

Desempenho da segurança viária na modelagem integrada do uso do solo e transporte-estudo de caso: Projeto Fortaleza 2040

Francelino Franco Leite de Matos Sousa¹, Flávio José Craveiro Cunto²

¹Centro Universitário Christus, Brasil, francolms@gmail.com

²Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Brasil, flaviocunto@det.ufc.br

Recebido:

03 de março de 2018

Aceito para publicação:

16 de maio de 2018

Publicado:

31 de dezembro de 2018

Editor de área:

Sara Ferreira

Palavras-chaves:

Planejamento Integrado;
Desempenho da Segurança Viária;
Modelagem Integrada.

Keywords:

Land Use and Transportation
Planning;
Road Safety Performance;
Assessment of Alternatives.

DOI:10.14295/transportes.v26i4.1606

**RESUMO**

Por conta de sua importância, observa-se que nos últimos anos há cada vez mais estudos considerando a segurança viária como um componente necessário ao processo de planejamento de transportes. Esse trabalho propõe e aplica um método de estimação do Desempenho da Segurança Viária (DSV) na etapa de avaliação de alternativas do processo de planejamento integrado. O método proposto se baseia na estimação do risco de acidentes por cenário de análise, que incorpore a abrangência e a capacidade de redução de acidentes de cada intervenção. No Projeto Fortaleza 2040, esse método foi aplicado com o auxílio da plataforma de modelagem integrada Tranus. Os resultados indicam uma redução de 22% e de 20% no número de acidentes com vítimas feridas e fatais, respectivamente. Verificou-se também um acréscimo no número de acidentes envolvendo pedestres, por causa do aumento dos deslocamentos a pé.

ABSTRACT

Due to its importance, it is observed that in the last years there are more and more studies considering road safety as a necessary component in the transportation planning process. This work proposes and applies a method of estimation of Road Safety Performance in the scenario evaluation phase of the integrated planning process. The proposed method is based on the estimation of risk factors by analysis scenario, which incorporates the scope and the accident reduction capacity of each intervention. In the Fortaleza 2040 Project, this method was applied using the integrated Tranus modeling platform. The results indicate a reduction of 22% and 20% in the number of accidents with injured and fatal victims, respectively. There was also an increase in the number of accidents involving pedestrians, due to the increase in walking-based trips.

1. INTRODUÇÃO

O processo de planejamento urbano voltado para questões relacionadas com os deslocamentos de bens e de pessoas tem evoluído em vários aspectos. Conceitualmente, o foco da análise da mobilidade motorizada individual foi alterado para a acessibilidade às atividades a serem desenvolvidas (Bertolini *et al.*, 2005; Banister, 2008). Quanto aos atores e funções urbanas envolvidas neste processo (Hull, 2005; Straatemeier e Bertolini, 2009). E ao incorporar princípios de equidade e sustentabilidade (Curtis, 2008).

As ferramentas de auxílio ao processo de planejamento também se modificaram. O reconhecimento de que as decisões de viagens e de localização se relacionam mutuamente (Hansen, 1959) fez com que se realizasse um esforço para prever essas relações (Acheampong e Silva, 2015). Os modelos desenvolvidos são capazes de simular o comportamento entre os sistemas

urbanos de uso do solo e de transportes e são conhecidos por *Land Use and Transport Interaction (LUTI) models*. Entre eles, a plataforma de modelagem Tranus (Barra, 1989) se destaca por simular as relações internas dos sistemas urbanos (Sousa *et al.*, 2017).

Por conta de sua importância, observa-se que nos últimos anos há cada vez mais estudos considerando a segurança viária como um componente necessário ao processo de planejamento de transportes (Aguero-Valverde e Jovanis, 2006; Wier *et al.*, 2009; Hadayeghi *et al.*, 2010), sendo frequente que os planos produzidos contemplem a redução de acidentes como um dos principais objetivos (AECOM, 2013; Prefeitura de São Paulo, 2015; Prefeitura do Rio de Janeiro, 2015; Governo de Santa Catarina, 2015; New York City, 2016). Assim como a fluidez, o desempenho da segurança viária (DSV) é o resultado da interação dos aspectos de demanda e oferta por transportes e diversos modelos atualmente são capazes de prevê-lo.

O Plano Mestre Urbanístico Fortaleza 2040 contou com a participação popular e de diversos profissionais de várias áreas de atuação para repensar a capital cearense até o ano horizonte de 2040. As propostas voltadas para a mobilidade foram desenvolvidas em parceria com as equipes de urbanismo e econômica, de tal forma, que a principal proposta foi a criação de aproximadamente 200 km de Corredores de Urbanização Orientados pelo Transporte Público na cidade (Prefeitura Municipal de Fortaleza, 2016). Nesses corredores, a prioridade será dos modos não motorizados e motorizados coletivos e o principal sistema de transporte público será o *Bus Rapid Transit* (BRT). Em até 400 metros das estações do BRT deverão existir edificações mistas e de elevada densidade populacional para permitir um rápido acesso da população aos seus locais de trabalho. Além disso, neste mesmo raio deverão existir escolas, postos de saúde e supermercados, entre outras funções urbanas.

As alternativas propostas pelo Plano Fortaleza 2040 foram avaliadas do ponto de vista da fluidez, da divisão modal, do tempo e distância de viagem, entre outros indicadores comumente utilizados no processo de planejamento de transportes; entretanto, foi também avaliado o DSV, já que tais soluções impactam direta e indiretamente na frequência e severidade dos acidentes de trânsito. Dessa forma, o objetivo deste trabalho é propor e aplicar um método para estimar o desempenho da segurança viária na etapa de avaliação de alternativas do processo de planejamento integrado do uso do solo e dos transportes, tendo como estudo de caso o projeto Fortaleza 2040.

