

ANÁLISE ENTRE TEMPO REPORTADO DA OCORRÊNCIA DE ACIDENTES DE TRÂNSITO E PERTURBAÇÕES NA CONDIÇÃO DE FLUXO VEICULAR EM INTERSEÇÕES SEMAFORIZADAS

Lucas Tito Pereira Sobreira
Gabriela Gomes Soares Rezende
Flávio José Craveiro Cunto
Universidade Federal do Ceará
Departamento de Engenharia de Transportes

RESUMO

O advento de novas tecnologias de monitoramento e controle de tráfego permite o desenvolvimento de estudos mais robustos de segurança viária a partir da obtenção de dados de tráfego desagregados em intervalos de 1 a 15 minutos ou até em tempo real. Entretanto, a aplicação deste tipo de dado demanda um melhor conhecimento sobre a precisão do horário de reportagem dos acidentes. Este trabalho tem como objetivo apresentar uma análise entre os tempos reportados dos acidentes e perturbações nas condições de fluxo em interseções semaforizadas. A perturbação no fluxo veicular foi detectada a partir de oscilações na velocidade com utilização de algoritmo e validada com uma análise visual. Os resultados mostraram uma diferença média de 17 minutos entre a reportagem e a ocorrência da perturbação com desvio padrão de 24 minutos. Verificou-se, também, que acidentes com feridos e fatalidades tendem a apresentar maior precisão comparados aos sem vítimas.

ABSTRACT

The advent of new traffic monitoring and control technologies allows the development of more robust road safety studies, based on the obtainment of disaggregated traffic data at intervals of 1 to 15 minutes or even in real time. However, applying this type of data requires a better knowledge about the accuracy accidents report time. This work aims to present an analysis between the reported times of accidents and perturbations in flow conditions at signalized intersections. Vehicle flow disturbance was detected from speed oscillations using algorithm and validated with visual analysis. The results showed an average difference of 17 minutes between the report and the occurrence of the disturbance with standard deviation of 24 minutes. It was also verified that accidents with injuries and fatalities tend to present greater precision compared to those without victims.

1. INTRODUÇÃO

O advento de novas tecnologias de controle e monitoramento do tráfego urbano, como laços indutores de detecção de veículos, fiscalização eletrônica e dados georreferenciados de GPS, fornecem ferramentas para o desenvolvimento da gestão dinâmica do fluxo veicular. Dentre os principais benefícios desta abordagem estão: a redução dos impactos negativos dos congestionamentos e a melhoria do desempenho da segurança viária, aspirando à identificação e, preferencialmente, à antecipação dos incidentes (USDOT, 2014).

Algumas técnicas utilizando dados do regime veicular em tempo real vêm sendo aplicadas em vias de fluxo ininterrupto. O limite de velocidade variável, por exemplo, é uma estratégia que busca a homogeneização da velocidade na corrente de tráfego, proporcionando maior fluidez e redução dos conflitos nas viagens (Caleffi, 2018; Yang *et al.*, 2016). Outra alternativa é o *ramp metering* que visa controlar a entrada de veículos nas rodovias, promovendo as reduções de colisões traseiras, laterais e de congestionamentos na ordem de 30% e 8%, respectivamente (Taylor e Meldrum, 2000). No âmbito das vias de fluxo interrompido, as medidas de controle de tráfego estão, em sua maioria, concentradas na otimização em tempo real dos estágios semaforicos moderando os atrasos experimentados pelos condutores (Chilukuri *et al.*, 2004; Jhaveri *et al.*, 2003).

Em meio ao anseio do melhor entendimento do fenômeno dos acidentes, estudos foram desenvolvidos para avaliar a relação de variáveis de exposição e de tráfego agregadas

anualmente ou mensalmente, além da frequência e severidade dos acidentes (Cunto *et al.*, 2011; Hauer, 2004; Sobreira e Cunto, 2014; Wu *et al.*, 2014), entretanto é constatado que essa agregação temporal dos dados pode acarretar em modelos de menor utilidade, principalmente quando as variáveis explicativas possuem oscilação dentro de um mesmo dia, como a velocidade média e o volume de veículos.

A disponibilidade de informações de tráfego desagregadas possibilita o desenvolvimento de pesquisas mais robustas em que se possa avaliar o efeito da velocidade, por exemplo, na segurança viária (Abdel-Aty *et al.*, 2005; Imprialou *et al.*, 2016) ou aplicar medidas pró-ativas de gerenciamento do risco de ocorrências de trânsito em tempo real (Abdel-Aty *et al.*, 2012; Huang *et al.*, 2017; Pirdavani *et al.*, 2015). Esses estudos são baseados em indicadores precursores de acidentes (*crash precursors*), os quais buscam identificar - a partir de dados agregados em intervalos de 1 a 10 minutos - perturbações na corrente de tráfego que possam estar relacionadas à ocorrência de acidentes.

Diferentemente das condições de fluxo ininterrupto, o ambiente urbano densamente semaforizado traz características de interrupção na corrente de tráfego sujeitando os condutores a diversas paradas, aumentando a probabilidade da ocorrência de conflitos veiculares. Infelizmente, a grande maioria dos estudos voltados para precursores de acidentes foram produzidos para vias de fluxo ininterrupto, inviabilizando que os resultados encontrados sejam transferidos para o ambiente urbano adensado, como é o caso da cidade de Fortaleza-CE.

