianças menores de cinco anos, considerando-se que a desnutrição é um dos principais causadores de mortalidade infantil em países subdesenvolvidos. Os dados utilizados nesse estudo foram relativos à Pesquisa Demográfica de Saúde da Etiópia, em 2011, gerados em um censo realizado em intervalos de cinco anos. O estudo teve como objetivo verificar se os valores dos atributos afetam o estado nutricional das crianças. O software utilizado neste trabalho foi o WEKA [Frank et al. 2016] e algoritmos foram J48 [Quinlan 1993] de árvores de decisão, Naive Bayes [John and Langley 1995] e o classificador de indução de regras PART [Frank and Witten 1998]. Nesse trabalho foi criado um *data-set* com 11.654 instâncias e 16 atributos. Esses atributos são: peso da criança, idade da criança, altura da criança, idade da mãe, escolaridade da mãe, índice de riqueza da mãe, local da residência, número de crianças, índice de massa corpórea da mãe, ocupação da mãe, tamanho da criança ao nascer, vacinação, nível de anemia da criança, sexo da criança, idade da criança e estado nutricional. Após diversos experimentos foi selecionado o algoritmo PART, que apresentou o melhor desempenho tendo precisão de 92,6% e área da curva de ROC (*Receiver Operating Characteristic*) 97,8%.

Em [ROSA 2015] foi realizado um estudo sobre óbito infantil em crianças menores de um ano utilizando técnicas de Mineração de Dados, fazendo uso das bases de dados do SIM e SINASC integradas do Município do Rio de Janeiro entre os anos de 2008 a 2012. Para integrar essas duas bases de dados, usou-se o campo DN (Número de Nascimento), presente no SINASC e no SIM. Quando a criança sofre óbito e tem idade menor do que um ano, esse campo é preenchido no SIM; quando ocorre o nascimento de uma criança esse campo é preenchido no SINASC. Assim, este campo permite relacionar os dados do SIM com os do SINASC. Depois da integração destes dados foi possível relacionar um total de 3336 indivíduos que nasceram e sofreram óbito infantil. Na pesquisa foram usados 13 atributos: sexo do RN (Recém-Nascido), Apgar1¹, Apgar5², peso, cor do RN, idade do RN, causa básica da morte, idade da mãe, quantidade de

¹Refere-se a 5 parâmetros que são avaliados, durante o primeiro minuto de vida da criança, sendo esses frequência cardíaca, respiração, tônus muscular, irritabilidade e cor da pele

²Refere-se a 5 parâmetros que são avaliados, durante o quinto minuto de vida da criança, sendo esses frequência cardíaca, respiração, tônus muscular, irritabilidade e cor da pele

filhos mortos, quantidade de filhos vivos, número de semanas de gestação, tipo da gravidez e tipo do parto. Foi utilizado o algoritmo de aprendizado não supervisionado Apriori [Agrawal et al. 1994] a fim de investigar as características de nascimento que estão associadas ao óbito em menores de um ano de idade e três cenários de estudo. Ao final do trabalho, foram encontradas algumas regras que podem auxiliar os profissionais de saúde.

Em [Robu and Holban 2015] foi apresentado um estudo sobre os nascimentos ocorridos no *Bega Obstetrics and Gynecology Clinique, Timișoara*, Romênia em 2010. Foi analisado um conjunto de dados com um total de 2.325 nascimentos, com base em 15 atributos tais como: idade da mãe, número de gestações, número de semanas de gestação, sexo da criança, peso da criança e tipo do parto. Buscou-se selecionar um algoritmo para prever a pontuação do Apgar da criança ao nascer. Para tanto, foram utilizados a ferramenta WEKA e 10 algoritmos de classificação sendo esses, Naive Bayes, J48, IBK [Aha et al. 1991], Random Forest [Breiman 2001], SMO [Platt 1999], AdaBoost [Freund et al. 1996], LogitBoost [Friedman et al. 2000], JRip [Cohen 1995], REP-Tree e SimpleCart [Breiman et al. 1984]. Após vários experimentos selecionou-se o algoritmo LogitBoost como melhor algoritmos entre os citados anteriormente e criado uma aplicação em Java utilizando o modelo criado com algoritmo LogitBoost para prever a pontuação Apgar de um novo paciente.

4. Metodologia de Estudo

O estudo realizado neste trabalho seguiu a Metodologia de Reconhecimento de Padrões desenvolvida na UFC (Universidade Federal do Ceará) no Laboratório Centauro que consiste em um conjunto de passos (etapas) a serem desenvolvidos no processo de Mineração de Dados, cujo objetivo é fazer com que sejam selecionados os melhores algoritmos de acordo com o contexto estudado [Ramos et al. 2016].

4.1. Seleção inicial

Foi selecionado o WEKA, por se tratar de uma das ferramentas mais utilizadas no ambiente acadêmico:

- O WEKA ganhou o SIGKDD Data Mining que é o prêmio de descoberta de conhecimento [Piatetsky-Shapiro 2005].
- Licença do tipo GPL (General Public License).
- Multiplataformas Windows, Mac OS e Linux.
- Apresenta uma grande quantidade de algoritmos de classificação.
- Tem uma poderosa API que permite a integração em sistemas desenvolvidos em Java.
- Facilidade de uso por meio de sua interface gráfica.

4.2. Integração e Preparação dos Dados

As bases de dados utilizadas nesta pesquisa foram o SIM e o SINASC, disponíveis no portal do DATASUS³. Fez-se a integração dos dados por meio de consultas SQL (*Structured Query Language*).

³<http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php?area=0901item=1acao=28pad=31655>

As tabela 1 e 2 mostram, respectivamente, a quantidade de óbitos infantis no estado do Ceará referentes aos anos de 2013 e 2014 e a quantidade de nascidos vivos no estado do Ceará referente ao ano de 2013.

Tabela 1. Dados do SIM referentes aos anos de 2013 a 2014

SIM	
ANO	NÚMERO DE ÓBITOS
2013-2014	1.681

Tabela 2. Dados do SINASC referente ao ano de 2013

SINASC	
ANO	NÚMERO DE NASCIMENTOS
2013	124.876

Os dados foram acessados através do TABWIN(TAB para WINdows), um *software* gratuito de tabulação disponível no site do DATASUS que também permite a conversão de arquivos dbc para dbf e deste último para o formato SQL.

Para a relação entre as bases, foi utilizado o atributo numerodn, um campo presente nas duas bases, desde que ocorra o óbito. Após a identificação do atributo capaz de relacionar as bases, foram feitas as consultas SQL. Em seguida, relacionou-se 1.182 indivíduos de um total de 1.681 que sofreram óbito.

Foi realizada uma análise com os dados do SIM e SINASC, observando os dados encontramos alguns campos não preenchidos limitando a quantidade de dados na pesquisa. De acordo com essa análise, foram selecionados 16 atributos: idade, estado civil, escolaridade, local de nascimento, quantidade de filhos vivos, quantidade de filhos mortos, gestação, gravidez, parto, sexo, peso, consultas, Apgar1, Apgar5, anomalia e cor (tabela 3).

Tabela 3. Atributos

Nº	Atributo	Resumo da descrição dos atributos
1	Idade	Idade da mãe
2	Estado civil	Estado civil da mãe
3	Escolaridade	Nível de escolaridade da mãe
4	Local	Local de nascimento da criança
5	Quantidade de filhos nascidos vivos	Número de filhos nascidos vivos nas gestações anteriores
6	Quantidade de filhos nascidos mortos	Número de filhos nascidos mortos nas gestações anteriores
7	Gestação	Número de semanas de gestação
8	Gravidez	Tipo da gravidez
9	Parto	Tipo do parto da mãe
10	Sexo	Sexo da criança
11	Peso	Peso da criança ao nascer
12	Consultas	Número de consultas pré-natal.
13	Apgar 1 minuto	Refere-se a 5 parâmetros que são avaliados, durante o primeiro minuto de vida da criança
14	Apgar 5 minutos	Refere-se a 5 parâmetros que são avaliados, durante o quinto minuto de vida da criança
15	Anomalia	Criança nascida com anomalia congênita
16	Cor	Cor da criança

A figura 3 mostra uma tabela de dados gerada a partir de buscas SQL nas bases do SIM e SINASC onde na última coluna é possível se identifica se o paciente foi a óbito por mortalidade infantil (YES) não (NO).

Por último, estes dados foram convertidos para o formato CSV (*Comma-Separated Values*) e, posteriormente, para o formato do padrão WEKA: ARFF (*Attribute-Relation File Format*).

parto character(1)	consultas character(1)	sexo character(1)	apgar1 character(2)	racacom character(1)	apgar5 character(2)	locnasc character(1)	idanomal character(1)	peso character(4)	morto text
1	2	1	09	4	10	3	2	3500	NO
1	3	1	08	4	09	3	2	3000	NO
1	4	2	08	4	09	1	2	3010	NO
1	4	2	08	1	09	1	2	2940	NO
1	4	1	08	1	09	1	2	3180	NO
1	4	1	08	1	09	1	2	3620	NO
1	4	1	08	1	09	4	2	3250	NO
1	3	1	09	4	10	3	2	3650	NO
1	4	2	09	4	10	1	2	2920	NO
1	3	1	09	1	10	1	2	3100	NO
1	4	2	08	1	09	3	2	3800	NO

Figura 3. Tabela de dados

Após a geração da tabela (figura 3) foi realizada uma análise com o WEKA no âmbito de verificar o nível de completude dos dados, um indicativo da qualidade dos dados [German et al. 2001] (tabela 4).

Tabela 4. Nível de completude dos dados do SINASC 2013

Nível de completude dos atributos		
Atributo	Completude (%)	Ignorado (%)
Sexo	100	0,0
Estado cívil	98,7	0,32
Tipo da gravidez	99,8	0,0
Idade da Mãe	100	0,0
Filhos nascidos vivos	87,923	0,0
Filhos nascidos mortos	81,72	0,0
Quantidade de semanas de gestação	93,18	0,0
Escolaridade da mãe	95,81	0,48
Número de consultas da mãe	100	1,77
Tipo do parto	99,75	0,0
Apgar 1 minuto	99,41	0,02
Apgar 5 minutos	99,41	0,02
Local de nascimento	100	0,0
Anomalia	94,69	0,25
Peso	100	0
Tipo da gravidez	99,8	0

Como mostrado na tabela 4, no ano de 2013 foram registrados 124.876 nascimentos no estado do Ceará. Foram analisados os 16 atributos selecionados neste trabalho (tabela 3), presentes na Declaração de Nascidos Vivos (DNV). Quanto à completude em seu preenchimento, o resultado é uma mediana 99,58 % e 8 atributos (50 %) apresentam valor acima desse valor. Percebe-se que apenas os atributos “nascidos mortos” (81,72 %) e “nascidos vivos” (87,92 %) apresentaram valor abaixo de 90 %. Em relação ao percentual de dados ignorados tem-se “número de consultas da mãe” (1,77 %); todos os atributos restantes mantiveram um percentual ignorado abaixo de 1 %, logo os dados foram considerados de boa qualidade.

Atributos ignorados e em branco nos sistemas de monitoramento são causados por uma série de deficiências, falta de informação nos prontuários indo até o desconhecimento de certas informações pelos acompanhantes do paciente. Isso pode ser oriundo da falta de cuidado e da importância concedida ao preenchimento da DNV pelo profissional responsável [Costa and Frias 2009].

4.3. Análise e Testes

Nesta etapa, foram realizados vários experimentos com oito algoritmos de classificação do WEKA (tabela 5), adotando um *cross-validation* 10x, pois a estratificação reduz a variância estimada, além de evitar altos custos computacionais [Japkowicz and Shah 2011]. Depois disso, listou-se os resultados dos algoritmos obtidos durante o experimento, sendo esses:

- Algoritmos baseados em árvore de decisão : J48 e Random Forest.
- Algoritmos baseados na teoria Bayesiana: Bayes Net e Naive Bayes.
- Algoritmos baseados em redes neurais: Voted Perceptron [Freund and Schapire 1999] e MLP (Multi Layer Perceptron).

- Algoritmos baseados no vizinho mais próximo: IBK.
- Algoritmos baseados em regras: PART.

Foi observado, o problema do desequilíbrio de classes, pois o quantitativo de crianças que nasce é bastante superior ao quantitativo de crianças que morre antes de completar um ano de idade. Apesar das ocorrências infrequentes, classificação correta de uma classe rara(óbito) nesta situação possui uma importância maior do que a classificação correta da classe majoritária(vivo).

4.4. Avaliação e Resultados

Como pode ser observado na tabela 5, os algoritmos Naive Bayes e Bayes Net obtiveram melhores resultados durante essa fase. Ambos apresentaram um maior valor de *recall* e área da curva ROC do que os demais. Um maior valor de *recall* indicará uma quantidade maior de amostras classificadas corretamente como óbitos sobre o total de óbitos e em relação a área da curva ROC, ao se comparar classificadores utilizando essa métrica é selecionado como melhor aquele apresentar o valor da área da curva ROC o mais próximo de 1.

Tabela 5. Experimento

Algoritmos	PRECISION	RECALL	F-MEASURE	ÁREA ROC
J48	0,671	0,292	0,409	0,808
RANDOM FOREST	0,64	0,289	0,399	0,883
BAYES NET	0,294	0,607	0,396	0,922
NAIVE BAYES	0,294	0,607	0,396	0,921
IBK	0,479	0,273	0,348	0,785
VOTED PERCEPTRON	0,695	0,285	0,404	0,642
MLP	0,689	0,287	0,405	0,911
PART	0,567	0,306	0,398	0,857

Como pode ser observado na tabela 6, os algoritmos Naive Bayes e Net Bayes obtiveram resultados próximos durante a etapa de Mineração de Dados.

Tabela 6. Matriz de confusão algoritmo Naive Bayes

		Classe predita	
		Morto	Vivo
Classe Real	Morto	718	464
	Vivo	1723	121971

Um dos aspectos que contribuiu para a seleção do algoritmo Naive Bayes foi a característica dos algoritmos bayesianos de lidarem bem com informações incompletas e imprecisas [FACELI 2015]. Tal desempenho, pode sido ocasionado por ele ser um classificador probabilístico baseado no teorema de Bayes e supõe que os atributos vão influenciar a classe de modo independente. A tabela 6 mostra a matriz de confusão do algoritmo Naive Bayes, para uma análise mais detalhada dos resultados. Verifica-se que o

Naive Bayes classificou corretamente 122.689 (98,2487 %) que correspondem a diagonal de acerto da tabela 6 (718 + 121.971) e, portanto, 2.187 (1,7513 %) foram classificados incorretamente (outra diagonal: 1723 + 464).

Dentro dos 2.187 que foram classificados erroneamente, 1.723 (1,38 %) são falsos positivos e 464 (0,36 %) são falsos negativos. Dos 122.689 que foram classificados corretamente, 718 (0,57 %) são verdadeiros positivos e 121.971 (97,67 %) são verdadeiros negativos. Como 718 são verdadeiros positivos, isso indica os que sofreram óbito infantil e que 1.723 falsos positivos não sofreram óbito infantil, mas foram classificados como pacientes que sofreram óbito.

5. LAÍS, um Analisador para Casos de Risco de Óbito Infantil

A análise dos resultados guia a escolha do algoritmo de classificação mais eficiente para o caso em questão. Após um processo minucioso de análise e comparação de algoritmos, usando diversas abordagens e estratégias, pôde-se concluir que o classificador Naive Bayes é o que melhor se adapta ao conjunto de dados analisado.

Foi desenvolvida uma aplicação em Java utilizando uma API (*Application Programming Interface*) para Mineração de Dados disponibilizada pelo WEKA.

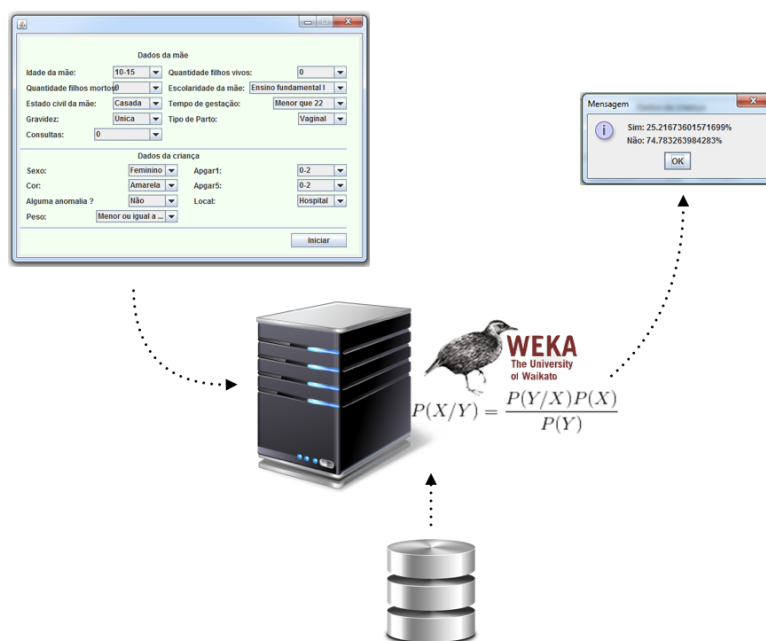


Figura 4. Arquitetura da aplicação

Trata-se de um protótipo (figura 4) inicial constituído de: (i) interface, onde são inseridas informações relativas a mãe e a criança; (ii) modelo inteligente, que usa o classificador Naive Bayes para calcular a probabilidade de ocorrer óbito infantil. Após inserir todas as informações e clicar no botão Iniciar, a aplicação captura os dados, gera um modelo matemático, realiza a classificação e mostra o resultado em percentuais numa tela.

6. Conclusões e Trabalhos Futuros

GISSA é um projeto FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos), em execução pelo Instituto Atlântico, que ajuda tomadores de decisão, em todos os níveis do ciclo de saúde (paciente, agente de saúde, médico, gestor de hospital, secretário, etc.), mediante a geração de alertas, a partir da análise de dados nas diversas bases de saúde disponíveis. Este projeto tem apresentado excelentes resultados em sua prova de conceito no município de Tauá (Ce). A expectativa deste trabalho é agregar valor aos alertas GISSA. Por exemplo, o GISSA será capaz de fornecer ao gestor de saúde, além dos importantes alertas que já produzia, a probabilidade de óbito de um recém-nascido a partir das informações da gestante e, naturalmente, do próprio recém-nascido. A expectativa é de que o tomador de decisão possa, assim, priorizar casos mais urgentes e, conseqüentemente, mitigar o grave problema da mortalidade infantil.

Como trabalho futuro, pretende-se aplicar a metodologia utilizada no presente trabalho à uma visão integrada das fontes de dados SINASC e E-SUS criada por [Lopes et al. 2016]. Em assim procedendo, será possível enriquecer o LAÍS, identificando relações entre diversos fatores de óbitos infantis e partos prematuros com mais informações sobre as mães, tais como uso de álcool, tabaco e/ou drogas durante a gravidez, entre outras.

Referências

- Agrawal, R., Srikant, R., et al. (1994). Fast algorithms for mining association rules. In *Proc. 20th int. conf. very large data bases, VLDB*, volume 1215, pages 487–499.
- Aha, D. W., Kibler, D., and Albert, M. K. (1991). Instance-based learning algorithms. *Machine Learning*, 6(1):37–66.
- Andrade, L. O. M., Oliveira, M., and Ramos, R. (2015). Projeto GISSA: Meta física 3 – atividade 3.1 definir modelo de inteligência de gestão na saúde.
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Mach. Learn.*, 45(1):5–32.
- Breiman, L., Friedman, J. H., Olshen, R. A., and Stone, C. J. (1984). Classification and regression trees belmont. CA: Wadsworth International Group.
- Cohen, W. W. (1995). Fast effective rule induction. In *Proceedings of the twelfth international conference on machine learning*, pages 115–123.
- Costa, J. M. B. d. S. and Frias, P. G. d. (2009). Avaliação da completude das variáveis da declaração de nascido vivo de residentes em pernambuco, brasil, 1996 a 2005. *Cadernos de Saúde Pública*, 25(3):613–624.
- FACELI, Katti; LORENA, A. C. G. J. C. D. C. A. (2015). *Inteligência Artificial: Uma Abordagem de Aprendizado de Máquina*. LTC, 1 edition.

- FAYYAD, U., PIATETSKY-SHAPIRO, G., and SMYTH, P. (1996). Advances in knowledge discovery and data mining. In *American Association for Artificial Intelligence*.
- Frank, E., Hall, M., and Witten, I. (2016). Online appendix for "data mining: Practical machine learning tools and techniques. In *Morgan Kaufmann*. 5 edition.
- Frank, E. and Witten, I. H. (1998). Generating accurate rule sets without global optimization. *Machine learning*.
- Freund, Y. and Schapire, R. E. (1999). Large margin classification using the perceptron algorithm. *Machine Learning*, 37(3):277–296.
- Freund, Y., Schapire, R. E., et al. (1996). Experiments with a new boosting algorithm. In *icml*, volume 96, pages 148–156.
- Friedman, J., Hastie, T., Tibshirani, R., et al. (2000). Additive logistic regression: a statistical view of boosting (with discussion and a rejoinder by the authors). *The annals of statistics*, 28(2):337–407.
- Gardini, L. M., Braga, R., Bringel, J., Oliveira, C., Andrade, R., Martin, H., Andrade, L. O. M., and Oliveira, M. (2013). Clariisa , a context-aware framework based on geolocation for a health care governance system. *2013 IEEE 15th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services(Healthcom 2013)*, pages 334–339.
- German, R. R., Lee, L., Horan, J., Milstein, R., Pertowski, C., Waller, M., et al. (2001). Updated guidelines for evaluating public health surveillance systems. *MMWR Recomm Rep*, 50(1-35).
- Japkowicz, N. and Shah, M. (2011). *Evaluating learning algorithms: a classification perspective*. Cambridge University Press.
- John, G. and Langley, P. (1995). Estimating continuous distributions in bayesian classifiers. In *In Proceedings of the Eleventh Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence*, pages 338–345. Morgan Kaufmann.
- Lopes, G., Vidal, V., and Oliveira, M. (2016). A framework for creation of linked data mashups: A case study on healthcare. In *Proceedings of the 22nd Brazilian Symposium on Multimedia and the Web*, pages 327–330. ACM.
- Markos, Z., Doyore, F., Yifiru, M., and Haidar, J. (2014). Predicting under nutrition status of under-five children using data mining techniques: The case of 2011 ethiopian demographic and health survey. *J Health Med Inform*, 5:152.
- Oliveira, M., Hairon, C., Andrade, O., Moura, R., Sicotte, C., Denis, J. L., Fernandes, S., Gensel, J., Bringel, J., and Martin, H. (2010). A context-aware framework for health care governance decision-making systems: A model based on the brazilian digital tv. In *2010 IEEE International Symposium on "A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks"(WoWMoM)*, pages 1–6.
- ONU (2016). mortalidade infantil.
- Piatetsky-Shapiro, G. (2005). Kdnuggets news on sigkdd service award 2005.
- Platt, J. C. (1999). Advances in kernel methods. chapter Fast Training of Support Vector Machines Using Sequential Minimal Optimization, pages 185–208. MIT Press, Cambridge, MA, USA.

- Quinlan, J. R. (1993). *C4.5: Programs for Machine Learning*. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA.
- Ramos, R. F., Mattos, C. L. C., Júnior, A. H. S., Neto, A. R. R., Barreto, G. A., Mazzal, H. A., and Mota, M. O. (2016). Heart diseases prediction using data from health assurance systems in models and methods for supporting decision-making in human health and environment protection. In *Nova Publishers. Nova York-USA*.
- Robu, R. and Holban, Ş. (2015). The analysis and classification of birth data. *Acta Polytechnica Hungarica*, 12(4).
- ROSA, C. J. (2015). Aplicação de KDD nos dados dos sistemas SIM e SINASCf em busca de padrões descritivos de óbito infantil no município do rio de janeiro.

INCA: Um sistema *healthcare* flexível baseado no paradigma *fog computing* e *publish/subscribe*

José R. Torres Neto, Geraldo P. R. Filho, Leandro Y. Mano, Jó Ueyama

¹Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação – ICMC
Universidade de São Paulo - USP
CEP: 13566-590 – São Carlos – SP – Brazil

jrtoresneto@usp.br, geraldop@icmc.usp.br
leandroyukiomano@usp.br e joueyama@icmc.usp.br

Abstract. *The growth of the population in need of health care and reduced mobility in many countries highlights the need to develop assistive technologies appropriate to this public. To this end, interactive applications on mobile devices are usually integrated into intelligent environments. This article proposes the INCA (IN-home healthCAre), a flexible system that combines the fog computing and publish/subscribe paradigm to individually monitor and manage individuals with reduced mobility. INCA allows you to connect new devices and applications in a scalable way to your infrastructure in real time, as well as a better use of the resources of the devices through the fog. Two interactive applications of individualized monitoring were evaluated: i) recognition of people by the image and; ii) detection of fall by means of the sensors (accelerometer and gyroscope) of a smartwatch. In addition, an evaluation of the performance of the infrastructure based on data offloading was carried out and showed promising results, being notable: i) high accuracy to identify the individuals as well as to detect their mobility; and ii) efficiency when deployed in devices with scarce resources.*

Resumo. *O crescimento da população com necessidade de cuidados de saúde e com mobilidade reduzida em muitos países destaca a necessidade de desenvolver tecnologias assistivas adequadas a esse público. Para esta finalidade, aplicações interativas em dispositivos móveis geralmente são integradas em ambientes inteligentes. Este artigo propõe o INCA (IN-home healthCAre), um sistema flexível que combina o paradigma fog computing e publish/subscribe para monitorar e gerenciar de maneira individualizada indivíduos com mobilidade reduzida. O INCA permite conectar novos dispositivos e aplicações de forma escalável a sua infraestrutura em tempo real, bem como um melhor aproveitamento dos recursos dos dispositivos por meio do fog. Foram avaliadas duas aplicações interativas de monitoramento individualizado: i) reconhecimento de pessoas pela imagem e; ii) detecção de queda por meio dos sensores (acelerômetro e giroscópio) de um smartwatch. Além disso, uma avaliação de desempenho da infraestrutura, baseada no descarregamento de dados, foi realizada e mostrou resultados promissores, sendo notáveis: i) alta acurácia para identificar os indivíduos, bem como detectar sua mobilidade; e ii) eficiência ao ser implantada em dispositivos com recursos escassos.*

1. Introdução

Nos últimos anos, o número de pessoas com necessidades de cuidados de saúde, e.g. idosos, deficientes e pacientes com mobilidade reduzida, aumentou consideravelmente tanto em países desenvolvidos quanto em países em desenvolvimento [Gonçalves et al. 2013]. Esse aumento gerou uma tendência nas pesquisas dessas pessoas quando recebem alta dos hospitais e precisam ser cuidadas em casa. O conceito de *Health Smart Homes* (HSH), também conhecida como ambiente doméstico assistivo, vêm surgindo como uma opção promissora para melhorar a qualidade de vida das pessoas em tratamento domiciliar. Tipicamente, o tratamento de pessoas com mobilidade reduzida, dentro do contexto de HSH, utiliza inteligência computacional para monitorá-las enquanto se recuperam em suas residências [Romero et al. 2009]. Vale frisar que a utilização da inteligência computacional nesse contexto de monitoramento é viável e de extrema relevância, principalmente em países em que o número de pessoas com mobilidade reduzida é alta [Romero et al. 2009, Taleb et al. 2010].

O uso da Internet das Coisas (do inglês *Internet of Things* (IoT)) em cuidados de saúde têm proporcionado um conforto para pessoas com alguma deficiência, mobilidade reduzida e/ou idosos. Na IoT, seja qual for o sensor físico (dispositivos de variados tamanhos e capacidades) ou virtual (modelos computacionais capazes de fornecer uma informação lógica), este é considerado uma “coisa” que pode ser conectado com a Internet [Gubbi et al. 2013]. Com isso, a HSH pode ser definido como uma *smart home* munida com dispositivos e/ou “coisas” especializadas para cuidados de saúde remotamente. Tais “coisas”, podem ser sensores ou atuadores que irão agir/atuar quando uma situação crítica for detectada. Neste cenário, as informações precisam ser agregadas de múltiplas fontes e distribuídas para consumidores que não têm conexões diretas com os produtores de informações, e.g., dados de monitoramento de um paciente em tratamento domiciliar compartilhados com um sistema de hospital [Eugster et al. 2003]. Assim, o uso do paradigma *publish/subscribe* para a distribuição de tais informações entre os dispositivos IoT é uma abordagem promissora no contexto de HSH. Assim, a HSH pode auxiliar no diagnóstico de doenças, influenciar na interação social, intervir em alguma tarefa cotidiana ou tomar decisões de persuasão em prol do usuário [Taleb et al. 2010].

Nesse contexto, aplicações interativas em dispositivos móveis são utilizadas no sensoriamento e monitoramento individualizado com a utilização de câmeras e outros sensores de dispositivos móveis. Por exemplo, uma aplicação de detecção de queda por meio dos sensores acelerômetro e giroscópio de um *smartwatch* podem emitir alertas às equipes de profissionais de saúde e/ou familiares sempre que detectar a ocorrência de uma queda. Os sensores acelerômetro e giroscópio fornecem dados de forma precisa de movimento capturados e possuem um caráter não intrusivo. Outra aplicação bem difundida em ambientes inteligentes é o reconhecimento de indivíduos pela face por meio de visão computacional. Visão computacional tem sido usada em muitos sistemas, pois permite a aquisição de enormes quantidades de dados multidimensionais relacionados ao ambiente monitorado. Por exemplo, ele pode ser usado para aprender as atividades da vida diária de idosos no sentido de analisar problemas de saúde ou distúrbios cognitivos [Banerjee et al. 2015].

A IoT funciona por meio de uma computação onipresente e invisível capaz de coletar e disseminar dados para análise e representação das

informações [Stojkoska and Trivodaliev 2017, Gubbi et al. 2013]. Vale frisar, entretanto, que os dispositivos integrados na HSH possuem recursos escassos. Nesse contexto, o paradigma de *fog computing*, também conhecido como computação em névoa, surge como um tripé para auxiliar tais dispositivos. No *fog*, após o sensoriamento e detecção, os dados podem ser pré-processados em dispositivos com maior poder de processamento nas bordas da rede, também conhecidos com nó *fog* (nesta pesquisa, *Raspberry PI*). Assim, o processo de extração de conhecimento começa tão cedo quanto o momento em que os dados são detectados, i.e. nas bordas da rede. Uma das razões mais proeminentes para empregar este paradigma é a economia de energia, redução de volume de dados e latência. Em relação aos sensores, a computação local é menos custosa que a comunicação, uma vez que tais sensores podem consumir uma enorme quantidade de energia caso sua comunicação não seja otimizada [Stojkoska et al. 2012, Stojkoska and Trivodaliev 2017]. Desta forma, abre espaço para investigação de algoritmos leves para o processamento de dados locais. Com esse paradigma é possível diminuir a quantidade de transmissões envolvendo dados brutos, e consequentemente, somente metadados são enviados. A redução de transmissões entre os dispositivos e a IoT é relevante, uma vez que evita problemas de latência e saturação da rede sem fio [Stojkoska et al. 2012, Viani et al. 2013, Stojkoska and Trivodaliev 2017].

Este artigo apresenta o INCA (**IN**-home health**CA**re), um sistema baseado nos paradigmas de *Fog Computing* e *publish/subscribe*, os quais visam o uso da IoT para o monitoramento individualizado de usuários com mobilidade reduzida. Por meio dos sensores de imagem e movimento (acelerômetro e giroscópio) é possível identificar o usuário de maneira individualizada e, em seguida, detectar se este está sentado, deitado ou se ocorreu uma queda. Como o processamento de tais aplicações são computacionalmente custosas, o *fog* utiliza dispositivos mais robustos para processar o conteúdo, antes de repassá-los a nuvem. Já o *publish/subscribe* permite conectar novos dispositivos e aplicações de forma escalável na infraestrutura do INCA em tempo real. Os resultados mostram que a combinação de *fog computing* e descarregamento (*offloading*) de dados é viável e aumenta o desempenho da infraestrutura em ambientes inteligentes.

O restante deste artigo está organizado da seguinte maneira. A Seção 2 apresenta os trabalhos relacionados. A Seção 3 apresenta o INCA, enquanto a Seção 4 apresenta os resultados da solução proposta. Por fim, a Seção 5 apresenta as considerações finais e trabalhos futuros para este estudo.

2. Trabalhos relacionados

Esta seção apresenta os avanços alcançados nos HSHs, destacando os principais desafios desta pesquisa. Salienta-se que os avanços em *in-home healthcare* são devidos à aplicação de ambientes inteligentes aliados com inteligência artificial [Rialle et al. 2002, Filho et al. 2015, Filho et al. 2014]. Por isso, a combinação de equipamentos modernos de detecção, com técnicas avançadas de processamento de dados e redes sem fio, resulta na criação de ambientes digitais que melhoram a vida diária dos moradores.

Em [Romero et al. 2009], é proposto uma arquitetura sem fio WPAN (do Inglês, *Personal Area Network*) para tirar proveito das características oferecidas pelo ambiente inteligente. O intuito é garantir segurança e fornecer serviços aos usuários mediante técnicas de monitoramento. Para tanto, o sistema é baseado em processamento de imagem para

prover soluções que é integrada com outros dispositivos de controle. Tais informações, servem como entrada para a rede de atuador com inteligência distribuída que adapta ao ambiente, tornando as tarefas diárias mais fáceis para os utilizadores. Entretanto, a solução pode ser custosa computacionalmente em dispositivos com recursos escassos, situação presente nesta pesquisa.

Outro grupo de pesquisa [Corchado et al. 2010] realiza pesquisas em HSHs, especificamente em telemonitoramento de usuários. Nesse caso, os autores [Corchado et al. 2010] propõem um sistema de telemonitoramento distribuído para a melhorar a qualidade de vida dos usuários que dependem de assistências, por exemplo, médicas em casas. Para isso, o sistema implementa uma plataforma baseada em arquitetura orientada a serviços. Com isso, a plataforma permite que as redes heterogêneas de sensores sem fio comuniquem-se de maneira distribuída, independentemente das restrições de tempo e localização. Dessa forma, tal abordagem fornece ao sistema uma maior capacidade de recuperação de erros e uma melhor flexibilidade para alterar seu comportamento em tempo de execução. Salienta-se, contudo, que não há uma preocupação em melhorar computacionalmente os recursos da infraestrutura mediante o paradigma de *fog computing*.

Maia et. al [Maia et al. 2015] desenvolveram uma plataforma de *middleware* para IoT baseada na Web para conectar médicos e pacientes utilizando sensores corporais acoplados e atuadores, denominada *EcoHealth* – Ecosistema Web de Dispositivos de *Health Care*. A solução é dividida em módulos de conexão de dispositivos, manipulação de dados, atuação, visualização, gerenciamento, armazenamento e serviços comuns. O foco principal dos autores é no monitoramento de pessoas em observação, uma vez que sugere sensores de respiração acoplados em uma máscara de oxigênio, um sensor de temperatura no braço do paciente e um sensor de eletrocardiograma. Dessa forma o médico pode avaliar o paciente em tempo real remotamente. No entanto, considerando o cenário de uma HSH, o monitoramento por tais sensores é considerado intrusivo e desconsidera a qualidade de vida e independência do usuário em seu cotidiano, além disso, os autores não consideraram o desempenho dos recursos computacionais utilizados no monitoramento.

Esta pesquisa difere dos demais trabalhos, uma vez que propõe uma arquitetura de integração de múltiplas aplicações que funcionam de forma não intrusiva. Vale ressaltar que a infraestrutura do INCA fornece uma comunicação confiável de informações pela arquitetura, baseada no paradigma *publish/subscribe*. Além disso, o INCA também faz uso do paradigma *Fog computing* para aumentar o desempenho de processamento de dados na arquitetura, uma vez que as aplicações de monitoramento em *in-home healthcare* muitas vezes são consideradas aplicações críticas, i.e. podem ocasionar perda de vidas.

3. INCA: In-home healthcare

Esta seção apresenta o INCA, um sistema flexível para monitorar e gerenciar de maneira específica indivíduos com mobilidade reduzida em um espaço inteligente. O INCA coleta, dissemina e detecta informações do ambiente mediante sensores sem fios. Para o desenvolvimento do sistema, o INCA foi baseado em dois paradigmas: i) *publish/subscribe* e; ii) *fog computing*. O paradigma *publish/subscribe* permite a difusão confiável de informações pela arquitetura do sistema proposto, por meio de uma abordagem flexível e assíncrona, entre os produtores (*publish*) e os consumidores (*subscribe*)

de informações [Eugster et al. 2003]. Já o *fog* além de auxiliar no gerenciamento do ambiente em tempo real, permite melhorar computacionalmente os dispositivos com recursos escassos (processador e memória), um vez que tais recursos estão mais próximos do utilizador final. Desta maneira, o processamento é feito localmente em nós mais robustos, antes de repassá-los para a nuvem [Stojkoska and Trivodaliev 2017]. O monitoramento é feito através da coleta de dados dos sensores dos dispositivos do cotidiano do usuário (smartwatch, smartphone ou câmeras). A infraestrutura do INCA é dividida em três módulos, como mostra a Figura 1.

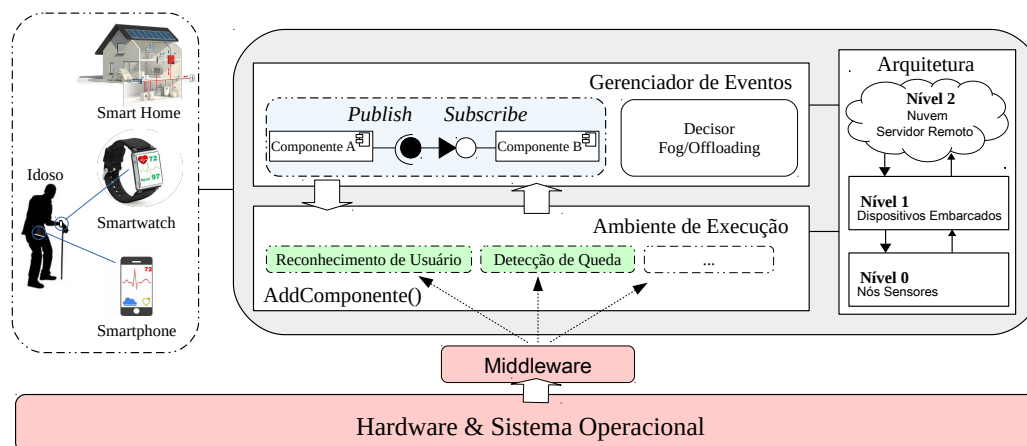


Figura 1. Arquitetura do Sistema INCA: Os dados são coletados pelos dispositivos móveis ou câmeras; O Gerenciador de eventos recebe os dados (*publish*) e decide qual abordagem utilizar (*Fog* ou Descarregamento); No Ambiente de execução as aplicações recebem os dados assinados (*subscribe*) e retornam o evento.

No *Gerenciador de Eventos*, os dispositivos publicam seus dados coletados (foto, acelerômetro) usando o protocolo *Message Queue Telemetry Transport* (MQTT) [Stanford-Clark and Nipper 2014]. Esse módulo é responsável pelo gerenciamento e descarregamento dos dados nos níveis da *Arquitetura* do sistema proposto. De acordo com a entrada dos dados publicados, o decisor define o nível para o processamento baseado no conceito de névoa ou descarregamento de dados. Nesse módulo, o *publish/subscribe* garante a conexão entre os dados publicados pelos dispositivos e os componentes do *Ambiente de Execução*.

O *Ambiente de Execução* é composto por componentes, que são as aplicações interativas (Reconhecimento de Usuários, Detecção de Queda) adicionadas ao ambiente de execução em tempo real por meio de um *middleware*. No INCA, *publish/subscribe* auxilia o *middleware* a garantir a interoperabilidade e confiabilidade do sistema, haja vista que os componentes apresentam características fracamente acoplados.

A *Arquitetura* do sistema é bem definida e distribuída em níveis, local onde ocorre o processamento dos dados. O uso de névoa foi essencial para o processamento e gerenciamento das aplicações interativas no INCA, uma vez que explora completamente a arquitetura do sistema. Os níveis são distribuídos da seguinte forma:

- *Nível 0 (Sensores)*: dispositivos com nenhum poder de processamento, utilizados para coletar e disseminar os dados para o Nível 1.

- *Nível 1 (Dispositivos Embarcados)*: dispositivos utilizados para realizar o processamento dos dados, deixando os recursos computacionais (processamento, memória, dados) mais próximos do usuário final. Além disso, fornece um mecanismo de descarregamento da carga de processamento dos dados.
- *Nível 2 (Servidor)*: estação com maior poder de processamento e armazenamento.

Basicamente, um determinado sensor publica uma imagem e o componente assinante (aplicação de reconhecimento de usuário) dos dados de imagem são ativados, processando tais dados e retornando uma resposta de saída. O uso de *Publish/Subscribe* preenche uma parte importante dos requisitos para aplicações baseadas em IoT, uma vez que eles são capazes de conceder, de forma assíncrona, múltiplos eventos aos seus respectivos *subscribers* de interesse, a partir de fontes de eventos [Fersi 2015]. A combinação de névoa e descarregamento de dados permite a flexibilidade do sistema frente a uma grande quantidade de dados, de maneira que a arquitetura seja completamente explorada e os sensores de bordas fiquem menos ociosos [Bonomi et al. 2014].

3.1. Monitoramento individualizado

O sistema proposto visa o monitoramento individualizado e não intrusivo, que pode ser feito por inúmeras aplicações interativas monitorando o usuário. Desta forma, o sistema proposto deve ser capaz de permitir a integração dessas aplicações e a adição de novas aplicações em sua infraestrutura. Neste trabalho, foi utilizado duas aplicações interativas na avaliação de desempenho do sistema proposto. As aplicações utilizadas são Reconhecimento de Usuário e Detecção de Queda, que permite o monitoramento individualizado e não intrusivo.

3.1.1. Reconhecimento do Usuário

O INCA utiliza as imagens disseminadas dos sensores para a identificação do indivíduo. Por meio da imagem analisou-se a face, a qual permite determinar de maneira individualizada cada usuário. Assim, o INCA utilizou a abordagem baseada no mapeamento da face para o reconhecimento, sendo dividida em três etapas distintas, sendo elas: i) obtenção da face; ii) extração de características faciais; e iii) identificação baseada na aprendizagem automática.

Para um melhor entendimento, a Figura 2 apresenta o funcionamento de como é realizado o reconhecimento do usuário. Nesse caso, foi feito um processo de mapeamento da face considerando 33 pontos obtidos na extração de características faciais. Os pontos são partes específicas da face que quando juntas identifica de maneira única um indivíduo. Os pontos são distribuídos da seguinte maneira: i) oito para mapear a boca; ii) seis para cada um dos olhos; iii) três para cada sobrancelha; iv) três para o queixo; v) dois para as narinas; e vi) dois para demarcar as extremidades laterais da face perto dos olhos. Além disso, para modelar a forma dos olhos, da boca e das regiões da face relacionadas aos movimentos musculares, 8 áreas são mapeadas. Destaca-se que todas as combinações possíveis de pontos são obtidas por meio dos ângulos e das distâncias entre dois pontos distintos (33×33), em que cada ponto possui uma posição (33 posições), o que gera uma representação com dimensionalidade $D_1 = 33 \times 33 + 8 + 33 = 1130$ atributos.

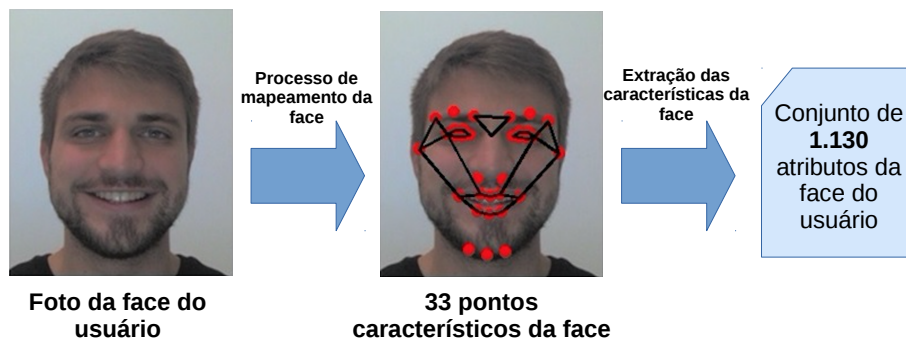


Figura 2. Processo de mapeamento da face para o reconhecimento dos usuários.

Após a obtenção da dimensionalidade da face, procurou-se alinhar os elementos da face de um usuário com os pontos de característica do modelo de referência atual para identificá-lo. Para isso, utilizou-se algoritmos de aprendizagem de máquina que tem como objetivo o aprendizado da identificação do usuário. Para saber qual era o melhor algoritmo a ser implantado no INCA, explorou-se os seguintes algoritmos: (i) Naive Bayes; (ii) Árvore de decisão; (iii) K-nearest neighbors; e (iv) Support vector machine. Tais algoritmos são melhores explicados na Seção 4.

3.1.2. Detecção de Quedas

Aliado ao monitoramento individualizado de usuários, o INCA realiza o monitoramento dos movimentos realizados pelos usuários em ambientes inteligentes, a fim de monitorar sua rotina à distância e detectar alguma atividade fora do normal, e.g. a ocorrência de quedas. Ainda, para que atue de forma não intrusiva, o sistema promove uma ação apenas quando detecta alterações no padrão de movimentos que um usuário normalmente efetua, portanto, a captura de movimentos precisos e de forma constante é indispensável.

Neste sentido, para uma melhor precisão no sentido de fornecer indícios para o monitoramento de atividades, o INCA explora, de forma conjunta, os dados dos sensores: (i) acelerômetro para determinar o deslocamento de um corpo em movimento e o (ii) giroscópio para determinar a rotação e a mudança de direção de um corpo em movimento. Assim, é possível oferecer atendimento/assistência médica o quanto antes e adequado sempre que o sistema detectar um acidente com o usuário monitorado (como ilustrado na Figura 3).

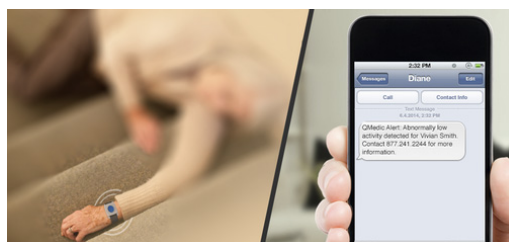


Figura 3. Exemplo de aplicação de sensor para monitoramento [System 2015].

