

DIEGO SANCHEZ GALLO

**MONITORAMENTO COLABORATIVO PARA CIDADES
INTELIGENTES**

Tese apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção
do Título de Doutor em Ciências.

São Paulo
2016

DIEGO SANCHEZ GALLO

**MONITORAMENTO COLABORATIVO PARA CIDADES
INTELIGENTES**

Tese apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção
do Título de Doutor em Ciências.

Área de Concentração:
Engenharia de Computação

Orientadora:
Tereza Cristina Melo de Brito Carvalho

São Paulo
2016

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, _____ de _____ de _____

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catálogo-na-publicação

Gallo, Diego Sanchez
Monitoramento Colaborativo para Cidades Inteligentes / D. S. Gallo --
versão corr. -- São Paulo, 2016.
139 p.

Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais.

1.Sistemas Colaborativos 2.Sistemas Distribuídos 3.Inteligência Artificial
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de
Engenharia de Computação e Sistemas Digitais II.t.

Às pessoas mais importantes da minha vida: minha esposa querida,
meu filho amado e meus pais.

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros votos de agradecimento a todos aqueles que contribuíram para a realização deste trabalho, em especial:

À minha orientadora, Tereza Cristina Melo de Brito Carvalho, pela orientação e apoio nas diversas etapas desta pesquisa.

Aos professores que participaram do meu exame de qualificação, Anna Helena Reali Costa e Wilson Vicente Ruggiero, pelos valiosos comentários e por todo o apoio para que este trabalho fosse concluído com sucesso.

Aos colegas de trabalho da IBM *T.J. Watson Research Center*, da IBM *Research* Brasil, e da EMC, pelo incentivo e apoio durante todos estes anos.

Aos meus amigos, pela força nos momentos de angústia, e pela compreensão nos momentos em que não consegui estar tão presente quanto gostaria.

À minha esposa, Thais, pela compreensão em momentos de estresse, por sempre apoiar minhas decisões e por não me deixar desistir em momentos de incerteza, desânimo e cansaço.

Ao meu filho amado, Pedro, pelas noites que passamos em claro juntos e por ter ficado quietinho no meu colo enquanto eu escrevia e revisava a tese.

Aos meus pais Claudio e Cristina, que me criaram e educaram, responsáveis pela formação de meu caráter.

Aos meus irmãos Rodrigo e Gustavo, e à toda minha família, pelo apoio incondicional.

E a tantos outros que colaboraram, direta ou indiretamente, mesmo que sem saber, com a conclusão desta pesquisa.

RESUMO

Monitoramento participativo representa um novo paradigma de coleta de dados de sensores, focado na extração e utilização de dados gerados pelas pessoas. Iniciativas baseadas neste conceito estão se tornando essenciais para projetistas de infraestruturas urbanas inteligentes, uma vez que possibilitam a captura de diversos tipos de informação relevante que não poderia ser capturada por sensores físicos tradicionais. Uma grande quantidade de publicações e projetos associados a este tópico surgiu nos últimos anos, e com eles a necessidade de se organizar e classificar tais trabalhos apropriadamente. Neste trabalho é proposta uma taxonomia para iniciativas de monitoramento colaborativo, ilustrando cada uma de suas dimensões a partir de um extenso levantamento bibliográfico da área. O esquema proposto adicionalmente suporta a identificação e estimula o desenvolvimento de projetos, utilizando mecanismos de coleta de dados ainda não explorados. Focando no monitoramento colaborativo ativo realizado a partir de aplicativos móveis, este trabalho apresenta uma linguagem formal para especificação de novas iniciativas de monitoramento colaborativo, e uma plataforma implementada para interpretar as especificações descritas por meio de tal linguagem e instanciar tanto os aplicativos de coleta de dados quanto os servidores de aplicação para receber, validar e visualizar tais dados, facilitando a criação de novos aplicativos até mesmo por indivíduos sem qualquer conhecimento em desenvolvimento de *software*. Um experimento foi realizado utilizando tal plataforma para mapear condições de acessibilidade das ruas e calçadas de uma região de quatro quilômetros quadrados na cidade de São Paulo, no qual a cobertura completa da região foi obtida por oito voluntários em menos de três horas. Tal experimento ilustra a efetividade deste tipo de tecnologia, uma vez que a cidade de São Paulo, com aproximadamente mil e quinhentos quilômetros quadrados, poderia ser mapeada por apenas três mil pessoas no mesmo período de três horas. Concluindo este trabalho, uma generalização da solução é discutida, demonstrando a possibilidade de uso da mesma plataforma em outros cenários, diferentes das cidades inteligentes, como por exemplo o monitoramento colaborativo de riscos de acidentes no trabalho em fábricas, entre outros. Finalmente, apresenta-se um direcionamento de trabalhos futuros para o desenvolvimento de sistemas de suporte à decisão, com base nos dados de monitoramento colaborativo, e para o uso de tecnologias de *Big Data* na captura, agregação, análise e extração de conhecimento dos dados de diferentes tipos de monitoramento colaborativo apresentados na taxonomia, incluindo dados de redes sociais, sensores físicos e derivados do processamento de imagens.

ABSTRACT

Citizen sensing is a new sensor-based data collection paradigm and is focused on the extraction of data generated by people. Initiatives based on this concept are becoming crucial for designers of intelligent urban infrastructures, since they enable the collection of several types of relevant data that cannot be properly captured by traditional physical sensors. A large number of articles and projects associated to the topic appeared over the last few years, and with them the need for properly classify and organize these works. In the current work, we propose a taxonomy of citizen sensing initiatives and illustrate each of its dimensions through a survey of recent articles in the area. The proposed scheme also supports the identification and stimulates the development of projects addressing data collection methodologies that have not been properly explored so far. Focusing on active citizen sensing through mobile applications, we present a specification language designed to allow the description of such applications, and a platform implemented to interpret specifications described using this language and instantiate both the mobile app for data collection as well as the backend server to receive, validate and visualize the data, facilitating the conception and 'implementation' of new apps even by people without any knowledge about software development. We also report a real-world experiment in which we used our platform to map accessibility conditions of streets and sidewalks located in a four square kilometers area in São Paulo, Brazil, showing that a full coverage was obtained with the support of eight volunteers after only three hours. Such experiment illustrates the effectiveness of the technology, since the city of São Paulo, with an area of approximately fifteen hundred square kilometers, could be mapped by only three thousand people over the same three hours interval. Concluding this work, a generalization of the solution is discussed, demonstrating the applicability of the same platform in scenarios other than smart cities, such as participatory sensing for risk of work accidents in manufacturing companies, and others. Finally, we present some directions for future work at the development of Decision Support Systems based on information from citizen sensing, and the usage of Big Data technologies for capturing, aggregating, analyzing, and extracting knowledge from data generated by the different types of citizen sensing techniques presented in the taxonomy, including data from social networks, physical sensors, and image processing.

SUMÁRIO

Lista de Ilustrações

Lista de Tabelas

Lista de Abreviaturas e Siglas

1	Introdução	15
1.1	Objetivos	20
1.2	Organização do Trabalho e Contribuições	20
2	Proposta de uma Taxonomia para Monitoramento Colaborativo	23
2.1	Taxonomias Relacionadas	24
2.2	Taxonomia Proposta	30
2.2.1	Interação do Usuário	31
2.2.2	Ciência do Usuário	32
2.2.3	Significância do Dado	34
2.2.4	Homogeneidade do Dado	35
2.2.5	Motivação	37
2.2.6	Privacidade	39
2.3	Aplicação da Taxonomia nos Trabalhos Existentes	40
2.4	Outros Aspectos Relevantes	43

2.4.1	Aspectos Técnicos	43
2.4.2	Qualidade dos Dados e Reputação dos Usuários	45
2.5	Considerações Finais sobre a Taxonomia	49
3	Visão Geral de Sistemas para Monitoramento Colaborativo	51
3.1	Componentes de um Sistema de Monitoramento Colaborativo	51
3.1.1	Camada de Coleta de Dados	52
3.1.2	Camada de Processamento de Dados	53
3.1.3	Camada de Visualização	54
3.1.4	Camada de Armazenamento	55
3.1.5	Camada de Informação Geográfica	56
3.1.6	Interfaces de Comunicação	57
3.2	Relação da Taxonomia com cada Componente	57
3.3	Considerações Finais sobre os Componentes de Sistemas de Monitoramento Colaborativo	59
4	Linguagem para Especificação de Aplicações de Monitoramento Colaborativo	61
4.1	Requisitos da Linguagem	62
4.2	Linguagens Existentes Relacionadas	62
4.3	Gramática	65
4.4	Considerações Finais sobre a Linguagem Apresentada	69
5	Sistema para Monitoramento Colaborativo Ativo	70

5.1	Especificação de Requisitos	70
5.1.1	Requisitos Funcionais (RFs)	70
5.1.2	Requisitos Não-Funcionais (RNFs)	71
5.2	Visão Geral do Sistema	72
5.3	Detalhamento da Implementação	76
5.3.1	Resumo da Interface REST	80
5.3.2	Filtros para Consultas Utilizando a Interface REST	81
5.3.2.1	Filtragem de Categorias	81
5.3.2.2	Filtragem de Relatos	81
5.3.3	Modelo de Dados	82
5.4	Considerações Finais sobre o Sistema Implementado	86
6	Aplicação do Sistema em um Caso Real	87
6.1	Aplicativo Rota Acessível	87
6.2	Experimento Utilizando o Rota Acessível	92
6.2.1	Participantes	92
6.2.2	Materiais	93
6.2.3	Desenho do Experimento	93
6.2.4	Procedimento	94
6.2.5	Análise dos Dados	94
6.3	Aplicabilidade do Sistema em Outros Cenários	96

6.4	Considerações Finais sobre o Experimento e a Aplicabilidade do Sistema Implementado	97
7	Considerações Finais	99
7.1	Contribuições	99
7.2	Trabalhos Futuros	102
7.2.1	Sistemas de Suporte à Decisão	103
7.2.2	Arquitetura Utilizando Tecnologias de <i>Big Data</i>	105
	Referências	107
	Apêndice A - Interface REST detalhada	119
A.1	Listar Todas as Aplicações	119
A.2	Obter uma Aplicação	120
A.3	Criar uma Nova Aplicação	121
A.4	Atualizar uma Aplicação	122
A.5	Remover uma Aplicação	122
A.6	Listar Todas as Categorias	122
A.7	Obter uma Categoria	123
A.8	Criar uma Nova Categoria	124
A.9	Atualizar uma Categoria	124
A.10	Remover uma Categoria	125
A.11	Listar Todos os Relatos de uma Categoria	126
A.12	Criar um Novo Relato	127

A.13 Listar Todos os Relatos	128
A.14 Obter um Relato	129
A.15 Atualizar um Relato	130
A.16 Remover um Relato	131
A.17 Listar Todos os Relatos de um Dispositivo	131
A.18 Listar Todas as Medidas	132
A.19 Listar Todas as Medidas de um Atributo	133
Apêndice B - JSON de definição do aplicativo Rota Acessível	134
Apêndice C - JSON de um Relato	139

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

1	Dimensões da taxonomia proposta.	31
2	Visão geral sobre os componentes de um sistema de monitoramento colaborativo.	52
3	Diagrama ilustrativo da gramática	66
4	Visão geral dos componentes da solução implementada	73
5	Processo de interpretação das descrições formais	75
6	Arquitetura do sistema implementado	76
7	Diagrama de Entidade-Relacionamento do sistema	83
8	Condições das calçadas na cidade de São Paulo relatadas por meio do aplicativo Rota Acessível.	88
9	Telas do aplicativo Rota Acessível.	90
10	<i>Website</i> do experimento Rota Acessível.	91
11	Região abrangida pelo experimento Rota Acessível.	93
12	Aplicabilidade do sistema em outros cenários.	97

LISTA DE TABELAS

1	Classificação aplicada às iniciativas pesquisadas no levantamento bibliográfico	41
2	Resumo da interface REST do sistema	80
3	Opções de filtros para a lista de categorias	81
4	Opções de filtros para a lista de relatos	82
5	Resultados do experimento	95

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AACD	Associação de Assistência à Criança Deficiente
APAE	Associação de Pais e Amigos dos Excepcionais
API	<i>Application Programming Interface</i>
ASCII	<i>American Standard Code for Information Interchange</i>
BNF	<i>Backus–Naur Form</i>
CET	Companhia de Engenharia de Tráfego
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
DBaaS	<i>DataBase-as-a-Service</i>
DSS	<i>Decision Support Systems</i>
ECMA	<i>European Computer Manufacturers Association</i>
FDA	<i>Food and Drug Administration</i>
FPGA	<i>Field-Programmable Gate Array</i>
GIS	<i>Geographic Information System</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
HTML	<i>HyperText Markup Language</i>
HTTP	<i>HyperText Transfer Protocol</i>
IaaS	<i>Infrastructure-as-a-Service</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

JSON	<i>JavaScript Object Notation</i>
LAN	<i>Local Area Networks</i>
MIT	<i>Massachussets Institute of Technology</i>
MVC	<i>Model-View-Controller</i>
PaaS	<i>Platform-as-a-Service</i>
PAN	<i>Personal Area Networks</i>
PerDM	<i>Personal Data Mining</i>
PPTD	<i>Privacy-Preserving Truth Discovery</i>
REST	<i>REpresentational State Transfer</i>
RDBMS	<i>Relational DataBase Management System</i>
RF	Requisito Funcional
RFC	<i>Request for Comments</i>
RNF	Requisito Não-Funcional
SQL	<i>Structured Query Language</i>
UDID	<i>Unique Device IDentifier</i>
URI	<i>Uniform Resource Identifier</i>
URL	<i>Uniform Resource Locator</i>
USP	Universidade de São Paulo
XML	<i>eXtensible Markup Language</i>
WAN	<i>Wide Area Networks</i>

1 INTRODUÇÃO

Os grandes centros urbanos, principalmente nos países em desenvolvimento, enfrentam inúmeros problemas, tais como lixo jogado em locais impróprios, buracos nas ruas, má conservação das calçadas, trânsito, pontos de alagamento, iluminação pública defeituosa, focos de dengue, semáforos com defeito, entre outros. Devido à falta de canais de comunicação adequados entre os cidadãos e os gestores da cidade, muitas vezes os gestores não ficam cientes de problemas graves enfrentados pelas pessoas no seu dia-a-dia, dificultando a identificação e a resolução de tais problemas, bem como o planejamento mais apropriado de investimentos para prevenção e solução desses problemas.

Alguns desses problemas, tais como congestionamentos, alagamentos, falta de iluminação pública adequada, semáforos inoperantes, *etc.*, podem ser satisfatoriamente monitorados com o suporte de dados coletados por sensores físicos. No entanto, alguns tipos de problemas são intrinsecamente difíceis de identificar por meio de técnicas tradicionais de sensoriamento automatizado (*e.g.*, manifestações que afetam o trânsito, lixo despejado em locais impróprios, buracos nas ruas e avenidas, má conservação das calçadas). Adicionalmente, a instalação e a manutenção de redes de sensores físicos podem ser custosas e demandar muito tempo para implantação, sendo, portanto, proibitivas para centros urbanos de países emergentes como, por exemplo, a cidade de São Paulo. Além disso, a experiência urbana ideal só pode ser alcançada se as necessidades, intenções e desejos dos cidadãos forem completamente entendidos. Isso exige um tipo

de informação que não pode ser facilmente obtido se as pessoas não estiverem envolvidas no processo. Portanto, identificar uma maneira factível de se coletar dados gerados pelos cidadãos é requisito para qualquer governo que queira priorizar adequadamente os problemas de infraestrutura a serem tratados, e que deseje criar uma infraestrutura urbana inteligente.

Desde 2006, quando o termo “monitoramento colaborativo” (“*participatory sensing*”) foi introduzido por Burke et al. (2006), diversos trabalhos propuseram e desenvolveram a ideia de utilizar *cidadãos como sensores*. Outros dois termos utilizados na literatura para se referir a aplicações de monitoramento colaborativo são “*crowd sensing*” e “*citizen sensing*”. Embora ambos sejam utilizados com frequência intercambiavelmente, o primeiro possui uma conotação associada ao monitoramento de multidões para descoberta de padrões ou tendências, enquanto que o segundo é geralmente associado à coleta por cidadãos de dados com significância para a própria comunidade. Ao longo deste trabalho, o termo “monitoramento colaborativo” será utilizado da maneira mais genérica, englobando ambas as definições.

O monitoramento colaborativo ganhou força e disseminou-se principalmente devido à popularização dos *smartphones*, i.e., dispositivos móveis com acesso à Internet e sensores integrados (e.g., microfone, câmera, GPS e acelerômetro, entre outros) que possibilitam que tais problemas sejam relatados pelos próprios cidadãos, ativa ou passivamente, assim que vivenciados pelos mesmos em seu cotidiano, facilitando a comunicação e a visibilidade dos problemas para os gestores da cidade. No entanto, ao mesmo tempo que o engajamento dos cidadãos possibilita identificar uma quantidade maior de problemas, parte destes dados pode estar incorreta ou imprecisa, dificultando qualquer análise sobre os mesmos. Processar, analisar e extrair conhecimento desses dados, identificando quais eventos ou problemas são mais relevantes e prioritários de serem resolvidos,

torna-se, então, ainda mais desafiador.

O surgimento do monitoramento colaborativo levou a significativas transformações no relacionamento entre cidadãos e seus governantes. Para os indivíduos tornou-se muito mais fácil contribuir, participar e retroalimentar as iniciativas do governo, uma vez que tais tarefas podem ser realizadas rápida e facilmente por meio de aplicações móveis. Para os governantes, possibilitou uma maneira rápida e barata de coletar dados e verificar o impacto de suas ações sobre a cidade e seus cidadãos. Adicionalmente, iniciativas como o Open Data Challenge (The Guardian, 2011) na União Europeia, e Maratona Hacker de Dados Abertos (Catraca Livre, 2012) em São Paulo, Brasil, têm demonstrado que os governantes também podem obter informações valiosas tornando seus dados não confidenciais publicamente disponíveis.

Smartphones podem, também, ser utilizados como canal de comunicação pelo qual os administradores das cidades podem transmitir notificações e recomendações. Portanto, é possível construir soluções de monitoramento colaborativo nas quais tanto os governantes quanto a população possuam motivações bem definidas para contribuir com seus dados.

Estas novas possibilidades de interação direta entre cidadãos e governo sustentam a tendência de desintermediação do governo e de adoção do Governo 2.0, uma referência a Web 2.0, no qual políticas governamentais almejam aumentar a participação dos cidadãos por meio tecnologias colaborativas, utilizando plataformas abertas para aumentar transparência e eficiência, e elevando a governança cívica. Diversos *frameworks* estão sendo propostos para auxiliar na criação, organização e implementação de tais iniciativas. Nam (2012b) apresenta um método para estruturar e validar projetos de monitoramento colaborativo, em torno de três dimensões: o propósito da iniciativa, o tipo de informação coletada, e a estratégia motivacional, enquanto Sun, Ku e Shih

(2014) apresentam uma visão mais sistêmica sobre a integração entre os diversos componentes do Governo 2.0, propondo um *framework* para auxiliar a implementação de tal modelo de governo.

Nam (2012a) utiliza dados de pesquisas dos Estados Unidos para identificar, de maneira estatística, a correlação entre a percepção e o uso de ferramentas de e-gov, a confiança no governo, o uso de tecnologia, a afiliação política e a demografia da região com a atitude dos cidadãos frente às iniciativas de Governo 2.0. Adicionalmente, Matheus, Ribeiro e Vaz (2015) apresentam a estratégia e as iniciativas existentes do governo brasileiro para este novo modelo, a partir dos princípios de *Open Government Data* e *Open Linked Data*.

Neste cenário, o conceito de cidadania é redefinido, uma vez que o relacionamento do indivíduo com o governo é alterado. Conforme explorado por Linders (2012), o cidadão assume um papel de parceiro no provimento de serviços públicos, em vez de somente consumidor. Um exemplo concreto interessante é apresentado no estudo de Offenhuber (2014), no qual é examinado como os princípios fundamentais da concepção de iniciativas de monitoramento colaborativo que utilizam o padrão Open311 (2014)¹ para governança de infraestrutura facilitam a interação entre cidadãos e governantes.

Por um lado, o engajamento dos cidadãos traz informações valiosas para identificar e tratar as necessidades de infraestrutura, enquanto por outro lado traz um cenário com um tipo diferente de incerteza. Similar aos sensores físicos, tipicamente propensos a erros devido às limitações dos materiais que os constituem, dados coletados pelos cidadãos são inerentemente subjetivos, frequentemente imprecisos, e potencialmente incorretos. Portanto, o processamento, a análise e a extração de conhecimento de tal dado é uma tarefa

¹Open311 é uma especificação de plataforma aberta cujo objetivo principal é a coordenação de um modelo padronizado, aberto, de leitura e escrita, por meio do qual cidadãos podem relatar problemas não-emergenciais.

desafiadora que requer ferramentas e técnicas desenvolvidas sob demanda para cada cenário.

Em 2010, Lane, Miluzzo e Lu (2010) apresentaram diversos cenários onde *smartphones* de cidadãos voluntários foram usados para coletar dados, juntamente com as técnicas aplicadas para tornar cada abordagem efetiva. Adicionalmente, projetos dedicados a questões ambientais, vigilância, e gerenciamento de crise foram estudados por Kamel Boulos et al. (2011). Uma vez que esta área tornou-se um tópico de pesquisa bastante ativo nos últimos anos e diversos artigos e novos projetos surgiram, um dos objetivos deste trabalho é complementar esses estudos anteriores analisando várias publicações e iniciativas recentes mais relevantes.

Embora existam muitos trabalhos desenvolvidos nesta área desde então, a maioria trata cenários específicos de monitoramento colaborativo, coletando dados específicos para uma determinada aplicação ou propósito (FAULKNER et al., 2011; PAN; WILKIE; SHAHABI, 2013; CORSAR et al., 2013), exibindo somente os resultados imediatos provenientes dos dados coletados sem explorar a fundo as diversas possibilidades de combinar tais informações com outras fontes de informação.

Outros trabalhos, como os realizados por Agarwal et al. (2013) e por Hu et al. (2013), desenvolveram infraestrutura, ferramentas e *middleware* para permitir e facilitar a coleta de dados por intermédio de *smartphones*. Diversos desses trabalhos focam nos desafios relacionados ao consumo excessivo de energia dessas aplicações móveis que dependem de informação proveniente de sensores que podem afetar significativamente a duração da bateria desses dispositivos. Outros ainda, *e.g.*, Rege (2013), propuseram *frameworks* para emular a dinâmica comportamental de monitoramento colaborativo como forma de avaliar a escalabilidade de tais sistemas no que tange à capacidade de receber

e processar toda a informação que os cidadãos gerarão. Tal avaliação, realizada antes de se colocar o sistema em produção, permite assegurar que o sistema escalará adequadamente, além de possibilitar o provisionamento da infraestrutura necessária para a demanda estimada.

1.1 Objetivos

Com base no cenário e nas motivações apresentados anteriormente, os objetivos principais deste trabalho são: a **organização dos trabalhos existentes** de monitoramento colaborativo por meio da **criação de uma taxonomia** para classificação das dimensões exploradas em cada iniciativa, permitindo um melhor entendimento do que já existe na área e potenciais lacunas ainda não desbravadas; a **criação de uma linguagem** para estruturar de maneira formal a descrição de aplicações de monitoramento colaborativo ativo; e o **desenvolvimento de um interpretador** para tal linguagem que permita, a partir de uma descrição formal, tanto a customização de uma aplicação móvel para coleta dos dados desejados quanto o provisionamento de recursos (*i.e.*, servidores) para receber, processar e armazenar tais dados.

1.2 Organização do Trabalho e Contribuições

Os resultados do levantamento bibliográfico realizado neste trabalho motivaram o desenvolvimento de uma nova taxonomia para monitoramento colaborativo, publicada por Gallo et al. (2014), mais adequada para classificar os projetos recentes do que outras taxonomias propostas anteriormente, dado que estas não tratam, ao mesmo tempo, aspectos referentes à coleta dos dados, à maneira como estes são utilizados e aos aspectos que promovem o engajamento das pessoas nas iniciativas. Esta taxonomia é apresentada no capítulo 2, e sua

aplicação aos trabalhos estudados possibilitou: (i) fazer uma análise comparativa, realçando similaridades e diferenças entre os mesmos, (ii) estender a lista de iniciativas avaliadas para exemplificar cada parâmetro das dimensões definidas na taxonomia, e (iii) identificar possibilidades promissoras para trabalhos futuros. Agrupando explicitamente projetos com cenários de uso similares, a taxonomia tem um papel importante na seleção de características desejáveis para novas iniciativas de monitoramento colaborativo.

A partir de tal taxonomia, os componentes que constituem sistemas para monitoramento colaborativo são apresentados no capítulo 3, vinculando cada componente aos aspectos da taxonomia. Após esta visão geral sobre a área, este trabalho foca em iniciativas de monitoramento colaborativo *ativo e consciente*², a partir de aplicações móveis para coleta de dados com valor individual e usando responsabilidade cívica como motivação principal. Com base nisso, surge a necessidade e a oportunidade de se estruturar de maneira formal a descrição de tais sistemas. Desenvolveu-se, então, uma linguagem, apresentada no capítulo 4, que permite a especificação de uma nova aplicação de coleta de dados dentro do contexto de monitoramento colaborativo, detalhando-se tanto o modo como o dado será coletado quanto o protocolo de comunicação utilizado para transmitir os relatos para o servidor e a validação que o servidor executa sobre a consistência dos dados coletados.

Foi desenvolvido, ainda, como parte deste trabalho, um sistema para interpretar tal linguagem, apresentado no capítulo 5, que permite a criação e a especificação de novas aplicações de monitoramento colaborativo sem a necessidade de qualquer codificação (tanto do aplicativo móvel quanto do servidor para suportar a coleta de dados). Para validar tal sistema, uma aplicação que

²Classe de iniciativas de monitoramento colaborativo na qual os usuários relatam situações *ativamente*, e de maneira *consciente*, *i.e.*, sabendo quais dados estão sendo coletados. Maiores detalhes são discutidos na descrição da taxonomia proposta neste trabalho.

permite o relato de problemas de acessibilidade foi desenvolvida e experimentada com um grupo de voluntários de instituições que auxiliam pessoas com deficiência. O experimento realizado e seus resultados são apresentados no capítulo 6.

Concluindo este trabalho, considerações finais são delineadas no capítulo 7, recapitulando as contribuições deste trabalho e apresentando diversas possibilidades futuras de pesquisa.

2 PROPOSTA DE UMA TAXONOMIA PARA MONITORAMENTO COLABORATIVO

Pode-se dizer que o conceito de monitoramento colaborativo surgiu em 2006, com as primeiras publicações sobre o assunto sugerindo o uso de sensores por cidadãos (BURKE et al., 2006; CAMPBELL et al., 2006). Estes trabalhos introduziram a ideia da criação de redes de sensores sem fio envolvendo os dispositivos carregados pelos participantes durante suas atividades diárias, com a finalidade de se estabelecer uma infraestrutura de coleta de dados colaborativa.

Em 2008, Cuff, Hansen e Kang (2008) discutiram a difusão do uso de sensores. Anteriormente empregados em iniciativas de preservação de áreas rurais, florestas e rios, o monitoramento do ambiente começou a se expandir rapidamente nas áreas urbanas, principalmente devido à popularização de dispositivos móveis equipados com os mais diversos tipos de sensores. Miluzzo et al. (2008) introduziram o *CenceMe*, uma das primeiras aplicações para *smartphones* capazes de “sentir” o ambiente. *CenceMe* tenta identificar o contexto do usuário (e.g., se a pessoa está caminhando, na academia ou em uma festa) para publicar tal informação nas redes sociais automaticamente.

Qualquer maneira organizada de se obter informações sobre os cidadãos e suas interações com a cidade pode ser interpretada como monitoramento colaborativo. Na literatura, existem diversos trabalhos que propõem plataformas de propósito geral para o monitoramento colaborativo, suportando a coleta de dados a partir de *smartphones* (SHETH, 2009; AMINI et al., 2011; KOCH et al.,

2013; HU et al., 2013). No entanto, existem diferenças significativas entre as muitas iniciativas atuais. A necessidade de um mecanismo de classificação que permita a distinção apropriada de cada iniciativa é a motivação para a taxonomia apresentada neste trabalho.

2.1 Taxonomias Relacionadas

Paulos, Honicky e Hooker (2009) apresentam uma taxonomia que endereça o relacionamento entre os sensores e os dispositivos móveis em iniciativas de monitoramento colaborativo. As classes de sensores utilizadas são apresentadas a seguir:

- **Embarcados:** sensores embarcados em determinado local ou dispositivo, tais como sensores embarcados em estruturas de concreto fazendo o monitoramento de corrosão das mesmas (MARTÍNEZ; ANDRADE, 2009); os diversos sensores embarcados em veículos para monitoramento da velocidade, funcionamento do motor ou pressão dos pneus; ou, ainda, sensores embarcados em *smartphones*, como acelerômetros, GPS (*Global Positioning System*), giroscópio, magnetômetro, microfone, câmera, entre outros.
- **Vestíveis:** sensores que são vestidos no corpo, por exemplo, por meio de uma jaqueta ou óculos, e estão conectados ao celular do usuário por meio de uma conexão sem fio. Um exemplo dessa classe de sensores é um sistema de sensor de pressão e acelerômetro no tênis do usuário utilizado para classificar a atividade que está executando (*e.g.*, sentado, de pé ou caminhando), para auxiliar na recuperação de pacientes que sofreram ataques cardíacos (SAZONOV et al., 2009).
- **Deixados para trás (“Left behind”):** sensores de baixíssimo consumo de

energia e baixo custo que são “deixados para trás” para realizar medidas que são coletadas na próxima visita ou encontro do usuário com o sensor. Pode-se citar como exemplo sensores de detecção de nível de radiação ultravioleta deixados em um parque ou praia e recuperados em uma próxima visita.