2. AVALIAÇÃO DO DSV NO PROCESSO DE PLANEJAMENTO

Um dos maiores desafios para a incorporação do DSV nos planos de mobilidade urbana está na sua transversalidade em relação às etapas tradicionais do processo de planejamento. Na etapa de diagnóstico, quando a problemática é exposta, por meio da caracterização da quantidade e localização de acidentes. Na definição de objetivos, quando o problema é grande o suficiente para que o plano se concentre em reduzi-lo, ou eliminá-lo. E ainda como elemento decisivo na avaliação de cenários de intervenção e na tomada de decisão.

Na etapa de avaliação de cenários podem ser utilizados modelos para estimar o DSV (Hadayeghi *et al.*, 2010; Torres e Cunto, 2016), ou pode ocorrer apenas uma análise qualitativa. A Tabela 1 apresenta uma síntese a respeito da inclusão do DSV nos planos de mobilidade de Londres (AECOM, 2013), São Paulo (Prefeitura de São Paulo, 2015), da Região Metropolitana de Florianópolis (Governo de Santa Catarina, 2015), do Rio de Janeiro (Prefeitura do Rio de Janeiro, 2015) e no plano Estratégico de Nova York (New York City, 2016).

Tabela 1: Avaliação da presença dos acidentes em planejamentos de transportes

Plano	Cidade	Ano	Os acidentes são considerados			Previsão de Acidentes
			no Diagnóstico	nos Objetivos	na Avaliação	
Smart Moves	Londres	2013	-	Sim	-	-
PLANMOB	São Paulo	2015	Sim	Sim	Não	Não
PLAMUS	Florianópolis	2015	Não	Sim	Sim	Não
PMUS	Rio de Janeiro	2015	Sim	Sim	Não	Não
Strategic Plan	Nova York	2016	-	Sim	Não	Não

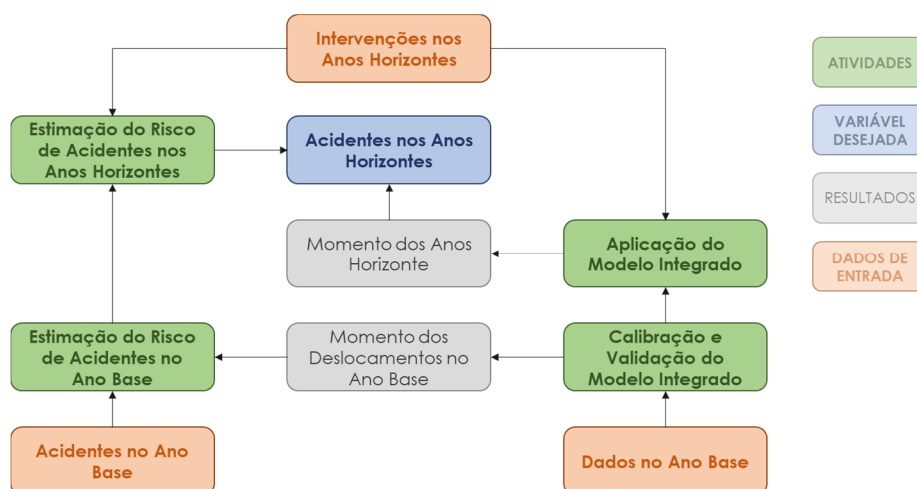
O “-” indica que a etapa não estava presente na referência, não sendo possível analisar a consideração dos acidentes.

Percebe-se que apesar de sua indiscutível importância, a incorporação da dimensão relacionada à segurança viária no processo de planejamento dos transportes tem se mostrado muitas vezes superficial, de cunho subjetivista e quase sempre limitada às etapas de diagnóstico e estabelecimento de objetivos e metas. Acredita-se que tal dificuldade, pode ser atribuída à natureza aleatória e rara dos acidentes de trânsito, ao seu padrão pouco repetitivo, a natureza espacial dessas ocorrências, além de dificuldades inerentes aos bancos de dados de acidentes de trânsito (Hauer, 2007, 2015; Mannering e Bhat, 2014).

3. METODOLOGIA

A análise proposta neste artigo foi realizada com base em duas grandes áreas de pesquisa do planejamento de sistemas de transportes. A primeira é a avaliação do desempenho da segurança viária, por meio da estimação do risco de acidentes, que quantifica a suscetibilidade de ocorrência de acidentes por unidade de distância percorrida. Esse fator foi estimado a partir dos acidentes no ano base, disponibilizados pelo Sistema de Informações de Acidentes de Trânsito de Fortaleza (SIAT-FOR) e pelo momento dos deslocamentos.

A segunda área é a modelagem da demanda e oferta dos transportes, necessária para subsidiar a estimação e aplicação do indicador de DSV. Neste método é utilizada a plataforma de modelagem integrada Tranus, considerado um modelo adequado para ser utilizado em um processo de planejamento integrado (Hull, 2005). O Tranus foi calibrado e validado, a partir de dados do ano base e de séries temporais (Sousa, 2016), para que pudesse ser aplicado na avaliação de alternativas de solução. A Figura 1 ilustra como essas duas áreas se uniram ao longo das atividades propostas para a estimação do DSV por meio do paradigma do planejamento integrado.

**Figura 1:** Método proposto

A aplicação do modelo integrado para o ano horizonte se dará a partir de alterações na oferta do uso do solo e na oferta de transportes. Ao executar o modelo, considerando os parâmetros previamente calibrados e as intervenções propostas, será possível obter os momentos dos deslocamentos desses anos. Para estimar os acidentes, precisa-se ainda estimar alterações no risco de acidentes no ano horizonte, pois assumi-los iguais ao ano base seria considerar que nenhuma ação mitigará os problemas da segurança viária, ou que as intervenções não afetariam o DSV.