4. Avaliação de desempenho

A metodologia e os resultados da avaliação de desempenho realizada por meio de experimentos serão mostrados nesta seção. Neste trabalho, foram realizados experimentos utilizando um dispositivo embarcado Raspberry PI 2 como dispositivo de borda da rede.

4.1. Cenários de Avaliação 1

Neste trabalho, foram utilizadas imagens de expressões faciais da base de dados Cohn-Kanade (CK+) [Lucey et al. 2010], de acesso livre, para validar a metodologia empregada para identificação de indivíduos. A base de dados CK+ mostra expressões faciais de atores adultos, 69% feminino e 31% masculino. Entre a amostra populacional, 81% são europeus ou americanos, 13% afro-americanos e 6% pertencem a outros grupos étnicos. O banco de dados tem 593 expressões faciais, de 123 atores. No entanto, apenas um subconjunto da base de dados CK+ foi utilizado para os experimentos, uma vez que existem muitas imagens quase idênticas porque o conjunto de dados CK+ é composto por uma sequência de imagens obtidas a partir de vídeos. Assim, foi utilizado o subconjunto CK+ com a remoção das imagens muito semelhantes, essa remoção também auxilia na criação de um subconjunto equilibrado de imagens relevantes que podem melhorar o desempenho de generalização dos classificadores de AM investigados. Esse subconjunto é composto por imagens frontais sozinhas.

Ainda, foram coletados dados de acelerômetro e giroscópio de três estudantes, entre 18 e 40 anos, portadores de um smartwatch (Moto 360). Essa estratégia foi desenvolvida considerando a necessidade de garantir que ambos os dados, tanto do acelerômetro quanto do giroscópio, fossem adquiridos no mesmo instante de tempo, uma vez que não foram encontrados dados de ambos os sensores em conjunto. Nesse sentido, experimentos foram realizados de modo não intrusivo para a aquisição dos dados das atividades estudadas nesse trabalho (andando, correndo, sentado, deitado, em pé e queda). Os dados coletados correspondem a 15 minutos de cada usuário realizando cada uma das atividades. Vale ressaltar que foram realizados experimentos reais em todas as atividades, inclusive na atividade queda, a qual foi coletado especificamente os dados de acelerômetro e giroscópio do movimento de queda dos indivíduos. Os movimentos coletados, foram os movimentos realizados no instante da queda considerando a aceleração e a rotação dos sensores. Após a detecção de queda, existem metodologias para confirmar se realmente houve queda ou não, por exemplo, emitir um aviso para o usuário confirmar a queda ou não, assim movimentos que parecem queda podem ser identificados pelo o usuário. Por sua vez, os dados foram coletados em um intervalo de tempo correspondente a 20 milissegundos. Assim, no final do experimento, foram adquiridos um conjunto de 135.000 dados de cada atividade, totalizando 810.000 dados. A metodologia utilizada para os experimentos foi a realização da média simples de cada 25 linhas de dados, equivalente a média dos dados de acelerômetro e giroscópio no intervalo de tempo de 1 segundo.

Para ambos os experimentos (isto é, reconhecimento do usuário e detecção de queda), o desempenho dos algoritmos foi analisado separadamente por meio de uma técnica de validação cruzada de *k-fold* onde $k = 10$, o que nos fornece uma estimativa mais precisa.

4.1.1. Impacto da precisão das aplicações implantadas

Com o intuito de garantir que a abordagem adotada seja semelhante à maneira como os seres humanos interpretam as características do rosto, várias fotos do mesmo indivíduo foram utilizadas para o modelo de reconhecimento do usuário. A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos pelos algoritmos de classificação em função da acurácia do reconhecimento do usuário. Os resultados demonstram que o algoritmo SVM supera as outras soluções com uma taxa de precisão de 99,75% nas experiências. Outros algoritmos também tiveram altas taxas de precisão, como o kNN e *Ensemble*, com 99% e 99,70%, respectivamente. Embora a *Ensemble* tenha alcançado uma taxa de precisão muito próxima da SVM, a *Ensemble* emprega vários algoritmos que aumentam significativamente seus custos computacionais mais do que quando usados individualmente. Por esta razão, na nossa proposta de reconhecimento de usuários, escolhemos a SVM que atinge a taxa mais precisa e tem menores custos computacionais do que as outras técnicas utilizadas.

No que diz respeito a detecção de quedas (Tabela 2), os resultados demonstram que o algoritmo *Multilayer perceptron* (MLP), para esse conjunto de dados, possibilita uma classificação mais precisa, se comparado com os outros classificadores utilizados em comparação. Os resultados obtidos com esse algoritmo apresenta uma média de acurácia com valor de 96,62%. Além disso, é possível notar uma menor dispersão dos resultados obtidos pelo MLP, o que demonstra uma maior estabilidade em suas execuções.

Tabela 1. Resultados da acurácia do reconhecimento de usuários.

	Naive Bayes	Arv. Dec	KNN	SVM	Ensemble
Teste 1	89,50	95,00	99,50	99,50	99,50
Teste 2	92,50	93,00	99,50	100,00	100,00
Teste 3	90,00	94,00	99,50	100,00	100,00
Teste 4	91,00	93,50	97,50	100,00	100,00
Teste 5	88,00	96,00	99,00	100,00	99,50
Teste 6	86,00	92,50	99,00	99,50	99,50
Teste 7	85,00	96,00	99,00	100,00	100,00
Teste 8	87,50	95,00	98,50	99,50	100,00
Teste 9	84,00	93,50	99,50	99,50	99,00
Teste 10	86,00	94,00	99,00	100,00	99,50
Média	87,95	94,25	99,00	99,80	99,70

Tabela 2. Resultados da acurácia da detecção de quedas.

	Naive Bayes	Arv. Dec	KNN	SVM	MLP
Teste 1	90,03	92,32	88,73	93,46	93,14
Teste 2	93,46	89,38	92,64	92,32	94,29
Teste 3	82,51	93,14	91,83	84,48	94,29
Teste 4	94,77	98,86	99,02	96,24	97,06
Teste 5	94,93	98,53	98,53	97,71	98,7
Teste 6	96,24	97,22	97,06	95,75	96,41
Teste 7	98,04	99,84	99,35	97,71	99,02
Teste 8	97,06	98,53	98,86	98,03	98,2
Teste 9	97,22	97,88	98,37	98,2	98,04
Teste 10	95,03	97,55	97,55	95,1	97,06
Média	93,93	96,33	96,20	94,90	96,61

4.2. Cenários de Avaliação 2

Os experimentos de avaliação foram feitos com o objetivo de realizar uma análise exploratória do desempenho da arquitetura do sistema proposto, utilizando duas aplicações interativas de monitoramento: i) Reconhecimento de Usuários e ii) Detecção de Queda. As aplicações foram executadas em ambientes diferentes, chamados de níveis: i) nível 1 (dispositivo embarcado - Raspberry PI) e ii) nível 2 (Servidor Remoto). Assim, foi possível inferir em qual nível da arquitetura, o processamento das aplicações é válido de acordo com a situação e quantidade de dados de entrada. A coleta dos dados de imagem é feita por câmeras instaladas no ambiente ou pelos smartphones e os dados de acelerômetro e giroscópio por um *smartwatch*. Vale ressaltar que os blocos de dados coletados pelas interfaces servem como entrada nas aplicações. Esses blocos de dados podem ser imagens ou coordenadas de acelerômetro e giroscópio, como mostra a figura 4.

Os cenários foram divididos com base nos blocos de dados de entrada para o dispositivo embarcado ou para o Servidor. A Tabela 3 apresenta os cenários considerados.

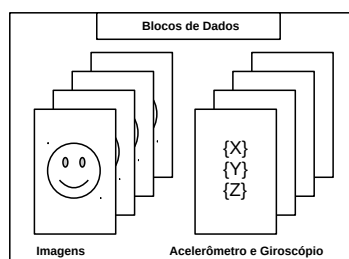


Figura 4. Tipos de dados de entrada

Tabela 3. Valores dos parâmetros dos experimentos

Parâmetros para o consumo de memória e processador	
Experimentos usando o servidor remoto - nível 2	E2, E3, E4, E5, E6, E7, E8, E9
Experimento usando o dispositivo embarcado - nível 1	E1
Número de blocos de dados p/ servidor remoto	1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256
Número de blocos de dados p/ dispositivo embarcado	1

Para a avaliação da arquitetura do INCA, foi realizado experimentos com a finalidade de avaliar o desempenho de dispositivos escassos em relação a um servidor remoto, considerando o uso de *fog computing* e descarregamento de dados. Sendo assim, a avaliação proposta visa deixar o processamento das aplicações nos dispositivos embarcados (nível 1) e realizar a transmissão dos dados para próximo nível somente se houver diferença estatística no processamento. Assim, é possível utilizar dispositivos de borda da rede tanto para coletar quanto para atuar no ambiente e os recursos dos dispositivos são aproveitados completamente, permitindo que os dados estejam mais próximos dos usuários finais por meio do paradigma *fog computing*.

As avaliações de desempenho concentraram-se na gerência dos recursos utilizando as métricas de consumo de memória e de processamento. Analisamos também o desempenho da arquitetura proposta no tempo de execução das aplicações e na distribuição do processamento na arquitetura do INCA em quatro cenários (Ver Tabela 4), por meio do descarregamento de dados (Seção 4.2.1).

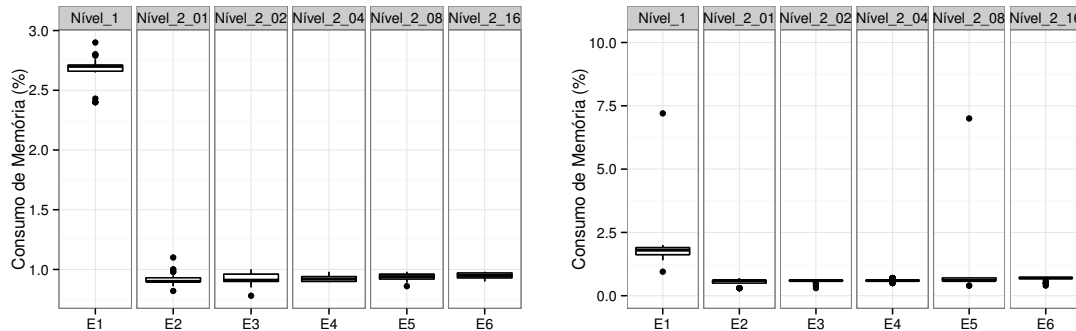
Tabela 4. Valores dos parâmetros dos cenários

Parâmetros para o descarregamento de dados	
Cenário 1	1 Servidor remoto (Nível 2)
Cenário 2	1 Servidor remoto (Nível 2) e 1 Dispositivo Embarcado (Nível 1)
Cenário 3	1 Servidor remoto (Nível 2) e 3 Dispositivo Embarcado (Nível 1)
Cenário 4	1 Servidor remoto (Nível 2) e 5 Dispositivo Embarcado (Nível 1)

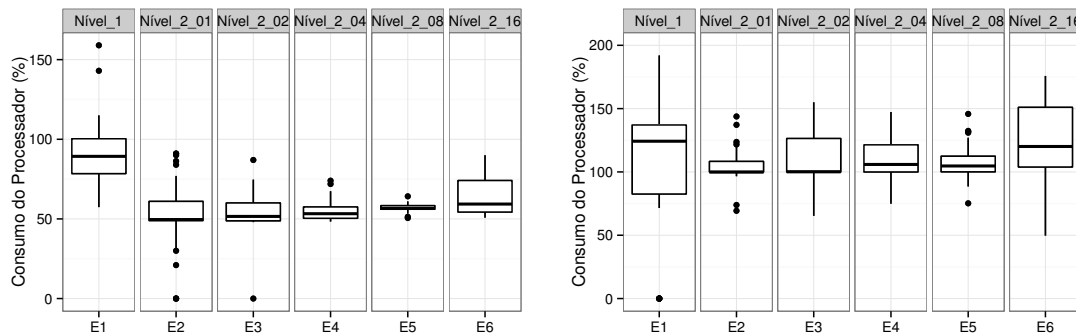
Foi considerado diferentes cenários reais, em que pode ter vários dispositivos embarcados distribuídos em um ambiente inteligente de monitoramento (e.g. casa de repouso). Os resultados foram obtidos considerando-se 95% de intervalo de confiança, uma vez que cada experimento foi realizado 33 vezes.

4.2.1. Impacto das aplicações na infraestrutura

A figura 5 mostra o consumo de memória e processador das aplicações de reconhecimento de usuários pela face e de detecção de queda pelos sensores acelerômetro e giroscópio do *smartwatch* em ambos os níveis.



(a) Reconhecimento de Indivíduos: Desempenho do consumo de memória. (b) Detecção de Queda: Desempenho do consumo de memória.



(c) Reconhecimento de Indivíduos: Desempenho de processamento. (d) Detecção de Queda: Desempenho de processamento.

Figura 5. Desempenho de memória e de processamento das aplicações

As figuras 5(a) e 5(b) mostram o consumo da memória de ambos os ambientes para as duas aplicações interativas de monitoramento. Enquanto que as figuras 5(c) e 5(d) mostram o consumo do processamento. Apesar do alto consumo de processador e memória no dispositivo embarcado em relação ao servidor, os resultados mostram que os dispositivos embarcados suportam tais aplicações. Por outro lado, abre espaço para investigação de algoritmos com alto desempenho para esses dispositivos, de forma que exija menos recursos e deixe o máximo possível de processamento nos sensores de borda, assim pode economizar energia com menos transmissões para a nuvem.

A Figura 6 mostra a avaliação de desempenho dos níveis 1 e 2 em relação ao tempo de processamento das aplicações interativas. A Figura 6 mostra o tempo que a aplicação de reconhecimento de usuários levou para executar nos níveis, de acordo com a quantidade de blocos de dados como entrada. É possível notar que com 1 bloco de dados, o processamento da extração de características e classificação no nível 1 leva em torno de 5s enquanto que no nível 1 o tempo é 5 vezes menor. Porém, conforme a quantidade de

blocos de dados aumenta, o tempo de processamento do nível 2 se aproxima do tempo de processamento de 1 bloco de dados no nível 1. Isso nos permite verificar que em uma grande rajada de dados é possível usar o nível 1 para o processamento, deixando-o menos ocioso enquanto o nível 2 processa uma grande quantidade de dados.

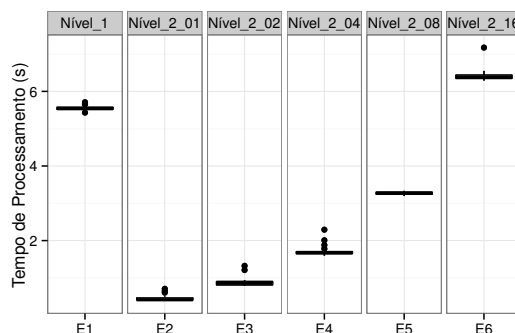


Figura 6. Reconhecimento de Indivíduos: Tempo de execução.

Da mesma forma, a Figura 7 mostra o tempo de processamento da aplicação de detecção de queda. Neste cenário, o dispositivo embarcado leva 2.2 segundos para detectar uma queda com 1 bloco de dados. Neste cenário, o tempo de resposta do nível 2 é 7 vezes menor, porém também se aproxima do tempo de resposta do dispositivo embarcado em um determinado instante. Diante disso, é viável empregar a abordagem de descarregamento de dados para paralelizar o processamento de uma grande quantidade de dados, uma vez que além de tornar o processamento do dispositivo no nível 1 oportunístico também aproxima os dados do utilizador final, principal conceito de *fog computing*.

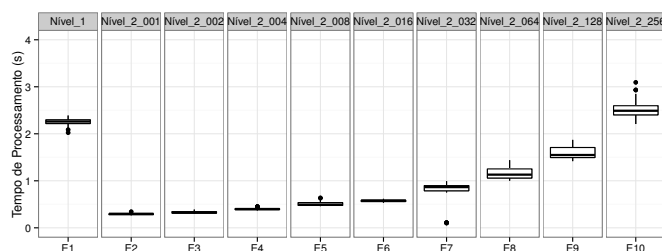
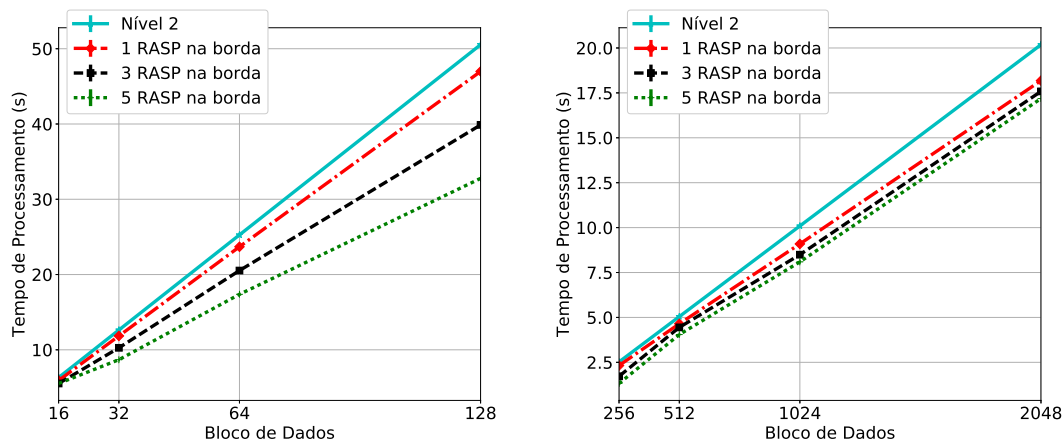


Figura 7. Detecção de Queda: Tempo de execução.

O uso da técnica de descarregamento de dados também foi proposto a fim de distribuir o processamento entre os níveis 1 e 2 da arquitetura do INCA, considerando os cenários apresentados na Tabela 4 (ver Figura 8). A partir de um determinado ponto, o tempo de processamento diminuiu para ambas as aplicações interativas. Na Figura 8(a), percebemos que o tempo de processamento do nível 2 é 1,27 maior do que o ambiente com 3 dispositivos embarcados e 1,54 maior com 5 dispositivos. Na Figura 8(b), o tempo de processamento foi menor em até 1,15 com 5 dispositivos embarcados em relação ao nível 2. É possível notar que em dados de entrada mais robustos (imagem), o uso do descarregamento de dados e o de *fog computing* tiveram maior impacto no desempenho do sistema proposto.



(a) Reconhecimento de Indivíduos: Descarrega- (b) Identificação de Queda: Descarregamento de da-
mento de dados. dos.

Figura 8. Resultados obtidos para o descarregamento de dados

5. Conclusão

Este artigo apresentou um sistema flexível capaz de monitorar e gerenciar indivíduos com mobilidade reduzida, de maneira individualizada. Aplicações de monitoramento interativas (reconhecimento de usuário e detecção de queda) foram desenvolvidas e avaliadas na infraestrutura do sistema. Os resultados mostraram que o uso de *fog computing* e descarregamento de dados aumenta o desempenho de sistemas para casas e/ou ambientes inteligentes.

Agradecimentos: Os autores gostariam de agradecer o apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) processos 2014/06330-5, 2015/21642-6, 2016/14267-7 e 2016/25865-2.

Referências

- Banerjee, T., Keller, J. M., Popescu, M., and Skubic, M. (2015). Recognizing complex instrumental activities of daily living using scene information and fuzzy logic. *Computer Vision and Image Understanding*.
- Bonomi, F., Milito, R., Natarajan, P., and Zhu, J. (2014). *Fog Computing: A Platform for Internet of Things and Analytics*, pages 169–186. Springer International Publishing, Cham.
- Corchado, J. M., Bajo, J., Tapia, D. I., and Abraham, A. (2010). Using heterogeneous wireless sensor networks in a telemonitoring system for healthcare. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 14(2):234–240.
- Eugster, P. T., Felber, P. A., Guerraoui, R., and Kermarrec, A.-M. (2003). The many faces of publish/subscribe. *ACM Comput. Surv.*, 35(2):114–131.
- Fersi, G. (2015). Middleware for internet of things: A study. In *2015 International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems*, pages 230–235.

- Filho, G., Ueyama, J., Faical, B., Guidoni, D., and Villas, L. (2015). Residi: An intelligent decision platform for residential infrastructure using wireless sensors and actuators. In *Computer Networks and Distributed Systems (SBRC), 2015 XXXIII Brazilian Symposium on*, pages 237–245.
- Filho, G. P. R., Ueyama, J., Villas, L. A., Pinto, A. R., Goncalves, V. P., Pessin, G., Pazzi, R. W., and Braun, T. (2014). Nodepm: A remote monitoring alert system for energy consumption using probabilistic techniques. *Sensors*, 14(1):848–867.
- Gonçalves, V. P., Neris, V. P., Ueyama, J., Seraphini, S., Dias, T. C., and Rocha Filho, G. (2013). Senior citizens in interaction with mobile phones: A flexible middleware approach to support the diversity. *Proc. of the SERP 2013*, 1:56–62.
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., and Palaniswami, M. (2013). Internet of things (iot): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7):1645 – 1660.
- Lucey, P., Cohn, J. F., et al. (2010). The extended cohn-kanade dataset (ck+): A complete dataset for action unit and emotion-specified expression. In *Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, IEEE Computer Society Conf. on*.
- Maia, P., Baffa, A., Cavalcante, E., Delicato, F. C., Batista, T., and Pires, P. F. (2015). A middleware platform for integrating devices and developing applications in e-health. In *Computer Networks and Distributed Systems (SBRC), 2015 XXXIII Brazilian Symposium on*, pages 10–18.
- Rialle, V., Duchene, F., Noury, N., Bajolle, L., and Demongeot, J. (2002). Health "Smart"home: information technology for patients at home. *Telemedicine journal and e-health : the official journal of the American Telemedicine Association*, 8(4):395–409.
- Romero, E., Araujo, A., Moya, J. M., de Goyeneche, J.-M., Vallejo, J. C., Malagon, P., Villanueva, D., and Fraga, D. (2009). Image processing based services for ambient assistant scenarios. In *Distributed Computing, Artificial Intelligence, Bioinformatics, Soft Computing, and Ambient Assisted Living*, volume 5518 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 800–807. Springer Berlin Heidelberg.
- Stanford-Clark, A. and Nipper, A. (2014). Mq telemetry transport.
- Stojkoska, B. L. R. and Trivodaliev, K. V. (2017). A review of internet of things for smart home: Challenges and solutions. *Journal of Cleaner Production*, 140, Part 3:1454 – 1464.
- Stojkoska, B. R., Solev, D., and Davcev, D. (2012). Variable step size lms algorithm for data prediction in wireless sensor networks. *Sensors & Transducers*, 14(2):111.
- System, M. A. (2015). QMedic - medical alert system - full review.
- Taleb, T., Bottazzi, D., and Nasser, N. (2010). A novel middleware solution to improve ubiquitous healthcare systems aided by affective information. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 14(2):335–349.
- Viani, F., Robol, F., Polo, A., Rocca, P., Oliveri, G., and Massa, A. (2013). Wireless architectures for heterogeneous sensing in smart home applications: Concepts and real implementation. *Proceedings of the IEEE*, 101(11):2381–2396.

Modelo de Mobilidade para Encontros de Grupos

Ivan O. Nunes¹, Clayson Celes¹, Pedro O. S. Vaz de Melo¹, Antonio A. F. Loureiro¹

¹Departamento de Ciência da Computação – Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)
Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha, 31270-901- Belo Horizonte - MG - Brazil

{ivanolive, claysonceles, olmo, loureiro}@dcc.ufmg.br

Abstract. *In this work we propose, implement and evaluate GRM, a novel mobility model that accounts for the role of group meeting dynamics and regularity in human mobility. Specifically, we show that the existent mobility models do not capture the regularity of human group meetings, an important aspect that should be included by synthetic mobility modeling since it is present in real mobility traces. Next, we characterize the statistical properties of such group meetings in real mobility traces and design GRM accordingly. We show that GRM maintains the typical pairwise contact properties that are also represented in other synthetic models in the literature, such as contact duration and inter-contact time distributions. In addition, GRM accounts for the role of group mobility, presenting group meetings regularity and social communities structure. Finally, we evaluate state-of-art social-aware protocols for opportunistic routing using a synthetic contact trace generated by our model. The results show that the behavior of such protocols in our model is similar to their behavior in real mobility traces.*

Resumo. *Neste trabalho é proposto, implementado e avaliado o GRM, um novo modelo de mobilidade que leva em consideração o papel dos encontros sociais de grupos e suas regularidades na mobilidade humana. Em particular, mostra-se que os modelos de mobilidade existentes na literatura não são capazes de capturar a regularidade dos encontros de grupos, um aspecto importante que deveria ser considerado por modelos sintéticos de mobilidade. Posteriormente, são caracterizadas as propriedades estatísticas dos encontros de grupos em traces de mobilidade coletados em ambientes reais e essas propriedades são utilizadas para projetar o GRM. Por meio de uma análise quantitativa, mostra-se que o GRM mantém as características estatísticas de propriedades tipicamente representadas em outros modelos da literatura, como o tempo entre os contatos e a duração dos contatos. Além disso, o GRM é capaz de modelar o papel dos encontros de grupos, sua regularidade e a existência de comunidades sociais. Finalmente, o desempenho dos protocolos de roteamento oportunístico do estado da arte são avaliados em traces sintéticos de mobilidade gerados pelo GRM. Os resultados mostram que o comportamento destes protocolos no GRM se assemelha ao comportamento apresentado em traces reais de mobilidade.*

1. Introdução

Modelos de mobilidade têm importância fundamental no projeto de redes móveis e de infraestrutura urbana [Treurniet 2014]. Eles permitem a geração de trajetórias sintéticas para nós móveis em ambientes simulados que podem ser usados para avaliar o desempenho de novos protocolos de roteamento. A validação de tais protocolos em grande escala no mundo real é frequentemente inviável devido a vários fatores, tais como custo financeiro e limitações operacionais. Nesse sentido, modelos sintéticos permitem uma avaliação rápida do desempenho de protocolos de roteamento considerando longos períodos de tempo na implantação dos protocolos e um grande número de nós na rede.

Nos últimos anos, diversos modelos de mobilidade foram propostos com o objetivo de reproduzir uma ou mais propriedades estatísticas da mobilidade humana. Exemplos de tais propriedades incluem deslocamento humano [Gonzalez et al. 2008], regularidade espacial [Ekman et al. 2008], trajetórias de pessoas e de veículos [Silva et al. 2015], padrões de encontros entre pessoas (par-a-par) [Kosta et al. 2014, Lee et al. 2009] e mobilidade de grupos de pessoas [Hong et al. 1999, Blakely and Lowekamp 2004, Musolesi and Mascolo 2006].

A propriedade de mobilidade de grupos possui papel fundamental no projeto de redes móveis [Treurniet 2014]. No entanto, os modelos de mobilidade de grupos existentes focam em modelar grupos que se mantêm juntos durante todo o período de simulação. Portanto, tais modelos não representam a regularidade estatística das interações humanas, i.e., grupos de pessoas que se encontram regularmente. Trabalhos recentes [Nunes et al. 2016a, Cruz and Miranda 2015, Starnini et al. 2014, Nunes et al. 2016b] têm mostrado que a regularidade dos encontros de grupos, existentes em *traces* reais de mobilidade, tem função importante no encaminhamento de mensagens em redes móveis oportunísticas.

Embora estudos anteriores [Ekman et al. 2008, Kosta et al. 2014, Lee et al. 2009] tenham focado em reproduzir a regularidade de contatos, esses modelos somente reproduzem a regularidade de encontros entre pares de entidades, i.e., eles somente modelam contatos entre duas pessoas, desconsiderando as interações sociais coletivas. Portanto, eles não contemplam os encontros de grupos. Essa limitação é especialmente prejudicial à validação de protocolos de roteamento oportunístico (e.g., DTN e D2D), visto que estratégias cientes do contexto social [Hui et al. 2011, Li et al. 2014] são consideradas as mais eficazes para essa classe de protocolos. Consequentemente, nenhum dos modelos de mobilidade avaliam propriamente as abordagens cientes do contexto social no roteamento oportunístico, dado que eles não capturam completamente a regularidade social presente na mobilidade humana.

Com o objetivo de abordar as questões mencionadas acima, no presente trabalho trabalho propõe-se o *Group Regularity Mobility (GRM) Model*¹. Por meio de experimentos, realizados nos modelos de mobilidade do estado da arte amplamente utilizados na literatura, mostra-se que o GRM é o primeiro modelo de mobilidade que considera o papel dos encontros de grupos e suas regularidades para simular a mobilidade humana. Mostra-se que estrutura de comunidades sociais, regularidade dos encontros de grupos e padrões estatísticos de tempo entre contatos e duração de contatos, os quais estão presentes em *traces* reais, estão presentes nos *traces* gerados pelo GRM. Além disso, verificou-se que o desempenho de protocolos de roteamento em *traces* sintéticos gerado pelo GRM é similar ao obtido em *traces* reais.

2. Trabalhos Relacionados

Mobilidade de grupos é considerada umas das principais características na modelagem de mobilidade [Treurniet 2014]. No entanto, os modelos de mobilidade de grupos existentes focam na modelagem de grupos nos quais os nós permanecem juntos durante todo o tempo de simulação [Aung et al. 2015]. Além disso, modelos de mobilidade que objetivam modelar a regularidade de padrões de contatos humanos somente consideram contatos entre pares de pessoas [Ekman et al. 2008, Kosta et al. 2014, Lee et al. 2009], ignorando o fato

¹*Traces* sintéticos de mobilidade gerados a partir do GRM contendo 100, 1000, e 2000 nós estão disponíveis juntamente com um vídeo de demonstração no simulador The ONE [Keränen et al. 2009] em “<https://www.dropbox.com/sh/792mi849nf3dvam/AAAR4RofaLBfoFaxmeONE-H4a?dl=0>”. Código fonte disponível em: “<https://github.com/ivanolive/GRM>”.

de que contatos sociais frequentemente envolvem mais que duas pessoas, como foi demonstrado recentemente em [Nunes et al. 2016a].

Os estudos sobre modelos de mobilidade de grupos são restritos a representar grupos como uma entidade em que as pessoas se deslocam juntas. Por exemplo, *Reference Point Group Mobility* (RPGM) [Hong et al. 1999] e *Reference Velocity Group Mobility* (RVGM) [Wang and Li 2002] são variantes de modelos aleatórios para mobilidade de grupos. Em ambos os modelos, pessoas são organizadas em grupos de acordo com um relacionamento lógico. Cada grupo contém um líder e os membros de cada grupo se movem de acordo com o respectivo líder. Esses modelos de mobilidade são baseados em determinadas propriedades do movimento, tais como velocidade, direção e aceleração, e não exprimem propriedades dos contatos (i.e., encontros) entre as entidades. Portanto, tais modelos não são capazes de reproduzir as propriedades estatísticas que são relevantes para o roteamento oportunístico.

Alguns estudos têm focado em modelos baseados em propriedades estatísticas (e.g., distribuição de deslocamento, frequência de visita em localizações diferentes) obtidas a partir de padrões espaciais e temporais. Lee et al. [Lee et al. 2009] propõem um modelo de mobilidade, chamado *Self-similar Least Action Walk* (SLAW), que captura as seguintes propriedades: distribuição de deslocamento seguindo uma *power-law* truncada, tempos de espera e tempos entre contatos, força de atração para os lugares mais populares e a heterogeneidade de áreas definidas pela mobilidade individual. O modelo usa essas propriedades para representar a mobilidade das pessoas que compartilham lugares comuns de encontro, ou seja, lugares mais visitados no dia-a-dia.

O modelo SWIM (*Small World in Motion*) [Kosta et al. 2014] é baseado na intuição que pessoas se deslocam frequentemente para lugares próximos ou populares. Essa intuição é sustentada pelos resultados obtidos por Gonzalez et al. [Gonzalez et al. 2008] que revelam regularidades espaciais e temporais no movimento. No SWIM a cada pessoa (nó) é atribuída uma casa (*home*) e probabilidades de se deslocarem até os possíveis destinos de acordo com suas popularidades e com a distância da casa da pessoa até o local. SLAW e SWIM são capazes de reproduzir as distribuições dos tempos entre contatos e das durações dos contatos assim como elas ocorrem em *traces* reais. No entanto, esses modelos consideram apenas contatos par-a-par, ignorando a mobilidade de grupos ou qualquer relação entre mais que dois nós.

Musolesi e Mascolo [Musolesi and Mascolo 2007] propuseram um modelo de mobilidade baseado na teoria de redes sociais, denominado *Community based Mobility Model* (CMM). O modelo recebe como entrada uma rede social e aplica um algoritmo de detecção de comunidades nela. A partir disso, os movimentos dos nós são determinados pelos relacionamentos sociais entre eles. A intuição é que nós se deslocam para lugares onde eles possuem alto grau de relacionamento social. Boldrini e Passarella [Boldrini and Passarella 2010] apresentam o HCMM (*Home Cell Mobility Model*), uma evolução do CMM, que considera que pessoas se deslocam para determinados destinos de acordo com a localização do destino e relacionamentos sociais. Assim como o SWIM, o HCMM adota o conceito de *home location* e a movimentação dos nós é condicionada aos relacionamentos sociais entre eles. Além disso, os nós tendem a visitar poucos locais com alta frequência e tendem a preferir locais próximos a suas casas. Nesses modelos, a estrutura de comunidade é introduzida na mobilidade do nós para gerar um contexto social. Enquanto que no GRM, a estrutura de comunidade emerge naturalmente a partir, tanto da regularidade de encontros dos grupos, como da dinâmica de composição dos grupos, refletindo o que acontece no mundo real.

Ekman et al. [Ekman et al. 2008] introduz um modelo de mobilidade chamado

Working Day Movement Model (WDM) com o objetivo de modelar o comportamento diário de pessoas. WDM simula rotinas diárias de pessoas considerando seus deslocamentos entre casa e local de trabalho. WDM expressa a regularidade da mobilidade humana, mas ele não possui representatividade quanto a mobilidade de grupos, como será mostrado na Seção 3.

O GRM é uma evolução dos modelos citados anteriormente, incluindo todas as propriedades deles e também a regularidade dos encontros de grupos. A Seção 3 mostra que o estado da arte de modelos de mobilidade não são representativos quanto a regularidade estatística de interações humanas quando tais interações envolvem grupos.

3. Mobilidade de Grupos: Mundo real vs Modelos sintéticos

Nesta seção, *traces* sintéticos gerados a partir de modelos de mobilidade amplamente utilizados na literatura são comparados com *traces* de mobilidade reais visando verificar se a propriedade da regularidade dos encontros de grupos é capturada por tais modelos. Mais especificamente, mostra-se que tais modelos não são capazes de capturar os encontros de grupos e suas regularidades ao longo do tempo. Nesse sentido, surge a oportunidade para concepção de um modelo ciente de tal propriedade, de modo que os protocolos de redes possam ser validados em cenários mais realistas.

Primeiramente, aplica-se uma metodologia baseada em grafos temporais para detectar e rastrear grupos, como descrito em [Nunes et al. 2016a], em dois *traces* reais de mobilidade, MIT e Dartmouth. Os *traces* MIT [Eagle and Pentland 2006] e Dartmouth [Henderson et al. 2008] são compostos por registros de proximidade entre nós (contatos) contendo 80 e 1200 usuários, respectivamente. No *trace* MIT, os usuários residem em dois prédios na universidade e foram monitorados por quase um ano. Contatos foram registrados quando dois usuários estavam a menos de 10 metros um do outro. O *trace* de Dartmouth registrou contatos entre estudantes no campus da universidade por dois meses usando registro de conectividade Wi-Fi. O contato entre dois estudantes é capturado quando eles se encontram conectados ao mesmo ponto de acesso Wi-Fi. Dartmouth é o *trace* real de maior escala publicamente disponível em termos de número de usuários monitorados. Por outro lado, o MIT é o *trace* publicamente disponível que possui maior período de monitoramento dos usuários.

As Figuras 1(a) e 1(b) mostram a função densidade de probabilidade (PDF) dos reencontros de grupos ao longo do tempo para os *traces* reais. Em ambos os *traces* reais, verifica-se a presença da periodicidade dos encontros dos grupos. Particularmente, a massa de probabilidade está concentrada nos picos destacados pelas linhas vermelhas pontilhadas que representam períodos de 24 horas. Além disso, nas Figuras 1(a) e 1(b), observa-se que os picos maiores acontecem em torno das linhas verdes pontilhadas que marcam períodos de sete dias. Esse padrão observado nessas PDFs mostra que os encontros de grupos nos *traces* reais possuem periodicidades diárias e semanais. Vale ressaltar que esse padrão é observado em ambos os *traces* reais. Em seguida, são analisados três modelos sintéticos de mobilidade amplamente utilizados na literatura para verificar se eles são capazes de representar o papel dos grupos sociais na mobilidade humana.

O modelo SWIM [Kosta et al. 2014] gera *small worlds* sintéticos que seguem as distribuições estatísticas da duração de contatos e tempo entre contatos de pares de pessoas como é observado nos *traces* reais de mobilidade. O SLAW [Lee et al. 2009] foi projetado para representar diversas propriedades estatísticas da mobilidade humana, tais como: distribuição *power-law* truncada dos deslocamentos das pessoas, tempos de pausa, tempo entre contatos e popularidades heterogêneas de regiões. O WDM [Ekman et al. 2008] foi projetado para representar as mesmas propriedades de duração de contatos e tempo entre contatos que o SWIM e o SLAW. Além disso, o WDM

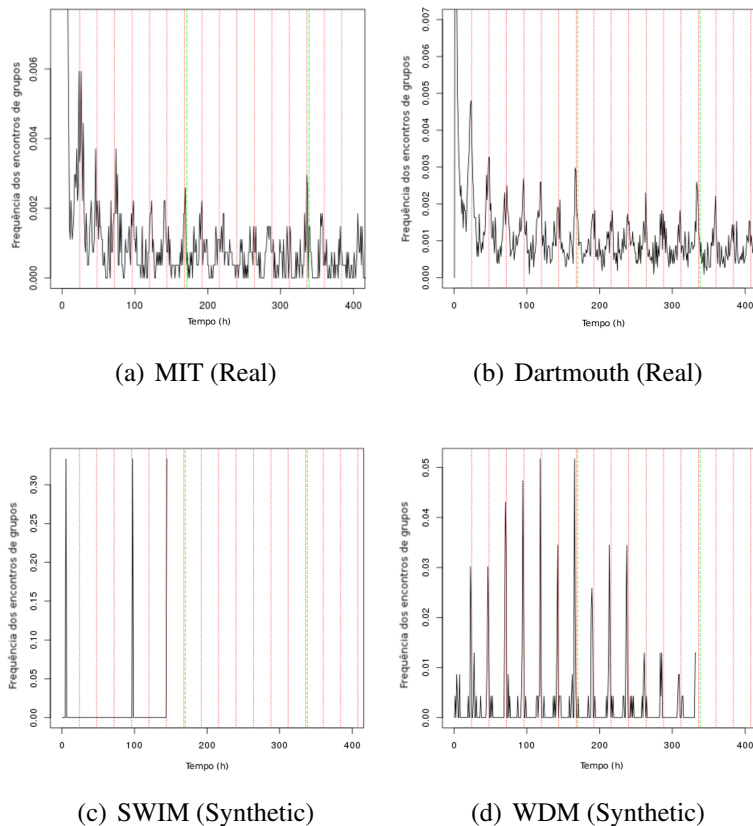


Figura 1. Comparação da regularidade dos encontros de grupos entre *traces* reais e sintéticos de mobilidade

tem o propósito de imitar a regularidade diária da mobilidade humana, i.e., como as rotinas humanas alteram a mobilidade das pessoas.

A mesma metodologia de detecção e rastreamento de grupos, aplicada aos *traces* reais MIT e Dartmouth, foi empregada para esses três modelos sintéticos. As Figuras 1(c) e 1(d) apresentam os resultados obtidos de *traces* sintéticos gerados a partir do SWIM e do WDM, respectivamente. Pode-se observar que o *trace* de contatos gerado pelo modelo SWIM (Figura 1(c)) não possui qualquer regularidade de encontros de grupos. Dentre os grupos detectados, apenas três reencontros de grupos foram registrados em um período de 15 dias. O mesmo comportamento foi apresentado pelo *trace* de contatos gerado pelo modelo SLAW (figura omitida), ou seja, nenhuma regularidade nos encontros dos grupos. Esse resultado é explicado pelo fato de que tais modelos foram projetados para representar apenas as propriedades estatísticas de contatos par-a-par, sem considerar que os contatos humanos frequentemente envolvem mais de duas pessoas. Em relação ao *trace* WDM (Fig. 1(d)), observa-se que os reencontros de grupos acontecem precisamente no período de 24 horas e com frequência maior que a percebida em *traces* reais. Isso ocorre porque o WDM primeiro define um conjunto de lugares, chamados *offices*, e distribui os nós para transitar entre um subconjunto de *offices* predefinidos com periodicidade diária. Portanto, nós com interseções em suas listas de *offices* sempre formarão grupos com regularidade exagerada de encontros.

Analisando a regularidade dos encontros dos grupos nos modelos sintéticos, conclui-se que nenhum deles representa adequadamente o padrão de mobilidade de grupos observado em *traces* reais. Portanto, a Seção 4 introduz o GRM, um modelo de mobilidade que representa as propriedades estatísticas da regularidade dos encontros de

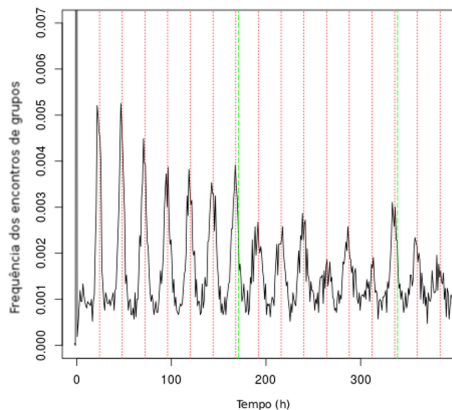


Figura 2. Regularidade dos encontros de grupo no modelo proposto

grupos. Como pode ser visto na Figura 2, ao contrário dos modelos de mobilidade da literatura, o GRM é capaz de produzir traces de mobilidade que apresentam a regularidade dos encontros dos grupos.

4. O modelo GRM

Nesta seção, o GRM é descrito em detalhes. A Figura 3 apresenta um *framework* do funcionamento do GRM. O GRM recebe como entrada um grafo social que pode ser um grafo social real, fornecido pelo usuário, ou um grafo gerado por um modelo sintético de rede social. Trata-se de um grafo não direcionado em que cada nó é uma pessoa e cada aresta representa o relacionamento social entre dois nós. A implementação do GRM da suporte a diversos modelos de rede sociais, incluindo Barabasi-Albert [Barabási and Albert 1999], Gaussian Clustering [Brandes et al. 2003], Caveman [Watts 1999], and Random Partition Graph [Fortunato 2010]. O grafo social é usado para definir quais nós irão ser membros de cada grupo, i.e., a estrutura dos grupos, como descrito posteriormente.

O GRM também recebe como entrada um conjunto de parâmetros de simulação como o tamanho da região simulada, a duração da simulação, o número de nós e o número de grupos. Além disso, alguns parâmetros estatísticos devem ser fornecidos como entrada, pois esses parâmetros são utilizados pelas distribuições estatísticas contidas no modelo. Os *traces* sintéticos gerados pelo GRM são compatíveis e podem ser importados diretamente para o simulador de redes oportunísticas The ONE [Keränen et al. 2009]. A Tabela 1 apresenta um resumo da notação que será utilizada na descrição do modelo ao longo desta seção.

4.1. Tempo entre os encontros dos grupos

Para projetar adequadamente um modelo mobilidade para a regularidade de grupos é necessário um modelo estatístico para os tempos entre os encontros dos grupos. Devido à periodicidade dos encontros de grupos apresentada na Figura 1, os tempos dos encontros de grupo são modelados da seguinte forma.

Cada grupo G_i no modelo recebe um tempo médio entre encontros, μ_{G_i} . O valor de μ_{G_i} é gerado aleatoriamente de acordo com uma distribuição *power-law* com corte exponencial. Essa forma de gerar μ_{G_i} é baseada no fato que o tempo entre contatos de *traces* de mobilidade real segue essa distribuição, como discutido nas Seções 1 e 2.

