

INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS E DE LUMINOSIDADE NA OPERAÇÃO DE RODOVIAS PAULISTAS DE PISTA DUPLA

Juliana Mitsuyama Cardoso

José Reynaldo A. Setti

Universidade de São Paulo

Escola de Engenharia de São Carlos

RESUMO

Esta pesquisa de mestrado visa estudar a influência da luminosidade e de condições meteorológicas adversas na operação de rodovias no estado de São Paulo, comparando o fluxo de tráfego em condições chuvosas e/ou à noite com o fluxo de tráfego em condições ideais (pista seca, no período diurno). Dados de 94 estações permanentes de monitoramento de tráfego localizadas em rodovias de pista dupla serão cruzados com dados de precipitação obtidos por meio das imagens dos radares meteorológicos de Bauru e Presidente Prudente. Tanto os dados de tráfego como as imagens dos radares são obtidos a cada 15 minutos. Para cada um desses 15 minutos, determina-se se o tempo está firme ou chuvoso, através da cor do *pixel* correspondente à cada estação de monitoramento de tráfego. No caso de chuva, também se determina sua intensidade: fraca, moderada ou forte. O banco de dados de chuva será compatibilizado com os dados de tráfego para que seja possível analisar a influência das condições do tempo e da luminosidade sobre o fluxo veicular em cada local estudado.

1. OBJETIVO DA PESQUISA

Esta pesquisa de mestrado visa estudar a influência da luminosidade e de condições meteorológicas adversas na operação de rodovias no estado de São Paulo, comparando o fluxo de tráfego em condições chuvosas e/ou à noite com o fluxo de tráfego em condições ideais (pista seca, no período diurno). Para atingir este objetivo serão utilizados dados de 94 sensores de tráfego localizados em rodovias de pista dupla. Estes dados foram fornecidos pela ARTESP e cobrem um extenso período de tempo (2011–2017). Os dados referentes às condições do tempo, para o mesmo período, foram obtidos junto ao Centro de Meteorologia de Bauru (IPMet), da UNESP, e consistem de imagens dos radares meteorológicos de Bauru e Presidente Prudente. A pesquisa apresenta sete etapas principais: (1) obtenção e organização do banco de dados de tráfego; (2) obtenção das imagens dos radares meteorológicos; (3) georreferenciamento dos sensores de tráfego; (4) identificação dos períodos de precipitação e análise da intensidade da chuva nos locais onde os sensores de tráfego estão instalados; (5) identificação da luminosidade; (6) compatibilização dos dados meteorológicos com os dados de tráfego; e (7) análise da influência das condições meteorológicas e de luminosidade sobre a operação das rodovias.

2. REVISÃO DA LITERATURA

A influência das condições meteorológicas no tráfego rodoviário tem sido o foco de vários estudos. A chuva, a neve e a perda de visibilidade afetam a velocidade escolhida pelos motoristas, pois interferem na percepção e sensação de segurança. Os motoristas tendem a diminuir suas velocidades para aumentar a distância de segurança entre os veículos (Goodwin, 2002). Esse comportamento faz com que ocorra a diminuição da velocidade de fluxo livre, da velocidade na capacidade e da capacidade (TRB, 2000, p. 22-8).

A perda de visibilidade causada pelo mau tempo é uma das razões para que os motoristas diminuam a velocidade (Edwards, 1999). A intensidade da chuva afeta a redução da velocidade (TRB, 2000); por isso, alguns estudos segregam os efeitos da chuva em função de precipitações fracas e fortes. No Canadá, observou-se uma redução de 2 km/h na velocidade de fluxo livre sob chuva fraca e reduções que variam entre 5 e 10 km/h sob chuva forte (Ibrahim e Hall, 1994); na

Espanha, foram observadas reduções de 5,5 km/h e de 7 km/h, respectivamente, em condições de chuva fraca e de chuva forte (Camacho et al., 2010). No Brasil, detectou-se uma redução de 10 km/h na velocidade em períodos de chuva na BR-290, em Porto Alegre (Caleffi et al., 2015). Num estudo nos EUA (Hranac et al., 2006), detectaram-se reduções da velocidade na capacidade da ordem de 8–10% para chuva fraca e de 8–14% para chuva forte.

Vários estudos mostram que a chuva também causa redução na capacidade. Três estudos conduzidos nos EUA sugerem que o efeito depende do local: Hranac et al. (2006) reportam uma redução de 10–11%, que não parece ser afetada pela intensidade da precipitação; Maze et al. (2006) constataram uma redução média de 7% na capacidade sob chuva fraca e 14% sob chuva forte; Smith et al. (2004) observaram que a capacidade é reduzida entre 4–10% sob chuva fraca e entre 25–30% sob chuva forte.

Um aspecto importante na realização desses estudos diz respeito aos dados do tempo, que costumam ser oriundos de estações meteorológicas (Brilon e Ponzlet, 1996; Smith et al., 2004; Camacho et al., 2010). Entretanto, os pontos de coleta de dados de tráfego devem estar próximos das estações meteorológicas para que as informações do tempo sejam espacialmente representativas e estejam correlacionadas às condições de tráfego (Billot et al., 2009).