Para cada ano horizonte são modelados dois cenários: o tendencial, que considera apenas um crescimento da população e empregos e a continuidade das intervenções em andamento; e o transformador, que junto com a evolução da cidade incorpora as intervenções previstas pelo plano. Dessa forma, será possível avaliar os benefícios das intervenções em cada ano horizonte. Essa estrutura permite estimar o número de acidentes por tipo para os anos horizontes e utilizar esse indicador de DSV na avaliação de alternativas de solução. A seguir serão detalhados os aspectos relativos a estimação do risco de acidentes (seção 3.1) e aqueles relacionados com a modelagem integrada (seção 3.2).

3.1 Medida do desempenho da segurança viária

O indicador do DSV proposto para estimar a evolução dos cenários de planejamento tem por base uma medida do risco de envolvimento em acidentes de trânsito por severidade e por tipo de usuário (modo de transporte). O risco de acidente (R) pode ser definido como a taxa de acidentes pela exposição dos usuários medido pelo momento de viagens em passageiros por quilômetro (pax.km).

Como ponto de partida para o processo de modelagem do DSV, utilizou-se a estimativa do risco de acidente para diferentes modos de transporte no ano base (2016). Essa estimativa combinou as informações de acidentes disponíveis no Sistema de Informações de Acidentes de Trânsito de Fortaleza, o SIATFOR, para o ano de 2011, com o momento de viagens em pax.km para os modos pedestre, ciclista, motociclista, motorizado individual e por ônibus (Tabela 2). Esses momentos são oriundos da modelagem da demanda de viagens do ano base, com a utilização da plataforma de modelagem integrada Tranus, que será melhor abordada na seção 3.2 deste trabalho.

Tabela 2: Acidentes e Risco de Acidentes e Momento em Fortaleza com vítimas feridas e fatais no Ano Base – 2016

Tipo	Acidentes com Vítimas			Momento (10 ⁶ pax.km)	Risco de Acidentes (acidentes/10 ⁶ pax.km)		
	Feridas	Fatais	Total		Feridas	Fatais	Total
Atropelamento	1566	166	1732	379	4,13	0,44	4,56
Bicicleta	602	41	643	116	5,20	0,35	5,55
Motocicleta	4517	116	4633	2265	1,99	0,05	2,05
Automóvel	892	38	930	4757	0,19	0,01	0,20
Ônibus	45	3	48	5399	0,01	< 0,01	0,01
Total	7622	364	7986	12917	-	-	-

Os valores de risco de acidentes com vítimas feridas e fatais apresentados na Tabela 2 apontam que os pedestres e os ciclistas são os usuários mais suscetíveis a sofrerem acidentes. Os motociclistas, por sua vez, apesar da maior frequência absoluta de acidentes, possuem risco menor do que os pedestres e ciclistas.

O risco de acidentes para o ano base foi então ajustado em função do impacto esperado das

alterações de infraestrutura urbanas previstas para cada cenário e também, a partir de alterações esperadas no risco de acidentes, fruto de ações específicas e políticas públicas previstas ao longo do período de análise. Os índices de risco ($R_t^{m,s}$) do cenário t , modo m e severidade s serão aplicados individualmente ao momento de viagens (M_t^m) do modo m no cenário t estimado pela plataforma de modelagem Transus para cada cenário tendencial e transformador para que seja obtida a quantidade de acidentes ($A_t^{m,s}$), de acordo com a Equação 1.

$$A_t^{m,s} = R_t^{m,s} * M_t^m \quad (1)$$

O impacto de cada intervenção no risco foi estimado com a utilização de fatores modificadores de acidentes (CMF) disponíveis em compilações de estudos de segurança viária do tipo “antes” e “depois” presentes no banco de dados *Crash Modification Factors Clearinghouse* (FHWA, 2017) e também disponível em Elvik *et al.* (2015). Ressalta-se que os fatores tiveram que ser ajustados para considerar sua influência na severidade e modo de transporte bem como incorporar o cronograma de implantação das intervenções previsto para a cidade e sua abrangência espacial, ou seja, o impacto da intervenção no risco de acidentes da cidade inteira. Desta forma, o risco para cenários futuros foi estimado de acordo com a Equação 2.

$$R_t^{m,s} = R_{t-1}^{m,s} * \prod_i CMF_i^{m,s} \quad (2)$$

em que $R_t^{m,s}$: risco para o cenário t , modo m , severidade s (vítimas feridas e vítimas fatais);

$CMF_i^{m,s}$: fator modificador de acidentes para a intervenção i , modo m , severidade s .

Os fatores modificadores de acidentes, por sua vez, podem ser estimados pela Equação 3:

$$CMF_i^{m,s} = (1 - \delta_i^{m,s} / 100) * I_{i,t} * E_{i,t} \quad (3)$$

em que $\delta_i^{m,s}$: índice de redução percentual dos acidentes para a intervenção i , modo de transporte m , severidade s

$I_{i,t}$: coeficiente para a proporção de implantação da intervenção i no cenário t ;

$E_{i,t}$: abrangência espacial / influência da intervenção i no cenário t ;

A Tabela 3 apresenta o conjunto de intervenções consideradas com os respectivos índices de redução percentual ($\delta_i^{m,s}$) dos acidentes de trânsito.