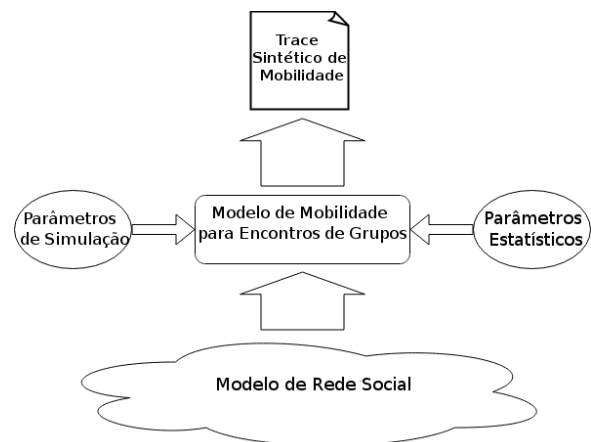


Figura 3. Framework do modelo GRM

Tabela 1. Notação

Notação	Descrição
T	A duração do <i>trace</i>
$NodesSet$	O conjunto de todos os nós da rede
G_i	O i -ésimo grupo de nós no <i>trace</i>
$ G_i $	O número de membros no Grupo G_i
T_{G_i}	O período de existência do grupo G_i
μ_{G_i}	O tempo médio entre encontros para G_i
$Meeting_{G_i}(t)$	O instante para o t -ésimo encontro de G_i
Dur_{G_i}	A duração de encontro do grupo G_i
$u \sim U(a, b)$	$u \in \mathbb{R}$ é um valor selecionado aleatoriamente com probabilidade uniforme no intervalo $[a, b]$
$\eta \sim N(\mu, \sigma^2)$	$\eta \in \mathbb{R}$ é um valor selecionado aleatoriamente com distribuição Gaussiana de média μ e variância σ^2
$\rho \sim PL(\alpha, \beta)$	$\rho \in \mathbb{R}$ é um valor selecionado aleatoriamente com distribuição <i>truncated Power Law</i> com expoente α e corte exponencial β
$P_{att}[U_j, G_i]$	A probabilidade do usuário U_j participar do encontro do grupo G_i
$P_{place}(C_j, G_i)$	A probabilidade do encontro encontro do grupo G_i acontecer na célula C_j

O expoente da *power-law* (α_{gmt}) e o valor do corte exponencial (β_{gmt}) são parâmetros estatísticos dados como entrada para o modelo. Assim, a série horários em que o grupo G_i irá se encontrar é recursivamente gerada como na Equação 1:

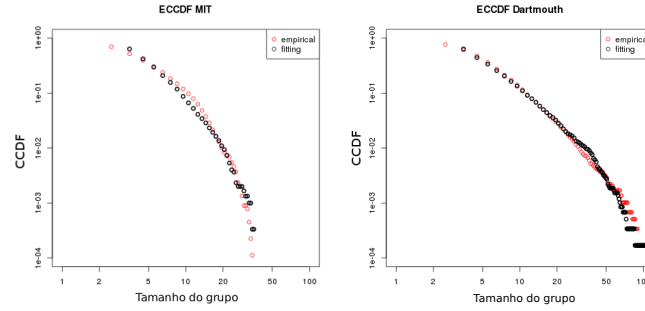
$$Meeting_{G_i}(t) = \begin{cases} u \sim U(0, T) & \text{se } t = 0 \\ Meeting_{G_i}(t-1) + \eta \sim N(K \times \mu_{G_i}, \sigma^2) & \text{se } t > 0 \end{cases} \quad (1)$$

Cada grupo G_i tem seu próprio μ_{G_i} . No entanto, a variância σ^2 é um parâmetro único para todos os grupos. Esse parâmetro permite o ajuste da pontualidade dos encontros do grupo de acordo com as propriedades da variância da distribuição Gaussiana. Seguindo recursivamente a Equação 1, para a geração dos encontros do grupo, cada grupo terá seu conjunto de encontros determinado como:

$$\bigcup_{j=0}^{\lceil \frac{T_{G_i}}{K \times \mu_{G_i}} \rceil} Meeting_{G_i}(j) \quad (2)$$

onde T_{G_i} denota o intervalo durante o qual o grupo G_i existe. O GRM considera que cada grupo G_i tem sua próprio periodicidade que é representada pelo escalar K na Equação 1. Por exemplo, a maioria dos encontros de grupos com $K = 24h$ ocorrem a cada 24, 48, ou 72 horas, seguindo a função de densidade de probabilidade *power-law* para gerar os valores μ_{G_i} . K é o multiplicador que gera o comportamento periódico mostrado na Figura 1, enquanto que o valor de μ_{G_i} , obtido a partir de uma *power-law* truncada, gera tempos entre contatos estaticamente representativos da realidade.

Como cada grupo tem seu próprio valor de K , a distribuição para valores de K é dada para o modelo como parâmetro de simulação. Por exemplo, “A simulação possuirá 500 grupos; 70% desses grupos irão ter $K = 24h$, 15% irão ter $K = 7days$ e 15% $K = 6h$ ”. Na Seção 5 mostra-se que esse exemplo de configuração para a distribuição de K gera reencontros de grupos que são similares aos observados nos *traces* reais MIT e Dartmouth.



(a) $\alpha = 2.24; \beta = 30.4$. Tamanho médio do grupo: 6.06 pessoas
 (b) $\alpha = 2.42; \beta = 54.6$. Tamanho médio do grupo: 6.96 pessoas

Figura 4. Tamanhos dos grupos: dados empíricos dos traces MIT e Dartmouth e seu fitting em *power-laws* truncadas de expoentes α e cortes exponenciais β .

4.2. Duração dos Encontros de Grupos

Uma vez gerados os tempos entre encontros de grupo, o próximo passo consiste em definir a duração dos encontros, i.e., o tempo que os nós do grupo permanecerão juntos. Para isso, como discutido nas Seções 1 e 2, estudos na literatura mostram que a duração dos contatos em cenários reais segue uma *power-law* truncada. Portanto, de forma análoga à geração do valor de μ_{G_i} na Equação 1, a duração do encontro de um grupo é definida como:

$$Dur_{G_i} \sim PL(\alpha_{dur}, \beta_{dur}) \quad (3)$$

onde α_{dur} e β_{dur} são parâmetros estatísticos do GRM.

4.3. Estrutura dos Grupos e Contexto Social

As seções anteriores mostram como gerar o tempo entre encontros e a duração deles. Outro fator importante na modelagem do GRM é definir a composição dos grupos, i.e., determinar quais nós irão para cada encontro. Para tanto, verifica-se qual a distribuição do tamanho dos grupos em *traces* reais. Nos *traces* do MIT e Dartmouth, constata-se que o tamanho dos grupos segue uma *power-law* com corte exponencial com diferentes parâmetros, como pode ser observado em 4. Portanto, o número de membros em cada grupo G_i é definido como:

$$||G_i|| \sim PL(\alpha_{size}, \beta_{size}) \quad (4)$$

onde α_{size} e β_{size} são os últimos parâmetros estatísticos do GRM.

O GRM define os nós que irão compor um dado grupo G_i de tamanho $||G_i||$ (calculado de acordo com a Eq. 4) usando o algoritmo *snowball* [Berg 1988] probabilístico. Para fazer isso, um nó n é selecionado aleatoriamente com probabilidade uniforme a partir do conjunto de nós da rede. O algoritmo *snowball* seleciona aleatoriamente um conjunto de vizinhos de n . Em seguida, ele seleciona outro conjunto aleatório dentre os vizinhos dos vizinhos de n e assim por diante até que o conjunto de nós selecionados tenha tamanho $||G_i||$. Esse conjunto de nós selecionados formam o grupo G_i . O *snowball* recebe como entrada o grafo social dado como entrada ao GRM, dessa forma preserva-se a estrutura social da rede. Em resumo, a composição estrutural do grupo é definida como:

$$\begin{aligned} Node_n &= U(NodesSet) \\ Members_{G_i} &= Snowball(Node_n, ||G_i||, SocialGraph) \end{aligned} \quad (5)$$

Neste ponto, vale ressaltar que, como acontece na realidade, um único nó pode participar de vários grupos sociais. Além disso, o número de diferentes grupos possíveis é combinatório em relação ao número de nós. Na prática, o número de grupos detectados em um *trace* de mobilidade real é maior do que o número de nós existentes nesse *trace*. Por exemplo, cinco mil grupos diferentes foram detectados no *trace* de Dartmouth, que monitora apenas 1200 nós.

Ademais, na realidade, não é razoável esperar que todos os nós participem de todos os encontros de um determinado grupo. No GRM, cada usuário U_j , que é membro de um grupo G_i , recebe a probabilidade $P_{att}[U_j, G_i]$ de comparecer a um encontro de G_i definida como:

$$P_{att}[U_j, G_i] = \frac{Known(User_j, G_i, SocialGraph)}{||G_i||} \quad (6)$$

A intuição da probabilidade P_{att} é que uma pessoa tem uma probabilidade mais alta de comparecer a um encontro de um grupo em que ela conheça mais membros. A função *Known* retorna o número de nós em G_i que tem laços sociais (arestas) com U_j no grafo social (*SocialGraph*) recebido como entrada no GRM.

Usando essa modelagem, cada grupo social no *trace* tem uma composição diferente em cada encontro. No entanto o grupo mantém a maior parte de sua estrutura ao longo de todos os seus encontros. Esse comportamento também é apresentado nas relações sociais no mundo real [Nunes et al. 2016a].

4.4. Mobilidade e Locais dos Encontros

O passo final do GRM consiste em gerar a mobilidade dos nós mantendo as propriedades e encontros de grupos que foram definidas nas seções anteriores. A mobilidade no GRM é inspirada no modelo SWIM [Kosta et al. 2014]. No entanto, os nós não definem suas trajetórias individualmente. O grupo define o lugar mais apropriado para um benefício comum a todos membros, como descrito a seguir.

Como no SWIM, GRM define uma *home* para cada nó com probabilidade uniforme no espaço de simulação. Em seguida, o espaço de simulação é dividido em células quadradas de mesmo tamanho e cada grupo G_i atribui para cada célula C_j um peso que é proporcional a distância das células às *homes* de cada membro de G_i :

$$W(C_j, G_i) = \frac{1}{||G_i||} \sum_{U_k \in G_i} dist(Home(U_k), C_j) \quad (7)$$

Como no SWIM, no GRM a função *dist* tem um decaimento de *power-law* com a distância euclidiana. Isso permite a geração de deslocamentos dos nós de acordo com uma *power-law* truncada, como ocorre na realidade [Gonzalez et al. 2008]. Finalmente, cada célula C_j recebe a probabilidade de receber um encontro do grupo G_i como:

$$P_{place}(C_j, G_i) = \frac{W(C_j, G_i)}{\sum_{i=0}^{N_{cells}} W(C_i, G_i)} \quad (8)$$

onde N_{cells} denota o número total de células no espaço a ser modelado.

No GRM, os nós transitam entre *homes* e locais de encontros. Se o próximo encontro do grupo acontece antes do tempo necessário para um nó chegar na sua *home*, o nó transita diretamente entre os locais dos encontros.

5. Avaliação

Um modelo de mobilidade deve representar bem as propriedades que se pretende capturar. Nesta seção, mostra-se que os *traces* de mobilidade gerados pelo GRM mantêm as características típicas de mobilidade real, que são fundamentais para os protocolos de redes móveis oportunísticas.

A primeira propriedade avaliada no GRM é o tempo entre contatos par a par. O tempo entre contatos é uma métrica importante porque os contatos são as oportunidades para se encaminhar mensagens em redes reais. Vários estudos usam um grande número de *traces* reais para mostrar que as distribuições de tempo entre contatos e duração de contato seguem *power-laws* truncadas.

A Figura 5(a) compara a distribuição dos tempos entre contatos para o GRM e o *trace* de Dartmouth. Nota-se que a distribuição do tempo entre contato no GRM está de acordo com a apresentada no *trace* de Dartmouth. Ambas seguem *power-laws* com cortes exponenciais, em conformidade com os resultados para a mobilidade do mundo real relatados nos estudos anteriores.

Na Figura 5(b), observa-se que a distribuição de duração dos contatos também segue uma *power-law*, em conformidade com as distribuições mostradas na mobilidade humana real. A duração dos contatos é importante porque determina a quantidade de dados que podem ser transferidos durante um determinado contato.

A Figura 5(c) mostra que o GRM de fato simula bem a regularidade dos encontros de grupos. A distribuição dos tempos de reencontro dos grupos é muito semelhante à dos *traces* de mobilidade real (Figuras 1(a) and 1(b)). Nota-se a existência de picos em períodos de 24 horas e sete dias, ressaltando a presença de periodicidade diária e semanal. Este resultado confirma que o GRM cumpre o seu objectivo de modelar adequadamente o papel da regularidade das reuniões de grupo na mobilidade humana.

Finalmente, a Figura 5(d) apresenta um resultado importante. Ela ilustra as comunidades detectadas no *trace* do GRM usando o Método de Percolação de Cliques [Palla et al. 2005]. Tal resultado confirma que, a partir da geração de reuniões regulares de grupos, compostos de membros que compartilham vínculos sociais (definidos no grafo social dado como entrada), a estrutura de comunidades sociais surge naturalmente na rede móvel. Portanto, os *traces* gerados pelo GRM são representativos do contexto social envolvido na mobilidade humana.

6. Roteamento Oportunístico no GRM

Uma das características mais importantes de modelos de mobilidade é a representatividade do comportamento de protocolos para redes móveis. Com isso, nesta seção são avaliados, no GRM, alguns dos protocolos do estado da arte em roteamento oportunístico. Como as estratégias cientes de contexto social são as que apresentam o melhor desempenho nesse tipo de rede, a análise foca-se nesse tipo de protocolo. Especificamente, são avaliados os protocolos Flooding, Bubble Rap [Hui et al. 2011], e Groups-Net [Nunes et al. 2016b].

No protocolo Flooding, também comumente chamado de Epidemic, as mensagens sempre são propagadas quando um nó que detem a mensagem encontra um nó que não a

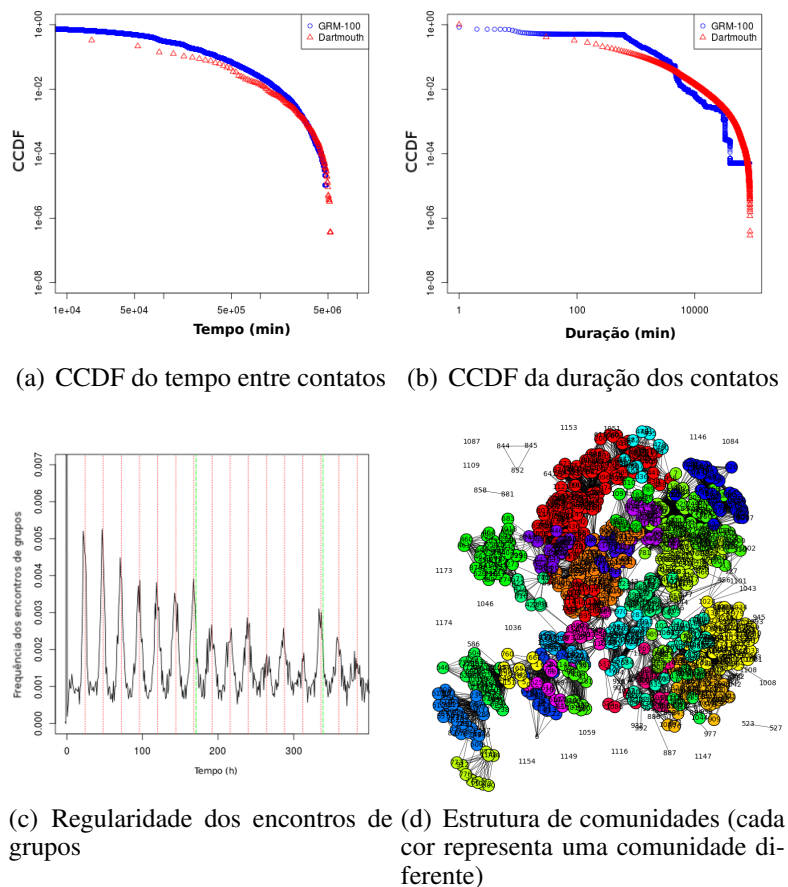


Figura 5. Propriedades importantes para o encaminhamento oportunístico que estão em *traces* e também no GRM

possui ainda. Em redes de maior escala esse protocolo não é um solução viável, tendo em vista que o número de retransmissões de mensagens cresce exponencialmente, gerando uma grande sobrecarga na rede. Porém, esse protocolo estabelece um limite superior para a taxa de entrega e para a sobrecarga da rede.

O algoritmo Bubble Rap identifica comunidades sociais a partir do grafo agregado de contatos entre nós do *trace*. Cada nó da rede deve pertencer a pelo menos uma comunidade. Nós que não pertençam a nenhuma comunidade são assinalados a uma pseudo-comunidade de apenas um nó. Esse procedimento é necessário para a operação do algoritmo. Além disso, cada nó recebe uma medida de sua popularidade global na rede (*GlobalRank*) e uma medida de sua popularidade local, que é válida apenas dentro da comunidade à qual o nó pertence (*LocalRank*). Usando essas métricas a estratégia de encaminhamento procede como a segue. A cada encontro, um determinado nó transmite o seu conteúdo se o nó encontrado apresentar um *GlobalRank* maior que o seu próprio ou se o nó pertencer à mesma comunidade do nó de destino. Uma vez que a mensagem encontra-se dentro da comunidade de destino o encaminhamento ocorre se o *LocalRank* do nó encontrado for maior do que o *LocalRank* do nó que possui a mensagem. Esse procedimento é executado até que a mensagem atinja o nó de destino.

O Groups-Net funciona encaminhando as mensagens do nó de origem até o nó de destino pela rota grupo-a-grupo mais provável. Para definir esta rota, o algoritmo considera a probabilidade de um grupo de nós se re-encontrar no futuro próximo e a probabilidade da mensagem ser carregada entre dois grupos por um nó que é membro

Tabela 2. Parâmetros de Simulação

Parâmetros	Cenários	
	GRM-100	GRM-1000
#Nós	100	1000
#Grupos	500	5000
Duração Sim.	60 days	
Duração Grupos	30 days	
Grid	30 x 30	
Tamanho Células	50	
α_{gmt}	2	
β_{gmt}	30 days	
α_{dur}	2	
β_{dur}	30 days	
α_{size}	2.24	2.42
β_{size}	30	50
K	70%-24h; 15%-7days; 15%-6h	
Grafo social	Gauss.R.P. [Brandes et al. 2003]	

de ambos. A probabilidade de um grupo se encontrar no futuro é definida baseada na ideia que grupos que se encontraram mais frequentemente no passado recente têm uma tendência maior a se re-encontrarem no futuro próximo.

Na avaliação foram consideradas as seguintes métricas:

- **Taxa de entrega:** Avalia a porcentagem de mensagens entregues ao nó destino para diferentes TTLs.
- **Número de retransmissões:** Mede a sobrecarga da rede, i.e., o número de transmissões dispositivo-dispositivo que cada algoritmo realiza para diferentes TTLs.

Algoritmos de encaminhamento oportunístico tem o objetivo de prover o melhor custo-benefício na entrega das mensagens, i.e., a maior taxa de entrega com o mínimo de sobrecarga na rede.

Para avaliar os algoritmos no GRM, foram gerados dois cenários de simulação contendo 100 e 1000 nós. Os parâmetros de simulação utilizados para cada cenário são especificados na Tabela 2. Cada um dos protocolos descritos foi executado com 10000 pares (*origem, destino*). O tempo de início da propagação para cada mensagem também é selecionado aleatoriamente dentro da duração do *trace*.

A Figura 6 apresenta o desempenho dos três protocolos considerados em traces sintéticos gerados pelo GRM. O resultado mostra que o desempenho desses algoritmos no GRM é similar ao seu desempenho em *traces* reais, conforme reportado nos trabalhos originais [Nunes et al. 2016b, Hui et al. 2011]. Os algoritmos cientes de contexto social apresentam altas taxas de entrega comparáveis à do Flooding. Por outro lado, ao explorar o contexto social, por meio de comunidades no Bubble Rap e por meio de encontros de grupos no Groups-Net, esses protocolos propiciam uma baixa sobrecarga na rede.

Com o aumento do número de nós na rede, de 100 para 1000, observa-se que a sobrecarga do protocolo Flooding cresce extremamente rápido, como esperado devido à sua política de encaminhamento promíscua. No *trace* com 100 nós, o Bubble Rap apresenta uma sobrecarga menor que o Groups-Net. Quando o número de nós na rede aumenta, a sobrecarga com o Groups-Net passa a ser menor do que a do Bubble Rap. Conforme discutido em [Nunes et al. 2016b], a sobrecarga do algoritmo Bubble Rap apresenta um aumento linear com o número de nós na rede. Esse comportamento é explicado pela natureza gulosa do encaminhamento do Bubble Rap. Por outro lado, a sobrecarga do Groups-Net tende a se manter estável com o aumento do número de nós na rede, tornando-o propício para redes de maior escala. O resultado apresentado nos *traces* gerados pelo GRM condiz com essa observação realizada a partir de traces reais.

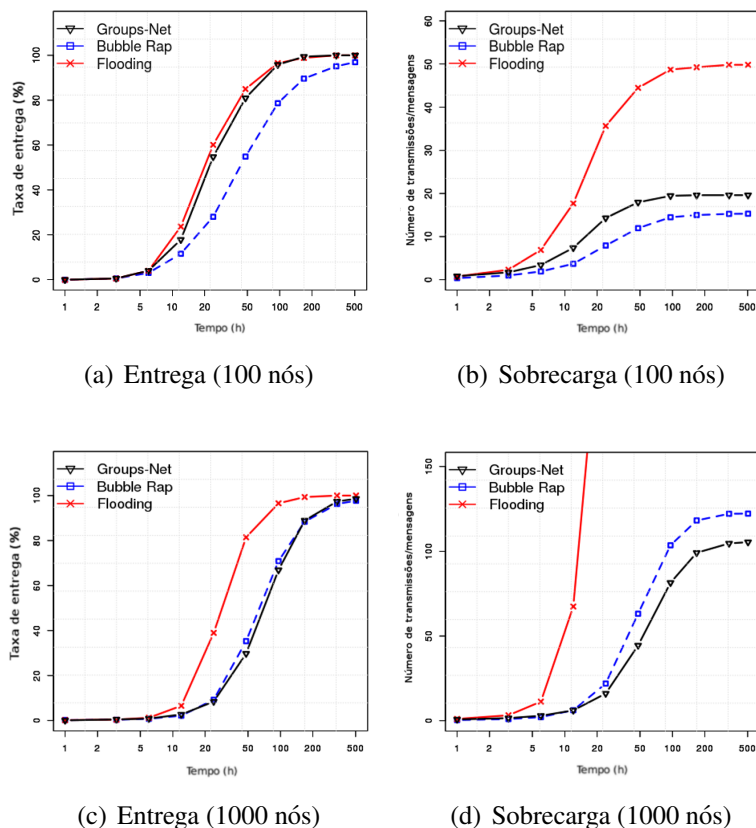


Figura 6. Desempenho do Flooding, Bubble Rap e Groups-Net em *traces* sintéticos gerados pelo GRM

7. Conclusão

Neste trabalho foi implementado e avaliado o GRM, um novo modelo de mobilidade projetado para representar a regularidade dos encontros de grupos e seu impacto na mobilidade humana. Observou-se que o GRM preserva as propriedades da mobilidade humana que são fundamentais para redes oportunísticas com tempo entre contatos, duração dos contatos, comunidades sociais e regularidade dos encontros de grupos. Além disso, mostrou-se que o desempenho de protocolos do estado da arte para redes oportunísticas têm, no GRM, um desempenho similar ao apresentado em cenários reais. *Traces* de mobilidade gerados pelo GRM e seu código fonte encontram-se públicos.

A existência de um modelo de mobilidade social representativo da realidade, como o GRM, propicia diversas oportunidades de trabalhos futuros relacionados ao encaminhamento oportunístico ciente de contexto social em DTNs e redes D2D. Por exemplo, seria interessante avaliar como os algoritmos de encaminhamento oportunístico existentes se comportam em cenários de larga escala, com milhares de nós já que não existem *traces* reais disponíveis que monitorem essa quantidade de nós. Finalmente, seria interessante estender o para incorporar outras características, como trajetórias baseadas em mapas ou diferentes popularidades e quantidade de visitas em diferentes regiões no espaço do *trace*.

Referências

- [Aung et al. 2015] Aung, C. Y., Seet, B. C., Zhang, M., Xie, L. F., and Chong, P. H. J. (2015). A review of group mobility models for mobile ad hoc networks. *Wireless Personal Communications*, 85(3):1317–1331.

- [Barabási and Albert 1999] Barabási, A.-L. and Albert, R. (1999). Emergence of scaling in random networks. *science*, 286(5439):509–512.
- [Berg 1988] Berg, S. (1988). Snowball sampling—i. *Encyclopedia of statistical sciences*.
- [Blakely and Lowekamp 2004] Blakely, K. and Lowekamp, B. (2004). A structured group mobility model for the simulation of mobile ad hoc networks. In *Proceedings of the second international workshop on Mobility management & wireless access protocols*, pages 111–118. ACM.
- [Boldrini and Passarella 2010] Boldrini, C. and Passarella, A. (2010). Hcmm: Modelling spatial and temporal properties of human mobility driven by users’ social relationships. *Computer Communications*, 33(9):1056–1074.
- [Brandes et al. 2003] Brandes, U., Gaertler, M., and Wagner, D. (2003). Experiments on graph clustering algorithms. In *European Symposium on Algorithms*, pages 568–579. Springer.
- [Cruz and Miranda 2015] Cruz, N. and Miranda, H. (2015). Recurring contact opportunities within groups of devices. In *12th EAI International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Computing, Networking and Services*, pages 160–169. ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering).
- [Eagle and Pentland 2006] Eagle, N. and Pentland, A. (2006). Reality mining: sensing complex social systems. *Personal and ubiquitous computing*, 10(4):255–268.
- [Ekman et al. 2008] Ekman, F., Keränen, A., Karvo, J., and Ott, J. (2008). Working day movement model. In *Proceedings of the 1st ACM SIGMOBILE workshop on Mobility models*, pages 33–40. ACM.
- [Fortunato 2010] Fortunato, S. (2010). Community detection in graphs. *Physics reports*, 486(3):75–174.
- [Gonzalez et al. 2008] Gonzalez, M. C., Hidalgo, C. A., and Barabasi, A.-L. (2008). Understanding individual human mobility patterns. *Nature*, 453(7196):779–782.
- [Henderson et al. 2008] Henderson, T., Kotz, D., and Abyzov, I. (2008). The changing usage of a mature campus-wide wireless network. *Computer Networks*, 52(14):2690–2712.
- [Hong et al. 1999] Hong, X., Gerla, M., Pei, G., and Chiang, C.-C. (1999). A group mobility model for ad hoc wireless networks. In *Proceedings of the 2nd ACM MSWIM, MSWiM ’99*, pages 53–60. ACM.
- [Hui et al. 2011] Hui, P., Crowcroft, J., and Yoneki, E. (2011). Bubble rap: Social-based forwarding in delay-tolerant networks. *Mobile Computing, IEEE Transactions on*, 10(11):1576–1589.
- [Keränen et al. 2009] Keränen, A., Ott, J., and Kärkkäinen, T. (2009). The one simulator for dtn protocol evaluation. In *Proceedings of the 2nd international conference on simulation tools and techniques*, page 55.
- [Kosta et al. 2014] Kosta, S., Mei, A., and Stefa, J. (2014). Large-scale synthetic social mobile networks with swim. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 13(1):116–129.
- [Lee et al. 2009] Lee, K., Hong, S., Kim, S. J., Rhee, I., and Chong, S. (2009). Slaw: A new mobility model for human walks. In *INFOCOM 2009, IEEE*, pages 855–863. IEEE.
- [Li et al. 2014] Li, Y., Wu, T., Hui, P., Jin, D., and Chen, S. (2014). Social-aware d2d communications: qualitative insights and quantitative analysis. *Communications Magazine, IEEE*, 52(6):150–158.
- [Musolesi and Mascolo 2006] Musolesi, M. and Mascolo, C. (2006). A community based mobility model for ad hoc network research. In *Proceedings of the 2nd international workshop on Multi-hop ad hoc networks: from theory to reality*, pages 31–38. ACM.
- [Musolesi and Mascolo 2007] Musolesi, M. and Mascolo, C. (2007). Designing mobility models based on social network theory. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, 11(3):59–70.
- [Nunes et al. 2016a] Nunes, I. O., Vaz de Melo, P., and A.F. Loureiro, A. (2016a). Group mobility: Detection, tracking and characterization. In *IEEE ICC 2016 International Conference on Communications (ICC’16 SAC-8 SN)*, Kuala Lumpur, Malaysia.
- [Nunes et al. 2016b] Nunes, I. O., Vaz de Melo, P., and A.F. Loureiro”, A. (2016b). Leveraging d2d multi-hop communication through social group meetings awareness. *Wireless Communications Magazine, IEEE*.
- [Palla et al. 2005] Palla, G., Derényi, I., Farkas, I., and Vicsek, T. (2005). Uncovering the overlapping community structure of complex networks in nature and society. *Nature*, 435(7043):814–818.
- [Silva et al. 2015] Silva, F. A., Celes, C., Boukerche, A., Ruiz, L. B., and Loureiro, A. A. (2015). Filling the gaps of vehicular mobility traces. In *Proceedings of the 18th ACM MSWIM*, pages 47–54. ACM.
- [Starnini et al. 2014] Starnini, M., Baronchelli, A., and Pastor-Satorras, R. (2014). Model reproduces individual, group and collective dynamics of human contact networks. *arXiv preprint arXiv:1409.0507*.
- [Treurniet 2014] Treurniet, J. (2014). A taxonomy and survey of microscopic mobility models from the mobile networking domain. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 47(1):14.
- [Wang and Li 2002] Wang, K. H. and Li, B. (2002). Group mobility and partition prediction in wireless ad-hoc networks. In *Communications, 2002. ICC 2002. IEEE International Conference on*, volume 2, pages 1017–1021 vol.2.
- [Watts 1999] Watts, D. J. (1999). Networks, dynamics, and the small-world phenomenon 1. *American Journal of sociology*, 105(2):493–527.

I Workshop de Computação Urbana (CoUrb)
SBRC 2017
Sessão Técnica 4
Infraestruturas e Estratégias para o
Desenvolvimento Urbano

Uma Solução para Tomadas de Decisões em um Ambiente Residencial baseado em *fog computing* e inteligência computacional

Geraldo P. R. Filho, José R. Torres Neto, Jó Ueyama

¹Instituto de Ciência Matemáticas e de Computação – ICMC
Universidade de São Paulo – USP
13566 – 590 – São Carlos – SP – Brasil

{geraldop, joueyama}@icmc.usp.br, jrtorresneto@usp.br

Abstract. *The significant increase of the power consumption in the last years has attracted the attention of the researches, governments and organizations. The residential sector has contributed significantly to this increase. The Home Automation System, allied with the Internet of Things, is a promising solution to solve the problem of energy efficiency. In this context, it is possible to use Computational intelligence to help carry out the decision-making process and fog computing paradigm on to manage and processing of the actions in the residence in real-time. Therefore, this work proposes a solution for collecting, disseminating and controlling through wireless sensors and actuators the decision-making in a residential environment, which is based on fog computing and computational intelligence. As proof of concept, a prototype was developed with the purpose to demonstrate the feasibility and efficiency of the proposed solution. The real results show that the proposed solution has a high hit rate with a low delay in the decision-making process, while maintaining an efficient dissemination of information with low energy consumption. Thus, the proposed system is feasible and applicable.*

Resumo. *O aumento significativo do consumo de energia nos últimos anos tem atraído a atenção dos pesquisadores, governos e organizações. O setor residencial tem contribuído, de forma significativa, para esse aumento. O Sistema de Automação Residencial, aliado com a Internet das Coisas, é uma solução promissora para o problema da eficiência energética. Neste contexto, é possível utilizar Inteligência Artificial para o auxílio de tomada de decisões em uma Rede de Sensores e Atuadores sem Fio e o paradigma fog computing na gerência e processamento das ações na residência em tempo real. Diante disso, este artigo propõe uma solução para coletar, disseminar e controlar por meio de sensores e atuadores sem fios as tomadas de decisões em um ambiente residencial, o qual é baseado em fog e Inteligência Computacional. Como prova de conceito, foi construído um protótipo com o intuito de demonstrar a viabilidade e eficiência da solução proposta. Os resultados reais evidenciam que a solução proposta possui alta taxa de acerto com baixo atraso no processo de tomada de decisão, enquanto mantém uma disseminação eficiente da informação com baixo consumo de energia. Assim, o sistema proposto é viável e aplicável.*

1. Introdução

Nos últimos anos, a eficiência energética tem sido um tema de pesquisa crescente, em pleno desenvolvimento e de interesse internacional. Nessa área, constatou-se que o consumo de energia tem aumentado de maneira significativa ao longo dos anos devido ao desenvolvimento econômico [Mineno et al. 2010] e ao uso indiscriminado da energia por parte da população [Filho et al. 2014]. Por causa desse aumento, os governos e organizações estão adotando políticas de conservação de energia para não enfrentar problemas no setor energético, como blecautes (do Inglês *blackout*) [Orestis et al. 2013]. Especificamente no Brasil, mais de 180 blecautes já foram registrados desde 2011, sendo 45 em 2013 e 65 em 2012, afetando, por exemplo, postos de saúde e linhas de metrô [G1 2014].

Nesse cenário, o setor residencial contribui com uma quantidade significativa no consumo de energia elétrica [Dittawit and Aagesen 2013, Filho et al. 2014, Mano et al. 2016]. O Sistema de Automação Residencial (HAS), aliado com a Internet das Coisas (IoT), é uma das alternativas mais promissoras para solucionar o problema da eficiência energética [Siano et al. 2013]. Vale frisar que na IoT, seja qual for a “coisa” (física ou virtual), é possível conectar via Internet para monitorar, controlar e/ou usa-lá como elemento sensoreador e atuador de uma arquitetura para interagir com o ambiente em que estão implantadas. No cenário de HAS, sensores e atuadores embarcados em microcontroladores (*raspberry pi* e *galileo* por exemplo) podem ser considerados como “coisas”. Assim, por meio dos dados providos dos sensores, o HAS permite gerenciar os recursos habitacionais da residência para a escolha da melhor ação, a qual é realizada mediante os atuadores, em benefício dos moradores [Jiang et al. 2004, Cheng and Kunz 2009, Mekikis et al. 2013, Lee et al. 2014]. Ainda, considerando que tais “coisas” podem intercomunicar-se, um sensor pode aproveitar a informação de um outro sensor para melhorar a qualidade da informação no processo de tomada de decisão na residência [Maia et al. 2015].

Atualmente, o paradigma de *fog computing*, também conhecido como computação em névoa, surge como um auxílio na IoT para satisfazer requisitos que não são atendidos por um modelo em nuvem centralizado. Ainda, o *fog* auxilia dispositivos que possuem recursos computacionais escassos, situação presente em sensores/atuadores embarcados em microcontroladores em uma HAS. O paradigma de *fog computing* estende os recursos computacionais disponíveis na infraestrutura da nuvem para a borda da rede, fornecendo mobilidade, escalabilidade, baixa latência e robustez no serviço aos usuários [Bonomi et al. 2014, Coutinho et al. 2016]. Destaca-se, ainda, que tal paradigma incorpora as análises das informações em tempo real, distribuindo o processo de tomada de decisão por meio dos recursos computacionais que o *fog computing* proporciona [Bonomi et al. 2014, Khalid et al. 2016]. Em outras palavras, as soluções baseadas em IoT estão mudando de direção, de um modelo centralizado para um modelo distribuído na nuvem por meio do *fog*.

Apesar dos avanços conquistados nessa área, os HASs são dependentes da sua rede interna para coletar, disseminar e atuar em uma casa inteligente [Filho et al. 2015b]. Existem diferentes tipos de infraestruturas, que vão desde as cabeadas com sensores analógicos até as sem fios com sensores digitais [Jiang et al. 2004, Cheng and Kunz 2009, Ramlee et al. 2013, Filho et al. 2013b]. As infraestruturas cabeadas possuem limitações

como dependência do ambiente e custosas devido a instalação da fiação. Por outro lado, as infraestruturas sem fios possuem facilidade na implantação do ambiente e baixo custo na instalação. Portanto, as Redes de Sensores e Atuadores sem Fio (RSASFs) [Akyildiz and Kasimoglu 2004] fornecem uma infraestrutura moderna e ubíqua para uma casa inteligente. Consequentemente, a RSASF combinada com o uso de *fog computing* é uma solução promissora para ser utilizada como infraestrutura de controle no HAS. A RSASF permite flexibilidade na remoção e/ou adição de componentes, facilidade em integrá-la dentro de outros *backbones*, além de ser escalável, colaborativa e de baixo custo.

Ainda que há um esforço crescente conquistado pelo uso da RSASF associado com o paradigma de *fog computing* em um HAS, correlacionar um grande volume de dados (qualitativos e quantitativos) obtidos dos sensores para o processo de tomada de decisão traz novos desafios, dos quais dois são comuns e merecem destaques. O *primeiro* desafio está relacionado como grande parte dos dados são apresentados, uma vez que são adquiridos de maneira implícita, bruta e incompreensível, para aproveitar alguma informação no processo de tomada de decisão. O *segundo* desafio está relacionado à interoperabilidade dos dispositivos, o que recai no problema de escalabilidade no processamento para as tomadas de decisões. Além disso, a falta de uma infraestrutura heterogênea, flexível e com baixo *overhead* são algumas das novas problemáticas a serem exploradas na literatura.

Para superar os desafios e limitações mencionadas anteriormente, este trabalho propõe uma solução para coletar, disseminar e controlar por meio de uma RSASF as tomadas de decisões em um ambiente residencial, o qual é baseado em *fog computing* e Inteligência Computacional. Nesse contexto, o *fog* é responsável por gerenciar e processar as ações na residência em tempo real. Já a inteligência computacional auxilia no processo de tomada de decisão. A idéia de *fog computing* é colocar os recursos computacionais mais próximo do utilizador final, processá-los localmente em nós mais robustos (Raspberry Pi) antes de repassá-los para a nuvem. Vale salientar, ainda, que para reduzir o *overhead* da infraestrutura, as funcionalidades da solução proposta são distribuídas entre os nós da rede. Como prova de conceito, foi construído um protótipo com o intuito de demonstrar a viabilidade e eficiência da solução proposta. Os resultados reais evidenciam que a solução proposta possui alta taxa de acerto com baixo atraso no processo de tomada de decisão, enquanto mantém uma eficiência na disseminação da informação com baixo consumo de energia.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma. A Seção 2 apresenta os trabalhos relacionados, discutindo os principais desafios frente a esta pesquisa. A Seção 3 descreve como nossa solução foi desenvolvida. A Seção 4 apresenta o protótipo construído como prova de conceito para a solução proposta. A Seção 5 apresenta os resultados da avaliação de desempenho. Por fim, a Seção 6 apresenta as conclusões e os trabalhos futuros.

2. Trabalhos relacionados

Esta seção apresenta os principais trabalhos encontrados na área de HAS, os quais utilizam uma RSASF como infraestrutura de controle para coletar dados e atuar em um ambiente inteligente. O intuito é discutir os principais desafios e problemas em aberto

nessa área que ainda não foram solucionados e que esta pesquisa investiga.

Atualmente, tem-se investigado o uso potencial das tecnologias de rede sem fio como infraestrutura interna de uma residência [Mantoro et al. 2011, Ramlee et al. 2013, Filho et al. 2013a, Mahmood et al. 2014, Filho et al. 2015a, Khan et al. 2016]. Particularmente em [Mantoro et al. 2011], é proposto um *framework* que é modelado com base em uma infraestrutura sem fio. Como prova de conceito do *framework*, foi desenvolvido um protótipo chamado *Integ's smart home*. O *Integ's smart home* permite monitorar e controlar as condições da sua residência através de um dispositivo móvel (por exemplo, *smartphone*) habilitado para a Internet. Já em [Ramlee et al. 2013], é proposto um sistema de automação residencial de baixo custo voltado para os eletrodomésticos. Para tanto, uma placa de controle principal (nó *sink*) é desenvolvida para gerenciar a comunicação entre os eletrodomésticos e os moradores. Entretanto, as soluções citadas anteriormente possuem limitações, diferenciando deste trabalho principalmente por serem desenvolvidas para aplicações específicas, além de não correlacionando os dados coletados entre as aplicações para melhorar a tomada de decisão.

Outros pesquisadores utilizam modelo espacial multidimensional para a tomada de decisão, como proposto por [Ming et al. 2016]. Os autores propõem um modelo espacial multidimensional para o controle de serviços em um ambiente inteligente, com ênfase na eficiência energética. No modelo multidimensional, cada parâmetro físico (sensor de temperatura e luminosidade) é abstraído em uma dimensão. Com isso, os serviços são formulados como um espaço de serviço multidimensional por meio da computação espacial. Por isso, é proposto um algoritmo de ajuste de potência mínima para o agendamento da eficiência energética em um ambiente inteligente. Entretanto, o modelo não possui um gerenciamento de serviços sem conflitos. Ainda, o modelo proposto não considera a informação de uma aplicação (sistema de iluminação ou HVAC) para melhorar a eficiência energética do ambiente, apenas os parâmetros físicos.

Outros trabalhos relacionados que merecem destaques são propostos por [Farias et al. 2013, Farias et al. 2014]. Convém salientar que o trabalho apresentado por [Farias et al. 2014], é uma extensão do trabalho realizado anteriormente em [Farias et al. 2013]. Particularmente em [Farias et al. 2014], é proposto um sistema de **CON**trole e **DE**cisão (CONDE) com o intuito de automatizar o processo de tomada de decisão em um ambiente usando uma RSASF. O CONDE é desenvolvido para coletar e manipular os dados sensoreados, processando-os dentro da própria infraestrutura. O CONDE utiliza processos de inferência como método para a tomada de decisão. Nesse caso, modelou-se um conjunto de parâmetros e regras simples para as decisões serem tomadas em cada aplicação ativa na RSASF. As limitações do CONDE em relação a este trabalho são: (i) regras pré-estabelecidas para a tomada de decisão; e (ii) há um indicativo de aumento do uso da memória a medida que novas aplicações são inseridas na infraestrutura.

O trabalho que mais se assemelha com esta pesquisa é apresentado por [Filho et al. 2015b]. Os autores [Filho et al. 2015b] propõem um sistema de decisão inteligente para uma infraestrutura residência distribuída utilizando sensores e atuadores sem fio, chamado ResiDI. O núcleo da inteligência do ResiDI é baseado em uma Rede Neural que visa melhorar a precisão da tomada de decisão, juntamente com um mecanismo de correlação temporal que é projetado para reduzir o consumo de energia da in-

fraestrutura. Apesar do ResiDI aproveitar o processamento da rede sem fio, melhorando a precisão na tomada de decisão, não é capaz de executar soluções robustas devido aos recursos escassos que uma RSASF possui. Além disso, os recursos computacionais (processamento e memória) não estão perto do utilizador final, podendo aumentar a latência de serviço. Vale frisar, ainda, que existe um problema de interoperabilidade e integração com novos dispositivos. Em outras palavras, possui um comportamento específico, e não genérico, dificultando assim sua adaptação a mudanças no ambiente.

Tabela 1. Resumo das lacunas identificadas nos trabalhos relacionados.

Trabalhos	Tomada de Decisão	Processo de Atuação	Overhead	Infraestrutura
[Mantoro et al. 2011]	X	X	X	X
[Ramlee et al. 2013]	—	X	X	X
[Farias et al. 2014]	✓	✓	X ¹	X ²
[Filho et al. 2015b]	✓	✓	X	X
[Ming et al. 2016]	X	✓	—	X
Nossa solução	✓	✓	✓	✓

¹ Dispositivos com armazenamento escasso pode ser sobrecarregado a medida que são adicionadas novas regras de inferência;

² Apesar de preocuparem com a distribuição de papéis, utilizam nós com hardware homogêneos da plataforma MicaZ.

A Tabela 1 apresenta uma comparação dos trabalhos discutidos anteriormente considerando as seguintes características: (i) tomada de decisão, capacidade das soluções utilizarem técnicas de aprendizagem de máquina para atuar; (ii) processo de atuação, capacidade das soluções em incorporar o processo de decisão dentro do próprio nó; (iii) overhead, capacidade das soluções em prevenir sobrecarga na infraestrutura, como processamento e armazenamento em excesso; e (iv) infraestrutura heterogênea, capacidade das soluções em determinarem funções/papéis específicos para cada nó. Nesse tipo de infraestrutura, diferentes tipos de nós podem existir, apresentando requisitos de *hardware* específicos conforme a sua necessidade. Por causa das limitações encontradas nos trabalhos analisados, a seguir é apresentada a nossa solução proposta.

3. Solução Proposta

Esta seção apresenta uma solução para coletar, disseminar, detectar e controlar as tomadas de decisões em um ambiente residencial distribuído formando um *fog computing*. A solução é desenvolvida com base em técnicas de inteligência computacional para realizar o processo de tomada de decisão, bem como no uso do paradigma de *fog* para gerenciar e processar as ações na residência em tempo real. A idéia de *fog computing* é colocar os recursos computacionais mais próximo do utilizador final, processá-los localmente em nós mais robustos (Raspberry Pi) antes de repassá-los para a nuvem. Nossa solução foi desenvolvida para ter escalabilidade e robustez no processamento, reduzindo a latência de serviço, ao mesmo tempo em que provê um aumento na precisão para a tomada de decisão.

Na solução, os nós são munidos com uma interface de comunicação sem fio, armazenamento, processamento e bateria como fonte de *backup* para formar um ambiente computacional de *fog*. A Figura 1 ilustra a arquitetura de componentes da solução, na qual o *microkernel* realiza a instância e a conexão dos componentes para cada nó com seus respectivos papéis. Entende-se como papéis as funcionalidades específicas que são

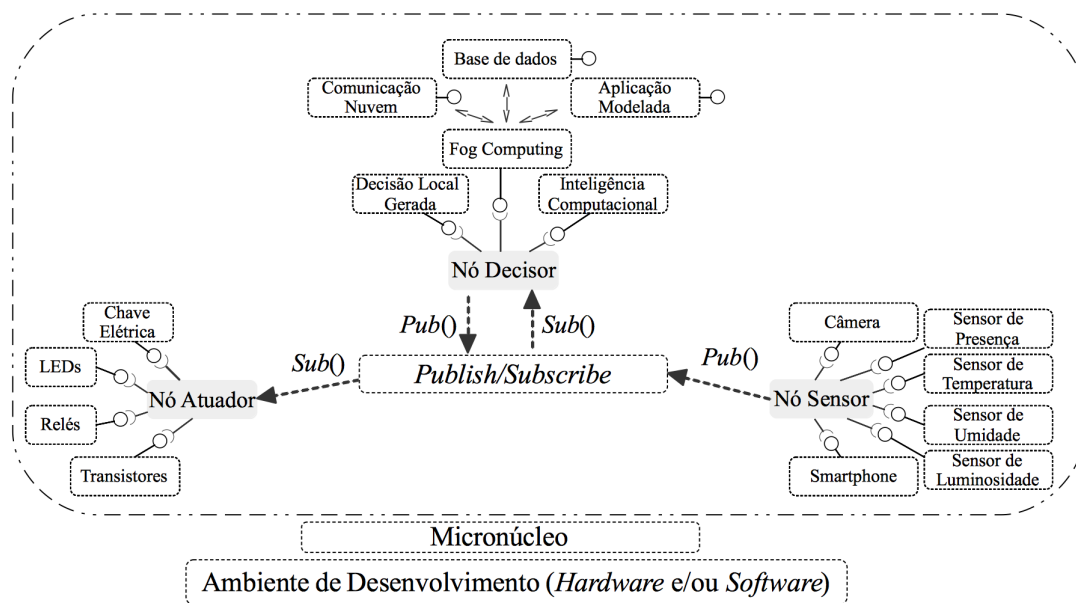


Figura 1. Cenário de funcionamento da solução proposta.

atribuídas para cada nó. Nesse ambiente, os nós publicam (*publish*) seus dados e, em seguida, os nós assinantes (*subscribe*) recebem os dados correspondentes para processar e retornar uma resposta. Com essas características, além de deixar a infraestrutura da nossa solução com alta disponibilidade para os nós que a compõem, é possível lidar em tempo de execução com a heterogeneidade de *hardware* e *software* de cada nó, deixando-o colaborativo e flexível para adição de novos recursos.

