Caracterização de eventos de exceção e de seus respectivos impactos no sistema de transporte público por ônibus da cidade de São Paulo

Felipe Cordeiro Alves Dias

Orientador: Prof. Dr. Daniel de Angelis Cordeiro

Universidade de São Paulo

22 de Novembro de 2017

Introdução

Motivação

- Segregação urbana: dentre os mais de 12 milhões de habitantes da cidade de São Paulo, 10% estão localizados no Centro Expandido (CE) e 90% no Cinturão Periférico (CP).
  - Movimento pendular e (CP) como região dormitória.
  - Problemas relacionados a mobilidade urbana.

- Legislação federal e municipal sobre mobilidade urbana.
  - Lei Federal 12.587/2012: para desenvolvimento sustentável com a mitigação dos custos ambientais e socioeconômicos dos deslocamentos de pessoas.
  - Decreto 56.834: institui o *PlanMob/SP 2015* como instrumento de planejamento e gestão do Sistema Municipal de Mobilidade Urbana para os próximos 15 anos.

Motivação

- *PlanMob/SP 2015*
  - Criação da Central Integrada de Mobilidade Urbana (CIMU): com o objetivo de integrar as áreas de trânsito e transporte subordinadas à Secretaria Municipal de Transportes (SMT).
  - A CIMU não processa conteúdo de Redes Sociais;
  - não aborda melhorias dos sistemas já existentes;
  - será integrada com o desfasado SIM.

- Sistema Integrado de Monitoramento e Transporte (SIM): localização e rastreio dos ônibus, fornece informações em tempo real aos passageiros, monitora 1.353 rotas de ônibus, 10 corredores de ônibus, 28 terminais de ônibus e 19.933 mil paradas de ônibus que serviram em 2016 a aproximadamente 8 milhões de passageiros por dia.
- Apesar da importância do SIM, há inúmeras defasagens tecnológicas (que causam discrepância nas informações recebidas pelos usuários, dentre outros problemas).

Motivação

- Sistemas de Transporte Inteligente (ITS — *Intelligent Transport System*).
- A lei de mobilidade urbana (12.587/2012) e o *PlanMob/SP 2015* não mencionam explicitamente ITS e TIC.
- O transporte público pode se beneficiar ao explorar ITS, e ao integrar as Redes Sociais com o planejamento, gestão e as atividades operacionais dos transportes públicos, abordando seus respectivos fatores sócio-técnicos.
- Analisar o impacto dos eventos de exceção na operação do sistema de transporte público por ônibus na cidade de São Paulo, usando dados do SIM (AVL) e de Redes Sociais.

Definição do problema

- Eventos de exceção: acidentes, greves, falhas na operação do metrô, manifestações, enchentes, eventos sociais, dentre outros.
- Identificação de características dos eventos de exceção.
  - Dados históricos dos módulos AVL do SIM.
    - Processamento de grandes volumes de dados;
    - qualidade dos dados comprometida.
  - Twitter.
    - Identificação dos eventos de exceção nas publicações;
    - geolocalizá-los;
    - extração e identificação de *timestamps*;
    - correlacioná-los com a base histórica.
- Uso de tais características para análise, aprendizado e simulação de como os eventos de exceção impactam o transporte público por ônibus.

Objetivos

Gerais

Caracterização de eventos de exceção e de seus respectivos impactos no sistema de transporte público por ônibus da cidade de São Paulo.

- **Observação**: Com a utilização de *tweets* das contas oficiais das instituições responsáveis por reportar eventos de exceção na cidade de São Paulo e dados históricos dos módulos AVL do SIM.

Objetivos

Tabela: Descrição e nome dos profiles selecionados do Twitter

Descrição do profile no Twitter	**Profile no Twitter**
Comando do Corpo de Bombeiros da PMESP [a]	*@BombeirosPMESP*
Companhia de Engenharia de Tráfego de SP	*@CETSP_*
Companhia Paulista de Trens Metropolitanos	*@CPTM_oficial*
Defesa Civil do Estado de São Paulo	*@SPCEDEC*
Governo do Estado de São Paulo	*@governosp*
Metrô de São Paulo	*@metrosp_oficial*
Polícia Cívil do Estado de São Paulo	*@Policia_Civil*
Polícia Militar do Estado de São Paulo	*@PMESP*
São Paulo Agora — CCOI [b]	*@saopaulo_agora*
São Paulo Transporte	*@sptrans_*
São Paulo Turismo	*@TurismoSaoPaulo*
Secretaria de Transportes de São Paulo	*@smtsp_*

[a] Polícia Militar do Estado de São Paulo.