Além das intervenções apresentadas na Tabela 3, foi considerado ainda um CMF composto, englobando intervenções conjuntas entre a Prefeitura Municipal de Fortaleza e o programa *Bloomberg Initiative for Global Road Safety* (BIGRS), intervenções isoladas da década de ação pela segurança viária e ações globais federais e estaduais para a redução da acidentalidade viária (intervenção 8). Neste caso, foram observados os índices de redução percentual para acidentes com vítimas feridas de 7% para pedestres, 4% para ciclistas, motociclistas e automóveis e 2% para ônibus. Para acidentes com vítimas fatais, os valores de “ δ ” considerados foram 7% para pedestres, ciclistas e motociclistas, 12% para automóveis e 2% para ônibus.

O coeficiente “ $I_{i,t}$ ” corresponde a valores entre 0 e 1 para intervenções não iniciadas e completamente executadas, respectivamente. A Tabela 4 apresenta o cronograma de implantação das intervenções com os respectivos coeficientes de percentual de implantação.

Tabela 3: Intervenções e respectivos valores do índice de redução percentual de acidentes (δ) para macrointervenções do Projeto Fortaleza 2040

Intervenção	Pedestre	Bicicleta	Moto	Carro	Ônibus
1. Tendência histórica (2001 a 2011) de estabilização dos acidentes e crescimento do momento de viagens em 4%	4 / 4	4 / 4	4 / 4	4 / 4	4 / 4
2. Continuidade do Plano Diretor Cicloviário Integrado (PDCI)	- / -	5 / 10	- / -	- / -	- / -
3. Programa de implantação de corredores BRT	- / -	- / -	- / -	- / -	- / -
4. Programa de requalificação de passeios e travessias de pedestres nos corredores e moderação de tráfego nas áreas dos corredores de transporte	22 / 29	22 / 29	14 / 22	- / -	- / -
5. Programa de implantação de medidas de moderação de tráfego nas bacias	18 / 25	18 / 25	10 / 18	15 / 21	15 / 21
6. Intensificação da fiscalização sobre o comportamento de risco do condutor	3 / 3	1 / 1	1 / 1	1 / 1	1 / 1
7. Programa de requalificação da sinalização horizontal e vertical da malha viária	5 / 5	5 / 5	5 / 5	5 / 5	5 / 5

Nota: 4/4 - $\delta_{\text{Feridos}}(\%) / \delta_{\text{Fatais}}(\%)$

Tabela 4: Coeficiente para o percentual de implantação das macrointervenções do Projeto Fortaleza 2040

Cenário	$I_{1,t}$	$I_{2,t}$	$I_{3,t}$	$I_{4,t}$	$I_{5,t}$	$I_{6,t}$	$I_{7,t}$	$I_{8,t}$
2020 A / B	1 / 1	1 / 1	- / -	- / -	- / -	- / -	- / -	1 / 1
2024 A / B	1 / 1	- / -	- / 0,30	- / 0,30	- / 0,15	- / 1	- / 0,20	- / -
2028 A / B	1 / 1	- / -	- / 0,20	- / 0,20	- / 0,15	- / 1	- / 0,20	- / -
2032 A / B	1 / 1	- / -	- / 0,30	- / 0,10	- / 0,10	- / 1	- / 0,20	- / -
2036 A / B	1 / 1	- / -	- / 0,10	- / 0,10	- / 0,10	- / 1	- / 0,20	- / -
2040 A / B	1 / 1	- / -	- / 0,10	- / 0,10	- / 0,50	- / 1	- / 0,20	- / -

Nota: 1/1 = Cenário Tendencial (A) / Cenário Transformador (B)

Por sua vez, o coeficiente " $E_{i,t}$ " representa a proporção dos usuários que podem ser impactados pelas intervenções. O coeficiente será 1 quando a intervenção tiver alcance global na cidade, como é o caso de campanhas educativas, ações de esforço legal, dentre outras. Para intervenções nos corredores orientados ao transporte público deve ser considerada somente a proporção de viagens que utilizam os corredores. O coeficiente de abrangência espacial foi considerado como 1 (100%) para as intervenções 1, 2, 6, 7 e 8. Para as intervenções relacionadas aos corredores de transporte urbano (3 e 4) o coeficiente foi de 0,5 (50%), restando para as intervenções nas demais áreas a abrangência de 0,5 (50%) por serem complementar aos corredores de transporte urbano.

O indicador de risco pode então ser utilizado para estimar o número total de acidentes com vítimas feridas e fatais separado por modo de transporte além de indicadores populacionais como a taxa de acidentes por um milhão de viagens e a taxa de acidentes por 100 mil habitantes.

3.2. Modelagem integrada

O Transus modela os principais componentes do sistema urbano, tais como a localização e interação de atividades, o mercado imobiliário e o sistema de transportes. Todos estão inter-relacionados, assim, o fenômeno da circulação de pessoas é explicado por relações econômicas e espaciais entre as atividades que as geram. Por sua vez, a acessibilidade do sistema de transportes afeta como as atividades se localizam no espaço, o que influencia o sistema imobiliário (Barra, 2012). Para simular a interação entre os setores econômicos é utilizada a matriz Input-Output de Leontief, de onde se obtém uma percepção de como cada setor é mais ou menos dependente dos outros (Guilhoto, 2009). As decisões locacionais são modeladas a partir do preço do solo e da acessibilidade (Barra, 2010). E os modelos de transportes são baseados na teoria de escolha

discreta, que simula a decisão de um indivíduo entre um conjunto de opções, assumindo que existem atributos que determinam essa decisão e que o indivíduo é racional (Hensher *et al.*, 2005).

