TRANSPORTES
revistatransportes.org.br
anpet
associação nacional de pesquisa e ensino em transportes
anpet.org.br

Caracterização da interação pedestre-veículo em travessias semaforizadas

Characterization of pedestrian-vehicles interaction at signalized crossings

Beliza Carvalho de Oliveira[1], **Flávio José Craveiro Cunto**[1]

[1]Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil

Contato: beliza.carvalho@det.ufc.br (BCO); flaviocunto@det.ufc.br, (FJCC)

Recebido:
3 de junho de 2022
Aceito para publicação:
30 de maio de 2023
Publicado:
17 de janeiro de 2024

Editor de Área:
Sara Ferreira, Universidade do Porto, Portugal

Palavras-chave:
Pedestres.
Travessia.
Interações.
Conflitos de tráfego.

Keywords:
Pedestrians.
Crossing.
Interactions.
Traffic conflicts.

DOI: 10.58922/transportes.v31i3.2768

OPEN ACCESS
CC BY

RESUMO
O pedestre, como usuário vulnerável, ainda ocupa uma parcela significativa das fatalidades no trânsito, e a travessia é o momento mais crítico do seu percurso, devido a interação com os demais usuários. Esta pesquisa avalia a frequência e a severidade das interações pedestre-veículo em travessias semaforizadas, com foco nos atributos individuais dos pedestres e nas características geométricas da via. Foi feita uma caracterização das interações e análise exploratória das variáveis que podem influenciar na frequência e severidade desses eventos. Foram analisadas três travessias semaforizadas, na cidade de Fortaleza e as interações foram avaliadas a partir da observação de vídeos de tráfego, e de uma análise semiautomática, com foco no indicador *Post-Encroachment Time* (PET), que mede a diferença entre os tempos dos usuários na área de conflito. Foi possível identificar que 57% das interações são de severidade leve, 30% são moderadas e 13% são conflitos sérios. Além disso, fatores como gênero, agrupamento, o momento da chegada do pedestre na travessia, o veículo envolvido e o tipo de interação, podem influenciar significativamente na ocorrência dos eventos mais críticos.

ABSTRACT
Pedestrians, as vulnerable road users, still are a significant portion of traffic fatalities, and the crossing is the most critical moment in their journey due to interaction with other road users. This research aims to evaluate the frequency and severity of pedestrian-vehicle interactions in traffic lights, focusing on the individual attributes of pedestrians and the geometric characteristics of the road. A characterization of the interactions and exploratory analysis of the variables that can influence the frequency and severity of these events were made. Three signalized crosswalks were analyzed in the city of Fortaleza, and the interactions were evaluated from the observation of traffic videos and a semi-automatic analysis, focusing on the Post-Encroachment Time (PET), which measures the difference between road users' times in the conflict area. It was possible to identify that 57% of the interactions are of mild severity, 30% are moderate and 13% are serious conflicts. In addition, factors such as gender, grouping, the moment of arrival of the pedestrian at the crossing, the vehicle involved and the type of interaction, can significantly influence the occurrence of the most critical events.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (WHO, 2018) mais da metade das fatalidades no trânsito no mundo ocorrem com os usuários vulneráveis, e os pedestres representam 23%. A travessia é o momento mais crítico do seu deslocamento, com maior exposição aos riscos do trânsito. Uma forma de avaliar o risco na travessia é observar as interações entre pedestres e

condutores, analisando os conflitos de tráfego entre esses usuários, principalmente nas travessias durante o vermelho (Jacobsen, 2011; Almodfer et al., 2015).

As interações são situações em que os usuários estão próximos o suficiente, no tempo e no espaço, de modo que possam interagir uns com os outros, e os conflitos representam interações com maior proximidade temporal e espacial entre os usuários, a partir de um limite estabelecido, gerando ações para evitar uma colisão. Os conflitos são eventos intrínsecos da circulação urbana, de natureza semelhante aos sinistros de trânsito, porém mais frequentes e menos graves. Fatores como fluxo, velocidade, a composição de veículos e pedestres, bem como as características da via, influenciam na frequência e severidade dos conflitos, e podem auxiliar na identificação de características e situações perigosas (Tageldin e Sayed, 2019; Zheng, Sayed e Mannering, 2021).

A abordagem baseada em conflitos tem sido defendida por possibilitar a avaliação da segurança viária de forma mais abrangente do que os estudos observacionais tradicionais e reativos baseados em dados de colisão, pois possuem caráter preventivo e permitem uma análise mais detalhada da sequência de eventos (Sayed e Zein, 1999; Tageldin, 2018).

Apesar do potencial dos conflitos de tráfego para a avaliação do desempenho da segurança viária em interações com pedestres, ainda existem alguns desafios na sua análise e modelagem. Existe a necessidade de maior compreensão do efeito de características inerentes ao pedestre, aspectos ligados à infraestrutura viária e condições do tráfego. A relação desses fatores com a severidade do conflito ainda não está notadamente estabelecida, havendo a necessidade de aperfeiçoamento da investigação da segurança do pedestre durante a travessia em vias urbanas.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é avaliar a frequência e a severidade da interação entre veículos e pedestres que atravessam no vermelho em interseções semaforizadas, em função dos atributos do pedestre e de características da via, com uma abordagem proativa a partir de conflitos de tráfego.

2. O PEDESTRE E AS INTERAÇÕES NA TRAVESSIA

Ao nível microscópico, os movimentos dos pedestres dependem tanto das suas características individuais e situacionais, como idade, gênero, a presença de outros pedestres, o tempo de espera e das características relacionadas à infraestrutura e operação do local. Quanto ao gênero e a faixa etária, por exemplo, homens e pedestres mais jovens, tendem a alcançar velocidades maiores que as mulheres e os mais velhos, o que os leva a aceitar brechas menores e ter mais chances de esperar menos na travessia, resultando assim em uma maior probabilidade de atravessarem no vermelho (Guo et al., 2011; Chandra, Rastogi e Das, 2014; Chaudhari et al., 2020).