[b] Centro de Controle Integrado 24 Horas da Cidade de São Paulo

Objetivos

Específicos

- Identificar os eventos de exceção, quando existentes, dos *tweets* coletados.
- Extrair os endereços dos eventos de exceção identificados e geolocalizá-los.
- Construir uma base de dados pública com os dados processados, disponibilizada via API (para consumo e contribuição da comunidade de software), mantendo o modelo de dados consistente.
- Criação de plataforma para exploração e visualização dos dados coletados e processados das fontes citadas na Tab. **??** e da SPTrans.

Hipóteses

Com base na Revisão Sistemática realizada, os eventos de exceção presentes nos *tweets* podem ser caracterizados, não exaustivamente, em:

- **Acidentes**.
  - Acidentes nas estações de transporte.
  - Incêndio.
- **Espaço-temporais**.
  - Dia da semana.
  - Hora do dia.
- **Eventos sociais**.
  - Feiras de rua.
  - Festivais.
  - Jogos esportivos.
  - Passeatas e maratonas.
- **Eventos urbanos**.
  - Relacionados ao tráfego.

Hipóteses

- **Desastres naturais**.
  - Tempestades.
  - Terremoto.
  - Tufões.
- **Metereológicas**.
  - Dia claro, nublado, chuvoso, nevando, com neblina.
  - Temperatura do ar.

- Identificação de características utilizando Processamento de Linguagem Natural (NLP — *Natural Language Processing*) em conjunto com dicionários auxiliares para o contexto dos eventos de exceção mencionados.
- Extração dos endereços dos *tweets* utilizando a técnica de Expressão Regular e posterior geolocalização.

Fundamentação Teórica

Cidades Inteligentes

Cidades Inteligentes (SC — *Smart Cities*)

São cidades sustentáveis e socialmente inclusivas, que utilizam Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) para gerir eficientemente seus respectivos recursos naturais.

- *TDM — Technology Driven Method; top-down*; de fornecimento.
- *HDM — Human Driven Method; bottom-up*; de demanda.

Cidade

Complexo e dinâmico sistema sócio-técnico. Composto por sistemas urbanos, com espaços físicos para a vida cotidiana e com sistemas de infraestrutura.

Cidades Inteligentes

- As TICs permeiam os sistemas urbanos e espaços físicos: dados voluntários, de sensores e Redes Sociais.
- Desafios relacionados a conectividade:
  - Infraestrutura de rede.
  - interoperabilidade;
  - padrões;
  - consumo de energia;
  - escalabilidade, dentre outros.
- Desafios relacionados aos dados:
  - Capacidade e local de armazenamento;
  - extração;
  - tratamento;
  - processamento;
  - análise;
  - integração;
  - agregação de dados, dentre outros.

Sistemas de Transporte Inteligente

Sistemas de Transporte Inteligentes (ITS — *Intelligent Transportation Systems*)

Tem como fim utilizar TICs para resolver problemas relacionados ao transporte, tais como congestionamento, segurança, eficiência e conservação ambiental.

- **Advanced Traffic Management System (ATMS)** — são sistemas utilizados para melhorar a qualidade do serviço de tráfego e redução de atrasos.
- **Advanced Travellers Information Systems (ATIS)** — são sistemas utilizados para fornecer informação em tempo real aos viajantes.

Sistemas de Transporte Inteligente

- **Advanced Public Transportations Systems (APTS)** — são sistemas que utilizam ATMS e ATIS para melhorar a eficiência e operação do transporte público coletivo.
- **Advanced Vehicles Control Systems (AVCS)** — são sistemas compostos por sensores, computadores e sistemas de controle para auxiliar e alertar motoristas, com o objetivo de melhorar a segurança e reduzir congestionamentos.
- **Commercial Vehicles Operation (CVO)** — são sistemas utilizados para a segurança de veículos comerciais e frotas, por meio de tecnologias relacionadas a gerenciamento de tráfego, controle e gerenciamento de veículos e informações aos viajantes, tais como:
  - *Automatic Vehicles Identification*.
  - *Automatic Vehicles Classification*.
  - **Automatic Vehicles Location**.
  - *Pedestrian Movement Detection*.
  - *Board Computers*.
  - *Real Time Traffic Transmissions*.

Conceitos relacionados ao transporte público

- Acessibilidade.
- Acessibilidade universal.
- Mobilidade.
- Mobilidade urbana.
  - Transporte público coletivo;
  - transporte de alta capacidade;
  - acessibilidade universal nos passeios e edificações;
  - prioridade ao transporte coletivo no sistema viário;
  - terminais de transporte intermodais;
  - rede de transporte coletivo por ônibus (com acessibilidade universal);
  - rede cicloviária;
  - bicicletários e paraciclos;
  - legibilidade dos sistemas de orientação;
  - comunicação eficaz com os usuários;
  - modicidade tarifária;
  - logística eficiente no transporte de carga, dentre outros itens.