- **Dispersos temporariamente (“Temporarily scattered”):** sensores que são espalhados numa determinada área e utilizados por um indivíduo enquanto estão em um mesmo contexto. Um exemplo desta classe são sensores de qualidade do ar que uma pessoa use para instrumentar uma sala de aula ou escritório, enquanto frequenta tal ambiente, para monitorar o ar que está respirando naquele momento, mas que recolha e leve embora consigo quando deixar o ambiente.
- **Infraestrutura:** sensores tipicamente energizados, altamente calibrados, e estáticos no ambiente urbano, que transmitem os dados coletados por meio de redes de comunicação globais (*Wide Area Networks – WAN*), locais (*Local Area Networks – LAN*) ou pessoais (*Personal Area Networks – PAN*). Exemplos são os sensores de estações meteorológicas, sensores de trânsito e contagem de veículos nos cruzamentos, entre outros.

Esta taxonomia apresenta aspectos importantes sobre o modo como o sensor é utilizado. No entanto, este esquema de classificação não considera elementos essenciais associados à coleta de dados e ao usuário final.

Na literatura sobre *crowdsourcing* e a interação homem-computador, três outras taxonomias relevantes para o contexto de monitoramento colaborativo foram encontradas. Geiger, Rosemann e Fielt (2011) utilizam quatro perguntas básicas de concepção de sistemas para analisar as características das iniciativas: “o que está sendo feito?”, referindo-se às contribuições que os usuários podem

realizar; “quem está fazendo?”, atribuindo o público alvo da iniciativa; “por que estão fazendo?”, identificando os incentivos e a motivação; e “como está sendo feito?”, indicando o processo de agregação e consolidação das contribuições. A partir destas questões, os sistemas existentes são classificados de acordo com o valor de cada pedaço de informação coletada (individual vs. coletivo) e com a maneira como pesos são atribuídos aos pedaços de informação quando estes são agrupados (homogêneo vs. heterogêneo).

Adicionalmente, Quinn e Bederson (2011) situam computação humana com respeito a *crowdsourcing*, computação social e inteligência coletiva, e definem um esquema de classificação utilizando como dimensões: motivação, controle de qualidade, agregação, habilidades humanas, ordem de processamento e cardinalidade das requisições de tarefas.

Com base nestes dois últimos trabalhos citados, Chatzimilioudis et al. (2012) propuseram uma taxonomia para iniciativas de *crowdsourcing* via *smartphones*. Tal esquema de classificação utiliza as seguintes dimensões:

- **Extensão da web (“Web-extend”)**: se o sistema é uma extensão de determinada aplicação *web* ou uma aplicação completamente nova;
- **Envolvimento**: se o usuário é ativo na computação e na geração de dados (participativo), ou a computação é desempenhada automaticamente com dados capturados por sensores (oportunistico);
- **Significância do dado (“Data wisdom”)**: se o dado possui valor individualmente ou somente quando agrupado com outras contribuições (coletivamente);
- **Qualidade da contribuição**: se as contribuições possuem o mesmo valor (homogêneas) ou são comparadas com, competem com, ou complementam outras contribuições (heterogêneas);

- **Incentivos:** as razões que fazem com que as pessoas utilizem a aplicação, tais como monetárias, éticas, entretenimento ou troca de serviços. Como exemplo pode-se citar o trabalho de Quinn e Bederson (2011) que sugere como incentivos: pagamento, altruísmo, prazer, reputação, trabalho implícito;
- **Habilidades humanas:** consideram as habilidades utilizadas, tais como reconhecimento visual, compreensão de linguagem e comunicação humana básica.

A ciência do usuário sobre os dados sendo coletados e as questões de privacidade com relação à identificação do usuário não são consideradas nesta taxonomia. Adicionalmente, algumas das dimensões propostas nesta classificação não são genéricas ou relevantes o suficiente para serem utilizadas em iniciativas de monitoramento colaborativo. A dimensão *extensão da web* (“*Web-extend*”), por exemplo, não distingue técnicas de monitoramento colaborativo diferentes, mas somente indica o histórico das aplicações (i.e., se foram criadas originalmente na Web e, posteriormente, estendidas com uma aplicação móvel). Outro exemplo é a dimensão *habilidades humanas*, que não descreve a atividade de monitoramento em si, mas sim os indivíduos capazes de participar de determinada tarefa colaborativa.

Mais recentemente, Rehman et al. (2015) apresentaram em um estudo conduzido sobre Mineração de Dados Pessoais (PerDM - *Personal Data Mining*), no escopo de *quantified-self*¹, no qual introduzem uma taxonomia específica para tal cenário. Com cinco dimensões, classifica:

¹ *Quantified-self*, cuja tradução literal seria algo como “o eu quantificado” ou “autoquantificação”, refere-se ao autoconhecimento a partir de números, ou seja, medir e coletar dados de suas próprias atividades, para posteriormente analisar e identificar tendências. Um tema frequentemente abordado é a saúde, mas também pode ser utilizado para quantificar o próprio sono, o desempenho em atividades esportivas, entre outros.

- As **fontes de dados de sensores**, de acordo com a localidade do sensor, distinguindo sensores *embarcados* (“*on-board*”), *i.e.*, configurados juntamente com os componente computacionais, tais como CPU (*Central Processing Unit*), memória e armazenamento; e *não embarcados* (“*off-board*”), posicionados em dispositivos vestíveis ou remotos.
- As **fontes de dados não provenientes de sensores**, entre *dados residentes no dispositivo*, *i.e.*, registros de comunicação WiFi, Bluetooth e com as antenas mais próximas da rede celular, e registros relacionados ao uso de bateria, do sistema operacional e do *hardware* do dispositivo; *dados residentes na aplicação*, tais como *cookies* em um navegador de Internet, que armazenam credenciais de acesso e outras informações sensíveis; e *dados de interação do usuário*, incluindo dados de utilização de teclados, microfones e câmeras.
- As **escolhas de desenho e implementação** de sistemas de mineração de dados pessoais, entre *processamento local*, no qual dados são processados no próprio dispositivo; *processamento remoto*, no qual dados são enviados para servidores remotos para processamento e extração de conhecimento devido às limitações computacionais dos dispositivos; ou *processamento integrado*, no qual parte da computação ocorre localmente, e parte em servidores remotos.
- Os **modelos de aplicação de sistemas de mineração de dados pessoais**, distinguindo *mineração de dados em placa específica*, na qual algoritmos de processamento de dados são executados diretamente no circuito do dispositivo, seja ele baseado em FPGA (*Field-Programmable Gate Array*) ou em CPU; *mineração de dados em dispositivos móveis*, na qual dados são coletados em dispositivos móveis, e podem ser processados tanto localmente quanto em servidores remotos; e *mineração de dados em*

ambientes colaborativos, na qual os dispositivos participantes se comunicam e colaboram entre si para realizar a mineração dos dados.

- Os **algoritmos de mineração de dados** classificam o tipo de técnica de aprendizagem de máquina utilizada no processo de mineração dos dados. Identificada pelo autor como a principal dimensão da taxonomia do trabalho, distingue os trabalhos que utilizam *aprendizado supervisionado*, no qual dados previamente classificados são utilizados no treinamento dos modelos de classificação ou regressão; *aprendizado não-supervisionado*, no qual nenhuma informação de classificação é dada a priori e o algoritmo extrai informações de grupos baseado nas características de cada instância; e *aprendizado semi-supervisionado*, que realiza o treinamento de modelos tratando a escassez de dados classificados apropriadamente, misturando características dos algoritmos supervisionados e não-supervisionados.

Esta taxonomia aplica-se para mineração de dados pessoais, mas não atende os requisitos para classificar monitoramento colaborativo, pois não permite diferenciar o tipo de interação do usuário com a aplicação (ativo vs. passivo), não trata ciência do usuário e questões de privacidade dos dados, nem trata a motivação do usuário para contribuir com seus dados, uma vez que o único e exclusivo motivador no paradigma de “*quantified-self*” é ter seus próprios dados para melhor autoconhecimento, por meio de análises e identificação de tendências. Adicionalmente, algumas das dimensões apresentadas possuem sobreposição entre si, tornando a classificação bastante confusa, como é o caso para as dimensões de *escolhas de desenho e implementação*, e *modelos de aplicação de sistemas de mineração de dados pessoais*. Finalmente, com relação à dimensão de *classificação de algoritmos* especificamente, embora interessante, existem na literatura taxonomias específicas para classificar algoritmos de aprendizagem de máquina que podem ser utilizadas na classificação de trabalhos,

tal como a taxonomia apresentada por Carbonell, Michalski e Mitchell (1983).

Conclui-se, portanto, que ainda há a necessidade de um esquema de classificação mais adequado para projetos de monitoramento colaborativo. A seção a seguir apresenta uma taxonomia proposta neste trabalho, permitindo classificar e organizar as iniciativas existentes na área.

2.2 Taxonomia Proposta

Com base nas taxonomias existentes e no levantamento bibliográfico realizado, uma taxonomia para monitoramento colaborativo foi proposta (GALLO et al., 2014) com as seguintes dimensões: (i) *interação do usuário*, (ii) *ciência do usuário*, (iii) *significância individual do dado*, (iv) *homogeneidade do dado*, (v) *motivação* e (vi) *privacidade*.

A figura 1 ilustra as dimensões e valores possíveis para cada dimensão da taxonomia proposta. Cada uma destas dimensões será detalhada e ilustrada nas subseções a seguir, a partir de exemplos do levantamento realizado sobre iniciativas existentes de monitoramento colaborativo.

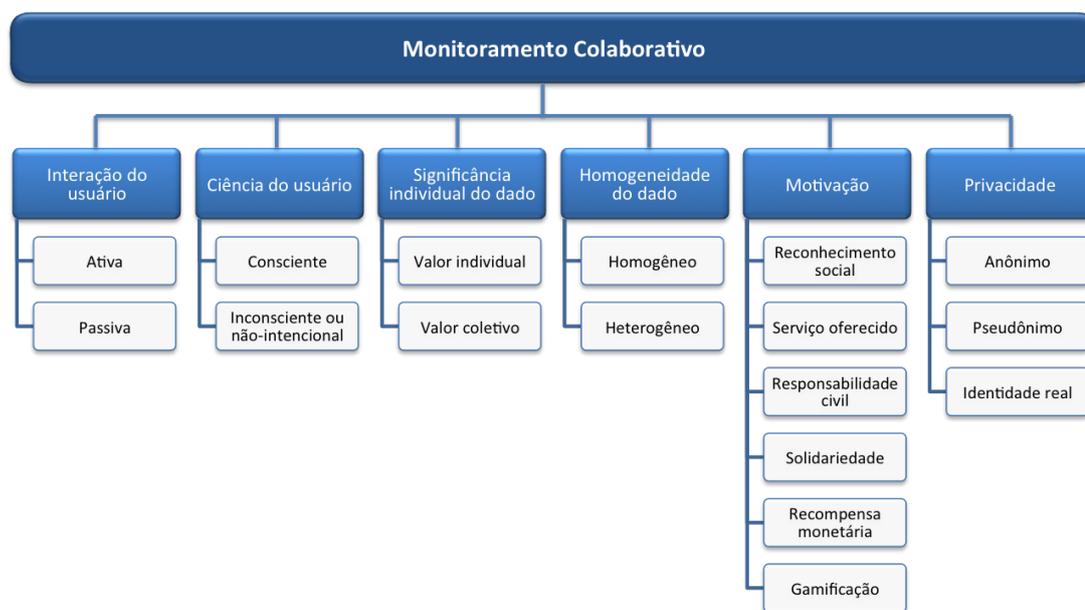


Figura 1: Dimensões da taxonomia proposta.

2.2.1 Interação do Usuário

A primeira dimensão classifica a maneira por meio da qual os usuários participam do processo de coleta de dados:

- **Ativa:** Uma técnica é ativa se ela requer interação direta do usuário no processo, *i.e.*, o indivíduo precisa entrar com parte dos dados para a geração de relatos;
- **Passiva:** Uma técnica de monitoramento passivo baseia-se em sistemas de regras que decidem automaticamente quando os dados devem ser coletados dos sensores para a geração de relatos, sem qualquer necessidade de interação com o usuário.

Como exemplos de aplicações *ativas* podem ser citados o *Creek Watch* (KIM; ROBSON; ZIMMERMAN, 2011), uma aplicação móvel que permite aos usuários monitorarem a situação de riachos, submetendo fotos e a quantidade de água e lixo em córregos; o *IndoorCrowd2D* (CHEN et al., 2015), uma aplicação que

utiliza fotos capturadas e enviadas pelos usuários, juntamente com dados de sensores dos *smartphones*, para reconstruir o interior de construções por meio da combinação de diversas fotos; e o *Rota Acessível* (IBM Research Brazil, 2013), uma aplicação móvel que permite que usuários relatem condições de acessibilidade nas cidades, descrita em mais detalhes no capítulo 6.

Por outro lado, em iniciativas *passivas* de monitoramento colaborativo, usuários precisam no máximo definir quais sensores serão utilizados e a frequência com que tais dados serão capturados e transmitidos. Nesta classe podem ser mencionados o Funf (BEHAVIO, 2011), um *framework* de código aberto que provê aos usuários a habilidade de criar aplicações para *smartphones* Android utilizadas para coletar, periodicamente, informações dos sensores do dispositivo; e o Breacrumb (CARDONHA et al., 2013), uma aplicação Android que foi empregada na detecção de falta de acessibilidade, monitorando passivamente o percurso de pessoas utilizando cadeira de rodas para se locomover.

Vale mencionar que uma mesma aplicação pode ter componentes *passivos* e *ativos*. Um exemplo é apresentado por Pan, Wilkie e Shahabi (2013), que empregam trajetórias geradas por dispositivos de GPS instalados em táxis (*passivo*) e mensagens postadas em uma rede social (*ativo*) para identificar anomalias no trânsito.

2.2.2 Ciência do Usuário

Pode-se, também, classificar relatos relacionados à ciência ou não do usuário sobre o dado que está sendo coletado:

- **Consciente:** Usuários tem conhecimento da informação que está sendo submetida à plataforma de monitoramento colaborativo e como tal informação será utilizada;

- **Inconsciente ou não-intencional:** Usuários não necessariamente possuem conhecimento sobre quais dados estão sendo coletados, sobre como a informação será utilizada, ou que seus dados serão interpretados sob uma perspectiva alternativa, *i.e.*, diferente do propósito original do dado.

HealthMap possui duas aplicações interessantes, *Outbreaks Near Me* (Children's Hospital Boston, 2006) e *MedWatcher* (Children's Hospital Boston, 2010), nas quais os usuários relatam informações de maneira *consciente*. A primeira permite que participantes relatem, visualizem e configurem notificações automáticas informando a ocorrência de epidemias em determinada região. A segunda permite que usuários informem sobre os efeitos colaterais observados no uso de algum medicamento para a *Food and Drug Administration* (FDA) dos EUA e para uma comunidade *online* de pessoas que fazem uso do mesmo medicamento.

Diferentemente, na mineração de dados de comunicação via redes sociais para monitorar condições e necessidades das cidades, como apresentado por Nagarajan, Sheth e Velmurugan (2011), Mendes, Passant e Kapanipathi (2010), Gao e Barbier (2011), usuários não tem conhecimento de que as informações que estão postando podem ser coletadas e utilizadas para extrair informação coletiva sobre um determinado assunto, ilustrando o caso de coleta de dados *não-intencionais*. Diversos artigos, como por exemplo Lamos, Bie e Cristianini (2010), Aramaki, Maskawa e Morita (2011), Achrekar et al. (2011), utilizam mensagens postadas no Twitter para detecção e rastreamento de epidemias de gripe e outras doenças. Outros ainda, como Sheth (2009) e Nagarajan, Sheth e Velmurugan (2011), utilizam mensagens de redes sociais para extrair o conhecimento sobre relacionamentos e a percepção dos usuários sobre grandes eventos. Todos estes exemplos ilustram a utilização de dados relatados, sem que os usuários possuam ciência sobre tal uso da informação.

Existem casos nos quais o processo de coleta de dados é claramente consciente ou inconsciente, mas uma escala contínua é mais adequada para categorizar a ciência do usuário, uma vez que existem aplicações nas quais ambos os aspectos estão presentes, e em diferentes intensidades. Por exemplo, qualquer aplicação de monitoramento colaborativo que captura alguma informação adicional tal como o contexto do usuário, ou interações homem-computador (*e.g.*, onde o usuário clicou ou tocou, por quanto tempo a aplicação foi utilizada, quanto tempo demorou para o usuário preencher os dados de um relato, *etc.*) está na realidade coletando dados inconscientes adicionalmente àqueles explicitamente providos pelos usuários.

2.2.3 Significância do Dado

Adicionalmente, pode-se classificar a significância de cada dado ou relato coletado e enviado ao sistema:

- **Valor individual:** Cada relato possui uma informação que é valiosa por si só, e não precisa ser combinada com outras para ser relevante;
- **Valor coletivo:** Relatos individuais não possuem valor por si só e dependem de alguma forma de processamento e agregação para geração de informação relevante.

Public Stuff (2009) é uma iniciativa que possibilita aos usuários a criação de requisições para diversos problemas (*e.g.*, questões ambientais, reclamação de barulho, buracos nas ruas, problemas com transporte público) e garante que as requisições serão encaminhadas para os órgãos responsáveis. Esta aplicação permite que usuários criem relatos a partir da entrada de dados de alto *valor individual*.

Por outro lado, Faulkner et al. (2011) apresentam uma aplicação de

monitoramento colaborativo para detecção de terremotos e outros eventos raros, a partir da coleta de dados na qual cada relato ou até mesmo todos os relatos de um único dispositivo não possuem relevância por si só. Uma vez que ruído e interferências locais ocorrem frequentemente nas medidas, falso-positivos precisam ser eliminados por meio da comparação e combinação de dados de sensores próximos (*i.e.*, *valor coletivo*) para se obter uma indicação mais precisa e relevante sobre a ocorrência de um evento raro na região.

Outro exemplo de iniciativa com *valor coletivo* dos dados é a *Smartroad* (HU et al., 2015), cujo objetivo é a identificação do tipo de controle em cruzamentos de ruas e avenidas (*i.e.*, cruzamento com semáforos, placas pare, ou não controlados). Neste, um aplicativo para *smartphone* monitora a localização do veículo em que o usuário se encontra, por meio do GPS, calculando variáveis como velocidade no cruzamento, tempo de espera, e quantidade de paradas, entre outras. Algoritmos de aprendizagem de máquina supervisionado (*random forest*) e não supervisionado (*spectral clustering*) são utilizados, então, para avaliar estatísticas calculadas a partir dos dados agregados de múltiplos veículos atravessando um mesmo cruzamento (mínimo, máximo, média e desvio padrão de cada variável descrita anteriormente). A partir destas análises, o tipo de intersecção pode ser inferido, de maneira mais precisa tanto quando comparado à inferência com base em um único usuário, quanto com relação a outros mecanismos propostos na literatura que se baseiam exclusivamente em conjuntos de regras com limiares de decisão fixos, como é o caso no trabalho de Wang et al. (2013).

2.2.4 Homogeneidade do Dado

Nesta categoria classifica-se a homogeneidade do dado, ou seja, se diferentes pedaços de dados possuem o mesmo nível de significância ou não:

- **Homogêneo:** Todas as contribuições têm o mesmo peso e são tratadas igualmente;
- **Heterogêneo:** Contribuições são ponderadas diferentemente, dependendo do usuário que a submeteu, do tipo de sensor utilizado para a coleta do dado, como os usuários interagem com os demais, ou qualquer outro motivo.

O projeto de rastreamento de lixo do MIT *Senseable City Lab* (PHITHAKKITNUKON et al., 2013), que monitora a rota seguida pelo lixo desde o descarte até seu destino final, ilustra a abordagem *homogênea* de coleta de dados, na qual cada pedaço da informação é tratada de maneira uniforme para traçar a rota do lixo. Similarmente, *StreetBump* (New Urban Mechanics, 2012) também coleta dados *homogêneos*, permitindo que voluntários capturem as condições de ruas, avenidas e estradas enquanto dirigem, detectando buracos a partir dos dados do acelerômetro do celular e localizando-os por meio do GPS. Tais dados são, então, enviados para o servidor para análise, provendo informação em tempo real sobre os buracos e possibilitando que governantes consertem os problemas e planejem seus investimentos adequadamente.

Por outro lado, Public Stuff (2009) trata o dado de maneira *heterogênea*, uma vez que permite aos usuários tanto relatar problemas como suportar aqueles reportados por outros, aplicando pesos diferentes para cada relato dependendo da interação da comunidade sobre o mesmo. Adicionalmente, aplicações que exploram alguma forma de reputação do usuário (discutida na subseção 2.4.2), tipicamente empregam modelos nos quais os dados são tratados de maneira heterogênea.

2.2.5 Motivação

Um dos grandes desafios enfrentados por iniciativas de monitoramento colaborativo refere-se à adoção da tecnologia. A identificação de mecanismos efetivos de incentivo são essenciais nesse contexto. Pode-se dividir as razões pelas quais usuários adotam e utilizam um sistema da seguinte maneira:

- **Reconhecimento social:** Usuários participam para obter reconhecimento da sociedade ou de outros usuários;
- **Serviço oferecido:** O sistema fornece um serviço para o usuário em troca dos dados coletados;
- **Responsabilidade civil:** Cidadãos contribuem com dados como um modo de melhorar as condições da sociedade em que vivem;
- **Solidariedade:** Usuários participam voluntariamente para auxiliar àqueles que necessitam;
- **Recompensa monetária:** Participantes são compensados financeiramente (e.g., com dinheiro, cupons de desconto, etc.) pelas suas contribuições;
- **Ludificação:** Elementos utilizados em jogos eletrônicos, tais como pontuação, missões, entre outros, são empregados para motivar os usuários.

Waze (2009) é um exemplo de aplicação que emprega diversos elementos motivacionais. Ele possui um *serviço oferecido*, no qual o retorno imediato para o usuário é a possibilidade de evitar trânsito. Concomitantemente, o Waze utiliza *reconhecimento social* e *ludificação*, uma vez que atribui uma pontuação a cada ação dos usuários, ordenando-os de acordo com o grau de contribuição e reconhecendo aqueles que mais contribuem.

Commonwealth Connect (SEECLICKFIX, 2015) é uma iniciativa do governo do estado de Massachusetts, EUA, que permite que cidadãos relatem eficientemente situações adversas não-emergenciais. Lançada recentemente para a cidade de Cambridge (SMITH, 2016), esta aplicação móvel utiliza como mecanismo motivacional a *responsabilidade civil* dos cidadãos.

San Francisco Fire App (San Ramon Valley Fire Protection District, 2011) é uma aplicação para iPhone conectada ao sistema informatizado de despacho dos bombeiros do distrito de *San Ramon Valley*. Seu propósito é notificar a ocorrência de paradas cardíacas súbitas em espaços públicos a voluntários treinados em ressuscitação cardiopulmonar que estejam próximos ao local do evento e, também, indicar o desfibrilador disponível mais próximo. Nesta aplicação a motivação é puramente a *solidariedade*.

Plataformas de *crowdsourcing* como o *Mechanical Turk* (Amazon Web Services, 2005) empregam um modelo de negócio no qual contribuintes são tipicamente pagos por seus serviços. Diversos trabalhos propõem mecanismos parecidos para tratar os desafios de engajamento em plataformas de monitoramento colaborativo por meio de *recompensa monetária*. Lee e Hoh (2010) propõem um mecanismo de incentivo de preço dinâmico baseado em leilão reverso, cujo foco é minimizar e estabilizar preços pagos aos colaboradores, mantendo um número adequado de participantes. Neste tipo de leilão, tarefas são apresentadas aos candidatos para execução, e estes indicam o preço que desejam cobrar para executar uma dada tarefa. O candidato que apresentar o menor preço é contemplado para executá-la. Zhang et al. (2014) propuseram outro mecanismo de incentivo baseado em leilões, aplicável em cenários nos quais nem todos os candidatos precisam estar presentes, simultaneamente, no instante em que tarefas começam ser leiloadas, flexibilizando o processo.

Finalmente, Crowley et al. (2012) propõem uma abordagem baseada em

ludificação para motivar usuários a submeterem relatos em aplicações de monitoramento colaborativo, oferecendo, como mecanismo de incentivo, pontos e troféus de acordo com as contribuições dadas pelo usuário.

2.2.6 Privacidade

Esta dimensão refere-se ao conhecimento do perfil dos usuários pelo sistema, e a maneira como tal informação é exposta.

- **Anônimo:** Nenhum dado pessoal sobre os colaboradores é coletado pelo sistema;
- **Pseudônimo:** Usuários são identificados por pseudônimos e possuem suas identidades reais preservadas;
- **Identidade real:** A identidade dos usuários é coletada e eventualmente utilizada pelo sistema.

Sickweather (Sickweather LLC, 2011) é um projeto de monitoramento colaborativo que permite que usuários enviem *anonimamente* relatos geolocalizados indicando que estão doentes, combinando tais relatos com informações coletadas de redes sociais a partir da mineração de publicações como “estou doente”, “o médico disse que estou com bronquite” ou “meu filho está com catapora”.

Love Clean Streets (Keep Britain Tidy, 2014) é um serviço que permite que cidadãos relatem a partir de seus celulares crimes ambientais tais como pichação, despejo irregular de lixo, buracos nas vias, entre outros. Para submeter um relato, o usuário precisa estar registrado, podendo utilizar um “nome público” como *pseudônimo* para preservar sua real identidade. Finalmente, a *San Francisco Fire App* (San Ramon Valley Fire Protection District, 2011) apresentada anteriormente

é um exemplo de aplicação na qual os voluntários precisam fornecer suas *identidades reais*.

Com relação à escolha do nível de privacidade apropriado para uma iniciativa de monitoramento colaborativo, vale mencionar que, segundo um estudo conduzido por Gustarini, Wac e Dey (2015), dados são significativamente mais compartilhados quando coletados anonimamente. Portanto, para iniciativas que dependem da contribuição massiva de dados, e que não possuem requisitos com relação à identificação de seus usuários, é indicado o uso de técnicas que garantam o anonimato dos usuários.

2.3 Aplicação da Taxonomia nos Trabalhos Existentes

Para permitir uma melhor visualização das diferenças e pontos em comum entre as iniciativas estudadas, a tabela 1 apresenta a classificação completa dos projetos em cada dimensão da taxonomia proposta.

Vale notar que algumas iniciativas possuem componentes distintos de monitoramento colaborativo. Nestes casos, a classificação de cada um deles é apresentada, uma vez que a taxonomia permite classificar univocamente cada componente nas dimensões propostas.

Tabela 1: Classificação aplicada às iniciativas pesquisadas no levantamento bibliográfico

Iniciativa	Interação do usuário	Ciência do usuário	Significância do dado	Homogeneidade do dado	Motivação	Privacidade
Breadcrumb (CARDONHA et al., 2013)	Passiva	Consciente	Coletivo	Homogêneo	Serviço oferecido	Anônimo
CenceMe (MILUZZO et al., 2008)	Passiva	Consciente	Coletivo	Homogêneo	Reconhec. social	Identidade real
Commonwealth Connect (SEELICKFIX, 2015)	Ativa	Consciente	Individual	Homogêneo	Responsab. civil	Pseudônimo
Creek Watch (KIM; ROBSON; ZIMMERMAN, 2011)	Ativa	Consciente	Individual	Homogêneo	Responsab. civil	Anônimo
Detecting Earthquakes and other Rare Events (FAULKNER et al., 2011)	Passiva	Consciente	Coletivo	Heterogêneo	Serviço oferecido	N/D ^a
Flu detector (LAMPOS; BIE; CRISTIANINI, 2010)	Ativa	Inconsciente	Coletivo	Homogêneo	N/A ^b	N/D ^a
Gamification of citizen sensing (CROWLEY et al., 2012)	Ativa	Consciente	Individual	Heterogêneo	Ludificação	N/D ^a
IndoorCrowd2D (CHEN et al., 2015)	Ativa	Consciente	Individual	Homogêneo	Serviço oferecido	N/D ^a
Love Clean Streets (Keep Britain Tidy, 2014)	Ativa	Consciente	Individual	Homogêneo	Responsab. civil	Identidade real
MedWatcher (Children's Hospital Boston, 2010)	Ativa	Consciente	Individual	Homogêneo	Serviço oferecido	Identidade real
Outbreaks Near Me (Children's Hospital Boston, 2006)	Ativa	Consciente	Coletivo	Heterogêneo	Serviço oferecido	Permite escolha ^c
Predicting flu trends – SNEFT (ACHREKAR et al., 2011)	Ativa	Inconsciente	Coletivo	Heterogêneo	N/A ^b	Anônimo
Public Stuff (Public Stuff, 2009)	Ativa	Consciente	Individual	Heterogêneo	Responsab. civil	Identidade real
Rota Acessível (IBM Research Brazil, 2013)	Ativa	Consciente	Individual	Homogêneo	Responsab. civil	Anônimo
San Francisco Fire App (San Ramon Valley Fire Protection District, 2011)	Passiva	Consciente	Individual	Homogêneo	Solidariedade	Identidade real
Sickweather (Sickweather LLC, 2011)						
• Dados de relatos enviados via <i>website</i>	Ativa	Consciente	Individual	Heterogêneo	Serviço oferecido	Anônimo
• Dados extraídos de redes sociais	Ativa	Inconsciente	Coletivo	Homogêneo	N/A ^b	Identidade real
Smartroad (HU et al., 2015)	Passiva	Consciente	Coletivo	Homogêneo	Serviço oferecido	Anônimo
StreetBump (New Urban Mechanics, 2012)	Passiva	Consciente	Coletivo	Homogêneo	Responsab. civil	Anônimo
Traffic Anomalies (PAN; WILKIE; SHAHABI, 2013)						
• Dados de monitoramento de taxis	Passiva	Consciente	Coletivo	Homogêneo	Serviço oferecido	Pseudônimo
• Dados extraídos de redes sociais	Ativa	Inconsciente	Coletivo	Homogêneo	N/A ^b	Identidade real
Twitter catches the flu (ARAMAKI; MASKAWA; MORITA, 2011)	Ativa	Inconsciente	Coletivo	Homogêneo	N/A ^b	Identidade real
Waze (WAZE, 2009)						
• Dados de monitoramento dos motoristas	Passiva	Consciente	Coletivo	Homogêneo	Serviço oferecido ^d	Pseudônimo
• Dados de relatos enviados pelos motoristas	Ativa	Consciente	Individual	Heterogêneo	Serviço oferecido ^d	Pseudônimo

^a Não Disponível – não foi possível identificar com base nos dados publicados sobre o trabalho.