Para um melhor entendimento da proposta, a explicação da solução é dividida em três etapas, sendo elas: (i) a divisão dos papéis com a descrição do seu funcionamento; (ii) a construção da tabela de roteamento juntamente com a distribuição dos nós na rede; e (iii) a detecção para a tomada de decisão. A seguir, cada uma dessas etapas são descritas.

3.1. Divisão dos papéis

Para monitorar e gerenciar o ambiente, os papéis e a inteligência são distribuídos entre os nós (revisite a Figura 1) da rede, sendo eles: (i) nó sensor, (ii) nó decisor; e (iii) nó atuador. Neste caso, os nós sensores são distribuídos no ambiente para coletar e disseminar as informações (por exemplo, movimento, imagem, presença e temperatura), transmitindo-as para o nó decisor. Já o nó decisor recebe tais informações e realiza o processamento para detectar a tomada de decisão. Nesse caso, as informações são processadas no nó decisor. Ainda, o Nó decisor além de servir como interface para outras aplicações (característica presente em uma *smart home*), também é responsável por realizar a comunicação externa e possíveis atualizações vindas de fora da rede. Por fim, o nó atuador recebe a ação detectada pelo nó decisor e controla as aplicações (iluminação e equipamentos eletrodomésticos) do ambiente por meio de diferentes componentes de atuação, tais como chaves elétricas, relés, transistores e LEDs.

3.2. Construção da tabela de roteamento e a distribuição dos nós no ambiente

Como a nossa solução possui uma infraestrutura distribuída com diferentes papéis, a tabela de roteamento é construída com base na distância entre os nós e nos papéis de cada

nó. O processo de associação dos nós é iniciado quando os nós sensores/atuadores escutam os *beacons* enviados do nó decisor (Figura 2(a)). Para isso, quando um nó recebe uma mensagem, a força do sinal recebida (RSSI) por ele é utilizada para estimar a distância do nó que transmitiu a mensagem. Esse processo é realizado mediante um *handshake* de três vias, no qual os nós sensores/atuadores solicitam associação ao nó decisor que aceita as requisições.

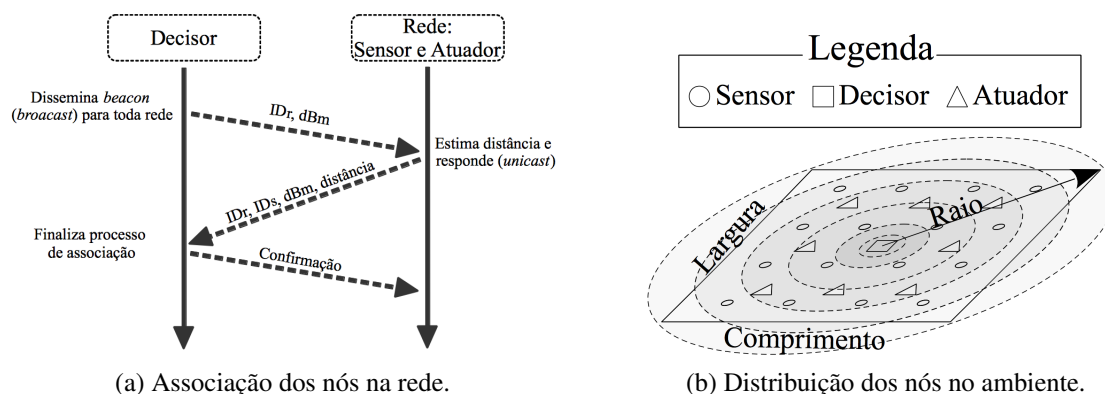


Figura 2. Procedimento para a construção da tabela de roteamento (Figura 2(a)) e distribuição dos nós no ambiente (Figura 2(b)).

Para cobrir toda área de coleta e disseminação de dados, os nós sensores são distribuídos de maneira equidistante. Assim, considerou a dimensão da área monitorada (isto é, largura L e comprimento C) e o raio (R) de comunicação do nó sensor. Com isso, é possível definir a quantidade de nós sensores para serem distribuídos na área: $\lceil \frac{L}{R} \rceil \lceil \frac{C}{R} \rceil$. Já a distribuição dos nós atuadores é a metade dos nós sensores, uma vez que é realístico admitir que há menos nós atuando no ambiente e mais nós disseminando informações. Esse procedimento é ilustrado na Figura 2(b).

Destaca-se que o nó decisor é munido com um maior poder de comunicação para alcançar todos os nós sensores/atuadores na rede, revise a Figura 2(b). Como resultado, o nó decisor é responsável por toda região de detecção e atuação. Dessa forma, com apenas um salto, o nó decisor pode receber as informações e repassar as ações para toda a rede. Isso é uma realidade razoável de supor em um ambiente residencial, no qual os equipamentos estão próximos fisicamente. Consequentemente, o nó decisor pode construir um conhecimento local sobre a área monitorada, sem a necessidade de múltiplos saltos. Portanto, a nossa solução permite a criação de uma RSASF para sensorar e atuar no processo de decisão de forma autônoma dentro da rede. O processo para realizar a tomada de decisão é descrita na próxima Subseção 3.3.

3.3. Detecção para o processo de tomada de decisão

Para realizar o processo de tomada de decisão, é necessário detectar e classificar as preferências do morador em um ambiente residencial. Destaca-se, entretanto, que tal processo não é uma tarefa trivial, uma vez que é fundamental tratar e correlacionar informações qualitativas e quantitativas, como nível de iluminação/temperatura e quantidade de pessoas no ambiente. Para tratar tal problema, o modelo proposto para a tomada de decisão tem como objetivo o aprendizado das aplicações mediante técnicas de inteligência computacional.

Em razão do exposto anteriormente, foram explorados cinco algoritmos de classificação clássicos da literatura para o processo de tomada de decisão, sendo eles: (i) Árvore de Decisão (ii) Naive Bayes; (iii) K-Nearest Neighbors (KNN); (iv) Rede Neural Artificial do tipo MultiLayer Perceptron (RNA); e (v) Support Vector Machine (SVM). Os algoritmos utilizam os dados providos dos nós sensores e, em seguida, detecta as características do ambiente de acordo com as preferências do morador, para realizar o processo de tomada de decisão.

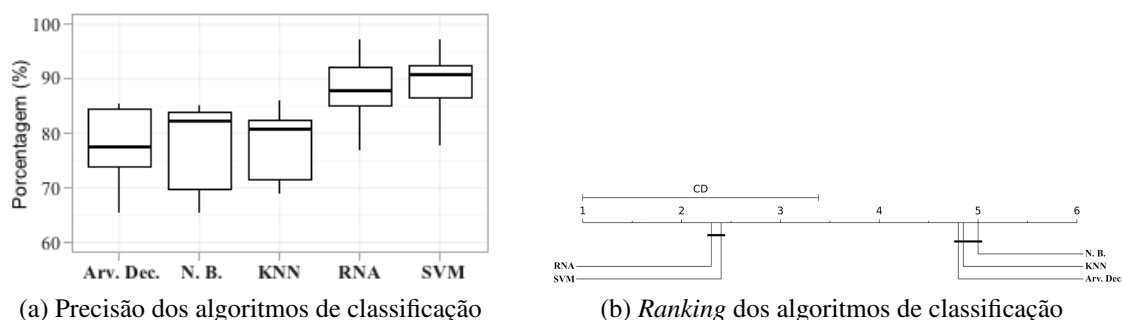


Figura 3. Análise exploratória dos algoritmos de classificação

Para saber qual algoritmo utilizar na solução proposta, realizou-se uma análise exploratória, como ilustrado na Figura 3. Para obter os modelos de classificação, utilizou-se os dados obtidos do protótipo (Seção 4). A Figura 3(a) apresenta a porcentagem dos resultados relativos à métrica precisão em função dos algoritmos de classificação, indicando o grau de dispersão dos resultados e os seus *outliers*. Já a Figura 3(b) fornece um *ranking* que permite determinar o desempenho geral de cada um dos algoritmos avaliados. Com base nesses resultados, nota-se que a RNA e SVM obtiveram os melhores resultados, quando comparado com os outros algoritmos. Apesar da RNA e SVM serem estatisticamente iguais e possuírem comportamentos semelhantes para a tomada de decisão devido à estabilidade na dispersão dos resultados (identificado pela amplitude interquartil do boxplot), a RNA possui uma melhor colocação no *ranking* segundo o *post-hoc test*. Pelos motivos supracitados, a RNA foi utilizada para realizar o processo de tomada de decisão.

4. Protótipo construído

Uma das etapas desta pesquisa é coletar e disseminar os dados da casa do morador. Por isso, inicialmente, desenvolveu-se o protótipo do nó sensor, ilustrado na Figura 4(a), com poder de comunicação sem fio, na placa Intel Galileo. Na placa, integrou-se como módulo de comunicação o padrão 802.11, podendo ser extensível para o padrão 802.15.4. Além do módulo de comunicação, embarcou-se os sensores de temperatura, umidade, presença e luminosidade.

Para enviar os dados disseminados do nó sensor e transmiti-los para o nó atuador, foi desenvolvido o protótipo do nó decisor a partir da montagem de um Raspberry Pi, ilustrado na Figura 4(b). Com o intuito de realizar a orquestração da disseminação das informações presentes na rede, foi necessário expandir o uso do Raspberry Pi através dos padrões 802.11 e 802.15.4.. Dessa forma, o Raspberry Pi recebe os dados sensoreados, processa tais dados para a tomada de decisão e transmite para o nó atuador realizar a ação.

Para realizar a atuação, construímos o protótipo do nó atuador, apresentado na Figura 4(c). Tal protótipo possui a capacidade de receber ações para ligar ou desligar uma aplicação. Para este caso específico, há a necessidade do nó atuador estar conectado na tomada. Assim, adaptou-se o wattímetro Kill-a-Watt da empresa P3 com o módulo XBee (802.15.4) e o TRIAC para atuar no ambiente. O TRIAC é utilizado para atuar como chave eletrônica nos equipamentos. Além disso, foi adicionado um LED para informar, independente do tipo de atuação, que a ação foi realizada com êxito. Dessa forma, o protótipo desenvolvido permite a criação de uma RSASF que coleta dados, dissemina informações e atua na aplicação desejada.

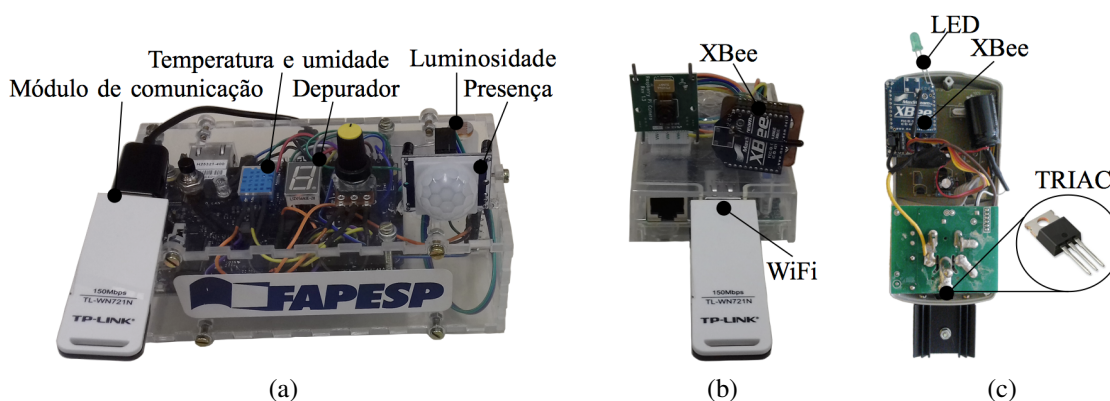


Figura 4. Protótipo do nó sensor (a), decisor (b) e atuador (c) desenvolvido para a criação de uma RSASF que coleta, dissemina, processa e atua na aplicação desejada.

5. Avaliação de Desempenho no Protótipo Construído

Nesta seção, o desempenho da nossa solução mediante o protótipo desenvolvido foi avaliado considerando dois cenários distintos, sendo eles: (i) cenário 1, no qual representa um ambiente residencial com baixa interferência, sendo assim, haverá outras redes, como ilustrado na Figura 5(a); e (ii) cenário 2, no qual representa um ambiente residencial com alta interferência (Figura 5(b)) e, por isso, foram adicionadas outras redes no mesmo canal de comunicação para promover uma maior interferência na rede. Destaca-se também, que as redes que foram adicionadas disseminam dados aleatoriamente entre 0 a 5s durante 1h. Esse intervalo foi escolhido empiricamente, pois quando aumentamos o tempo, o ambiente se comportava similar ao cenário 2.

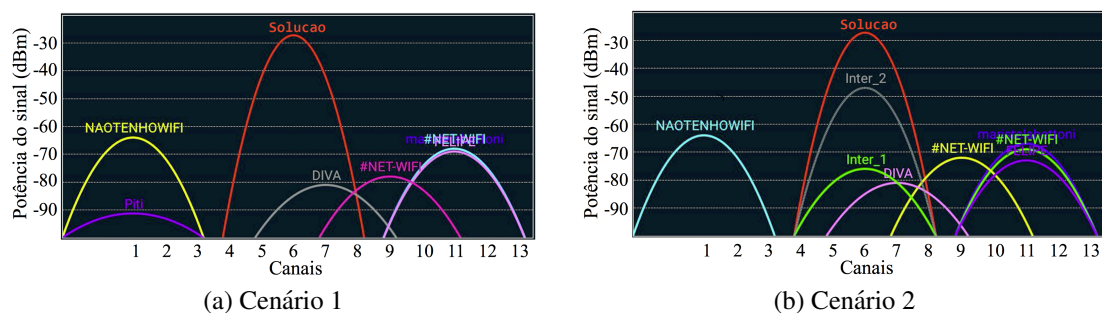


Figura 5. Intensidade do sinal das redes durante a execução dos experimentos.

As métricas utilizadas nas avaliações de desempenho foram: (i) taxa de acerto; (ii) atraso no processo de tomada de decisão; (iii) taxa de entrega; (iv) total de mensagem

disseminada; e (v) consumo de energia. Os resultados são apresentados na Figura 6 da Subseção 5.1, com um intervalo de confiança de 95%, replicados 30 vezes.

5.1. Impacto dos Resultados das Métricas no Protótipo Construído

A Figura 6(a) apresenta a taxa de acerto em atuar no processo de tomada de decisão em função dos cenários 1 e 2. Nota-se que o cenário 1 possui uma média ligeiramente maior que o cenário 2, apesar de ambos os cenários serem estatisticamente equivalentes. A equivalência faz sentido pois, a RNA utilizada no nosso modelo além de possuir a capacidade de generalizar o processo de decisão, também dispõe de adaptabilidade porque não é necessário alterar a topologia da rede a cada atualização.

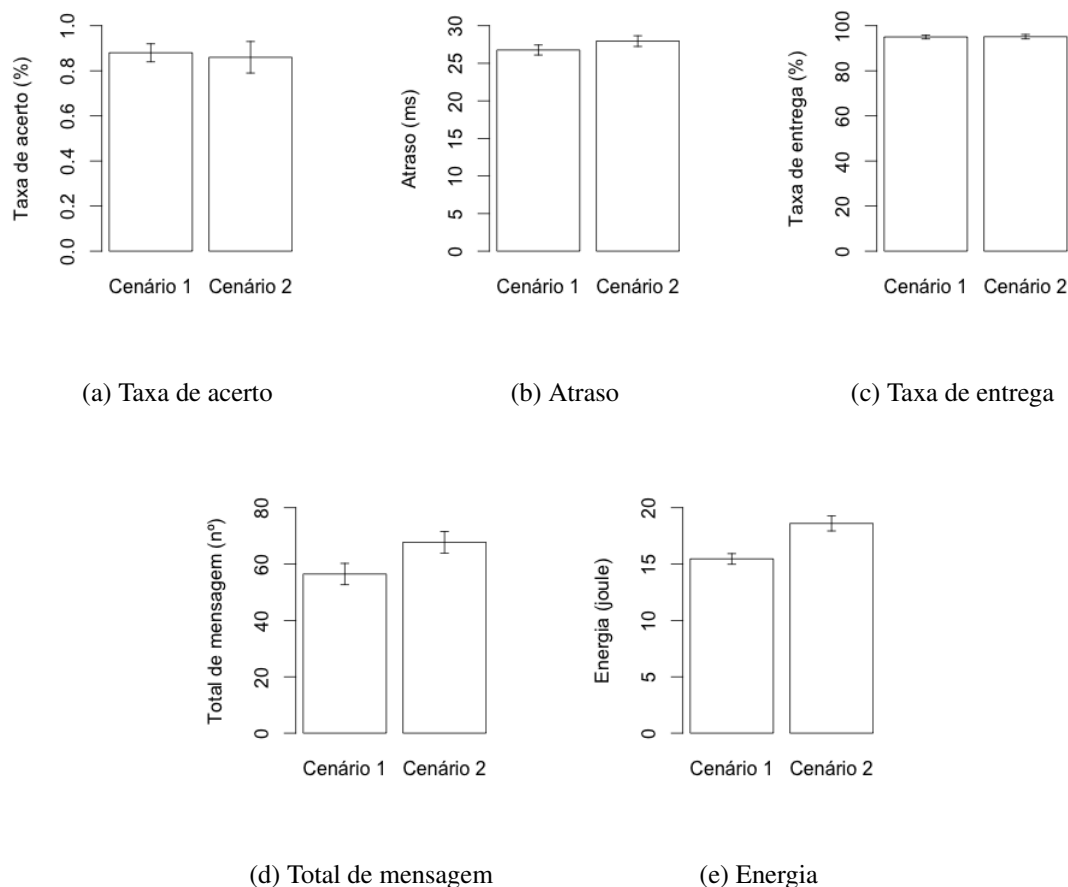


Figura 6. Análise de desempenho da solução proposta no protótipo construído.

Após validar a taxa de acertos, foi analisado o tempo gasto desde o sensoriamento até a atuação para que uma decisão seja executada, como ilustrado na Figura 6(b). Como era esperado, o cenário 2 apresenta um tempo de resposta ligeiramente maior quando comparado com o cenário 1. Isso ocorre em virtude da adição de novas redes no mesmo canal de comunicação. Tal adição gera mais transmissões de mensagens e, conseqüentemente, mais colisões e atraso na entrega do evento. Em outras palavras, pode haver perdas de informações. Apesar disso, não houve prejuízo na taxa de acertos para a tomada de decisão, como discutido na Figura 6(a).

Em relação a variável entrega, Figura 6(c), constatou que os cenários 1 e 2 são estatisticamente equivalentes, independente da interferência na rede. Em outras palavras, a taxa de entrega das mensagens possuem comportamentos semelhantes, não afetando assim no processo de tomada de decisão. Já a métrica total de mensagem disseminada (Figura 6(d)), tem como objetivo avaliar a eficiência da solução no que diz respeito ao tráfego de dados durante a disseminação das informações. Observou-se que o cenário 2 possui maior quantidade de mensagens disseminadas quando comparado com o cenário 1. Essa afirmação já era esperada, haja vista que o cenário com baixa interferência não influencia na disseminação dos eventos. Já o cenário com alta interferência, o qual possui outras redes no mesmo canal de comunicação, pode gerar colisões na disseminação dos eventos.

Por fim, a Figura 6(e) apresenta a variável consumo de energia para os cenários 1 e 2. Destaca-se que o cenário 2 possui médias ligeiramente maiores no consumo de energia em relação ao cenário 1. Isso ocorre devido ao aumento da quantidade de mensagem transmitida (revisite a Figura 6(d)), uma vez que é sabido que, o componente que mais dissipa energia residual do nó é a comunicação de dados. Ainda o processamento de outros componentes do circuito, devido ao total de mensagens no cenário 2, pode auxiliar tal consumo. Convém salientar, entretanto, que essa diferença do consumo de energia é pequena, aproximadamente 16%. Em virtude dos argumentos supracitados, é possível comprovar a eficácia da solução em dispositivos com recursos escassos, uma vez que mesmo em um cenário com altas interferências a solução se manteve estável com resultados bem próximos quando comparado à um cenário com baixa interferência.

5.2. Aplicabilidade da proposta

Nossa solução é focada em um primeiro momento nos sistemas residenciais inteligentes, entretanto pode ser aplicada em outros sistemas de automação, tais como predial, segurança e *Health Smart Homes*. Caso a nossa proposta utilize apenas a bateria como fonte de alimentação, consideramos que os nós sensores possuem mecanismos para preservar a sua energia residual, como proposto por [Filho et al. 2015b]. Com isso, é possível implantar a nossa proposta em qualquer lugar da residência ou em outro tipo de ambiente que tem a mesma finalidade, facilitando sua manutenção e instalação na parede, sem a necessidade de perfuração ou outra infraestrutura pré-existente.

O uso da nossa solução também pode ser utilizada para empresas fornecedoras de energia (por exemplo, AES Eletropaulo, Cemig, Coelba e Eletrobras), as quais desejam coletar o consumo de energia no setor residencial [Neto et al. 2017]. O uso das redes inteligentes nas residências dos consumidores, auxilia-os a procurar formas mais eficientes de conservar a energia da sua casa [Filho et al. 2014]. Portanto, pode-se utilizar nossa solução como uma infraestrutura de medição avançada, permitindo a comunicação entre a concessionária de energia elétrica e as instalações dos consumidores, e vice-versa. Assim, é possível comunicar com os consumidores, coletar o consumo de energia da sua residência, monitorar seus aparelhos elétricos e possivelmente controlar seu consumo de energia sem afetar seu conforto.

6. Conclusão

Como argumentado inicialmente, os HASs são fortemente dependentes da sua rede interna, visto que esta é a base de uma casa inteligente. Nesse contexto, o uso de uma

RSASF combinada com o paradigma de *fog computing* surge como uma solução promissora, ubíqua e de fácil implantação para ser utilizada como infraestrutura de controle em uma HAS. Entretanto, o uso das RSASFs e *fog computing* para monitorar e atuar como infraestrutura de controle dentro do contexto de uma HAS provoca novos desafios. Tais desafios remetem não apenas na aquisição de dados que muitas vezes são adquiridos de maneira implícita, mas também na falta de uma infraestrutura que acomode a heterogeneidade dos dispositivos. Além disso, existe a falta de interoperabilidade entre os dispositivos, o que recai no problema de escalabilidade e robustez no processo para tomadas de decisões.

Com isso em mente, este artigo propôs uma solução inteligente para um ambiente residencial que, além de manter uma precisão no processo de tomada de decisão, tem como objetivo melhorar a robustez no processamento, reduzindo a latência de serviço em dispositivos com recursos escassos. Como prova de conceito, desenvolveu-se um protótipo baseado nas características de uma RSASF para validar a viabilidade da proposta. Os resultados reais obtidos das avaliações de desempenho, mostraram ser promissores independentes do ambiente está com baixa ou alta interferência, sendo dois deles notáveis: (i) alta taxa de acertos com baixo atraso no processo de tomada de decisão; e (ii) eficiência na disseminação da informação com baixo consumo de energia.

Como trabalhos futuros, planeja-se além de ampliar o estudo apresentado neste artigo, desenvolver soluções sensíveis ao contexto de maneira individualizada para os sistemas residências. Para isso, será utilizado sensores de imagem para identificar o usuário e, em seguida, detectar qual morador terá prioridade no processo de tomada de decisão.

Agradecimentos: Os autores gostariam de agradecer o apoio financeiro concedido da FAPESP (processo 2014/06330-5) para o bolsista de doutorado MSc. Geraldo P. R. Filho.

Referências

- Akyildiz, I. F. and Kasimoglu, I. H. (2004). Wireless sensor and actor networks: research challenges. *Ad Hoc Networks*, 2(4):351 – 367.
- Bonomi, F., Milito, R., Natarajan, P., and Zhu, J. (2014). *Fog Computing: A Platform for Internet of Things and Analytics*, pages 169–186. Springer International Publishing, Cham.
- Cheng, J. and Kunz, T. (2009). A survey on smart home networking. *Carleton University, Systems and Computer Engineering*.
- Coutinho, A. A. T. R., Carneiro, E. O., and Greve, F. G. P. (2016). Computação em névoa: Conceitos, aplicações e desafios. pages 266 – 315.
- Dittawit, K. and Aagesen, F. (2013). Architecture and functional framework for home energy management systems. In Bauschert, T., editor, *Advances in Communication Networking*, volume 8115 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 173–184. Springer Berlin Heidelberg.
- Farias, C., Pirmez, L., Delicato, F., Soares, H., Dos Santos, I., and Carmo, L. (2013). A control and decision system for smart buildings. In *Ubiquitous Intelligence and Computing, 2013 IEEE 10th International Conference on and 10th International Conference on Autonomic and Trusted Computing (UIC/ATC)*, pages 254–261. IEEE.

- Farias, C., Soares, H., Pirmez, L., Delicato, F., Santos, I., Carmo, L. F., Souza, J., Zomaya, A., and Dohler, M. (2014). A control and decision system for smart buildings using wireless sensor and actuator networks. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 25(1):120–135.
- Filho, G., Ueyama, J., Faical, B., Guidoni, D., and Villas, L. (2015a). Residi: An intelligent decision platform for residential infrastructure using wireless sensors and actuators. In *Computer Networks and Distributed Systems (SBRC), 2015 XXXIII Brazilian Symposium on*, pages 237–245.
- Filho, G. P. R., Ueyama, J., Faical, B. S., Pessin, G., d. Farias, C. M., Pazzi, R. W., Guidoni, D. L., and Villas, L. A. (2015b). An energy-aware system for decision-making in a residential infrastructure using wireless sensors and actuators. In *Network Computing and Applications (NCA), 2015 IEEE 14th International Symposium on*, pages 9–16.
- Filho, G. P. R., Ueyama, J., Villas, L., Pinto, A., and Seraphini, S. (2013a). Nodepm: Um sistema de monitoramento remoto do consumo de energia elétrica via redes de sensores sem fio. *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC), editor, Sociedade Brasileira de Computação (SBC)*, 31:17–30.
- Filho, G. P. R., Ueyama, J., Villas, L. A., Pinto, A., Gonçalves, V. P., and Seraphini, S. (2013b). An intelligent approach for improving energy efficiently in smart grids. In *Proceedings of the International Conference on Wireless Networks (ICWN)*, page 1. The Steering Committee of The World Congress in Computer Science, Computer Engineering and Applied Computing (WorldComp).
- Filho, G. P. R., Ueyama, J., Villas, L. A., Pinto, A. R., Goncalves, V. P., Pessin, G., Pazzi, R. W., and Braun, T. (2014). Nodepm: A remote monitoring alert system for energy consumption using probabilistic techniques. *Sensors*, 14(1):848.
- G1 (2014). Economia - brasil registra 181 apagoes desde 2011. <http://g1.globo.com/economia/noticia/2014/02/brasil-registra-181-apagoes-desde-2011-diz-levantamento.html>.
- Jiang, L., Liu, D.-Y., and Yang, B. (2004). Smart home research. In *Machine Learning and Cybernetics, 2004. Proceedings of 2004 International Conference on*, volume 2, pages 659–663, Shanghai. IEEE.
- Khalid, M., Yousaf, M. M., Iftikhar, Y., and Fatima, N. (2016). Establishing the state of the art knowledge domain of cloud computing. In *Advanced Computer and Communication Engineering Technology*, pages 1001–1014. Springer.
- Khan, M., Silva, B. N., and Han, K. (2016). Internet of things based energy aware smart home control system. *IEEE Access*, 4:7556–7566.
- Lee, J. H., Lee, H., Kim, M. J., Wang, X., and Love, P. E. (2014). Context-aware inference in ubiquitous residential environments. *Computers in Industry*, 65(1):148 – 157.
- Mahmood, A., Khan, I., Razzaq, S., Najam, Z., Khan, N., Rehman, M., and Javaid, N. (2014). Home appliances coordination scheme for energy management (hacs4em) using wireless sensor networks in smart grids. In *Procedia Computer Science*, volume 32, pages 469 – 476. Elsevier.

- Maia, P., Baffa, A., Cavalcante, E., Delicato, F. C., Batista, T., and Pires, P. F. (2015). Uma plataforma de middleware para integração de dispositivos e desenvolvimento de aplicações em e-health. pages 361 – 374.
- Mano, L. Y., Façal, B. S., Nakamura, L. H., Gomes, P. H., Libralon, G. L., Meneguete, R. I., Filho, G. P., Giancristofaro, G. T., Pessin, G., Krishnamachari, B., and Ueyama, J. (2016). Exploiting iot technologies for enhancing health smart homes through patient identification and emotion recognition. *Computer Communications*, 89–90:178 – 190. Internet of Things: Research challenges and Solutions.
- Mantoro, T., Ayu, M. A., and Elnour, E. E. (2011). Web-enabled smart home using wireless node infrastructure. In *Proceedings of the 9th International Conference on Advances in Mobile Computing and Multimedia*, MoMM'11, pages 72–79, New York, NY, USA. ACM.
- Mekikis, P.-V., Athanasiou, G., and Fischione, C. (2013). A wireless sensor network test-bed for event detection in smart homes. In *Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS), 2013 IEEE International Conference on*, pages 321–322, Cambridge. IEEE.
- Mineno, H., Kato, Y., Obata, K., Kuriyama, H., Abe, K., Ishikawa, N., and Mizuno, T. (2010). Adaptive home/building energy management system using heterogeneous sensor/actuator networks. In *Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), 2010 7th IEEE*, pages 1–5.
- Ming, A., Luo, H., Ren, Y., Pang, Z., and Tsang, K. F. (2016). A energy efficient multi-dimension model for system control in smart environment systems. In *2016 IEEE 14th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, pages 946–949.
- Neto, J. R., Boukerche, A., Yokoyama, R. S., Guidoni, D. L., Meneguete, R. I., Ueyama, J., and Villas, L. A. (2017). Performance evaluation of unmanned aerial vehicles in automatic power meter readings. *Ad Hoc Networks*, 60:11 – 25.
- Orestis, A., Dimitrios, A., Dimitrios, D., and Ioannis, C. (2013). Smart energy monitoring and management in large multi-office building environments. In *Proceedings of the 17th Panhellenic Conference on Informatics*, pages 219–226, New York, NY, USA. ACM.
- Ramlee, R., Othman, M., Leong, M., Ismail, M., and Ranjit, S. (2013). Smart home system using android application. In *Information and Communication Technology (ICoICT), 2013 International Conference of*, pages 277–280, Bandung. IEEE.
- Siano, P., Graditi, G., Atrigna, M., and Piccolo, A. (2013). Designing and testing decision support and energy management systems for smart homes. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 4(6):651–661.

Modelagem do Perfil de Atendimento aos Idosos nas Unidades de Saúde de Curitiba

Priscila L. L. Santin, Anelise Munaretto, Mauro Fonseca

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial (CPGEI) – Curitiba – PR – Brasil

{priscilasantin, anelise, maurofonseca}@utfpr.edu.br

Abstract. *The increase in the people life expectancy together with decline in birth rates has made the aging population catch the attention of the govern. Essential and special care must be assured to ensure the health of the elderly population. This work proposes an approach based on stochastic evaluation to model care for the elderly in the health units of Curitiba, given the database of attendance to the population in the health posts is incomplete or poorly filled. The work considers the profile of the elderly separately from the other patients, aiming to increase the modeling efficiency. The experimental results reached success rates around 97%, showing the feasibility of the proposal.*

Resumo. *O aumento da expectativa de vida das pessoas aliado à diminuição das taxas de natalidade fez o envelhecimento populacional chamar a atenção do poder público. Cuidados essenciais e especiais devem ser assegurados a saúde da população idosa. Este trabalho propõe uma abordagem baseada em avaliação estocástica para modelar os atendimentos aos idosos nas unidades de saúde de Curitiba, pois a base de dados de atendimento à população nos postos de saúde está incompleta ou mal preenchida. No trabalho é considerado o perfil dos idosos em separado dos demais pacientes, visando aumentar a eficiência da modelagem. Os resultados experimentais atingiram taxas de acerto em torno de 97%, mostrando a viabilidade da proposta.*

1. Introdução

O envelhecimento populacional é um fenômeno caracterizado pelo aumento da expectativa de vida das pessoas e a diminuição das taxas de natalidade. Essa transição demográfica originou-se na Europa logo após a Revolução Industrial com o surgimento da pílula anticoncepcional. O envelhecimento populacional sugere, além de outros fatores, uma reorganização do sistema de Saúde, pois com uma população mais idosa aumentam os custos do sistema de saúde público, devido aos cuidados que a saúde dos idosos demanda.

No Brasil, o envelhecimento populacional passou a ser observado a partir de 1960. Segundo o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) [IBGE 2016], em 1940 a população brasileira era composta por 42% de jovens com idade inferior a 15 anos, e por 2,5% de idosos. No último Censo realizado pelo IBGE, em 2010, a população de jovens reduziu-se a 24% do total e os idosos passaram a 10,8% do povo brasileiro, representando um incremento de 400% se comparado ao índice anterior.

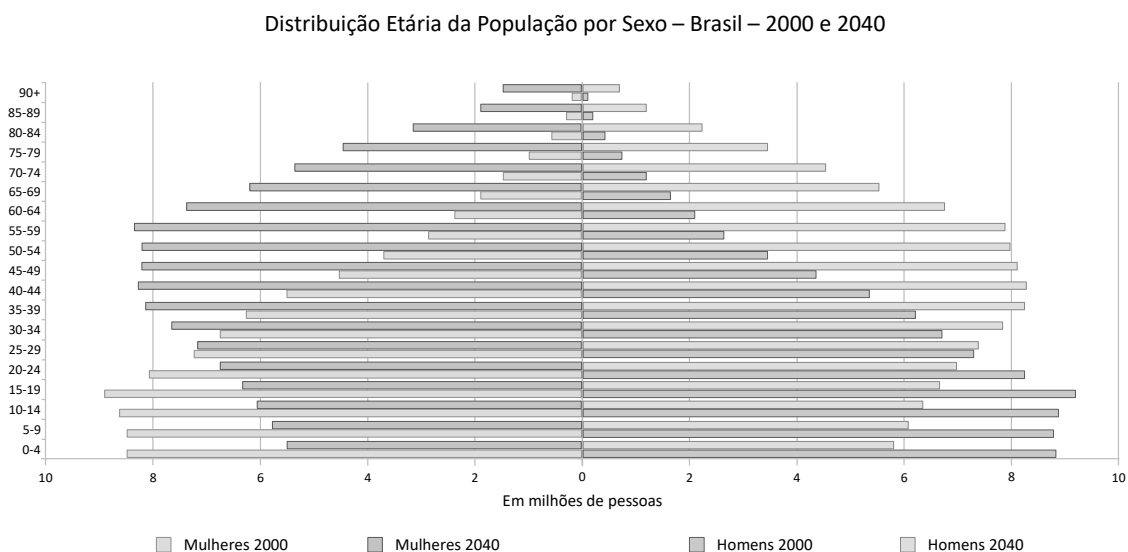


Figura 1 - Projeção do IPEA quanto a distribuição etária até 2040.

A Figura 1 traz uma projeção do IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada) [IPEA 16] com uma comparação da distribuição etária da população para o Brasil para os anos de 2000 e 2040. É possível observar que a distribuição passa de um formato piramidal em 2000, onde a população jovem se apresentava em maior quantidade, para um formato de losango em 2040, quando a maioria da população estará com idade entre 35 e 55 anos.

O cuidado com os idosos é muito importante para prover-lhes qualidade de vida e para diminuir gastos públicos com o tratamento da saúde deste público. Assim, as campanhas de vacinação, prevenção de doenças e exames de rotina são primordiais para atingir tal objetivo. Mensalmente, cerca de 20% dos atendimentos nas unidades de saúde de Curitiba são voltados ao público idoso.

Para estudar o comportamento dos idosos e poder tornar os atendimentos nas unidades de saúde mais eficientes, fazendo com que as companhias de saúde alcancem mais facilmente esta população, é necessário modelar o comportamento dos mesmos.

Quando se começa a lidar com base de dados pública sobre o atendimento a pacientes nas unidades de saúde se percebe que os hábitos dos atendentes ou rotina da unidade fazem com que a base de dados de atendimento seja incompleta ou erroneamente preenchida, o que dificulta a modelagem. Se os campos da base não estão preenchidos corretamente, os vetores de características (atributos) dos pacientes não são montados corretamente, e o modelo fica impreciso. Assim, a primeira dificuldade no tratamento dos dados é identificar os registros de idosos entre os demais pacientes, pois na maioria dos métodos, é necessário o preenchimento de todos os campos da base para se fazer a classificação.

O único método que consegue modelar um número de atributos variável é o modelo markoviano, que considera a hipótese de obter-se a classificação mesmo considerando as condições da base.

Este artigo está organizado de forma que a Seção 2 apresenta uma breve fundamentação. A Seção 3 apresenta os trabalhos relacionados. A Seção 4 descreve o

método proposto para o desenvolvimento do trabalho. A Seção 5 apresenta os testes experimentais e os resultados obtidos. Por fim, a Seção 6 aborda conclusões e trabalhos futuros.

2. Fundamentação

Esta seção apresenta a fundamentação para a modelagem utilizando-se dos modelos estocásticos markovianos.

2.1. Processos Estocásticos

Conforme Reichl [Reichl 2004] é necessário entender o conceito de processo estocástico e variáveis aleatórias para poder aplicar a Teoria das Probabilidades no mundo real. Um processo estocástico é uma sequência de variáveis aleatórias X_t , em que t pertence a um determinado conjunto temporal T . Os processos estocásticos usualmente são utilizados para descrever o funcionamento de um sistema que opera durante um determinado período de tempo e podem ser classificados em relação ao Estado (X_t) e em relação ao tempo T de forma contínua ou discreta.

2.1.1 Cadeias de Markov

Cadeias de Markov referem-se a processos estocásticos de estado e tempo discretos, e que exibem a propriedade markoviana representada na Equação 1:

$$P\{X_{t+1} = j \mid X_t = i\} = P\{X_{t+1} = j \mid X_t = i, X_{t-1} = i_1, X_{t-2} = i_2, \dots, X_0 = i_0\} \quad (1)$$

para $t = 0, 1, 2, \dots$ e toda sequência j, i, i_1, \dots, i_t , ou seja, espaço e tempo discretos.

A Equação 1 pode ser dita como a probabilidade de ocorrência do estado j no tempo $t+1$ está condicionada à ocorrência do estado i no tempo t , do estado i_1 no tempo $t-1$ e assim por diante, até o estado inicial.

As cadeias de Markov podem ser descritas por meio de uma matriz de transição. Considerando uma cadeia de Markov com N estados e p_{ij} a probabilidade de transição do estado i para o estado j , então a matriz $P = [p_{ij}]$ é denominada a matriz de transição desta cadeia de Markov, respeitando-se as seguintes propriedades:

- Ser uma matriz quadrada de dimensão $N \times N$, onde N é o número finito de estados do processo;
- $0 \leq p_{ij} \leq 1$, uma vez que p_{ij} representa uma probabilidade;
- A soma de cada linha da matriz de transição deve ser igual a 1, uma vez que os estados correspondem a eventos mutuamente exclusivos num estágio qualquer.

2.1.2 Modelos Escondidos de Markov

O Modelo Escondido de Markov (HMM – *Hidden Markov Models*) é o resultado da associação de uma cadeia de Markov com número finito de estados e um conjunto de densidades de probabilidade de evolução do sistema. Mesmo conhecendo os parâmetros do modelo não é possível determinar a evolução da cadeia de Markov para esse processo. A cadeia de Markov serve de suporte para o conjunto de observações associadas a um estado [Rabiner e Juang 1993].

O HMM permite a integração entre a modelagem estrutural e a modelagem probabilística. Para a modelagem dos atendimentos nas unidades de saúde de Curitiba

essa característica é importante, pois permite a entrada de sequências de observações O de tamanhos diversos, o que não se observa em outros classificadores. Por isso o termo ‘escondido’ ao modelo de Markov, pois não é possível saber quantas observações O_i correspondem a cada estado no modelo treinado. Este artigo não contempla em seu escopo a formulação teórica do HMM, porém uma introdução ao assunto pode ser encontrada em [Rabiner e Juang 1993].

Os modelos de HMM para a modelagem do perfil de atendimento nas unidades de saúde de Curitiba são baseados em uma abordagem global e uma topologia ergódica [Rabiner 1989], que corresponde a cada nó do modelo ser alcançado a partir de um outro nó qualquer por um número finito de passos.

Além do HMM integrar os diferentes níveis de modelagem, ele fornece algoritmos que determinam valores ideais para os parâmetros do modelo. Um modelo é representado por uma sequência de observações que devem ser estatisticamente independentes uma vez que a sequência oculta (*hidden*) de estado subjacente é conhecida. Deve-se primeiramente estabelecer uma estrutura para o modelo e a partir de então utilizar-se de estimativa de parâmetros para melhorar a probabilidade de geração de dados de treinamento por parte desses modelos. Durante a fase de treinamento o HMM absorve a sequência de observação, sendo capaz de associar cada estado de acordo com alguma função de densidade de probabilidade.

A formação do modelo baseia-se no algoritmo de *Baum-Welch* [Rabiner e Juang 1993]. Neste trabalho, o processo de classificação consiste em determinar a máxima probabilidade *a posteriori* para cada um dos registros de atendimento nas unidades de saúde de Curitiba, sendo que cada registro w gera uma sequência de observações O não conhecida pelo processo de treinamento. É válida a seguinte equação:

$$\Pr(\hat{w} | O) = \max_w \Pr(w | O) \quad (2)$$

Aplicando-se o teorema de Bayes, tem-se a equação fundamental de reconhecimento de padrões:

$$\Pr(w | O) = \frac{\Pr(O | w) \cdot \Pr(w)}{\Pr(O)} \quad (3)$$

Então, sabendo-se que $\Pr(O)$ não depende de w , a classificação torna-se equivalente a maximizar a probabilidade conjunta dada por:

$$\Pr(w, O) = \Pr(O | w) \cdot \Pr(w) \quad (4)$$

Deste modo, tem-se que $\Pr(w)$ é a probabilidade *a priori* do registro w e está relacionada com o problema modelado. Um modelo capaz de levar em consideração as variações dos registros w representados pelas sequências de observações O se faz necessário devido a estimativa de $\Pr(O|w)$. Durante os experimentos, o confronto dos *scores* entre cada modelo e as sequências de observações dos conjuntos de teste foi gerado pelo algoritmo de *Viterbi* [Rabiner e Juang 1993].

3. Trabalhos Relacionados

Na literatura há alguns trabalhos que se utilizam da categorização da população para promover melhor assistência médica à população idosa. Adamczyk [Adamczyk 2016] desenvolveu um sistema de monitoramento que se utiliza de informações da análise da respiração de pacientes idosos. O objetivo principal deste trabalho era desenvolver uma

classificação automatizada de eventos da Síndrome da Apneia Obstrutiva do Sono por meio do uso dos classificadores Rede Neural e SVM (*Support Vector Machine*). Os resultados obtidos não foram considerados satisfatórios, tendo suas taxas de acerto variando de 46,38% para o classificador Rede Neural e 49,77% para o classificador SVM.

Já no estudo de Sebestyen [Sebestyen et al. 2016] foram analisadas as possibilidades de implantar um sistema capaz de monitorar e reconhecer as atividades de uma pessoa idosa em sua casa, sem violar sua privacidade. Os dados foram coletados a partir de vários sensores e dispositivos móveis colocados na residência, com o intuito de inferir a sequência de atividades mais provavelmente realizada pelo idoso. Para o reconhecimento destas sequências foi utilizada o Modelo Escondido de Markov (HMM – *Hidden Markov Model*) em topologia sequencial. O objetivo principal do uso do HMM era informar a probabilidade do idoso estar desenvolvendo uma atividade e passar para outra. Essas probabilidades variaram entre 5% e 60%.

Chung e Liu [Chung e Liu 2008] fazem o uso do HMM para entender o comportamento de idosos em um centro de enfermagem de Taiwan por meio de imagens das câmeras de monitoramento. O objetivo do trabalho era reconhecer o comportamento dos idosos nos contextos espacial, de atividades desenvolvidas pelos idosos e também no contexto temporal. Esses contextos interagem entre si de forma que o contexto espacial era definido a partir da estrutura espacial, sendo o primeiro parâmetro a ser observado. As atividades eram observadas após o contexto espacial e a duração temporal observadas após as atividades. No trabalho, os comportamentos tidos como ‘anormais’ também foram levados em consideração. O HMM reconheceu a sequência de observações do comportamento dos idosos com uma taxa de acerto de 85%. Já o comportamento não trivial do idoso no centro de enfermagem foi reconhecido com uma taxa de 90%.

Os trabalhos de Adamczyk e Sebestyen, apesar de trabalhar com bases integralmente preenchidas, obtiveram taxas de classificação pouco expressivos. Já o trabalho de Chung e Liu obteve resultados mais próximo do esperado do HMM, apesar de trabalhar com bases integralmente preenchidas. Nosso desafio é trabalhar com bases parcialmente preenchidas e obter taxas de acerto acima de 90%, como no trabalho de Chung e Liu.

4. Proposta de Método para Modelagem do Perfil dos Pacientes

A proposta está baseada na definição dos modelos que representam o perfil dos idosos e dos demais pacientes atendidos nas unidades de saúde de Curitiba. A Figura 2 ilustra uma visão geral do método proposto.

Os esforços inicialmente se concentraram na obtenção da base de dados dos atendimentos das unidades de saúde de Curitiba. Obedecendo a Lei da Transparência¹, a Prefeitura Municipal de Curitiba disponibiliza na *Internet*, por meio do Portal de Dados Abertos da Prefeitura Municipal de Curitiba [Curitiba 2017], documentos, informações e dados governamentais de domínio público para a livre utilização pela sociedade,

¹ Lei Nº 12.527, de 18 de novembro de 2011.

garantindo à mesma, acesso aos dados primários, de forma que possam ser reutilizados produzindo novas informações e aplicações digitais para a sociedade. O Portal de Dados Abertos disponibiliza para *download* bases de dados dos diversos órgãos do Governo Municipal de Curitiba.