General Transit Feed Specification

GTFS — General Transit Feed Specification

É uma especificação de um formato comum para troca de informações estáticas sobre transporte público. Um *feed* especificado na GTFS estática é composto por arquivos de texto que modelam diferentes perspectivas do transporte público, tais como paradas, trajetos, viagens e outros dados relativos a horário.

- *GTFS-realtime*.
  - Atualizações dos horários de parada: viagem programada, adicionada, cancelada, desprogramada, cancelada, substituição e indefinição.
  - Alertas de serviço: frequência, entidades afetadas, causa e efeito (sem serviço, serviço reduzido, atrasos significativos, desvio, serviço adicional, serviço modificado, parada deslocada, outro efeito, efeito desconhecido).
  - Posições de veículos: posição, nível de congestionamento e estado de parada do veículo.

General Transit Feed Specification

Arquivos obrigatórios da GTFS:

- *agency.txt*: agências de transporte público como fonte de dados.
- *stops.txt*: locais de embarque e desembarque.
- *routes.txt*: trajetos de um grupo de viagens.
- *trips.txt*: viagens de cada trajeto.
- *stop_times.txt*: horários de partida e chegada em paradas.
- *calendar.txt*: início, fim e dias disponíveis dos serviços.

Redes Sociais

Redes Sociais

As Redes Sociais podem ser definidas como redes que possuem muitos relacionamentos, com grandes componentes conectados, altos coeficientes de agrupamento e grau de reciprocidade. Ex.: Facebook.

Rede de Informações

Nesse tipo de rede a interação dominante é a disseminação de informações entre os relacionamentos, com baixo baixo índice de reciprocidade. Ex.: Twitter.

Processamento de Linguagem Natural

Explora como computadores podem ser utilizados para entender e manipular texto ou fala em linguagem natural, o que envolve conhecimento interdisciplinar principalmente entre as áreas de ciência da computação, linguística e estatística.

- Problemas de baixo nível (comuns a NLP).
  - *Sentence boundary disambiguation*;
  - *Tokenization*;
  - *Part-of-speech tagging*;
  - dentre outros.
- Problemas de alto nível (específicos e com base nos problema de baixo nível).
  - *Spelling / grammatical error identification and recovery*;
  - *Named Entity Recognition*;
  - *Word Sense Disambiguation*;
  - dentre outros.

Feature Engineering

Feature Engineering

Processo iterativo de construção, extração e seleção de características (features), o qual depende do conhecimento de domínio e de suas respectivas métricas.

- Características (*features*) binárias, categóricas ou contínuas.
- Pré-processamento: técnicas de padronização, normalização, remoção de ruídos, redução de dimensionalidade, discretização, expansão, etc.

Algorítimos de Aprendizado de Máquina

- Supervisionados;
  - *Artificial Neural Network*;
  - *Decision Tree*;
  - *Decision Rules Classification*;
  - *K-nearest neighbor (k-NN)*;
  - *Fuzzy correlation*;
  - *Genetic Algorithm*;
  - *Naïve Bayes Algorithm*;
  - *Rocchio's Algorithm*;
  - *Support Vector Machine*.
- não-supervisionados;
- semi-supervisionados;
- por reforço.

Revisão Sistemática

Revisão Sistemática

Quais os tipos de problemas urbanos abordados utilizando processamentos de *tweets*? (QP1)

- *e-Participation*.
- Detecção de zoneamento urbano.
- Identificação de pontos de interesse.
- Mobilidade.
- Padrões demográficos.
- Poluição.
- Segurança Pública.
- Turismo.
- Tráfego.

Revisão Sistemática

Casos de uso relacionados ao transporte público (QP2)

- Impacto de eventos no transporte público.
  - Impacto dos ataques terroristas em Paris no uso do transporte público.
  - Impacto de eventos relacionados ao tráfego na demanda por bicicletas, em Nova Iorque e Washington D.C, EUA.
  - Impacto dos pontos de interesse na demanda por transporte público.
  - Impacto dos eventos anormais nas tomadas de decisão dos passageiros do Metrô de Tokyo.
  - Predição de fluxo de passageiros no Metrô de Nova Iorque.
- Planejamento e gestão do transporte público.
  - Análise de sentimento relacionada ao acesso ao transporte público.
  - Coleta de informações relacionadas ao transporte público.
  - Identificação de locais para estações de bicicletas, em St. Petersburg, Rússia.
  - Identificação da disposição dos usuários para realizar viagens de lazer.
  - Plataforma para notificação de problemas relacionados ao transporte público de Bangalore, Índia.

Revisão Sistemática

Técnicas estatísticas utilizadas no processamento de *tweets* (QP3)

- Análise de métricas relacionadas a desempenho.
- *Cosine similarity*.
- F_1 *score*.
- *Term frequency–inverse document frequency* (TF-IDF).
- *Inverse coefficient of variation*.
- *Jackknife resampling*.
- *Linear Regression*.
- *Local Indicators of Spatial Association* (LISA).
- *Local Moran's*.
- *Maximum likelihood estimation*.
- *Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average* (SARIMA).
- *Optimization and Prediction with hybrid loss function*.