Priyadarshini e Mitra (2018) constataram que as interseções, com ou sem sinalização, são onde ocorrem mais interações perigosas. Em estudo semelhante, com travessias sinalizadas e não sinalizadas, Mukherjee e Mitra (2020) abordaram que não só o volume total de tráfego, mas também a quantidade de veículos em conversão, desempenham um papel importante nas interações, pois geralmente, esses veículos compartilham a mesma fase com os pedestres. Kadali e Vedagiri (2016) exploraram a margem de segurança de pedestres em condições de tráfego misto, e concluíram que comportamentos, como

mudança de velocidade de caminhada e a travessias durante as brechas, aumentam consideravelmente a probabilidade de conflitos entre pedestres e veículos.

Cloutier et al. (2017) elaboraram um modelo de regressão *logit* para avaliar os fatores associados às interações, comparando diversos tipos de travessia, controladas e não controladas. Testes qui-quadrado avaliaram as diferenças entre os grupos, nos quais os adultos mais velhos eram os mais propensos a se envolverem em um evento de interação. A presença de ciclovias, diferentes materiais na superfície da via e ruas de mão única, foram significativamente associados a menos interações, enquanto veículos estacionados nas proximidades e cruzamentos em vias arteriais foram significativamente associados a mais interações.

A maioria dos estudos sobre conflitos que incorporaram os pedestres, utilizaram os indicadores de proximidade espaço-temporais *Time to Collision* (TTC) e/ou o *Post-Enchroachment Time* (PET), que mensuram a severidade de uma interação entre usuários em conflito. O PET pode ser uma alternativa preferida ao TTC em vários aspectos, principalmente pela facilidade de medida, visto que é apenas a diferença direta entre os tempos dos usuários (pedestre e veículo) na área de conflito, enquanto o TTC é o tempo até que dois usuários colidam, se continuarem com a mesma velocidade e trajetória (Songchitruksa e Tarko, 2006).

Na literatura foi identificado que os limites mais comumente utilizados para representar interações mais graves variam entre valores de PET de 1 seg a 5,5 seg. Em áreas urbanas, os valores de PET inferiores a 1 seg são considerados eventos críticos (Laureshyn et al., 2016). Marisamynathan e Vedagiri (2020) utilizaram o PET em sua análise e classificaram três categorias para estimar as interações pedestre-veículo. O estudo constatou que eventos com valores de PET ≤ 2 seg, podem ser considerados interação perigosa; entre 2 seg e 5,5 seg, como uma interação, e PET > 5,5 seg, considerados como um evento sem risco.

A proximidade é uma dimensão da gravidade que mensura o risco de uma colisão, no entanto, as consequências potenciais da colisão são outra dimensão, mais subjetiva, que deve representar o risco de lesão do evento. Essas consequências dependem do tipo de usuário envolvido e de sua vulnerabilidade, além de aspectos relacionados à velocidade e tipo da colisão (Laureshyn, Svensson e Hydén, 2010; Johnsson, Laureshyn e Ceunynck, 2018). Portanto, a severidade pode não estar bem representada, uma vez que, dependendo do contexto urbano e até mesmo de características culturais de cada local, os usuários podem aceitar proximidades maiores entre si (Tageldin e Sayed, 2019).

Kaparias et al. (2010) apresentaram uma técnica de análise de conflito de tráfego entre pedestres e veículos (*Pedestrian Vehicle Conflict Analisys* – PVCA). O método considerou quatro fatores para descrever diferentes aspectos de um conflito, com diferentes classes de gravidade. Os fatores de risco foram baseados no indicador de segurança, e em medidas de dinâmica dos usuários, estimadas a partir da sua trajetória quando o pedestre entra na via ou que inicia a travessia, conforme apresenta a Tabela 1.

Com base em cada fator, uma classificação de segurança composta foi estimada para determinar a severidade do evento. A partir dessa combinação, os eventos foram classificados como conflito leve (1) e conflitos sérios (2, 3 e 4), sendo o 4 o mais crítico. Por exemplo, uma interação analisada obteve pontuação 1 nos quatro fatores, resultando em um evento 1111, que pode ser categorizado na classe 1 (leve). As demais combinações podem ser observadas no estudo de Kaparias et al. (2010).

Tabela 1: Fatores do método PVCA (Kaparias et al., 2010)

Pontuação	Parâmetros	Fatores
1	> 2	Fator A – Valor do indicador TTC (s)
2	0,5 - 2	
3	<0,5	
1	< 2	Fator B – Severidade da ação evasiva Taxa de desaceleração (m/s^2)
2	2 - 3,45	
3	3,45 - 5,5	
4	> 5,5	
1	Velocidade ou direção	Fator C – Complexidade da ação evasiva (mudança na velocidade e/ou na direção)
3	Combinação dos dois	
1	> 10	Fator D – Distância para a colisão no momento que a ação evasiva ocorreu (m)
2	5 - 10	
3	< 5	

3. MÉTODO DE COLETA E ANÁLISE DOS DADOS

O estudo teve como foco travessias de pedestres no vermelho, em interseções semaforizadas de vias urbanas arteriais de Fortaleza. Foram selecionadas três travessias, sendo elas na: I) Av. Aguanambi; II) Av. Santos Dumont; III) Av. Tristão Gonçalves. Os dados foram extraídos de filmagens provenientes das câmeras de monitoramento da Autarquia Municipal de Trânsito e Cidadania (AMC), entre junho e agosto de 2021, e correspondem a dias típicos da semana nos horários entre picos (9 h-11 h e 14 h-16 h), momento em que o fluxo de veículos está menor, representando um comportamento mais livre. Foram obtidas 12h de filmagens das travessias I e II e 8 h na travessia III, resultando em um total de 32 h.