Quando não se dispõe de uma densa rede de pluviômetros que estejam próximos dos sensores de tráfego, a medição realizada por radares meteorológicos se torna uma alternativa viável. Os radares começaram a ser utilizados em 1960 para determinar as condições meteorológicas em tempo real (Wilson et al., 1998). A relação entre a refletividade medida nos radares e a precipitação verificada depende de uma série de fatores físicos que variam significativamente para cada evento meteorológico. Austin (1987) analisou os processos físicos relacionados à interpretação dos dados dos radares em taxa de precipitação e constatou que os radares podem medir a distribuição espacial e a intensidade das chuvas com uma boa precisão.

A influência das condições climáticas adversas depende das particularidades locais. Neste contexto, este trabalho propõe uma análise do fluxo de tráfego das rodovias de pista dupla de São Paulo. Devido à espacialidade dos sensores de tráfego, a utilização das imagens dos radares meteorológicos se torna indicada.

3. CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS NOS LOCAIS DE COLETA DE DADOS

Nesta seção apresenta-se o método utilizado para a identificação das condições meteorológicas e de luminosidade nos locais em que os sensores de tráfego estão instalados.

Os dados de tráfego consistem na velocidade média e contagem dos veículos comerciais e de passeio em períodos de 15 minutos. Os dados meteorológicos são imagens que fornecem a intensidade das chuvas a cada 15 minutos e são obtidas pelos radares meteorológicos localizados nas cidades de Bauru e Presidente Prudente, como mostra a Figura 1. Estas imagens apresentam uma escala de cores discreta que representa a refletividade medida pelos radares e tem relação com a intensidade da precipitação. Na Tabela 1 são apresentadas a relação entre a refletividade e a segregação das intensidades adotada neste trabalho.

Obtidos os dados de tráfego e de precipitação, a etapa seguinte da pesquisa consistiu no georreferenciamento das estações de monitoramento de tráfego. Com a posição geográfica dos

Tabela 1: Correspondência entre a refletividade e a intensidade de chuva [fonte: IPMet-UNESP]

Intensidade (dBZ)	Intervalo	Precipitação	Segregação Adotada
60	Acima de 200 mm/h	Extrema	Chuva Forte
55	100 a 200 mm/h	Muitíssimo Forte	
50	50 a 100 mm/h	Muito Forte	
45	25 a 50 mm/h	Forte	
40	12 a 25 mm/h	Moderada Forte	Chuva Moderada
35	6 a 12 mm/h	Moderada	
30	3 a 6 mm/h	Moderada Fraca	
25	1,5 a 3 mm/h	Fraca	Chuva Fraca
20	1 a 1,5 mm/h	Muito Fraca	
15	0,5 a 1 mm/h	Garoa	

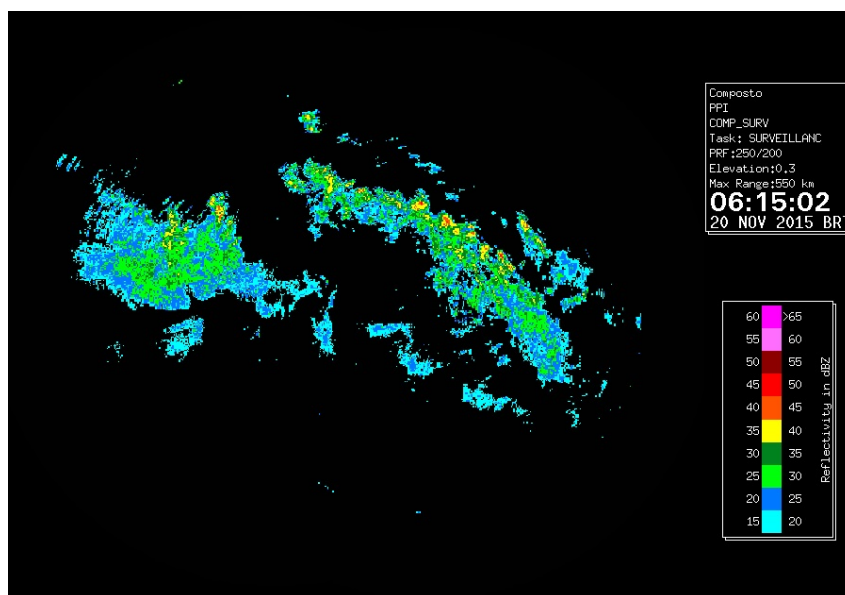


Figura 1: Imagem registrada pelos radares de Bauru e Presidente Prudente [fonte: IPMet-UNESP]

sensores, obtiveram-se os *pixels* correspondentes nas imagens fornecidas pelo IPMet. Através de visão computacional, é possível analisar as imagens dos radares para determinar a condição do tempo (bom ou chuvoso) analisando-se a cor desses *pixels*.