Revisão Sistemática

Paradigmas de processamento (QP4)

- *Batch processing* (offline).
- *Near Real Time*.
- *Real Time*.

Eventos de exceção relacionados ao transporte público (QP5)

- Acidentes.
  - Acidentes nas estações transporte.
  - Incêndio.
- Espaço-temporais.
  - Dia da semana.
  - Hora do dia.

Revisão Sistemática

Eventos de exceção relacionados ao transporte público (QP5)

- Eventos sociais.
  - Feiras de rua.
  - Festivais.
  - Jogos esportivos.
  - Passeatas e maratonas.
- Eventos urbanos.
  - Relacionados ao tráfego.
- Desastres naturais.
  - Tempestades.
  - Terremoto.
  - Tufões.
- Metereológicas.
  - Dia claro, nublado, chuvoso, nevando, com neblina.
  - Temperatura do ar.

Revisão Sistemática

Técnicas de Aprendizado de Máquina utilizadas no processamento de *tweets* (QP6)

- *Bayes classification*.
- *C5.0 algorithm*.
- *Conditional Random Field (CRF) with Logistic Regression*.
- *Event extraction based on tweet hashtags*.
- *Latent Dirichlet Allocation* (LDA).
- *Monte Carlo simulation*.
- *PairFac* (técnica inovadora que utiliza *Tensor Factorization*).
- *Random Forest classification*.
- *Support Vector Machine*.
- *Self-Organizing Maps*.

Proposta de pesquisa

Proposta de Pesquisa

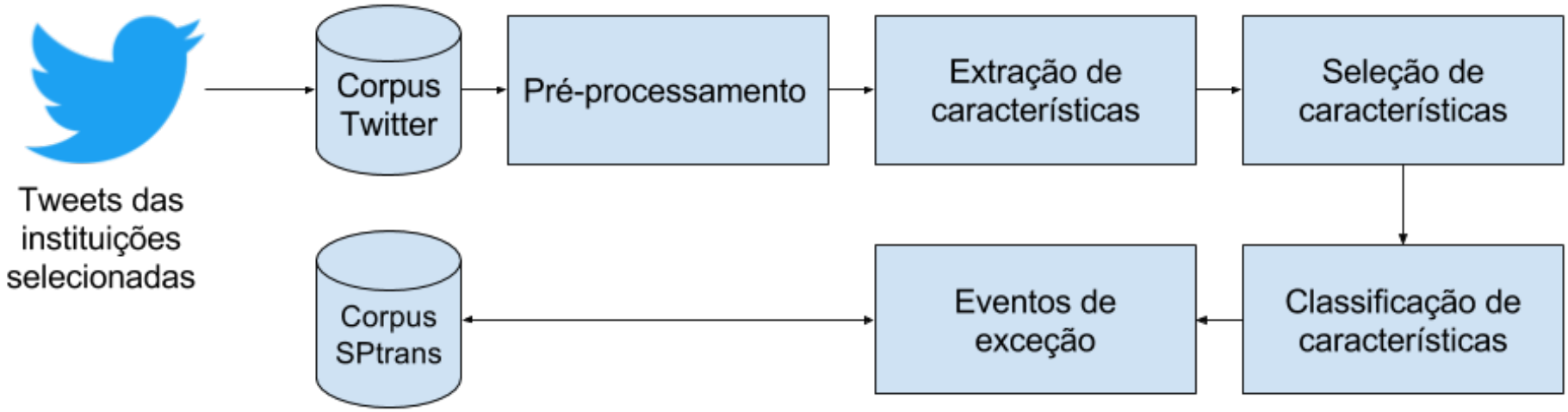
Formalização do problema

O problema de caracterização de eventos de exceção e de seus respectivos impactos envolve a fase conhecida como *feature extraction*. *Feature extraction* consiste na extração de um conjunto de características $\alpha = \{\chi_1, \chi_2, ..., \chi_n\}$ a partir de um dado de entrada χ. Sendo assim, nessa proposta de pesquisa pretendemos extrair o conjunto de características $E = \{\varepsilon_1, \varepsilon_2, ..., \varepsilon_n\}$, referente a cada evento de exceção, e o conjunto $I_{\varepsilon_i} = \{\iota_{1\varepsilon_i}, \iota_{2\varepsilon_i}, ..., \iota_{n\varepsilon_i}\}$, contendo as características de cada impacto decorrente de um determinado evento de exceção $\varepsilon_i \in E$.