Dentre os dados, primeiramente foram coletadas as características das vias, como largura e número de faixas, com auxílio do *Google Earth* e *Street View.* Em seguida, as características operacionais, como ciclo semafórico, fluxos direcionais e composição veicular, obtidas a partir dos dados de programação semafórica (ciclo, estágios, verde efetivo, etc) e observação das filmagens, possibilitando também o cálculo do fluxo de saturação, para a estimação da capacidade da via e grau de saturação. E então, as características dos pedestres, como gênero, faixa etária (classificados visualmente como jovem < 18 anos, adulto 18-60 anos e idoso > 60 anos), presença de grupo (sozinho ou não), e se ele atravessou no vermelho, também a partir da observação manual dos vídeos, possibilitando ainda estimar o atraso, considerado a diferença no tempo da chegada do pedestre na via e o início da travessia, bem como sua velocidade média de caminhada, com a distância da travessia e o tempo.

Em seguida, foram extraídos os dados referentes às interações dos usuários. Essa etapa consistiu basicamente em duas fases: i) observação das travessias e identificação das interações de interesse, considerando aqueles eventos onde o pedestre na travessia tem uma brecha traseira de até 5,5 seg para o próximo veículo; ii) rastreamento das interações, por meio de técnicas de processamento de imagens, para estimação dos indicadores e extração das trajetórias dos usuários envolvidos. A partir do aplicativo semiautomático T-Analyst (2019) foi possível identificar o ponto de conflito, obter o indicador PET e a ocorrência de ações evasivas dos usuários, como mudança de direção ou aceleração/desaceleração, por meio do perfil de velocidade.

As travessias foram caracterizadas de acordo com o perfil dos pedestres e procurou-se identificar a relação entre as variáveis coletadas e os conflitos de tráfego estimados, por

meio de análises exploratórias. Foram utilizadas técnicas de análise estatísticas, com auxílio do *software* R Studio (RStudio Team, 2020). Além disso, foi estabelecida uma classificação para a severidade dos conflitos, a partir do método PVCA, com uma adaptação do fator A, utilizando o PET no lugar do TTC, de acordo com os parâmetros determinados por Marisamynathan e Vedagiri (2020). Finalmente uma regressão logística e modelos categóricos *logit*, foram aplicados para analisar a influência das variáveis na frequência e severidade dos conflitos pedestre-veículos.

4. CARACTERIZAÇÃO DAS TRAVESSIAS

A Tabela 2 apresenta informações geométricas e operacionais dos locais, com a composição veicular e fluxo horário médio observado nas filmagens, sendo o fluxo em frente aquele proveniente da via principal (local da travessia), e o fluxo na conversão à direita sendo aquele proveniente da secundária que também passa pela travessia. Todas apresentam ciclofaixa, faixa exclusiva de ônibus, botoeira e estágio para pedestre, a I e II com quatro faixas, e a III com três faixas. A Figura 1 mostra as travessias, destacando os movimentos de interesse, o posicionamento das câmeras, bem como sua localização em uma área com uso do solo predominantemente comercial.

Tabela 2: Informações das travessias

Av. da travessia (principal)	Distância (m)	Velocidade permitida (km/h)	Fluxo de pedestres (ped/h)	Fluxo veicular em frente (veic/h)	Fluxo veicular na conversão à direita (veic/h)	Carro/moto/ veículo pesado
I Aguanambi	15,6	60	81	1587	69	69% 24% 7%
II Santos D.	18,0	50	41	920	446	74% 20% 6%
III Tristão G.	10,7	60	85	1028	330	59% 32% 9%

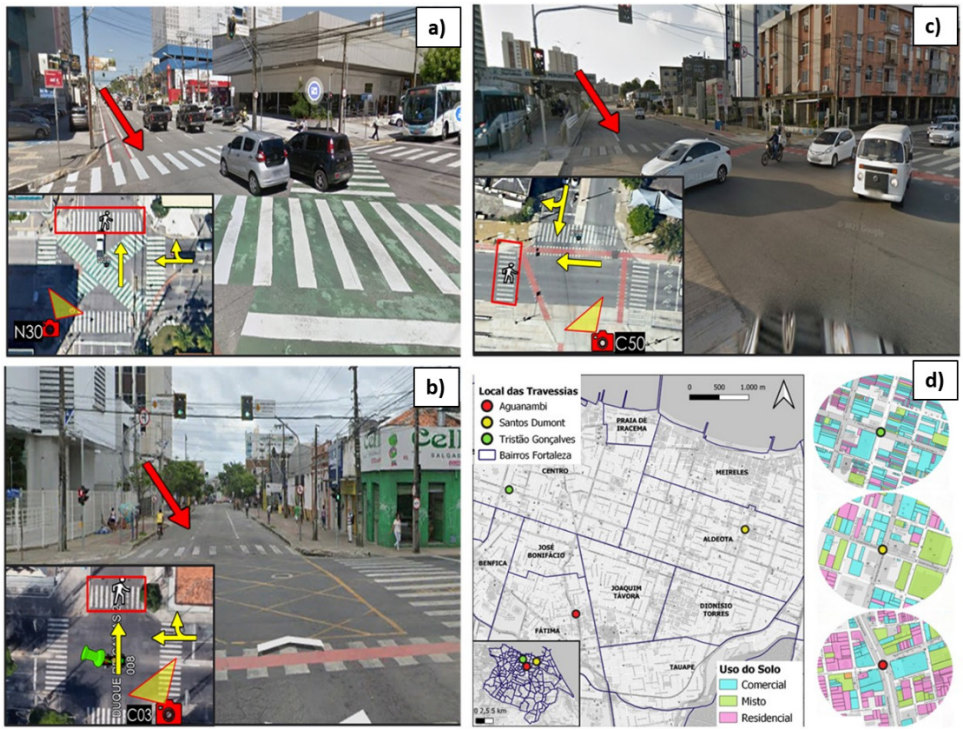


Figura 1. Travessias: a) Av. Santos Dumont; b) Av. Tristão Gonçalves; c) Av. Aguanambi; d) Localização das travessias

Considerando todos os pedestres, foram observadas 2224 travessias. Dentre essas, 45% na Av. Aguanambi, 24% na Av. Santos Dumont, e 31% na Av. Tristão Gonçalves. No geral, há mais homens (56%), quanto à faixa etária, 75% são adultos, 14% são idosos e 11% são jovens. Os pedestres predominantemente atravessam sozinhos (62%); e as travessias no vermelho do pedestre predominam (63%), principalmente nas travessias II e III, com mais 70% em cada.