Para o desenvolvimento de estudos com variáveis de tráfego desagregadas, surge a necessidade de uma melhor estimativa do horário de ocorrência do acidente comparado ao horário reportado no banco de dados (Zheng, 2012). Assim, o objetivo deste trabalho é efetivar uma análise entre o tempo reportado da ocorrência de acidentes de trânsito e perturbações na condição de fluxo veicular em interseções semaforizadas de Fortaleza.

2. OSCILAÇÃO DO FLUXO VEICULAR EM ESTUDOS DE SEGURANÇA VIÁRIA

O amplo desenvolvimento de estudos que visam relacionar variáveis de tráfego, frequência e severidade dos acidentes constata a importância de um maior conhecimento sobre as condições antecessoras à ocorrência dos acidentes. Solomon (1964) apresentou o primeiro estudo que avalia essa relação a partir de dados de velocidade coletados em campo. O surgimento de novas tecnologias de monitoramento de tráfego e de técnicas estatísticas possibilitou o avanço das pesquisas que, em seu estado da arte, visam estratégias de acompanhamento do risco de incidentes em tempo real (Abdel-Aty *et al.*, 2012; Christoforou *et al.*, 2011; Lee *et al.*, 2003; Pande e Abdel-Aty, 2006; Pirdavani *et al.*, 2015; Shi e Abdel-Aty, 2015).

Ao mesmo tempo em que a utilização de dados desagregados permite uma modelagem mais robusta, manifesta-se a necessidade de uma maior precisão no horário da ocorrência dos acidentes. O emprego dos horários reportados pelos agentes responsáveis pelo atendimento do acidente - que podem ser imprecisos - pode não corresponder às características de tráfego consideradas como precursoras ao acidente, introduzindo relações de causa e efeito errôneas (Zheng, 2012). A maioria dos estudos desenvolvidos no tema não considerou a estimação do horário mais provável de ocorrência dos acidentes (Christoforou *et al.*, 2011; Golob *et al.*, 2008; Imprialou *et al.*, 2016).

Por outro lado, alguns autores incorporaram técnicas de detecção de acidentes em suas análises. Lee *et al.* (2002) desenvolveram um estudo de precursores de acidentes considerando indicadores de densidade veicular e da variação da velocidade com agregação de 5 minutos em 10 km de *freeways* em Toronto-CAN. O horário mais provável de ocorrência dos acidentes foi identificado a partir de informações de velocidade agregadas em 1 minuto do laço detector à montante do georreferenciamento da ocorrência. O critério de identificação visual considerou quedas abruptas na velocidade detectada, assumindo que a redução da velocidade foi gerada pelo acidente, e não o contrário.

Zheng *et al.* (2010) utilizaram dados agregados em intervalos de 20 segundos dos laços detectores à montante e à jusante da localização do acidente para detecção do horário mais provável a fim de avaliar a relação entre oscilações de tráfego e a frequência de acidentes em *freeways*. A identificação visual foi baseada em reduções da velocidade do laço à montante e em incrementos na velocidade e contração no volume do laço à jusante. Esse método - com variações na agregação temporal dos dados - é o mais comum nos estudos aplicados em vias de fluxo ininterrupto que dispõem de contínuos laços detectores (Abdel-Aty *et al.*, 2005; Lee *et al.*, 2003; Pande e Abdel-Aty, 2006; Zheng, 2012).

Hojati *et al.* (2014) apresentaram um estudo que avalia o tempo da duração total de um acidente incluindo a ocorrência do acidente e o retorno a condições de tráfego típicas (*recovery time*) em 14 km de *freeways* em Queensland-AUS a partir de indicadores de velocidade e volume agregados em intervalos de 5 minutos. Os autores utilizaram dados de velocidade também agregados em 5 minutos do laço detector à montante para reconhecimento do horário preciso do acidente. As velocidades médias no período do acidente foram comparadas a valores típicos na via e, caso reduções substanciais (não quantificadas pelos autores) fossem visualmente identificadas em 4 intervalos consecutivos, o horário era reconhecido.

Infelizmente a maioria dos estudos desenvolvidos relativos a condições de tráfego e segurança viária utilizando dados desagregados - e conseqüentemente à relação de perturbações de tráfego e horários reportados de acidentes de trânsito - foi realizada em ambientes de fluxo ininterrupto, existindo uma lacuna na literatura para pesquisas focadas no meio urbano com predominância de fluxo interrompido.

3. MÉTODO

O método proposto para desenvolvimento da análise entre o tempo reportado da ocorrência de acidentes de trânsito e perturbações na condição de fluxo veicular em interseções semaforizadas é apresentado na Figura 1.

A primeira etapa do método proposto é a consolidação de dois bancos de dados: (i) passagens veiculares individuais obtidos pelo sistema de fiscalização eletrônica e; (ii) acidentes fornecidos pelo Sistema de Informações de Acidentes da cidade de Fortaleza (SIAT-FOR).

Os dados de fiscalização eletrônica são disponibilizados de maneira que cada linha representa passagens individuais de veículos, constando informações como código do equipamento de fiscalização, data e hora da passagem, faixa de rolamento, velocidade permitida na via, velocidade medida, bem como o tipo de veículo (caminhão, moto, ônibus ou veículo de

passaio). Os dados de acidentes de trânsito, por sua vez, constam de informações como a hora reportada, detalhes sobre o local da ocorrência, natureza e gravidade do acidente. Neste trabalho foram utilizadas as bases de dados dos anos de 2015 e 2016.