Tem-se também como problema a correlação de cada evento de exceção com o seu respectivo impacto, permitindo assim uma análise histórica para identificação de padrões de causa e consequência.

$$\forall \iota \in I, \exists \varepsilon \in E(\iota = f(\varepsilon))$$

Proposta de pesquisa



Expressão regular para extração de endereços:

$$ER = \{L_1|S_1|L_2|S_2|...|L_n|S_n\}\{[a-zA-Z\backslash s]+\} \quad (1)$$

Geolocalização dos endereços usando a API do Google Geocoding.

Corpus Twitter

Tabela: Intervalo de tempo e número de *tweets* coletados

Profile no Twitter	**# tweets** [a]	**Timestamp 1** [b]	**Timestamp 2** [c]
BombeirosPMESP	5750	2017-05-21 02:10:39	2017-10-29 23:07:08
CETSP_	5042	2017-02-20 14:07:04	2017-10-29 21:45:54
CPTM_oficial	5435	2017-04-24 13:00:17	2017-10-29 10:00:40
governosp	5450	2017-05-10 17:00:05	2017-10-29 22:00:03
metrosp_oficial	7296	2017-06-07 17:23:34	2017-10-29 17:48:12
Policia_Civil	3360	2015-04-15 17:44:44	2017-10-27 10:01:53
PMESP	3956	2016-06-02 17:21:32	2017-10-29 20:25:37
saopaulo_agora	3671	2016-11-18 07:36:12	2017-10-29 20:56:28
smtsp_	1128	2017-04-26 10:44:26	2017-10-29 23:00:11
SPCEDEC	945	2015-06-09 10:50:23	2017-10-29 23:38:36
sptrans_	8447	2017-06-13 15:19:56	2017-10-29 22:01:44
TurismoSaoPaulo	3308	2012-06-12 22:00:38	2017-10-27 17:46:59
Total	53788	-	-

[a] Número de *tweets* coletados.

[b] *Timestamp* mais antigo.

[c] *Timestamp* mais recente.

Corpus SPTrans

Tabela: Conjuntos e quantidades de dados especificados em GTFS pela SPTrans

Conjunto de dados	Quantidade de dados
agency.txt	1
calendar.txt	6
fare_attributes.txt	6
fare_rules.txt	5.400
frequencies.txt	39.625
routes.txt	291.634
shapes.txt	800.767
stop_times.txt	95.134
stops.txt	19.933
trips.txt	2.273
Total	1.254.779

Tabela: Quantidade de dados enviados pelos módulos AVL, por *id* de viagem

trip_id	Qtd. de dados [a]	Timestamp 1 [b]	Timestamp 2 [c]
4779-10-0	259.382	2016-09-13 08:24:57.936Z	2017-09-02 02:11:42.274Z
4779-10-1	271.671	2016-09-13 08:24:57.937Z	2017-09-02 02:11:42.285Z
917H-10-0	256.648	2016-09-13 08:25:59.943Z	2017-09-02 02:11:42.250Z
Total	787.701	-	-

[a] Quantidade de dados.
[b] *Timestamp* mais antigo.
[c] *Timestamp* mais recente.

Pré-processamento

- **Case folding**: processamento de normalização de todas as letras do texto (de a-z) para minúsculas.
- **Tokenization**: processamento realizado para obtenção das palavras (*tokens*) que compõem uma sentença, inclui a remoção de números, pontuações e caracteres que não pertencem ao alfabeto.
- **Remoção de stopwords**: processamento para remoção do conjunto de *tokens* de palavras sem significado ou importância, o que reduz a quantidade de ruído do conteúdo *tweet*.
- **Stemming**: processamento para encontrar a raiz de uma palavra, removendo sufixos e prefixos (no caso do Português Brasileiro) das palavras derivadas.