^b Não Aplicável, uma vez que o usuário não tem ciência do dado coletado.

^c Dá ao usuário a escolha de se identificar ou permanecer anônimo.

^d Componente principal, embora reconhecimento social e ludificação também sejam utilizados

A solução que utiliza dados de GPS e *tweets* para identificar anomalias no trânsito proposta por Pan, Wilkie e Shahabi (2013) é um exemplo de iniciativa de monitoramento colaborativo que combina diferentes técnicas em cada dimensão. Este trabalho possui um componente *passivo e consciente*, responsável pela coleta das trajetórias geradas pelos dispositivos GPS (dados são coletados sem a interação do usuário, embora o taxista tenha consciência de que seu taxi está sendo rastreado). As informações resultantes são combinadas com dados extraídos de mensagens postadas em redes sociais, um dado *ativo*, embora *não-intencional* (*i.e.*, usuários estão ativamente publicando mensagens, no entanto eles não tem ciência de que suas mensagens serão utilizadas para inferir anomalias no trânsito). Assim como este exemplo, outros trabalhos combinam diferentes técnicas para uma dada dimensão, conforme pode ser observado na tabela 1.

A tabela 1 permite, também, constatar que alguns dos trabalhos levantados destinam-se à utilização combinada com outras técnicas. Por exemplo, é possível identificar ferramentas de coleta de dados que não possuem nenhum mecanismo de incentivo associado para promover a adoção de usuários, tais como o Funf e o Breadcrumb.

Existem também alguns aspectos interessantes envolvendo coleta de dados *inconsciente* ou *não-intencional* que vale ressaltar. A *significância do dado* possui *valor coletivo* para todas as iniciativas que se utilizam de coleta de dados *inconsciente*. No entanto, uma vez que a extração *inconsciente* de dados com valor individual sugere a ocorrência de violação de privacidade dos indivíduos, pode-se dizer que esta combinação apesar de possível, não é utilizada ou, se usada, não é divulgada. Adicionalmente, a dimensão *motivacional* não se aplica no caso de coleta *inconsciente*.

A relação entre homogeneidade do dado e privacidade também merece

atenção especial. Em situações nas quais o dado é tratado homoganeamente, a identidade dos colaboradores tipicamente não precisa ser divulgada. Por outro lado, sistemas que ponderam o dado de maneira heterogênea geralmente necessitam identificar a origem do dado para tratá-lo de maneira diferenciada. Isto pode ser conseguido no nível do usuário (*i.e.*, usuários finais são identificados a partir de pseudônimos ou de suas identidades reais) ou no nível da plataforma (*e.g.*, dados provenientes de redes sociais podem ter pesos diferentes comparados àqueles gerados automaticamente por um sensor físico).

2.4 Outros Aspectos Relevantes

Nesta seção são apresentados alguns aspectos adicionais não relacionados diretamente às características intrínsecas das iniciativas de monitoramento colaborativo e, portanto, não incluídos no escopo da taxonomia.

2.4.1 Aspectos Técnicos

Existem diversos aspectos técnicos envolvidos na implementação das iniciativas de monitoramento colaborativo que não estão relacionados com o modelo conceitual da solução, mas com decisões de implementações ou limitações da tecnologia atual. Por isso, decidiu-se não incorporar tais aspectos na taxonomia proposta.

Um destes elementos é a **escalabilidade** da solução. O número de usuários em potencial para sistemas de monitoramento colaborativo é bastante alto, considerando que existem iniciativas globais e que, de acordo com a Gartner Inc. (2015), somente em 2014 foram vendidos 1,2 bilhão de *smartphones*, além dos demais dispositivos que podem ser utilizados em iniciativas de monitoramento colaborativo. Consequentemente, o volume de dados que pode ser produzido em

projetos desta natureza precisa ser considerado cuidadosamente.

Por um lado, iniciativas que utilizam coleta passiva de dados geralmente possuem relatos pequenos, i.e., cada conjunto de informações medidas e enviadas ao sistema na ordem de bytes ou no máximo kilobytes. No entanto, a frequência de medição tende a ser alta, com múltiplos relatos por segundo sendo gerados automaticamente para cada usuário, como é o caso no monitoramento colaborativo de terremotos e outros eventos raros (FAULKNER et al., 2011). Por outro lado, em iniciativas com interação do usuário ativa é esperado que uma quantidade muito menor de relatos seja gerada (algumas vezes por hora ou por dia para cada usuário, ao invés de múltiplas vezes por segundo), dada a complexidade e necessidade de intervenção do usuário na criação de cada relato. No entanto, o tamanho individual pode ser consideravelmente maior (na ordem de centenas de kilobytes ou até megabytes), devido principalmente à possibilidade de envio de arquivos multimídia, como é o caso do aplicativo Love Clean Streets (Keep Britain Tidy, 2014).

A infraestrutura de TI precisa ser projetada adequadamente para possibilitar a ingestão e o processamento dos dados coletados rapidamente, permitindo o crescimento da infraestrutura conforme necessário para acomodar eventuais aumentos no número de colaboradores ou volume de relatos enviados ao sistema. Rege (2013) propõe uma abordagem para simular a dinâmica do monitoramento colaborativo visando avaliar a escalabilidade destes sistemas, a partir da emulação de dispositivos móveis com as devidas conexões de acesso, enviando dados ao sistema de monitoramento em questão. Chamada de *CrowdMeter*, esta plataforma de emulação se utiliza de virtualização e infraestrutura como serviço (IaaS – *Infrastructure-as-a-Service*) na nuvem para provisionar os recursos necessários e conseguir testar a escalabilidade das soluções de monitoramento colaborativo apropriadamente. Adicionalmente, Kang

et al. (2008) apresentam um *framework* para monitoramento de contexto por meio dos sensores de dispositivos móveis utilizando mecanismos eficientes de controle dos sensores e processamento dos sinais. Chamado de *SeeMon*, este *framework* possibilita que milhares de medições sejam realizadas por segundo, enquanto reduzindo a quantidade de transmissões de dados em mais de 60% quando comparado aos métodos alternativos de medição de contexto, provendo escalabilidade e eficiência energética.

A **eficiência energética** é outro desafio técnico encontrado pelas iniciativas de monitoramento colaborativo, em particular àquelas que empregam aplicações para dispositivos móveis. Idealmente, coletar-se-ia a maior quantidade possível de medidas dos sensores, mas como o custo energético desta operação é alto, um compromisso entre consumo de energia e precisão nas medidas precisa ser encontrado. Adicionalmente, decisões de projeto sobre frequência de coleta e técnicas utilizadas na transmissão dos dados coletados para os servidores devem, também, ser cuidadosamente planejadas, uma vez que são operações extremamente custosas do ponto de vista energético. Sheng, Tang e Zhang (2012) propuseram um algoritmo que pode ser resolvido em tempo polinomial para identificar o mínimo gasto energético na tarefa de monitoramento, e heurísticas para outros cenários relacionados. Wang, Krishnamachari e Annavaram (2012) aplicam estimação de estados semi-Markovianos para definir quão frequente sensores em *smartphones* devem ser amostrados de maneira eficiente do ponto de vista energético, enquanto são mantidas as medições em níveis aceitáveis de precisão.

2.4.2 Qualidade dos Dados e Reputação dos Usuários

A análise dos dados em plataformas de monitoramento colaborativo geralmente é dependente do contexto e, portanto, desenvolvida para cada cenário

específico. Um dos aspectos comuns a praticamente todas as iniciativas é a **qualidade dos dados**, e, em muitos casos, este aspecto está diretamente relacionado à **reputação dos usuários**.

Diversos trabalhos têm sido desenvolvidos sobre a qualidade dos dados em sistemas que contam com a contribuição e a colaboração direta das pessoas, tais como os apresentados por Reddy, Shilton e Burke (2008), Huang, Kanhere e Hu (2010), Yang, Zhang e Roe (2011), Kantarci, Member e Mouftah (2014), Miao et al. (2015), Ma et al. (2015). Estes trabalhos propõem métodos e algoritmos para tratar a qualidade dos dados baseados na reputação dos usuários, classificando os participantes por grau de confiança, e descartando dados provenientes de usuários considerados não confiáveis. Outros sistemas dependem de respostas previamente conhecidas e algoritmos de aprendizagem de máquina supervisionados e semi-supervisionados para verificar a veracidade das informações fornecidas pelos colaboradores e descartar dados providos por usuários classificados com baixa reputação, vide os trabalhos de Callison-burch e Dredze (2010), Raykar et al. (2010), Rzeszotarski e Kittur (2011), Lease (2011).

Reddy, Shilton e Burke (2008) propõem um mecanismo de avaliação de reputação dos usuários baseado em (i) mecanismos utilizados em *sites* de perguntas e respostas tais como *Yahoo Answers* (Yahoo! Inc., 2016) e *Amazon Askville* (Amazon.com Inc., 2016), (ii) *marketplaces* para *crowdsourcing* tais como *Mechanical Turk* (Amazon Web Services, 2005) e *Guru.com* (2016), e (iii) *sites* de leilões tais como *Inc.* (2016). O algoritmo combina as informações utilizadas por tais *sites* (e.g., as experiências anteriores e ações de cada usuário, chamada pelos autores de “*cross-campaign participation*” no cenário de monitoramento colaborativo), com algumas informações específicas de determinada campanha (“*campaign specific participation*”), obtidas durante a campanha em andamento.

Huang, Kanhere e Hu (2010) descrevem outro algoritmo para reputação de

usuários empregando a função de Gompertz² no cálculo da avaliação da confiança dos usuários de aplicações de monitoramento colaborativo, validando tal algoritmo especificamente para uma aplicação de monitoramento de ruído sonoro. Neste caso, a confiança nos dados é definida em função do tempo, pois o usuário pode deixar de ser confiável em períodos específicos, devido ao impacto de alguma atividade que o mesmo esteja executando na medição do ruído sonoro.

Yang, Zhang e Roe (2011) propõem, ainda, outra maneira de avaliar a confiança dos usuários em aplicações de monitoramento colaborativo, baseando-se em três componentes principais: reputação direta, informação pessoal e reputação indireta, classificando os usuários de acordo com o grau de confiança gerado, e propondo a seleção dos participantes baseado no grau de confiança e no número de participantes necessários numa dada campanha.

Kantarci, Member e Mouftah (2014) apresentam um mecanismo de avaliação de confiança para participantes de leilões de tarefas de monitoramento colaborativo, cujo objetivo principal é lidar com usuários maliciosos que podem indicar um custo inferior para uma dada tarefa, com o objetivo de enviar, propositalmente, informações incorretas sobre o evento monitorado.

Miao et al. (2015) propõem um mecanismo interessante de cálculo da confiança dos usuários, que utiliza sistemas criptográficos homomórficos para preservar a privacidade dos participantes de uma aplicação de monitoramento colaborativo, batizado de *Privacy-Preserving Truth Discovery* (PPTD). Adicionalmente, uma versão paralela do algoritmo (*Parallel PPTD*) capaz de lidar com o crescente volume de dados gerado por iniciativas de monitoramento colaborativo é apresentado, utilizando o *framework MapReduce* (DEAN; GHEMAWAT, 2008) para efetuar os cálculos criptográficos necessários.

²Função de Gompertz é um caso especial de função logística generalizada, na qual o crescimento é menor no começo e no fim do período temporal, e cuja assíntota à direita é alcançada de maneira mais gradual que a assíntota à esquerda

Ma et al. (2015) descrevem um mecanismo para estimar a reputação dos usuários em *sites* colaborativos de perguntas e respostas, não somente baseado no total de perguntas respondidas correta e incorretamente para avaliar a reputação de um usuário, mas também considerando o conhecimento do usuário em cada tópico. Um modelo probabilístico Bayesiano foi construído no trabalho para estimar a reputação dos respondentes de maneira mais precisa, dependendo do tópico em questão.

Todos esses mecanismos somente classificam os participantes do mais confiável (*i.e.* com melhor reputação) ao menos (*i.e.* com pior reputação), frequentemente limitando o número de participantes de uma atividade específica, o que pode prejudicar a abrangência de determinadas aplicações colaborativas e desestimular os usuários do sistema. No entanto, argumenta-se neste trabalho que, em diversos cenários de aplicações de monitoramento colaborativo, os problemas relativos à qualidade dos dados não são devidos à baixa reputação de um dado usuário, mas ao fato de que as medidas e as avaliações solicitadas aos participantes não são padronizadas. Frequentemente, estas aplicações solicitam medidas subjetivas e avaliações pessoais de um dado evento urbano que o usuário está relatando, tais como quão segura é determinada região, a limpeza de um dado local, a criticidade do problema sendo relatado e seu impacto na vida das pessoas. Nestes cenários, é natural que usuários subestimem ou superestimem uma dada medida sobre o evento que estão relatando.

Diversos fatores podem influenciar um relato, tais como perfil do usuário (*e.g.*, idade, gênero, preferências, estilo de vida, base educacional, bagagem cultural, gosto pessoal e experiências passadas), contexto (*e.g.*, localização geográfica, horário, condições do tempo) e comportamento histórico em relatos anteriores (*i.e.*, se o indivíduo frequentemente superestima ou subestima determinado fato). Acredita-se que a qualidade dos dados pode ser melhorada se as informações

relatadas pelos usuários forem ajustadas com base nesses elementos.

Raykar et al. (2010) propuseram o uso de técnicas de aprendizagem de máquina para homogeneizar as avaliações providas pelos usuários, além de estimar o nível de confiança de cada indivíduo. No entanto, os autores assumiram uma série de simplificações que tornam a aplicação da técnica inviável para o contexto de monitoramento colaborativo, devido ao inerente alto número de participantes e a multitudine de aspectos sendo monitorados.

Geralmente, a escolha da análise adequada a ser conduzida para determinado conjunto de dados está vinculada às necessidades da aplicação em questão e à disponibilidade de outros conjuntos de dados para fazer correlações e inferências, tornando-a especializada para cada aplicação. Por esta razão decidiu-se não incorporar características da análise de dados ou algoritmos de aprendizagem de máquina utilizados na taxonomia.

2.5 Considerações Finais sobre a Taxonomia

Este capítulo apresentou uma taxonomia para classificação de iniciativas de monitoramento colaborativo, com dimensões mais apropriadas para este tipo de trabalho do que outras taxonomias existentes, conforme discutido na seção 2.1. Diversos trabalhos estudados foram utilizados na seção 2.3 para ilustrar a aplicabilidade das dimensões da taxonomia, exemplificando cada caso específico. Finalmente, outros aspectos relevantes, tais como escalabilidade, eficiência energética, qualidade de dados e reputação dos usuários, foram discutidas na seção 2.4.

A seção 3.2 discute a relação entre os componentes apresentados no capítulo 3 e cada dimensão da taxonomia. A partir do capítulo 4, este trabalho foca em iniciativas de monitoramento colaborativo ativo, apresentando uma linguagem

e sua gramática formal para descrição de tais iniciativas, um sistema que implementa um interpretador para tal linguagem (capítulo 5), e a validação de tal sistema (capítulo 6).

3 VISÃO GERAL DE SISTEMAS PARA MONITORAMENTO COLABORATIVO

Este capítulo visa apresentar, de maneira agnóstica à tecnologia, os componentes que constituem sistemas de monitoramento colaborativo e as interações entre eles. Vale notar que cada trabalho ou iniciativa faz uso de alguns destes componentes para atingir os objetivos desejados.

3.1 Componentes de um Sistema de Monitoramento Colaborativo

A figura 2 apresenta uma visão geral de um sistema que, apesar de não ser único em termos de cada uma de suas funcionalidades e componentes, é diferente dos existentes por cobrir uma gama maior de aspectos do monitoramento colaborativo, em particular: (i) coleta de dados ativa e passiva; (ii) dados com significância individual e coletiva; (iii) processamento de dados homogêneos e heterogêneos; e (iv) utilização de qualquer mecanismo de motivação para coleta de dados.

Tal sistema foi apresentado juntamente com a taxonomia proposta no trabalho de Gallo et al. (2014). Uma vez que cada aspecto individualmente já foi proposto, também, em trabalhos anteriores correlacionados a esse (SHETH, 2009; AMINI et al., 2011; KOCH et al., 2013; HU et al., 2013), a seguir são apresentadas breves descrições sobre cada componente para servir como referência, discutindo-se

como cada um deles se relaciona com a taxonomia proposta neste trabalho.

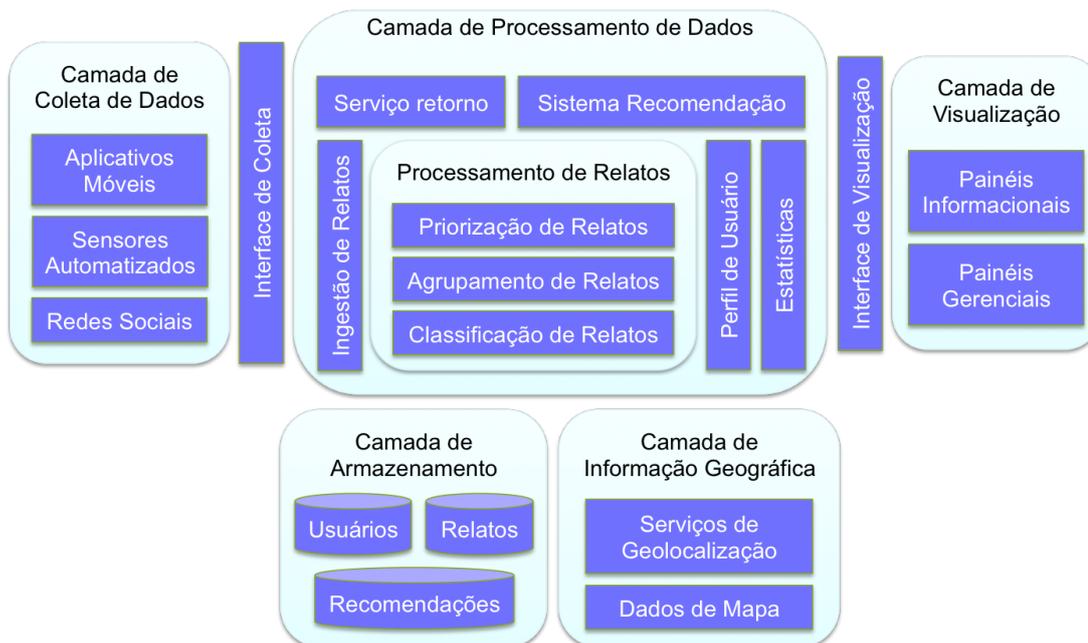


Figura 2: Visão geral sobre os componentes de um sistema de monitoramento colaborativo.

3.1.1 Camada de Coleta de Dados

Na camada de coleta de dados, três tipos de ferramentas são utilizadas:

- *Aplicativos móveis*, responsáveis por capturar informações diretamente dos indivíduos. Diversos tipos de informações podem ser capturadas diretamente pelos sensores embutidos nos dispositivos móveis em que os aplicativos são executados, e estas informações podem ser capturadas com ou sem a intervenção do usuário (e.g., dados de localização do GPS obtidos periodicamente, ou uma foto capturada com a câmera pelo usuário).
- *Sensores automatizados*, espalhados pelas cidades permitindo a coleta automatizada de dados de diversas naturezas sobre o ambiente e a infraestrutura. São exemplos deste tipo de ferramenta de coleta de dados sensores meteorológicos e de qualidade do ar instalados em algumas

localidades da cidade, sensores que contam a quantidade de carros em um cruzamento para controlar a temporização de semáforos inteligentes, entre outros.

- *Redes sociais*, utilizadas na captura de dados dos usuários sobre diferentes assuntos de interesse público. São responsáveis pela coleta de informações extraídas das conversas e mensagens compartilhadas nas redes sociais, indicando o comportamento, os relacionamentos, as opiniões e os sentimentos dos usuários.

As ferramentas de coletas de dados podem ser divididas em dois grupos, *coleta intencional* e *não-intencional*, sendo que no primeiro caso o cidadão relata alguma informação intencionalmente ao sistema por meio de uma ferramenta específica de coleta de dados (e.g. aplicativo móvel para relato de problemas na cidade), enquanto que no segundo caso, a informação dos problemas e eventos é extraída de outros sistemas, nos quais cidadãos geram tais informações sem a intenção explícita de mapear problemas e eventos (e.g., relatos de problemas ou eventos em mensagens publicadas por usuários de redes sociais como *twitter* e *facebook*).

3.1.2 Camada de Processamento de Dados

As informações coletadas são, então, submetidas à camada de processamento de dados, responsável por executar toda a lógica de negócio do sistema, incluindo:

- *Ingestão de relatos*: dados provenientes da camada de coleta de dados, por meio da interface de coleta, são recebidos por este componente, que coordena tanto o armazenamento do relato como seu devido processamento.

- *Processamento de relatos*: contempla subcomponentes de análise de dados, incluindo classificação, agregação e priorização de relatos.
- *Perfil de usuário*: componente responsável pela criação e manutenção dos perfis de usuários;
- *Estatística*: a consolidação dos dados e geração de estatísticas é realizada neste componente;
- *Serviço de recomendação*: com base nos relatos processados, perfis dos usuários e estatísticas, este componente contempla a criação de recomendações utilizando o conhecimento adquirido pelo sistema. A retroalimentação com os resultados gerados pela execução da recomendação podem ser utilizados para melhorar a assertividade do serviço.
- *Serviço de retorno*: componente que provê atualizações sobre a situação dos relatos ingeridos no sistema para a camada de coleta de dados, principalmente em iniciativas de monitoramento colaborativo ativo, via aplicações móveis, nas quais os usuários esperam ser informados dos resultados alcançados a partir de suas contribuições.

Essa camada central do sistema comunica-se com todas as demais camadas, ingerindo dados coletados a partir da camada de coleta de dados, fornecendo informações para a camada de visualização, além de comandar o armazenamento dos dados e consumir serviços providos pelos sistemas de informação geográfica.

3.1.3 Camada de Visualização

A camada de visualização é responsável por apresentar os dados coletados para os usuários do sistema, exibindo estatísticas, ilustrando percepções e

listando recomendações para tomadas de ações. Para tanto, está organizada em dois componentes básicos:

- *Painéis informacionais*: a partir desse componente, cidadãos podem visualizar os eventos relatados por outras pessoas, além de estatísticas básicas sobre determinada região. Adicionalmente, tais ferramentas possibilitam a visualização de informação detalhada sobre cada evento relatado, como por exemplo o nível de prioridade atribuído ao mesmo e a lista de recomendações para os gestores.
- *Painéis gerenciais*: esta componente fornece ferramentas para o gerenciamento dos relatos e a atualização de informações, permitindo que detalhes dos relatos sejam atualizados e, eventualmente, retirados do sistema. Informações disponíveis e ações permitidas geralmente são restritas de acordo com o nível de autorização de cada usuário no sistema.

3.1.4 Camada de Armazenamento

Tanto os dados brutos oriundos de diversas fontes recebidos via da camada de coleta de dados como o conhecimento adquirido a partir da análise e do processamento das informações (*e.g.*, classificação dos eventos e perfil dos usuários que utilizam o sistema) são armazenados nesta camada após a ingestão e processamento. Adicionalmente, as recomendações geradas em processos de suporte à tomada de decisão também podem ser armazenadas nesta camada para posterior avaliação e utilização pelos processos de tomadas de decisão futuras.

Essa camada armazena informações sobre:

- **Usuários**: dependendo da privacidade desejada em uma dada iniciativa, podem não ser armazenados quaisquer dados do usuário. Em outros casos,

podem ser armazenados desde simples estatísticas de uso do sistema e contribuições fornecidas, até o perfil completo com dados pessoais do usuário.

- Relatos: os dados relatados pelos usuários, bem como informações adicionais sobre os relatos geradas a partir de qualquer processamento, são armazenadas neste repositório.
- Recomendações: Toda recomendação gerada pelo sistema, assim como ações tomadas com base na recomendação e resultados podem ser documentados neste repositório, com o intuito de se utilizar informações históricas no processo de geração de novas recomendações.

3.1.5 Camada de Informação Geográfica

Nesta camada, sistemas de informação geográfica (GIS – *Geographic Information System*) capacitam a camada de visualização a exibir os dados geolocalizados em mapas, além de fornecer serviços de geolocalização (*e.g.*, geolocalização reversa, limites territoriais, *etc.*) para a camada de processamento, possibilitando a análise e a correlação espacial dos eventos.

Contemplam os seguintes componentes:

- Serviços de geolocalização: fornecendo ao sistema a capacidade de tratar adequadamente dados de geoposicionamento (*i.e.*, latitude e longitude), por meio de serviços tais como a conversão de coordenadas geográficas para endereços, distância entre dois pontos, limites territoriais, entre outros.
- Dados de mapa: componente do sistema que fornece as imagens de mapa para a camada de visualização, de maneira granular e com resolução apropriada para o nível de zoom utilizado.

3.1.6 Interfaces de Comunicação

Finalmente, o sistema possui interfaces de comunicação entre o *front-end* (camadas de coleta de dados e de visualização) e o *back-end* (camada de processamento de dados), para prover isolamento entre os componentes.

- Interface de coleta: Os dados gerados e obtidos na camada de coleta de dados são enviados de aplicações móveis, sensores automatizados e sistemas que extraem dados de redes sociais para os servidores por meio de uma interface de comunicação (e.g., API REST, explicada no capítulo 5).
- Interface de visualização: As informações oriundas de todo o processamento dos dados coletados, incluindo estatísticas e recomendações geradas pelo sistema, podem ser acessadas pela camada de visualização a partir desta interface.

Estas interfaces de comunicação visam desacoplar os componentes, facilitando a implementação de novas ferramentas em cada uma das camadas sem a necessidade de alteração das demais.

3.2 Relação da Taxonomia com cada Componente

As dimensões de *interação* e *ciência do usuário* na taxonomia estão diretamente relacionadas à *camada de coleta de dados*. *Aplicativos móveis* podem coletar dados de maneira *ativa* ou *passiva*, de acordo com o propósito do aplicativo, assim como coletar dados de maneira *consciente* ou *inconsciente*, dependendo da ciência do usuário com relação aos dados que estão sendo coletados e a maneira como tais dados serão utilizados.

Sensores automatizados geralmente proveem coleta de dados *passiva* em situações nas quais as diversas medições são agregadas de maneira *anônima*

antes de serem utilizadas (e.g., motoristas podem ou não saber que estão sendo, de certa maneira, monitorados por um sistema que conta a quantidade de carros passando por determinado cruzamento). Nestes cenários o *anonimato* torna a *ciência do usuário* menos relevante, e é fácil perceber que esta correlação entre *ciência do usuário* e *privacidade* é uma característica intrínseca das soluções de monitoramento colaborativo.

Por outro lado, usuários são tipicamente ativos na geração de dados nas *redes sociais*, uma vez que eles publicam as informações que posteriormente são mineradas (exceto quando alguma aplicação publica informações na linha do tempo do usuário automaticamente). Observa-se, entretanto, que usuários geralmente não tem ciência de que seus dados serão utilizados para um propósito diferente da intenção original (*i.e.*, comunicação com sua rede de relacionamento), o que pode levantar problemas de privacidade.

Significância e *homogeneidade do dado* estão relacionadas aos tipos de dados coletados e a maneira como os mesmos são processados. Dependendo da ferramenta de coleta de dados sendo utilizada, cada relato por si só pode ter menor ou maior significância (*valor coletivo* ou *individual*), no entanto a agregação dos dados de *valor coletivo* geralmente é realizada na *camada de processamento de dados*. A *homogeneidade do dado* é determinada por diversos fatores, como a relevância individual de cada pedaço de informação, os algoritmos utilizados para classificar eventos, técnicas de agregação e mecanismos de priorização utilizados, bem como a utilização ou não do perfil do usuário quando processando um novo relato para ponderá-lo de maneira diferente na *camada de processamento de dados*.

A dimensão motivacional é praticamente ortogonal aos demais componentes do sistema, dependendo das especificidades de cada iniciativa de monitoramento colaborativo. Quando aplicável, *aplicativos móveis* e *painéis de visualização* são

adaptados para incluir características de *reconhecimento social*, *ludificação*, ou oferecer algum *serviço* em troca dos dados coletados.