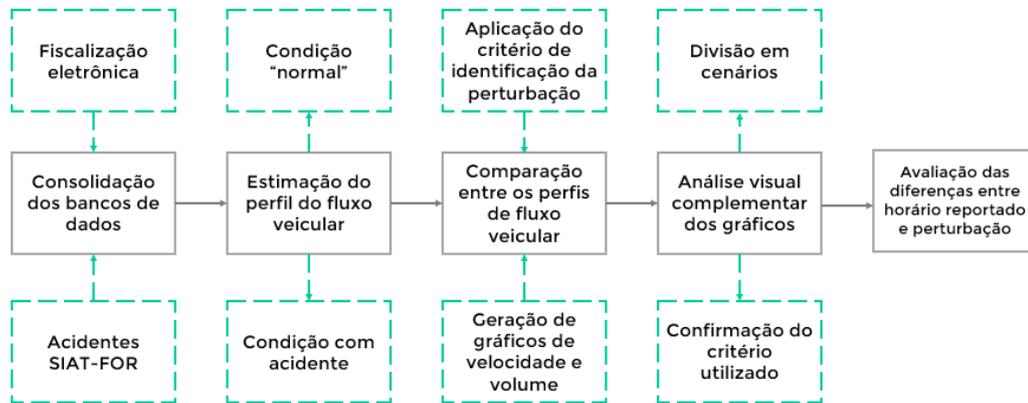


Figura 1: Método proposto para análise entre tempo reportado da ocorrência de acidentes de trânsito e perturbações na condição de fluxo veicular em interseções semaforizadas

Com a utilização do *software* QGIS, o qual consiste numa multiplataforma de sistema de informação geográfica (SIG), e de rotinas desenvolvidas no RStudio, foi possível agregar as informações das passagens de veículos fornecidas pela fiscalização eletrônica das interseções semaforizadas disponíveis em intervalos de 1 minuto, além de filtrar os acidentes que ocorreram num raio de 30 metros tendo como centro os equipamentos de fiscalização eletrônica. A utilização de apenas 30 metros de raio e somente equipamentos de cruzamentos surge para reduzir possíveis problemas no georreferenciamento dos acidentes, aumentando a confiabilidade da análise. A consolidação das bases de dados serviu para determinar a amostra inicial de acidentes e condições de fluxo veicular para a aplicação das próximas etapas da metodologia.

Após a consolidação das bases de dados contendo data e hora reportada de cada acidente, foram estimados os perfis de regime de fluxo veicular para a condição “normal” (sem acidente) e para as condições no período do acidente, considerando sempre três horas em torno do horário reportado (1,5 horas antes e 1,5 horas depois). Os parâmetros utilizados para caracterizar o regime de fluxo veicular foram a taxa de fluxo (veic/h) e a velocidade média no tempo (ut) em intervalos de um minuto.

Considerou-se como condição “normal”, o perfil de regime estimado uma semana antes do dia do acidente e no mesmo intervalo em que o acidente foi reportado. Desta forma, para cada acidente foram processadas 360 observações de fluxo e velocidade, sendo 180 para cada perfil de regime.

A próxima etapa diz respeito à comparação entre os perfis de regime de fluxo para as condições “normais” e para as condições com acidente, tendo como objetivo identificar situações em que houve diferença significativa entre os dois regimes, confirmando a ocorrência do acidente nas proximidades do equipamento de fiscalização eletrônica. Consideraram-se como alteração significativa no regime de fluxo (perturbação), situações em que a velocidade média no intervalo do dia do acidente ficou abaixo da velocidade média do

dia “normal” subtraída de dois desvios padrões e permaneceu por um intervalo de quatro minutos consecutivos.

Para o grupo de acidentes em que houve a detecção da perturbação pelo critério do desvio padrão da velocidade, foram gerados gráficos de velocidade e volume do intervalo do dia e hora em que houve o acidente, tendo sido este último gerado apenas como uma verificação; explicitando o momento em que a perturbação foi detectada, a hora reportada e a velocidade média referencial, com a finalidade de obter uma análise visual complementar. Nesta análise, observaram-se individualmente os gráficos correspondentes a cada acidente, considerando como válidos aqueles em que foi possível identificar o momento exato do início da perturbação na velocidade, correspondendo a uma mudança brusca no padrão do gráfico e, desta forma, aumentando a confiabilidade no critério utilizado.

Na etapa final de avaliação entre o horário da perturbação e o horário reportado do acidente, foram analisados o tipo de acidente e o número de equipamentos em que foram detectadas as perturbações. Esta etapa permitiu a identificação de situações em que foi possível a associação do momento detectado de perturbação como sendo a hora mais provável da ocorrência do acidente, levando a estimação de uma diferença de tempo média entre a ocorrência e a hora reportada no SIAT-FOR.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta seção são apresentados e analisados os resultados em 2 etapas. Primeiramente, uma breve caracterização do banco de dados é realizada. Em seguida, são mostrados os diversos casos de perturbações de velocidade com aplicação do algoritmo e da análise visual complementar. Por fim, uma análise entre os horários reportados dos acidentes e da ocorrência das oscilações na velocidade é desenvolvida.