Extração, seleção e classificação de características

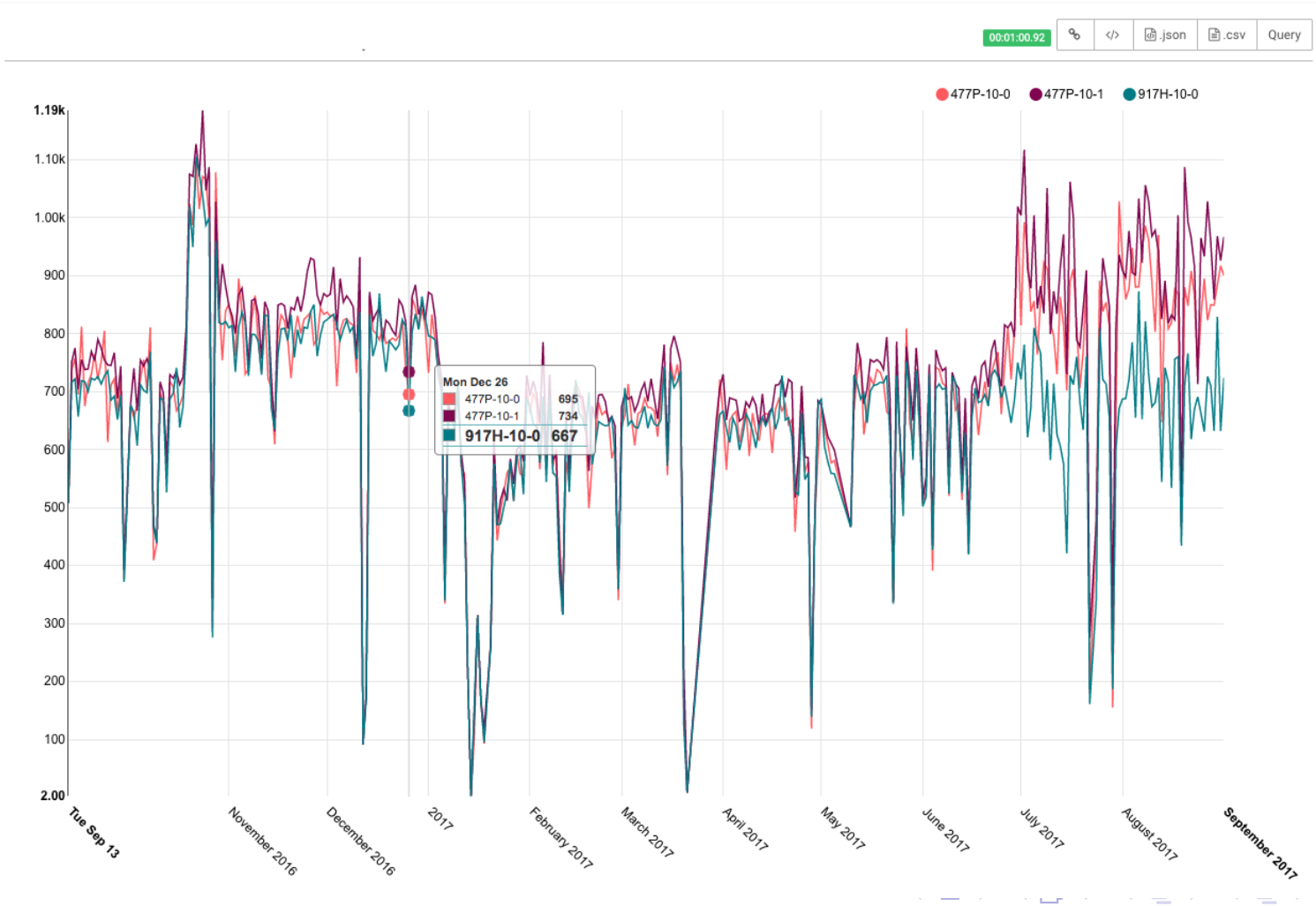
- Extração de características: após a exploração do conhecimento do domínio (já realizada), pretendemos na primeira iteração para extração de características usar os *tokens* (*features*) obtidos no pré-processamento para selecionarmos as palavras mais frequentes (*features*) para cada conjunto de dados do *Copus Twitter*. Nas iterações seguintes, planejamos analisar as *features* selecionadas, combiná-las entrei si e derivar novas *features*, de acordo com o conhecimento do domínio.
- Seleção de características: pretendemos selecionar as *features* mais relevantes utilizando a medida estatística *tf-idf* (*term frequency–inverse document frequency*) para obtermos os termos mais frequentes de cada conjunto de dados do *Corpus Twitter*.
- Classificação de características: classificação manual de 30% do Corpus Twitter e analise dos algoritmos de aprendizado de máquina elencados pela revisão sistemática para classificação automatizada dos 70% restantes.

Correlação dos eventos de exceção com os dados AVL da SPTrans

- Atraso médio induzido nas viagens.
- Ônibus frequentemente afetados por eventos de exceção.
- Ônibus frequentemente afetados por determinado evento de exceção.
- Padrão de ocorrência dos eventos de exceção no espaço-tempo (localizações e *timestamps*).
- Quantidade e viagens afetadas.
- Quantidade e regiões da cidade de São Paulo afetadas.
- Viagens frequentemente afetadas por eventos de exceção.
- Viagens frequentemente afetadas por determinado evento de exceção.