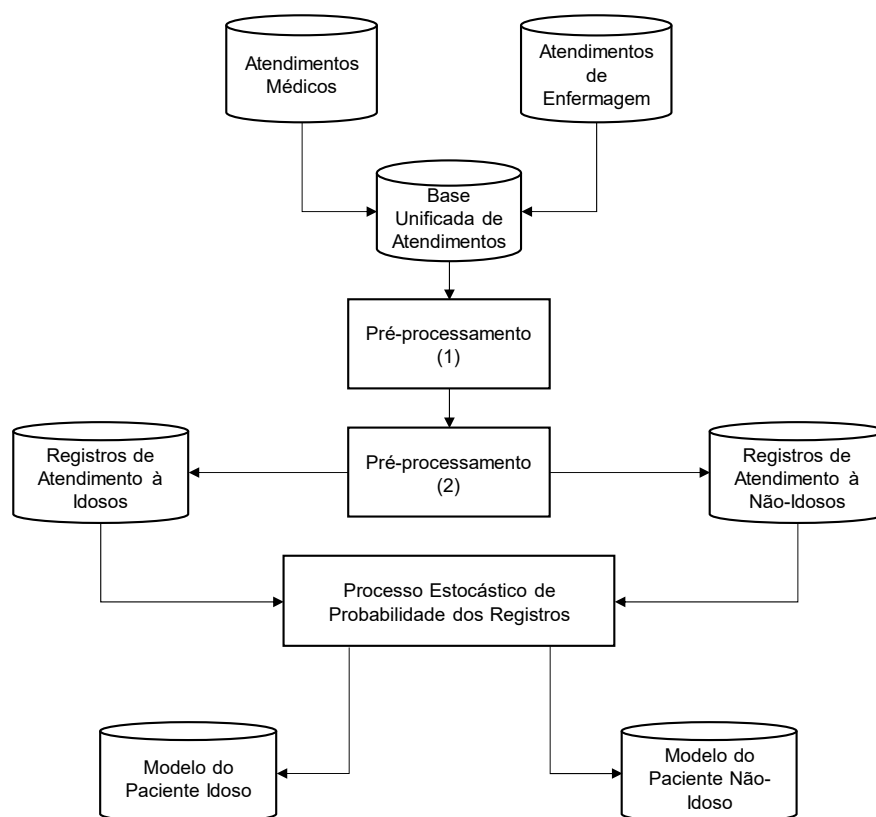


Figura 2 – Visão geral da proposta

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizadas duas bases de dados referentes ao Sistema E-Saúde disponibilizadas no Portal de Dados Abertos da Prefeitura Municipal de Curitiba. Uma base contém o registro dos atendimentos médicos (AtMed) nas unidades de saúde de Curitiba e a outra os atendimentos de enfermagem (AtEnf). As bases são disponibilizadas mensalmente e contemplam o registro dos atendimentos dos três meses anteriores à sua publicação. Neste trabalho foi utilizada a base disponibilizada em Janeiro/2017, contemplando os atendimentos de Outubro à Dezembro/2016. As bases AtMed e AtEnf foram unificadas para o desenvolvimento do trabalho.

A Figura 3 mostra a distribuição desses registros segundo a faixa etária dos pacientes. Observa-se que cerca de 20% dos atendimentos mensais ocorridos nas unidades de saúde de Curitiba é voltado ao público idoso.

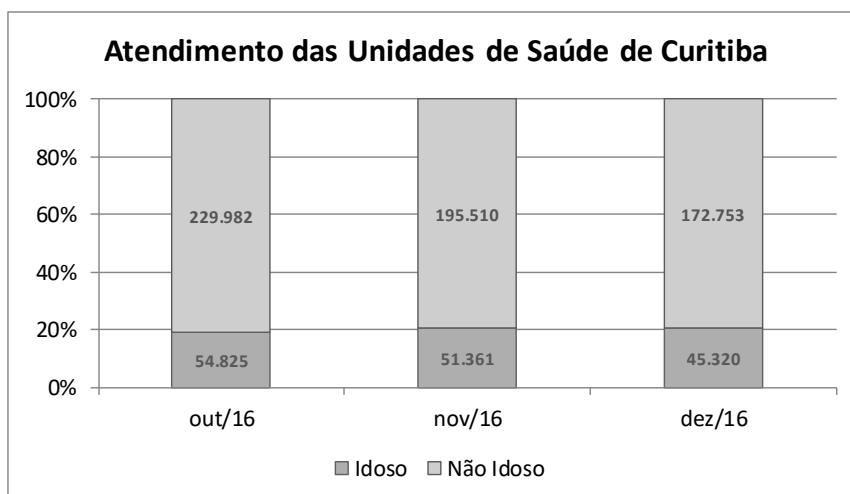


Figura 3 – Distribuição dos atendimentos das unidades de saúde de Curitiba separado por faixa etária

Para a modelagem e teste foram utilizados os 749.751 registros de atendimentos da base. Os campos de preenchimento de cada registro são apresentados na Tabela 1. Analisando as informações contidas na base observa-se que alguns campos são de preenchimento obrigatório, outros não. Também é possível observar a duplicidade de informações. Pode-se citar como exemplo os campos ‘Código do Tipo de Unidade’ e ‘Tipo de Unidade’. Esses campos estão correlacionados, ou seja, há apenas um código para cada tipo de unidade.

Tabela 1 – Campos de preenchimento dos registros de atendimento

CAMPOS DE PREENCHIMENTO DOS REGISTROS	
Data do Atendimento	Desencadeou Internamento
Data de Nascimento	Data do Internamento
Sexo	Estabelecimento Solicitante
Código do Tipo de Unidade	Estabelecimento Destino
Tipo de Unidade	CID do Internamento
Código da Unidade	Tratamento no Domicílio
Descrição da Unidade	Abastecimento
Código do Procedimento	Energia Elétrica
Descrição do Procedimento	Tipo de Habitação
Código do CBO	Destino Lixo
Descrição do CBO	Fezes/Urina
Código do CID	Cômodos
Descrição do CID	Em Caso de Doença
Solicitação de Exames	Grupo Comunitário
Qtde Prescrita Farmácia Curitibaana	Meio de Comunicação
Qtde Dispensada Farmácia Curitibaana	Meio de Transporte
Qtde de Medicamento Não Padronizado	Município
Encaminhamento para Atendimento Especialista	Bairro
Área de Atuação	

Um primeiro pré-processamento (Pré-processamento 1 da Figura 2) foi realizado eliminando as informações duplicadas da base. Além disso, algumas informações complementares foram acrescentadas à base, conforme as seguintes descrições:

- **Período de Atendimento:** com base na data e hora do atendimento, foi observado se o atendimento ocorreu no período da madrugada (0h às 6h), manhã (6h às 12h), tarde (12h às 18h) ou noite (18h às 0h).
- **Distrito Sanitário da unidade de atendimento e do bairro de moradia do paciente:** a cidade de Curitiba tem seu planejamento urbano dividido em dez distritos sanitários, cada um englobando alguns bairros de Curitiba e com diversas unidades de saúde. Foi identificado na base a qual distrito sanitário a unidade de saúde registrada no atendimento pertence, e a qual distrito sanitário o bairro de moradia do paciente pertence. Além disso, aumentou-se mais um campo na base com uma comparação entre esses dois distritos sanitários.
- **Capítulo do Código CID:** a Classificação Estatística Internacional de Doenças e Problemas Relacionados com a Saúde, também conhecida como CID (em inglês: *International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems*) fornece códigos relativos à classificação de doenças e de uma grande variedade de sinais, sintomas, aspectos anormais, queixas, circunstâncias sociais e causas externas para ferimentos ou doenças [CID 2017]. Esses códigos são divididos em 22 capítulos, cada um correspondente à algum tipo doença e/ou de sintoma. Com base na informação registrada no CID do atendimento, atribuiu-se o capítulo CID correspondente.

Finalizando esse primeiro pré-processamento, foram atribuídos valores para cada uma das informações contidas na base. Essa atribuição de valores se fez necessária pois o HMM, classificador utilizado neste trabalho, tem seu funcionamento aplicado a eventos discretos. Desta forma, após esse pré-processamento, os campos selecionados para a construção das bases de treinamento e testes são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Campos selecionados para a criação das bases de treinamento e teste

CAMPOS SELECIONADOS	
Período de Atendimento	Estabelecimento Destino
Sexo	Capítulo CID Internamento
Tipo de Unidade	Abastecimento
Descrição da Unidade	Energia Elétrica
Distrito Sanitário Unidade (DSU)	Tipo de Habitação
Descrição do Procedimento	Destino Lixo
Descrição do CBO	Fezes/Urina
Capítulo CID Atendimento	Meio de Comunicacao
Solicitação de Exames	Meio de Transporte
Encaminhamento para Atendimento Especialista	Município
Área de Atuação	Distrito Sanitário Bairro (DSB)
Desencadeou Internamento	Comparação DSU x DSB
Estabelecimento Solicitante	

Um segundo pré-processamento (Pré-processamento 2 da Figura 2) foi realizado separando os pacientes idosos dos demais pacientes. O objetivo desta identificação é trabalhar com cada tipo de paciente de forma independentemente, com o intuito de obter

os modelos do público idoso e dos não-idosos, sem que haja interferência entre esses modelos.

Os modelos de atendimento do público idoso e não-idoso foram definidos utilizando-se de técnicas que constituem os Modelos Escondidos de Markov (HMM – *Hidden Markov Models*). Com o HMM se pode obter a probabilidade de um determinado registro de atendimento pertencer ao modelo criado, mesmo esses registros não apresentando todas as informações no seu preenchimento.

Outra característica importante dos HMMs é que as observações são geradas independentemente para cada tipo de paciente, idoso e não-idoso, não havendo interdependência entre os elementos a serem modelados. Por exemplo, uma mesma base pode conter quantidades de registros diferentes para os tipos de paciente, com sequências de observações (equivalente ao vetor de atributos) de diferentes tamanhos. Os modelos treinados não necessitam ter a mesma quantidade de registro nos estados, mas devem possuir um número ideal de estados que permita a cada um desses absorver parte da sequência de observações O (Seção 2.1.2).

5. Testes Experimentais e Análise dos Resultados

Para a realização dos experimentos foram utilizados 749.751 registros de atendimentos, separando-os em registros de idosos e de não-idosos. As sequências de observações, provenientes de cada registro, tinham comprimento variando de 14 a 25 observações. Um total de 418 observações distintas poderiam compor essas sequências.

Para a modelagem do perfil de atendimento nas unidades de saúde de Curitiba foram utilizados os algoritmos HMM disponíveis no *toolkit* HTK [HTK 2017], considerando HMM discreto e topologia ergódica [Grundy 1997] [Szoke 2004]. As ferramentas do *toolkit HInit* e *HRest* foram utilizadas para o treinamento dos modelos. Essas ferramentas implementam o algoritmo de *Baum-Welch*. A ferramenta *HVite* do *toolkit* HTK, que implementa o algoritmo de *Viterbi*, foi utilizada para o teste dos modelos obtidos.

O treinamento para a obtenção dos modelos foi executado com *HInit* e *HRest* para as sequências de observação dos pacientes idosos e não-idosos, separadamente. O treinamento foi executado utilizando-se de 70% dos registros disponíveis (106.054 registros com sequências de observações de idosos e 418.772 registros com sequências de observações de não-idosos). A Tabela 3 mostra o número de estados HMM para os modelos treinados considerando cada conjunto de dados. Observa-se que os números de estados resultantes do treinamento são variáveis. Tal comportamento era esperado, comprovando que o procedimento de treinamento ajusta os modelos conforme às sequências de observações.

Tabela 3 - Número de estados resultantes do treinamento com HMM

	<i>IDOSO</i>	<i>NÃO-IDOSO</i>
Número de Estados	7	8

O *HVite* foi usado para testar os modelos obtidos, utilizando os outros 30% dos registros (45.452 registros com sequências de observações de idosos e 179.473 registros

com sequências de observações de não-idosos). Executando os testes de maneira tradicional, *all-against-all*, o *Z-score* apresentado nos resultados do *HVite* foi convertido para se obter as respectivas taxas de acerto [Grundy 1997]. Estes testes permitiram não somente verificar a eficácia do treinamento, mas também o grau de confusão (Tabela 4) entre os perfis do paciente idoso e do não-idoso, quando o modelo de um foi testado com o outro, de modo a constatar se observações distintas guardavam correlações intrínsecas entre os modelos obtidos.

A Tabela 4 apresenta, em forma de uma matriz de confusão, o resumo dos resultados obtidos. Pode-se observar pelo percentual de acerto que a separação dos modelos (idoso e não-idoso) não trouxe benefícios importantes, visto que os resultados são muito similares para ambos os casos.

Observando os resultados pode-se inferir que a base dos pacientes idosos, mais simples por ser composta por menos sequências de observação e menos estados HMM (Tabela 3) é equivalente à base dos pacientes não-idosos, mais complexo (com sequências e maior número de estados). Assim, a base dos pacientes idosos pode representar com vantagem à base dos demais pacientes por ser menos complexa.

Tabela 4 – Taxa de acerto média para os modelos testados

		<i>Modelo</i>	
		<i>IDOSO</i>	<i>NÃO-IDOSO</i>
<i>Teste</i>	<i>IDOSO</i>	97,17%	97,73%
	<i>NÃO-IDOSO</i>	97,42%	97,65%

No segundo experimento, os conjuntos de sequências de observações do paciente idoso e do não-idoso foram considerados combinados. Um total de 524.826 registros de observações foi utilizado para a criação do modelo e 224.925 registros foram utilizados para testar o modelo criado. Também de maneira tradicional, *all-against-all*, o *Z-score* apresentado nos resultados do *HVite* para os registros de teste foi convertido em percentual para se obter as respectivas taxas de acerto desses registros. Como resultado foi obtida uma taxa de acerto média de 97,36%.

Este experimento foi realizado com o objetivo de avaliar se a separação dos modelos (idoso e não-idoso) trazia benefícios à modelagem. Ao se aplicar os dados de entrada de idosos e não-idosos como um único conjunto, as taxas de acerto se mostram similares aos modelos em separado (Tabela 4). Deste modo, pode-se concluir que ao modelar o perfil do atendimento de idosos em separado é equivalente ao modelo combinado de todos os pacientes. A diferença está na complexidade do modelo combinado. Desta forma, é preferível a escolha do modelo de atendimentos à idosos.

Os experimentos mostram que se pode trabalhar apenas com um dos modelos, o do idosos, por exemplo, pois o objetivo deste trabalho é modelagem do perfil de atendimento deste público, e os resultados serão equivalentes a trabalhar com o modelo combinado.

6. Conclusão

Este artigo propôs um método para a modelagem do perfil de atendimento aos idosos nas unidades de saúde de Curitiba. Essa modelagem foi baseada nos registros de atendimentos separando-se as informações do público idoso do não-idoso.

Os experimentos realizados mostraram que o uso dos modelos do paciente idoso e do não-idoso fornecem resultados similares se considerados em separado ou combinados. Além disso, foi mostrado que há equivalência entre os registros de ambos os pacientes com suas sequências de observação. Desta forma, se pode trabalhar somente com os registros dos idosos, que aparecem em menor quantidade na base de dados.

Os resultados bastante expressivos de 97% de taxa de acerto só foram possíveis porque a HMM lida bem com a entrada desuniforme de sequências de observação, características destas bases de dados de saúde incompletamente preenchidas.

Entender como acontece o deslocamento do idoso até as unidades de saúde, usando o transporte público, é o que se pretende desenvolver como trabalhos futuros, de forma a contribuir com propostas que facilitem o atendimento a esse público, fazendo com que eles não precisem se deslocar mais que o necessário. Além disto, se o deslocamento for mais rápido, possivelmente os idosos vão aderir mais facilmente às campanhas de prevenção de doenças e vacinação da administração pública.

7. Referências

- Adamczyk, K.S. “Monitoring patient's condition based on breath detection”. Dissertação de Mestrado em Ciência da Computação - Norwegian University of Science and Technology, June 2016.
- Chung, P.; Liu, C. “A daily behavior enabled hidden Markov model for human behavior understanding”. *Pattern Recognition*, Volume 41, Issue 5, May 2008.
- Grundy, W. N. “Modeling Biological Sequences Using HTK”. Technical Report, 1997. HTK toolkit. Disponível em <<http://htk.eng.cam.ac.uk/>>. Acesso em 24 de março de 2017.
- IBGE - Portal do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acessado pela última vez em 03 de dezembro de 2016.
- IPEA - Portal do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Disponível em <<http://www.ipea.gov.br>>. Acessado pela última vez em 03 de dezembro de 2016.
- Portal de Dados Abertos de Curitiba. Disponível em <<http://www.curitiba.pr.gov.br/dadosabertos/consulta/>>. Acessado pela última vez em 12 de janeiro de 2017.
- Portal da Classificação Estatística Internacional de Doenças e Problemas Relacionados com a Saúde. Disponível em <<http://www.cid10.com.br/>>. Acessado pela última vez em 22 de março de 2017.
- Rabiner, L.R.; Juang, B-H. “Fundamentals of speech recognition”. Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1993.

- Rabiner, L. R. "A Tutorial on Hidden Markov Models and Selected Applications in Speech Recognition". Proceedings of the IEEE, February, 1989. Vol. 77, No. 2, p.257-286.
- Reichl, L. E. "A Modern Course in Statistical Physics". WILEY-VCH, second edition, 2004.
- Sebestyen, G.; Stoica, I.; Hangan, A. "Human Activity Recognition and Monitoring for Elderly People". 12th International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing, September 2016.
- Szoke, I. "Speech Units Automatically Generated by Ergodic Hidden Markov Model". Proceedings of 10th Conference and Competition Student EEICT, 2004. Vol. 1.

Iniciativa *Smart Campus*: um estudo de caso em progresso na Universidade Federal do Pará

Ana Régia de M. Neves¹, Kaê U. Sarmanho¹, Francisco C. Nascimento Jr.¹,
Bianchi S. Meiguins¹

¹Instituto de Ciências Exatas e Naturais
Departamento de Ciência da Computação - Universidade Federal do Pará (UFPA)
Caixa Postal 479 – 66.075-110 – Belém – PA – Brasil

{anaregia,bianchi}@ufpa.br,

{kae.sarmanho,francisco.nascimento}@icen.ufpa.br

Abstract. *An increasing number of researchers is working to construct smart campuses. And the universities are used as an experimentation environment to develop solutions to smart cities. Here, we present a study in progress in the Federal University of Pará toward developing a smart campus, centralized in the public engagement and collaborative design. We primarily focus on mobility aspect in the university. Thus, we designed and implemented a mobile platform for Android devices called Smart UFPA; the first step towards the development of a smart campus and an alternative solution to facilitate day-to-day of the community providing useful informations about places and services within the university.*

Resumo. *Um crescente número de pesquisadores está trabalhando para a construção de campi inteligentes. As universidades são utilizadas como um ambiente de experimentação no desenvolvimento de soluções para cidades inteligentes. Este artigo apresenta um estudo em andamento na Universidade Federal do Pará na direção de construir um campus inteligente, focando na participação e colaboração da comunidade. O projeto inicial está sendo na área de mobilidade. Assim, foi desenvolvida uma plataforma móvel para dispositivos Android, denominada Smart UFPA, como primeiro passo da iniciativa e uma solução alternativa para facilitar o cotidiano da comunidade fornecendo informações úteis sobre os locais e serviços da universidade.*

1. Introdução

Segundo o Fundo de População das Nações Unidas (UNFPA¹), 54% da população mundial está concentrada em áreas urbanas. Em 2030, espera-se que esse número cresça para 60%. No Brasil, com mais de 204 milhões de habitantes, cerca de 80% da população habita em cidades [IBGE 2016].

Com o crescimento populacional e da urbanização, as cidades enfrentam transformações sociais, econômicas e ambientais, como o aumento da desigualdade social, acesso limitado aos serviços públicos básicos, problemas de mobilidade urbana e segurança.

¹www.unfpa.org

Neste cenário, o conceito de Cidades Inteligentes, *Smart Cities*, surge como um novo paradigma a fim de encontrar soluções sustentáveis para esses problemas crescentes. Apesar de não existir uma definição universalmente aceita para Cidade Inteligente [Nam and Pardo 2011, Chourabi et al. 2012], a maioria delas é baseada no uso de Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) para prover serviços essenciais à população e assegurar um futuro mais sustentável [Lee et al. 2014, Anthopoulos and Fitsilis 2015].

Apesar disso, uma Cidade Inteligente vai além do simples uso de tecnologias. É uma visão sistêmica e holística que inclui a sociedade no processo de tomada de decisão e promove a integração de diversos setores, criando um novo modelo de gestão e definição de políticas públicas. Nesse sentido, o conceito de Cidade Inteligente evoluiu para Cidades Inteligentes e Humanas, *Human Smart Cities* (HSC), tendo a população como maior beneficiado pelo paradigma [Oliveira and Campolargo 2015, Concilio and Rizzo 2016].

Em uma Cidade Inteligente e Humana, o objetivo é o bem-estar e desenvolvimento do cidadão para a construção de uma sociedade inclusiva, sustentável e que melhore a qualidade de vida geral. As soluções para os problemas do cotidiano são definidas a partir da real necessidade da população, e não mais projetos isolados percebidos apenas por seus financiadores.

Muitas das soluções desenvolvidas para as HSC podem partir dos *campi* universitários, já que essas instituições se comparam com as cidades em vários aspectos, principalmente, em relação aos problemas de gestão, falta de infraestrutura e consequente insatisfação dos seus usuários. Assim, o modelo de uma Cidade Inteligente pode ser escalado e adaptado para as universidades criando o *Campus Inteligente*, *Smart Campus* [Schoening 2013, Pagliaro et al. 2016, Alghamdi and Shetty 2016, Bandara et al. 2016, Zhuhadar et al. 2017].

Neste contexto, este artigo apresenta a iniciativa *Smart Campus* UFPA. Um estudo em andamento que tem como objetivo principal desenvolver, testar e implantar projetos, simples ou de tecnologias avançadas, com a participação da comunidade acadêmica e de usuários, que converjam para a melhoria da qualidade de vida e sustentabilidade do *campus*; e que também possam ser exportados para as cidades. Contribuindo para um espaço mais humano e sustentável. Além disso, apresenta a plataforma móvel *Smart UFPA* como primeiro passo na direção de um *Campus Inteligente*.

O restante deste artigo é organizado como segue: a Seção 2 apresenta o conceito de *Campus Inteligente* e algumas tecnologias relacionadas. O projeto *Smart Campus* UFPA é descrito na Seção 3. A Seção 4 apresenta a aplicação móvel *Smart UFPA*. As considerações finais, as contribuições esperadas e os trabalhos futuros são apresentados na Seção 5.

2. Referencial Teórico

As pesquisas realizadas em Cidades Inteligentes focam na aplicação de TICs consideradas de nova geração para resolver os problemas urbanos, as quais são [Panham et al. 2016]: (i) Redes de Sensores; (ii) Internet das Coisas; (iii) Computação em Nuvem; e (iv) *Big Data*. A cidade de Santander, Espanha, será utilizada para descrever brevemente essas tecnologias.

A cidade de Santander foi transformada em um grande laboratório de testes para

aplicar em um cenário real o conceito de Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT) [Sanchez et al. 2014]. O objetivo é validar as abordagens do modelo arquitetural de IoT para reduzir as barreiras técnicas e sociais agregadas a este conceito. Além disso, prover aos pesquisadores europeus uma plataforma única, adequada à experimentação em larga escala e avaliação dos conceitos de IoT sob condições reais.

A ideia básica de IoT é que os objetos do cotidiano podem ser embutidos com identificação, sensores, rede de comunicação e capacidade de processamento. Deste modo, eles podem interagir e se conectar entre si, com outros dispositivos e serviços para alcançar um objetivo [Atzori et al. 2010, Whitmore et al. 2015]. Assim, foi instalada uma rede com doze mil sensores para coletar diferentes dados sobre a cidade, desde a iluminação pública até a qualidade do ar.

Os dados coletados na camada de sensoriamento são processados na Universidade da Cantabria e distribuídos em tempo real para quem precisar dessas informações. Por exemplo, a intensidade da iluminação pública é reduzida para poupar energia em locais onde não há pessoas.

Santander contém uma infraestrutura privada de Computação em Nuvem [Agrawal et al. 2011] para o servidor de aplicativo. Todas as informações são disponibilizadas aos cidadãos e turistas por meio do aplicativo móvel, *SmartSantanderRA*, e *site* na web². Além disso, é incentivada a comunicação da comunidade com a administração pública reportando problemas encontrados na cidade.

Aplicações baseadas em *Big Data* [Chen et al. 2014] também são testadas na cidade, como o projeto KNIME que explorou a relação entre temperatura e condições de tráfego, bem como a relação entre o comportamento humano e as condições de tráfego [Jara et al. 2015]. Segundo [Panham et al. 2016], a definição da tecnologia *Big Data* deve ir além dos três “Vs” (volume, veracidade e variedade), focando em como usá-la e mensurando o impacto causado no contexto aplicado. As análises baseadas em *Big Data* servem para auxiliar na tomada de decisão.

Neste sentido, as universidades também podem ser laboratórios para testar tecnologias inovadoras que, depois, poderão ser levadas para as cidades. De acordo com [Sanchez et al. 2014], este tipo de pesquisa experimental integra teoria e realidade, além de melhorar o impacto dos resultados.

Geralmente, as iniciativas em *Campus Inteligente* podem ser classificadas em três segmentos: (i) metodologias e *frameworks* que auxiliam a sua construção [Pagliaro et al. 2016]; (ii) aplicações desenvolvidas em uma área definida [Petcovici and Stroulia 2016, Sun et al. 2016]; e *surveys* de tecnologias específicas [Alghamdi and Shetty 2016].

Em 2012, a Universidade de Ciência e Tecnologia, na China, implementou um serviço de recomendação personalizada para os universitários. A motivação do projeto foi a grande quantidade de dados gerada no *campus* e pelo comportamento humano em diferentes contextos. Algumas das informações coletadas foram: histórico de empréstimos na biblioteca, notas e mídias sociais [Sun et al. 2016].

A Universidade de Peradeniya, Sri Lanka, desenvolveu um projeto piloto baseado

²<http://maps.smartsantander.eu/>

em Redes de Sensores Sem Fio para mapear o uso de vagas de estacionamento na universidade [Bandara et al. 2016]. O sistema consiste de sensores que captam a situação da vaga, uma rede para transferir esse dado, um servidor que processa o dado coletado e uma aplicação móvel que indica a disposição das vagas nos estacionamentos para a comunidade.

[Dong et al. 2016] desenvolveram uma aplicação móvel, denominada *OnCampus*, que infere preferências e necessidades da comunidade acadêmica. Além disso, propuseram o termo *campus emotion* para descrever a avaliação do estado emocional dos universitários. Também, apresentaram um novo algoritmo de recomendação para satisfazer as necessidades dos usuários na universidade.

No Brasil, a Faculdade de Sorocaba, *Smart Campus Facens*, apresenta um escopo bem definido no sentido de *Campus Inteligente*. Os projetos na faculdade são categorizados em nove áreas, que são [Pinto et al. 2017]: (i) educação; (ii) energia; (iii) indústria e negócios; (iv) meio ambiente, (v) mobilidade e segurança; (vi) saúde e qualidade de vida; (vii) TIC; (viii) urbanização; e (ix) núcleo facilitador. Essas áreas serviram como base para a definição do projeto *Smart Campus UFPA* que será descrito na próxima seção.

Entende-se que o processo de construção um *Campus Inteligente* envolve um modelo multidisciplinar e a definição de uma estratégia integrada e estruturada, articulando diversos setores e atores.

Além disso, ressalta-se a importância da circulação da informação entre os projetos e a comunidade, bem como a participação dos cidadãos, visto que o objetivo é o bem-estar social, que, neste caso, envolve os usuários do *campus*. Somado a isso, é agregado à universidade o papel de ambiente de experimentação para desenvolvimento e testes de projetos pilotos passíveis de serem adaptados e escalados em outros lugares.

Assim, esse processo é mais do que o simples uso de TICs dentro das universidades. De acordo com [Schoening 2013], ele deve ser feito para os cidadãos e suas necessidades, permitir o acesso aos dados coletados e criar experiências, não serviços.

3. Smart Campus UFPA

A Universidade Federal do Pará (UFPA) foi criada em 1957 e, atualmente, é constituída por doze *campi*, os quais são³: Abaetetuba, Altamira, Ananindeua, Belém, Bragança, Breves, Cametá, Capanema, Castanhal, Salinópolis, Soure e Tucuruí. Em 2015, o *campus* UFPA Belém apresentava 70 cursos regulares e um total de 21.325 alunos matriculados.

A iniciativa *Smart Campus*⁴ UFPA terá sede no *campus* Belém e, como descrito na Seção 1, o objetivo é criar uma universidade integrada e participativa, que busque soluções para os problemas reais do cotidiano a fim de melhorar a qualidade de vida e sustentabilidade no *campus*. Assim, a universidade servirá como um ambiente de experimentação de alternativas que possam ser adaptadas para as cidades.

A missão do projeto é tornar a UFPA um modelo de referência nas iniciativas de *Campus Inteligente* para outras instituições de ensino.

Para isso, uma metodologia deve ser especificada auxiliando na construção da

³[//www.ufpanumeros.ufpa.br/](http://www.ufpanumeros.ufpa.br/)

⁴<http://smartufpa.ufpa.br/>

visão sistêmica do projeto, bem como na definição das etapas e das áreas a serem incluídas. A iniciativa é baseada no *framework* conceitual definido pela Universidade de Sapienza, Itália, o qual pode ser adaptado e escalado para diferentes contextos, como uma cidade [Pagliaro et al. 2016]. O *framework* é constituído de seis fases, a saber:

- Fase I - Planejamento preliminar: enfatiza o estudo exploratório da universidade como um todo para planejar e gerenciar o que será feito nas próximas fases. É um levantamento prévio que tem como objetivo enumerar os desafios e as potencialidades reais do local, definir as áreas que serão investigadas, bem como os usuários beneficiados. Também, quais os dados que serão coletados, como será feita essa coleta e a viabilidade dos projetos. É uma fase que abrange todo o ciclo do *framework*;
- Fase II - Identificação das áreas: objetiva o refinamento das áreas elencadas na fase anterior e será descrita na Seção 3.1;
- Fase III - Aquisição de dados: é caracterizada pelo levantamento dos dados na área selecionada para a construção de uma base. As ferramentas utilizadas nessa fase são aplicação de questionários, entrevistas, pesquisas e realização de oficinas que promovam a participação da comunidade;
- Fase IV - Análise dos dados: agregação e avaliação dos dados coletados para extração de conhecimento baseado no objetivo definido;
- Fase V - Categorização dos problemas: a partir da análise dos dados, é possível identificar as deficiências de cada área; e
- Fase VI - Definição das estratégias: a última fase consiste na definição das melhores estratégias a serem desenvolvidas para cada área.

Esta metodologia foi utilizada tanto na descrição geral da iniciativa *Smart Campus* UFPA, como também para auxiliar o desenvolvimento de um projeto após a seleção da área que passará por melhorias.

3.1. Identificação das áreas

A definição de quais áreas seriam incluídas no projeto *Smart Campus* UFPA foi baseada nas seis dimensões que identificam uma Cidade Inteligente [Deakin 2013]: (i) economia; (ii) mobilidade; (iii) ambiente; (iv) pessoas; (v) qualidade de vida; e (vi) governança, bem como nas nove áreas definidas pelo *Smart Campus* Facens especificadas na Seção 2.

Estas quinze áreas foram analisadas e combinadas para estabelecer um conjunto de sete eixos fundamentais, a saber:

- Gestão: tem como objetivo o estudo de um novo modelo de gestão, enfatizando a transparência dos processos, a participação da comunidade na cocriação de serviços, a integração dos diversos setores e a disponibilidade de dados abertos em uma plataforma única;
- Núcleo integrador: com característica multidisciplinar tem como função a integração e coordenação dos diversos projetos da iniciativa, a busca de parcerias público-privadas, a divulgação de oportunidades e dos resultados encontrados nas pesquisas, e na promoção do engajamento e inclusão social;
- Conectividade: responsável pela infraestrutura tecnológica no *campus* e pelo estudo de soluções inovadoras na área de TIC;

- Educação: com foco no processo de aprendizagem ao longo da vida acadêmica, tornando-o mais intuitivo, inovador e interessante. Responsável por elaborar projetos que alinhem os conceitos expostos em sala de aula com possíveis aplicações práticas em problemas reais;
- Mobilidade e Acessibilidade: responsável por estudar soluções de transporte limpos e eficientes, bem como estimular o uso de transportes alternativos. Além disso, visa soluções que auxiliem a navegação na universidade e o monitoramento do transporte público, disponibilizando informações úteis e em tempo real para os usuários, como a localização do ônibus e o tempo estimado de chegada no ponto que o usuário se encontra;
- Saúde e Qualidade de vida: integra ações que tenham como objetivo o melhor aproveitamento dos espaços de lazer dentro do *campus*, a promoção de eventos culturais e de cidadania; além de estudos de características que impactam diretamente a qualidade de vida da comunidade. Também, identificar e propor soluções alternativas para aumentar a segurança física e virtual na universidade, bem como do patrimônio público; e
- Meio ambiente: tem como objetivo elaborar projetos que reduzam os impactos ambientais causados pelo desperdício, estimular práticas sustentáveis e promover a eficiência na utilização dos recursos, como a gestão da água e a utilização de energias renováveis.

4. Primeiros passos em Mobilidade

Em consonância com o *framework* apresentado na Seção 3, após a primeira fase, planejamento preliminar, o projeto inicial está sendo desenvolvido na área de Mobilidade. Essa seleção ocorreu depois de analisados os meios disponíveis para localização e navegação dentro do *campus* Belém da UFPA.

No levantamento realizado, poucos mapas físicos foram encontrados. Também, apresentam condições precárias e não são informativos o suficiente (Figura 1).



Figura 1. Mapa de localização no *campus* Belém da UFPA.

Previamente, uma solução móvel para a localização na universidade, UFPA RA⁵, foi proposta pelo Laboratório de Tecnologias Livres (LabLivre) vinculado ao projeto UFPA 2.0. O aplicativo tem como objetivo auxiliar na localização dos institutos, locais de lazer e eventos acadêmicos por meio de um mapa virtual. Além disso, permite o registro de pontos pela comunidade.

⁵<http://forumlandi.org/ufpa/>

Dessas soluções analisadas, algumas limitações podem ser identificadas: (i) falta de auxílio na navegação dentro da universidade; (ii) não é possível identificar o melhor caminho a ser escolhido; (iii) falta de identificação dos serviços existentes; (iv) falta de informação física sobre os pontos de ônibus; (v) qual a rota realizada pelo ônibus universitário; e (vi) quais os horários de circulação desse ônibus. Essa falta de informação pode prejudicar a locomoção de um visitante ou calouro no *campus*.

A terceira fase da metodologia aplicada (Seção 3), aquisição de dados, ressalta a participação da comunidade no levantamento de problemas e propostas de soluções alternativas na área selecionada - a qual foi definida na fase dois, identificação das áreas. Neste sentido, foi aplicado um questionário *online* para coletar as percepções dos usuários sobre mobilidade no *campus* Belém da UFPA.

Este questionário foi baseado nos artefatos de desenvolvimento “Histórias de Usuário”, *User Stories* [Cohn 2004], em que a comunidade relatou os problemas encontrados na universidade e possíveis soluções.

Na fase IV, análise dos dados, observou-se que os mesmos problemas elencados no mapeamento também foram descritos pelos usuários; dois ponto-chaves foram ressaltados: (i) a dificuldade para encontrar a localização de prédios e serviços ofertados; e (ii) a falta de informação, em tempo real, sobre o ônibus universitário.

As fases V e VI, categorização dos problemas e definição das estratégias, foram caracterizadas por debates entre a equipe do projeto a fim de buscar soluções alternativas que melhorem as condições de mobilidade no campus e estejam alinhadas às reais necessidades da comunidade; considerando o uso de dispositivos móveis e contemplando a acessibilidade universal. Os questionamentos foram:

- “Quais os meios alternativos que podem ser desenvolvidos para auxiliar a localização e navegação na universidade de modo eficiente?”
- “É possível permitir a identificação de serviços relevantes dentro do campus, como caixas eletrônicos, paradas de ônibus?”
- “Como informar a comunidade sobre as condições desses serviços, por exemplo, movimento do restaurante universitário (RU), fila do caixa eletrônico e horários dos ônibus, em tempo real?”
- “Qual o melhor modo para apresentar informação útil à comunidade a fim de evitar o desenvolvimento de simples aplicativos desconectados?”
- “Como engajar a comunidade acadêmica a contribuir e utilizar essas informações?”

Além disso, na fase VI, as soluções alternativas foram identificadas em uma matriz de complexidade e impacto para priorizar as propostas de baixa complexidade de execução e alto impacto em termos de atendimento aos objetivos [Gupta and Kar 2015].

Assim, foi desenvolvido o aplicativo móvel *Smart* UFPA que visa integrar todas as informações sobre as áreas elencadas na Seção 3.1. Facilitando e melhorando o cotidiano da comunidade do *campus* Belém da UFPA.

4.1. Sobre a aplicação móvel

A aplicação *Smart UFPA* foi desenvolvida para Android e usa o sistema de mapeamento aberto *OpenStreetMap* (OSM)⁶ a fim de permitir a edição colaborativa dos locais na universidade. A escolha desse sistema se justifica porque o OSM valoriza e permite a edição feita pela comunidade para adicionar informações, bem como para moderar e mantê-las atualizadas.

Além disso, oferece dados abertos para que qualquer pessoa possa utilizá-los sob a licença *Creative Commons Attribution-ShareAlike 2.0 Generic*, a qual permite o livre uso de seu acervo e documentação com a única restrição de citar a instituição responsável.

As primeiras informações sobre os locais no *campus* foram inseridos no OSM pela equipe do projeto baseado no conhecimento e pesquisa local. É importante ressaltar que estas informações inicialmente se restringem ao *campus* 1 (conhecido como básico) da universidade.

Foram selecionadas bibliotecas de código aberto já existentes e que permitissem a integração com o OSM, sendo elas: (i) *Osmdroid* [Osmdroid 2017], que oferece as funcionalidades básicas, como configuração do mapa, camada de informação sobre transporte público, utilização de marcadores e mapas *offline*; e (ii) *Osmbonuspack* [MKergall 2015], que disponibiliza complementos à primeira, com a possibilidade de implementar uma ferramenta de buscas ao mapa, cálculo de rotas e funções de navegação.

O desenvolvimento do aplicativo *Smart UFPA* foi baseado em uma arquitetura composta por quatro módulos, sendo eles (Figura 2):

- Navegação: utiliza as bibliotecas supracitadas, *Osmdroid*, *Osmbonuspack*, as quais apresentam a cartografia baseada nos dados do OSM;
- Busca: as consultas feitas dentro do aplicativo - filtros de serviços e barra de busca - utilizam a chamada *OverpassAPI*⁷ que realiza requisições HTTP aos bancos de dados do OSM e permite a utilização do sistema de etiquetas retornando dados em formato JSON. É importante ressaltar que o uso do sistema de etiquetas possibilita realizar buscas por atributos específicos de um local;
- Localização circular: um pequeno aparelho GPS é instalado no veículo e este é responsável por enviar sua localização para o módulo Servidor local; e
- Servidor local: processa os dados recebidos pelo módulo de Localização circular e envia para o aplicativo mediante a solicitação do usuário.

A lógica de uso do *Smart UFPA* busca ser intuitiva e apresenta o seguinte fluxo (Figura 3): (1) o usuário pode acessar o mapa da universidade como guia de navegação tradicional, apenas via consulta visual; (1.1) utilizar a barra de busca e realizar consultas usando o nome oficial do local, apelidos dados pela comunidade, porções do nome - por exemplo, “física” - e por fim, a sigla atribuída ao local; (1.2) escolher um dos filtros de serviços pré-estabelecidos no menu lateral da aplicação e, então, selecionar uma das opções apresentadas.

De acordo com a ação executada nos passos (1.1) ou (1.2), os resultados podem ser: (2) um ou vários locais disponibilizados no mapa. Em caso de resultados únicos

⁶<http://openstreetmap.org/>

⁷http://wiki.openstreetmap.org/wiki/Overpass_API

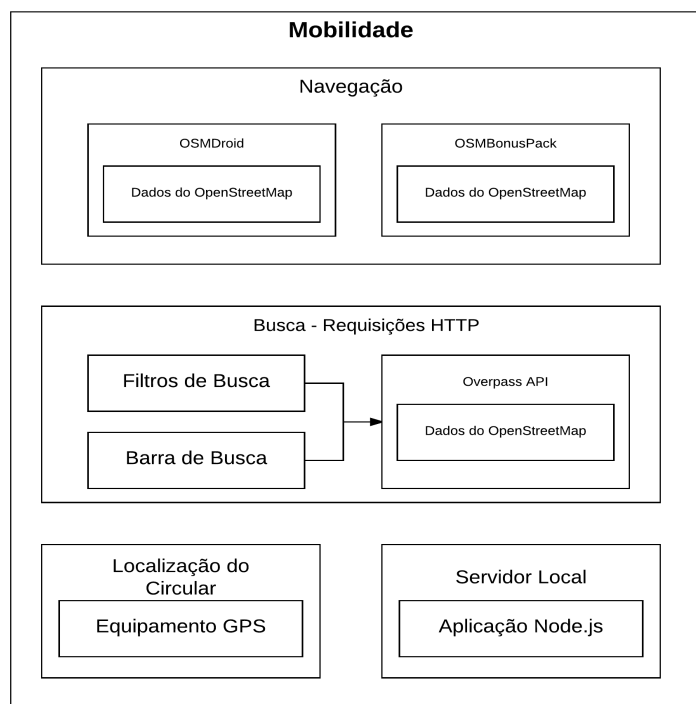


Figura 2. Arquitetura com os módulos do aplicativo.

(3), são apresentados detalhes sobre o local: uma descrição curta, abreviação do nome do local e o apelido (caso existente); além disso, é exibida a opção de calcular a rota. A partir desse momento, o usuário pode consultar, novamente, o item (1) ou solicitar ao aplicativo o cálculo da rota a pé mais curta até o ponto escolhido no mapa (4).

Para múltiplos pontos (3.1), uma lista com os resultados será apresentada ao usuário para que possa escolher o Ponto de Interesse (POI) desejado, os quais também são exibidos no mapa por meio de marcadores. Ao selecionar um ponto, o usuário será redirecionado para o item (3).

O primeiro protótipo *Smart UFPA* contém as seguintes funcionalidades:

- Visualização do mapa da universidade utilizando os dados do OSM;
- Visualização da localização do usuário no mapa;
- Filtro de serviços: estes foram definidos como locais que são relevantes para acesso imediato sem utilização da barra de busca. Para esta versão os seguintes filtros são apresentados: xerox, restaurantes, banheiros, bibliotecas, auditórios e rota do ônibus universitário;
- Ferramenta de busca sobre locais na universidade; e
- Visualização de rotas de pedestre entre dois pontos (localização atual do usuário e destino final).

Algumas telas desse protótipo são apresentadas nas Figuras 4(a), 4(b) e 4(c); e representam respectivamente as telas (i) menu de seleção para direcionamento à aplicação; (ii) de menu lateral com opções pré-estabelecidas; e (iii) dos serviços implementados apresentados no mapa.

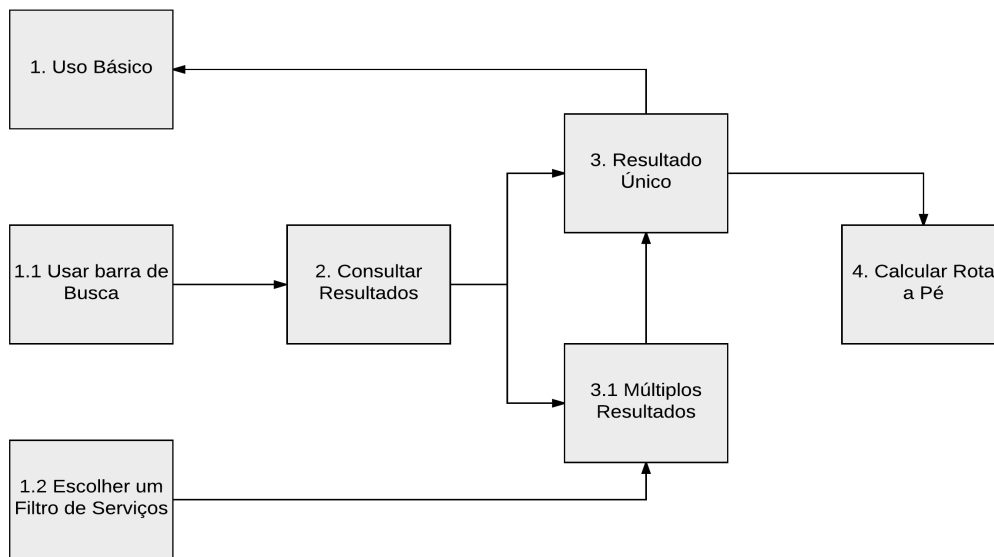


Figura 3. Fluxograma de execução de busca.

Na Figura 4(c), é possível identificar alguns recursos, os quais são: (1) a barra de busca; (2) os marcadores de filtro de serviço; (3) a rota do ônibus universitário e seus pontos de parada; e (4) a posição do usuário e rota entre seu local atual e o ponto escolhido.

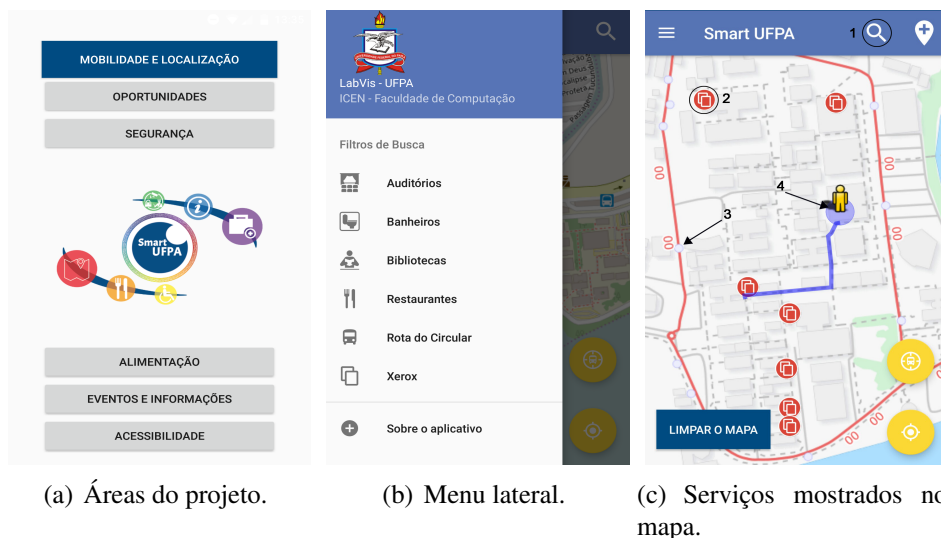


Figura 4. Telas do primeiro protótipo *Smart UFPA*.