4.1 Consolidação do banco de dados

O banco de dados referente à fiscalização eletrônica apresenta 80 equipamentos ativos durante o período de 2015 e 2016 em 57 interseções semaforizadas da cidade de Fortaleza. Destas, 35 continham equipamento em apenas 1 aproximação; 21, em 2 aproximações e uma única interseção possuía 3 dispositivos. A partir de um raio de 30m de cada equipamento, pôde-se coletar 504 acidentes em 2015 e 554 em 2016 para análise. A Figura 2 exibe a distribuição espacial dos equipamentos e o destaque na coleta dos acidentes.

4.2 Análise das perturbações de tráfego e dos horários reportados de acidentes

A análise das perturbações de tráfego foi dividida em quatro cenários em função do tipo de acidente e do número de laços que identificaram a perturbação: (i) perturbações detectadas por pelo menos dois laços associadas a colisões transversais; (ii) perturbações encontradas por pelo menos dois laços associadas aos demais tipos de acidentes; (iii) perturbações constatadas por apenas um laço associadas a colisões transversais; (iv) perturbações observadas por apenas um laço associadas aos demais tipos de acidentes. Esta divisão reflete - em ordem decrescente - o nível de confiança para estimativa do horário mais provável do acidente. Por exemplo, o cenário 1 permite que o horário mais provável da ocorrência do acidente seja validado a partir da informação de um dos laços. No cenário 4, por outro lado, a confiança com relação ao georreferenciamento dos acidentes é menor, podendo impactar na qualidade da detecção. Destaca-se que aproximadamente 35% dos acidentes cadastrados no banco de dados não possuem tipificação determinada, sendo assim incluídos na categoria *demais tipos*.

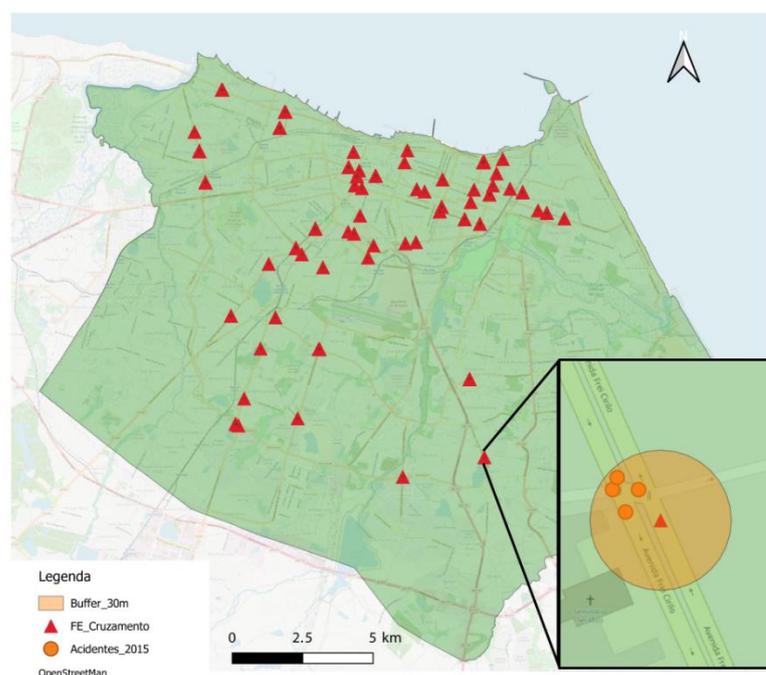


Figura 2: Distribuição espacial dos equipamentos de fiscalização eletrônica de interseções semaforizadas e método de coleta dos acidentes

Em termos gerais, dos 1058 acidentes investigados, em 189 (17,8%) foram automaticamente identificadas perturbações na velocidade seguindo o critério proposto. Dos acidentes detectados pelo algoritmo, em 153 (80,9%) a análise visual complementar permitiu a detecção exata do momento da perturbação na velocidade. A Figura 3 traz um resumo das detecções por cenário.

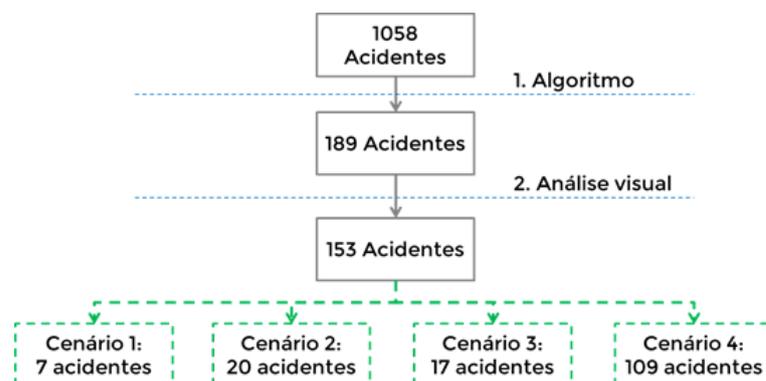


Figura 3: Resumo das detecções das perturbações por etapa e por cenário

Algumas hipóteses podem ser levantadas para explicar a moderada taxa de detecção das perturbações pelo algoritmo: (i) alguns acidentes - embora tenham sido georreferenciados no cruzamento - somente impactaram a aproximação sem fiscalização; (ii) parte dos acidentes ocorreram à montante do laço, assim apenas o indicador de volume seria impactado; (iii) alguns acidentes com menor severidade não impactaram a velocidade na via a ponto de ser detectada pelo algoritmo; (iv) a presença do semáforo traz naturalmente uma alta oscilação na velocidade agregada em 1 minuto, assim, em alguns casos o critério para detecção da perturbação foi representado por um valor negativo. Ressalta-se que, outras configurações

para o critério de detecção na perturbação da velocidade foram avaliadas (diferença de 1 ou 3 desvios padrões da média da velocidade e diferentes durações no intervalo para detecção), no entanto a estrutura aplicada foi a que apresentou maior equilíbrio entre as taxas de falso-positivo e de correta detecção da perturbação.