A modelagem da rede é multimodal, onde todos os modos podem simultaneamente utilizar os mesmos segmentos de vias, por isso, cada segmento é composto por dois grupos de características: as físicas: relacionadas com a estrutura física da rede, como a capacidade, o tipo específico de cada segmento, direção e nome; e o modo: aqueles relacionados a cada modo que o utiliza, como a velocidade (Barra, 2012). O modelo interativamente verifica se existe capacidade para suprir a demanda e recalculará o tempo de espera e a velocidade nos *links* sempre que a relação entre demanda e capacidade se modificar. Ao fim desse processo iterativo podem ser obtidas as rotas das viagens de cada par origem-destino, portanto podem ser obtidos os momentos dos deslocamentos para a devida aplicação do método de estimação de DSV.

A aplicação para o Fortaleza 2040 teve como foco a modelagem de viagens na hora de pico. Nessa simulação a cidade foi espacialmente dividida em seus 119 bairros, os mais de 711.000 domicílios da cidade foram divididos em 3 grupos por renda e os quase 1.500.000 empregos foram classificados em 5 tipos, quanto aos tipos de atividade econômica. O uso do solo foi separado em sete classes, de acordo com o uso e índices de aproveitamento e foram considerados os principais modos de deslocamento da cidade: pedestres, ciclistas, carro, moto, ônibus e vans, trem e metrô. Esses dois últimos não são utilizados na estimação dos acidentes por não haver ocorrências envolvendo-os. O processo de calibração foi baseado no método proposto por Sousa (2016) e a validação apresentou resultados satisfatórios de convergência das medidas de desempenho (Prefeitura Municipal de Fortaleza, 2016).

Com a base calibrada e validada, o modelo foi aplicado para a estimação dos indicadores de interesse nos anos horizonte, entre eles os momentos de deslocamento. Como a modelagem se ateve à hora de pico foi necessário anualizar essa informação. Pelo universo de validações do sistema de transporte coletivo e pelas informações capturadas por laços magnéticos de equipamentos de fiscalização eletrônica e controle semaforico, foi possível concluir que a hora de pico representa aproximadamente 8% de todas as viagens que ocorrem ao longo de um dia (Prefeitura Municipal de Fortaleza, 2016). Com esse percentual, foi obtido o momento diário, que foi multiplicado por 365 para representar o momento anual dos deslocamentos, apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Milhões de passageiros.km para os cenários do Fortaleza 2040

	2020	2024	2028	2032	2036	2040
Pedestre A/B	444 / 459	500 / 549	513 / 659	517 / 727	530 / 840	542 / 895
Ciclista A/B	162 / 160	158 / 150	169 / 165	164 / 137	181 / 134	199 / 183
Carro A/B	5025 / 5018	5105 / 4893	5283 / 4799	5567 / 4911	5885 / 5278	6070 / 5244
Moto A/B	2445 / 2414	2460 / 2205	2563 / 2085	2638 / 1851	2720 / 1976	2832 / 1928
Ônibus e Vans A/B	5582 / 5808	5824 / 6670	5972 / 7089	5960 / 7518	5841 / 8101	5900 / 8591
Metro ferroviário A/B	389 / 406	726 / 576	718 / 742	741 / 1323	736 / 1388	725 / 1554

Nota: 1/1 = Cenário Tendencial (A) / Cenário Transformador (B)

Por esse indicador, verifica-se um aumento considerável na utilização do transporte coletivo rodoviário decorrente da implantação do sistema de BRT nos principais corredores da cidade. Assim como um aumento nos deslocamentos a pé, já que aumenta a quantidade de acessos e difusões ao transporte público. Verifica-se também um aumento na utilização do carro e na

moto nos cenários tendenciais, enquanto nos transformadores, o carro sofre uma pequena variação positiva e a moto uma redução significativa.

4. ESTUDO DE CASO: PROJETO FORTALEZA 2040

Fortaleza é uma cidade com mais de 2,6 milhões de habitantes e que ocupa mais de 300 km² na costa litorânea do estado do Ceará. Possui uma frota de mais de 1 milhão de veículos, dos quais mais da metade foram adquiridos só nos últimos 10 anos, impulsionada pelo aumento na quantidade de motos que aumentou mais de 2,8 vezes nesse mesmo período. Fortaleza passou recentemente por um processo de planejamento estratégico para elaborar o Plano Mestre Urbano Fortaleza 2040, onde a ferramenta Tranus foi aplicada como o modelo de previsão da demanda por transportes e uso do solo. A metodologia proposta anteriormente foi aplicada para a avaliação das alternativas quanto ao DSV no âmbito do Projeto Fortaleza 2040.

A Figura 2 e a Figura 3 apresentam os índices de acidentes ($R_t^{m,s}$) com vítimas feridas e fatais, respectivamente. Na Figura 2, verifica-se que os maiores riscos de acidentes com vítimas feridas ao longo de todo o período de análise envolvem ciclistas, pedestres e motociclistas, mas as oito políticas de intervenção propostas no plano possuem o potencial de reduzir essas taxas. Entretanto, a tendência de redução de acidentes e as políticas em desenvolvimento já são capazes de alterá-las significativamente para baixo. No caso dos ciclistas, a redução tendencial do risco de 2016 até 2040 é de 20%, mas incluir as intervenções do plano pode fazer com que o risco caia 40%. Os pedestres seriam os mais beneficiados com as intervenções, já que o risco de serem vítimas em acidentes cai em 45% contra 18% de redução tendencial.