A aplicação móvel *Smart UFPA* se encontra em fase de testes. Nesta etapa, o protocolo aplicado é baseado na área de *User Experience* (UX) [Hassenzahl and Tractinsky 2006]; usuários reais avaliam o aplicativo descrevendo a experiência de uso da plataforma, a descrição das emoções relacionadas ao uso, os pontos fortes e fracos observados, a utilidade para o cotidiano, bem como sugestões de melhorias.

5. Considerações Finais e Trabalhos Futuros

A iniciativa *Smart Campus* UFPA idealiza estimular a participação de pesquisadores e comunidade para o desenvolvimento cooperativo de projetos que visem o bem-estar de seus usuários e na melhoria dos serviços prestados pela universidade. É um processo incremental e dinâmico, o qual pode servir como base para testar soluções urbanas inteligentes.

Com a implementação da iniciativa são esperadas as seguintes contribuições:

- O mapeamento mais efetivo e sistêmico da universidade;
- A identificação dos problemas no *campus* por meio da participação da comunidade;
- O desenvolvimento de soluções alternativas baseado nas reais necessidades da comunidade e que possam ser adaptadas para as cidades;
- O crescimento do engajamento social da comunidade acadêmica;
- Uma plataforma integrada que contenha informações úteis e de fácil acesso sobre a universidade;
- Informações disponíveis em tempo real para a comunidade sobre os horários do ônibus universitário e condições de serviços;
- Mapas interativos que facilitem a localização e navegação no *campus* com a descrição dos pontos-chave da instituição;
- Um *dashboard* que apresente claramente os resultados da iniciativa para a comunidade baseado em dados abertos; e
- O desenho de uma nova arquitetura tecnológica integrada com base nos conceitos de *Smart Campus*.

Estudos futuros serão direcionados para instalação de aparelhos de GPS nos ônibus universitários e a evolução da plataforma considerando o modelo *crowdsourcing*; além da agregação de informações sobre acessibilidade. Também, planeja-se utilizar a plataforma de *middleware* FIWARE⁸ para o desenvolvimento de aplicações e infraestrutura voltadas para a criação de Cidades Inteligentes.

Alguns desafios podem ser especificados, como a motivação da comunidade para utilizar e colaborar com a plataforma, a hesitação do compartilhamento de informação pela comunidade acadêmica ou pelos gestores, a infraestrutura necessária para o desenvolvimento dos conceitos de *Smart Campus*, a falta de integração entre os setores da universidade, bem como a segurança dos dados.

É importante ressaltar que um *Campus* Inteligente é dinâmico e deve ser continuamente adaptado. Ademais, as necessidades da comunidade podem mudar, por isso, a evolução das soluções é um processo que nunca termina.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão das bolsas de estudo.

⁸<https://www.fiware.org/>

Referências

- Agrawal, D., Das, S., and El Abbadi, A. (2011). Big data and cloud computing: Current state and future opportunities. In *Proceedings of the 14th International Conference on Extending Database Technology, EDBT/ICDT '11*, pages 530–533, New York, NY, USA. ACM.
- Alghamdi, A. and Shetty, S. (2016). Survey toward a smart campus using the internet of things. In *2016 IEEE 4th International Conference on Future Internet of Things and Cloud (FiCloud)*, pages 235–239.
- Anthopoulos, L. G. and Fitsilis, P. (2015). Understanding smart city business models: A comparison. In *Proceedings of the 24th International Conference on World Wide Web, WWW '15 Companion*, pages 529–534, New York, NY, USA. ACM.
- Atzori, L., Iera, A., and Morabito, G. (2010). The internet of things: A survey. *Comput. Netw.*, 54(15):2787–2805.
- Bandara, H. M. A. P. K., Jayalath, J. D. C., Rodrigo, A. R. S. P., Bandaranayake, A. U., Maraikar, Z., and Ragel, R. G. (2016). Smart campus phase one: Smart parking sensor network. In *2016 Manufacturing Industrial Engineering Symposium (MIES)*, pages 1–6.
- Chen, M., Mao, S., and Liu, Y. (2014). Big data: A survey. *Mob. Netw. Appl.*, 19(2):171–209.
- Chourabi, H., Nam, T., Walker, S., Gil-Garcia, J. R., Mellouli, S., Nahon, K., Pardo, T. A., and Scholl, H. J. (2012). Understanding smart cities: An integrative framework. In *2012 45th Hawaii International Conference on System Sciences*, pages 2289–2297.
- Cohn, M. (2004). *User Stories Applied: For Agile Software Development*. Addison-Wesley Professional, 1 edition.
- Concilio, G. and Rizzo, F., editors (2016). *Human Smart Cities: Rethinking the Interplay between Design and Planning*. Number 1. Springer International Publishing.
- Deakin, M. (2013). *Smart Cities: Governing, Modelling and Analysing the Transition*. Routledge, 1 st edition.
- Dong, X., Kong, X., Zhang, F., Chen, Z., and Kang, J. (2016). Oncampus: a mobile platform towards a smart campus. *SpringerPlus*, 5(1).
- Gupta, M. and Kar, A. (2015). How to make a smart campus - smart campus programme in iit delhi. Technical report, Indian Institute of Technology Delhi.
- Hassenzahl, M. and Tractinsky, N. (2006). User experience – a research agenda. *Behaviour & Information Technology*, 25(2):91–97.
- IBGE (2016). Estimativas da população residente nos municípios e para as unidades da federação brasileiros. Technical Report 97868, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Coordenação de População e Indicadores Sociais.
- Jara, A. J., Genoud, D., and Bocchi, Y. (2015). Big data for smart cities with knime a real experience in the smartsantander testbed. *Software: practice and experience*, 45(8):1145–1160.

- Lee, J. H., Hancock, M. G., and Hu, M.-C. (2014). Towards an effective framework for building smart cities: Lessons from seoul and san francisco. *Technological Forecasting and Social Change*, 89(C).
- MKergall (2015). A third-party library of (very) useful additional objects for osmdroid. <https://github.com/MKergall/osmbonuspack>. Accessed: 2017-05-04.
- Nam, T. and Pardo, T. A. (2011). Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions. In *Proceedings of the 12th Annual International Digital Government Research Conference: Digital Government Innovation in Challenging Times*, dg.o '11, pages 282–291, New York, NY, USA. ACM.
- Oliveira, . and Campolargo, M. (2015). From smart cities to human smart cities. In *2015 48th Hawaii International Conference on System Sciences*, pages 2336–2344.
- Osmdroid (2017). Openstreetmap-tools for android. <http://osmdroid.github.io/osmdroid/>. Accessed: 2017-05-04.
- Pagliaro, F., Mattoni, B., Gugliermenti, F., Bisegna, F., Azzaro, B., Tomei, F., and Catucci, S. (2016). A roadmap toward the development of sapienza smart campus. In *2016 IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC)*, pages 1–6.
- Panham, A., Mendes, L., and Breda, G. (2016). *Construindo Cidades Inteligentes*. Appris, 1 st edition.
- Petcovici, A. and Stroulia, E. (2016). Location-based services on a smart campus: A system and a study. In *2016 IEEE 3rd World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, pages 94–99.
- Pinto, L. G. P., Romano, R. R., and Tomoto, M. A. (2017). *From the University to Smart Cities—How Engineers Can Construct Better Cities in BRIC's Countries: A Real Case from Smart Campus FACENS*, pages 347–354. Springer International Publishing, Cham.
- Sanchez, L., Muñoz, L., Galache, J. A., Sotres, P., Santana, J. R., Gutierrez, V., Ramdhany, R., Gluhak, A., Krco, S., Theodoridis, E., and Pfisterer, D. (2014). Smart-santander: Iot experimentation over a smart city testbed. *Comput. Netw.*, 61:217–238.
- Schoening, J. (2013). Does a smart campus create smart people? from smart cities to smart campuses – supporting the campus citizens. In *Proceedings of the UCSB Specialist Meeting on Advancing the Spatially Enabled Smart Campus*, pages 1–3.
- Sun, G., Zhou, Y., and Li, J. (2016). Build smart campus using human behavioral data. In *2016 Intl IEEE Conferences on Ubiquitous Intelligence Computing, Advanced and Trusted Computing, Scalable Computing and Communications, Cloud and Big Data Computing, Internet of People, and Smart World Congress (UIC/ATC/ScalCom/CBDCCom/IoP/SmartWorld)*, pages 133–136.
- Whitmore, A., Agarwal, A., and Xu, L. (2015). The internet of things—a survey of topics and trends. *Information Systems Frontiers*, 17(2):261–274.
- Zhuhadar, L., Thrasher, E., Marklin, S., and de Pablos, P. O. (2017). The next wave of innovation – review of smart cities intelligent operation systems. *Computers in Human Behavior*, 66:273 – 281.

Making Sense of the City: Exploring the Use of Social Media Data for Urban Planning and Place Branding

Ville Santala^{1,3}, Sandro Miczevski², Saulo A de Brito², Ariane Lao Baldykowski²,
Tatiana Gadda³, Nadia Kozievitch², Thiago H Silva²

¹Geography and Geology, University of Turku. Turku, Finland

²Informatics, Federal University of Technology, Paraná. Curitiba, Brazil

³Civil Engineering, Federal University of Technology, Paraná. Curitiba, Brazil

***Abstract.** Conventional planning of cities is usually based on surveys and other hard evidence collected and organized by the cities' officials and research institutions. The data is usually collected in certain time intervals and it provides a limited overview to the use of urban space. Social media, including online social networks, make available vast amounts of data which nowadays is easily obtained for various types of analyses. Cities have a chance to explore social media data as a new source to study urban dynamics and complement traditional data used for urban planning. Perhaps the new data sources could also be used to overcome limitations in traditional data used in planning. In this paper, we investigated data available in Untappd, a mobile phone application for sharing beer drinking experiences, in the context of planning and place branding in Curitiba. Curitiba recently announced the creation of a Craft Beer Street, to promote local beers. By using this as a real case study we investigate a new approach that could help creating this kind of attractions, considering the aspects related to place branding as well.*

1. Introduction

Studying urban dynamics in different spatial scale in cities has traditionally been challenging. It has usually required large social studies including a vast amount of interviews, surveys, and observations, usually resulting in only a limited presentation of the reality. In this paper, we explore the potential and possibilities to use social media data for measuring the use of urban space in the city of Curitiba. Analyzing how people use the urban space could develop new knowledge about urban dwellers, an urban area under the scope and their relationship. We claim that providing new knowledge on the use of space and characteristics of Curitiba's neighborhoods could help the city in their planning and decision making practices, including place branding and marketing.

Nowadays, the amount of data sources publicly available is diverse and widespread. Cities around the world have been creating initiatives to open public data but the most used open data sources include big social media networks, such as Instagram¹, Foursquare² and Untappd³. These examples of social media are also called location-based social networks (LBSNs), where users act as a sort of sensor using mobile devices to produce vast amounts of data related to various urban and social aspects, that may be a rich source of information supporting decision making of individuals, businesses and cities [Silva et al. 2016]. Although social media data has attracted significant interest from governments all around the world, there are still challenges and

¹<http://www.instagram.com>.

²<http://www.foursquare.com>.

³<http://www.untappd.com>.

unanswered questions related to the successful exploitation of social media data in the decision making process.

Analyses of data produced with social media applications may provide accurate real life information on the usage of space, population and activities in certain place [Cranshaw et al. 2012, Silva et al. 2014a, Noulas et al. 2011, Schwartz et al. 2013, Cerrone et al. 2015]. Identifying areas which generate specific uses and activities in the city can help in planning and guide urban development. In that way, social media can provide new data for cities to use in different management practices. In this paper, we are looking at the city management from several points of view. We elaborate the possibilities social media provides for planning and decision making, but we also pay special attention to place branding and marketing potential. Detailed data about the use of urban space could help the city to manage tourism related activities and provide detailed evidence required for place marketing in the city but also at a neighborhood level.

Sensing the city with a more detailed spatial and temporal scale can open new opportunities to monitor and manage ongoing and future development. Curitiba is a globally well-known example of urban planning, but could the city use new methodologies and approaches to sustain its position among the most well planned cities also in the future? In order to give empirical evidence, for this paper we collected and analyzed data from Untappd, a mobile phone application for sharing beer drinking experiences. Our goal is to analyze suitable locations for so-called Craft Beer Street in Curitiba, a public area that the city is planning to create to promote local craft beers. Studying beer in Curitiba's context is interesting as previous study [Silva and Graeml 2016] shows that in Curitiba and Belo Horizonte people seem to have more interest towards craft beers than in other big cities in Brazil. Further evidence of the craft beer movement, would give the city of Curitiba proof that craft beer is something the city could take into account in place branding and neighborhood marketing.

The paper proceeds next with presenting some related work (Section 2). After that, Section 3 explains traditional approaches to evidence based planning and decision making. In Section 4, the empirical case study is presented and discussed. Section 5 presents characteristics, possibilities, and limitations that the social media data has in planning and city management activities. Finally, Section 6 presents conclusions and possible future work.

2. Related Research

Exploring social media data, Curitiba has been identified as an important city from the craft beer perspective in Brazil [Silva and Graeml 2016]. Most of the global academic research on using social media data in measuring urban activities and dynamics have been conducted in Europe, North America, and Asia, and, in this direction, to the best of our knowledge, no study considers Latin American cities. With this paper, we want to raise the possibilities and issues of using new data sources to study planning, decision making, and other city management activities also in Brazil and Latin America in general.

Previous studies have shown that social media, especially location-based social networks, may be used to deepen understanding of user behavior and the city dynamics [Zhang et al. 2013, Noulas et al. 2011, Preoțiu-Pietro and Cohn 2013, Wu et al. 2014, Cranshaw et al. 2012, Kling and Pozdnoukhov 2012]. The consensus seems to be that studying the city through social media data offers a way to understand both people's activity and interests better and easier than before [Schwartz et al. 2013]. Zhang et al. [Zhang et al. 2013] studied the distribution and type of venues in New York and San Francisco together with users check-in temporal activity patterns to detect clustering phenomena. Based on their study social media

data is very valuable to study which parts of the city are active during different times of the day. Social media data also brings new valuable data especially to study human mobility patterns [Wu et al. 2014, Cheng et al. 2011].

In addition, social media data can be used to discover functional areas inside the cities [Vaca et al. 2015, Wakamiya et al. 2011]. High temporal granularity and a large volume of available data offer an opportunity to study urban areas and zoning in more detailed spatial scale than a traditional representation of the land use [Kling and Pozdnoukhov 2012]. Vaca et al. [Vaca et al. 2015] found out that, in addition to discovering functional differences, Foursquare data can also reveal seasonal changes in the use of urban space.

In place branding literature the social media is most often referred as a tool to conduct marketing activities and campaigns [Sevin 2016]. Social media provides cities a platform to reach much more people with a smaller budget and in a shorter period of time compared to traditional marketing campaigns [Zhou and Wang 2014]. As far as we know, there has not been research on using social media data to collect evidence specifically for place branding management.

Many large and mid-sized cities in the United States have adopted big data practices [Ho 2017] and the study shows that cities that can institutionalize a culture of evidence-based decision making are more likely to embrace big data. More related to our work, there are some studies on possibilities to use social media as a new source of data to urban planning and decision making [Cerrone et al. 2015, Xia et al. 2014, Afzalan and Evans-Cowley 2015, Kavanaugh et al. 2012]. This indicates that there is also a growing interest in using location-based social media data in order to understand the urban dwellers' behavior and usage of urban space. Our study differs from all the previous studies because we present an evidence based on a real life example of how social media data helps in identifying the functional areas and also how it could be used by the city to better manage itself.

3. Evidence Based Planning, Decision Making, and Place Branding

The evidence based planning and decision making is not a new topic, however, the discussion and importance of evidence and data in urban planning have been growing again recently. The discussion and terminology vary greatly among different fields of study, for example, the term *data* is often used instead of evidence or even as a synonym. Data is the most simple form of information (consisting e.g. numbers and measurements). Data becomes evidence as it is put into context and used in the base of decision making. The main reason for the increased discussion is the development of information and communication technology, which allows users to collect, measure, visualize and analyze information faster than earlier. Following the same development, there is much more information available for usage in different practices: open APIs (Application Programming Interface) and open data combined with new open source tools to analyze and visualize data, give different actors the same possibility to study and understand phenomena from their perspective.

In the planning context, the nature of evidence and its role in policy-making have changed considerably during different phases of planning ideologies [Davoudi 2006]. Traditionally cities and regional authorities have paid a lot of attention on quantitative data in monitoring and decision making. This reflects the positivist understanding of knowledge, where the hard evidence is seen as the basis for a variety of policy options. Planners have widely been using data collected with different surveys and this data has been used primarily for the plans emphasizing the physical urban structure. From the traditional evidence-based point of view of policy processes, the information and knowledge are seen as providing enough sup-

port for policymakers to choose the best or most optimal course of action among a range of options. In that case, the information is perceived in political processes as value free and objective basis for making well justified decisions [Dühr and Müller 2012]. However, the seeking of evidence or prioritizing and determining research programs demands some sort of political selection [Faludi and Waterhout 2006]. These decisions define the output of new knowledge and limit the seek of information from certain points of view.

In a social–constructivist understanding, on the other hand, data and information are never seen as objective and unbiased inputs into planning processes [Dühr and Müller 2012]. Valid information and knowledge are always dependent on the circumstances within which decision making takes place. Participatory methods were implemented to planning practices in the 1960s to give more importance for citizens views on urban development. Participatory methods usually include surveys, interviews, target group meetings and participatory hearings. Nowadays the value of social media is getting more attention [Kleinhans et al. 2015].

Conventional city planning requires lots of information on the anthropic as well as the biophysical urban system. If we consider, for example, a public transportation route planning, it requires very complex analysis based on, for instance: demographics, existing and future land use, economics, commuting patterns and stakeholders interest. Usually, gathering all the data a city needs for the decision making, with traditional measurement, is time and labor intensive, and not rarely also expensive. In recent years, cities and academics have started to look at new opportunities provided by developing information technology. New technology does not only provide new devices but also lots of new data sources. Big data, provided for instance by social media, has recently gained a considerable amount of attention, and there are some strong indications that big data is changing the future planning of the cities [Batty 2013].

Social media has more users than ever before. Social media may increase the awareness of people and it could also ease the collection of public opinions and enrich the data used in the decision making process. People’s awareness has increased the demand for more real life evidence to support the decision making process. For example, several countries in Europe and the European Union itself have established research institutions in order to follow the regional and local development, and produce evidence to support decision making [Dühr and Müller 2012]. New evidence can be used to fulfill local and regional knowledge gaps and offer the best validated information to support decision making.

Nowadays, one important part of city’s decision making and management is taking care of the city’s image. Cities pay growing amount of attention to city brand, which is considered as an important asset for urban development. In fact, developing a successful brand requires a deep understanding of the city’s real characteristics. Brand as a concept is traditionally seen as a character differing products and companies from others [Knox and Bickerton 2003], but during the last decades also place branding has increased rapidly. Nations, cities and destinations have started implementing branding and marketing theories in order to manage their image and attract people, tourists, businesses and investments. City brand is seen as an important way to differ from other cities and as a great asset for the development of the city [Ashworth and Kavaratzis 2009]. Brand tells to a target audience the characteristics of the city, how the city differs from others and how the specific city is better than others. Strategically well-executed branding can improve the attractiveness and increase regional competitiveness [Moilanen and Rainisto 2008].

There is a lot of confusion with the terms place branding and place marketing. In this paper we refer to place branding as including all the management activities, planning, and decision

making, the city uses to manage itself and its image. City brand reflects the real identity of the place [Govers 2011], so it must be based on the place's actual characteristics. Place marketing is an important part of place branding. Using marketing tools (such as logos, slogans, adverts, fliers or other materials), place marketing is about the ways a city or certain place is communicating with the selected target audiences. Place marketing requires decisions not just about the target audiences, but also about the characteristics and features that the city wants to tell to the audience.

Place marketing is conducted in order to achieve short-term goals. Branding, on the other hand, is about building the place's reputation and maintaining the image in the long run. That is how place branding is also closely related to planning and need to be taken into consideration in the city decision making. Understanding how brand management and place marketing is organized in different spatial levels (e.g. neighborhoods and cities), has not been under question in academic literature related to place branding [Syssner 2010]. In smaller spatial scale the same territory can be included with very different values, interests, and purposes. This means that a brand and branding of a nation must differ from a brand and branding of a small city or region. According to Syssner [Syssner 2010], it is important that future researchers take territoriality into account when studying place branding and brand management in different spatial scales.

4. Case study: Untappd Data in Curitiba

Curitiba is recognized in Brazil as one of the most important cities regarding the production and consumption of craft beer. Recently, the city of Curitiba announced that it is planning to create a Craft Beer Street in the city. Based on that, could the city have explored social media data to help in this planning? To investigate this question, we used the data from Untappd application for this case study.

4.1. Planning Curitiba

Curitiba, the capital of the state of Paraná, is not only widely known as the best-planned city in Brazil, but also as an international model for sustainable urban development. City won Globe Sustainable City Award 2010 as being sustainable and livable city⁴. The city's achievements are the result of strategic and well-organized urban planning, which includes social, economical and environmental programs. The most well-known feature of the city is the globally known efficient public transportation system, Bus Rapid Transit (BRT).

The main guidelines for the planning of the city were established already several decades ago. In 1940's the city responded to economic development and rapid population growth by ordering a master plan [Macedo 2004]. This first comprehensive plan suggested a radial road system departing from downtown and directing different activities to secondary centers structured by functions [IPPUC 2017]. The early 1960s the municipal administration proposed a revision of the plan to manage the growth resulting from migration and industrialization [Macedo 2004]. During the development of the new master plan, the Institute for Research and Urban Planning of Curitiba (IPPUC - Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba) was created to supervise its implementation [Macedo 2004]. One of the institute's main tasks was to promote studies and research for the integrated planning of the development of the city.

Curitiba's most recent master plans are from 2004 and 2015. Mostly the plans follow the previous master plans but updating the plan regarding the recent urban development and especially the population growth in the metropolitan area. Curitiba's urban planning is based

⁴<http://globeaward.org/winner-city-2010.html>.

on principles combining sustainable economic, social and environmental development. Taking all these factors into account in planning and decision making means that the city has constant need of new evidence on the development of the urban area. The city needs updated data and knowledge related to development in order to be able to plan the future actions. Curitiba is well known for its planning history which makes it very interesting case study related to new data sources and data-driven decision making. As the technological development provides the city more data, could the city manage its planning in a more responsive and flexible way? Studies on new data sources can provide the city new knowledge that helps it to maintain its global position of a well managed city.

4.2. Untappd

Untappd is a social media that allows users to share information about beer drinking experiences. It was launched in 2010 and defines itself as “a new way to socially share a brew you’re currently enjoying, as well as where you’re enjoying it, with your friends!” [Mather 2010]. According to [Chorley et al. 2016] there were more than one million users, just three years after launching, who were responsible for over sixty million check-ins.

There are some recent efforts exploring Untappd data. For instance, [Silva and Graeml 2016] collected and analyzed messages generated by Brazilian users of Untappd. Among other things, it was very easy to notice that users from a few cities in the country have developed a more sophisticated taste for beer, especially craft beer, and are keen to try new types of beer and tell their friends about it. According to the authors, this information could be useful for an entrepreneur who wishes to settle a new small craft beer business and needs to decide on the best place to do it. [Chorley et al. 2016] also studied data from Untappd, envisioning to understand the drinking habits of people through the lenses of social media. According to [Chorley et al. 2016] one of the advantages of using Untappd data is that a formal schema is used for all check-ins (data shared by users), which makes them easy to explore for data analysis. Anyone can collect data from that social media and the data is easy to aggregate and analyze.

4.3. Methodology of Data Collection and Processing

The data used in the analysis performed in this paper was gathered from Twitter messages (called tweets) shared by users of Untappd. To collect the data we created a program in Python⁵ language exploring TwitterAPI⁶ library, which eases the process to gather data from Twitter. More details about the procedure to collect tweets can be found in [Silva et al. 2016]. Tweets include a text message following a structured pattern, created by Untappd, from which all the data we used could easily be extracted. The following messages are examples of collected tweets from English speaking users included in our dataset: “Drinking an Anniversary Ale by @lostabbey @ The Bad Apple”; “Drinking an American IPA by Win2 Brewing”.

As we can see, the type of beer comes after “Drinking a/an” and before “by <name of a company> @ <name of a place>”. This pattern makes data parsing easy using just about any programming language. In our case, we performed this step using Python. Besides the beer type, we also extracted the location (geographical coordinates) where the beer was consumed, the date of the post, user id and the message from the tweet.

We collected data from two different periods: from 06 April 2013 to 30 April 2013 (Dataset2013); and from 03 November 2016 to 05 March 2017 (Dataset2017). After data collec-

⁵<http://www.python.org>.

⁶<http://github.com/geduldig/TwitterAPI>.

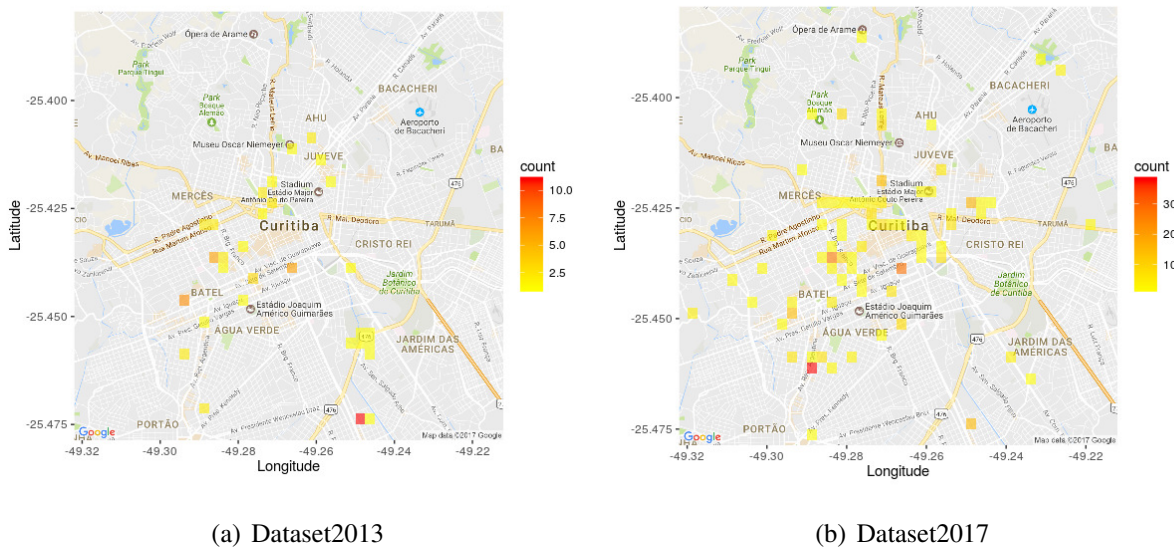


Figure 1. Heatmap of the number of Untappd check-ins in Curitiba.

tion, we performed a filtering process. We considered only one check-in per user, in a specific drink location to avoid bias in the data caused by heavy users. Besides that, we considered only messages containing geographic information about where the beer was being consumed, and also messages containing the type of beer the user was having. After that, we have 400 records for Dataset2017 and 71 records for Dataset2013.

Heatmaps, Figures 1a and 1b, present the number of Untappd check-ins in Curitiba for Dataset2013 and Dataset2017, respectively. Heatmaps provide an intuitive overview of the intensity of a phenomenon within a spatial region. Based on Figure 1 one thing that we noticed is that check-ins are spread around the city. They do not only seem to cluster in, for example, known gastronomic areas of the city. We even suspected that maybe people were drinking their beer at home, as this is a possibility for craft beer, particularly when there are many home brewers that distribute the beer they produce directly to friends and neighbors. Therefore, as done by [Silva and Graeml 2016], we also checked the names of places where those beers were being drunk to confirm that the majority of places are not homes. Another result from heatmaps is that the amount of data is more intense and spread nowadays (Figure 1b) compared to what were observed in 2013 (Figure 1a).

In order to analyze the data, we used R⁷, an open software for statistical computing and graphics available on-line, able to generate plots on maps and other mining tasks.

4.4. Results

To accomplish our proposed goal, we needed to discover popular areas in the city based on the number of check-ins observed in our datasets. In this study, we propose to use the clustering algorithm DBSCAN [Ester et al. 1996]. DBSCAN is a density-based clustering algorithm that groups closely packed points together (points with many nearby neighbors) and marks points that lie alone in low-density regions as outliers (whose nearest neighbors are too far away). It requires two parameters: *eps*, used to identify neighboring points; and the minimum number of points required to form a dense region *minPts*. Due to its characteristics, the particularities of our problem is met. In this study we used an R package available online⁸ containing the

⁷<https://www.r-project.org>.

⁸<http://github.com/mhahsler/dbscan>.

implementation of that algorithm. We consider in this work the great-circle distance, which is the shortest distance between two points on the surface of a sphere, measured along the surface of the sphere. This is calculated with the help of the *Haversine Formula*.

We set the *eps* parameter as 250 meters and considered $minPts = 10$ for all datasets. However, we also present the results considering $minPts = 5$ for the Dataset2013, since this dataset is smaller. Figure 2 show the results of the clustering. Looking first at Figure 2a, which shows the clustering results for Dataset2017, we see that the algorithm found eight clusters (all of them are labeled with one letter). Note that the colors and symbols are used only to differentiate the clusters. Among the clusters, the area where the Beer Street is going to be built is identified (see cluster *H*). As the Beer Street area was discovered by the analyses, this is the first evidence on how social media data could be used in planning.

If the decision makers of Curitiba were using the strategy we are discussing to help make better urban planning decisions, at this moment they would have those eight candidate areas to create the Beer Street. The first observation is that all these clusters are important areas regarding craft beers, and this emerged from the data considered, which implicitly express the preference of the users. As we could see in the heatmap (Figure 1b), there are other areas for craft beer consumption, however, the identified areas emerged as the most popular ones. This means that the city can concentrate efforts on more strategic areas.

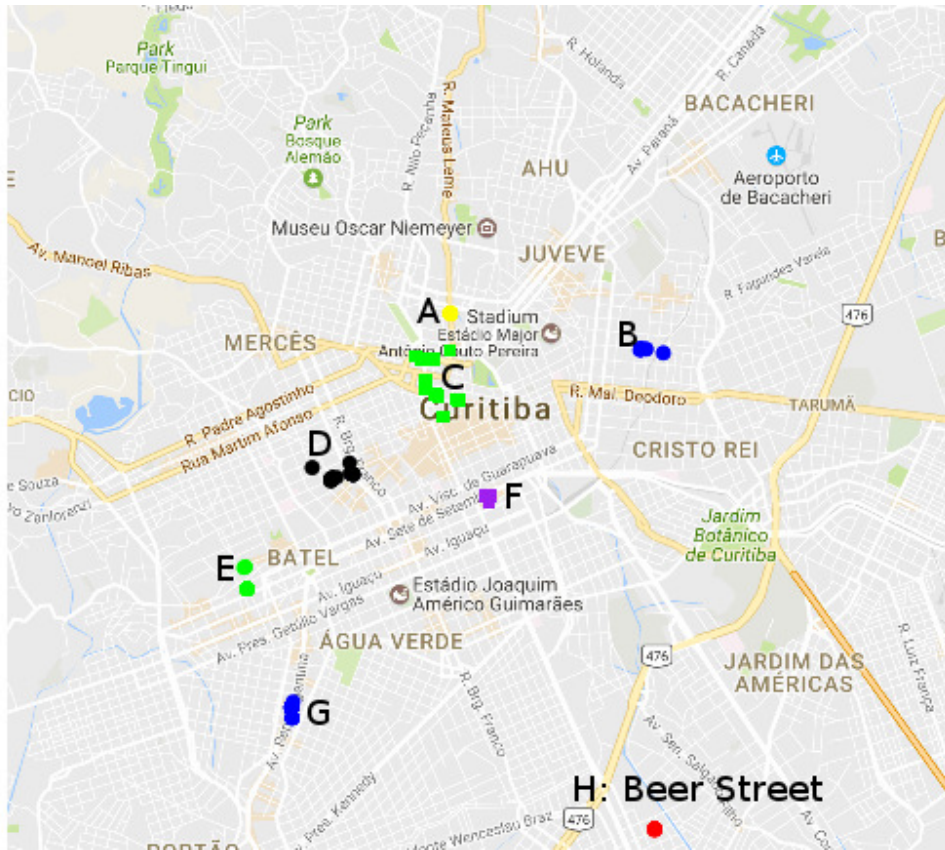
Before we proceed, it is important to mention some of the key features that a street should have to support a beer street creation: (*F1*) it has to support being blocked for several hours at night and also during the day on weekends, without causing considerable impact on traffic; (*F2*) it can not be located nearby calm zones, such as hospitals and residential areas; (*F3*) it can not affect negatively on current businesses installed on it; (*F4*) it has to be big enough to support one or more stages for concerts, space for products exposition, food and beer commercialization, and at least a public of 10k people⁹ or more, offering conditions for people to move freely.

Cluster *A* is represented by *Hop'n Roll*, a well-known pub specialized in craft beer. Cluster *B* is represented mainly by *Masmorra Cervejaria*, *Crazy4Beer* and *Mercado153*, located along Itupava Street, a gastronomic hub. Cluster *C* represents São Francisco area, a neighborhood that is famous for attracting alternative groups, such as Hipsters. Clusters *D* and *E* are located at Batel, one of the wealthiest neighborhoods in Curitiba, which hosts many restaurants, pubs, and nightclubs. Those clusters also offer several specialized pubs in craft beers, such as *The Meatpack House*, *Whatafuck* and *Clube do Malte*. Cluster *F* represents a mall that hosts, among other places that commercialize local craft beer, *Way Beer Pub*, a pub from an important craft beer brewery in Curitiba. Cluster *G* is located in the residential neighborhood Aguá Verde. That cluster is mainly represented by *Império Cervejeiro*, a pub specialized in craft beer.

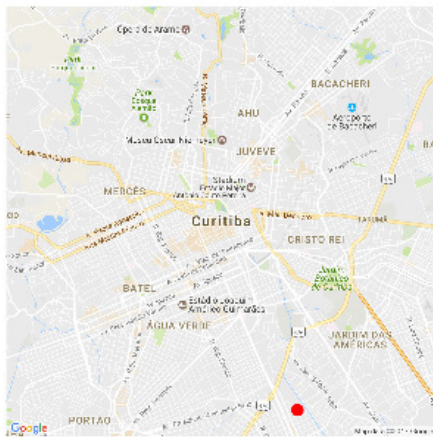
Based on feature *F1*, clusters *A*, *F* and *G* are not good candidates because they are located in busy streets, and closing them would impact considerably the traffic. Besides that, cluster *G* also do not support *F2*. Clusters *B*, *D* and *E* are located in important gastronomic areas in the city. Creating a Beer Street there would meet feature *F3*, for this reason, they are also not good candidates. Nearby Cluster *C* there are some streets with less traffic, however, they do not offer scalability, i.e. feature *F4* are not supported, the location is not suitable to accommodate larger crowds without impacting negatively to the already busy downtown area.

The best candidate according to the set of key features demanded for a Beer Street is Cluster *H*, which is mainly represented by *Bodebrown Pub*, a famous pub for craft beer in Cu-

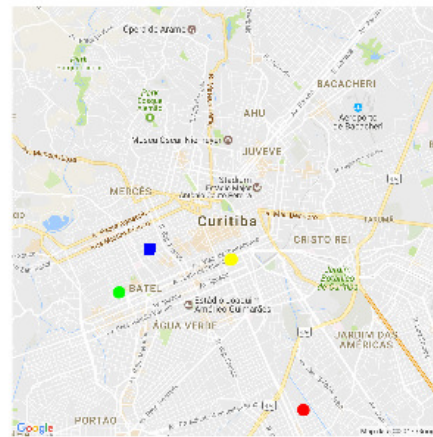
⁹Based on an average number of public of some recent craft beer festivals promoted in Curitiba: <https://goo.gl/a3OxwK>.



(a) 2016-2017 - minPts =10, eps=250 meters



(b) 2013 - minPts = 10, eps=250 meters



(c) 2013 - minPts = 5, eps=250 meters

Figure 2. Clusters found in Curitiba using Untappd data.

Curitiba. This pub appears as being the 4th most popular on our dataset. Cluster *H* is located quite far away from the city center, as well as from the other clusters we found. This area accommodates a different kind of companies, such as conveyor sheds and storage places. It is also not as developed and densely used as the center, which makes it a strategic area for development. In addition, the streets are larger and the traffic is less intense, which means that the closing of streets during specific time periods could possibly cause a comparatively less negative impact.

The same clustering process was performed for Dataset2013 (see Figure 2b). Note that,

for $eps = 250$ meters and $minPts = 10$ the only cluster found was the area where the Beer Street will be developed. As we can see, the Beer Street area has been popular for a long time, at least from 2013 and still popular today. This can be other criteria to be considered by the decision maker. Finding fewer clusters on this configuration from Dataset2013 was expected, because of the restriction of $minPts = 10$ (remember that Dataset2013 is smaller). In practice, the $minPts$ might have to be adapted for different datasets or goals, the decision maker should have this control. For this reason we also considered $minPts = 5$ for Dataset2013 (see Figure 2c). This way also other clusters, D , E and F of Figure 2a, were also found.

5. Social Media in the Context of Urban Planning and Place Branding

The rise of popularity of social media provides new data and ways to look at the city. Social media has changed the way we communicate with each other and applications are also collecting vast amounts of information on daily life activities. Academics in different parts of the world have been interested in using social media data, specially LBSNs, to measure activities and the use of urban spaces [Cheng et al. 2011, Noulas et al. 2011, Cranshaw et al. 2012, Kling and Pozdnoukhov 2012, Schwartz et al. 2013, Silva et al. 2013, Silva et al. 2014b]. The planning has traditionally been based on large datasets limited to administrative division, but new data sources give cities an opportunity to implement spatial analysis at different scales. Social media can provide more sophisticated, wider-scale and finer resolution and sometimes even real-time understanding of urban space [Kitchin 2014]. For these reasons, social media can be considered as a resource for evidence based decision making and strategic management, especially at the local level.

Recently, different social medias and mobile applications have been studied as tools for increasing public participation and engagement in urban planning [Ertiö 2015, Afzalan and Evans-Cowley 2015, Jones et al. 2015, Kleinhans et al. 2015]. The growing interest in the potential of social media and mobile technologies reflects the broad political agenda to foster citizen engagement and participation in urban planning [Kleinhans et al. 2015]. The potential of the data is often associated with its size and easiness to collect and analyze, but social media can also provide new opportunities for cities to hear the voice of user groups that do not formally participate in the planning and decision making process. Perceptions about the city or particular areas are also vital for the monitoring of the successfulness of place branding strategies [Sevin 2016].

Social media data has been used for identifying specific activities and spaces within cities. As some studies have pointed out, e.g [Wakamiya et al. 2011] and [Frias-Martinez and Frias-Martinez 2014], it is possible to use social media data, such as Twitter or Foursquare, to study and define characteristics of certain urban areas. Data shared by users in those systems can be used for analyzing and clustering selected groups and activities in the city, which eventually makes it possible to characterize urban areas and differentiate them [Silva et al. 2014a]. This kind of analysis can provide city planners detailed information on the usage of space, without being forced to analyze phenomena in the city through administrative divisions (e.g. neighborhood division).

Receiving spatially detailed information can help the city to evaluate the characteristics chosen to be used in place branding and marketing. Detailed data from social media has potential to help the city to better organize strategies for place branding in different territorial scales, which can make a substantial difference on the effectiveness of branding [Syssner 2010]. As previous study [Silva and Graeml 2016] shows, Curitiba as a city seems to be the most fruitful city for craft beer among other big cities in Brazil. Beer culture is, therefore, a feature the city

could use in city marketing. The analysis of Untappd data helps the city to determine which geographic units in the city (e.g. neighborhoods) would be suitable to develop around the beer craft activities and nightlife and rank them according to their potential. In Curitiba's southern part, where one of the most famous brewery *Bodebrown* is located, is where the Beer Street is being created. This street attracts a lot of people to spend free time and drink craft beer especially during Friday nights and Saturday mornings.

The results of the case study illustrate the place brand management potential of social media data. Using the beer drinkers' data, detailed information about the use of urban space can help the city to manage place marketing in the city but also at the neighborhood level. In other words, the data does not only help to confirm that Curitiba is an important city related to craft beer in Brazil [Silva and Graeml 2016], but also which neighborhoods deserve more attention. In the neighborhood where the Beer Street is going to be developed, brand management could help to change its current reality and bring better conditions and opportunities for its businesses and dwellers.

This case study reveals that social media data can help the city to react and adapt to changes in the use of urban space. Quick reaction time can reduce negative effects of certain phenomena and provides the city better opportunity to manage activities and the usage of urban space. The city of Curitiba has not yet taken advantage of emerging initiatives which have been transforming different areas inside the city. Therefore place marketing activities led by businesses, for instance, are yet to be officially recognized by the municipality. For example, one of the city's most upscale areas, Batel, has recently seen new development around the so-called *Batel Soho area* which has established its own website¹⁰ for marketing the area and local business.

Our case study indicates that social media data can provide information on different users and activity groups inside the city and this information could be used in analyzing and planning for example tourism related services. Despite the fact that social media data can provide detailed information to support city branding, in Curitiba's case the city could further benefit from the use of new techniques. Furthermore, by using new techniques the city could highlight its position among the best planned cities in the world.

As conventional citizen participation methods, that were incorporated into traditional planning since the 1960s, include a range of tools and tactics that require citizens to be physically present at a particular time and place [Kleinhans et al. 2015], social media data is not dependent on the place and time. Social media also gives special groups and groups that usually are silent an opportunity to express their opinions and concerns. Social media data is available anytime and data usually includes different time series. In contrast to traditional data used in urban planning, this provides cities opportunities to be more reactive in the decision making process [Townsend 2000]. Social media data could be suitable for quick analysis supporting targeted decision making especially in small spatial scales such as the neighborhood or street scale.

One important argument for using these new data sources is their availability and ability to use them without large investments. However, even if the social media and new data sources can provide comparative advantage related to the cost associated with certain planning tasks, some studies, e.g. [Kleinhans et al. 2015], have found that using social media and new technologies will not reduce the workload of professionals. New ways of communicating and collecting data from urban dwellers can even increase the workload related to analyzing and understanding complex urban issues. The analyst should be capable of understanding how the

¹⁰<http://batelsoho.com.br/>.

data is collected and what are the potential limitations of the data so that it can serve to better reflect the truth. Besides, a throwback of social media data for the public officials is the fact that even if social media data seems to be extensive and large in size, the data may be discontinuous and uncertain due to its dependence on the user [Silva et al. 2016, Wu et al. 2014].

Twitter data seems very appealing for research because of its qualities (e.g. large quantities of data, easiness to collect and analyze) [Blank 2016]. Still, some issues remain regarding the usability. One huge issue for the social media data usage is how the data is covering the population or the possible bias associated. According to [Blank 2016] there are huge demographic differences between users and not users of Twitter. In Britain and the United States of America the users are more likely to be younger, better educated, students or employed, single, and wealthier than the people not using Twitter. Our collection, explored in the case study, was based on data shared by users of Untappd on Twitter. Data may reflect the behavior of a fraction of consumers and therefore, there could be biases related to the fact that the users of such application are not necessarily representative of the population of craft beer drinkers. They are likely to be young, owners of smartphones, and urban dwellers.

Besides that, some social media applications may offer interfaces only in English, as is the case of Untappd. This would surely scare away the majority of the less educated citizens of countries that do not have English as their mother tongue. Consequently, urban areas with older and poorer populations will provide fewer data and be underrepresented in any analysis. Besides, users may not share data concerning all of their destinations, for example, because the information will be made public on Twitter. Thus, datasets obtained from social media might offer a partial view of consumers habits, which needs to be handled carefully.

6. Conclusion and Future Work

Technological development has not only changed the way how new data is collected but also changed the ways how urban dwellers communicate. This development enables also new sources to collect data for urban planning and decision making. Social media is offering new opportunities to interact, communicate and execute more data-informed decisions. Social media provide cities new ways to communicate with dwellers but also collect perceptions about the city. Some cities have also shown interest in using new data sources in policy making and planning: new data sources could be used to validate official data and provide detailed insight complying knowledge gaps that the city has regarding decision making.

Review of international research shows that benefits of the social media data, compared to conventional official datasets, include large quantity, ability to conduct pro-active problem solving, new time horizon to urban dynamics and ability to measure urban phenomena in very detailed spatial scale. The potential of social media data in measuring the use of urban space and people's mobility can, for example, provide new information about functional areas. The city could use this data to organize activities and make well-informed planning at different scales. The results of the case study show that social media data can provide information on how certain parts of the city are developing. We were able to identify the recently developed Curitiba's Beer Street from the data collected from Untappd. The city could use this data as an evidence to support their decision making. Finding characteristics describing certain areas inside the city can help the city organize urban activities and provide tools for neighborhood and city marketing. This is why social media data can be beneficial for the place branding and the building of the city's image.

Even if the case study and related research on social media data in planning context raises lots of opportunities for the future planning of cities, there are also remaining questions that fu-

ture research needs to address. The limitations of the data and social media user groups set certain concerns for large scale implementation. Use of new data sources requires vast knowledge of the data and phenomena under investigation which can set limits for large implementation by the public sector. More studies are required in order to fully understand the potential and usability of social media data in evidence based decision making.