As Figuras 4a (colisão traseira) e 4b (colisão transversal) trazem exemplos em que as perturbações na velocidade não foram identificadas pelo algoritmo. Na colisão traseira percebe-se que não há perturbações significativas no intervalo observado. Já na colisão transversal observa-se uma redução na velocidade após o horário reportado do acidente, mas essa não é longa nem intensa o suficiente para detecção automática.

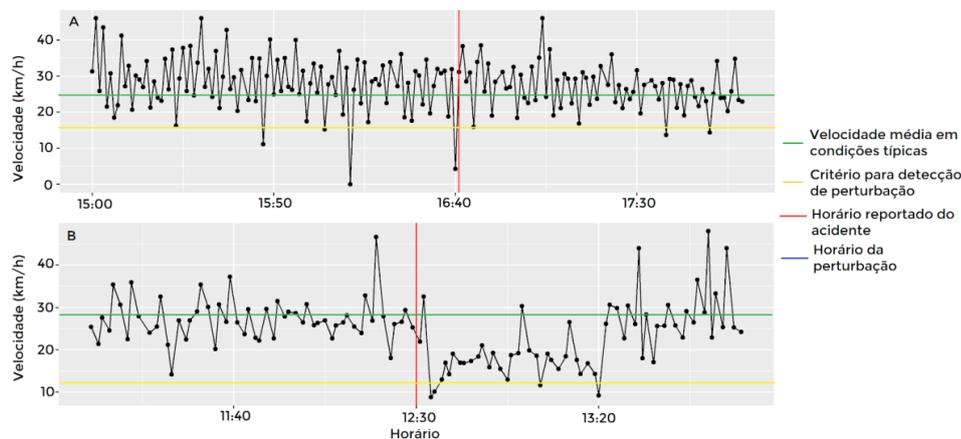


Figura 4: Exemplos de perturbações não detectadas pelo algoritmo: (a) colisão traseira; (b) colisão transversal.

A Figura 5 traz dois exemplos em que a perturbação na velocidade foi detectada pelo algoritmo, mas - durante a análise visual complementar - não foi possível a determinação do horário inicial da oscilação, dificultando a estimativa do horário de ocorrência do acidente. Na Figura 5a (engavetamento) o algoritmo detectou uma perturbação por volta das 8:50, entretanto a velocidade voltou a valores típicos após sete minutos do início da oscilação, voltando a cair momentos depois.

O perfil de velocidade na Figura 5b (colisão traseira) não permite associar alguma perturbação pontual à ocorrência do acidente. Uma hipótese para tal comportamento duradouro abaixo da média é de que a redução na velocidade pode ter ocasionado o acidente (uma faixa obstruída por veículos, por exemplo), e não o contrário.

4.2.1 Perturbações detectadas nos cenários 1 e 2

As detecções nos cenários 1 e 2 permitem que o horário da perturbação seja validado a partir de um dos laços, elevando a confiança de que o horário identificado da perturbação possivelmente reflete o horário de ocorrência do acidente, principalmente para as colisões transversais.

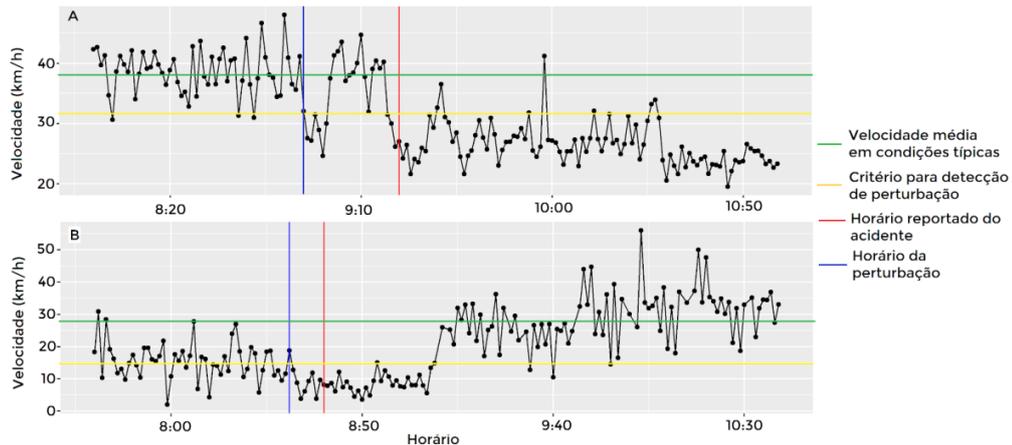


Figura 5: Exemplos de perturbações detectadas pelo algoritmo, mas que não foram possíveis determinações dos horários iniciais das oscilações: (a) engavetamento; (b) colisão traseira.

As Figuras 6a e 6b trazem o perfil de velocidade para dois laços detectores no período em que uma colisão transversal foi reportada. Verifica-se que os dois laços detectaram a perturbação na velocidade no mesmo horário (7 minutos antes do reportado). As Figuras 6c e 6d referem-se ao intervalo em que um atropelamento fatal foi reportado. Observa-se uma diferença de 2 minutos entre as detecções de cada um dos laços, ocasionada - possivelmente - pela ocorrência do acidente na aproximação da Figura 6d. Grande parte das perturbações detectadas e validadas visualmente para os cenários 1 e 2 seguiram o perfil apresentado na Figura 6, possibilitando a precisa identificação do horário da ocorrência.