Para as variáveis categóricas foi adotado o teste chi-quadrado para investigar a independência entre os dados, a partir da tabela de contingência, com significância de 0,05. A hipótese nula é que as variáveis de classificação são independentes, ou seja, não existe associação entre elas. A Tabela 3 apresenta a comparação entre os grupos. Há evidências que indicam que o homem tende a atravessar mais no sinal vermelho, se comparado à mulher. Quanto à faixa etária e a conformidade espacial, não há evidência suficiente para comprovar a dependência com o comportamento oportunista. Ademais, pode-se notar relação entre o agrupamento e o local, com o comportamento dos pedestres durante a travessia.

Tabela 3: Contingência e resultados do teste chi-quadrado para as travessias no vermelho e no verde

Variáveis		Vermelho	Verde	χ^2	gl	Valor P
Gênero	Homens	858	389	35,79	1	2,19E-09
	Mulheres	551	426			
Faixa etária	Jovem	161	92	0,37		**0,82**
	Adulto	1047	614		2	
	Idoso	201	109			
Agrupamento	Sozinho	952	435	43,70	1	3,8E-11
	2 ou mais	457	380			
Conformidade espacial	Na faixa	816	450	1,42	1	**0,2**
	Fora da faixa	593	365			
Local	Aguanambi	500	492	137,17	2	2,2E-16
	Santos Dumont	375	165			
	Tristão Gonçalves	534	158			

gl: graus de liberdade.

Para os dados contínuos, foram realizadas análises bivariadas com teste t de Student para determinar se há ou não uma diferença estatisticamente significativa entre as médias, também com um nível de significância de 0,05.

De acordo com a Tabela 4, os testes apontam que os homens caminham 6% mais rápido e possuem atrasos 30% menores que as mulheres; e que os jovens alcançaram velocidades maiores que os adultos (9%) e os idosos (28%), porém não houve diferença significativa entre seus atrasos. Quanto ao agrupamento, as pessoas atravessando sozinhas são significativamente 6% mais rápidas e possuem atrasos 56% menores. Os pedestres que atravessam na faixa esperam mais para iniciar a travessia. Os oportunistas são 8% mais velozes, e esperam 27% menos para atravessar, semelhante aos que se envolveram em interações. Quanto ao local da travessia, não há evidências de que as velocidades sejam diferentes, entretanto, a Av. Aguanambi resultou em maior atraso.

Tabela 4: Teste estatístico de comparação da velocidade e atraso entre diferentes grupos

Variáveis		Velocidade (m/s)	Valor P	Atraso (s)	Valor P
Gênero	Homens	1,59	2,06E-08	13,6	0,03
	Mulheres	1,50		19,7	
Faixa etária	Jovem	1,71	< 0,05	13,6	**> 0,05**
	Adulto	1,57		16,5	
	Idoso	1,33		17,1	
Agrupamento	Sozinho	1,58	1,5E-08	11,1	4,03E-5
	2 ou mais	1,49		24,9	
Conformidade espacial	Na faixa	1,56	**0,3**	17,4	0,03
	Fora da faixa	1,53		14,4	
Conformidade temporal	Obediente	1,47	1,68E-13	19,7	0,013
	Oportunista	1,59		14,3	
Interação com veículos	Sim	1,62	3,67E-10	13,5	0,038
	Não	1,51		17,8	
Local	Aguanambi	1,52	**> 0,05**	18,9	2,7E-05
	Santos Dumont	1,53		12,5	
	Tristão Gonçalves	1,59		15,6	

5. ANÁLISE DAS INTERAÇÕES

Foram observadas 777 interações, sendo 28% na Av. Aguanambi, 33% na Av. Santos Dumont e 39% na Av. Tristão Gonçalves. O carro é predominantemente o veículo mais envolvido nas interações (57%); e quanto ao tipo de interação, nas travessias I e III a maioria resulta dos veículos na conversão à direita (53% e 72%), enquanto na travessia II ocorreram mais com os veículos que seguem em frente (65%). Após a aplicação do *T-Analyst*, obteve-se um PET médio de 2,67 seg e a distribuição dos dados segue no *boxplot* e no histograma da Figura 2, que não seguem uma distribuição normal, segundo o teste de normalidade Shapiro-Wilk (valor-p < 0,05), e pode-se destacar um gráfico assimétrico, com a maioria dos dados na classe de 2 seg, indicando certa variação sendo o valor mínimo de 0,33 seg e máximo de 5,4 seg.