Finalmente, a dimensão de *privacidade* relaciona-se com a maneira como o dado é gerado, ingerido, processado e armazenado no sistema. Quando se aplicam técnicas de identificação do perfil do usuário, frequentemente se faz necessário algum tipo de identificação do usuário (*identidade real* ou *pseudônimo*), embora seja possível utilizar técnicas de identificação “aleatória” somente para correlacionar dados gerados por um mesmo usuário, sem vinculá-lo à sua identidade. Como exemplo, pode-se citar um número aleatório gerado pelo sistema operacional do iPhone para identificar o usuário de uma aplicação, sem permitir que tal identificação seja mapeada de volta para o número de série do dispositivo móvel (UDID – *Unique Device Identifier*), número do telefone, ou qualquer outra informação. Mesmo nestas situações em que a informação do usuário não é diretamente coletada, é necessária muita cautela para que a identidade do usuário não seja revelada a partir da agregação de dados tais como localização dos relatos, atributos, fotos, *etc.*, conforme apresentado por Gruteser e Liu (2004) e Krontiris, Freiling e Dimitriou (2010).

3.3 Considerações Finais sobre os Componentes de Sistemas de Monitoramento Colaborativo

Este capítulo apresentou diversos componentes presentes em sistemas de monitoramento colaborativo e o relacionamento de cada dimensão da taxonomia proposta com tais componentes. A maioria das iniciativas existentes trabalham com parte destes componentes, não prevendo a integração com demais componentes e outras fontes de dados. No entanto, a motivação principal para coletar e consolidar conjuntos de dados de aplicações móveis, de sensores físicos tradicionais e de redes sociais é possibilitar uma análise integrada da

informação, permitindo a extração de conhecimento que somente pode ser obtido quando a diversidade de dados gerados por todo este ecossistema é agregada apropriadamente.

Por esse motivo, entender a classificação de uma nova iniciativa de acordo com a taxonomia, pensar e planejar como integrar tal iniciativa com outras iniciativas existentes em um sistema pode ser relevante, possibilitando a identificação e a extração de novas informações derivadas da consolidação das informações. Tais aspectos estão fora do escopo deste trabalho, no entanto, é importante ter uma visão completa dos componentes possíveis em iniciativas de monitoramento colaborativo, para que se aproveitem, sempre que possível, os benefícios da integração e do processamento de dados diversos.

4 LINGUAGEM PARA ESPECIFICAÇÃO DE APLICAÇÕES DE MONITORAMENTO COLABORATIVO

Uma vez criada a taxonomia apresentada no capítulo 2 para classificação dos trabalhos relacionados ao monitoramento colaborativo, e ilustrada uma plataforma para endereçar a captura de dados diversos, o processamento dos mesmos e a apresentação das informações e recomendações, o restante deste trabalho abordará o monitoramento colaborativo ativo, no qual os usuários coletam e enviam dados ativamente ao sistema utilizando seus *smartphones*.

Neste capítulo, será apresentada uma linguagem criada para permitir a especificação formal de sistemas de monitoramento colaborativo, a partir da descrição das categorias que se desejam monitorar, e dos atributos associados a cada categoria. Tal linguagem define a funcionalidade da aplicação móvel de monitoramento colaborativo ativo, além da comunicação entre a aplicação e o servidor, e, também, o processo de validação realizado no servidor para garantir a consistência nos dados. Com isso, possibilita-se que um aplicativo móvel para coleta de dados seja customizado declarativamente, sem a necessidade de codificação do mesmo, assim como o provisionamento, nos servidores, de recursos para suportar a coleta de dados.

A seção 4.2 apresenta algumas linguagens e trabalhos relacionados, embora nenhum deles considere os aspectos necessários para o monitoramento colaborativo ativo adequadamente, conforme será apresentado. Para permitir a

flexibilidade desejada, criou-se uma gramática, apresentada na seção 4.3, que se baseia na definição de aplicações com categorias e atributos. Usuários enviam, então, relatos para cada categoria com medidas realizadas para cada atributo. Tais medidas enviadas ao sistema podem ser validadas a partir da especificação dos valores possíveis de cada atributo, dependendo do tipo desse atributo.

4.1 Requisitos da Linguagem

A linguagem de especificação de monitoramento colaborativo ativo deve atender aos seguintes requisitos:

- Deve ser auto-suficiente e adequadamente expressiva para especificar as iniciativas, evitando a necessidade de ser estendida para contemplar novos cenários, exceto para aqueles de natureza diferente (*e.g.*, monitoramento colaborativo passivo ao invés de ativo).
- Deve possuir gramática e significado bem definidos (não permitindo sentenças com significado duvidoso).
- Deve ser capaz de especificar interfaces de componentes em uma implementação de maneira independente.
- Deve ser capaz de especificar as iniciativas de maneira abstrata, sem amarrá-la a detalhes de implementação, para habilitar descrições reutilizáveis.

4.2 Linguagens Existentes Relacionadas

Esta seção apresenta linguagens relacionadas que contemplam algum mecanismo declarativo para a criação ou customização de aplicações colaborativas.

Um dos primeiros trabalhos a explorar a criação de fluxos de tarefas interdependentes em sistemas de *crowdsourcing* foi o TurKit (LITTLE et al., 2009), apresentando uma ferramenta que permitia a especificação de tarefas interativas, nas quais os trabalhadores (*workers*) de plataformas de *crowdsourcing* podiam incrementar ou avaliar as tarefas executadas por outros trabalhadores. Isso transformou o cenário da época, onde tais plataformas de *crowdsourcing* eram utilizadas somente para execução de tarefas independentes em paralelo.

Conseqüentemente, novos *frameworks* e linguagens foram desenvolvidos para permitir a criação e gerenciamento de fluxos de tarefas, tais como o *CrowdForge* (KITUR et al., 2011) e o *Jabberwocky* (AHMAD et al., 2011). Posteriormente, Park et al. (2012) desenvolveram um sistema declarativo para *crowdsourcing*, no qual usuários podem enviar consultas por meio de uma linguagem criada como uma simples extensão ao SQL. Adicionalmente, Minder e Bernstein (2012) desenvolveram uma linguagem batizada de *CrowdLang*, possibilitando a criação e gerenciamento de fluxos de tarefas mais complexos, entrelaçando tarefas realizadas por humanos e por máquinas, e incorporando métodos para tratamento de tarefas recursivas, fluxo dinâmico dependente dos resultados das tarefas já realizadas e ainda a realizar, além de tarefas para decisão em grupo.

Com os fluxos de tarefas tornando-se mais complexos, Kulkarni, Can e Hartmann (2012) propõem a criação de meta-fluxos, definindo um fluxo de atividades para que os próprios trabalhadores dos sistemas de *crowdsourcing* especifiquem o fluxo de tarefas detalhado para execução da atividade solicitada em alto-nível, permitindo a supervisão do solicitante. Adicionalmente, Scekcic, Truong e Dustdar (2015) definem uma linguagem específica para gerenciar estratégias complexas de incentivos em iniciativas de *crowdsourcing*.

Bozzon et al. (2013) propõem um *framework* e um ambiente de execução

reativo para modelar e controlar tarefas colaborativas, modelando cada aplicação como um conjunto de tarefas elementares, e suportando o planejamento, a atribuição e a execução de tarefas, bem como o monitoramento e a exclusão de usuários. Por meio de uma linguagem de especificação de regras permite o desenho do fluxo de tarefas, como estas devem ser executadas pelos usuários (chamados de *performers* neste contexto), o fluxo de micro-atividades, e o controle e monitoramento da execução das mesmas.

Mais recentemente, uma linguagem batizada de *CrowdWON* foi proposta por Sánchez-Charles et al. (2015) para descrever processos de *crowdsourcing* utilizando uma combinação de *Workflow Nets* e *Dualistic Petri Nets*, duas extensões de redes de Petri¹ relacionadas à modelagem de processos. Esta linguagem permite criar fluxos adaptativos, que reagem ao desempenho dos usuários e permite representar fluxos de *crowdsourcing* de competições abertas, nas quais o fim do processo é definido por tempo e não pela quantidade de execuções. Permite, ainda, alterar o fluxo dependendo do tempo restante para um dado processo, dependendo da quantidade e qualidade das execuções recebidas até o momento.

No entanto, todos esses trabalhos e linguagens possuem como objetivo permitir a especificação de fluxos de tarefas à serem realizadas por trabalhadores (*workers*), tratando particularidades do cenário de *crowdsourcing*, e não se aplicam bem para relatos voluntários e criados oportunisticamente pelo cidadão, assim que o mesmo enfrenta alguma dificuldade ou percebe que algo poderia funcionar melhor, uma vez que restringe quem pode contribuir, como e quando. Portanto, a linguagem desenhada neste trabalho visa preencher essa lacuna, permitindo a especificação declarativa de uma iniciativa de monitoramento

¹Rede de Petri é uma das várias representações matemáticas para descrição de sistemas distribuídos, utilizando grafos direcionados bipartidos, nos quais os nós denotam transições (*i.e.*, eventos que podem ocorrer, representados por barras no grafo) e lugares (*i.e.*, condições, representadas por círculos no grafo).

colaborativo ativo, especificando o que se deseja coletar de informação, e na qual os usuários podem enviar relatos sempre que assim desejarem.

Finalmente, o *framework* de programação Medusa, apresentado por Ra et al. (2012), permite descrever diversos passos necessários para execução de uma tarefa colaborativa utilizando usuários como sensores ou revisores. Tal sistema provê uma linguagem de programação, chamada MedScript, para definição de um fluxo de atividades, e emprega um sistema distribuído para coordenação das mesmas com os *smartphones* e usuários envolvidos no processo. No entanto, esse *framework* enfatiza tarefas pré-estabelecidas requisitadas pelo servidor para o usuário, e não relatos espontâneos dos cidadãos sobre problemas ou sugestões de melhoria para a infraestrutura da cidade, processos, ou outras questões. Apesar de bastante interessante, incluindo curadoria da informação, a partir de revisores selecionados para inspecionar, filtrar ou editar conteúdos produzidos por outros usuários, não se aplica diretamente ao caso de monitoramento colaborativo ativo no qual o usuário possui autonomia para relatar algum evento que deseja, sem a necessidade de ser recrutado para executar tarefas específicas.

4.3 Gramática

Em teoria formal de linguagens, uma gramática (frequentemente chamada de gramática formal) é um conjunto de regras para produção das cadeias de texto de uma linguagem. As regras descrevem como formar as cadeias de texto com sintaxe válida, baseado no alfabeto da linguagem. Uma gramática não descreve o significado das cadeias de texto ou o que pode ser feito com elas.

Esta seção apresenta a gramática para formação da linguagem, bem como o significado de cada entidade contida na linguagem. Um diagrama ilustrativo visando facilitar a compreensão da gramática é apresentado na figura 3.

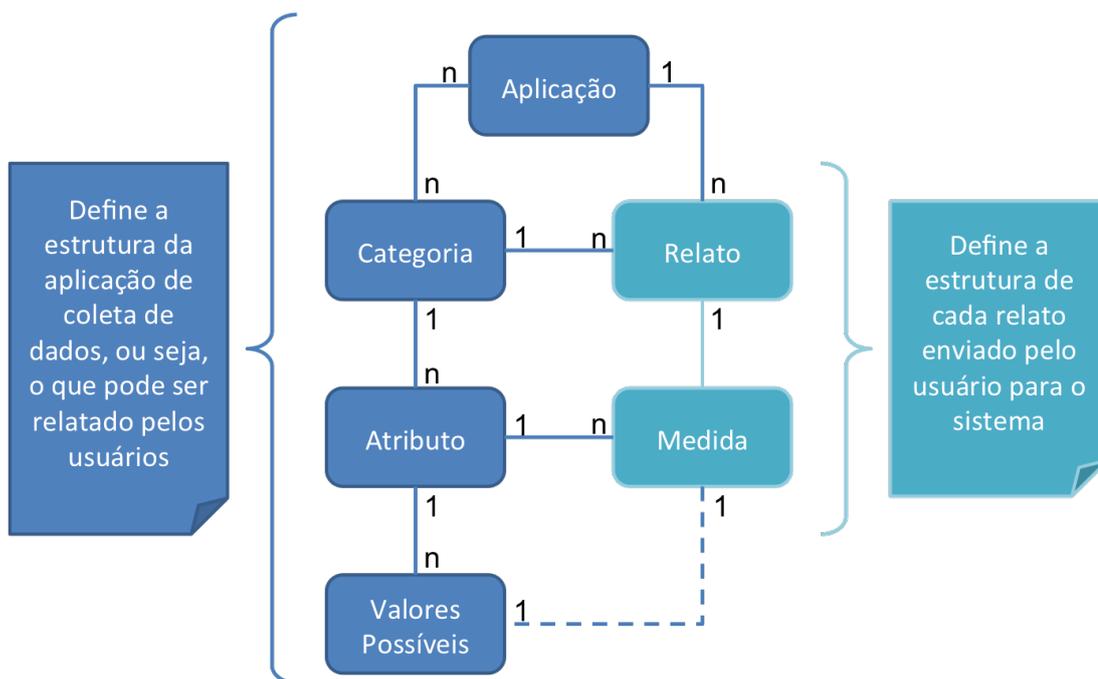


Figura 3: Diagrama ilustrativo da gramática

Cada aplicação de monitoramento colaborativo é descrita por meio da definição de suas categorias, cada qual com seus atributos e valores possíveis. Adicionalmente, a gramática define a estrutura a partir da qual relatos associados às aplicações e categorias especificadas pela linguagem podem ser descritos, contendo medidas dos atributos definidos, respeitando-se os valores possíveis quando assim especificado. Esses relatos são enviados pelos usuários para o servidor. Cada entidade da gramática é apresentada a seguir:

- *Aplicação*: Define identificação, nome, descrição, e lista de categorias de uma iniciativa de monitoramento colaborativo.
- *Categoria*: Especifica identificação, nome e descrição, indicação da necessidade (*i.e.*, mandatório, opcional ou não permitido) de se enviar foto, localização e criticidade em relatos desta categoria, e lista de atributos.
- *Atributo*: Contempla identificação, nome, descrição, tipo (*e.g.*, categórico, booleano, numérico ou decimal) e lista de valores possíveis condizente com

o tipo definido.

- *Relato*: Contém data de criação, situação (e.g., criado, enviado, solucionado, cancelado), foto e localização capturados com auxílio do dispositivo móvel (e.g., *smartphone*), criticidade e demais medidas informadas pelo usuário, e número de identificação do dispositivo.
- *Medida*: Contém o valor para um determinado atributo, referenciado por meio de sua identificação.

A seguir, a gramática da linguagem desenhada para permitir a criação de aplicações de monitoramento colaborativo ativo é apresentada formalmente. A metalinguagem utilizada na definição abaixo é a BNF (*Backus–Naur Form*), com a extensão do uso de chaves para denotar itens opcionais e múltiplas linhas para melhorar a legibilidade.

```

1 <application> ::= "{name:"<NAME>
2                   [" ,id:"<ID>]
3                   [" ,descr:"<DESCR>]
4                   [" ,categories:["<categories>"]}"
5 <categories> ::= "" | <category-items>
6 <category-items> ::= <category> | <category>","<category-items>
7 <category> ::= "{name:"<NAME>
8                   [" ,id:"<ID>]
9                   [" ,descr:"<DESCR>]
10                  [" ,photo:"<option>
11                  [" ,location:"<option>
12                  [" ,criticality:"<option>
13                  [" ,attributes:["<attributes>"]}"
14 <attributes> ::= "" | <attribute-items>
15 <attribute-items> ::= <attribute> | <attribute>","<attribute-items>
16 <attribute> ::= "{name:"<NAME>
17                   [" ,id:"<ID>]
18                   [" ,descr:"<DESCR>]
19                   [" ,type:"<attr-type>
20                   [" ,possible_values:["<possible-values>"]]"
21                   [" ,default_value:"<VALUE>"]}"
22 <possible-values> ::= <VALUE> | <VALUE>","<possible-values>
23 <report> ::= "{comment:"<COMMENT>
24              [" ,creationDate:"<DATE>
25              [" ,status:"<STATUS>
26              [" ,photo:"<PHOTO>]
27              [" ,location:"<location>]
```

```

28         [“,criticality:”<CRITICALITY>]
29         “,device:”<device>
30         “,measures:[”<measures>“]”
31 <measures> ::= “” | <measure-items>
32 <measure-items> ::= <measure> | <measure>“,”<measure-items>
33 <measure> ::= “{attributeId:”<ID>
34         “,value:”<VALUE>“}”
35 <location> ::= “{latitude:”<DECIMAL>
36         “,longitude:”<DECIMAL>
37         [“,altitude:”<DECIMAL>]
38         [“,course:”<DECIMAL>]
39         [“,speed:”<DECIMAL>]
40         [“,horizontalAccuracy:”<DECIMAL>]
41         [“,verticalAccuracy:”<DECIMAL>]
42         [“,address:”<VALUE>]
43         [“,state:”<VALUE>]
44         [“,country:”<VALUE>]“}”
45 <device> ::= “{id:”<VALUE>“}”
46 <option> ::= “yes” | “opt” | “no”
47 <attr-type> ::= “categorical” | “boolean” | “numerical” | “decimal”

```

Os termos em letras maiúsculas denotam símbolos não terminais, cujos nomes são auto-explicativos, tendo suas definições omitidas em prol de manter a gramática mais sucinta e legível. Os símbolos <NAME>, <DESCR>, <VALUE> e <COMMENT> são cadeias de caracteres alfanuméricos; <DECIMAL> é um campo numérico decimal; <DATE> é uma data especificada em milissegundos desde 01/01/1970 00:00:00 GMT; e <ID> é um campo numérico, gerado automaticamente quando a entidade em questão é criada, e usado, posteriormente, para referenciar tal entidade. Adicionalmente, <STATUS> indica as situações possíveis associadas a um diagrama de transição de estados (e.g., criado, enviado, solucionado, cancelado); <PHOTO> contém os dados de uma foto codificados em Base64² ou uma URL apontando para a localização da foto; e, finalmente, <CRITICALITY> indica uma das severidades possíveis (e.g., média, alta, urgente).

²Base64 refere-se a um grupo de mecanismos de codificação para representação de dados binários por meio de cadeias de texto em formato ASCII.

4.4 Considerações Finais sobre a Linguagem Apresentada

Uma vez que não foi encontrada na literatura uma linguagem adequada para descrição de iniciativas de monitoramento colaborativo ativo, conforme indicado na seção 4.2, uma nova linguagem foi desenhada e apresentada neste capítulo. A partir do uso desta linguagem, uma aplicação móvel para coleta de dados pode ser definida formalmente. Adicionalmente, a comunicação entre a aplicação móvel e o servidor pode ser implementada e validada, prevenindo inconsistências nos dados.

Para demonstrar que a linguagem apresentada neste capítulo atende aos requisitos definidos anteriormente na seção 4.1, será discutida na seção 6.3 a aplicabilidade da linguagem e sistema implementados em diversos outros cenários, indicando que a linguagem é auto-suficiente e possui expressividade adequada para especificar diferentes iniciativas de monitoramento colaborativo ativo. Além disso, um interpretador para a linguagem definida anteriormente foi implementado para que novas aplicações possam ser criadas e definidas de maneira declarativa, apresentado no capítulo 5. A construção de tal interpretador demonstra que a gramática é bem definida e não possui ambiguidades, caso contrário impossibilitaria a criação do mesmo. Adicionalmente, com base nessa linguagem, uma API REST foi desenhada e implementada para possibilitar a comunicação entre tal aplicação móvel e o servidor, demonstrando a capacidade de se especificar interfaces de componentes de maneira independente (seção 5.3). Finalmente, a capacidade de se especificar as iniciativas de maneira abstrata, sem amarrá-las a detalhes de implementação, é comprovado também na seção 6.3, uma vez que as quatro aplicações ilustradas foram criadas de maneira declarativa, sem nenhuma amarração com a implementação.

5 SISTEMA PARA MONITORAMENTO COLABORATIVO ATIVO

Este capítulo apresenta os requisitos funcionais e não-funcionais de um sistema que visa facilitar a criação e a experimentação de iniciativas de monitoramento colaborativo ativo. Os detalhes do sistema genérico desenhado e implementado para atender tais requisitos serão também apresentados, juntamente com um interpretador para a linguagem de especificação descrita no capítulo 4 capaz de gerar o aplicativo móvel e provisionar recursos para receber e validar relatos de um aplicativo definido por meio da gramática formal apresentada na seção 4.3. Com isso, permite-se a criação e a especificação de novas iniciativas sem necessidade de codificação tanto do aplicativo móvel quanto dos servidores para suportar a coleta de dados.

5.1 Especificação de Requisitos

Com a finalidade de delimitar a solução proposta e facilitar a compreensão dos motivos pelos quais determinadas decisões foram tomadas ao longo deste trabalho, nesta seção são especificados os requisitos funcionais e não-funcionais desejados para o sistema de monitoramento colaborativo ativo.

5.1.1 Requisitos Funcionais (RFs)

A solução proposta deve possibilitar as seguintes funções:

- **RF1:** Customização de ferramentas de coleta de dados pelos usuários para atender a cenários específicos, com base na descrição formal de uma iniciativa de monitoramento colaborativo ativo;
- **RF2:** Ingestão de relatos de problemas e eventos provenientes das ferramentas de coleta de dados customizadas para diferentes cenários;
- **RF3:** Armazenamento dos relatos, contendo **(a)** informações temporais e espaciais (geolocalização), **(b)** conteúdos multimídias (foto, áudio e vídeo), além de **(c)** atributos e medidas específicas de cada cenário;
- **RF4:** Extração das informações para exibição em ferramentas de visualização para cidadãos e gestores.
- **RF5:** Utilização das ferramentas de coleta de dados *online*, enviando os dados ao servidor logo após a criação de um novo relato, ou *offline*, armazenando e enviando os dados posteriormente ao servidor, caso o usuário esteja sem conectividade ou queira evitar gastos incorridos pelo uso da conexão via celular para envio dos dados.

5.1.2 Requisitos Não-Funcionais (RNFs)

Adicionalmente as funções apresentadas anteriormente, os seguintes requisitos não-funcionais são necessários para o sucesso da solução:

- **RNF1:** Facilidade de aprender e utilizar o aplicativo, para que o usuário consiga relatar condições, eventos ou problemas com autonomia, sem depender de explicações prévias sobre como utilizar o aplicativo.
- **RNF2:** Eficiência, para que o usuário consiga relatar situações rapidamente, sem se desestimular durante o uso do aplicativo devido a lentidão no envio de relatos ou no uso do aplicativo de maneira geral.

- **RNF3:** Escalabilidade, para possibilitar a ingestão, análise e visualização dos dados provenientes de milhões de usuários dos sistemas de monitoramento colaborativo.
- **RNF4:** Modularidade da solução, provendo isolamento entre os componentes do sistema.

Os dois primeiros requisitos de lista, RNF1 e RNF2, referem-se à *usabilidade* do aplicativo, com relação às ferramentas utilizadas na camada de coleta de dados, enquanto que o RNF3, *escalabilidade*, aplica-se às camadas de processamento de dados e de armazenamento, incluindo interfaces de coleta e visualização, ingestão e processamento dos relatos, e armazenamento das informações. Finalmente, a modularidade (RNF4) refere-se a integração e a comunicação entre as diversas camadas, desacoplando tais camadas.

5.2 Visão Geral do Sistema

Este trabalho propõe uma solução customizável de monitoramento colaborativo, para coleta de dados pelos cidadãos utilizando capacidades e recursos dos *smartphones*, permitindo que cidadãos relatem os eventos, condições ou problemas que desejarem, sobre os mais diversos assuntos. Tal solução, ilustrada na Figura 4, possibilita que a demanda por informações relativas aos problemas que afetam a população seja suprida, utilizando-se do monitoramento colaborativo, fazendo com que cada cidadão atue como sensor por intermédio de seu *smartphone*.

Posicionando o sistema implementado neste trabalho com relação aos componentes apresentados anteriormente na seção 3.1, a solução proposta contempla os seguintes componentes:

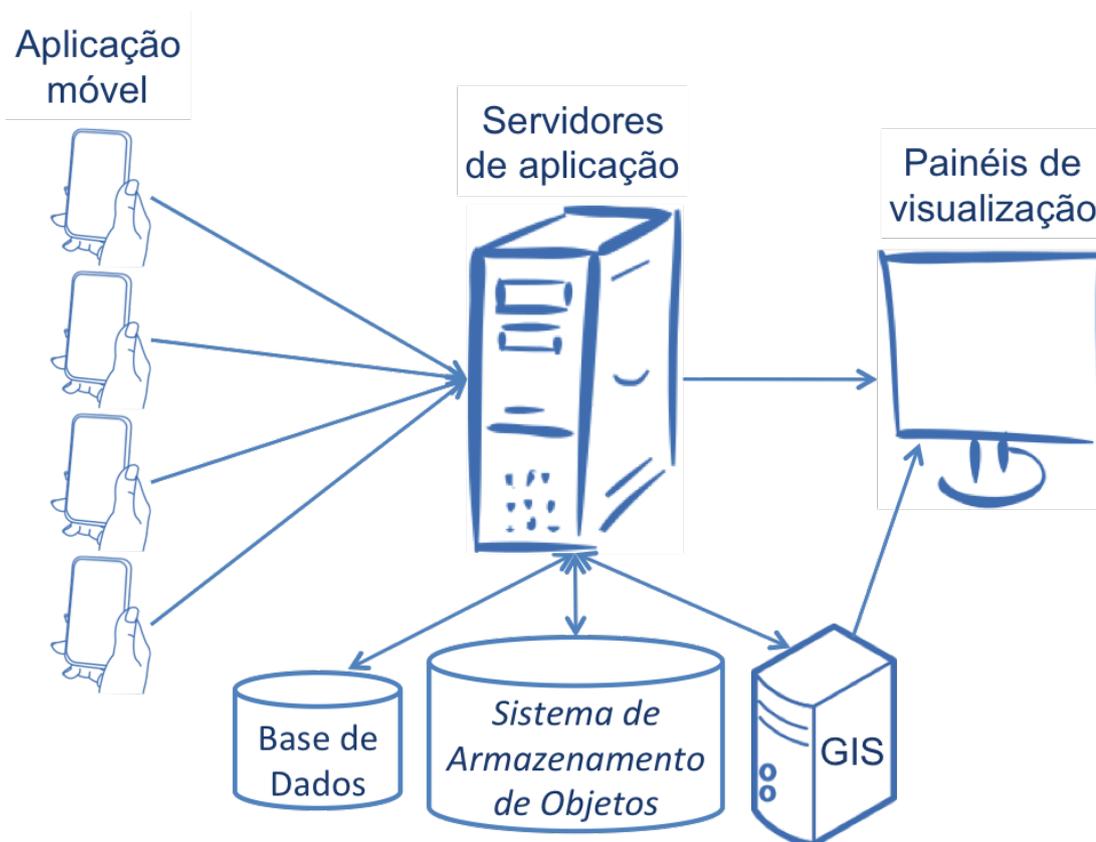


Figura 4: Visão geral dos componentes da solução implementada

- **Camada de Coleta de Dados:** *Aplicativo móvel* desenvolvido de modo a interpretar a linguagem apresentada no capítulo 4, customizando sua interface gráfica apropriadamente para permitir aos usuários a criação e o envio de relatos sobre o assunto desejado (*i.e.*, relatar informações sobre as categorias e atributos declarados na especificação formal da iniciativa de monitoramento colaborativo). Com isso, o **RF1** foi atendido.
- **Camada de Processamento de Dados:** *Servidores de aplicação* executando a lógica implementada com a finalidade de realizar a ingestão dos relatos, além de validação e cálculo de estatísticas sobre os mesmos. Tal implementação atende o **RF2**.
- **Camada de Armazenamento:** *Base de dados* relacional utilizada para armazenar os metadados dos relatos ingeridos pelo sistema,

incluindo informações espaciais e temporais (**RF3a**), e demais atributos e medidas específicas para cada cenário (**RF3c**), além de um *sistema de armazenamento de objetos (object storage)* utilizado para armazenar conteúdos multimídias anexados aos relatos pelos usuários (**RF3b**).

- **Camada de Visualização:** *Painéis de visualização* informacionais e gerenciais implementados para permitir que usuários e administradores visualizem e gerenciem os relatos enviados ao sistema. Com isso, o **RF4** foi atendido.
- **Camada de Informação Geográfica:** *Sistema de informação geográfica (GIS – Geographic Information System)* utilizado tanto para fornecer os dados de mapa para os painéis de visualização como para efetuar a geolocalização dos relatos, *i.e.*, converter as coordenadas geográficas (latitude e longitude) obtidas pelo aplicativo móvel para o endereço mais próximo a cada ponto.

O sistema todo foi desenvolvido de maneira a interpretar as descrições formais das iniciativas de monitoramento colaborativo por meio da linguagem definida no capítulo 4. Alimentado pelas descrições, um interpretador embutido em cada componente é responsável por provisionar o aplicativo móvel e os painéis de visualização customizados, além dos recursos necessários nos servidores de aplicação. A Figura 5 ilustra esse processo de interpretação da descrição formal e conseqüente customização e provisionamento dos demais componentes do sistema.