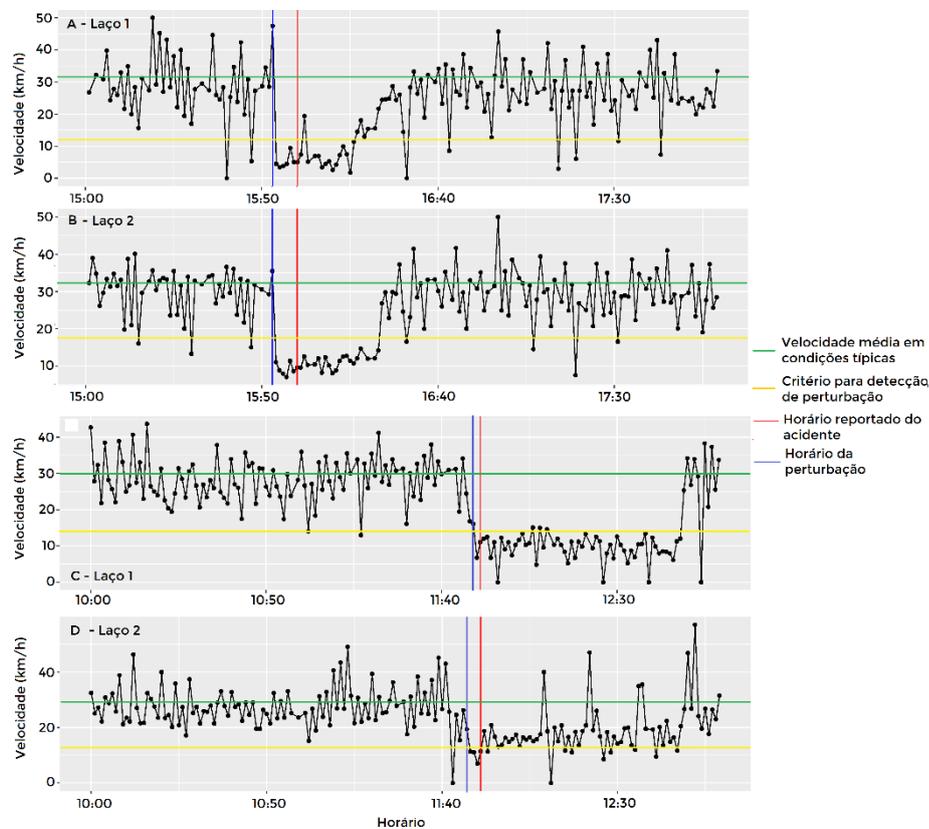


Figura 6: Perturbações detectadas por dois laços em horários similares: (a) e (b) colisão transversal; (c) e (d) atropelamento.

4.2.2 Perturbações detectadas nos cenários 3 e 4

A Figura 7 apresenta três perturbações detectadas e confirmadas pela análise visual em apenas um laço. As Figuras 7a (colisão traseira), 7b (colisão lateral) e 7c (colisão transversal) mostram situações em que foi possível determinar precisamente o momento de ocorrência da perturbação na velocidade. Nota-se na Figura 7b que a perturbação foi detectada 46 minutos após o horário reportado do acidente.

4.2.3 Avaliação das diferenças entre horário reportado e ocorrência de perturbações na velocidade

A Tabela 1 traz as diferenças observadas entre o horário reportado do acidente e a perturbação na velocidade por cenário. Para o caso de maior confiança entre a diferença (cenário 1), verificou-se um atraso médio de 8,4 minutos em relação ao horário reportado no banco de dados e a ocorrência da oscilação na velocidade. Considerando todos os 153 acidentes, a diferença foi maior: atraso médio de 17,6 minutos. Constata-se, também, que em todos os cenários houve acidentes reportados antes da identificação da perturbação (diferença estimada menor que zero), evidenciando a existência de erros no cadastro dos acidentes.