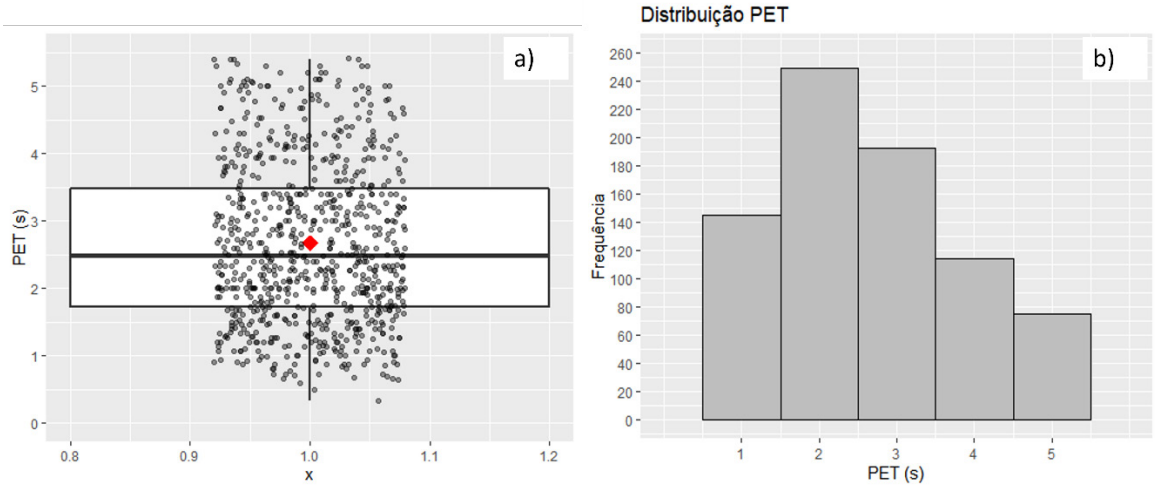


Figura 2. Análise descritiva dos valores de PET: a) *Boxplot*; b) histograma

A Tabela 5 apresenta os resultados das comparações entre os valores de PET em cada grupo. A princípio buscou-se investigar o comportamento desses valores por local, mas o teste t resultou em um valor-p > 0,5 indicando que não há evidências suficientes que sugiram diferença significativa.

Comparando os grupos gênero, agrupamento, tipo de veículo na interação e o tipo da interação, há evidências de diferenças significativas. Pode-se levantar a hipótese de que os homens se envolvem em interações mais críticas, se comparados às mulheres, bem como aqueles que andam sozinhos. As interações com motocicletas são significativamente mais críticas, e quanto ao tipo, as que ocorrem com o fluxo da conversão à direita apresentaram valores menores, se comparadas àquelas ocorridas com o fluxo em frente.

Tabela 5: Comparação dos valores de PET

Variáveis		**PET médio (seg)**	**Valor P**
Local	Aguanambi	2,69	**> 0,05**
	Santos Dumont	2,70	
	Tristão Gonçalves	2,63	
Gênero	Homens	2,57	0,003
	Mulheres	2,84	
Agrupamento	Sozinho	2,58	0,0099
	Grupo	2,82	
Faixa etária	Jovem	2,47	**> 0,05**
	Adulto	2,71	
	Idoso	2,57	
Tipo de veículo na interação	Carro	2,72	< 0,05
	Motocicleta	2,52	
	Pesado	2,91	
Tipo de interação	Em frente	2,83	0,0003
	Na conversão	2,53	

Para uniformizar as informações das três travessias analisadas, optou-se por estimar o grau de saturação nas vias principais (local da travessia), a partir da observação do fluxo veicular e do ciclo semafórico. A travessia I apresentou uma relação volume/capacidade média de 0,49; a travessia II de 0,34; e a travessia III de 0,57.

O gráfico da Figura 3 mostra a dispersão entre a proporção de travessias com interações em frente e a relação volume/capacidade da via principal, agregados em intervalos de 15 min. Foi obtida uma correlação de Pearson de -0,66, não muito alta, mas pode indicar que quanto mais saturada a via, menor a proporção de pedestres que se envolveram em interação. Em seguida, foi plotado o atraso médio do mesmo intervalo, e pode-se perceber que quanto mais saturada a via, maior o atraso dos pedestres (r = 0,62).

Pode-se levantar a hipótese de que quanto mais intenso é o fluxo veicular, menor é a proporção de pedestres que se arriscam a atravessar durante a indicação vermelha, resultando em menos interações, e, consequentemente, em um maior atraso. Isso também pode indicar que o momento em que o pedestre chega na travessia pode ser importante para melhor compreender o seu comportamento.

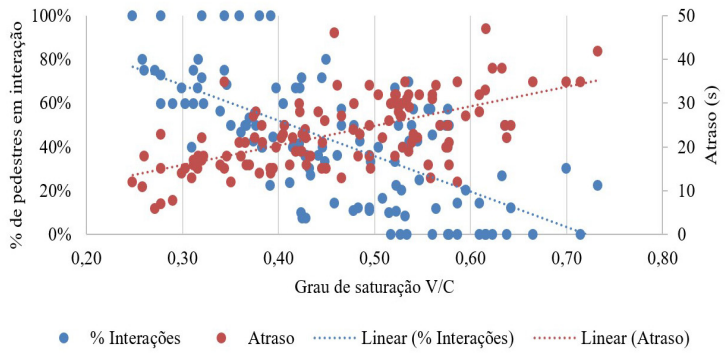


Figura 3. Dispersão dos dados de interação, atraso e volume/capacidade. Relação de interações e atraso com fluxo de veículos na principal.

Para verificar o padrão de chegada dos pedestres na travessia, e se essa chegada se concentra em algum momento, optou-se por classificá-la de acordo com a operação do ciclo semafórico, conforme a intensidade do fluxo: a) Descarga de fila, quando o pedestre chega no início do verde da principal, com *headway* médio veicular menor que 3 seg; b) Fluxo contínuo, quando chega no meio do verde da principal, com *headway* médio veicular entre 3 seg e 5 seg; c) Fluxo livre, no fim do verde da principal, com *headway* médio veicular maior que 5 seg; d) Verde/Piscante, quando chega no estágio do pedestre; e e) Secundária, quando chega no verde da secundária.

A distribuição das chegadas segue apresentada na Figura 4, pode-se perceber, que no geral, a maioria dos pedestres chegou na travessia durante o verde da principal (42%), seguidos dos que chegaram no verde da secundária (38%) e uma menor parcela chegando durante o estágio do pedestre (19%), o que é proporcional ao tempo de cada estágio. Considerando apenas os pedestres que se envolveram em interação, percebe-se que mais de 50% chegou no verde da secundária, o que representa a predominância de interações com veículos na conversão.