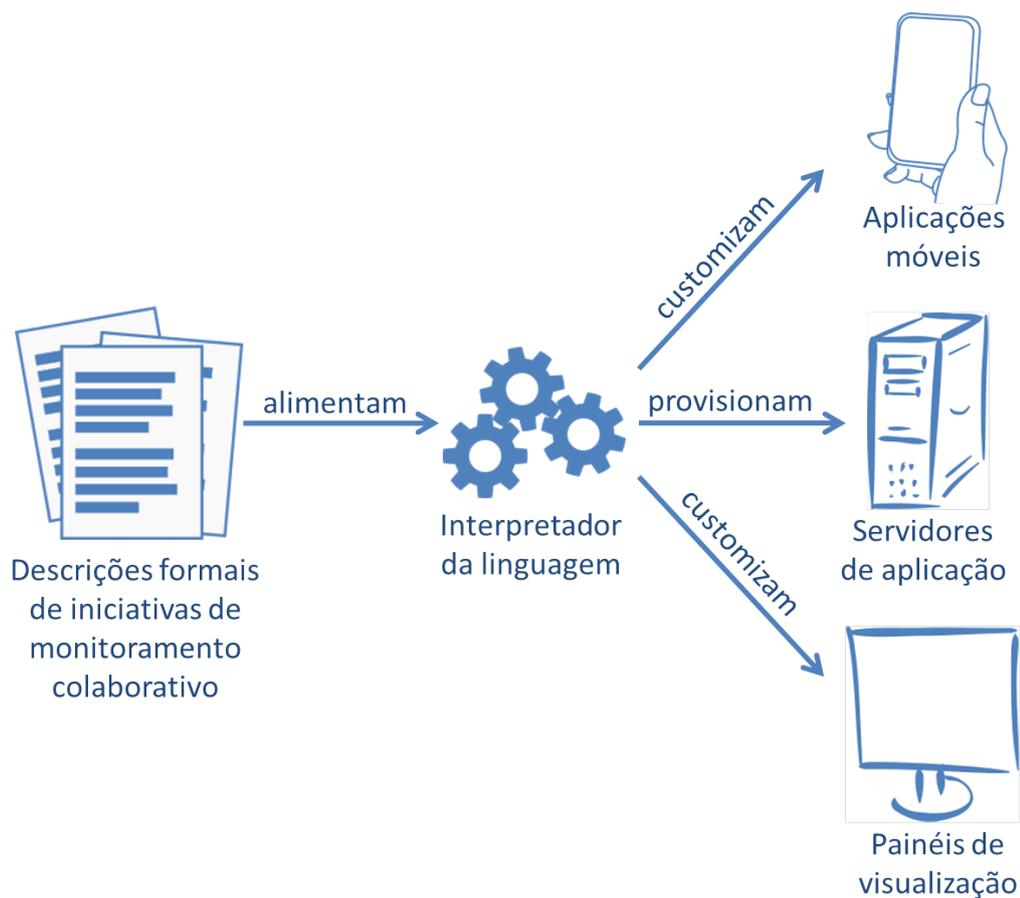


Figura 5: Processo de interpretação das descrições formais

Adicionalmente, em atendimento ao **RF5**, foi desenvolvida no aplicativo móvel uma configuração de envio automático, permitindo que o usuário controle o envio ou não do relato imediatamente após sua criação, podendo incorrer em custo devido à utilização da rede de dados celular. Além disso, o envio dos dados é sempre realizado em segundo plano, evitando-se, desta maneira, o bloqueio da interface gráfica do aplicativo. Com isso, permite-se, ainda, que o usuário crie um novo relato enquanto outros estão sendo enviados para o servidor (enfileirando tais relatos), aumentando a eficiência (**RNF2**) do sistema.

5.3 Detalhamento da Implementação

Nesta seção será descrita a arquitetura do sistema, incluindo detalhes de implementação de cada componente, e softwares utilizados. A figura 6 resume a arquitetura do sistema implementado.



Figura 6: Arquitetura do sistema implementado

A arquitetura foi concebida utilizando conceitos de plataforma como serviço (PaaS – *Platform-as-a-Service*), na qual serviços são provisionados e conectados entre si de maneira automatizada, conforme a necessidade. Adicionalmente, a comunicação entre os diversos componentes do sistema é baseada em interfaces REST (*REpresentational State Transfer*), provendo o isolamento desejado entre os componentes (**RNF4**), e explorando benefícios adicionais deste estilo arquitetural tais como desempenho, escalabilidade, simplicidade de interfaces, portabilidade, e resiliência em caso de falhas, entre outros.

O estilo arquitetural REST foi desenvolvido por Fielding (2000) em sua tese de doutorado, e esse estilo indica um conjunto de restrições a serem aplicadas nas interações dos componentes, conectores e elementos de dados de um sistema que, quando respeitados, possibilitam os benefícios mencionados anteriormente para os sistemas.

Neste trabalho foram utilizadas APIs (*Application Programming Interface*) RESTful (i.e., respeitando o estilo arquitetural REST) baseadas em HTTP, por meio dos métodos padrões do protocolo (i.e., *GET*, *PUT*, *POST* e *DELETE*), e JSON (*JavaScript Object Notation*) como formato de transferência de dados.

JSON é um formato aberto padrão que utiliza texto legível para transmitir dados consistindo de pares atributo-valor. Embora originalmente derivado da linguagem de programação JavaScript, o JSON é um formato de dados independente de linguagem. Bibliotecas para processamento e geração de dados no formato JSON estão amplamente disponíveis em diversas linguagens, além do formato estar descrito em dois padrões: RFC 7159 e ECMA-404.

Para o desenvolvimento de toda a lógica dos servidores de aplicação utilizou-se o *Play Framework v2.0* (Play Framework, 2013), um *framework* de programação web de código aberto, escrito em Scala e Java, que segue o padrão de arquitetura MVC (*Model-View-Controller*), cujo objetivo é otimizar a produtividade dos desenvolvedores por meio do uso de convenções ao invés de configurações, recarregamento de código automático e exibição de erros diretamente no navegador de Internet.

O *Play Framework* permite aplicações altamente escaláveis (escalabilidade horizontal) graças ao seu modelo reativo, baseado em *Iteratee I/O*, não guardando estado (*stateless*), com uma arquitetura apropriada para a web, com consumo de recursos (CPU, memória e *threads*) mínimo e previsível. Por meio do uso deste *framework*, contempla-se, então, o **RNF3**. Além da escalabilidade, diversos

benefícios adicionais são obtidos a partir do uso de sistemas reativos (BONÉR et al., 2014), tais como responsividade, resiliência, elasticidade e baixo acoplamento, entre outros.

Os metadados dos relatos são armazenados em uma base de dados relacional (contemplando os requisitos **RF3a** e **RF3c**), sendo que a implementação utilizada para o caso de uso apresentado no capítulo 6 foi a PostgreSQL (The PostgreSQL Global Development Group, 1996), porém diversos gerenciadores de base de dados podem ser utilizados, tais como MySQL, IBM DB2 e outros RDBMS (*Relational Database Management System*) suportados pelo Play Framework. Os conteúdos multimídias como foto, áudio e vídeo anexados aos relatos são armazenados em um sistema de armazenamento de objetos (*Object Storage*), atendendo ao **RF3b**. O *Object Storage* da SoftLayer foi utilizado, que é implementado utilizando o Swift do OpenStack (OpenStack Foundation, 2012), porém outros poderiam ter sido utilizados da mesma maneira, tal como o Amazon S3 (Amazon Web Services, 2006), por exemplo.

Os dados dos relatos ingeridos pelo servidor de aplicação e armazenados na base de dados são também disponibilizados a quem possa se interessar utilizando o mecanismo de *Publisher/Subscriber* (Pub/Sub) do REDIS (SANFILIPPO; NOORDHUIS, 2009). Neste paradigma de fila de mensagens, um canal é criado para publicação dos relatos de um dado aplicativo, e interessados podem se inscrever no canal para receber as informações de relatos criados e atualizados que o servidor de aplicação publica. Tal canal é provisionado e configurado pelo interpretador quando uma nova descrição de iniciativa de monitoramento colaborativa é inserida no sistema.

O REDIS é um servidor de estruturas de dados em memória, NoSQL, do tipo chave-valor, que pode ser utilizado como base de dados, cache e *message*

*broker*¹. Na arquitetura do sistema apresentado neste trabalho ele é utilizado com esta última finalidade, por meio do mecanismo de Pub/Sub apresentado anteriormente, para permitir a integração com sistemas externos, incluindo componentes customizados para análise de dados. Tais sistemas externos estão fora do escopo deste trabalho e não serão discutidos em maiores detalhes. No entanto, é importante notar que a possibilidade de integração com tais sistemas é essencial para permitir análises dos dados especializadas para cada cenário diferente de monitoramento colaborativo.

Para o desenvolvimento do aplicativo móvel para iPhone foram utilizados o Xcode (IDE de programação para iOS) e a linguagem de programação Objective-C, e para o desenvolvimento da versão para Android foram utilizados o *Android Development Tools* (IDE de programação para Android) e a linguagem de programação Java. O código desenvolvido interpreta a descrição de uma iniciativa de monitoramento colaborativo ativo seguindo a gramática apresentada no capítulo 4 e provisiona a interface gráfica apropriada para geração de relatos pelos usuários, dependendo das características e configurações da iniciativa descrita em questão.

Finalmente, os painéis de visualização foram implementados utilizando o conceito de *templates* de *views* em Scala do Play Framework, seguindo o padrão MVC (*Model-View-Controller*), para que as telas apresentadas sejam construídas dinamicamente no servidor com base nos dados atuais. Estes painéis também são customizados pelo interpretador de acordo com a descrição formal de cada iniciativa de monitoramento colaborativo. Adicionalmente, utilizou-se JavaScript para atualizar os dados de relatos novos na tela continuamente, diretamente no navegador do usuário, bem como realizar os devidos agrupamentos de relatos (*clustering*) por proximidade geográfica.

¹*Message broker* é um módulo de aplicação responsável pela tradução do protocolo formal das mensagens do transmissor para o protocolo do receptor

5.3.1 Resumo da Interface REST

O resumo da interface REST é apresentado na Tabela 2, incluindo o método HTTP utilizado, a identificação do recurso (URI — *Uniform Resource Identifier*) e a descrição da funcionalidade de cada item da interface.

Tabela 2: Resumo da interface REST do sistema

HTTP Method	URI	Description
GET	/applications	Lista todas as aplicações
GET	/applications/<appld>	Obtém a aplicação especificada
POST	/applications	Cria uma nova aplicação
PUT	/applications/<appld>	Atualiza a aplicação especificada
DELETE	/applications/<appld>	Remove a aplicação especificada
GET	/categories	Lista todas as categorias
GET	/categories/<catId>	Obtém a categoria especificada
POST	/categories	Cria uma nova categoria
PUT	/categories/<catId>	Atualiza a categoria especificada
DELETE	/categories/<catId>	Remove a categoria especificada
GET	/categories/<catId>/reports	Lista os relatos da categoria especificada
POST	/categories/<catId>/reports	Cria novo relato na categoria especificada
GET	/reports	Lista todos os relatos
GET	/reports/<reportId>	Obtém o relato especificado
PUT	/reports/<reportId>	Atualiza o relato especificado
DELETE	/reports/<reportId>	Remove o relato especificado
GET	/devices/<devId>/reports	List all reports from a given device
GET	/measures	List all measures
GET	/attributes/<attrId>/measures	List all measures from a given attribute

Maiores detalhes da interface REST, com explicação completa de cada item e exemplos de requisição e resposta, podem ser encontrados no apêndice A.

5.3.2 Filtros para Consultas Utilizando a Interface REST

Requisições, cujas respostas são compostas por uma lista de entidades do tipo categorias ou relatos, podem ter suas respostas filtradas por meio da especificação de argumentos como parte dos parâmetros da requisição GET HTTP. A lista de possíveis argumentos ou filtros para cada tipo de entidade é descrito nesta seção.

5.3.2.1 Filtragem de Categorias

Listas de categorias podem ser filtradas por meio da especificação de um ou mais dos seguintes parâmetros:

Tabela 3: Opções de filtros para a lista de categorias

Parâmetro	Descrição
fromCreationDate	Lista somente categorias criadas após a data especificada (em milissegundos desde 01/01/1970 00:00:00 GMT).
toCreationDate	Lista somente categorias criadas antes da data especificada (em milissegundos desde 01/01/1970 00:00:00 GMT).
type	Lista somente categorias do(s) tipo(s) especificado(s). Múltiplos tipos podem ser especificados simultaneamente.

Exemplo: GET /categories?fromCreationDate=123456&type=app1&type=app2

A lista retornada conterá somente as categorias que respeitam todos os parâmetros providos na requisição. Estes filtros aplicam-se às requisições do tipo GET /categories.

5.3.2.2 Filtragem de Relatos

Listas de relatos podem ser filtradas por meio da especificação de um ou mais dos seguintes parâmetros:

Tabela 4: Opções de filtros para a lista de relatos

Parâmetro	Descrição
lat & lon & radius	Lista somente os relatos contidos na região especificada por meio de uma coordenada central e um raio (em metros).
fromLat & toLat	Lista somente os relatos contidos na região especificada, entre as latitudes fornecidas. Geralmente utilizado em conjunto com “fromLon” e “toLon” para construir um retângulo como fronteira.
fromLon & toLon	Lista somente os relatos contidos na região especificada, entre as longitudes fornecidas. Geralmente utilizado em conjunto com “fromLat” e “toLat” para construir um retângulo como fronteira.
fromDate	Lista somente os relatos criados após a data especificada.
toDate	Lista somente os relatos criados antes da data especificada.
status	Lista somente os relatos que se encontram na situação especificada, ou em uma das situações especificadas quando mais de uma é fornecida como parâmetro. Múltiplas situações podem ser especificadas.
categoryId	Lista somente os relatos da(s) categoria(s) especificada(s) por meio de seu(s) identificador(es). Múltiplas categorias podem ser especificadas.

Exemplo: GET /reports?fromDate=123456&status=uploaded&categoryId=1

A lista retornada conterá somente os relatos que respeitam todos os parâmetros providos na requisição. Estes filtros aplicam-se às seguintes requisições:

- GET /reports
- GET /categories/{catId}/reports
- GET /devices/{devId}/reports

5.3.3 Modelo de Dados

Esta subseção apresenta o modelo de dados desenhado para acomodar qualquer iniciativa descrita por meio da gramática definida na seção 4.3,

incluindo os dados dos relatos criados. Os conteúdos multimídia anexados aos relatos são armazenados, conforme descritos anteriormente, em um sistema de armazenamento de objetos (*Object Storage*), sendo que somente a localização de cada conteúdos (URL) é armazenada neste modelo de dados.

Um diagrama de Entidade-Relacionamento resumindo o modelo de dados é apresentado na Figura 7.

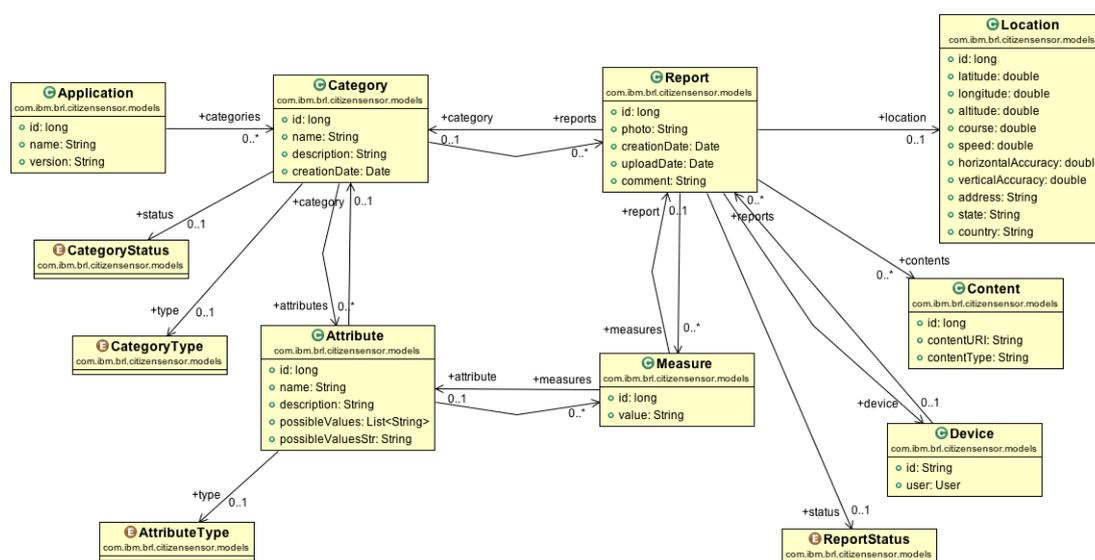


Figura 7: Diagrama de Entidade-Relacionamento do sistema

A seguir, apresenta-se, como referência, o código gerado na implementação da solução para criação da base de dados responsável por armazenar todos os metadados das iniciativas de monitoramento colaborativo e os dados dos relatos enviados pelos usuários do sistema.

```

1 create table application (
2   id                bigint not null,
3   name              varchar(255),
4   version           varchar(255),
5   description        varchar(255),
6   creation_date     timestamp,
7   last_update_date  timestamp,
8   constraint pk_application primary key (id));
9
10 create table attribute (
11  id                bigint not null,

```

```

12 name                varchar(255),
13 description         varchar(255),
14 type                integer,
15 category_id        bigint,
16 possible_values_str varchar(255),
17 constraint ck_attribute_type check (type in (0,1,2,3,4,5,6,7)),
18 constraint pk_attribute primary key (id));
19
20 create table category (
21 id                  bigint not null,
22 name                varchar(255),
23 description         varchar(255),
24 creation_date      timestamp,
25 type                integer,
26 status              integer,
27 constraint ck_category_type check (type in (0,1,2)),
28 constraint ck_category_status check (status in (0,1)),
29 constraint pk_category primary key (id));
30
31 create table content (
32 id                  bigint not null,
33 report_id           bigint not null,
34 content_uri         varchar(255),
35 content_type        varchar(255),
36 constraint pk_content primary key (id));
37
38 create table device (
39 id                  varchar(255) not null,
40 user_id             bigint,
41 constraint pk_device primary key (id));
42
43 create table location (
44 id                  bigint not null,
45 latitude            double,
46 longitude           double,
47 altitude            double,
48 course              double,
49 speed               double,
50 horizontal_accuracy double,
51 vertical_accuracy   double,
52 address             varchar(255),
53 state               varchar(255),
54 country             varchar(255),
55 constraint pk_location primary key (id));
56
57 create table measure (
58 id                  bigint not null,
59 attribute_id        bigint,
60 report_id           bigint,
61 value               varchar(255),
62 constraint pk_measure primary key (id));
63
64 create table report (
65 id                  bigint not null,
66 photo               varchar(255),
67 creation_date      timestamp,

```

```

68 upload_date          timestamp,
69 comment              varchar(255),
70 thumb               varchar(255),
71 status              integer,
72 application_id       bigint,
73 category_id          bigint,
74 device_id            varchar(255),
75 location_id          bigint,
76 constraint ck_report_status check (status in (0,1,2,3,4,5,6,7,8)),
77 constraint pk_report primary key (id));
78
79 create table application_category (
80 application_id        bigint not null,
81 category_id           bigint not null,
82 constraint pk_application_category primary key (application_id, category_id));
83
84 create sequence application_seq;
85 create sequence attribute_seq;
86 create sequence category_seq;
87 create sequence content_seq;
88 create sequence device_seq;
89 create sequence location_seq;
90 create sequence measure_seq;
91 create sequence report_seq;
92
93 alter table attribute add constraint fk_attribute_category_3 foreign key
  ↳ (category_id) references category (id) on delete restrict on update
  ↳ restrict;
94 create index ix_attribute_category_3 on attribute (category_id);
95 alter table content add constraint fk_content_report_7 foreign key (report_id)
  ↳ references report (id) on delete restrict on update restrict;
96 create index ix_content_report_7 on content (report_id);
97 alter table device add constraint fk_device_user_8 foreign key (user_id)
  ↳ references user (id) on delete restrict on update restrict;
98 create index ix_device_user_8 on device (user_id);
99 alter table measure add constraint fk_measure_attribute_11 foreign key
  ↳ (attribute_id) references attribute (id) on delete restrict on update
  ↳ restrict;
100 create index ix_measure_attribute_11 on measure (attribute_id);
101 alter table measure add constraint fk_measure_report_12 foreign key
  ↳ (report_id) references report (id) on delete restrict on update restrict;
102 create index ix_measure_report_12 on measure (report_id);
103 alter table report add constraint fk_report_application_13 foreign key
  ↳ (application_id) references application (id) on delete restrict on update
  ↳ restrict;
104 create index ix_report_application_13 on report (application_id);
105 alter table report add constraint fk_report_category_14 foreign key
  ↳ (category_id) references category (id) on delete restrict on update
  ↳ restrict;
106 create index ix_report_category_14 on report (category_id);
107 alter table report add constraint fk_report_device_15 foreign key (device_id)
  ↳ references device (id) on delete restrict on update restrict;
108 create index ix_report_device_15 on report (device_id);
109 alter table report add constraint fk_report_location_16 foreign key
  ↳ (location_id) references location (id) on delete restrict on update
  ↳ restrict;

```

```
110 create index ix_report_location_16 on report (location_id);
111
112 alter table application_category add constraint
    ↪ fk_application_category_appli_01 foreign key (application_id) references
    ↪ application (id) on delete restrict on update restrict;
113
114 alter table application_category add constraint
    ↪ fk_application_category_categ_02 foreign key (category_id) references
    ↪ category (id) on delete restrict on update restrict;
```

5.4 Considerações Finais sobre o Sistema Implementado

Neste capítulo foram apresentados inicialmente os requisitos funcionais e não-funcionais da solução proposta. Em seguida, apresentou-se a arquitetura utilizada e os detalhes de implementação do sistema desenvolvido neste trabalho para satisfazer todos os requisitos funcionais e não-funcionais apresentados, permitindo que tais informações sejam coletadas, armazenadas, processadas, analisadas e visualizadas.

Dentre os requisitos especificados na seção 5.1, somente o **RNF1**, referente à usabilidade do aplicativo sob o ponto de vista de facilidade de uso, não foi endereçado ainda, uma vez que para validá-lo é necessário o envolvimento de usuários do sistema. O capítulo 6, no entanto, apresenta um estudo de caso real ilustrando que o **RNF1** também foi atendido pelo sistema implementado.

O sistema implementado, conforme descrito neste capítulo, permite a interpretação da linguagem definida no capítulo 4, e atende aos requisitos funcionais e não-funcionais listados na seção 5.1. Adicionalmente, por meio das interfaces REST e do mecanismo de Pub/Sub é possível integrar a solução com sistemas externos, tornando-a facilmente extensível.

6 APLICAÇÃO DO SISTEMA EM UM CASO REAL

Este capítulo apresenta a aplicação do sistema desenvolvido neste trabalho em um caso real, empregando a linguagem e o sistema descritos anteriormente como base para implementação de um aplicativo de monitoramento colaborativo ativo chamado **Rota Acessível**. O objetivo do aplicativo foi identificar as condições de acessibilidade nas ruas das cidades. A seção 6.1 apresenta a motivação e detalhes sobre esse aplicativo, vinculando suas características à taxonomia proposta no capítulo 2. Um experimento em conjunto com instituições que auxiliam pessoas com deficiência física, intelectual e visual foi realizado utilizando este aplicativo, e os resultados de tal experimento são apresentados na seção 6.2. Finalmente, a seção 6.3 ilustra alguns outros cenários nos quais o sistema apresentado neste trabalho pode ser utilizado, indicando que o sistema não se restringe somente a cenários de cidades inteligentes.

6.1 Aplicativo Rota Acessível

Os problemas de acessibilidade encontrados nas cidades são numerosos, afetando um grande número de pessoas. De acordo com a Cartilha do Censo de Pessoas com Deficiência (OLIVEIRA, 2012), 45,6 milhões de brasileiros, 23,9% da população total, têm algum tipo de deficiência. Mesmo restringindo somente aos que apresentam pelo menos um tipo de deficiência severa, ainda assim eles representam 8,3% da população brasileira. Adicionalmente, das pessoas acima

de 65 anos, 38,3% apresentam algum tipo de deficiência motora, dificultando a locomoção.

Vale mencionar, ainda, que a falta de acessibilidade afeta não somente as pessoas com deficiência, mas também a população de maneira geral, como por exemplo mães tentando se locomover com seus filhos em carrinhos de bebê. As fotos apresentadas na figura 8 ilustram as condições precárias das calçadas da cidade de São Paulo no segundo semestre de 2013 que afetam a locomoção de toda a população, além de causar grandes prejuízos para o estado.



Figura 8: Condições das calçadas na cidade de São Paulo relatadas por meio do aplicativo Rota Acessível.

Uma pesquisa do IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada) em conjunto com a CET (Companhia de Engenharia de Tráfego) sobre acidentes devidos às quedas de pedestres nas calçadas ou nas vias, sem a participação direta ou indireta de um veículo, realizada na Aglomeração Urbana de São Paulo, revelou 9 quedas por grupo de mil habitantes, a um custo médio de R\$2,5 mil por queda (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2003). Tal valor considera

apenas custos de resgate e tratamento médico, desconsiderando a perda de produção associada. Extrapolando-se estes custos para a região metropolitana de São Paulo, com aproximadamente 20 milhões de habitantes, o gasto devido às quedas de pedestres nas calçadas e nas vias ficaria em torno de R\$450 milhões por ano.

Com a motivação de auxiliar na identificação das condições de acessibilidade que afetam a locomoção das pessoas nas cidades e validar a efetividade do sistema proposto neste trabalho, o aplicativo **Rota Acessível** foi descrito utilizando-se a linguagem apresentada no capítulo 4 (vide descrição completa no Apêndice B) e interpretada pelo sistema descrito no capítulo 5. O aplicativo móvel foi customizado, com versões disponíveis publicamente para iPhone¹ e Android². Este aplicativo permite que os usuários enviem relatos sobre as condições de acessibilidade nas cidades. Adicionalmente, o servidor de aplicação e demais recursos foram provisionados conforme descrito anteriormente.

O aplicativo **Rota Acessível** foi idealizado como uma solução, cuja adoção seria motivada pela *responsabilidade civil*, ou seja, a contribuição espontânea dos cidadãos para a melhoria das condições da sociedade em que vivem. Adicionalmente, o processo de coleta de dados utilizado é *ativo* e *consciente*, de acordo com a taxonomia proposta, e cada contribuição possui alto *valor individual*, uma vez que o usuário envia informações adicionais às coletadas a partir dos sensores do dispositivo (*i.e.*, GPS e câmera).

Algumas das telas do aplicativo que permitem o envio e a visualização de relatos são apresentadas na figura 9. Em sua tela principal (figura 9(a)), o aplicativo **Rota Acessível** apresenta a lista de categorias existentes: *vagas especiais*, *calçada*, *faixa de pedestres*, *guia rebaixada*, *iluminação pública*, *semáforos de pedestres*, *sinalização tátil*, e *sinalização visual*. Focando nas

¹<https://itunes.apple.com/us/app/ibm-accessible-way/id644712974?mt=8>

²<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.ibm.research.br.accessibleway>

necessidades de cada comunidade, essa lista foi definida em conjunto com as instituições participantes neste experimento: AACD (Associação de Assistência à Criança Deficiente), APAE (Associação de Pais e Amigos dos Excepcionais), Associação Cruz Verde (que presta assistência e amparo a pessoas com paralisia cerebral grave) e Fundação Dorina Nowill para Cegos. Estas instituições proveem serviços e assistência a pessoas com deficiência na cidade de São Paulo e em todo o Brasil. Cada relato é associado a um *nível de criticidade*, sendo que a mesma escala foi definida para todas as categorias, com os seguintes níveis em ordem crescente de criticidade: *média, alta, urgente*.

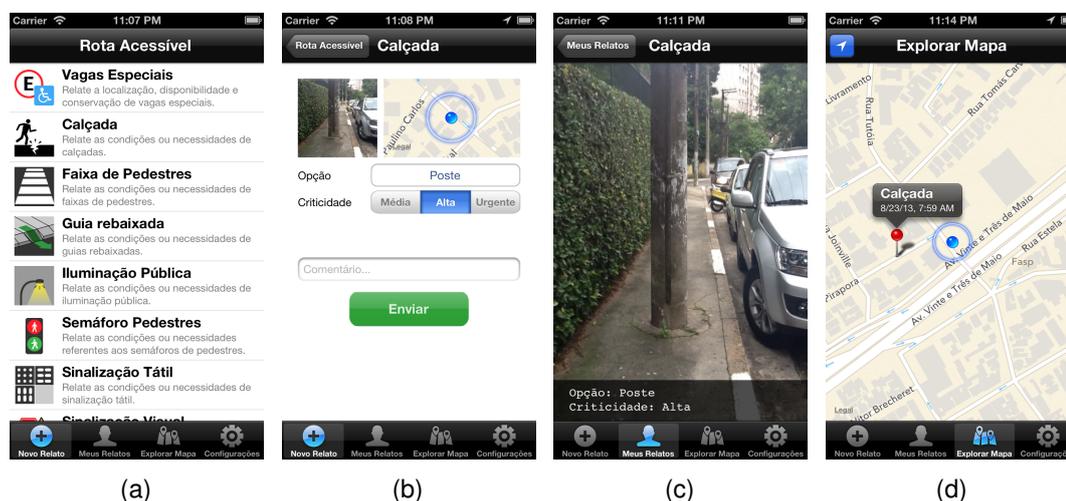


Figura 9: Telas do aplicativo Rota Acessível.

Após a seleção de uma categoria, o usuário fotografa a ocorrência que deseja relatar, e a localização é obtida automaticamente e exibida em um mapa no canto direito superior da tela (figura 9(b)). No centro da tela, campos de um formulário específico para aquela categoria (conforme definidos pela linguagem) são exibidos para que o usuário preencha com os respectivos dados, e um campo de comentário é exibido na parte inferior da tela, permitindo inserção de texto livre adicional. Após o envio de relatos, o usuário pode visualizar o conteúdo dos relatos que ele mesmo enviou (figura 9(c)), assim como os relatos enviados por outros usuários, geolocalizados no mapa (figura 9(d)).