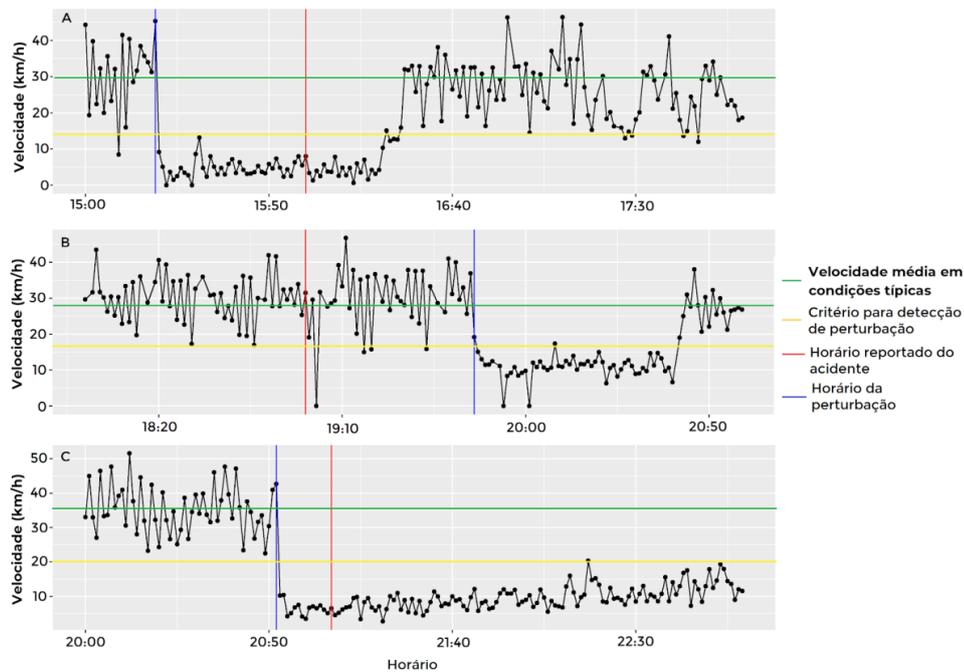


Figura 7: Perturbações detectadas por apenas um laço: (a) colisão traseira; (b) colisão lateral; (c) colisão transversal.

A Tabela 2 traz as estatísticas das diferenças por severidade do acidente. Observa-se que, a diferença média nos acidentes com feridos e fatais é estatisticamente significativa menor do que nos acidentes sem vítimas (valor-p < 0,01), evidenciando o esperado maior zelo nos atendimentos a acidentes com vítimas. A menor média verificada para o cenário 1 na análise anterior pode estar relacionada à preponderância de acidentes com feridos neste cenário.

Tabela 1: Estatísticas entre as diferenças entre o horário reportado dos acidentes e a perturbação na velocidade por cenário

Cenário	Estatísticas das diferenças estimadas (minutos)						Severidade dos acidentes		
	Média	Desvio Padrão	Mínimo	25o Perc	75o Perc	Máximo	Ileso	Ferido	Fatal
1	8.4	15.5	-7	-1	10	40	1	6	0
2	21.8	33.1	-42	3	39	88	14	5	1
3	13.2	22.7	-25	-1	25	57	12	4	1
4	18.1	23.1	-59	5	32	86	65	44	0
Geral	17.6	24.2	-59	3	32	88	92	59	2

Tabela 2: Estatísticas entre as diferenças entre o horário reportado dos acidentes e a perturbação na velocidade por severidade do acidente

Severidade do acidente	#Acidentes	Estatísticas das diferenças estimadas (minutos)					
		Média	Desvio Padrão	Mínimo	25o Perc	75o Perc	Máximo
Ileso	92	22.6	24.9	-46	8	37	88
Feridos e fatal	61	10.0	21.1	-59	2	21	71

De modo geral, o algoritmo desenvolvido e os resultados alcançados podem ser aplicados em duas frentes, respectivamente: (i) identificação automática em tempo real da ocorrência de acidentes de trânsito a partir de dados de velocidade de fiscalização eletrônica, visando um mais rápido atendimento à ocorrência, reduzindo a duração de congestionamentos ocasionados pelo sinistro; (ii) desenvolvimento de estudos de segurança viária baseados na utilização de dados desagregados, garantindo uma melhor estimativa das condições antecessoras à ocorrência dos acidentes. Por exemplo, para os acidentes em interseções semaforizadas estudados neste trabalho, verifica-se a necessidade de segregá-los por severidade.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma análise entre o tempo reportado de acidentes de trânsito e perturbações nas condições de fluxo veicular em interseções semaforizadas da cidade de Fortaleza. A detecção das perturbações na velocidade veicular foi realizada com aplicação de algoritmo que comparou velocidades em intervalos de dias típicos (de não acidente) com o intervalo em que o acidente foi reportado. Em seguida, uma análise visual complementar validou as perturbações identificadas automaticamente.

O algoritmo apresentou uma taxa de detecção de perturbações de 18%, das quais 81% foram validadas visualmente. Perturbações próximas do horário de ocorrência de colisão transversal, que foram detectadas por dois equipamentos de fiscalização eletrônica, foram consideradas as mais confiáveis para estimação do indicador da diferença entre o horário reportado e a perturbação, mostrando um valor médio de 8,4 minutos. Com base em todos os acidentes e cenários, a diferença média entre reportagem e perturbação foi de 17,6 minutos.

Verificou-se, também, que em acidentes com feridos ou fatalidades a precisão da reportagem do acidente foi, em média, consideravelmente menor do que em acidentes sem vítimas (valor- $p < 0,01$), indicando uma maior atenção dos órgãos responsáveis pelo atendimento a estes tipos de acidentes, como esperado.