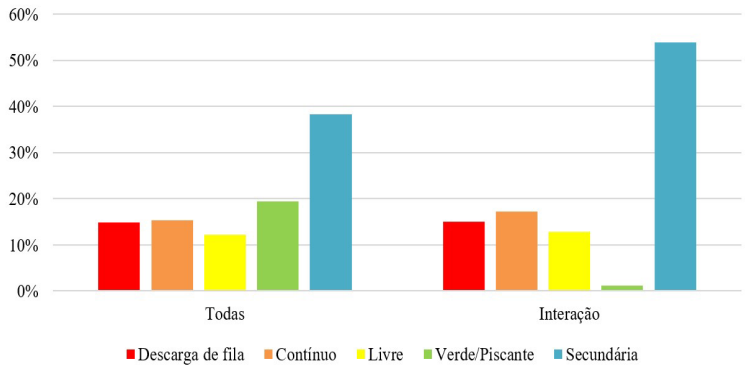


Figura 4. Distribuição da chegada dos pedestres na travessia. Classificação da chegada do pedestre na travessia.

6. SEVERIDADE DAS INTERAÇÕES

Para a classificação da severidade das interações foi aplicado o método PVCA, que busca analisar todas as dimensões de um conflito, adaptado com os parâmetros do PET, conforme discutido nos capítulos 2 e 3. A Figura 5 mostra que a maioria das interações foi

classificada como conflito leve, diminuindo sua frequência conforme aumenta a seriedade do conflito, sendo o 4 o mais crítico e menos frequente.

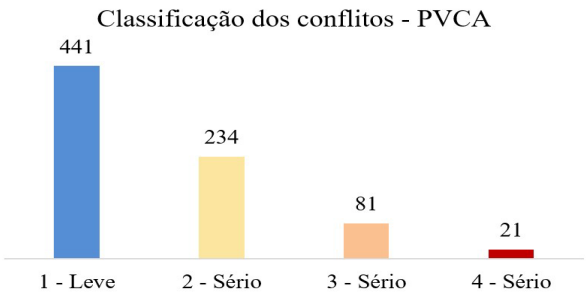


Figura 5. Classificação das interações de acordo com o método PVCA.

Para melhor analisar essa classificação, optou-se pela construção de um modelo categórico *logit* multinomial (MLM) para identificar a influência de uma variável em diferentes níveis de interação de forma independente. Nesse caso, foi analisado como as variáveis coletadas podem afetar a classificação das interações de acordo com a severidade, sendo conflitos leves (classe 1), moderados (classe 2) e sérios (classes 3 e 4).

Foi necessário fazer uma categorização de cada variável, conforme mostra a Tabela 6. As categorias atribuídas ao valor 0 são consideradas como referência para a estimação do modelo e para as variáveis com mais de duas categorias, foram criadas variáveis *dummy*. As velocidades de caminhada e dos veículos foram classificadas de acordo com as velocidades médias coletadas, julgadas como os valores típicos dos usuários analisados. Já para o atraso, o valor de referência foi definido de acordo com o nível de serviço estabelecido pelo HCM (TRB, 2010), que é de 30 seg.

Tabela 6: Variáveis selecionadas e categorização

Variáveis	Categorização
Gênero	0 – Homem; 1 – Mulher
Jovem	1 – pedestre com menos de 18 anos; 0 – Outra idade
Adulto	* pedestre entre 18 e 59 anos;
Idoso	1 – pedestre com mais de 59 anos; 0 – Outra idade
Conformidade espacial	0 – Atravessou na faixa; 1 – Fora da faixa
Agrupamento	0 – Sozinho; 1 – Grupo
Velocidade de caminhada	0 – < 1,52 m/s; 1 – > 1,52 m/s
Atraso	0 – < 30 seg; 1 – > 30 seg
Descarga de Fila	1 – pedestre chegou no início do verde da principal; 0 – Outro
Contínuo	* pedestre chega no meio do verde da principal
Livre	1 – pedestre chegou no fim do verde da principal; 0 – Outro
Verde/Piscante	1 – pedestre chegou no início estágio do pedestre; 0 – Outro
Secundária	1 – pedestre chegou no verde da secundária; 0 – Outro
Carro	1 – veículo na interação é um carro; 0 – Outro
Moto	* veículo na interação é uma moto
Veículo Pesado	1 – veículo na interação é pesado; 0 – Outro
Velocidade do veículo	0 – < 8,5 m/s; 1 – > 8,5 m/s
Tipo de interação	0 – Em frente; 1 – Conversão
Severidade do conflito	0 – Leve; 1 – Moderado; 2 – Sério

*Variável de referência.

Somente as variáveis referentes ao gênero, agrupamento, à chegada do pedestre, ao tipo de veículo e tipo de interação, foram estatisticamente significativas para o modelo, em pelo menos uma das categorias. As demais foram removidas da análise. A Tabela 7 sintetiza os resultados dos parâmetros estimados para o modelo.

Tabela 7: Parâmetros estimados do modelo MLM

	Conflito moderado		**Conflito sério**	
	Coeficiente	**Valor-p**	**Coeficiente**	**Valor-p**
Intercepto	-1,11	1,57E-08	-2,84	9,67E-12
Gênero	-0,07	0,555	-0,45	0,014
Grupo	-0,44	0,600	-0,66	0,001
Tipo de interação	0,49	0,0001	0,45	0,012
Carro	-0,19	0,11	-0,45	0,006
Veículo Pesado	-0,35	0,12	-1,54	0,004
Livre	-0,49	0,01	0	0,61
Secundária	-0,25	0,07	0,05	0,04
Log likelihood	**-707,33**			
Teste de verossimilhança	χ^2 = 60,77 (valor p = 8,59E-08)			
Hosmer-Lemeshow	χ^2 = 5,05 (valor p = 0,9)			
R^2 de McFadden	0,04			
AIC	1446,66			

AIC: critério de informação Akaike.

A qualidade do ajuste do modelo pode ser analisada por meio do teste de verossimilhança e do teste de Hosmer-Lemeshow. No primeiro, pode-se notar significância aproximadamente igual a zero, o que indica que as variáveis independentes melhoram o ajuste. Já o segundo, assume a hipótese nula de que o modelo segue um bom ajuste, e o valor-p indica que não há evidências para rejeitar tal hipótese.