Curitiba is well known globally for its planning, but how the city is taking new responsive techniques into consideration requires more research. Further research on the use of data in the planning of Curitiba, would help us to determine better the opportunities the different social media data offer to the city. Other future work should extend the analysis into multiple data sources and combine the new data sources to city's own official datasets. Considering Curitiba, it would be interesting to study social media data together with the city's own data such as citizen complaints, business licenses, and accidents. Combining social media data to conventional official datasets could help to fulfill the knowledge gaps the city have related to certain urban issues. In the best case, social media data could help the city to better sense and organize itself.

Acknowledgment

This work was partially financed with resources from FAPEMIG, Fundação Araucária, Capes and CNPq. This work is partially funded by EU-BR EUBra-BigSea project (MCTI/RNP 3rd Coordinated Call).

References

- Afzalan, N. and Evans-Cowley, J. (2015). Planning and social media: Facebook for planning at the neighbourhood scale. *Planning Practice & Research*, 30(3):270–285.
- Ashworth, G. and Kavartzis, M. (2009). Beyond the logo: Brand management for cities. *Journal of Brand Management*, 16(8):520–531.
- Batty, M. (2013). Big data, smart cities and city planning. *Dialogues in Human Geography*, 3(3):274–279.
- Blank, G. (2016). The digital divide among twitter users and its implications for social research. *Social Science Computer Review*, pages 1–19.
- Cerrone, D., Pau, H., and Lehtovuori, P. (2015). *A Sense of Place. Exploring Analytic Potential of Location Based Social Network Data in Turku City Centre*. Turku Urban Research Programme's Research Report 1/2015.
- Cheng, Z., Caverlee, J., Lee, K., and Sui, D. Z. (2011). Exploring millions of footprints in location sharing services. *ICWSM*, 2011:81–88.
- Chorley, M., Rossi, L., Tyson, G., and Williams, M. (2016). Pub crawling at scale: tapping untapped to explore social drinking. In *Proc. of ICWSM'16*.
- Cranshaw, J., Schwartz, R., Hong, J. I., and Sadeh, N. (2012). The livelihoods project: Utilizing social media to understand the dynamics of a city. *Proceedings of the Sixth International AAAI Conference on Weblogs and Social Media*, pages 58–65.
- Davoudi, S. (2006). Evidence-based planning. rhetoric and reality. *disP – The Planning Review*, 42(165):14–24.
- Dühr, S. and Müller, A. (2012). The role of spatial data and spatial information in strategic spatial planning. *Regional Studies*, 46(4):423–428.
- Ertiö, T.-P. (2015). Participatory apps for urban planning—space for improvement. *Planning Practice & Research*, 30(3):303–321.
- Ester, M., Kriegel, H.-P., Sander, J., Xu, X., et al. (1996). A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. In *Proc. of KDD'96*, volume 96, pages 226–231.
- Faludi, A. and Waterhout, B. (2006). Introducing evidence-based planning. *disP-The Planning Review*, 42(165):4–13.
- Frias-Martinez, V. and Frias-Martinez, E. (2014). Spectral clustering for sensing urban land use using twitter activity. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 35:237–245.
- Govers, R. (2011). From place marketing to place branding and back. *Place Branding and Public Diplomacy*, 7(4):227–231.
- Ho, A. (2017). Big data and evidence-driven decision-making: Analyzing the practices of large and mid-sized us cities. In *Proceedings of the 50th Hawaii International Conference on System Sciences*, pages 2794–2803.

- IPPUC (2017). *História do IPPUC*. Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba. Website: www.ippuc.org.br, Curitiba, Brazil.
- Jones, P., Layard, A., Speed, C., and Lorne, C. (2015). Maplocal: use of smartphones for crowdsourced planning. *Planning Practice & Research*, 30(3):322–336.
- Kavanaugh, A. L., Fox, E. A., Sheetz, S. D., Yang, S., Li, L. T., Shoemaker, D. J., Natsev, A., and Xie, L. (2012). Social media use by government: From the routine to the critical. *Government Infor. Quar.*, 29(4):480–491.
- Kitchin, R. (2014). The real-time city? big data and smart urbanism. *GeoJournal*, 79(1):1–14.
- Kleinhans, R., Van Ham, M., and Evans-Cowley, J. (2015). Using social media and mobile technologies to foster engagement and self-organization in participatory urban planning and neighbourhood governance. *Planning Practice & Research*, 30(3):237–247.
- Kling, F. and Pozdnoukhov, A. (2012). When a city tells a story: urban topic analysis. In *Proc. of the 20th international conference on advances in geographic information systems*, pages 482–485. ACM.
- Knox, S. and Bickerton, D. (2003). The six conventions of corporate branding. *European journal of marketing*, 37(7/8):998–1016.
- Macedo, J. (2004). Curitiba. *Cities*, 21(6):537–549.
- Mather, T. (2010). Untappd connects beer drinkers everywhere. untappd - drink socially. In *Untappd Blog*. <http://blog.untappd.com>.
- Moilanen, T. and Rainisto, S. (2008). *How to brand nations, cities and destinations: a planning book for place branding*. Springer.
- Noulas, A., Scellato, S., Mascolo, C., and Pontil, M. (2011). An empirical study of geographic user activity patterns in foursquare. In *Proc. of ICWSM'11*, volume 11, pages 570–573.
- Preoțiu-Pietro, D. and Cohn, T. (2013). Mining user behaviours: a study of check-in patterns in location based social networks. In *Proceedings of the 5th Annual ACM Web Science Conference*, pages 306–315. ACM.
- Schwartz, R., Naaman, M., and Matni, Z. (2013). Making sense of cities using social media: Requirements for hyper-local data aggregation tools. In *Proc. of ICWSM'13*, pages 15–22.
- Sevin, E. (2016). Branding cities in the age of social media: a comparative assessment of local government performance. In *Proc. of Social Media and Local Governments*, pages 301–320. Springer.
- Silva, T., Celes, C., Neto, J., Mota, V., Cunha, F., Ferreira, A., Ribeiro, A., Vaz de Melo, P., Almeida, J., and Loureiro, A. (2016). Users in the urban sensing process: Challenges and research opportunities. In *Pervasive Computing: Next Generation Platforms for Intelligent Data Collection*, pages 45–95. Academic Press.
- Silva, T., Vaz De Melo, P., Almeida, J., and Loureiro, A. (2014a). Large-scale study of city dynamics and urban social behavior using participatory sensing. *Wireless Communications, IEEE*, 21(1):42–51.
- Silva, T. H. and Graeml, A. R. (2016). Exploring collected intelligence from untappd to support the location decision for new smes. In *Proc. of Brazilian Symposium on Multimedia and the Web*.
- Silva, T. H., Vaz de Melo, P. O. S., Almeida, J. M., Salles, J., and Loureiro, A. A. F. (2013). A comparison of foursquare and instagram to the study of city dynamics and urban social behavior. In *Proc. of ACM SIGKDD Int. Workshop on Urban Computing (UrbComp'13)*, Chicago, USA.
- Silva, T. H., Vaz de Melo, P. O. S., Almeida, J. M., Salles, J., and Loureiro, A. A. F. (2014b). Revealing the city that we cannot see. *ACM Trans. Internet Technol.*, 14(4):26:1–26:23.
- Syssner, J. (2010). Place branding from a multi-level perspective. *Place Branding and Public Diplomacy*, 6(1):36–48.
- Townsend, A. M. (2000). Life in the real-time city: Mobile telephones and urban metabolism. *Journal of urban technology*, 7(2):85–104.
- Vaca, C., Quercia, D., Bonchi, F., and Fraternali, P. (2015). Taxonomy-based discovery and annotation of functional areas in the city. In *Proc. of ICWSM'15*.
- Wakamiya, S., Lee, R., and Sumiya, K. (2011). Crowd-based urban characterization: extracting crowd behavioral patterns in urban areas from twitter. In *Proc. of 3rd ACM SIGSPATIAL international workshop on location-based social networks*, pages 77–84. ACM.
- Wu, L., Zhi, Y., Sui, Z., and Liu, Y. (2014). Intra-urban human mobility and activity transition: Evidence from social media check-in data. *PloS one*, 9(5):e97010.
- Xia, C., Schwartz, R., Xie, K., Krebs, A., Langdon, A., Ting, J., and Naaman, M. (2014). Citybeat: real-time social media visualization of hyper-local city data. In *Proc. of WWW'14*, pages 167–170. ACM.
- Zhang, K., Jin, Q., Pelechris, K., and Lappas, T. (2013). On the importance of temporal dynamics in modeling urban activity. In *Proc. of ACM SIGKDD International Workshop on Urban Computing*, page 7. ACM.
- Zhou, L. and Wang, T. (2014). Social media: A new vehicle for city marketing in china. *Cities*, 37:27–32.

Incentivando o Compartilhamento de Conteúdo via Comunicação Dispositivo-a-Dispositivo *

Vinícius F. S. Mota^{1,2}, Daniel F. Macedo², José Marcos Silva Nogueira²

¹ Departamento de Computação e Sistemas – Universidade Federal de Ouro Preto
João Monlevade – Brasil

² Departamento de Ciência da Computação – Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte – Brasil

{v fsmota, damacedo, jmarcos}@dcc.ufmg.br

Abstract. *Entertainment content consumption through mobile devices has been exceeding the consumption through traditional networks. One approach to mitigate data traffic in mobile networks is pushing the content to the edges of the network. In this work, end-user devices are potential network content caching, sharing content via device-to-device (D2D) communication, which we call the D2D caching. However, users may deny have their devices used as caching. Aiming to tackle this issue, we propose a framework to choose which are the devices that use D2D communication, taking into account incentive mechanisms for users accept their devices act as a cache. In addition, we analyze the conditions where D2D caching are feasible in relation to the hit rate and the time required to find a content. From 2 up to 25% of content was obtained through D2D caching with incentives.*

Resumo. *O consumo de conteúdo de entretenimento via dispositivos móveis está superando o consumo via redes tradicionais. Uma abordagem para atenuar o tráfego de dados nas redes móveis é levar o conteúdo da nuvem para as bordas da rede. Neste trabalho, os dispositivos dos usuários são considerados potenciais armazenadores de conteúdo (caching) da rede, permitindo que outros dispositivos obtenham conteúdo via comunicação dispositivo-a-dispositivo (D2D), o que chamamos de D2D caching. No entanto, os usuários podem negar ter seus dispositivos utilizados como cache. Visando sanar este problema, propomos um arcabouço que leva em consideração mecanismos de incentivo para que os usuários aceitem que seus dispositivos atuem como cache. Além disto, analisamos as condições nas quais o D2D caching é viável em relação a taxa de acerto (hit rate) e o tempo necessário para encontrar um conteúdo. Mostramos que entre 2 e 25% de conteúdo pode ser obtido via D2D caching com incentivos.*

1. Introdução

O tráfego de dados na infraestrutura dos provedores de Internet móvel vem crescendo exponencialmente devido à popularização de dispositivos móveis e ao aumento do

*Os autores gostariam de agradecer à CAPES, CNPq e FAPEMIG pelo apoio financeiro parcial a este trabalho.

tráfego de conteúdos multimídia. O bom desempenho das redes sem fio em ambientes conurbados é essencial para que se possa oferecer os novos serviços, trazidos pela computação urbana, com a qualidade exigida pelos usuários da rede. Entre as diversas abordagens para atenuar o tráfego de dados está a comunicação Dispositivo-a-Dispositivo (D2D).

O padrão 3GPP *Device-to-Device Proximity Service* (D2D ProSe) define como comunicação D2D a comunicação *ad hoc* entre dispositivos próximos, como *smartphones*, *tablets* e *notebooks*, com mínima ou nenhuma intervenção da estação-base [Asadi et al. 2014]. O D2D ProSe utiliza o *Long Term Evolution-Advanced* (LTE-A), popularmente conhecido como 4G, como tecnologia de rádio para comunicação *ad hoc* (comunicação *inband*). No entanto, o termo comunicação D2D também é usado para se referir à comunicação *ad hoc* que explora o espectro não licenciado, como WiFi ou Bluetooth (comunicação *outband*).

Em ambos os casos, dois aspectos importantes caracterizam a comunicação D2D: *i*) a utilização de dispositivos com alta capacidade de processamento, embora com energia e largura de banda limitada; e *ii*) padrão de mobilidade humana.

A comunicação D2D pode aumentar a eficiência dos *Internet Service Providers* (ISPs) ao fazer com que os dispositivos móveis atuem como retransmissores de sinais da rede, retransmissores de conteúdo ou possibilitar o compartilhamento de conteúdo [Mota et al. 2016]. Este trabalho considera dispositivos móveis como *caching* para compartilhamento de conteúdo da rede, o que chamamos de D2D *caching*. O principal objetivo é possibilitar o encontro de conteúdo em dispositivos próximos, evitando a utilização da rede celular. Deste modo, beneficiando os usuários pela redução do consumo da franquia de dados, assim como a diminuição do tráfego de dados das operadoras. No entanto, usuários podem querer não compartilhar conteúdo para evitar consumo de recursos, como bateria ou plano de dados.

Devido a mobilidade, faz-se necessário compreender se a duração de encontros entre dispositivos é suficiente para transmitir um conteúdo. Além disso, escolher os dispositivos que atuarão como *caching* e motivar os proprietários destes dispositivos a permitirem que sejam acessados por terceiros são dois grandes desafios para o sucesso de D2D *caching*.

Neste trabalho, discutimos os custos e benefícios da utilização de D2D *caching* para os participantes da rede D2D e propomos um arcabouço que une algoritmo de escolha de dispositivos com mecanismos de incentivo para distribuição de conteúdo móvel. Os mecanismos de incentivo, baseados em reputação, utilizam mínima ou nenhuma intervenção na infraestrutura dos ISPs. Além disso, comparamos a duração de encontros de dispositivos móveis com o tamanho médio de arquivos de vídeo utilizando bases de dados reais.

O restante deste trabalho está organizado como se segue: Na Seção 2, discutimos as contribuições deste trabalho em relação aos trabalhos relacionados. A Seção 3 apresenta o modelo de rede e cooperação. O arcabouço proposto é descrito na Seção 4. Uma análise do arcabouço, assim como sua eficiência, é apresentada na Seção 5. Por fim, concluímos e apresentamos os trabalhos futuros na Seção 6.

2. Trabalhos Relacionados

Com o aumento da capacidade de armazenamento e comunicação dos dispositivos, surge a possibilidade de se obter conteúdo a partir de dispositivos na vizinhança, em vez de requisitá-lo na nuvem. [Valerio et al. 2015] mostram que requisições de vídeos seguem uma distribuição de probabilidade Zipf, e que, os conteúdos armazenados nos *caches* dos dispositivos podem responder a até 21% das requisições de outros usuários. Já [Spyropoulos and Sermpezis 2016] criam uma matriz de conteúdos relacionados e caso o conteúdo requisitado não seja encontrado, o dispositivo pode responder com um conteúdo relacionado, o que chamaram de *soft-cache-hit*, assumindo que um conteúdo relacionado satisfaça o usuário. Estes trabalhos assumem que todos os dispositivos na rede estão dispostos a aceitarem requisições de conteúdos de outros dispositivos.

Uma outra abordagem é a rede escolher um dispositivo para receber um conteúdo e, após recebê-lo, disseminá-lo para outros dispositivos. Neste caso, a questão é como escolher os dispositivos que receberão o conteúdo. Existem diversos algoritmos para a escolha dos dispositivos com maior potencial para disseminar conteúdo [Asadi et al. 2014]. Em [Barbera et al. 2011], é proposto VIP, um protocolo no qual os nós retransmissores são escolhidos baseando-se em métricas sociais, como centralidade, *betweenness* e *Page Rank*. Um arcabouço com várias estratégias para decidir *quando e para quem* um conteúdo deve ser enviado, batizado de *Push-and-Track*, foi proposto em [Whitbeck et al. 2012]. Já o protocolo *MobiCache*, escolhe os nós retransmissores de acordo com uma área de interesse [Zhang et al. 2015]. O VIP sugere que os ISPs são responsáveis por oferecerem brindes aos colaboradores da rede. Já o *MobiCache* propõe uma pequena recompensa por byte transmitido. Como desvantagem, mecanismos baseados em recompensa exigem um coordenador central para validar o pagamento. Por fim, o *OppLite* é um arcabouço que utiliza um conjunto de propriedades das redes e dos dispositivos para decidir quais dispositivos devem ser retransmissores [Mota et al. 2014].

Neste trabalho, apresentamos uma extensão do *OppLite*, que considera mecanismos de incentivo baseado em reputação como entrada para o algoritmo de decisão, aumentando assim o engajamento do usuário para colaborar com a rede D2D. Utilizamos mecanismos de incentivo baseado em reputação para evitar que nós sejam egoístas e apenas obtenham conteúdos de terceiros.

3. D2D Caching: Modelo de rede e cooperação

Definimos *D2D Caching* como a busca por conteúdo primeiramente em dispositivos móveis na vizinhança. A busca tem um tempo limite que representa um atraso máximo tolerado. Após este atraso, o dispositivo somente requisita o conteúdo para a infraestrutura caso não encontre o conteúdo na vizinhança. A seguir apresentamos um modelo de representação da rede e discutimos as motivações dos usuários para cooperarem.

3.1. Modelo de Rede

A comunicação entre dispositivos de usuários pode ser modelada como um *grafo temporal*, definido como $\mathcal{G}_\delta(V, A)$, sendo V o conjunto de vértices representando os

nós da rede e A , o conjunto de arestas representando os enlaces entre os nós da rede [Whitbeck et al. 2012]. Devido à mobilidade, as arestas (enlaces) são adicionadas ou removidas ao grafo \mathcal{G}_δ do instante t até o tempo $t + \delta$. Existe uma jornada \mathcal{J} de u para v se forem adicionadas arestas ao grafo \mathcal{G}_δ , de tal forma que, o tempo total t' para u alcançar v satisfaça à equação $t' \leq t + \delta$. A proposta de algoritmos em grafos temporais utiliza modelos estatísticos e de inferência para prever se ocorrerá uma jornada, considerado um intervalo entre t e $t + \delta$.

Somado aos desafios intrínsecos da análise em grafos temporais, é considerado também o desejo do usuário em ter seu dispositivo utilizado como vértice do grafo temporal. Portanto, o conceito de grafo temporal acima é estendido para considerar o comportamento dos usuários.

Cada vértice $v \in V$ possui uma variável contínua $\mathcal{R} = [0, 1]$ representando o comportamento de v ao participar da rede. Um nó altruísta, $\mathcal{R} = 1$, cede seus recursos e participa em qualquer situação. Enquanto um nó egoísta, $\mathcal{R} = 0$, só colabora em função de alguma vantagem recebida.

Logo, Definindo *D2D Caching* formalmente:

Seja um vértice $v \in V$ que deseja obter um conteúdo $k \in K$ no instante t e tolera um atraso máximo δ , onde K representa o conjunto de conteúdos disponíveis. Cada vértice pode armazenar um conjunto de conteúdos $v_j = \{k \subseteq K\}$ e $N_v[t, \delta]$ representa o conjunto de vértices vizinhos de v do instante t a $t + \delta$. Um *cache hit* ocorre se $k \subset v'_j \mid v'_j \in N_v[t, \delta]$, ou seja, o conteúdo k pode ser encontrado em algum vizinho até um limite de tempo. Até o momento, esta definição é similar à definição de *caching* cooperativo utilizada em [Sermpezis and Spyropoulos 2016].

Neste trabalho, é considerada uma métrica de cooperação \mathcal{R} para cada vértice, que define o quanto um vértice deseja colaborar e quer compartilhar conteúdo com outros vértices. Portanto, o *cache hit* ocorre somente se $k \subset (v'_j \in N_v[t, \delta]) \mid \mathcal{R}'_{v'_j} > 0$.

3.2. Modelo de cooperação

Do ponto de vista dos provedores, *D2D caching* pode reduzir o tráfego de dados de suas infraestruturas, poupando consumo de dados tanto dos clientes quanto dos ISPs. Adicionalmente, os ISPs podem estender sua cobertura, permitindo que dispositivos sem acesso direto à Internet possam obter dados através de dispositivos com melhor acesso à Internet, evitando a obrigatoriedade de um provedor local.

Em relação aos usuários, consideramos quatro grupos: i) *Padrão*, usuários que utilizam somente a infraestrutura; ii) *D2D Caching*, usuários dispostos a fornecer conteúdo no *cache* de seus dispositivos para outros; iii) *D2D Oportunista*, os usuários que buscam conteúdo no *cache* dos dispositivos *D2D Caching*; e iv) *Cooperativo*, usuários que atuam tanto como *D2D Caching* quanto como *D2D Oportunista*. A Tabela 1 apresenta os benefícios e custos para cada grupo.

Enquanto ser *D2D Oportunista* tem como benefício a economia do consumo da franquia de dados, atuar como *D2D Caching* ou *D2D cooperativo* aumenta o consumo da franquia de dados além do consumo extra para transmitir para outros dispositivos. Portanto, devem ser ofertados incentivos para que usuários migrem do

grupo *padrão* para o grupo *D2D cooperativo*.

Grupo	Benefícios	Custos
Padrão	Informação em tempo real	Consumo de energia 3G/4G Consumo da franquia
D2D Caching	Informação em tempo real	Consumo de energia 3G/4G Consumo de energia WiFi Consumo da franquia
D2D Oportunista	Consumo da franquia Economia de energia Largura de banda ¹	Consumo de energia WiFi Aumentar atraso
D2D Cooperativo	Consumo da franquia Informação em tempo real Largura de banda	Consumo de energia WiFi Aumentar atraso Consumo de energia 3G/4G

Tabela 1. Custo-Benefício para cada grupo de participante da rede.

4. Arcabouço para D2D Caching com Incentivos

O arcabouço proposto é composto por dois módulos: Algoritmo de definição do modo de comunicação e mecanismos de incentivo. O modo de comunicação define para os usuários quando é mais vantajoso utilizar a infraestrutura ou a comunicação D2D. Os mecanismos de incentivo oferecem técnicas para engajar a participação dos usuários. Desta forma, os mecanismos atuam como um parâmetro de entrada para o algoritmo de seleção do modo de comunicação. A Seção 4.1 demonstra como o algoritmo quantifica as propriedades da rede, enquanto a Seção 4.2 apresenta como agrupar os mecanismos de incentivo com algoritmo de modo de comunicação. Para avaliar e comparar nossa proposta, implementamos uma solução de *benchmark*, baseado no conjunto dominante, que é apresentada na Seção 4.3.

4.1. Definindo o modo de Comunicação

A utilização de algoritmos baseados em decisão multicritérios para escolher o modo de comunicação de um dispositivo é adequada por considerar o desejo do usuário em permitir que seu dispositivo seja selecionado. Além disto, algoritmos de decisão baseados somente em conhecimento local evitam modificações na infraestrutura do ISP. Por este motivo, utilizamos como base o arcabouço *OppLite* [Mota et al. 2014].

O *OppLite* é um algoritmo de tomada de decisão multicritérios, baseado na teoria da utilidade, que permite aos dispositivos alternarem entre a infraestrutura e D2D com base em decisões locais [Mota et al. 2014]. Para isto, ele reúne um conjunto de propriedades, que podem ser obtidas localmente pelo dispositivo, e as mapeiam em uma função de utilidade para definir o modo de comunicação.

Cada propriedade é definida por uma tripla $x_i = \{c_i, \alpha_i, w_i\} \in X$, sendo c_i e α_i o centro e o *steepness* para quantificar o valor de utilidade de um critério, Equação 1, e w_i é o peso do critério x_i , tal que $\{w_i \in [0, 1], \sum_{\forall w_i \in X} w_i = 1\}$, na

¹Nos casos em que os dispositivos estão conectados em redes de baixa largura de banda.

função de agregação das propriedades (Equação 2). As propriedades consideradas são o número de vizinhos, a carga de bateria remanescente e a qualidade do sinal de celular.

$$u(x) = \frac{1}{1 + e^{\alpha(c_i - x)}} \quad (1)$$

$$U(x_1 \dots x_n) = \prod_{i=1}^n [u(x_i)]^{w_i} \quad (2)$$

Originalmente, o Opplite muda um dispositivo para o modo retransmissor quando a avaliação global é maior que um limite definido pelo usuário (Γ_{relay}), ou para o modo oportunista se essa avaliação for maior que o limiar oportunista (Γ_{opp}).

Nesta extensão, o mecanismo de incentivo define o limiar que a Equação 2 deve ultrapassar para um dispositivo oferecer seus recursos. Portanto, a saída do mecanismo, que chamaremos de $\Gamma_{cache} \in [0, 1]$, funciona como o limite mínimo do benefício oferecido por um mecanismo de incentivo para um dispositivo se tornar *D2D caching*. Ou seja, um dispositivo atua como *D2D caching* se $U(X) > \Gamma_{cache}$, sendo $U(\cdot)$ o resultado da Equação 2, X o conjunto de critérios com valores e pesos das propriedades específicos para um dispositivo se tornar *caching*.

Adicionalmente, neste trabalho um dispositivo pode atuar como *caching* e ser oportunista simultaneamente, o que chamamos de *D2D Cooperativo*. O processo de tomada de decisão define um grupo, entre os descritos na Tabela 1, de cada dispositivo: modo *Padrão*, os dispositivos solicitam e recebem conteúdos diretamente do ISP; modo de *D2D-Caching*, é similar ao modo *Padrão*, porém, atende a solicitações de conteúdo de outros dispositivos; No modo *D2D Oportunista*, os dispositivos se comunicam preferencialmente com dispositivos no modo *D2D Caching*; e no modo *D2D Cooperativo*, os dispositivos atuam como *D2D Caching* mas requisitam conteúdos de outros dispositivos (*D2D Oportunista*).

A Tabela 1 mostra que ser *D2D oportunista* traz benefícios diretos. Cada vez que um nó obtém um conteúdo k , a partir do *cache* de outro nó, ele economiza o tamanho do conteúdo ($|k|$ MB) de seu limite de dados mensal e energia. Portanto, uma recompensa para um nó oportunista é a quantidade de tráfego de dados que foi economizada, ou seja, $\sum_{i=1}^K |k_i|$.

É importante ressaltar que um nó oportunista precisa encontrar um *D2D Caching* com o conteúdo procurado, o que ocasiona em um eventual atraso t . Portanto, há um *tradeoff* entre a economia da transferência de dados e expectativa de atraso. Como a recompensa para um nó *D2D Oportunista* é implícito, o usuário define o limiar Γ_{opp} e seu dispositivo muda para este grupo se

$$U(X') \geq \Gamma_{opp} \in [0, 1]$$

4.2. D2D caching com mecanismos de incentivo baseado em reputação

Assumindo que os usuários são racionais, se um comportamento não cooperativo provocar degradação na qualidade da rede para um usuário, então este usuário tende a colaborar para melhorar a própria qualidade de serviço. Portanto, *reciprocidade*

é a principal força motriz para alcançar a disposição do usuário para habilitar seu dispositivo como um D2D *Caching*.

Utilizamos como base do algoritmo de reputação, o algoritmo MINEIRO (*Message-based INcentive mechanism for End-user Improvement of Routing Opportunities*) [Mota et al. 2015]. O MINEIRO foi proposto para encorajar nós a encaminharem mensagens em redes oportunísticas, construindo um ranking de reputação baseado na fonte de mensagens recebidas pelos nós intermediários. O algoritmo original funciona da maneira a seguir:

Todos os nós recebem uma reputação inicial. Se um nó u encaminha uma mensagem para v e a origem da mensagem é diferente de u , o nó v aumenta a reputação R de u em $R_u = R_u + \delta_{incremento}$. Caso a origem da mensagem seja o próprio u , o nó v decrementa a reputação de u em $R_u = R_u - \delta_{delta}$. Um nó encaminha todas as mensagens provenientes de nós com reputação maior do que zero. Desta forma, o MINEIRO fornece um modelo de benefício baseado na reciprocidade. Como consequência, se os nós desejam aumentar suas chances de ter suas mensagens entregues ao destino, então eles devem encaminhar mensagens de outros nós.

Para adaptá-lo ao arcabouço de D2D *Caching* proposto, o algoritmo aumenta a reputação de dispositivos que promovem *Caching Cooperativo*, auxiliando outros dispositivos obterem conteúdo oportunisticamente. A reputação entre os pares de nós funciona da seguinte maneira:

Seja o encontro de dois nós v e u pela primeira vez, ambos dão uma reputação positiva $R = 1$, ou seja, ambos confiam que outro é altruísta. Se v solicita um conteúdo para u , o valor de R_v será utilizado para definir o limiar de cooperação:

$$\Gamma_{cache} = 1 - R_v \in [0, 1]$$

A equação acima faz com que quanto maior a reputação de um nó v , mais fácil será para v obter conteúdo via D2D. Um nó u transmite o conteúdo para um nó v somente se sua função de agregação for maior que o limiar de cooperação de u :

$$U(X) \geq \Gamma_{cache}$$

O nó v aumenta a reputação de um nó u toda vez que receber conteúdo de u em $R_u = \max(R_u + \delta_{incremento}, 1)$. Como o nó u contribuiu com v , u diminui a reputação de v em $R_v = \min(R_u - \delta_{decremento}, 0)$.

A Figura 1 ilustra duas abordagens de integração entre a versão estendida do OppLite com o MINEIRO: distribuída e centralizada.

Na **solução distribuída**, mostrada na Fig. 1a, o algoritmo de reputação é executado em conjunto com o algoritmo de decisão no dispositivo do usuário para fornecer informações sobre o comportamento passado dos dispositivos encontrados. Em um primeiro encontro entre um par de nós, ambos os nós dão uma reputação inicial para cada. Cada nó conhece apenas a reputação de outros nós que interagiram com ele no passado. Esta abordagem não requer nenhuma intervenção na infraestrutura dos ISPs.

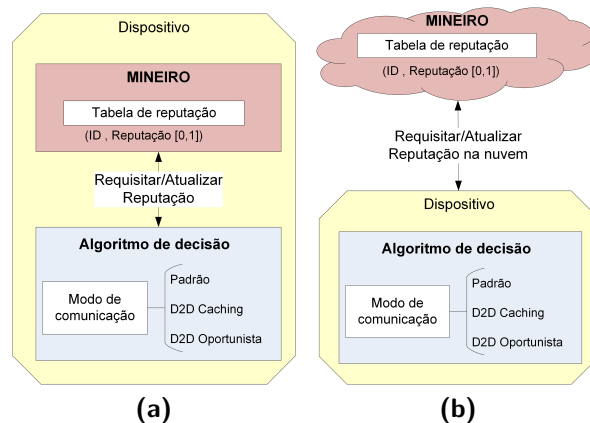


Figura 1. Algoritmo de reputação descentralizado e centralizado. a) Todos algoritmos embutidos no dispositivo; b) Tabela de reputação na nuvem.

As desvantagens desta solução totalmente distribuída são sua escalabilidade e segurança. Em redes móveis, novos nós podem aparecer na rede a qualquer momento, e isso pode tornar inviável o acompanhamento de todos os nós encontrados. Além disso, é um desafio garantir que não ocorra trapaça para que nós obtenham altos valores de reputação.

Na **solução centralizada**, mostrada na Fig. 1b, a tabela de reputação é mantida nos servidores dos ISPs, que tem uma visão global da rede. Todos os dispositivos recebem uma reputação inicial. Assim, os dispositivos podem estar no modo oportunista em um dia e no modo de retransmissão em outro dia, e sua reputação será atualizada nos servidores. Um dispositivo informa ao servidor a identificação do dispositivo oportunista que enviou o conteúdo. Por sua vez, este valida a informação quando estiver conectado ao ISP.

Um problema nesta abordagem centralizada é o fato de que todos os dispositivos precisam ter acesso à nuvem para consultarem a reputação dos nós que estão requisitando conteúdo. Por consequência, aumentando o número de mensagens de controle na rede. Devido a este fator e somando que o objetivo deste trabalho é prover uma solução para *D2D caching* puramente distribuída, apenas o arcabouço utilizando a solução distribuída será avaliada na próxima seção.

4.3. Benchmark: Um solução centralizada baseada no conjunto dominante

Para comparar a eficiência da nossa proposta, implementamos um algoritmo de seleção de nós baseado no conjunto dominante de um grafo. Esta solução exige conhecimento completo da topologia da rede. Neste caso, o ISP poderia executar o algoritmo periodicamente e forçar com que os nós escolhidos colaborem.

O conjunto dominante de um grafo $G = (V, E)$ consiste no subconjunto $S \in V$, no qual os vértices que não pertencem a S têm uma aresta em pelo menos um vértice em S . Os nós do conjunto dominante estão no modo *D2D Colaborativo* e, os demais nós estão no modo *D2D oportunista*. O conjunto dominante do grafo é calculado a cada 60 segundos.

5. Avaliação

5.1. Duração de encontros versus tamanho do arquivo

A duração de encontro entre um par de nós requisitante-fornecedor de conteúdo deve ser suficientemente grande para permitir a transferência de um determinado conteúdo. Formalmente, seja x a duração de um contato, t o tamanho do vídeo e L a largura de banda. A probabilidade de transmitir um conteúdo será:

$$P(\text{transmissão}) = P(x) \geq \frac{t}{L}$$

Para analisar esta relação, comparamos o tamanho médio dos arquivos de vídeo do YouTube² com a duração de contatos reais. Para comparar o tamanho médio de arquivos de vídeo, utilizamos a coleta de metadados de vídeos do YouTube realizada por [Cheng et al. 2008]. Os autores mostram que a duração média dos vídeos mais populares é curta e têm menos de 3 minutos. Como o tamanho dos arquivos de vídeo é dependente do *bitrate* do vídeo, os autores forçaram *downloads* destes vídeos para obter o tamanho real. O subconjunto de dados utilizado foi coletado em 8 de setembro de 2008, contendo 153.710 vídeos.

Para inferir a duração de tempo de contato entre dispositivos, os seguintes *traces* foram utilizados:

- **INFOCOM**: *trace* de contato de três dias com 20 nós estáticos e 78 usuários voluntários usando iMotes durante a edição de 2006 da conferência INFOCOM [Haggle 2013].
- **ROLLERNET**: 62 voluntários carregam iMotes durante a turnê *Pari-Roller*, que reúne milhares de pessoas para patinar pelas ruas de Paris, em 2006 [Tournoux et al. 2009]. O *trace* tem duração de cerca de três horas.

Os resultados da comparação são mostrados na Figura 2. Conforme mostrado na Figura 2a, 90% dos contatos duraram menos de 240 segundos no *trace* INFOCOM. De fato, o tempo de contato médio é de 138 segundos neste *trace*. Por outro lado, no *trace* ROLLERNET, 90% dos contatos duraram menos de 47 segundos, como mostrado na Figura 2b, enquanto o tempo médio de contato foi de apenas 23 segundos. Estes resultados mostram as diferenças do padrão de encontros de dispositivos móveis entre os *traces*.

A Figura 2c mostra a CCDF do tamanho físico de um subconjunto de vídeos do YouTube. Na média, os arquivos têm 7.99MB e 90% dos arquivos tem menos de 20MB. Considerando uma largura de banda conservadora de 2 Mbps, o padrão das redes 802.11, a duração de um contato tem que ser de 40 segundos para transferir a média dos arquivos e 100s para transferir 90% da base de dados.

5.2. Configuração da Simulação

Avaliamos o desempenho de nossa proposta utilizando o *Opportunistic Networking Evaluator* (ONE) [Keränen et al. 2009]. O ONE simula um modelo de comunicação tolerante a interrupções, onde os nós seguem o paradigma *armazenar-segurar-repassar* mensagens (*store-carry-forward*). Estendemos o ONE para suportar redes infraestruturadas e simular propriedades como o sinal da rede celular e

²<http://www.youtube.com>

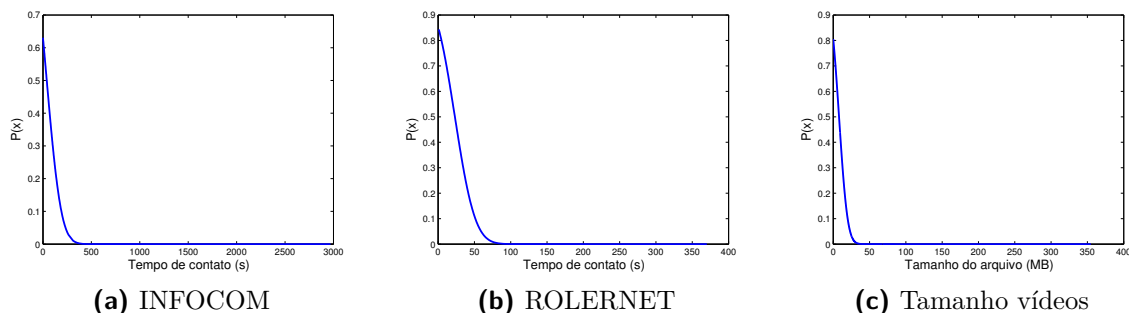


Figura 2. CCDF tempo de contato entre dois dispositivos (a,b) e tamanho dos arquivos YouTube (c).

a bateria dos dispositivos. A rede infraestruturada é simulada por meio de um super nó, que faz o papel de nuvem e pode responder a qualquer requisição da rede. Além disso, foi adicionado o modelo de consumo de energia apresentado em [Balasubramanian et al. 2009].

As métricas analisadas foram: *Atraso*, tempo médio para obter um conteúdo via comunicação D2D; *Hit-Ratio*, porcentagem de vezes que um conteúdo foi encontrado em um *D2D Caching*; *Taxa de descarregamento*, porcentagem de conteúdo que foi efetivamente transferido via comunicação D2D.

Todos os nós possuem uma interface de rede 802.11 e uma interface representando redes 3G. A largura de banda utilizando rede 3G é 100kBps (de acordo com [Whitbeck et al. 2012]) e 2Mbps, o padrão, para comunicação D2D utilizando WiFi. Os nós requisitam conteúdo de um conjunto K com 10000 conteúdos. A popularidade destes conteúdos segue uma distribuição Zipf com expoente $\rho = 1,47$ [Valerio et al. 2015]. O tamanho de cada conteúdo varia entre 500Kb e 10Mb. Dessa forma, o tempo de contato necessário para transmitir um conteúdo varia entre 2 e 50s, via comunicação D2D. O tempo inter-requisições de conteúdo de cada nó na rede segue uma distribuição Weibull com declividade $k = 21,99$ e escala $\lambda = 1,429$. Um nó solicita um novo conteúdo apenas após receber o conteúdo solicitado, seja via infraestrutura ou D2D, e 500 MB de espaço em armazenamento.

O limiar para os nós atuarem como *D2D oportunista* foram fixados nos valores abaixo e os demais parâmetros do algoritmo são sumarizados na Tabela 2, em acordo com os valores descritos em [Mota et al. 2014].

$$\Gamma_{opp} = [0.01, 0.2, 0.5, 0.7]$$

Crítérios	Centro (c_i)	Steepness (α_i)	Peso (w_i)
Vizinhos	3	2	0.4
Bateria	70	0.2	0.5
Qualidade do link	15	2	0.1

Tabela 2. Valores dos critérios

Os encontros entre os pares de nós são definidos pelos *traces* reais de contatos

descritos na Seção 3.1: INFOCOM e ROLLERNET. Nas simulações com o trace INFOCOM, os nós requisitam conteúdo somente durante o primeiro dia da conferência, entre 12:00 e 18:00. Com o trace ROLLERNET, os nós requisitam conteúdos entre 30 e 160 minutos.

O atraso máximo tolerado pelos nós no modo oportunista é de $\tau = 600s$. Um nó *D2D oportunista* procura por conteúdo nos caches dos nós *D2D Colaborativo* durante $\tau = 600s$. Um *cache-hit* ocorre ao encontrar o conteúdo. Caso contrário, o nó obtém o conteúdo via infraestrutura.

Por motivos de desempenho, a solução centralizada foi feita utilizando a API *python - networkx* e recebe como entrada os traces de contato e a requisição de mensagens geradas pelo ONE.

5.3. Resultados

As Figuras 3 e 4 apresentam os resultados para os *traces* INFOCOM e ROLLERNET, respectivamente. Quando $\Gamma_{cache} = 0$, todos os nós atuam como *D2D Caching*. O valor de Γ_{opp} inicia em 0.01 para evitar que nós isolados sejam *D2D oportunista*.

De fato, a combinação $\Gamma_{opp} = 0.01$ e $\Gamma_{cache} = 0$ faz com que a maioria dos nós sejam do grupo *D2D Cooperativo*, atuando como oportunistas e cache simultaneamente. O alto atraso nesta combinação, deve-se ao fato de muitos nós procurarem conteúdo até o limite tolerável (Figuras 3a e 4a). A solução baseada no conjunto dominante, sem incentivos, tem um atraso médio de 499s e 128s, nos traces INFOCOM e ROLLERNET, respectivamente. O *trace* rollernet apresenta um atraso menor em relação ao INFOCOM, devido a características de ser um grafo mais denso e, portanto, com mais contatos entre os nós.

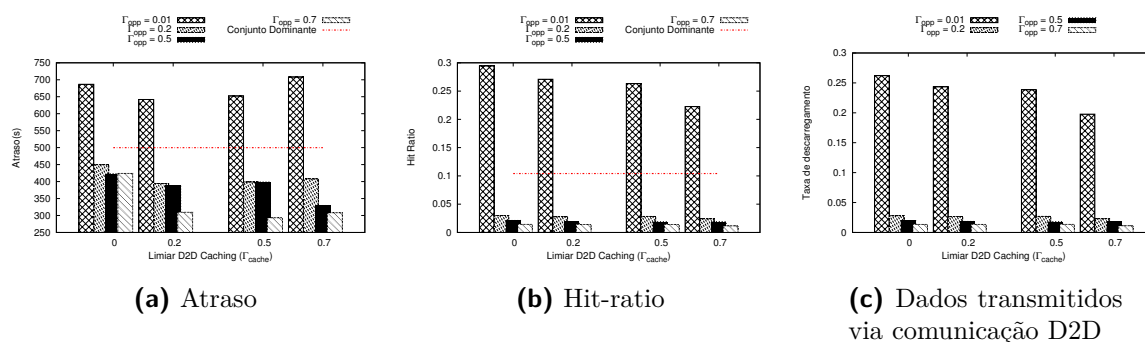


Figura 3. D2D caching no trace INFOCOM

Para limiares *D2D caching* maiores que zero ($\Gamma_{cache} > 0$), os nós aguardam uma recompensa ou reputação maior para colaborarem. A diminuição no atraso é causada justamente devido ao baixo número de participação de nós colaborativos. Isto pode ser observado pelo *hit-ratio* e pelos dados transmitidos via comunicação D2D. Ao aumentar o limiar para os nós se tornarem D2D Caching, o hit-ratio diminui de 28% para 3% no trace INFOCOM (Fig. 3b) e de 17% para menos de 2% no ROLLERNET (Fig. 4b).

Por consequência, o mesmo ocorre para as taxas de descarregamento, mostradas nas Figuras 3c e 4c. As porcentagens das taxas de descarregamento são

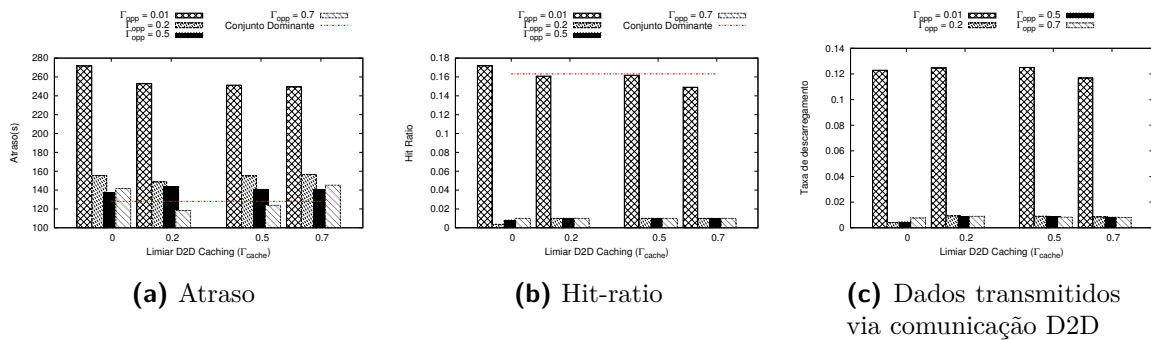


Figura 4. D2D caching no trace ROLLERNET

menores que as porcentagens do *hit-ratio* devido ao tempo necessário para transmitir um conteúdo, que pode ser maior que o tempo de contato entre o par de nós em que ocorreu o *cache-hit*.

A vantagem dos ISPs forçarem uma participação é manter um alto *hit-ratio*. No entanto, algoritmos baseados em grafos para seleção de nós colaborativos no *D2D caching*, tais como conjunto dominante, cobertura de arestas, entre outros, são NP-completos. Logo, há um alto custo para realizar este processamento online.

6. Conclusão

A geração e o consumo de conteúdo de entretenimento digital via dispositivos móveis vêm causando um grande impacto na infraestrutura dos provedores de Internet móveis. Neste artigo, discutimos e mostramos como a técnica *D2D caching* pode atuar como uma forma de consumir conteúdos, sem gerar impacto na infraestrutura dos ISPs. Em diversos cenários, dispositivos próximos uns aos outros podem colaborar entre si a fim de disponibilizar os conteúdos disponíveis em suas memórias *cache*. Em cenários mais estáticos, como em uma conferência, um par de dispositivos pode ficar até 500 segundos próximos uns dos outros, ou seja, tempo suficiente para transferência de um vídeo curto.

A cooperação dos usuários é fundamental para *D2D Caching*. Por isto, propomos um arcabouço que seleciona quais e quando os nós devem atuar como *caching* e como oportunista, aplicando mecanismos de incentivo. Apresentamos também um mecanismo de incentivo baseado em recompensa e um baseado em reputação. Em ambos os casos, o mecanismo retorna um valor que será utilizado como limiar para um usuário oferecer seu dispositivo como um cache móvel. Entre 2 e 25% de conteúdo pode ser obtido via *D2D caching* com atraso inferior a 10 minutos.

Oferecer conteúdo para terceiros ou buscar conteúdo em dispositivos desconhecidos trazem desafios não abordados neste trabalho, como privacidade e segurança. Um usuário pode ter um conjunto de conteúdos privados e sensíveis, aos quais não gostaria que outros tivessem acesso. Além disso, evitar que dispositivos colaborativos se tornem vítimas de ataques de negação de serviço, que poderiam sobrecarregar um dispositivo, é um desafio em aberto.