O método empregado neste trabalho pode ser aplicado em diversas frentes de estudos de segurança viária, mas principalmente: (i) na detecção automática em tempo real de perturbações na velocidade; (ii) no desenvolvimento de estudos que avaliem a relação de variáveis de tráfego e acidentes de trânsito em nível desagregado. Em trabalhos futuros, recomenda-se a aplicação de novas técnicas para detecção da perturbação e a incorporação do volume no algoritmo de identificação da perturbação.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) para o desenvolvimento dessa pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdel-Aty, M. A., Hassan, H. M., Ahmed, M., e Al-Ghamdi, A. S. (2012) Real-time prediction of visibility related crashes. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 24, 288–298. doi:10.1016/j.trc.2012.04.001
- Abdel-Aty, M. A., Pande, A., Uddin, N., Dilmore, J., e Pemmanaboina, R. (2005) *Relating Crash Occurrence to Freeway Loop Detectors Data, Weather Conditions and Geometric Factors*.
- Caleffi, F. (2018) *Proposição de um Método de Harmonização da Velocidade Baseado em Modelo de Previsão de Conflitos Veiculares*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Chilukuri, B. R., Perrin Jr., J., e Martin, P. T. (2004) SCOOT and Incidents: Performance Evaluation in Simulated Environment. *Transportation Research Record*, (1867), 224–232. doi:10.3141/1867-26
- Christoforou, Z., Cohen, S., e Karlaftis, M. G. (2011) Identifying crash type propensity using real-time traffic data on freeways. *Journal of Safety Research*, 42(1), 43–50. doi:10.1016/j.jsr.2011.01.001
- Cunto, F. J. C., Castro Neto, M. M., e Barreira, D. S. (2011) Modelos de Previsão de Acidentes de Trânsito em Interseções Semaforizadas de Fortaleza. *Transportes*.
- Golob, T. F., Recker, W., e Pavlis, Y. (2008) Probabilistic models of freeway safety performance using traffic flow data as predictors. *Safety Science*, 46(9), 1306–1333. doi:10.1016/j.ssci.2007.08.007
- Hauer, E. (2004) Statistical Road Safety Modeling. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1897, 81–87. doi:10.3141/1897-11
- Hojati, A. T., Ferreira, L., Washington, S., Charles, P., e Shobeirnejad, A. (2014) Modelling total duration of traffic incidents including incident detection and recovery time. *Accident Analysis and Prevention*, 71, 296–305. doi:10.1016/j.aap.2014.06.006
- Huang, Z., Gao, Z., Yu, R., Wang, X., e Yang, K. (2017) Utilizing latent class logit model to predict crash risk. *Proceedings - 16th IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science, ICIS 2017* (p. 161–165). doi:10.1109/ICIS.2017.7959987
- Imprialou, M. I. M., Quddus, M., Pitfield, D. E., e Lord, D. (2016) Re-visiting crash-speed relationships: A new perspective in crash modelling. *Accident Analysis and Prevention*. doi:10.1016/j.aap.2015.10.001
- Jhaveri, C. S., Perrin-Jr, J., e Martir, P. T. (2003) SCOOT Adaptive Signal Control: An Evaluation of its Effectiveness over a Range of Congestion Intensities.
- Lee, C., Hellinga, B., e Saccomanno, F. (2003) Real-Time Crash Prediction Model for Application to Crash Prevention in Freeway Traffic. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1840, 67–77. doi:10.3141/1840-08
- Lee, C., Saccomanno, F., e Hellinga, B. (2002) Analysis of Crash Precursors on Instrumented Freeways. *Transportation Research Record*, 1784(1), 1–8. doi:10.3141/1784-01
- Pande, A., e Abdel-Aty, M. (2006) Comprehensive Analysis of the Relationship Between Real-Time Traffic Surveillance Data and Rear-End Crashes on Freeways. *Transportation Research Record*, 1953(1953), 31–40. doi:10.3141/1953-04
- Pirdavani, A., De Pauw, E., Brijs, T., Daniels, S., Magis, M., Bellemans, T., e Wets, G. (2015) Application of a Rule-Based Approach in Real-Time Crash Risk Prediction Model Development Using Loop Detector Data. *Traffic Injury Prevention*, 16(8), 786–791. doi:10.1080/15389588.2015.1017572
- Shi, Q., e Abdel-Aty, M. (2015) Big Data applications in real-time traffic operation and safety monitoring and improvement on urban expressways. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 58, 380–394. doi:10.1016/j.trc.2015.02.022
- Sobreira, L. T. P., e Cunto, F. J. C. (2014) Análise de Variações Temporais na Estimativa de Acidentes em Segmentos Arteriais Urbanos. *Transportes*, 22, 128–137.

- Solomon, D. (1964) Crashes on main rural highways related to speed, driver and vehicle. *Bureau of Public Roads*.
- Taylor, C., e Meldrum, D. (2000) Evaluation of a fuzzy logic ramp metering algorithm: a comparative study among three ramp metering algorithms used in the greater Seattle area. *WA-RD Technical Report to*, (February).
- USDOT. (2014) *Intelligent Transportation Systems (ITS) Strategic Plan 2015-2019*.
- Wu, Q., Chen, F., Zhang, G., Liu, X. C., Wang, H., e Bogus, S. M. (2014) Mixed logit model-based driver injury severity investigations in single- and multi-vehicle crashes on rural two-lane highways. *Accident Analysis and Prevention*, 72, 105–115. doi:10.1016/j.aap.2014.06.014
- Yang, X., Lu, Y. C., e Lin, Y. (2016) Optimal Variable Speed Limit Control System for Freeway Work Zone Operations. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 31(1). doi:10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000610
- Zheng, Z. (2012) Empirical Analysis on Relationship between Traffic Conditions and Crash Occurrences. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 43, 302–312. doi:10.1016/j.sbspro.2012.04.103
- Zheng, Z., Ahn, S., e Monsere, C. M. (2010) Impact of traffic oscillations on freeway crash occurrences. *Accident Analysis and Prevention*, 42(2), 626–636. doi:10.1016/j.aap.2009.10.009

Lucas Tito Pereira Sobreira (lucastito@det.ufc.br)

Gabriela Gomes Soares Rezende (gabrielsrezende@gmail.com)

Flávio José Craveiro Cunto (flaviocunto@det.ufc.br)

Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará. Campus do PICI, s/n – Bloco 703. Fortaleza, CE, Brasil.