A intensidade da precipitação pode ser obtida pela leitura da cor dos *pixels* da imagem, através do valor RGB (*Red, Green e Blue*). Cada um dos parâmetros R, G e B variam de 0 à 255 e a combinação dos três reproduz um espectro cromático. Nas imagens geradas pelos radares meteorológicos, a cor preta – RGB(0,0,0) – indica que não está chovendo na região, e quando o *pixel* apresenta um valor RGB diferente de preto, significa que há precipitação no local analisado. Para esta pesquisa, foi desenvolvido um programa em *Python* que identifica o valor RGB dos *pixels* de interesse e, caso os valores sejam diferentes de preto faz-se uma análise da cor do *pixel*.

Na segunda análise, os valores RGB do *pixel* de interesse são comparados aos valores RGB da escala de cores apresentada na Figura 1. Esta comparação foi realizada utilizando a distância euclidiana. A distância euclidiana mede a hipotenusa de um triângulo de ângulo reto entre os três pontos no espaço RGB (Lott, 2015). Para cada *pixel* de interesse é calculada a distância euclidiana em relação as cores da escala de cores. Quando a distância euclidiana apresentar

o menor valor, significa que a cor do *pixel* se aproxima de uma determinada cor na escala da Figura 1, que corresponde a uma dada intensidade de chuva em mm/h. Assim, utilizando-se a segregação adotada pelo IPMet (apresentada na Tabela 1) é possível classificar a condição meteorológica em chuva fraca, moderada ou forte.

A luminosidade foi determinada de acordo com o horário do nascer e pôr do sol nos locais dos sensores de tráfego. Dessa forma é possível segregar os dados de tráfego de acordo com as condições meteorológicas durante o período diurno e noturno. As próximas etapas do trabalho consistem: (1) compatibilização com os dados de tráfego, utilizando a data e o horário em que os dados foram obtidos, e (2) análise da influência da intensidade da precipitação e da luminosidade sobre a corrente de tráfego.

Agradecimentos Os autores agradecem à ARTESP e ao IPMet que gentilmente cederam os dados utilizados nesta pesquisa. Os autores agradecem o apoio financeiro da CAPES, sob a forma de uma bolsa de mestrado e de uma bolsa de produtividade em pesquisa. (Proc. 312460/17-1).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Austin, P. M. (1987). Relation between measured radar reflectivity and surface rainfall. *Monthly Weather Review* 115(5), 1053–1070.
- Billot, R., N. El Faouzi, e F. De Vuyst (2009). Multilevel assessment of the impact of rain on drivers' behavior: Standardized methodology and empirical analysis. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2107, 134–142.
- Brilon, W. e M. Ponzlet (1996). Variability of speed-flow relationships on German autobahns. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1555, 91–98.
- Caleffi, F., S. T. Lucchesi, M. J. Anzanello, e H. B. B. Cybis (2015). Influência das condições climáticas e de acidentes na caracterização do comportamento do tráfego em rodovias. In *XXIX Congresso Nacional de Pesquisa em Transportes*, Ouro Preto, pp. 1610–1621. Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes.
- Camacho, F. J., A. García, e E. Belda (2010). Analysis of impact of adverse weather on freeway free-flow speed in Spain. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2169, 150–159.
- Edwards, J. B. (1999). Speed adjustment of motorway commuter traffic to inclement weather. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 2(1), 1–14.
- Goodwin, L. C. (2002). Weather impacts on arterial traffic flow. Technical report, Mitretek Systems for the Road Weather Management Program, Virginia, USA.
- Hranac, R., E. Sterzin, D. Krechmer, H. A. Rakha, M. Farzaneh, M. Arafah, et al. (2006). Empirical studies on traffic flow in inclement weather. Technical report, Federal Highway Administration, Washington, D.C., USA.
- Ibrahim, A. T. e F. L. Hall (1994). Effect of adverse weather conditions on speed-flow-occupancy relationships. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1457, 184–191.
- Lott, S. (2015). *Functional Python programming: Create succinct and expressive implementations with functional programming in Python*. Birmingham, UK: Packt Publishing.
- Maze, T., A. M., e G. Burchett (2006). Whether weather matters to traffic demand, traffic safety, and traffic operations and flow. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1948, 170–176.
- Smith, B. L., K. G. Byrne, R. B. Copperman, S. M. Hennessy, e N. J. Goodall (2004). An investigation into the impact of rainfall on freeway traffic flow. In *83rd Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D.C.
- TRB (2000). *Highway Capacity Manual*. Washington, D.C., EUA: Transportation Research Board, National Research Council.
- Wilson, J. W., N. A. Crook, C. K. Mueller, J. Sun, e M. Dixon (1998). Nowcasting thunderstorms: A status report. *Bulletin of the American Meteorological Society* 79(10), 2079–2099.

Juliana Mitsuyama Cardoso (julianam.cardoso@usp.br)

José Reynaldo A. Setti (jrasetti@usp.br)

Dep. de Engenharia de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo

Av. Trabalhador São-carlense 400, 13566-590 – São Carlos, SP, Brasil