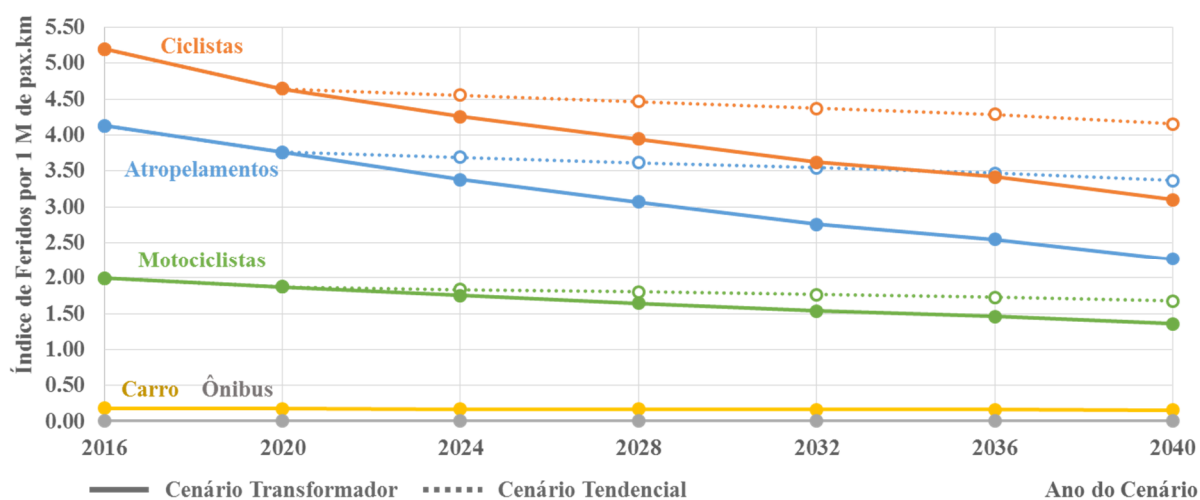


Figura 2: Índice de Acidentes com Vítimas Feridas

Pela Figura 3, percebe-se que as intervenções atuarão fortemente em reduzir o risco de acidentes fatais dos deslocamentos a pé e por bicicleta. Ambos possuem uma diminuição de 54% em suas taxas de risco, mas a maior diferença entre cenário tendencial e transformador é verificada para os atropelamentos. Os motociclistas também são muito beneficiados, já que sua taxa de risco reduz em 46%, mas o valor absoluto dessa taxa faz com que esse benefício não seja ressaltado na Figura 3, que destaca apenas os maiores benefícios absolutos.

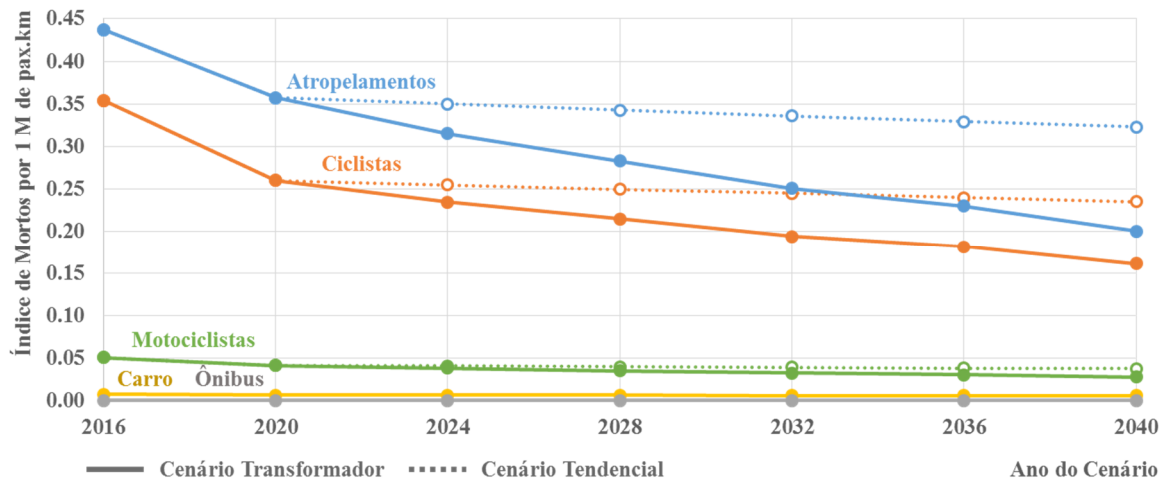


Figura 3: Índice de Acidentes com Vítimas Fatais

Os índices das Figuras 2 e 3 ao serem multiplicados pelos momentos da Tabela 4, seguindo a Equação 1, geram as quantidades de acidentes das Figuras 4 e 5. Pela primeira, é possível observar uma redução no número de acidentes com vítimas feridas. Tendencialmente, esse número pode chegar aos 8400 acidentes, já com as intervenções propostas no plano esse número será de 5900. Percebe-se que apesar das quedas nos riscos de acidentes nos cenários tendenciais, o crescimento do momento, em especial dos motociclistas, faz com que a quantidade de acidentes apenas cresça ao longo do período de análise do projeto. Nos cenários transformadores, a redução de viagens por motos, que migram para o transporte coletivo, atrelada a uma redução mais vigorosa do risco de acidentes conseguem estabelecer uma tendência de diminuição do número total de acidentes com vítimas feridas. Entretanto, é possível observar um aumento na participação dos atropelamentos, tanto em valores absolutos quanto relativo, justificados pela duplicação do momento dos deslocamentos de pedestres.