A Tabela 8 mostra a pseudoelasticidade do modelo, que compara as probabilidades estimadas no cenário de referência com um novo cenário, em que apenas uma variável é modificada por vez. Isso possibilita verificar os efeitos parciais das variáveis em cada categoria.

Tabela 8: Pseudoelasticidade

Variáveis	**Referência**	**Leve**	**Moderado**	**Sério**
Gênero	Homem	2%	-	**-35%**
Grupo	Sozinho	2%	-	**-47%**
Livre	Contínuo	**10%**	-33%	**-**
Secundária	Contínuo	1%	-	**5%**
Carro	Moto	2%	-	**-35%**
Veículo Pesado	Moto	3%	-	**-78%**
Tipo de interação	Em frente	-15%	-	**33%**

Nas variáveis gênero e grupo, pode-se interpretar que as mulheres têm menos 35% de chances de se envolverem em conflitos sérios, se comparadas aos homens; e as pessoas em grupo têm menos 47% de chances de se envolverem em conflitos sérios que aquelas

sozinhas. Com as variáveis livre e secundária, é possível interpretar que quando o pedestre chega durante o fluxo livre, tem mais 10% de chance de se envolver em um conflito leve, e quando chega durante o verde da secundária, tem mais 5% de chances de resultar em um conflito sério.

Quanto ao tipo de veículo envolvido na interação, se comparado às motos, os carros e veículos pesados têm menos 35% e 78% de chances, respectivamente, de resultarem em conflitos sérios. As interações provenientes do movimento de conversão à direita, têm 33% mais chances de resultarem em conflitos sérios, que aquelas decorrentes do movimento em frente.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa apresentou uma análise sobre as interações entre pedestres e veículos em travessias urbanas da cidade de Fortaleza, a partir da estimação de conflitos de tráfego, possibilitando classificar a severidade de tais eventos. As travessias foram caracterizadas a fim de identificar o perfil e comportamento dos pedestres. Foi possível perceber que, no geral, a maioria dos pedestres são homens adultos, predominantemente sozinhos e oportunistas.

A análise exploratória das relações entre as variáveis coletadas, indicou que o homem tende a ter um comportamento oportunista maior que as mulheres, bem como aqueles que andam sozinhos. Além disso, o comportamento mais arriscado do homem é complementado com fato de eles caminharem mais rápido e se submeterem a esperas menores na travessia, tendendo a aceitar brechas menores para iniciarem a travessia. Comportamento que representa aqueles envolvidos nas interações.

Na análise dos conflitos, foi possível identificar que os fatores que afetam significativamente sua intensidade, são gênero e agrupamento, o tipo do veículo envolvido e o tipo de interação. Os homens apresentaram valores de PET 10% menores que as mulheres, o que vai de acordo com a hipótese relacionada a tendência de um comportamento mais arriscado por parte dos homens, especialmente em relação às brechas disponíveis para travessia, nas quais as mulheres parecem ter um padrão de aceitação de risco diferente dos homens. Assim como os pedestres sozinhos, que apresentaram valores 8% menores que aqueles que andam em grupo.

As interações entre pedestres e motociclistas, apresentaram valores 7% menores que aquelas com carros, e 13% menores se comparadas com os veículos pesados. Isso pode indicar que o pedestre tende a se arriscar mais quando o veículo na aproximação é menor. Quanto ao tipo da interação, aquelas que ocorreram com o fluxo na conversão à direita também se mostraram mais críticas (11%), o que está em consonância com o fato desses movimentos estarem mais ligados aos atropelamentos de pedestres.

No que diz respeito à severidade das interações, utilizando o método PVCA, foi possível observar uma predominância de interações leves (57%), seguidas das moderadas (30%) e das sérias (13%). A análise foi complementada com a construção de um modelo categórico MLM, mostrando que, de fato, as mulheres têm menos chances de se envolverem em situações de risco, assim como aqueles que andam em grupo. As interações com motocicletas têm mais chances de serem sérias, e isso pode estar relacionado ao fato de veículos menores geralmente transitarem com velocidades

maiores, o que pode resultar em interações mais próximas. Assim como as interações com o fluxo da conversão à direita, o que pode ocorrer devido a visibilidade dos usuários (motorista e pedestre) ou falha no julgamento da brecha segura para travessia.

Diante dos aspectos destacados no caso de estudo, pode-se notar que de maneira geral, podem ser feitas algumas recomendações práticas para melhoria da segurança viária na cidade, como por exemplo o incentivo na implantação de estratégias voltadas para os usuários vulneráveis, como esquinas e cruzamentos seguros, proporcionando maior visibilidade e espaço seguro nas interseções, reduzindo também os conflitos, conforme destacam os manuais de segurança viária. Além disso, visto que as interações com motociclistas também se mostram mais arriscadas, e sabe-se que no contexto da cidade esses usuários representam uma parcela significativa, tanto de vítima como de veículo atropelador, vale destacar a importância das campanhas e ações no que diz respeito ao cumprimento das normas e educação no trânsito, bem como na prevenção dos fatores de risco atrelados a esses usuários e fiscalização por parte das autoridades.

Por fim, não foi possível identificar diferenças significativas entre os locais. Para trabalhos futuros, pode ser interessante investigar um grupo maior de travessias, a fim de identificar a influência de aspectos da infraestrutura nas interações. Recomenda-se aprofundar a análise no que diz respeito a aspectos microscópicos referentes aos atributos operacionais, como a relação do fluxo, do ciclo semafórico e do padrão de chegada dos usuários. Quanto aos modelos que englobam interações com pedestres, é importante que abordem questões sobre a relação conflito-sinistro e que busquem compreender tanto a frequência quanto a gravidade do sinistro, juntamente com a inclusão dos fatores comportamentais. A partir disso, pode ser possível melhorar a compreensão da sequência de eventos que leva à ocorrência de colisões e promover ainda mais o uso de técnicas de conflito de tráfego em estudos de segurança viária.