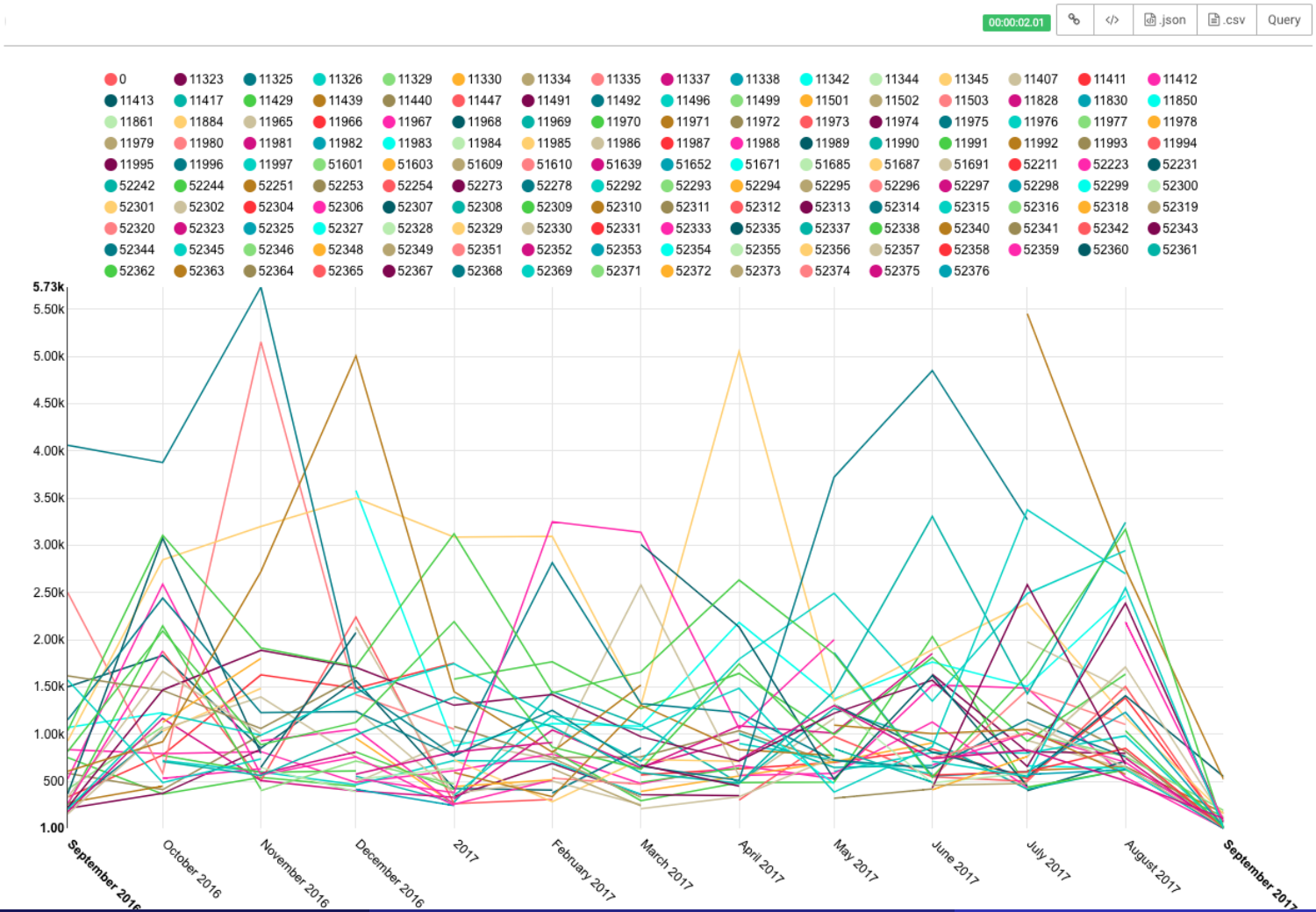
Exploração e visualização do conjunto de dados