Referências

- Asadi, A., Wang, Q., and Mancuso, V. (2014). A survey on device-to-device communication in cellular networks. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, 16(4):1801–1819.
- Balasubramanian, N., Balasubramanian, A., and Venkataramani, A. (2009). Energy consumption in mobile phones: a measurement study and implications for network applications. In *9th Internet measurement conference (IMC)*, pages 280–293.
- Barbera, M. V., Stefa, J., Viana, A. C., De Amorim, M. D., and Boc, M. (2011). Vip delegation: Enabling vips to offload data in wireless social mobile networks. In *Distributed Computing in Sensor Systems and Workshops (DCOSS), 2011 International Conference on*, pages 1–8. IEEE.
- Cheng, X., Dale, C., and Liu, J. (2008). Statistics and social network of youtube videos. In *2008 16th International Workshop on Quality of Service*, pages 229–238.
- Haggle (2013). *Haggle Project*. Haggle. <http://www.haggleproject.org>.
- Keränen, A., Ott, J., and Kärkkäinen, T. (2009). The one simulator for dtn protocol evaluation. In *International Conference on Simulation Tools and Techniques*, pages 1–10. EAI.
- Mota, V. F. S., Macedo, D. F., Ghamri-Doudanez, Y., and Nogueira, J. (2014). Managing the decision-making process for opportunistic mobile data offloading. In *Network Operations and Management Symposium (NOMS)*, pages 1–8. IEEE.
- Mota, V. F. S., Macedo, D. F., Ghamri-Doudanez, Y., and Nogueira, J. M. (2015). Mineiro: Um mecanismo de incentivo para aplicações em redes oportunísticas. In *XXXIII Simpósio Brasileiro de Rede de Computadores, 2015*, pages 1–14. CSBC.
- Mota, V. F. S., Moura, H. D., SILVA, V. F., Macedo, D. F., Ghamri-Doudanez, Y., and Nogueira, J. M. (2016). Analisando a capacidade de descarregamento de redes móveis por meio de redes oportunísticas. In *XXXIV Simpósio Brasileiro de Rede de Computadores, 2016*, pages 1–14. CSBC.
- Sermpezis, P. and Spyropoulos, T. (2016). Effects of content popularity on the performance of content-centric opportunistic networking: An analytical approach and applications. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 24(6):3354–3368.
- Spyropoulos, T. and Sermpezis, P. (2016). Soft cache hits and the impact of alternative content recommendations on mobile edge caching. In *Proceedings of the Eleventh ACM Workshop on Challenged Networks, CHANTS '16*, pages 51–56, New York, NY, USA. ACM.
- Tournoux, P., Leguay, J., Benbadis, F., Conan, V., De Amorim, M., and Whitbeck, J. (2009). The accordion phenomenon: Analysis, characterization, and impact on dtn routing. In *IEEE INFOCOM*, pages 1116–1124.
- Valerio, L., Abdesslemly, F. B., Lindgreny, A., Bruno, R., Passarella, A., and Luoto, M. (2015). Offloading cellular traffic with opportunistic networks: a feasibility study. In *Ad Hoc Networking Workshop (MED-HOC-NET), 2015 14th Annual Mediterranean*, pages 1–8. IEEE.
- Whitbeck, J., Lopez, Y., Leguay, J., Conan, V., and Amorim, M. (2012). Push-and-track: Saving infrastructure bandwidth through opportunistic forwarding. *Pervasive and Mobile Computing*, 8(5):682 – 697.
- Zhang, S., Wu, J., Qian, Z., and Lu, S. (2015). Mobicache: Cellular traffic offloading leveraging cooperative caching in mobile social networks. *Computer Networks*, 83(0):184 – 198.

CoUrbD2M: Mineração de Dados Orientada à Computação Urbana em cenários de *Big Data* e Redes 5G

Carlos Renato Storck^{1,2}, Edwaldo Araújo Sales²,
Luis Enrique Zárate², Fátima de L. P. D. Figueiredo²

¹Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG)

²Pontifícia Universidade Católica de Minas (PUC Minas)

storck@contagem.cefetmg.br, ed.araujo@outlook.com,

{zarate, fatimafig}@pucminas.br

Abstract. *This paper presents a data mining view as support on the urban computing in Big Data environments. Two approaches are proposed: CoUrbD2M (Urban Computing Driven Data Mining) and CoUrbF5G (Urban Computing Framework in 5G Networks) boosted by future 5G networks, fifth generation cellular networks. The objective is the demonstration of the applicability to the quality of urban life improvement, through the mobile services. The work sought to find and to analyze the real standards of a mobile telephone network, applying data mining techniques, in combination with aiding methods on the driving of Data Science processes such as KDD (Knowledge Discovery in Databases) and Big Data, in order to allow the better urban planning decisions making and the delivering of quality mobile services in smart cities supported by new generation networks.*

Resumo. *Este artigo apresenta uma visão da mineração de dados como apoio na computação urbana em ambientes de Big Data. São propostas duas abordagens: CoUrbD2M (Urban Computing Driven Data Mining) e CoUrbF5G (Urban Computing Framework in 5G Networks) impulsionadas pelas futuras redes 5G, redes de celulares de quinta geração. O objetivo é demonstrar aplicabilidade para melhoria da qualidade de vida urbana, através de serviços móveis. O trabalho procurou encontrar e analisar padrões reais de uma rede de telefonia móvel, aplicando técnicas de mineração de dados, em conjunto com métodos auxiliares na condução de processos de Data Science como KDD (Knowledge Discovery in Databases) e Big Data, a fim de permitir a tomada de melhores decisões de planejamento urbano e a entrega de serviços móveis de qualidade nas cidades inteligentes suportadas por redes de nova geração.*

1. Introdução

O planejamento urbano em cidades inteligentes requer a implantação de Redes de Nova Geração (RNG) e abordagem de técnicas e mecanismos de Computação Urbana (CoUrb) em ambientes de *Big Data*. Tais mecanismos permitem a entrega de melhores serviços para a cidade, melhorando, conseqüentemente, a qualidade de vida dos cidadãos [Zheng et al. 2014].

Para entender os fenômenos urbanos, realizar previsões e superar os problemas que as cidades enfrentam tais como congestionamentos, consumo de energia, poluição do ar, entre outros, são necessários processamento e análise de diversos dados, através da CoUrb. Os dados são coletados por diversas fontes espalhadas pela cidade, como sensores e atuadores, redes veiculares, dispositivos móveis, redes de telefonia, dentre outros. Nesse sentido, justifica-se o uso da mineração de dados como apoio para a descoberta de padrões preditivos não óbvios, em grandes bases de dados coletados pelas redes 5G e cenários de *Big Data*. No contexto da Ciência de Dados (*Data Science*), o processo KDD é realizado em diversas etapas: seleção de dados, pré-processamento, transformação, mineração de dados e interpretação [Fayyad et al. 1996].

Neste trabalho, foi verificado o comportamento real de uma rede de telefonia móvel, através de técnicas de mineração de dados em conjunto com um método auxiliar na condução de processos em *Data Science*, para subsidiar a CoUrb suportada pelas futuras redes 5G. Através da mineração de dados e da descoberta de padrões de condições da rede, o sistema pode fornecer entradas para que a rede se oriente pelo contexto, aprenda com a experiência e execute ações necessárias para alocação apropriada de recursos em conjunto com a tomada de decisões dinâmicas de planejamento urbano, análise de regiões funcionais e detecção de anomalias. As ferramentas CoUrbD2M e CoUrbF5G são apresentadas. CoUrbD2M possibilita a mineração de dados orientada à computação urbana e o *framework* CoUrbF5G que é composto por módulos que, através da observação ciente de contexto e aprendizagem pela experiência, permite a análise do comportamento e das políticas e diretrizes definidas pelas prefeituras e operadoras, alocando recursos de forma dinâmica e adaptativa.

Este trabalho se desenvolve da seguinte forma: Seção 2 apresenta os principais conceitos técnicos e aponta os trabalhos de *Data Mining* relacionados ao estudo de *Big Data* e das redes 5G; Seção 3 descreve a metodologia; Seção 4 apresenta e discute os resultados da pesquisa; e Seção 5 discorre as conclusões e proposições a trabalhos futuros.

2. Principais Conceitos e Trabalhos Relacionados

Nesta seção serão apresentados os principais conceitos e trabalhos relacionados para a compreensão de como a mineração de dados orientada à CoUrb pode ser realizada em cenários de *Big Data* e redes 5G.

2.1. *Data Mining* e *Big Data*

A análise de séries temporais compreende métodos e técnicas de análise de dados de séries de tempo, a fim de extrair estatísticas significativas e outras características dos dados. A mineração de dados espaço-temporais é o processo de descoberta de padrões em dados espaciais associadas com o tempo. Ela é uma área de pesquisa aplicada em redes móveis e pode ser associada com a mineração de realidade, que trata o estudo do comportamento social humano com base em redes móveis [Bayir et al. 2009, Eagle et al. 2009, Aydin and Angryk 2016].

Os padrões mais comuns utilizados na mineração de dados espaço-temporais são relatados por [More and Lingam 2015]. O primeiro padrão relatado é o agrupamento espacial, considerando análise da área geográfica e podendo ser adotado o algoritmo K-means. O segundo é a análise de *outliers*. O terceiro padrão apontado é o uso de modelos

preditivos podendo adotar aprendizagem de máquina. O último padrão relatado é a busca por correlações e objetos que possuem uma alta probabilidade. Para entender o domínio do problema, são relacionadas quatro principais métricas de redes sociais: centralidade *degree*, centralidade *betweenness*, *closeness* e *eigenvalue*.

Para a mineração de padrões sequenciais móveis em uma rede de telefonia, uma proposta é apresentada por [Bradley and Rashad 2010] com o objetivo de determinar o movimento frequente padrão de um usuário móvel. Para isso, os autores utilizaram uma base real de dados contendo 100 usuários, que foi coletada em nove meses pelo MIT (*Massachusetts Institute of Technology*). Foram criados dois algoritmos denominados *Fixed-MobileSPADE* e *Dynamic-MobileSPADE*, ambos baseados no algoritmo Apriori. Após aplicados os algoritmos na base, os autores concluíram que o algoritmo *Fixed-MobileSPADE* é mais indicado para padrões mais frequentes, e o algoritmo *Dynamic-MobileSPADE* para padrões não frequentes. Outra metodologia para extração de padrões de mobilidade baseada em nuvem para computação urbana foi apresentada por [Altomare et al. 2014, Altomare et al. 2017], mas não será abordada neste trabalho.

O estado da arte e direções correntes para mineração de fluxo de dados em ambientes ubíquos são abordados por [Gaber et al. 2014]. No *survey*, os autores tratam a mineração com uso de dispositivos e sensores para suporte de aplicações críticas, compartilhamento do conhecimento por agentes para adaptação e uso de algoritmos eficientes e adaptáveis a contextos sensíveis, tais como recursos e situação. Para apoiar a mineração de dados com base nos princípios de adaptação em dispositivos móveis, os autores desenvolveram um conjunto de ferramentas denominado *Open Mobile Miner*. A mineração colaborativa de fluxo de dados ciente de contexto é uma das características mais importantes para desenvolvimento de novas aplicações.

Em [Chen et al. 2015a], é proposta uma arquitetura de mineração de *Big Data* para dados massivos, produzidos pela Internet das Coisas (IoT), que são considerados de alto valor. Eles propõem também que a mineração de dados com algoritmos adaptados para esse cenário apoiarão esse novo ambiente. Estes algoritmos de classificação, *clustering*, análise de associação, análise de séries temporais e *outliers* servem para aplicações de *e-commerce*, indústria, saúde e governo.

Em [I et al. 2015], é estudada a análise de *Big Data* para Rede de Acesso de Rádio (RAN). Os dados são coletados através da sinalização, tráfego e ambiente. A proposta do trabalho é otimizar e operar a rede 4G de forma autônoma. No trabalho, os autores apresentam o paradigma de operação da rede baseada em *Big Data*, apresentado pela Figura 1, e fluxograma da otimização da rede inteligente baseada em dados de sinalização. Entre as características do modelo do fluxograma estão a capacidade de processamento de coleta de sinalização de 1 Gbps, definição de 296 procedimentos de sinalização de representação de dados externos durante a limpeza de dados, a extração de cerca de 100 procedimentos de comunicação com definição de mais de 400 indicadores-chave de desempenho na seleção de dados e integração (validação), armazenamento de dados na ordem de 1 milhão por minuto, a verificação do modelo com 400 entradas durante a mineração de dados, e por fim a descoberta de problemas da rede através dos indicadores de desempenho. É gerada uma base de soluções de otimização da rede com as melhores práticas com base na experiência de otimização para os problemas identificados.

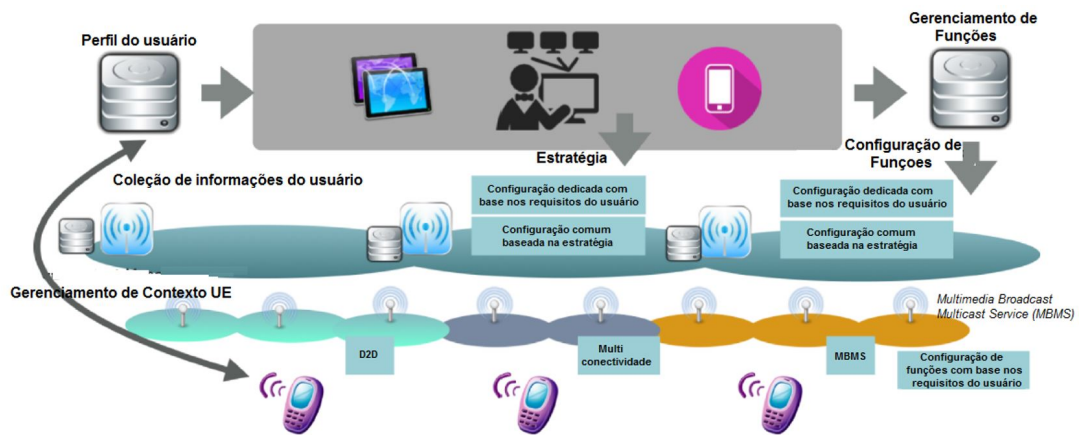


Figura 1. Paradigma e fluxograma de operação da rede baseada em *Big Data* (Adaptada de [1 et al. 2015]).

Uma arquitetura da rede sem fio na nuvem com centros de *Big Data* é proposta por [Chen et al. 2015b], apresentada pela Figura 2. A ideia central é alocação dinâmica de recursos baseada em *Big Data*, analisando a rede sob diferentes cenários de tráfego. Para QoS (*Quality of Service*), a otimização com base em dados de tráfego de rede sem fio ficaria responsável pela cobertura, realocação e atualização de recursos, e detecção de falhas. Para QoE (*Quality of Experience*), a otimização com base em dados no comportamento ficaria responsável pela otimização de dispositivos e localização dos mesmos.

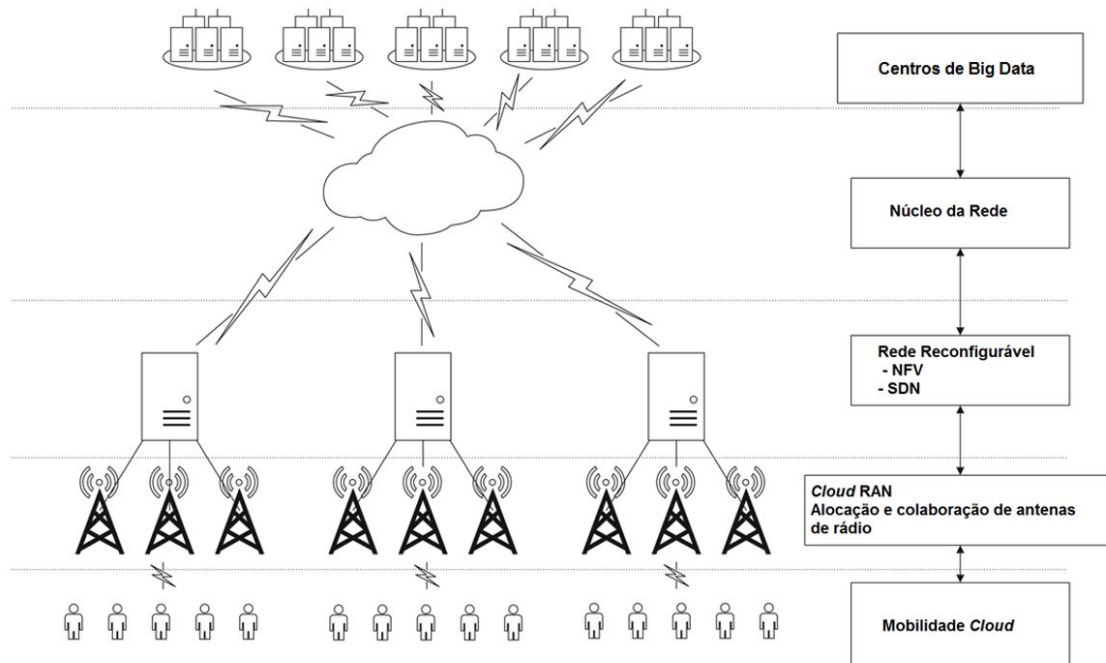


Figura 2. Arquitetura da rede sem fio na nuvem com centros de *Big Data* (Adaptada de [Chen et al. 2015b]).

Em se tratando de *Big Data*, como incentivo a comunidade acadêmica para superar os seus desafios, [Barlacchi et al. 2015] apresentam um conjunto de bases de dados da

vida urbana italiana. Uma dessas bases de dados (georreferenciada e anonimizada), que serviu de base para este trabalho, é disponibilizada no formato ODbL (*Open Database License*), pela companhia Telecom Itália, maior empresa de telecomunicações desse país, juntamente com outras instituições, através do “*Telecom Italia Big Data Challenge*”¹. O *dataset* apresenta chamadas telefônicas, serviços SMS (*Short Message System*) e uso de Internet por horário, através de CDRs (*Call Detail Records*). Um mapa de calor dos serviços de telecomunicações da base de dados disponibilizada também é apresentado no artigo, conforme a Figura 3.

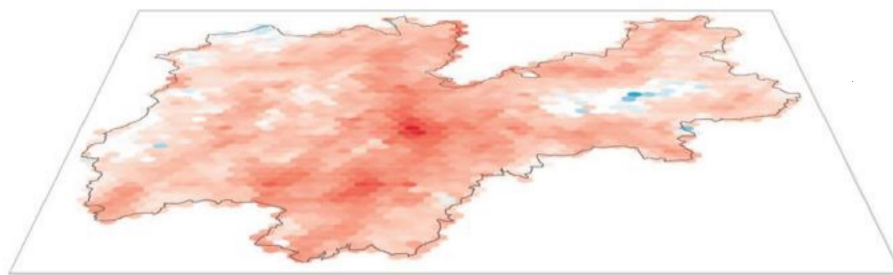


Figura 3. Mapa de calor dos serviços de telecomunicações (Adaptada de [Barlacchi et al. 2015]).

Embora, [Barlacchi et al. 2015] tenham verificado padrões de comportamento semanal por tipo de serviço, o que será comparado na Seção 4, no entanto, os autores não tratam a mineração de dados; que, diferentemente deste trabalho, será tratado em função do planejamento urbano para uma melhor alocação de recursos da rede.

2.2. Redes 5G

Redes 5G podem ser definidas como redes ubíquas de banda ultra largas, que causarão uma verdadeira revolução nas redes móveis, mas que se encontram, atualmente, em fase de pesquisas e testes, possuindo ainda vários desafios. Entre as características e requisitos exigidos por estas redes estão o aumento no *throughput*, latência de *1ms*, ultra confiabilidade, cobertura adequada para uma experiência perfeita, bateria dos dispositivos com vida útil 10 vezes maior e uso de todos os espectros.

Uma característica notável das redes é a plataforma necessária das redes futuras das operadoras, a partir de 2020; que vai precisar de uma arquitetura 5G, definida por *software* capaz de ser executada em um sistema integrado sem fio e óptico, permitindo unificar conexões, ampliar segurança, mobilidade e gerenciamento do encaminhamento.

Uma visão da arquitetura 5G é proposta por [Agyapong et al. 2014], em duas camadas: uma RAN e uma rede em nuvem. Nesta arquitetura serão integradas as pico células, múltiplos transmissores e receptores, divisão do plano de usuário e controle, SDN (*Software-Defined Networking*) e NFV (*Architecture and Network Function Virtualization*). Segundo os autores, diferentes tipos de estações bases e RRUs (*Remote Radio Unit*) realizam um conjunto mínimo de funções L1 / L2 da rede de rádio. A rede em nuvem, por sua vez, é constituída por uma entidade *U-plane* (UPE) e uma entidade *C-Plane* (CPE), que executam as funções das camadas mais altas, relacionadas a estas entidades.

¹<http://www.telecomitalia.com/tit/en/bigdatachallenge/contest.html>

Ainda de acordo com [Agyapong et al. 2014], há desafios e princípios de projeto para redes 5G. Entre as propostas citadas, a inteligência de rede orientada em *Big Data* é apontada para superar desafios como: custo e QoE. O objetivo seria adotar um agente inteligente de rede para gerenciar a qualidade de serviço, o roteamento, a mobilidade e a alocação de recursos de forma dinâmica. Para tanto, a descoberta de conhecimento e mineração de dados em ambientes de *Big Data* é essencial.

Para uma arquitetura 5G ágil e flexível será necessário separar o plano de dados e o controle, e possuir funções de rede virtualizadas; bem como, os fluxos de dados orquestrados por meio de programação. As redes 5G, provavelmente, terão maior volume de tráfego e número de dispositivos com requisitos diversificados, e melhor qualidade de experiência do usuário. A melhoria da eficiência operacional da rede se dará através do uso de SDN e NFV, mas ainda é esperado o uso de tecnologias, como C-RAN (*Cloud-RAN*) e SON (*Self-Organizing Network*) [ITU 2015].

Em [Malik et al. 2015], a ciência de contexto é relatada como uma forma de melhorar tanto a qualidade de serviço, como a qualidade de experiência. Como o comportamento do tráfego varia no tempo, a análise do comportamento é sugerida como solução para prever futuros padrões de tráfego; para que se possa, assim, prever a mobilidade e melhorar a alocação de recursos e transmissão de dados, bem como permitir adoção de estratégias específicas para a rede em determinado momento. O ambiente CWN (*Cognitive Wireless Network*) é proposto por estes autores, com um motor cognitivo embutido, que observa as condições do ambiente, realiza sua análise, consulta políticas e objetivos da rede, além de realizar seu planejamento, aprender com a experiência e atuar da melhor forma possível. Mas além da reconfiguração em nível de rede, através de SDN, é ainda sugerida a implementação de planos de conhecimento.

3. CoUrbD2M e CoUrbF5G

Neste trabalho, a mineração de dados orientada à computação urbana, ou CoUrbD2M, foi desenvolvida tendo como base as diversas etapas propostas pelo método PICTOREA, descrito por [Montevecchi and Zárate 2012, Pictorea 2012]. O método serviu de base para auxílio na condução e integração da percepção humana no processo de *Data Science*. A proposta da abordagem é analisar e verificar o comportamento real de uma rede de telefonia móvel, aplicando técnicas de mineração de dados, como pré-processamento e *cluster*. Para o contexto deste trabalho, CoUrbD2M foi limitada à aplicação de métodos padrão de mineração de dados.

Sendo assim, adotou-se um conjunto de dados reais de telefonia móvel, coletado durante uma semana em Milão, e região de Trentino, durante o mês de novembro de 2013, disponibilizado pela companhia Telecom Itália no formato ODbL, para a competição *Big Data Challenge*, conforme descrito na seção anterior. A base é composta por mais de 15 milhões de registros, tendo cada CDR realizado com atribuição da antena ou Estação Rádio Base (ERB) e o tempo gasto por serviço. A base de dados foi formada pelos atributos de recebimento e realização de chamadas telefônicas, recebimento e envio de SMS, e uso de Internet. Ressalta-se que para o uso de Internet, registrou-se um CDR a cada 15 minutos ou a cada 5 MB gastos. A ferramenta Weka foi usada para analisar o conjunto de dados [Weka 2016].

Para apoiar e tornar possível a CoUrbD2M, o *framework* CoUrbF5G proposto, se

baseia em CWN para redes 5G, apresentado pela Figura 4, possuindo como entrada a abordagem de mineração de dados orientada à computação urbana. O CoUrbF5G é composto por módulos que, através da observação ciente de contexto e aprendizagem pela experiência, permite ao sistema ser capaz de analisar o comportamento e consultar políticas e diretrizes definidas pelas prefeituras e operadoras, alocando recursos de forma dinâmica e adaptativa. Além disso, o torna capaz de realizar um adequado planejamento urbano e verificar padrões ou previsões de demandas futuras das cidades; como, por exemplo, uma grande quantidade de pessoas presentes em um determinado evento, como *shows* ou jogos em estádios.

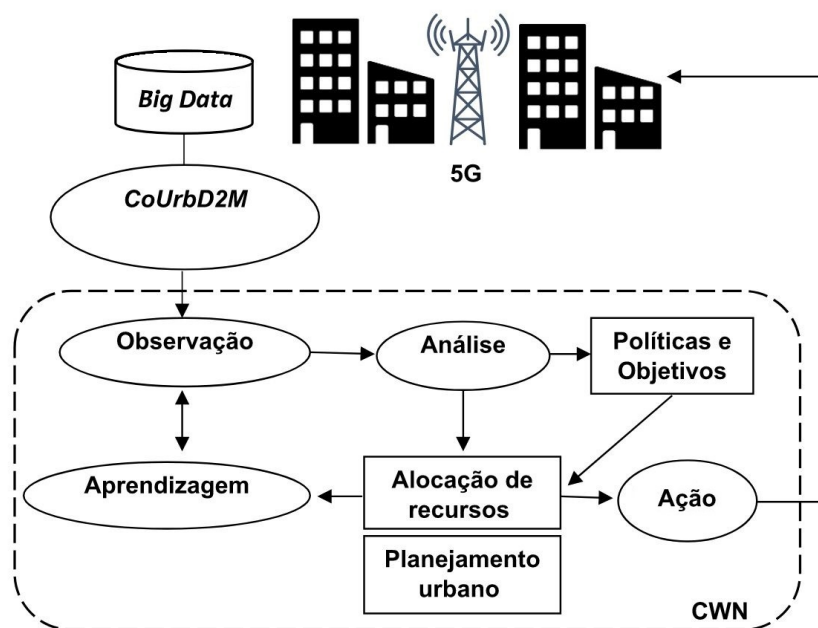


Figura 4. Representação do *framework* CoUrbF5G.

Conforme apresentado na Figura 4, o *framework* CoUrbF5G proposto é formado por componentes diversos. O CoUrbF5G inicia-se com a coleta de diversos tipos de dados da computação urbana, através da infraestrutura das futuras redes 5G, que serão armazenadas em grandes bases de dados hospedadas em *data centers*. Em seguida, a mineração de dados orientada à computação urbana é executada, entregando os resultados para o ambiente CWN. Nesse ambiente, o módulo de observação verifica o comportamento ciente de contexto, com base nos resultados da CoUrbD2M, e o módulo de análise verifica as condições atuais. Ressalta-se que essas duas etapas são fundamentais, pois embasarão as etapas futuras do *framework*. Observado o comportamento e realizada a análise, são consultados os parâmetros desejados, através do módulo de políticas e objetivos. Os módulos de alocação de recursos e planejamento urbano então serão acionados, capacitando, então, o sistema para aprender com a experiência, juntamente com o módulo de observação.

A primeira etapa do CoUrbD2M é a exploração do espaço problema para conhecimento de cada domínio aplicado na computação urbana. Observa-se que diversos domínios podem ser criados a partir dos problemas enfrentados pelas cidades, como por exemplo, a verificação de mobilidade para superar os desafios de congestionamentos urbanos. Para alcançar o objetivo desta etapa, foi utilizada uma matriz de problemas

pairwise, apresentada na Tabela 1, atribuindo peso 0,5 para importância do problema e peso 0,25 para facilidade e retorno. Os problemas-alvo levantados foram: a investigação dos horários de pico e demanda por antena (ERB), bem como a similaridade entre os serviços prestados, objetivando um correto planejamento futuro.

Tabela 1. Matriz de problemas *Pairwise*

Problema	Importância	Facilidade	Retorno	Total
Horários de pico	3	2	3	2,75
Demanda por antena	2	3	2	2,25
Similaridade entre serviços	2	3	1	2,00

A próxima etapa sugerida é a definição do espaço solução. Nesta etapa foram definidas as técnicas de mineração de dados e visualização, considerando os resultados esperados. Adotou-se como técnica de mineração para atendimento das expectativas, o agrupamento.

Para compreensão do domínio do problema e sua caracterização, foram verificadas quais características enfatizariam o conhecimento útil e não óbvio, podendo então ser avaliado usando os conceitos e aspectos D3M (*Domain Driven Data Mining*). A caracterização do problema através de atributos identificou que os atributos *datetime*, *cell-ID*, *sms*, *call* e *internet* são os mais relevantes, considerando o problema definido e que será analisado.

Uma das etapas que mais consome tempo e recursos é a montagem da base de dados. Neste trabalho, a montagem da base de dados se deu no formato de arquivo CSV (*Comma-separated values*) através de *scripts* na linguagem C#, verificando sua dimensionalidade. Foram verificadas: a consistência e coerência dos atributos, das instâncias e a presença de poluição nos dados; e a integridade. A base final foi considerada representativa para descoberta de conhecimento.

Após a montagem da base de dados, a análise da representatividade estatística foi realizada através da etapa da exploração de dados. Procurou-se obter a média, desvio padrão, distribuição probabilística e análise de correlação, para a construção dos histogramas dos atributos de eventos realizados ao longo do tempo apresentados pela Figura 5.

Na etapa de preparação dos atributos, foi verificado os valores ausentes e análise de *outliers* presentes na base de dados. Para valores ausentes, optou-se por eliminar todos os registros encontrados. Para análise de *outliers*, aplicou-se *cluster*, conforme os resultados apresentados na Seção 4

A redução da dimensionalidade e seleção de amostras é de suma importância para uma boa representação da descoberta de conhecimento, sendo necessário avaliar os atributos para esta execução. Os atributos *sms-in* e *sms-out* foram unidos em único atributo *sms*, por considerar o tempo de serviço independente de envio ou recebimento. O mesmo ocorreu com os atributos *call-in* e *call-out*. Neste trabalho, foi utilizada uma amostra representativa de instâncias do banco de dados, que resultou em um primeiro subconjunto de dados formado por 499.999 instâncias, sendo que a base original continha 15.085.579 registros CDRs. Para fins de comparação na análise de *outliers*, utilizou-se também um novo subconjunto contendo 2.008.105 instâncias.

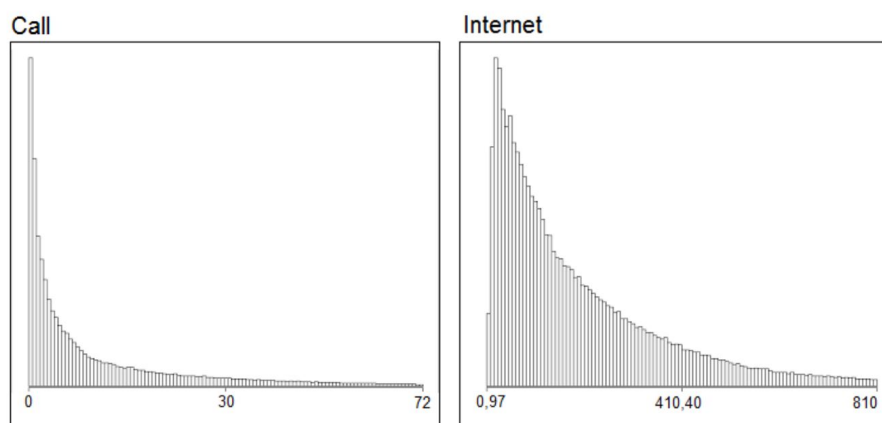


Figura 5. Histogramas dos atributos *call* e *internet*.

Na etapa de pré-processamento, algoritmos de mineração de dados foram executados previamente. Como todos os dados da base são numéricos, foi verificado que a mudança de escala poderia ser aplicada, garantindo a preservação das características dos valores originais.

Em seguida, foram executadas as técnicas de mineração de dados, cujos padrões foram documentados para verificação qualitativa do conhecimento descoberto. Os resultados estão apresentados na próxima seção, permitindo que o especialista de domínio da computação urbana valide os dados e verifique se atendeu as expectativas esperadas, conforme propõe o método de base PICTOREA.

4. Resultados

Os resultados da análise obtida nos experimentos são apresentados nesta Seção.

Conforme descrito na Seção 3, o *dataset* foi explorado e realizou-se o pré-processamento através da ferramenta Weka. Para o agrupamento de dados, foi usado primeiramente o algoritmo K-means com dois (Tabela 2) e cinco *clusters* (Tabela 3), para fins de comparação. A adoção de cinco clusters como medida de avaliação do agrupamento foi empregada de acordo com as indicações de More e Lingam [More and Lingam 2015].

Tabela 2. K-means com dois clusters

<i>Cluster</i>	<i>Instâncias</i>	<i>Resultado</i>
0	267.686	54%
1	232.313	46%

Tabela 3. K-means com cinco clusters

<i>Cluster</i>	<i>Instâncias</i>	<i>Resultado</i>
0	75.021	15%
1	65.283	13%
2	118.672	24%
3	187.536	37%
4	53.487	11%

No segundo momento, o algoritmo EM (*Expectation Maximization*) que é um método baseado em modelos foi executado para fins de comparação com K-means, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4. *Expectation Maximization* com cinco clusters

Cluster	Instâncias	Resultado
0	145.396	29%
1	92.946	19%
2	80.155	16%
3	114.593	23%
4	66.909	13%

Após executado o agrupamento, aplicou-se a média com dois desvios padrão na análise de *outliers*, sendo encontrados 60.313 registros CDRs, considerados fora do padrão; o que representa 12,06% do primeiro subconjunto de dados. Em um segundo experimento, verificando um subconjunto de dados de 2.008.105 instâncias, foram encontradas 97.840 instâncias, consideradas *outliers*; o que representa 4,87% deste segundo subconjunto de dados.

Para verificar a abordagem no primeiro subconjunto de dados e comparação da análise temporal, como apresentado por [Barlacchi et al. 2015], que considerou a contagem de eventos na Cidade de Milão, constatando que a maior demanda seria na sexta-feira; verificou-se a distribuição dos tipos de serviços (chamadas telefônicas, SMS e Internet), por dias da semana, contabilizando o tempo total gasto de cada evento em toda a rede e não somente o número de conexões, conforme a Figura 6, considerando todas as áreas geográficas da base e o tempo gasto por tipo de serviço. O dia com maior demanda foi a terça-feira, seguidos de quarta-feira e quinta-feira, respectivamente.

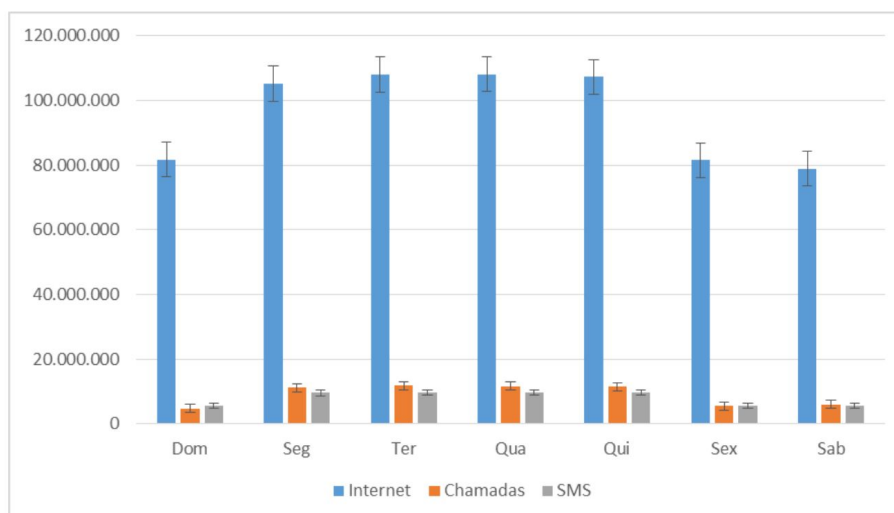


Figura 6. Distribuição dos tipos de serviços por dia.

Após a identificação da terça-feira como dia de maior demanda, procurou-se encontrar o comportamento por faixa de horário considerando todos os tipos de serviços. A Figura 7 demonstra que o maior período de requisições de serviços compreende em dois

intervalos: o primeiro intervalo entre 12 e 15 horas, e o segundo intervalo entre 17 e 19 horas.

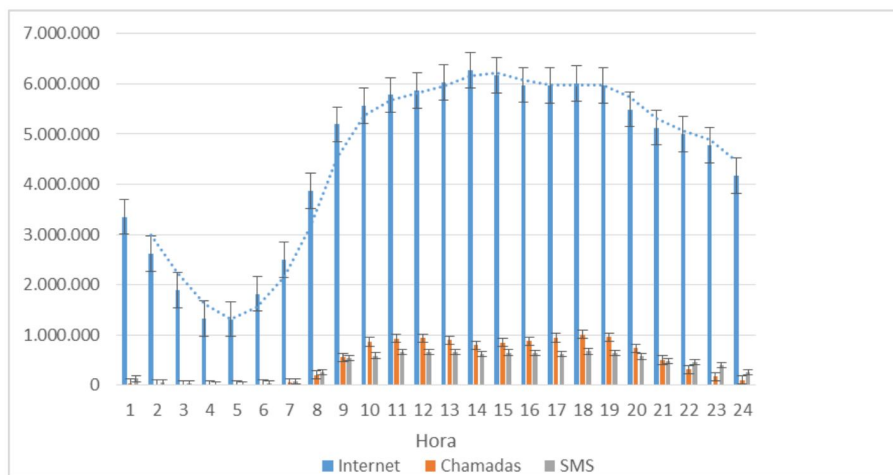


Figura 7. Distribuição dos serviços por horário durante a 3ª feira.

Na análise espacial, em [Barlacchi et al. 2015] foi apresentado o mapa de calor, porém não foi apresentada a demanda por tipo de serviço. Sendo assim, a Figura 8 representa a demanda de cada antena (ERB) para chamadas telefônicas agrupadas em cinco *clusters* de acordo com sua similaridade. Da mesma forma, podem ser visualizadas e observadas as demandas por outros serviços, tais como SMS e Internet.

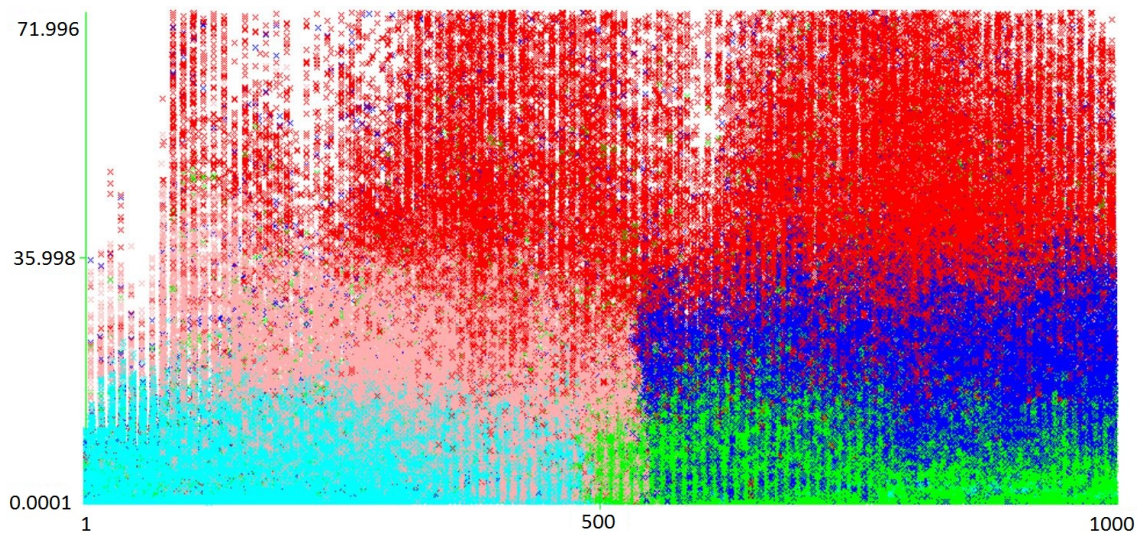


Figura 8. Demanda de chamadas telefônicas por antena.

Com os resultados obtidos pela mineração de dados aplicada na rede de telefonia móvel, entregues e tratados pela implementação do *framework* CoUrbF5G, espera-se um melhor planejamento urbano e a entrega de serviços móveis de qualidade nas cidades inteligentes suportadas por redes de nova geração 5G.

5. Conclusões e Trabalhos Futuros

Conforme apresentado neste trabalho, investigou-se a adoção de técnicas para um planejamento urbano inteligente através de KDD e mineração de dados em ambientes de *Big Data*. No entanto, *Big Data* apresenta enormes desafios em relação à mineração de dados, integração de dados de diversas fontes com uso de sensores e dispositivos móveis e descoberta de conhecimento. A análise do grande volume de dados em tempo real é um grande desafio, estimando uma análise diária da ordem de 6.8 PB de dados em uma rede móvel de uma operadora.

As principais contribuições deste trabalho foram as propostas de mineração de dados orientada à computação urbana e sua estrutura necessária de computação urbana em redes 5G, através das ferramentas CoUrbD2M e CoUrbF5G. Foram mostrados como os dados obtidos, através de mineração, podem auxiliar no planejamento das redes de nova geração 5G.

Como trabalhos futuros, sugere-se a realização de coleta de dados locais, adoção de novas técnicas e estudos de mobilidade de usuários dentro da rede. A investigação de descobertas de padrões através da abordagem CoUrbD2M juntamente com a implantação do núcleo de rede com o *framework* proposto, permitirá que futuras redes 5G sejam capazes de se orientar pelo contexto, aprendam com a experiência e tomem as melhores decisões de alocação de recursos e planejamento urbano.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES, ao CEFET-MG e à PUC Minas pelo apoio financeiro.

Referências

- Agyapong, P. K., Iwamura, M., Staehle, D., Kiess, W., and Benjebbour, A. (2014). Design considerations for a 5g network architecture. *IEEE Communications Magazine*, 52(11):65–75.
- Altomare, A., Cesario, E., Comito, C., Marozzo, F., and Talia, D. (2014). Trajectory pattern mining over a cloud-based framework for urban computing. In *High Performance Computing and Communications, 2014 IEEE 6th Intl Symp on Cyberspace Safety and Security, 2014 IEEE 11th Intl Conf on Embedded Software and Syst (HPCC, CSS, ICSS), 2014 IEEE Intl Conf on*, pages 367–374. IEEE.
- Altomare, A., Cesario, E., Comito, C., Marozzo, F., and Talia, D. (2017). Trajectory pattern mining for urban computing in the cloud. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 28(2):586–599.
- Aydin, B. and Angryk, R. A. (2016). A graph-based approach to spatiotemporal event sequence mining. In *Data Mining Workshops (ICDMW), 2016 IEEE 16th International Conference on*, pages 1090–1097. IEEE.
- Barlacchi, G., De Nadai, M., Larcher, R., Casella, A., Chitic, C., Torrisi, G., Antonelli, F., Vespignani, A., Pentland, A., and Lepri, B. (2015). A multi-source dataset of urban life in the city of milan and the province of trentino. *Scientific data*, 2.
- Bayir, M. A., Demirbas, M., and Eagle, N. (2009). Discovering spatiotemporal mobility profiles of cellphone users. In *World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks &*

- Workshops, 2009. WoWMoM 2009. IEEE International Symposium on a*, pages 1–9. IEEE.
- Bradley, J. G. and Rashad, S. S. (2010). Mining mobile sequential patterns in wireless cellular networks. In *Technological Developments in Networking, Education and Automation*, pages 597–602. Springer.
- Chen, F., Deng, P., Wan, J., Zhang, D., Vasilakos, A. V., and Rong, X. (2015a). Data mining for the internet of things: literature review and challenges. *International Journal of Distributed Sensor Networks*.
- Chen, M., Zhang, Y., Hu, L., Taleb, T., and Sheng, Z. (2015b). Cloud-based wireless network: Virtualized, reconfigurable, smart wireless network to enable 5g technologies. *Mobile Networks and Applications*, 20(6):704–712.
- Eagle, N., Pentland, A. S., and Lazer, D. (2009). Inferring friendship network structure by using mobile phone data. *Proceedings of the national academy of sciences*, 106(36):15274–15278.
- Fayyad, U., Piatetsky-Shapiro, G., and Smyth, P. (1996). The kdd process for extracting useful knowledge from volumes of data. *Communications of the ACM*, 39(11):27–34.
- Gaber, M. M., Gama, J., Krishnaswamy, S., Gomes, J. B., and Stahl, F. (2014). Data stream mining in ubiquitous environments: state-of-the-art and current directions. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 4(2):116–138.
- I, C. L., Liu, Y., Han, S., Wang, S., and Liu, G. (2015). On big data analytics for greener and softer ran. *IEEE Access*, 3:3068–3075.
- ITU (2015). Recommendation itu-r m.2380-0: Imt vision – framework and overall objectives of the future development of imt for 2020 and beyond. <http://www.itu.int/rec/R-REC-M.2083>.
- Malik, A., Qadir, J., Ahmad, B., Yau, K.-L. A., and Ullah, U. (2015). Qos in ieee 802.11-based wireless networks: a contemporary review. *Journal of Network and Computer Applications*, 55:24–46.
- Montevecchi, A. L. D. and Zárate, L. E. (2012). Pictorea: um método para descoberta de conhecimento em bancos de dados convencionais. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Informática) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- More, J. S. and Lingam, C. (2015). Reality mining based on social network analysis. In *Communication, Information & Computing Technology (ICCICT), 2015 International Conference on*, pages 1–6. IEEE.
- Pictorea (2012). Método pictorea. <http://www.montevecchi.com.br/SPEM/>.
- Weka (2016). Data mining - weka. <http://community.pentaho.com/projects/data-mining/>.
- Zheng, Y., Capra, L., Wolfson, O., and Yang, H. (2014). Urban computing: concepts, methodologies, and applications. *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology (TIST)*, 5(3):38.

Realização



Apoio Fomento



Apoio Institucional



Patrocinador Diamante



Patrocinador Ouro



Patrocinador Bronze