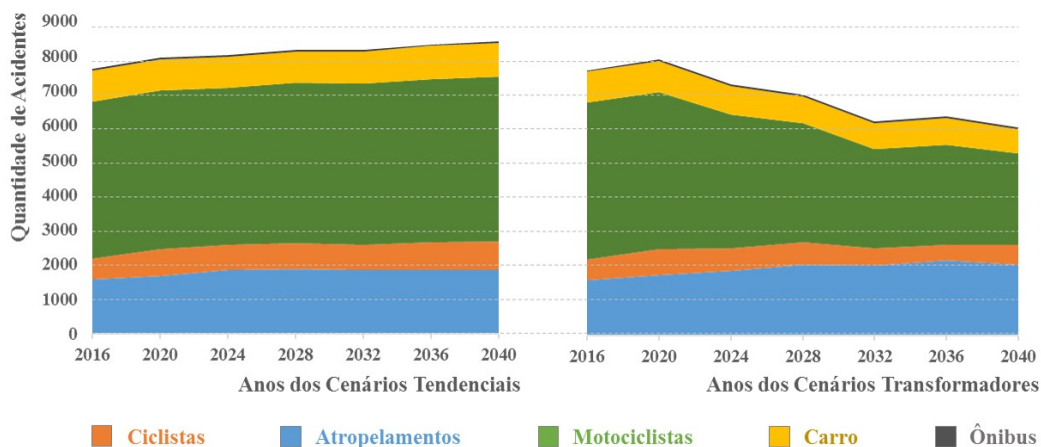


Figura 4: Total de Acidentes com Vítimas Feridas

Entre os acidentes com vítimas fatais, destacados na Figura 5, percebe-se uma estabilização em sua quantidade nos cenários tendenciais e uma redução dessa quantidade nos cenários transformadores, que, apesar de ainda ser de 300 acidentes no total, é reduzido em 20%, quando é comparado a 2016. Observa-se também uma maior participação dos pedestres entre

as vítimas de acidentes fatais, que correspondem a mais de 60% de todos os acidentes com vítimas em 2040, ocasionada pelo aumento do momento dos deslocamentos de pedestres.

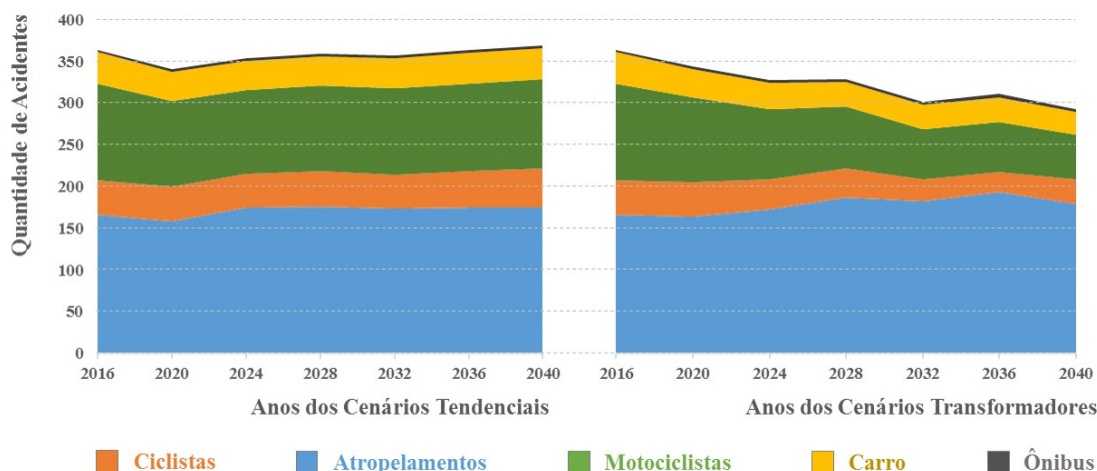


Figura 5: Total de Acidentes com Vítimas Fatais

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma das principais dificuldades de inserir a modelagem do DSV no processo de planejamento está relacionada com o emprego de métodos quantitativos confiáveis que subsidiem as etapas de avaliação de cenários e tomada de decisão sob a ótica da segurança viária. Neste sentido, o método proposto é simples de ser aplicado e explicado e, por isso, foi incorporado ao planejamento Fortaleza 2040. O método de estimação do DSV leva em consideração a modelagem da demanda por viagens, já que a quantidade de deslocamentos é uma das principais variáveis relacionadas à exposição aos acidentes.

Nesta aplicação, foram utilizados os fatores modificadores de acidentes (CMF) disponíveis na literatura internacional aplicados em função das intervenções sugeridas dentro dos períodos quadrienais, ao risco de acidentes estimado por modo de transporte para o ano base (2016). Nos resultados, fica evidente a contribuição que as intervenções possuem para a redução dos acidentes. Elas inserem uma tendência de redução na quantidade total de acidentes de ambos os tipos, sejam àqueles com vítimas feridas, reduzidas em 22%; ou com vítimas fatais que reduzem em 20% ao longo dos 24 anos de horizonte do projeto.

Verificou-se também um aumento dos atropelamentos envolvendo vítimas feridas e fatais, já que utilizar esse sistema significa realizar o acesso e a difusão do BRT a pé. Dessa forma, a taxa de óbitos por 100.000 habitantes em 2040 ainda seria de 9,8, que, apesar de ter reduzido, ainda é bem superior ao que se verifica em países como Austrália, França e Suécia, que possuem índices de 5,1, 5,4 e 2,8, respectivamente. Dessa forma, outras políticas de valorização dos pedestres são necessárias para que a cidade possua índices inferiores.