Depois de submeter um novo relato, o conteúdo pode ser enviado para o servidor remoto, ou armazenado localmente para ser enviado em um momento posterior, dependendo da conectividade do dispositivo e das configurações escolhidas pelo usuário (de não enviar relatos utilizando rede celular para evitar gastos, por exemplo). Conforme mencionado no capítulo 5, isso atende ao requisito **RF5**.

Os servidores de aplicação recebem e armazenam os relatos *anonimamente*, uma vez que os usuários não precisam se identificar para utilizar o aplicativo. O conjunto de relatos enviados por todos os usuários pode ser visualizado online em um mapa³, apresentado na figura 10. Este painel, gerado com o suporte de um sistema de informação geográfica (GIS – *Geographic Information System*), apresenta a consolidação de todos os dados enviados ao sistema, com informações estatísticas descrevendo a quantidade de ocorrências de cada tipo de evento na área sendo visualizada. Relatos são considerados *homogêneos*, com cada evento sendo igualmente representado no painel de visualização.

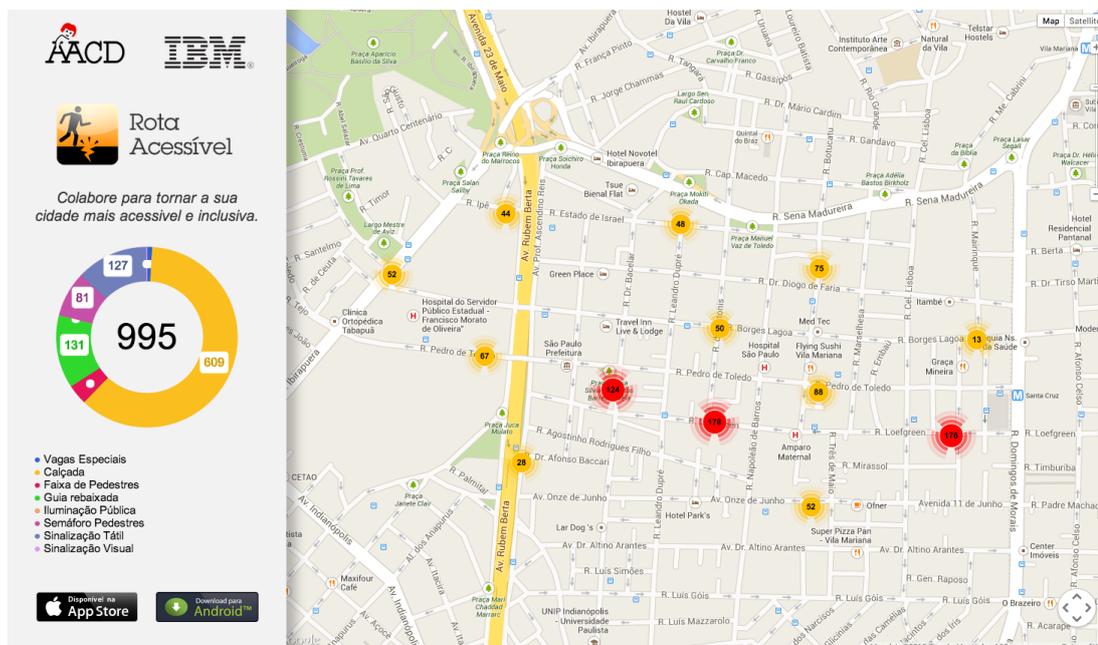


Figura 10: Website do experimento Rota Acessível.

³Disponível em <http://rotaaccessivel.com.br>

6.2 Experimento Utilizando o Rota Acessível

Um estudo utilizando o aplicativo Rota Acessível foi realizado em conjunto com as instituições parceiras deste experimento, visando mapear os problemas de acessibilidade na região onde tais instituições são localizadas. O experimento, conduzido em setembro de 2013 com duração de aproximadamente três horas, foi motivado pelos seguintes aspectos: (i) a quantidade de informação disponível publicamente sobre os problemas de acessibilidade é insatisfatória para pessoas com deficiência que vivem na cidade de São Paulo; (ii) o forte aspecto de responsabilidade civil pode suportar a adoção da tecnologia; (iii) a coleta de dados por meio do monitoramento colaborativo parece ser a mais fácil, efetiva, e economicamente viável para se mapear problemas de acessibilidade em cidades como São Paulo.

A seguir serão detalhados os participantes, os materiais utilizados, o desenho do experimento, os procedimentos utilizados e, finalmente, a análise dos dados obtidos durante o experimento.

6.2.1 Participantes

O experimento envolveu oito participantes que conhecem de perto o dia-a-dia das pessoas com deficiência, uma vez que estes realizam trabalho voluntário nas instituições de assistência mencionadas anteriormente: AACD, APAE, Cruz Verde e Dorina Nowill. Portanto, argumenta-se que os participantes conhecem o impacto para as pessoas com deficiência, cada um na sua área de atuação, dos problemas relatados durante o experimento.

6.2.2 Materiais

Para a coleta de dados relacionados à acessibilidade os participantes utilizaram quatro *smartphones* modelo iPhone 4, com câmera de 5 *megapixels* e GPS. O aplicativo Rota Acessível foi instalado nestes *smartphones* e configurado para não auto-enviar os relatos para evitar a utilização excessiva do pacote de dados dos telefones celulares dos participantes, uma vez que, neste experimento, uma grande quantidade de relatos com fotos seria gerada em um curto intervalo de tempo.

6.2.3 Desenho do Experimento

O experimento foi desenhado para cobrir a região no entorno das quatro instituições participantes, uma região de aproximadamente quatro quilômetros quadrados da cidade de São Paulo. A figura 11 apresenta a área designada para este experimento, cujos limites formam um quadrilátero entre as seguintes vias: Avenida Ibirapuera, Rua Sena Madureira, Rua Domingos de Moraes e Avenida Onze de Junho.

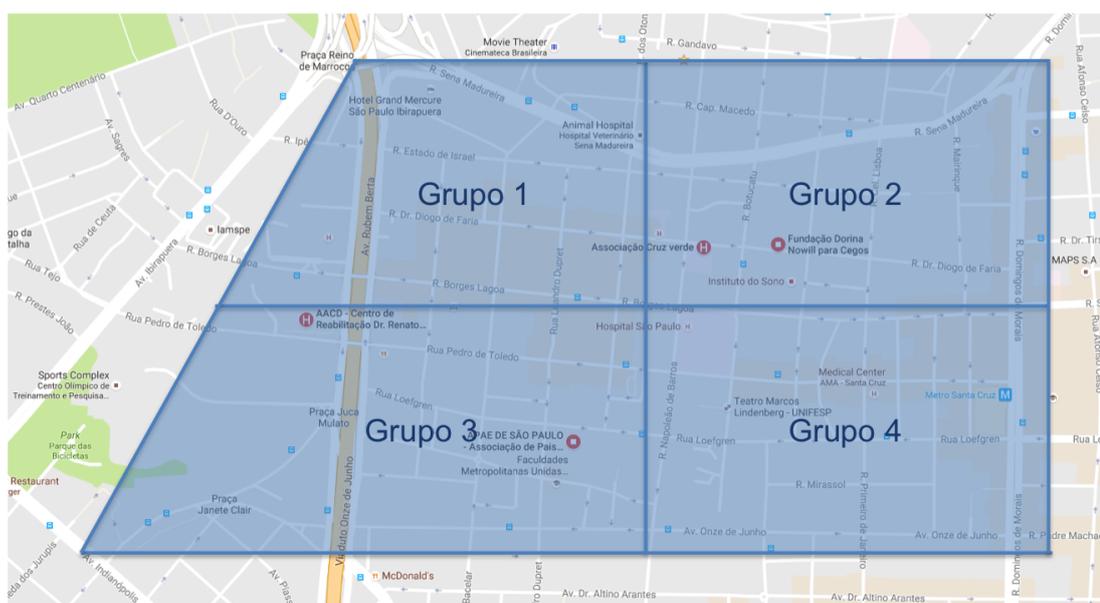


Figura 11: Região abrangida pelo experimento Rota Acessível.

Para a coleta dos dados, os participantes se dividiram em pares, formando quatro grupos, cada um com seu *smartphone*. A região a ser coberta foi dividida, então, entre os quatro grupos conforme indicado na figura 11.

6.2.4 Procedimento

No dia do experimento, 14 de setembro de 2013, os participantes foram reunidos na sede da APAE, e instruídos sobre o uso do aplicativo. Foi solicitado aos mesmos que relatassem todo tipo de problema de acessibilidade encontrado, incluindo os menores deles, na região especificada anteriormente. Com relação à criticidade dos eventos relatados, não foi definida qualquer metodologia ou orientação sobre como os voluntários do experimento deveriam fazer sua avaliação, mantendo a indicação do nível de criticidade subjetiva.

Ao final do experimento, os *smartphones* foram conectados a uma rede WiFi, e os relatos enviados ao servidores para análise.

6.2.5 Análise dos Dados

Aproximadamente mil relatos foram coletados a partir do aplicativo, que continuam disponíveis para *download* e uso. Diversos outros relatos foram enviados posteriormente por outras pessoas, não somente na região do experimento, mas também em outras cidades e países. Apesar de não ter sido realizado um estudo formal à respeito da usabilidade do aplicativo com os voluntários, argumenta-se neste trabalho que a quantidade de relatos gerada pelos voluntários, a área coberta no experimento, e o fato de que não houveram questionamentos durante o experimento por parte dos voluntários sobre o uso do aplicativo, apontam para um aplicativo que é fácil de aprender e utilizar, e eficiente no processo de coleta de dados, atendendo aos requisitos **RNF1** e **RNF2**.

A tabela 5 apresenta a quantidade de relatos recebidos durante o experimento, divididos por categoria e criticidade. A maioria dos relatos refere-se a problemas com calçadas, provavelmente em decorrência do fato de que calçadas defeituosas compõem o maior desafio enfrentado por qualquer pessoa com deficiência visual ou motora. Observou-se, ainda, que algumas categorias tiveram uma quantidade bastante baixa de relatos, embora não por falta de problemas destas naturezas, mas sim do contexto de realização do experimento. O exemplo mais claro disso foi a baixa quantidade de relatos de problemas com a iluminação pública, decorrente da realização do experimento durante o dia, dificultando a identificação deste tipo de problema.

Tabela 5: Resultados do experimento

Categoria	Criticidade			Total
	Média	Alta	Urgente	
Calçada	305	204	105	614
Guia rebaixada	49	45	38	132
Piso tátil	67	37	25	129
Semáforo de pedestres	42	22	18	82
Faixa de pedestres	13	9	14	36
Iluminação pública	0	1	0	1
Sinalização visual	0	0	1	1
Total	476	318	202	996

Uma característica do conjunto de dados que não é perceptível na tabela 5, embora muito relevante, é que problemas com nível de criticidade marcado como alto ou urgente por alguns usuários teriam sido marcados como médio por outros, e vice-versa, gerando inconsistências no conjunto de dados que precisam ser tratadas adequadamente. Além disso, a ocorrência de concentração de relatos do mesmo tipo muito próximo geograficamente sugere a necessidade de um mecanismo de consolidação de dados, capaz de agregar relatos associados a um mesmo problema.

Adicionalmente, a inspeção visual das fotos capturadas pelos usuários indica

que muitas contribuições estão associadas a problemas de baixa relevância. Acredita-se que isto seja consequência das instruções iniciais passadas aos voluntários para que relatassem qualquer problema de acessibilidade, com o intuito de se criar uma lista completa de problemas de acessibilidade na região. Observou-se, ainda, que alguns usuários são menos seletivos que outros, indicando que técnicas de filtragem e classificação baseadas no perfil do usuário e no contexto podem contribuir para melhoria da qualidade dos dados em plataformas de monitoramento colaborativo, conforme discutido na subseção 2.4.2. Tais técnicas, apesar de fora do escopo deste trabalho, permitiriam que administradores das cidades priorizassem automaticamente quais relatos são mais relevantes e devem ser tratados primeiro, evitando o desperdício de recursos com relatos errôneos ou de baixa qualidade gerados pelos usuários.

6.3 Aplicabilidade do Sistema em Outros Cenários

Conforme mencionado anteriormente, o sistema proposto neste trabalho é genérico e pode, também, ser utilizado para atender diversos outros cenários, conforme ilustrado na figura 12, tais como: (a) problemas da cidade de modo geral - trânsito, alagamento, foco de dengue, falta de água, lixo jogado em local impróprio, fauna e flora urbana, entre outros; (b) relatos relacionados à saúde pública, como por exemplo animais que são vetores de transmissão de doenças; (c) companhia de eletricidade, oferecendo a partir de um aplicativo de monitoramento colaborativo opções para clientes relatarem falta de energia ou irregularidades na linha de transmissão, e, ao mesmo tempo, permitindo que seus técnicos de manutenção relatem condições das linhas e necessidade de manutenção preventiva e corretiva; e (d) emissora de TV com programação feita colaborativamente com seus telespectadores, por meio da contribuição de notícias e acontecimentos geolocalizados.



Figura 12: Aplicabilidade do sistema em outros cenários.

Conforme ilustrado, a solução implementada para monitoramento colaborativo ativo, customizada por meio da linguagem de descrição criada para permitir novas iniciativas sem a necessidade de codificação, permite o emprego do mesmo sistema em outros contextos, incluindo cenários não relacionados às cidades inteligentes. Adicionalmente aos cenários (c) e (d) apresentados anteriormente, um outro exemplo disso é a utilização do sistema em fábricas, nas quais os funcionários possuem um aplicativo customizado com categorias relacionadas a riscos de acidentes no trabalho (e.g., piso molhado, falta de equipamento de proteção), a equipamentos danificados, entre outros.

6.4 Considerações Finais sobre o Experimento e a Aplicabilidade do Sistema Implementado

Neste capítulo, validou-se o uso da linguagem e do sistema implementado neste trabalho por meio do experimento com o aplicativo Rota Acessível, que confirmou a aplicabilidade e eficácia da linguagem e do sistema no cenário proposto de monitoramento colaborativo ativo em cidades inteligentes. Adicionalmente, descreveram-se diversos outros cenários que podem ser facilmente criados por meio do uso da linguagem definida no capítulo 4, e

provisionados e customizados sem a necessidade de codificação usando o sistema apresentado no capítulo 5, ilustrando a extensibilidade da solução.

Vale notar, também, que na época da realização do experimento a legislação indicava os proprietários dos imóveis como responsáveis pela qualidade e manutenção das calçadas. No entanto, recentes mudanças na legislação, com o estatuto da acessibilidade, Lei 13.146/2015 (BRASIL, 2015), transferiram para o Estado a responsabilidade de reformar as calçadas visando garantir a acessibilidade, conforme mencionado no artigo 113:

Art. 113. A Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001 (Estatuto da Cidade), passa a vigorar com as seguintes alterações:

“Art. 41.
§ 3º As cidades de que trata o **caput** deste artigo devem elaborar plano de rotas acessíveis, compatível com o plano diretor no qual está inserido, que disponha sobre os passeios públicos a serem implantados ou reformados pelo poder público, com vistas a garantir acessibilidade da pessoa com deficiência ou com mobilidade reduzida a todas as rotas e vias existentes, inclusive as que concentrem os focos geradores de maior circulação de pedestres, como os órgãos públicos e os locais de prestação de serviços públicos e privados de saúde, educação, assistência social, esporte, cultura, correios e telégrafos, bancos, entre outros, sempre que possível de maneira integrada com os sistemas de transporte coletivo de passageiros.” (BRASIL, 2015, Art. 113)

Além disso], a utilização de técnicas de monitoramento colaborativo, como no caso do Rota Acessível, pode auxiliar na identificação dos problemas, na priorização dos mesmos e no planejamento das ações, atendendo ao artigo 61 da mesma lei.

Art. 61. A formulação, a implementação e a manutenção das ações de acessibilidade atenderão às seguintes premissas básicas:

- I - eleição de prioridades, elaboração de cronograma e reserva de recursos para implementação das ações; e
- II - planejamento contínuo e articulado entre os setores envolvidos. (BRASIL, 2015, Art. 61)

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve, como tema central, o monitoramento colaborativo, um novo paradigma de coleta de dados de sensores focado na extração de dados gerados pelas pessoas e que tem sido suportado e estimulado pelos avanços tecnológicos recentes, tais como a criação e popularização dos *smartphones*, com uma diversidade de sensores embarcados. Este tipo de dado adiciona um componente essencial para administradores de infraestruturas urbanas inteligentes, uma vez que gera descobertas e percepções sobre as necessidades, a rotina e os desejos dos cidadãos, complementares ao conhecimento que pode ser obtido a partir de sensores físicos tradicionais.

Este capítulo finaliza o trabalho, descrevendo as suas principais contribuições relativas ao estado da arte do monitoramento colaborativo, e apresentando propostas de trabalhos futuros relevantes que podem ser realizados.

7.1 Contribuições

As contribuições deste trabalho podem ser resumidas como:

- Uma proposta de taxonomia para classificar trabalhos de monitoramento colaborativo. Diferentemente das taxonomias relacionadas existentes, cujo foco é a classificação de iniciativas de *crowdsourcing*, a taxonomia proposta neste trabalho considera aspectos relacionados com a ciência do usuário e

a privacidade na coleta de dados, tornando a classificação de trabalhos de monitoramento colaborativo mais precisa.

- Um estudo (*survey*) dos trabalhos e projetos dedicados ao monitoramento colaborativo, organizando-os a partir da taxonomia proposta. O levantamento realizado, apesar de não exaustivo, permite identificar tendências e aspectos comuns entre diversos trabalhos, além de combinações ainda pouco exploradas.
- A apresentação de uma visão geral de arquitetura e componentes de uma plataforma para o monitoramento colaborativo, com o intuito de permitir a coleta e a análise integrada dos dados coletados de cidadãos, de sensores físicos e de redes sociais. Apesar da arquitetura apresentada não ser única do ponto de vista de seus componentes e funcionalidade, é mais completa, abrangendo uma diversidade maior de componentes possíveis em sistemas de monitoramento colaborativo.
- O desenho de uma linguagem formal para especificação de iniciativas de monitoramento colaborativo ativo. A partir desta linguagem, possibilitou-se a especificação declarativa de novas iniciativas de monitoramento colaborativo.
- A implementação de um sistema que possibilita, por meio da interpretação da linguagem definida, construir e experimentar novas iniciativas de monitoramento colaborativo ativo rapidamente. O sistema e o interpretador da linguagem implementados permitem, a partir da especificação descritiva de uma iniciativa, a customização automática de um aplicativo móvel para coleta de dados e de painéis de visualização, bem como o provisionamento dos recursos necessários nos servidores para possibilitar a coleta e processamento dos dados da iniciativa descrita.

- A descrição de um experimento com a finalidade de se identificar as condições de acessibilidade em uma região de aproximadamente quatro quilômetros quadrados na cidade de São Paulo, por meio do monitoramento colaborativo ativo, utilizando a linguagem e o sistema desenhados neste trabalho.
- A disseminação do conhecimento científico adquirido por meio de apresentação em conferência e publicações em periódicos dos trabalhos intitulados “*A crowdsourcing platform for the construction of accessibility maps*” (CARDONHA et al., 2013), “*Taxonomy of Citizen Sensing for Intelligent Urban Infrastructures*” (GALLO et al., 2014) e “*Toward a platform to support vocational training of people with disabilities*” (CARDONHA et al., 2015).

A revisão da literatura mostrou que tanto a relevância científica quanto o interesse prático nesta área cresceram consideravelmente nos últimos anos. Adicionalmente, o número crescente de iniciativas de monitoramento colaborativo motivou o desenho da taxonomia proposta, uma vez que somente um esquema de classificação apropriado pode oferecer a pesquisadores e praticantes a oportunidade de mapear o estado-da-arte e identificar áreas relevantes que podem ser exploradas.

Finalmente, a linguagem criada e o sistema implementado permitem que novas iniciativas de monitoramento colaborativo ativo sejam criadas rapidamente, conforme ilustrado no experimento Rota Acessível. A partir da interpretação da especificação descritiva de uma iniciativa, o aplicativo móvel para coleta de dados e os painéis de visualização são customizados, bem como os recursos necessários nos servidores para possibilitar a coleta e processamento dos dados são provisionados. O resultado disso é a facilidade de se explorar novas iniciativas de monitoramento colaborativo, com o mínimo de tempo e esforço

na implementação da iniciativa, *i.e.*, somente descrevendo a mesma a partir da linguagem, sem necessidade de codificação adicional.

7.2 Trabalhos Futuros

Entre as várias direções possíveis para trabalhos futuros na área, vale mencionar a necessidade de técnicas para aumentar a qualidade dos dados gerados pelos colaboradores nestas plataformas. Conforme descrito na seção 2.4.2, diversos trabalhos existem na área de qualidade dos dados e reputação do usuário. No entanto, explorar métodos capazes de normalizar os dados coletados em iniciativas de monitoramento colaborativo ativo, tratando a incerteza advinda da subjetividade na avaliação dos atributos por parte dos colaboradores, é importante para a priorização adequada dos relatos. Uma possibilidade seria utilizar informações do perfil do usuário, do histórico de relatos passados, e do histórico de outros usuários sobre o mesmo problema, para realizar tal normalização. No entanto, por se tratar de um problema complexo, existe a oportunidade de se explorar diferentes possibilidades nesta área futuramente.

Adicionalmente, existem diversas oportunidades em se explorar uma área de pesquisa que está emergindo do encontro entre os sensores tradicionais e o monitoramento colaborativo no estabelecimento de infraestruturas urbanas inteligentes. Em particular, cada componente possui o potencial de complementar a operação do outro. Por exemplo, baseado em relatos dos cidadãos, administradores da cidade podem identificar a distribuição geográfica ótima para sensores físicos, de acordo com problemas relatados em diferentes áreas. Simultaneamente, medidas anormais em sensores físicos em certas regiões podem desencadear iniciativas específicas de monitoramento colaborativo para facilitar a identificação de possíveis causas.

Diversas outras possibilidades existem de trabalhos futuros na área de monitoramento colaborativo. Neste capítulo serão exploradas em mais detalhes duas possibilidades de pesquisa. São elas: (i) desenvolvimento de sistemas de suporte à decisão com base nas informações coletadas para gestores das cidades; e (ii) utilização de tecnologias de Big Data para suportar uma arquitetura mais abrangente para coleta e processamento do crescente volume, variedade e velocidade com que tais dados são gerados.

7.2.1 Sistemas de Suporte à Decisão

Shim et al. (2002) apresenta uma extensa revisão histórica sobre a introdução e o desenvolvimento dos Sistemas de Suporte à Decisão (DSS – *Decision Support Systems*), que surgiram no final da década de 60 e início da década de 70, como uma evolução de duas áreas de pesquisa do final da década de 50 e início da década de 60: o estudo teórico do processo de decisão organizacional conduzido no *Carnegie Institute of Technology* por James G. March, Herbert Simon, Richard Cyert e outros (AUGIER, 2010), e o trabalho técnico conduzido no MIT por Gerrit, Ness e outros (KEEN, 1978 apud SHIM et al., 2002, p. 111).

Ainda de acordo com Shim et al. (2002), ferramentas clássicas de DSS são compostas pelos seguintes componentes:

- Capacidades sofisticadas dos sistemas de gerenciamento de base de dados (DBMS – *DataBase Management Systems*);
- Funções para modelagem e análise de dados;
- Desenho de interfaces de usuário poderosas, porém simples de utilizar, permitindo consultas interativas, geração de relatórios e exibição da informação na forma de grafos.

Diversos sistemas de suporte à decisão foram propostos nas mais diversas áreas. Na década de 90, Ritchie (1990) propôs um DSS baseado em conhecimento para estradas inteligentes, que utilizava uma abordagem baseada em Inteligência Artificial para realizar o gerenciamento de tráfego, auxiliando as equipes a desenvolverem estratégias de resposta a incidentes de trânsito. Mais recentemente propostas de DSS para planejamento e gerenciamento de cidades inteligentes têm sido apresentadas. Como exemplo, pode-se citar a proposta apresentada por Juan et al. (2011), que utiliza uma combinação de algoritmos de busca em grafos (A^*) com algoritmos genéticos para analisar diferentes estratégias e suas vantagens e desvantagens, utilizando dados provenientes de sensores automatizados que se encontram espalhados pelas cidades.

Adicionalmente, alguns trabalhos na área de monitoramento colaborativo e redes sociais, tais como os apresentados por Gao e Barbier (2011) e por Zaslavsky, Jayaraman e Krishnaswamy (2013), mencionam a utilização de ferramentas de análise sobre os dados provenientes das aplicações de monitoramento colaborativo ou das redes sociais para auxiliar processos de tomada de decisão. No entanto, nenhum destes sistemas considera tanto os dados coletados provenientes de sensores automatizados como dados obtidos por meio de aplicações de monitoramento colaborativo e de redes sociais, combinando estas fontes de informação para propor sistemas de suporte à decisão baseados no conhecimento agregado extraído desta diversidade de dados.

Portanto, parece promissor explorar, em trabalhos futuros, o conhecimento resultante da integração dos dados de sensores automatizados com as informações coletadas nas iniciativas de monitoramento colaborativo, além de informações extraídas das redes sociais, possibilitando a criação de um DSS melhor informado, que consiga levar em consideração um número maior de fatores

humanos associados às necessidades relacionadas à infraestrutura.

7.2.2 Arquitetura Utilizando Tecnologias de *Big Data*

Outra área a ser explorada em trabalhos futuros refere-se à arquitetura utilizada para sistemas de monitoramento colaborativo. Com o surgimento de tecnologias de *Big Data*, tais como o ecossistema *Hadoop* (SUMBALY; KREPS; SHAH, 2013; MONE, 2013), tornam-se factíveis o armazenamento e o processamento não somente de um volume muito maior de dados, mas, também, de dados de maior variedade, incluindo dados não-estruturados, e de dados gerados com maior velocidade.

Torna-se, portanto, interessante utilizar uma arquitetura baseada neste ecossistema para fazer a ingestão, o armazenamento e o processamento dos dados estruturados e não-estruturados, tanto em lote (*batch*) como tempo quase real (*near real-time*). Neste cenário, dados de diversas iniciativas de monitoramento colaborativo complementares podem ser combinados, unindo dados coletados via aplicações móveis de maneira ativa e passiva, dados de sensores automatizados e dados de redes sociais. A capacidade de ingerir, armazenar e processar todos esses dados cria um ambiente propício a novas descobertas, o que não é possível a partir de tecnologias mais tradicionais devido à falta de escalabilidade ou ao custo não factível.

Neste cenário, o HDFS (*Hadoop Distributed File System*) pode ser utilizado para armazenar de maneira distribuída toda a informação estruturada e não estruturada proveniente das diversas iniciativas de monitoramento colaborativo, e o paradigma de programação *MapReduce* (DEAN; GHEMAWAT, 2008) para processar dados, incluindo imagens, áudio e outros dados não estruturados quando este é o caso. Finalmente, uma combinação de ferramentas como *Sqoop*, *Flume*, *SpringXD*, entre outras, pode ser utilizada para a coleta de dados de

diferentes fontes.

Adicionalmente, técnicas de aprendizagem de máquina podem ser utilizadas neste ambiente, em ferramentas como *Mahout* (OWEN et al., 2011) para processar os dados, enriquecendo-os e extraíndo informações e conhecimento. Uma boa visão geral sobre as ferramentas existentes para aprendizagem de máquina no ecossistema *Hadoop* é apresentada por Landset et al. (2015). Finalmente, pode-se citar diversas aplicações e iniciativas que estão sendo propostas e experimentadas nesta área, tais como os trabalhos de Barnaghi, Sheth e Henson (2013), Barrett et al. (2013), Chen, Li e Wang (2015), Pfeiffer e Stevens (2015), Swan (2013), Xu et al. (2014).

Há, realmente, uma diversidade enorme de trabalhos futuros possíveis no tema de monitoramento colaborativo que podem ser tratados. Finalizando este trabalho, dois assuntos bastante interessantes foram apresentados: sistemas de suporte à decisão a partir dos dados coletados via monitoramento colaborativo, e o uso de tecnologias de *Big Data* para permitir o armazenamento e o processamento de grandes volumes e variedade de dados. Esses dois tópicos foram utilizados para ilustrar trabalhos futuros possíveis, tendo em vista a relevância de sistemas de suporte à decisão, e as novas possibilidades que surgem com as tecnologias de *Big Data* na área de monitoramento colaborativo. No entanto, diversos outros trabalhos futuros são possíveis.