Figura: Quantidade de dados enviados: viagens 477P-10-0, 477P-10-1 e 971H-10-0



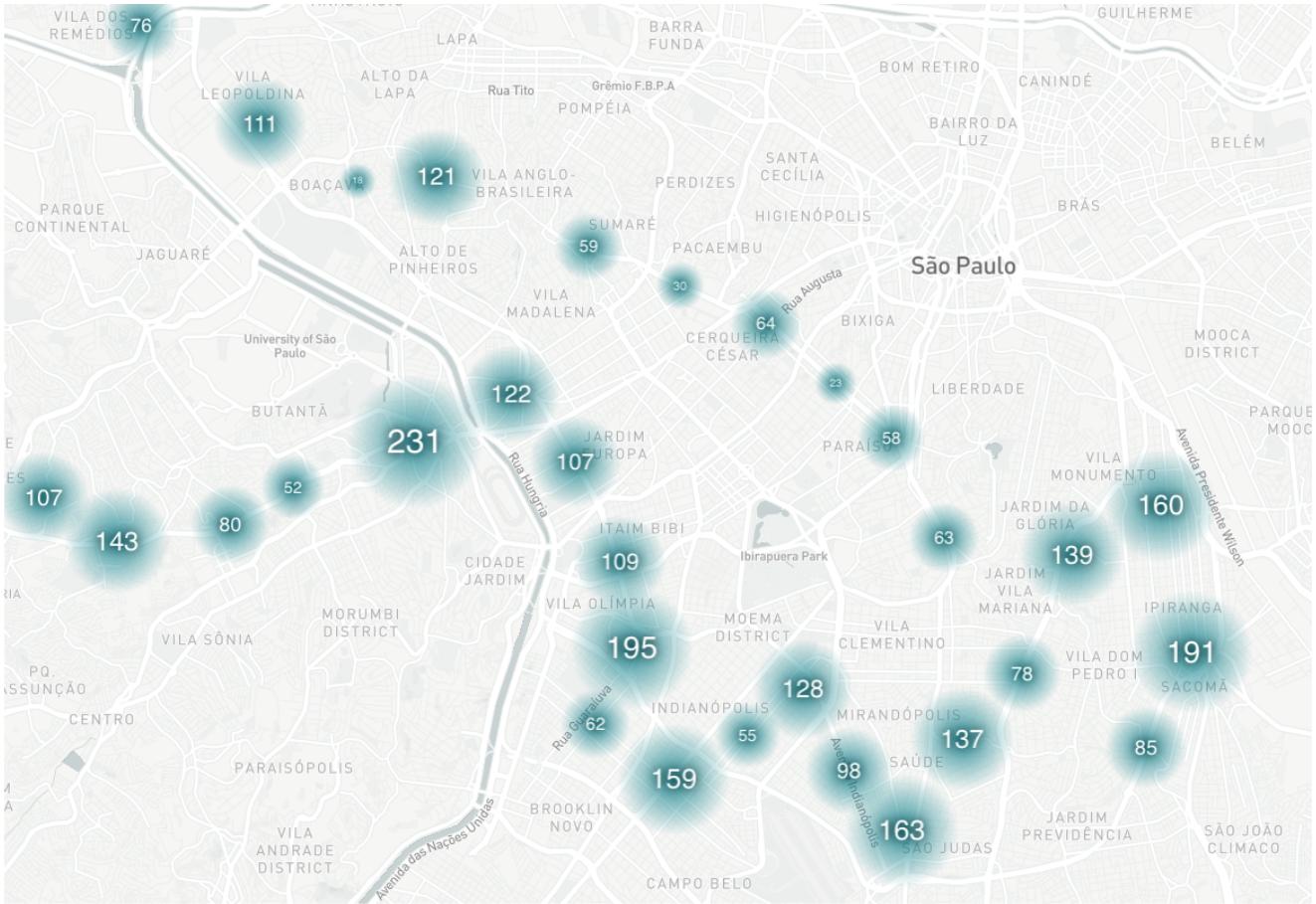
Exploração e visualização do conjunto de dados

Figura: Quantidade de dados enviados por ônibus / mês: viagens 477P-10-0, 477P-10-1 e 971H-10-0



Exploração e visualização do conjunto de dados

Figura: Localizações de envio dos dados: viagens 477P-10-0, 477P-10-1 e 971H-10-0



Plano de trabalho

Tabela: Cronograma de atividades

Atividade		2017											2018					
Número	Descrição	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6
1	Revisão bibliográfica	X	X	X	X	X	X												
2	Desenvolvimento de protótipo			X	X	X	X												
3	Construção do conjunto de dados							X	X	X	X	X							
4	Implementação da solução proposta												X	X	X	X	X	X	
5	Avaliação dos resultados													X		X		X	
6	Escrita de artigo														X	X			
7	Escrita da dissertação			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Plano de trabalho

- Implementação da solução proposta.
  - Identificação dos eventos de exceção (pré-processamento, *feature extraction* e *feature selection* dos *tweets* coletados).
  - Estudo dos algorítimos de classificação e implementação de um artefato de *software* para classificação dos *tweets* de acordo com seus respectivos eventos de exceção.
  - Correlação dos eventos de exceção com os dados AVL da SPTrans.
- Avaliação dos resultados parciais obtidos durante e após o desenvolvimento da solução proposta.
- Escrita de artigo para submissão em periódicos ou eventos da área.
- Escrita da dissertação.

Contribuições esperadas

- Propor uma solução para o problema de caracterização de eventos de exceção e de seus respectivos impactos no sistema de transporte público por ônibus da cidade de São Paulo, por meio de *tweets* e de dados históricos dos módulos AVL do SIM;
- disponibilizar os os conjuntos de dados que foram construídos;
- uma plataforma para que esses dados possam ser visualizados e explorados, de forma a contribuir com projetos e pesquisas futuras correlatas;
- submissão de artigos com os resultados obtidos para veículos de disseminação de conhecimento científico nas áreas de: Análise de Redes Sociais, Sistemas de Transporte Inteligentes, Cidades Inteligentes.

Limitações e riscos à validade do estudo

- Processamento de *tweets* em português brasileiro e oriundos das contas selecionadas, o que pode tornar a solução não generalista.
- É possível que sejam encontrados novos desafios que inviabilizem o uso de Expressão Regular para extração dos endereços dos *tweets*.