REFERÊNCIAS

Almodfer, R.; S. Xiong; Z. Fang et al. (2015) Quantitative analysis of lane-based pedestrian-vehicle conflict at a non-signalized marked crosswalk. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, v. 42, n. Pt 3, p. 468-478. DOI: 10.1016/j.trf.2015.07.004.

Chandra, S.; R. Rastogi e V. Das (2014) Descriptive and parametric analysis of pedestrian gap acceptance in mixed traffic conditions. *KSCE Journal of Civil Engineering*, v. 18, n. 1, p. 284-293. DOI: 10.1007/s12205-014-0363-z.

Chaudhari, A.; N. Gore; S. Arkatkar et al. (2020) Deriving pedestrian risk index by vehicle type and road geometry at midblock crosswalks under heterogeneous traffic conditions. *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, v. 146, n. 10, p. 04020123. DOI: 10.1061/JTEPBS.0000421.

Cloutier, M.-S.; U. Lachapelle; A.-A. d'Amours-Ouellet et al. (2017) "Outta my way!" Individual and environmental correlates of interactions between pedestrians and vehicles during street crossings. *Accident Analysis & Prevention*, v. 104, p. 36-45. DOI: 10.1016/j.aap.2017.04.015. PMid:28482177.

Guo, H.; Z. Gao; X. Yang et al. (2011) Modeling pedestrian violation behavior at signalized crosswalks in China: a hazards-based duration approach. *Traffic Injury Prevention*, v. 12, n. 1, p. 96-103. DOI: 10.1080/15389588.2010.518652. PMid:21259179.

Jacobsen, A.C. (2011) *Microssimulação da Travessia de Pedestres*. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/32007> (acesso em 30/05/2023).

Johnsson, C.; A. Laureshyn e T.D. Ceunynck (2018) In search of surrogate safety indicators for vulnerable road users: a review of surrogate safety indicators. *Transport Reviews*, v. 38, n. 6, p. 765-785. DOI: 10.1080/01441647.2018.1442888.

Kadali, B.R. e P. Vedagiri (2016) Proactive pedestrian safety evaluation at unprotected mid-block crosswalk locations under mixed traffic conditions. *Safety Science*, v. 89, p. 94-105. DOI: 10.1016/j.ssci.2016.05.014.

Kaparias, I.; M.G.H. Bell; J. Greensted et al. (2010) Development and implementation of a vehicle–pedestrian conflict analysis method. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, v. 2198, n. 1, p. 75-82. DOI: 10.3141/2198-09.

Laureshyn, A.; Å. Svensson e C. Hydén (2010) Evaluation of traffic safety, based on micro- level behavioural data: theoretical framework and first implementation. *Accident Analysis & Prevention*, v. 42, n. 6, p. 1637-1646. DOI: 10.1016/j.aap.2010.03.021. PMid:20728612.

Laureshyn, A.; C. Johnsson; T. Ceunynck et al. (2016) Review of Current Study Methods for VRU Safety. Appendix 6-Scoping Review: Surrogate Measures of Safety in Site-Based Road Traffic Observations. Disponível em: <https://www.bast.de/EN/Traffic_Safety/Subjects/InDeV/Documents/pdf/2-1-4.pdf?__blob=publicationFile&v=1> (acesso em 30/05/2023).

Marisamynathan, S. e P. Vedagiri (2020) Pedestrian safety evaluation of signalized intersections using surrogate safety measures. *Transport*, v. 35, n. 1, p. 48-56. DOI: 10.3846/transport.2020.12157.

Mukherjee, D. e S. Mitra (2020) Comprehensive study of risk factors for fatal pedestrian crashes in urban setup in a developing country. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, v. 2674, n. 8, p. 100-118. DOI: 10.1177/0361198120925804.

Priyadarshini, P. e S. Mitra (2018) Investigating pedestrian risk factors leading to pedestrian fatalities in Kolkata City roads. *Transportation in Developing Economies*, v. 4, n. 1, p. 1-11. DOI: 10.1007/s40890-017-0054-9.

RStudio Team (2020) RStudio: Integrated Development for R. Disponível em: <http://www.rstudio.com/> (acesso em 30/05/2023).

Sayed, T. e S. Zein (1999) Traffic conflict standards for intersections. *Transportation Planning and Technology*, v. 22, n. 4, p. 309-323. DOI: 10.1080/03081069908717634.

Songchitruksa, P. e A. Tarko (2006) The extreme value theory approach to safety estimation. *Accident Analysis & Prevention*, v. 38, n. 4, p. 811-822. DOI: 10.1016/j.aap.2006.02.003. PMid:16546103.

Tageldin, A. (2018) *The Development of Behavior-Based Traffic Conflict Indicators Through Automated Traffic Safety Analysis*. Tese (doutorado). University of British Columbia. Vancouver. DOI: 10.14288/1.0368991.

Tageldin, A. e T. Sayed (2019) Models to evaluate the severity of pedestrian-vehicle conflicts in five cities. *Transportmetrica A: Transport Science*, v. 15, n. 2, p. 354-375. DOI: 10.1080/23249935.2018.1477853.

T-Analyst (2019) T-Analyst. Semi-automated Video Processing. Disponível em: <https://bitbucket.org/TrafficAndRoads/tanalyst/wiki/Manual> (acesso em 30/05/2023).

TRB (2010) *Highway Capacity Manual*. Washington, DC: Transportation Research Board.

WHO (2018) *Global Status Report on Road Safety 2018*. Genebra: World Health Organization.

Zheng, L.; T. Sayed e F. Mannering (2021) Modeling traffic conflicts for use in road safety analysis: a review of analytic methods and future directions. *Analytic Methods in Accident Research*, v. 29, p. 100142. DOI: 10.1016/j.amar.2020.100142.