REFERÊNCIAS

- ACHREKAR, H.; GANDHE, A.; LAZARUS, R.; YU, S.-H.; LIU, B. Predicting Flu Trends using Twitter Data. In: *IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS)*. Shanghai, China: IEEE, 2011. p. 702–707. ISBN 9781457702488. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=5928903>.
- AGARWAL, V.; BANERJEE, N.; CHAKRABORTY, D.; MITTAL, S. USense – A Smartphone Middleware for Community Sensing. *2013 IEEE 14th International Conference on Mobile Data Management*, IEEE, p. 56–65, jun 2013. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6569122>.
- AHMAD, S.; BATTLE, A.; MALKANI, Z.; KAMVAR, S. The Jabberwocky Programming Environment for Structured Social Computing. In: *Proceedings of the 24th annual ACM symposium on User interface software and technology - UIST'11*. Santa Barbara, CA, USA: ACM, 2011. p. 53–63. ISBN 978-1-4503-0716-1. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2047196.2047203>.
- Amazon Web Services. *Amazon Simple Storage Service (S3) - Object Storage*. 2006. Disponível em: <https://aws.amazon.com/s3/>. Acesso em: 2016-02-08.
- Amazon Web Services, I. *AWS | Amazon Mechanical Turk - A Marketplace for Crowdsourcing Work*. 2005. Disponível em: <http://aws.amazon.com/mturk/>. Acesso em: 2014-04-15.
- Amazon.com Inc. *Ask questions, Find answers - Askville*. 2016. Disponível em: <http://askville.amazon.com/>. Acesso em: 2016-01-24.
- AMINI, L.; BOUILLET, E.; CALABRESE, F.; GASPARINI, L.; VERSCHURE, O. Challenges and results in city-scale sensing. In: *2011 IEEE SENSORS Proceedings*. IEEE, 2011. p. 59–61. ISBN 978-1-4244-9289-3. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6127189>.
- ARAMAKI, E.; MASKAWA, S.; MORITA, M. Twitter catches the flu: detecting influenza epidemics using Twitter. In: *Proceedings of the Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP'11)*. Edinburgh, UK: Association for Computational Linguistics, 2011. p. 1568–1576. Disponível em: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2145432.2145600>.
- AUGIER, M. Cyert, March, and the Carnegie school. In: KLEIN, P. G.; SYKUTA, M. E. (Ed.). *The Elgar Companion to Transaction Cost Economics*. Edward Elgar, 2010. cap. 5, p. 49–57. ISBN 9781845427665. Disponível em: [http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=6sOi1WDXHGcC&oi=fnd&pg=PA49&dq="research+and+teaching+are+never+easy.+?+\[b\]ut+in+the+late+](http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=6sOi1WDXHGcC&oi=fnd&pg=PA49&dq=)

1950s+and"+individuals+and+organizations+acting+in+the+face+of+?the+uncertainties"+these+matters+in+a+behaviorally+infor>.

BARNAGHI, P.; SHETH, A.; HENSON, C. From data to actionable knowledge: Big data challenges in the web of things. *IEEE Intelligent Systems*, v. 28, 2013. ISSN 15411672.

BARRETT, M. a.; HUMBLET, O.; HIATT, R. a.; ADLER, N. E. Big Data and Disease Prevention: From Quantified Self to Quantified Communities. *Big Data*, v. 1, n. 3, p. 130822071859002, aug 2013. ISSN 2167-6461. Disponível em: <<http://online.liebertpub.com/doi/abs/10.1089/big.2013.0027>>.

BEHAVIO. *funf | Open Sensing Framework*. 2011. Disponível em: <<http://www.funf.org/>>. Acesso em: 2014-04-15.

BONÉR, J.; FARLEY, D.; KUHN, R.; THOMPSON, M. *The Reactive Manifesto*. 2014. Disponível em: <<http://www.reactivemanoifesto.org/>>. Acesso em: 2016-01-09.

BOZZON, A.; BRAMBILLA, M.; CERI, S.; MAURI, A. Reactive crowdsourcing. In: *Proceedings of the 22nd International Conference on World Wide Web*. Rio de Janeiro, Brazil: International World Wide Web Conferences Steering Committee, 2013. p. 153–164. ISBN 9781450320351. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2488388.2488403>>.

BRASIL. *Lei nº 13.146, de 06 de julho de 2015. Institui a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência)*. Brasília, DF: [s.n.], 2015. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2015/Lei/L13146.htm>.

BURKE, J.; ESTRIN, D.; HANSEN, M.; PARKER, A.; RAMANATHAN, N.; REDDY, S.; SRIVASTAVA, M. B. Participatory Sensing. In: *Proc. of WSW'06 at SenSys'06*. Boulder, Colorado, USA: [s.n.], 2006. p. 1–6. ISBN 1595933433. Disponível em: <<http://escholarship.org/uc/item/19h777qd.pdf>>.

CALLISON-BURCH, C.; DREDZE, M. Creating Speech and Language Data With Amazon's Mechanical Turk. In: *Proceedings of the NAACL HLT 2010 Workshop on Creating Speech and Language Data with Amazon's Mechanical Turk*. Los Angeles, California: Association for Computational Linguistics, 2010. p. 1–12. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1866696.1866697>>.

CAMPBELL, A. T.; EISENMAN, S. B.; LANE, N. D.; MILUZZO, E.; PETERSON, R. a. People-centric urban sensing. In: *Proceedings of the 2nd annual international workshop on Wireless internet - WICON '06*. New York, New York, USA: ACM Press, 2006. p. 1–14. ISBN 159593510X. Disponível em: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1234161.1234179>>.

CARBONELL, J. G.; MICHALSKI, R. S.; MITCHELL, T. M. A Taxonomy of Machine Learning Research. In: MICHALSKI, R. S.; CARBONELL, J. G.; MITCHELL, T. M. (Ed.). *Machine Learning - An Artificial Intelligence Approach*. Berlin, Heidelberg:

Springer Berlin Heidelberg, 1983. cap. 1, p. 7–13. ISBN 978-3-662-12407-9. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/978-3-662-12405-5>>.

CARDONHA, C.; GALLO, D.; AVEGLIANO, P.; HERRMANN, R.; KOCH, F.; BORGER, S. A crowdsourcing platform for the construction of accessibility maps. In: *Proceedings of the 10th International Cross-Disciplinary Conference on Web Accessibility - W4A '13*. Rio de Janeiro, Brazil: ACM Press, 2013. p. 1–4. ISBN 9781450318440. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2461121.2461129>>.

CARDONHA, C. H.; GUIMARAES, R. L.; MATTOS, A.; NOGIMA, J.; AVEGLIANO, P.; GALLO, D.; HERRMANN, R.; BORGER, S. Toward a platform to support vocational training of people with disabilities. *IBM Journal of Research and Development*, v. 59, n. 6, p. 2:1–2:7, 2015. ISSN 0018-8646. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=7330109>>.

Catraca Livre. *Câmara Municipal realiza 1ª Hackathon: Maratona Hacker de Dados Abertos*. 2012. Disponível em: <<https://catracalivre.com.br/geral/dica-digital/indicacao/camara-municipal-realiza-1%C2%AA-hackathon-maratona-hacker-de-dados-abertos/>>. Acesso em: 2015-12-21.

CHATZIMILIOUDIS, G.; KONSTANTINIDIS, A.; LAOUDIAS, C.; ZEINALIPOUR-YAZTI, D. Crowdsourcing with Smartphones. *IEEE Internet Computing*, v. 16, n. 5, p. 36–44, sep 2012. ISSN 1089-7801. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6216342>>.

CHEN, K.; LI, X.; WANG, H. On the model design of integrated intelligent big data analytics systems. *Industrial Management & Data Systems*, v. 115, n. 9, p. 1666–1682, 2015. ISSN 0263-5577. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/doi/10.1108/IMDS-03-2015-0086>>.

CHEN, S.; LI, M.; REN, K.; FU, X.; QIAO, C. Rise of the Indoor Crowd: Reconstruction of Building Interior View via Mobile Crowdsourcing. In: *Proceedings of the 13th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems - SenSys '15*. Seoul, South Korea: ACM Press, 2015. p. 59–71. ISBN 9781450336314. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2809695.2809702>>.

Children's Hospital Boston. *HealthMap - Outbreaks Near Me*. 2006. Disponível em: <<http://healthmap.org/outbreaksnearme/>>. Acesso em: 2014-04-15.

_____. *MedWatcher*. 2010. Disponível em: <<https://medwatcher.org/>>. Acesso em: 2014-04-15.

CORSAR, D.; EDWARDS, P.; BAILLIE, C.; MARKOVIC, M.; PAPANGELIS, K.; NELSON, J. Short Paper: Citizen Sensing within a Real-Time Passenger Information System. In: *6th International Workshop on Semantic Sensor Networks*. [s.n.], 2013. p. 1–6. Disponível em: <<http://ceur-ws.org/Vol-1063/paper7.pdf>>.

CROWLEY, D. N.; BRESLIN, J. G.; CORCORAN, P.; YOUNG, K. Gamification of citizen sensing through mobile social reporting. *2012 IEEE International*

- Games Innovation Conference*, IEEE, p. 1–5, sep 2012. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6329849>.
- CUFF, D.; HANSEN, M.; KANG, J. Urban sensing: out of the woods. *Communications of the ACM*, v. 51, n. 3, p. 24–33, mar 2008. ISSN 00010782. Disponível em: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1325562>.
- DEAN, J.; GHEMAWAT, S. MapReduce: Simplified data processing on large clusters. *Communications of the ACM*, ACM, v. 51, n. 1, p. 107–113, 2008. ISSN 00010782. Disponível em: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1327452.1327492>.
- FAULKNER, M.; OLSON, M.; CHANDY, R.; KRAUSE, J.; CHANDY, K. M.; KRAUSE, A. The Next Big One: Detecting Earthquakes and other Rare Events from Community-based Sensors. In: *2011 10th International Conference on Information Processing in Sensor Networks (IPSN)*. Chicago, IL: [s.n.], 2011. p. 13–24. ISBN 9781450305129. Disponível em: http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5779061.
- FIELDING, R. T. *Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures*. 162 p. Tese (Doctoral dissertation) — University of California, Irvine, 2000. Disponível em: <http://www.ics.uci.edu/~fielding/pubs/dissertation/top.h>.
- GALLO, D. S.; CARDONHA, C.; AVEGLIANO, P.; CARVALHO, T. C. Taxonomy of Citizen Sensing for Intelligent Urban Infrastructures. *IEEE Sensors Journal*, v. 14, n. 12, p. 4154–4164, dec 2014. ISSN 1530-437X. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6908996>.
- GAO, H.; BARBIER, G. Harnessing the Crowdsourcing Power of Social Media for Disaster Relief. *IEEE Intelligent Systems*, v. 26, n. 3, p. 10–14, 2011.
- Gartner Inc. *Gartner Says Smartphone Sales Surpassed One Billion Units in 2014*. 2015. Disponível em: <http://www.gartner.com/newsroom/id/2996817>. Acesso em: 2015-12-21.
- GEIGER, D.; ROSEMANN, M.; FIELT, E. Crowdsourcing Information Systems – A Systems Theory Perspective. In: *ACIS 2011 Proceedings*. [s.n.], 2011. p. 1–11. Disponível em: <http://aisel.aisnet.org/acis2011/33/>.
- GRUTESER, M.; LIU, X. Protecting privacy in continuous location-tracking applications. *IEEE Security & Privacy*, n. March/April, p. 28–34, 2004. Disponível em: <http://www.computer.org/csdl/mags/sp/2004/02/j2028.pdf>.
- GURU.COM. *Guru - Hire Quality Freelancers And Find Freelance Jobs*. 2016. Disponível em: <http://www.guru.com/>. Acesso em: 2016-01-24.
- GUSTARINI, M.; WAC, K.; DEY, A. K. Anonymous smartphone data collection: factors influencing the users' acceptance in mobile crowd sensing. *Personal and Ubiquitous Computing*, Springer London, 2015. ISSN 1617-4909. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s00779-015-0898-0>.

HU, S.; SU, L.; LIU, H.; WANG, H.; ABDELZAHER, T. F. SmartRoad: Smartphone-Based Crowd Sensing for Traffic Regulator Detection and Identification. *ACM Transactions on Sensor Networks*, v. 11, n. 4, p. 55:1–55:27, jul 2015. ISSN 15504859. Disponível em: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2782756.2770876><http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2782756.2770876>.

HU, X.; CHU, T. H. S.; CHAN, H. C. B.; LEUNG, V. C. M. Vita: A Crowdsensing-oriented Mobile Cyber-Physical System. *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing*, p. 1–17, 2013. Disponível em: <http://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/TETC.2013.2273359>.

HUANG, K. L.; KANHERE, S. S.; HU, W. Are you contributing trustworthy data? The case for a reputation system in participatory sensing. In: *Proceedings of the 13th ACM international conference on Modeling, analysis, and simulation of wireless and mobile systems (MSWIM '10)*. ACM, 2010. p. 14–22. ISBN 9781450302746. Disponível em: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1868526>.

IBM Research Brazil. *Rota Acessível*. 2013. Disponível em: <http://rotaacessivel.com.br>. Acesso em: 2014-04-15.

INC. eBay. *Electronics, Cars, Fashion, Collectibles, Coupons and More | eBay*. 2016. Disponível em: <http://www.ebay.com/>. Acesso em: 2016-01-24.

Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. *Impactos sociais e econômicos dos acidentes de trânsito em aglomerações urbanas brasileiras*. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão Brasília, 2003. Disponível em: <http://www.pedestre.org.br/downloads/lpea Sintese Acidentes Transito Maio 2003.pdf>.

JUAN, Y.-K.; WANG, L.; WANG, J.; LECKIE, J. O.; LI, K.-M. A decision-support system for smarter city planning and management. *IBM Journal of Research and Development*, v. 55, n. 1.2, p. 3:1–3:12, jan 2011. ISSN 0018-8646. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5697277>.

Kamel Boulos, M. N.; RESCH, B.; CROWLEY, D. N.; BRESLIN, J. G.; SOHN, G.; BURTNER, R.; PIKE, W. a.; JEZIERSKI, E.; CHUANG, K.-Y. S. Crowdsourcing, citizen sensing and sensor web technologies for public and environmental health surveillance and crisis management: trends, OGC standards and application examples. *International journal of health geographics*, v. 67, n. 10, p. 1–29, jan 2011. ISSN 1476-072X. Disponível em: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3271966&tool=pmcentrez&rendertype=ab>.

KANG, S.; LEE, J.; JANG, H.; LEE, H.; LEE, Y. Seemon: scalable and energy-efficient context monitoring framework for sensor-rich mobile environments. In: *Proceedings of the 6th international conference on Mobile systems, applications, and services (MobiSys'08)*. Breckenridge, CO, USA: ACM, 2008. p. 267–280. ISBN 9781605581392. Disponível em: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1378630>.

KANTARCI, B.; MEMBER, S.; MOUFTAH, H. T. Reputation-based Sensing-as-a-Service for Crowd Management Over the Cloud. p. 3620–3625, 2014.

KEEN, P. G. W. *Decision Support Systems: An Organizational Perspective*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1978.

Keep Britain Tidy. *Love Clean Streets*. 2014. Disponível em: <<http://www.lovecleanstreets.com>>. Acesso em: 2014-04-15.

KIM, S.; ROBSON, C.; ZIMMERMAN, T. Creek watch: pairing usefulness and usability for successful citizen science. In: *CHI '11 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, 2011. p. 2125–2134. ISBN 9781450302678. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1979251>>.

KITTUR, A.; SMUS, B.; KHAMKAR, S.; KRAUT, R. E. CrowdForge: Crowdsourcing Complex Work. In: *Proceedings of the 24th annual ACM symposium on User interface software and technology - UIST'11*. Santa Barbara, CA, USA: ACM, 2011. p. 43–52. ISBN 978-1-4503-0716-1. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2047196.2047202>>.

KOCH, F.; CARDONHA, C.; GENTIL, J. M.; BORGER, S. A Platform for Citizen Sensing in Sentient Cities. In: *Citizen in Sensor Networks*. [s.n.], 2013. p. 57–66. Disponível em: <http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-36074-9_6>.

KRONTIRIS, I.; FREILING, F. C.; DIMITRIOU, T. Location Privacy in Urban Sensing Networks: Research Challenges and Directions. *IEEE Wireless Communications*, n. October, p. 30–35, 2010. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5601955>.

KULKARNI, A.; CAN, M.; HARTMANN, B. Collaboratively crowdsourcing workflows with turkomatic. In: *Proceedings of the ACM 2012 conference on Computer Supported Cooperative Work - CSCW '12*. Seattle, Washington, USA: ACM, 2012. p. 1003–1012. ISBN 9781450310864. ISSN 1450310869. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2145204.2145354>>.

LAMPOS, V.; BIE, T. D.; CRISTIANINI, N. Flu Detector - Tracking Epidemics on Twitter. In: BALCÁZAR, J. L.; BONCHI, F.; GIONIS, A.; SEBAG, M. (Ed.). *Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases*. Springer Berlin Heidelberg, 2010. p. 599–602. Disponível em: <http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-15939-8_42>.

LANDSET, S.; KHOSHGOFTAAR, T. M.; RICHTER, A. N.; HASANIN, T. A survey of open source tools for machine learning with big data in the Hadoop ecosystem. *Journal of Big Data*, Springer International Publishing, v. 2, n. 1, p. 24, 2015. ISSN 2196-1115. Disponível em: <<http://www.journalofbigdata.com/content/2/1/24>>.

LANE, N.; MILUZZO, E.; LU, H. A Survey of Mobile Phone Sensing. *IEEE Communications Magazine*, v. 48, n. 9, p. 140–150, 2010. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5560598>.

LEASE, M. On Quality Control and Machine Learning in Crowdsourcing. In: *Proceedings of the 3rd Human Computation Workshop (HCOMP) at AAI*.

[s.n.], 2011. p. 97–102. Disponível em: <<http://www.aaai.org/ocs/index.php/WS/AAAIW11/paper/viewPDFInterstitial/3906/4255>>.

LEE, J.-S.; HOH, B. Sell your experiences: a market mechanism based incentive for participatory sensing. In: *2010 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom)*. Mannheim: IEEE, 2010. p. 60–68. ISBN 978-1-4244-5329-0. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5466993>>.

LINDERS, D. From e-government to we-government: Defining a typology for citizen coproduction in the age of social media. *Government Information Quarterly*, Elsevier Inc., v. 29, n. 4, p. 446–454, 2012. ISSN 0740624X. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.giq.2012.06.003>>.

LITTLE, G.; CHILTON, L. B.; GOLDMAN, M.; MILLER, R. C. TurKit: Tools for iterative tasks on mechanical turk. In: *Proceedings of the ACM SIGKDD Workshop on Human Computation - HCOMP '09*. Paris, France: ACM, 2009. p. 29–30. ISBN 978-1-60558-672-4. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1600150.1600159>>.

MA, F.; LI, Y.; LI, Q.; QUI, M.; GAO, J.; ZHI, S.; ZHAO, B.; JI, H.; HAN, J. FaitCrowd : Fine Grained Truth Discovery for Crowdsourced Data Aggregation. p. 745–754, 2015.

MARTÍNEZ, I.; ANDRADE, C. Examples of reinforcement corrosion monitoring by embedded sensors in concrete structures. *Cement and Concrete Composites*, Elsevier Ltd, v. 31, n. 8, p. 545–554, sep 2009. ISSN 09589465. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.05.007><http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0958946509000936>>.

MATHEUS, R.; RIBEIRO, M. M.; VAZ, J. C. Brazil Towards Government 2.0: Strategies for Adopting Open Government Data in National and Subnational Governments. In: Imed Boughzala; Marijn Janssen, S. A. O. (Ed.). *Case Studies in e-Government 2.0*. 1. ed. Switzerland: Springer International Publishing, 2015. v. 1, n. 1, p. 121–138. ISBN 978-3-319-08080-2. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-08081-9_8<http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-08081-9>>.

MENDES, P. N.; PASSANT, A.; KAPANIPATHI, P. Twarql: Tapping Into the Wisdom of the Crowd. In: *Proceedings of the 6th International Conference on Semantic Systems - I-SEMANTICS '10*. New York, New York, USA: ACM Press, 2010. p. 1–3. ISBN 9781450300148. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1839762>>.

MIAO, C.; JIANG, W.; SU, L.; LI, Y.; GUO, S.; QIN, Z.; XIAO, H.; GAO, J.; REN, K. Cloud-Enabled Privacy-Preserving Truth Discovery in Crowd Sensing Systems. In: *Proceedings of the 13th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems - SenSys '15*. Seoul, South Korea: ACM Press, 2015. p. 183–196. ISBN 978-1-4503-3631-4/15/11. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2809695.2809719>>.

MILUZZO, E.; LANE, N. D.; FODOR, K.; PETERSON, R.; LU, H.; MUSOLESI, M.; EISENMAN, S. B.; ZHENG, X.; CAMPBELL, A. T. Sensing meets mobile social networks: the design, implementation and evaluation of the CenceMe application. In: *Proceedings of the 6th ACM conference on Embedded network sensor systems - SenSys '08*. New York, NY, USA: ACM Press, 2008. p. 337–350. ISBN 9781595939906. Disponível em: <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1460412.1460445>.

MINDER, P.; BERNSTEIN, A. CrowdLang: A Programming Language for the Systematic Exploration of Human Computation Systems Patrick. In: ABERER, K.; FLACHE, A.; JAGER, W.; LIU, L.; TANG, J.; GUÉRET, C. (Ed.). *Proceeding SocInfo'12 Proceedings of the 4th international conference on Social Informatics*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012. (Lecture Notes in Computer Science, v. 7710), p. 124–137. ISBN 978-3-642-35385-7. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-35386-4>.

MONE, G. Beyond Hadoop. *Communications of the ACM*, v. 56, n. 1, p. 22–24, jan 2013. ISSN 00010782.

NAGARAJAN, M.; SHETH, A.; VELMURUGAN, S. Citizen sensor data mining, social media analytics and development centric web applications. In: *Proceedings of the 20th international conference companion on World wide web - WWW '11*. New York, New York, USA: ACM Press, 2011. p. 289–290. ISBN 9781450306379. Disponível em: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1963315>.

NAM, T. Citizens' attitudes toward Open Government and Government 2.0. *International Review of Administrative Sciences*, v. 78, n. 2, p. 346–368, 2012. ISSN 0020-8523.

_____. Suggesting frameworks of citizen-sourcing via Government 2.0. *Government Information Quarterly*, Elsevier Inc., v. 29, n. 1, p. 12–20, 2012. ISSN 0740624X. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0740624X11001092>.

New Urban Mechanics. *Street Bump*. 2012. Disponível em: <http://streetbump.org/>. Acesso em: 2014-04-15.

OFFENHUBER, D. Infrastructure legibility—a comparative analysis of open311-based citizen feedback systems. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 2014. ISSN 1752-1378. Disponível em: <http://cjres.oxfordjournals.org/cgi/doi/10.1093/cjres/rsu001>.

OLIVEIRA, L. M. B. Cartilha do Censo 2010 – Pessoas com deficiência. *Brasília: Secretaria de Direitos Humanos da Presidência da República (SDH/PR), Secretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência (SNPD), Coordenação-Geral do Sistema de Informações sobre a Pessoa com Deficiência*, 2012. Disponível em: <http://www.pessoacomdeficiencia.gov.br/app/sites/default/files/publicacoes/cartilha-censo-2010-pessoas-com-deficiencia-reduzido.pdf>.

OPEN311. *Open311*. 2014. Disponível em: <http://www.open311.org/>. Acesso em: 2014-04-15.

OpenStack Foundation. *Welcome to Swift's documentation!* 2012. Disponível em: <http://docs.openstack.org/developer/swift/>. Acesso em: 2016-02-08.

OWEN, S.; ANIL, R.; DUNNING, T.; FRIEDMAN, E. *Mahout in Action*. Greenwich, CT, USA: Manning Publications Co., 2011. 375 p. ISSN 18125638. ISBN 9781935182689. Disponível em: <http://www.manning.com/owen/>.

PAN, B.; WILKIE, D.; SHAHABI, C. Crowd Sensing of Traffic Anomalies based on Human Mobility and Social Media Categories and Subject Descriptors. In: *SIGSPATIAL GIS '13*. Orlando, FL, USA: [s.n.], 2013. p. 1–10. ISBN 9781450325219. Disponível em: <http://www.msr-waypoint.com/pubs/201131/anomalydection-yuzheng.pdf>.

PARK, H.; GARCIA-MOLINA, H.; PANG, R.; POLYZOTIS, N.; PARAMESWARAN, A.; WIDOM, J. Deco: a system for declarative crowdsourcing. *Proceedings of the VLDB Endowment*, v. 5, n. 12, p. 1990–1993, 2012. ISSN 2150-8097. Disponível em: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2367502.2367555>.

PAULOS, E.; HONICKY, R.; HOOKER, B. Citizen Science: Enabling Participatory Urbanism. In: FOTH, M. (Ed.). *Handbook of Research on Urban Informatics: The Practice and Promise of the Real-Time City*. Hershey, PA: IGI Global, 2009. p. 414–436. ISBN 9781605661520. Disponível em: <http://www.igi-global.com/chapter/citizen-science-enabling-participatory-urbanism/21817/>.

PFEIFFER, D. U.; STEVENS, K. B. Spatial and temporal epidemiological analysis in the Big Data era. *Preventive Veterinary Medicine*, Elsevier B.V., v. 122, p. 213–220, 2015. ISSN 01675877. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167587715002111>.

PHITHAKKITNUKON, S.; WOLF, M. I.; OFFENHUBER, D.; LEE, D.; BIDERMAN, A.; RATTI, C. Tracking Trash. *IEEE Pervasive Computing*, v. 12, n. 2, p. 38–48, apr 2013. ISSN 15361268. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=6504856>.

Play Framework. *Build Modern & Scalable Web Apps with Java and Scala*. 2013. Disponível em: <https://www.playframework.com/>. Acesso em: 2016-01-09.

Public Stuff. *PublicStuff*. 2009. Disponível em: <http://www.publicstuff.com/>. Acesso em: 2014-07-11.

QUINN, A.; BEDERSON, B. Human computation: a survey and taxonomy of a growing field. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. Vancouver, Canada: ACM, 2011. p. 1403–1412. ISBN 9781450302678. Disponível em: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1979148>.

RA, M.; LIU, B.; PORTA, T. L.; GOVINDAN, R. Medusa: A programming framework for crowd-sensing applications. In: *Proceedings of the 10th international conference on Mobile systems, applications, and services*. ACM, 2012. p. 337–350. ISBN 9781450313018. Disponível em: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2307668>.

RAYKAR, V. C.; YU, S.; ZHAO, L. H.; FLORIN, C.; BOGONI, L.; MOY, L. Learning From Crowds. *Journal of Machine Learning Research*, v. 11, p. 1297–1322, 2010. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1859894>>.

REDDY, S.; SHILTON, K.; BURKE, J. Evaluating participation and performance in participatory sensing. In: *Proceedings of International Workshop on Urban, Community, and Social Applications of Networked Sensing Systems (UrbanSense08)*. Raleigh, North Carolina, USA: [s.n.], 2008. p. 1–5. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.178.9017>>.

REGE, M. R. CrowdMeter : An Emulation Platform For Performance Evaluation Of Crowd-Sensing Applications. In: *Proceedings of the 2013 ACM conference on Pervasive and ubiquitous computing adjunct publication (UbiComp '13 Adjunct)*. ACM, 2013. p. 1111–1122. ISBN 9781450322157. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2499578>>.

REHMAN, M.; LIEW, C.; WAH, T.; SHUJA, J.; DAGHIGHI, B. Mining Personal Data Using Smartphones and Wearable Devices: A Survey. *Sensors*, v. 15, n. 2, p. 4430–4469, 2015. ISSN 1424-8220. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/1424-8220/15/2/4430/>>.

RITCHIE, S. G. A knowledge-based decision support architecture for advanced traffic management. *Transportation Research Part A: General*, v. 24A, n. 1, p. 27–37, 1990. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/019126079090068H>>.

RZESZOTARSKI, J. M.; KITTUR, A. Instrumenting the crowd: using implicit behavioral measures to predict task performance. In: *Proceedings of the 24th annual ACM symposium on User interface software and technology - UIST '11*. New York, New York, USA: ACM Press, 2011. p. 13–22. ISBN 9781450307161. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2047199>>.

San Ramon Valley Fire Protection District. *Fire Department iPhone App 2.0*. 2011. Disponível em: <<http://www.firedepartment.mobi/>>. Acesso em: 2014-04-15.

SÁNCHEZ-CHARLES, D.; MUNTÉS-MULERO, V.; SOLÉ, M.; NIN, J. CrowdWON : A Modelling Language for Crowd Processes Based on Workflow Nets. In: *Proceedings of the Twenty-Ninth AAI Conference on Artificial Intelligence*. Austin Texas, USA: [s.n.], 2015. p. 1284–1290. Disponível em: <<http://www.aaai.org/ocs/index.php/AAAI/AAAI15/paper/view/9612>>.

SANFILIPPO, S.; NOORDHUIS, P. *Redis*. 2009. Disponível em: <<http://redis.io/>>. Acesso em: 2016-01-09.

SAZONOV, E. S.; FULK, G.; SAZONOVA, N.; SCHUCKERS, S. Automatic recognition of postures and activities in stroke patients. *Proceedings of the 31st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society: Engineering the Future of Biomedicine, EMBC 2009*, p. 2200–2203, 2009. ISSN 1557-170X.

SCEKIC, O.; TRUONG, H. L.; DUSTDAR, S. PRINGL - A domain-specific language for incentive management in crowdsourcing. *Computer Networks*, Elsevier Ltd., v. 90, p. 14–33, 2015. ISSN 13891286. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.comnet.2015.05.019>>.

SECLICKFIX. *Commonwealth Connect*. 2015. Disponível em: <<http://commonwealthconnect.io/>>. Acesso em: 2016-01-19.

SHENG, X.; TANG, J.; ZHANG, W. Energy-efficient collaborative sensing with mobile phones. In: *2012 Proceedings IEEE INFOCOM*. Orlando, FL: IEEE, 2012. p. 1916–1924. ISBN 978-1-4673-0775-8. ISSN 0743-166X. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6195568>>.

SHETH, A. Citizen Sensing, Social Signals, and Enriching Human Experience. *IEEE Internet Computing*, v. 13, n. 4, p. 87–92, jul 2009. ISSN 1089-7801. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5167274>.

SHIM, J.; WARKENTIN, M.; COURTNEY, J. F.; POWER, D. J.; SHARDA, R.; CARLSSON, C. Past, present, and future of decision support technology. *Decision Support Systems*, v. 33, n. 2, p. 111–126, jun 2002. ISSN 01679236. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167923601001397>>.

Sickweather LLC. *Sickweather*. 2011. Disponível em: <<http://www.sickweather.com/>>. Acesso em: 2014-04-15.

SMITH, C. *Cambridge, MA launches a new reporting app for citizens powered by SeeClickFix*. 2016. Disponível em: <<http://blog.seeclickfix.com/cambridge-ma>>. Acesso em: 2016-01-19.

SUMBALY, R.; KREPS, J.; SHAH, S. The “Big Data” Ecosystem at LinkedIn. In: *Proceedings of the 2013 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data (SIGMOD '13)*. New York, NY, USA: ACM, 2013. p. 1125–1134. ISBN 9781450320375. ISSN 07308078. Disponível em: <[http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2463707\\$delimiter"026E30F\\$npapers3://publication/uuid/3C3462F4-91BA-47F1-9330-B1FF2E01106F](http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2463707$delimiter)>.

SUN, P.-L.; KU, C.-Y.; SHIH, D.-H. An implementation framework for E-Government 2.0. *Telematics and Informatics*, Elsevier Ltd, v. 32, n. 3, p. 504–520, 2014. ISSN 07365853. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0736585314000926>>.

SWAN, M. The Quantified Self: Fundamental Disruption in Big Data Science and Biological Discovery. *Big Data*, v. 1, n. 2, p. 85–99, jun 2013. ISSN 2167-6461. Disponível em: <<http://online.liebertpub.com/doi/abs/10.1089/big.2012.0002>>.

The Guardian. *Open data challenge: Europe's biggest ever public data competition*. 2011. Disponível em: <<http://www.theguardian.com/news/datablog/2011/apr/05/open-european-data>>. Acesso em: 2015-12-21.

- The PostgreSQL Global Development Group. *PostgreSQL: The world's most advanced open source database*. 1996. Disponível em: <<http://www.postgresql.org/>>. Acesso em: 2016-02-08.
- WANG, D.; ABDELZAKER, T.; KAPLAN, L.; GANTI, R.; HU, S.; LIU, H. Exploitation of Physical Constraints for Reliable Social Sensing. In: *2013 IEEE 34th Real-Time Systems Symposium (RTSS)*. Vancouver, BC: IEEE, 2013. p. 212–223. ISBN 978-1-4799-2006-8. ISSN 1052-8725. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6728876>>.
- WANG, Y.; KRISHNAMACHARI, B.; ANNAVARAM, M. Semi-Markov state estimation and policy optimization for energy efficient mobile sensing. In: *Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks workshops*. Seoul: IEEE, 2012. v. 1, p. 533–541. ISBN 9781467319058. ISSN 21555486. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6275823>>.
- WAZE. *Free Community-based Mapping, Traffic & Navigation app*. 2009. Disponível em: <<https://www.waze.com/>>. Acesso em: 2014-04-15.
- XU, Z.; ZHANG, H.; LIU, Y.; MEI, L. Crowd Sensing of Urban Emergency Events Based on Social Media Big Data. *13th IEEE International Conference on Trust, Security and Privacy in Computing and Communications (TrustCom)*, p. 605–610, 2014.
- Yahoo! Inc. *Yahoo Answers - Home*. 2016. Disponível em: <<https://answers.yahoo.com/>>. Acesso em: 2016-01-24.
- YANG, H.; ZHANG, J.; ROE, P. Using Reputation Management in Participatory Sensing for Data Classification. *Procedia Computer Science*, v. 5, p. 190–197, jan 2011. ISSN 18770509. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877050911003516>>.
- ZASLAVSKY, A.; JAYARAMAN, P. P.; KRISHNASWAMY, S. ShareLikesCrowd: Mobile analytics for participatory sensing and crowd-sourcing applications. In: *2013 IEEE 29th International Conference on Data Engineering Workshops (ICDEW)*. Brisbane, QLD: IEEE, 2013. p. 128–135. ISBN 978-1-4673-5304-5. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6547440>>.
- ZHANG, X.; YANG, Z.; ZHOU, Z.; CAI, H.; CHEN, L.; LI, X. Free Market of Crowdsourcing: Incentive Mechanism Design for Mobile Sensing. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, v. 9219, n. c, p. 1–11, 2014. ISSN 1045-9219. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6714605>>.

APÊNDICE A - INTERFACE REST DETALHADA

Este apêndice detalha cada método da interface, apresentando sua estrutura e exemplos de requisição e resposta. Todos os métodos podem responder com dados em formato HTML, JSON ou XML, respeitando o especificado no cabeçalho HTTP "Accept".

A.1 Listar Todas as Aplicações

Método: *GET /applications*

Obtém a lista completa de aplicações, incluindo todos os detalhes de cada uma. Um exemplo de JSON de resposta é apresentado a seguir.

```
1  [
2    {
3      "id": 1,
4      "name": "AppTest1",
5      "description": "Application 1 for testing purposes.",
6      "creationDate": 1355491923359,
7      "categories": [
8        {
9          "id": 1,
10         "name": "CatTest1",
11         "description": "Category 1 for testing purposes.",
12         "creationDate": 1355491923359,
13         "type": "MOBILE_APP",
14         "attributes": [
15           {
16             "id": 1,
17             "name": "Attr1",
```

```

18         "description": "Attribute 1 for testing purposes."
19     },
20     {
21         "id": 2,
22         "name": "Attr2",
23         "description": "Attribute 2 for testing purposes."
24     }
25 ]
26 },
27 {
28     "id": 2,
29     "name": "CatTest2",
30     "description": "Category 2 for testing purposes.",
31     "creationDate": 1355491923438,
32     "type": "MOBILE_APP",
33     "attributes": [
34         {
35             "id": 3,
36             "name": "Attr3",
37             "description": "Attribute 3 for testing purposes."
38         }
39     ]
40 }
41 ]
42 },
43 {
44     "id": 2,
45     "name": "AppTest2",
46     "description": "Application 2 for testing purposes.",
47     "creationDate": 1355491923438,
48     "categories": [
49         {
50             "id": 2,
51             "name": "CatTest2",
52             "description": "Category 2 for testing purposes.",
53             "creationDate": 1355491923438,
54             "type": "MOBILE_APP",
55             "attributes": [
56                 {
57                     "id": 3,
58                     "name": "Attr3",
59                     "description": "Attribute 3 for testing purposes."
60                 }
61             ]
62         }
63     ]
64 }
65 ]

```

A.2 Obter uma Aplicação

Método: *GET* /applications/<appld>

Obtém a aplicação cujo identificador é dado por <appld>. Um exemplo de JSON de resposta é apresentado a seguir.

```
1 {
2   "id": 2,
3   "name": "AppTest2",
4   "description": "Application 2 for testing purposes.",
5   "creationDate": 1355491923438,
6   "categories": [
7     {
8       "id": 2,
9       "name": "CatTest2",
10      "description": "Category 2 for testing purposes.",
11      "creationDate": 1355491923438,
12      "type": "MOBILE_APP",
13      "attributes": [
14        {
15          "id": 3,
16          "name": "Attr3",
17          "description": "Attribute 3 for testing purposes."
18        }
19      ]
20    }
21  ]
22 }
```

A.3 Criar uma Nova Aplicação

Método: *POST /applications*

Cria uma nova aplicação, possivelmente vinculando com categorias já existentes, a partir a informação provida no JSON da requisição, conforme exemplo a seguir. Outras categorias podem ser adicionadas posteriormente atualizando a aplicação.

```
1 {
2   "name": "AppTest2",
3   "description": "Application 2 for testing purposes.",
4   "categories": [
5     {
6       "id": 2,
7     }
8   ]
9 }
```

A.4 Atualizar uma Aplicação

Método: *PUT* /applications/<appld>

Atualiza a aplicação especificada por meio do <appld>, com as informações providas no JSON da requisição, conforme exemplo a seguir.

```
1 {  
2   "name": "AppTest1",  
3   "description": "Updated application 1 for testing purposes.",  
4 }
```

Note que somente os campos contidos no JSON provido na requisição serão atualizados, com os demais campos se mantendo inalterados.

A.5 Remover uma Aplicação

Método: *DELETE* /applications/<appld>

Remove a aplicação especificada pelo identificador <appld>.

Note que quando uma aplicação é removida, as categorias contidas na aplicação não são removidas, uma vez que podem estar sendo utilizadas por outras aplicações. O método para remoção de categorias será descrito na seção A.10.

A.6 Listar Todas as Categorias

Método: *GET* /categories

Obtém a lista completa de categorias, incluindo todos os detalhes de cada categoria. Um exemplo de JSON de resposta é apresentado a seguir.

```

1  [
2    {
3      "id": 1,
4      "name": "CatTest1",
5      "description": "Category 1 for testing purposes.",
6      "creationDate": 1355491923359,
7      "type": "MOBILE_APP",
8      "attributes": [
9        {
10       "id": 1,
11       "name": "Attr1",
12       "description": "Attribute 1 for testing purposes."
13     },
14     {
15       "id": 2,
16       "name": "Attr2",
17       "description": "Attribute 2 for testing purposes."
18     }
19   ]
20 },
21 {
22   "id": 2,
23   "name": "CatTest2",
24   "description": "Category 2 for testing purposes.",
25   "creationDate": 1355491923438,
26   "type": "MOBILE_APP",
27   "attributes": [
28     {
29       "id": 3,
30       "name": "Attr3",
31       "description": "Attribute 3 for testing purposes."
32     }
33   ]
34 }
35 ]

```

A.7 Obter uma Categoria

Método: *GET* /categories/<catId>

Obtém a categoria cujo identificador é dado por <catId>. Um exemplo de JSON de resposta é apresentado a seguir.

```

1  {
2    "id": 1,
3    "name": "CatTest1",
4    "description": "Category 1 for testing purposes.",
5    "creationDate": 1355491923359,
6    "type": "MOBILE_APP",

```

```

7  "attributes": [
8    {
9      "id": 1,
10     "name": "Attr1",
11     "description": "Attribute 1 for testing purposes."
12   },
13   {
14     "id": 2,
15     "name": "Attr2",
16     "description": "Attribute 2 for testing purposes."
17   }
18 ]
19 }

```

A.8 Criar uma Nova Categoria

Método: *POST /categories*

Cria uma nova categoria (e também seus atributos), com a informação provida no JSON da requisição, conforme exemplo a seguir.

```

1  {
2    "name": "CatTest1",
3    "description": "Category 1 for testing purposes.",
4    "type": "MOBILE_APP",
5    "attributes": [
6      {
7        "name": "Attr1",
8        "description": "Attribute 1 for testing purposes."
9      },
10     {
11       "name": "Attr2",
12       "description": "Attribute 2 for testing purposes."
13     }
14   ]
15 }

```

A.9 Atualizar uma Categoria

Método: *PUT /categories/<catId>*

Atualiza a categoria especificada por meio do <catId>, com as informações providas no JSON da requisição, conforme exemplo a seguir.

```
1 {
2   "name": "CatTest1 - updated",
3   "description": "Updated category 1 for testing purposes."
4 }
```

Note que somente os campos contidos no JSON provido na requisição serão atualizados, com os demais campos se mantendo inalterados. Adicionalmente, atributos de uma dada categoria podem ser adicionados ou alterados, desde que providos juntamente no JSON, conforme o exemplo a seguir.

```
1 {
2   "name": "CatTest1 - updated",
3   "description": "Updated category 1 for testing purposes.",
4   "attributes": [
5     {
6       "id": 1,
7       "name": "Attr1 - updated",
8       "description": "Updated attribute 1."
9     },
10    {
11      "name": "Attr3",
12      "description": "New attribute (3) for testing purposes."
13    }
14  ]
15 }
```

A.10 Remover uma Categoria

Método: *DELETE* /categories/<catId>

Remove a categoria especificada pelo identificador <catId>.

Note que quando uma categoria é removida, as definições de seus atributos também são removidas. Uma categoria só pode ser removida se não possuir relatos associados à mesma, ou se todos os relatos forem removidos primeiro.

A.11 Listar Todos os Relatos de uma Categoria

Método: *GET /categories/<catId>/reports*

Lista todos os relatos da categoria especificada na requisição por meio do <catId>. Um exemplo de JSON de resposta é apresentado a seguir.

```
1  [
2    {
3      "id": 1,
4      "category": {
5        "id": 1,
6        "name": "CatTest1",
7        "description": "Category 1 for testing purposes.",
8        "creationDate": 1355496448289,
9        "type": "MOBILE_APP",
10       "attributes": [
11         {
12           "id": 1,
13           "name": "Attr1",
14           "description": "Attribute 1 for testing purposes."
15         },
16         {
17           "id": 2,
18           "name": "Attr2",
19           "description": "Attribute 2 for testing purposes."
20         }
21       ]
22     },
23     "device": {
24       "id": 1234
25     },
26     "measures": [
27       {
28         "id": 1,
29         "attributeId": 1,
30         "value": "value1"
31       },
32       {
33         "id": 2,
34         "attributeId": 2,
35         "value": "value2"
36       }
37     ],
38     "photo": "photo_filename.jpg",
39     "latitude": -23.6,
40     "longitude": -46.6,
41     "creationDate": 1355496448298,
42     "uploadDate": 1355496448298,
43     "state": null,
44     "country": null,
45     "comment": null,
```

```
46     "status": "UPLOADED"
47   }
48 ]
```

A.12 Criar um Novo Relato

Para se criar um novo relato, primeiramente deve-se enviar ao sistema os dados do relato, seguido do envio de conteúdos multimídias a serem anexados ao relato, conforme os dois métodos apresentados a seguir:

1. *POST* /categories/<catId>/reports (Content-Type: application/json)
2. *PUT* /reports/<reportId> (Content-Type: image/jpeg, video/mp4, etc.)

Um exemplo de JSON para a requisição do passo 1 é apresentado a seguir.

```
1 {
2   "latitude": -23.6,
3   "longitude": -46.6,
4   "state": null,
5   "country": null,
6   "comment": null,
7   "creationDate": 1355496448298,
8   "device": {
9     "id": 1234
10  },
11  "measures": [
12    {
13      "id": 1,
14      "attributeId": 1,
15      "value": "value1"
16    },
17    {
18      "id": 2,
19      "attributeId": 2,
20      "value": "value2"
21    }
22  ],
23 }
```

Após os dados do relato terem sido enviados ao sistema, a situação do relato enviado fica como “pendente” até que o conteúdo multimídia seja enviado, se

este for obrigatório, utilizando a URI do relato criado (presente no cabeçalho Content-Location da resposta a requisição do passo 1).

O passo 2 é, na realidade, uma atualização do relato com o conteúdo multimídia, de acordo com o *Content-Type* especificado no cabeçalho da nova requisição, anexando o conteúdo ao relato e alterando a situação do mesmo para “*uploaded*”. Se o usuário indicar restrições de banda de rede, este segundo passo pode ocorrer em um momento futuro mais oportuno, e.g., quando o usuário estiver conectado a uma rede WiFi, evitando o consumo excessivo de seu pacote de conexão de dados.

A.13 Listar Todos os Relatos

Método: *GET /reports*

Lista todos os relatos. Um exemplo de JSON de resposta é apresentado a seguir.

```
1  [
2    {
3      "id": 1,
4      "category": {
5        "id": 1,
6        "name": "CatTest1",
7        "description": "Category 1 for testing purposes.",
8        "creationDate": 1355496448289,
9        "type": "MOBILE_APP",
10       "attributes": [
11         {
12           "id": 1,
13           "name": "Attr1",
14           "description": "Attribute 1 for testing purposes."
15         },
16         {
17           "id": 2,
18           "name": "Attr2",
19           "description": "Attribute 2 for testing purposes."
20         }
21       ]
22     },
23     "device": {
```

```

24     "id": 1234
25   },
26   "measures": [
27     {
28       "id": 1,
29       "attributeId": 1,
30       "value": "value1"
31     },
32     {
33       "id": 2,
34       "attributeId": 2,
35       "value": "value2"
36     }
37   ],
38   "photo": "photo_filename.jpg",
39   "latitude": -23.6,
40   "longitude": -46.6,
41   "creationDate": 1355496448298,
42   "uploadDate": 1355496448298,
43   "state": null,
44   "country": null,
45   "comment": null,
46   "status": "UPLOADED"
47 }
48 ]

```

A.14 Obter um Relato

Método: *GET* /reports/<reportId>

Obtém o relato, cujo identificador é dado por <reportId>. Um exemplo de JSON de resposta é apresentado a seguir.

```

1 {
2   "id": 1,
3   "category": {
4     "id": 1,
5     "name": "CatTest1",
6     "description": "Category 1 for testing purposes.",
7     "creationDate": 1355496448289,
8     "type": "MOBILE_APP",
9     "attributes": [
10      {
11        "id": 1,
12        "name": "Attr1",
13        "description": "Attribute 1 for testing purposes."
14      },
15      {
16        "id": 2,

```

```

17     "name": "Attr2",
18     "description": "Attribute 2 for testing purposes."
19   }
20 ]
21 },
22 "device": {
23   "id": 1234
24 },
25 "measures": [
26   {
27     "id": 1,
28     "attributeId": 1,
29     "value": "value1"
30   },
31   {
32     "id": 2,
33     "attributeId": 2,
34     "value": "value2"
35   }
36 ],
37 "photo": "photo_filename.jpg",
38 "latitude": -23.6,
39 "longitude": -46.6,
40 "creationDate": 1355496448298,
41 "uploadDate": 1355496448298,
42 "state": null,
43 "country": null,
44 "comment": null,
45 "status": "UPLOADED"
46 }

```

A.15 Atualizar um Relato

Método: *PUT* /reports/<reportId>

Atualiza o relato especificado por meio do <reportId>, com as informações providas no JSON da requisição (Content-Type: application/json), conforme exemplo a seguir.

```

1 {
2   "status": "SOLVED"
3 }

```

Nota: Conteúdos multimídias podem ser anexados ao relato por meio do mesmo método, especificando-se o cabeçalho Content-Type apropriadamente.

A.16 Remover um Relato

Método: *DELETE* /reports/<reportId>

Remove o relato especificada pelo identificador <reportId>, e também todas as medidas relacionadas ao mesmo.

A.17 Listar Todos os Relatos de um Dispositivo

Método: *GET* /devices/<devId>/reports

Lista todos os relatos do dispositivo especificado pelo identificador <devId>.

Um exemplo de JSON de resposta é apresentado a seguir.

```

1  [
2  {
3    "id": 1,
4    "category": {
5      "id": 1,
6      "name": "CatTest1",
7      "description": "Category 1 for testing purposes.",
8      "creationDate": 1355496448289,
9      "type": "MOBILE_APP",
10     "attributes": [
11       {
12         "id": 1,
13         "name": "Attr1",
14         "description": "Attribute 1 for testing purposes."
15       },
16       {
17         "id": 2,
18         "name": "Attr2",
19         "description": "Attribute 2 for testing purposes."
20       }
21     ]
22   },
23   "device": {
24     "id": 1234
25   },
26   "measures": [
27     {
28       "id": 1,
29       "attributeId": 1,
30       "value": "value1"
31     },
32     {

```

```

33     "id": 2,
34     "attributeId": 2,
35     "value": "value2"
36   }
37 ],
38 "photo": "photo_filename.jpg",
39 "latitude": -23.6,
40 "longitude": -46.6,
41 "creationDate": 1355496448298,
42 "uploadDate": 1355496448298,
43 "state": null,
44 "country": null,
45 "comment": null,
46 "status": "UPLOADED"
47 }
48 ]

```

A.18 Listar Todas as Medidas

Método: *GET /measures*

Lista todas as medidas. Um exemplo de JSON de resposta é apresentado a seguir.

```

1  [
2  {
3    "id": 1,
4    "name": "Attr1",
5    "description": "Attribute 1 for testing purposes."
6    "measures": [
7      {
8        "id": 1,
9        "value": "value1"
10     },
11     {
12       "id": 2,
13       "value": "value2"
14     }
15   ]
16 },
17 {
18   "id": 2,
19   "name": "Attr2",
20   "description": "Attribute 2 for testing purposes."
21   "measures": [
22     {
23       "id": 3,
24       "value": "value3"
25     }

```

```
26     ]
27   }
28 ]
```

A.19 Listar Todas as Medidas de um Atributo

Método: *GET /attributes/<attrId>/measures*

Lista todas as medidas relativas ao atributo especificado pelo identificador <attrId>. Um exemplo de JSON de resposta é apresentado a seguir.

```
1 {
2   "id": 1,
3   "name": "Attr1",
4   "description": "Attribute 1 for testing purposes.",
5   "measures": [
6     {
7       "id": 1,
8       "value": "value1"
9     },
10    {
11      "id": 2,
12      "value": "value2"
13    }
14  ]
15 }
```

APÊNDICE B – JSON DE DEFINIÇÃO DO APLICATIVO ROTA ACESSÍVEL

A seguir é apresentado o JSON de definição da aplicação Rota Acessível, para ilustrar a definição das categorias e atributos.

```

1  {
2    "name": "Rota Acessível",
3    "descr": "",
4    "categories": [{
5      "name": "Vagas Especiais",
6      "descr": "Relate a localização, disponibilidade e conservação
7      de vagas especiais.",
8      "type": "MOBILE_APP",
9      "status": "ACTIVE",
10     "attributes": [{
11       "name": "Tipo",
12       "description": "Indique o tipo da vaga especial.",
13       "type": "SEGMENTED_CONTROL",
14       "possibleValues": ["Deficiente", "Idoso", "Outro"],
15     },
16     {
17       "name": "Vagas",
18       "descr": "Indique a quantidade aproximada de vagas para
19       embarque e desembarque.",
20       "type": "SEGMENTED_CONTROL",
21       "possibleValues": ["< 5", "5 - 10", "> 10"],
22     },
23     {
24       "name": "Conservação",
25       "descr": "Indique o estado de conservação.",
26       "type": "SEGMENTED_CONTROL",
27       "possibleValues": ["Adequada", "Inadequada"],
28     }
29   ]
30 },
31 {
32   "name": "Calçada",
   "descr": "Relate as condições ou necessidades de calçadas.",

```

```

33     "type": "MOBILE_APP",
34     "status": "ACTIVE",
35     "attributes": [{
36         "name": "Opção",
37         "descr": "Indique o que você deseja relatar.",
38         "type": "PICKER_VIEW",
39         "possibleValues": ["Buraco", "Desnível", "Obstáculo",
40         "Poste", "Árvore", "Muito estreita", "Outro"],
41     },
42     {
43         "name": "Criticidade",
44         "descr": "Indique quão crítico é o problema.",
45         "type": "SEGMENTED_CONTROL",
46         "possibleValues": ["Média", "Alta", "Urgente"],
47     }]
48 },
49 {
50     "name": "Faixa de Pedestres",
51     "descr": "Relate as condições ou necessidades de faixas de
52     ↪ pedestres.",
53     "type": "MOBILE_APP",
54     "status": "ACTIVE",
55     "attributes": [{
56         "name": "Opção",
57         "descr": "Indique o que você deseja relatar.",
58         "type": "PICKER_VIEW",
59         "possibleValues": ["Inexistente", "Necessita manutenção",
60         "Localização inadequada", "Iluminação inadequada", "Outro"],
61     },
62     {
63         "name": "Criticidade",
64         "descr": "Indique quão crítico é o problema.",
65         "type": "SEGMENTED_CONTROL",
66         "possibleValues": ["Média", "Alta", "Urgente"],
67     }]
68 },
69 {
70     "name": "Guia rebaixada",
71     "descr": "Relate as condições ou necessidades de guias rebaixadas.",
72     "type": "MOBILE_APP",
73     "status": "ACTIVE",
74     "attributes": [{
75         "name": "Opção",
76         "descr": "Indique o que você deseja relatar.",
77         "type": "PICKER_VIEW",
78         "possibleValues": ["Falta de rebaixamento", "Necessita
79         ↪ manutenção",
80         "Localização inadequada", "Obstáculo", "Buraco",
81         "Empoçamento de água"],
82     },
83     {
84         "name": "Criticidade",
85         "descr": "Indique quão crítico é o problema.",
86         "type": "SEGMENTED_CONTROL",
87         "possibleValues": ["Média", "Alta", "Urgente"],
88     }]

```

```

87     },
88     {
89         "name": "Iluminação Pública",
90         "descr": "Relate as condições ou necessidades de iluminação pública.",
91         "creationDate": 1377194453908,
92         "type": "MOBILE_APP",
93         "status": "ACTIVE",
94         "attributes": [{
95             "id": 50,
96             "name": "Opção",
97             "descr": "Indique o que você deseja relatar.",
98             "type": "PICKER_VIEW",
99             "possibleValues": ["Falta de iluminação",
100             "Iluminação queimada",
101             "Iluminação inadequada",
102             "Outro"],
103             "possibleValuesStr": "Falta de iluminação,Iluminação
            ↳ queimada,Iluminação inadequada,Outro"
104         }],
105     {
106         "id": 51,
107         "name": "Criticidade",
108         "descr": "Indique quão crítico é o problema.",
109         "type": "SEGMENTED_CONTROL",
110         "possibleValues": ["Média",
111         "Alta",
112         "Urgente"],
113         "possibleValuesStr": "Média,Alta,Urgente"
114     }]]
115 },
116 {
117     "id": 38,
118     "name": "Semáforo Pedestres",
119     "descr": "Relate as condições ou necessidades referentes aos semáforos
            ↳ de pedestres.",
120     "creationDate": 1377194453908,
121     "type": "MOBILE_APP",
122     "status": "ACTIVE",
123     "attributes": [{
124         "id": 52,
125         "name": "Opção",
126         "descr": "Indique o que você deseja relatar.",
127         "type": "PICKER_VIEW",
128         "possibleValues": ["Falta de semáforo",
129         "Dificuldade com botoeira",
130         "Temporização inadequada",
131         "Falta sinalização sonora",
132         "Amarelo Piscante",
133         "Semáforo desligado",
134         "Outro"],
135         "possibleValuesStr": "Falta de semáforo,Dificuldade com
            ↳ botoeira,Temporização inadequada,Falta sinalização
            ↳ sonora,Amarelo Piscante,Semáforo desligado,Outro"
136     }],
137     {
138         "id": 53,

```

```

139         "name": "Criticidade",
140         "descr": "Indique quão crítico é o problema.",
141         "type": "SEGMENTED_CONTROL",
142         "possibleValues": ["Média",
143         "Alta",
144         "Urgente"],
145         "possibleValuesStr": "Média,Alta,Urgente"
146     }}
147 },
148 {
149     "id": 39,
150     "name": "Sinalização Tátil",
151     "descr": "Relate as condições ou necessidades de sinalização tátil.",
152     "creationDate": 1377194453908,
153     "type": "MOBILE_APP",
154     "status": "ACTIVE",
155     "attributes": [{
156         "id": 54,
157         "name": "Opção",
158         "descr": "Indique o que você deseja relatar.",
159         "type": "PICKER_VIEW",
160         "possibleValues": ["Falta de sinalização",
161         "Necessita manutenção",
162         "Sinalizar mobiliário",
163         "Sinalizar guia rebaixada"],
164         "possibleValuesStr": "Falta de sinalização,Necessita
165         ↳ manutenção,Sinalizar mobiliário,Sinalizar guia rebaixada"
166     }],
167     {
168         "id": 55,
169         "name": "Criticidade",
170         "descr": "Indique quão crítico é o problema.",
171         "type": "SEGMENTED_CONTROL",
172         "possibleValues": ["Média",
173         "Alta",
174         "Urgente"],
175         "possibleValuesStr": "Média,Alta,Urgente"
176     }}
177 },
178 {
179     "id": 40,
180     "name": "Sinalização Visual",
181     "descr": "Relate as condições ou necessidades de sinalização visual.",
182     "creationDate": 1377194453908,
183     "type": "MOBILE_APP",
184     "status": "ACTIVE",
185     "attributes": [{
186         "id": 56,
187         "name": "Opção",
188         "descr": "Indique o que você deseja relatar.",
189         "type": "PICKER_VIEW",
190         "possibleValues": ["Falta de sinalização",
191         "Necessita manutenção"],
192         "possibleValuesStr": "Falta de sinalização,Necessita manutenção"
193     }],
194     {

```

```
194         "id": 57,  
195         "name": "Criticidade",  
196         "descr": "Indique quão crítico é o problema.",  
197         "type": "SEGMENTED_CONTROL",  
198         "possibleValues": ["Média",  
199         "Alta",  
200         "Urgente"],  
201         "possibleValuesStr": "Média,Alta,Urgente"  
202     }]  
203 }]  
204 }
```

APÊNDICE C – JSON DE UM RELATO

Relatos são enviados a partir de um *HTTP POST* na URL `/application/<app_id>/category/<cat_id>/report`, contendo o JSON no corpo da mensagem, conforme exemplo a seguir:

```
1 {
2   "comment": "",
3   "creationDate": 1365778187298,
4   "status": "CREATED",
5   "location": {
6     "latitude": -23.580277446465274,
7     "longitude": -46.64945462643932,
8     "altitude": 786.731384277344,
9     "course": -1,
10    "speed": 0,
11    "horizontalAccuracy": 10,
12    "verticalAccuracy": 11.51595545165164,
13    "address": "",
14    "state": "",
15    "country": ""
16  },
17  "measures": [
18    {
19      "attributeId": 4,
20      "value": "Outro"
21    },
22    {
23      "attributeId": 5,
24      "value": "Média"
25    }
26  ],
27  "device": {
28    "id": "testetestetestestesteste"
29  }
30 }
```