A metodologia pode ser aperfeiçoada com a estimação dos índices de abrangência espacial e de redução no número de acidentes por intervenção para a realidade local, o que pode ser realizado com o acompanhamento de implantação das intervenções propostas no plano. Podem também ser avaliados outros aspectos que influenciam os acidentes, como uso do solo e o controle viário que não foram abordados neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- Acheampong, R. A. e Silva, E. (2015) Land use – transport interaction modeling: A review of the literature and future research directions. *Journal of Transport and Land Use*, v. 8, n.3, p. 11-38. DOI: 10.5198/jtlu.2015.806
- AECOM (2013) *A New Mobility Transportation Master Plan for London 2030 Transportation Master Plan: SmartMoves*. AECOM. London, Canadá.
- Aguero-Valverde, J., e Jovanis, P. P. (2006) Spatial analysis of fatal and injury crashes in Pennsylvania. *Accident Analysis and Prevention*, v. 38, n. 3, p. 618–625. DOI:10.1016/j.aap.2005.12.006
- Banister, D. (2008) The sustainable mobility paradigm. *Transport Policy*, v. 15, n. 2, p. 73-80. DOI:10.1016/j.tranpol.2007.10.005
- Barra, T. de la. (1989) *Integrated land use and transport modelling: Decision chains and hierarchies*. Cambridge University Press, New York.
- Barra, T. de la. (2010) *TRANUS: Sistema Integrado de Simulação da Localização das Atividades, Usos do Solo e Transportes*. Modelística. Caracas, Venezuela.
- Barra, T. de la. (2012) *Formulación matemática de TRANUS*. Modelística. Caracas, Venezuela.
- Bertolini, L., le Clercq, F., e Kapoen, L. (2005) Sustainable accessibility: A conceptual framework to integrate transport and land use plan-making. Two test-applications in the Netherlands and a reflection on the way forward. *Transport Policy*, v. 12, n. 3, p. 207–220. DOI:10.1016/j.tranpol.2005.01.006
- Curtis, C. (2008) Planning for sustainable accessibility: The implementation challenge. *Transport Policy*, v. 15, n. 2, p. 104–112. DOI:10.1016/j.tranpol.2007.10.003
- Elvik, R., Høye, A., Vaa, T., e Sørensen, M. (2015) *O manual de medidas de segurança viária*. Fundación Mapfre. Madri, Espanha.
- FHWA (2017) *Crash Modification Factors Clearinghouse*. Chapel Hill, EUA. Disponível em: <http://www.cmfclearinghouse.org/index.cfm>. Acesso em: 29 de dez. 2018.
- Governo de Santa Catarina. (2015) *Produto 19: Relatório Final - Consolidação das Propostas e Plano de Implementação*. Volume IV – Participação Social e Capacitação. Florianópolis, Brasil.
- Guilhoto, J. J. M. (2011) *Análise de Insumo-Produto: Teoria e Fundamentos*. São Paulo, Brasil. Disponível em: https://mpr.ub.uni-muenchen.de/32566/2/MPRA_paper_32566.pdf. Acesso em 20 de dez de 2018.
- Hadayeghi, A., Shalaby, A. S., e Persaud, B. N. (2010) Development of planning level transportation safety tools using Geographically Weighted Poisson Regression. *Accident Analysis and Prevention*, v. 42, n. 2, p. 676–688. DOI:10.1016/j.aap.2009.10.016
- Hansen, W. G. (1959) How Accessibility Shapes Land Use. *Journal of the American Institute of Planners*, v. 25, n. 2, p. 73–76. DOI:10.1080/01944365908978307
- Hauer, E. (2007) *Observational Before-After Studies in Road Safety*, Bingley. Emerald, Reino Unido.
- Hauer, E. (2015) *The Art of Regression Modeling in Road Safety*. Springer International Publishing, Suíça. DOI:10.1007/978-3-319-12529-9
- Hensher, D. A., Rose, J. M., e Greene, W. H. (2005) *Applied Choice Analysis*. Cambridge University Press, New York, USA.
- Hull, A. (2005) Integrated transport planning in the UK: From concept to reality. *Journal of Transport Geography*, v. 13, n. 4, p. 318–328. DOI:10.1016/j.jtrangeo.2004.12.002
- Mannering, F. L., e Bhat, C. R. (2014) Analytic methods in accident research: Methodological frontier and future directions. *Analytic Methods in Accident Research*, v. 1, p. 1–22. DOI:10.1016/j.amar.2013.09.001
- New York City. (2016) *Strategic Plan 2016*. Department of Transportation. New York, EUA.
- Prefeitura de São Paulo (2015) *PlanMob SP 2015*. Secretaria Municipal de Transportes. São Paulo, Brasil.
- Prefeitura do Rio de Janeiro (2015) *PMUS - Plano de Mobilidade Urbana Sustentável*. Logit Oficina. Rio de Janeiro, Brasil. v. 2.
- Prefeitura Municipal de Fortaleza. (2016) *Plano Fortaleza 2040: cidade conectada, acessível e justa*. Instituto de Planejamento de Fortaleza. Fortaleza, Brasil.
- Sousa, F. F. L. M. (2016) *Metodologia de calibração para modelos integrados dos transportes e uso do solo*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Sousa, F. F. L. M., Loureiro, C. F. G., e Lopes, A. S. (2017) Representação do Fenômeno Urbano por meio de Modelos Integrados dos Transportes e Uso do Solo: Revisão da Literatura e Discussão Conceitual. *Transportes*, n. 25, v. 4, p. 96-108. DOI: 10.14295/transportes.v25i4.1319
- Straatemeier, T., e Bertolini, L. (2009) Joint Accessibility Design: Framework Developed with Practitioners to Integrate Land Use and Transport Planning in the Netherlands. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, v. 2077, n. 1, p. 1-8. DOI:10.3141/2077-01
- Torres, C. A., e Cunto, F. J. C. (2016) *Evaluation of safety performance in urban networks: a case study of Fortaleza city/Brazil*, In: 17th International Conference Road Safety On Five Continents (RS5C), 2016, Rio de Janeiro, Brasil. p. 1–12.
- Wier, M., Weintraub, J., Humphreys, E. H., Seto, E., e Bhatia, R. (2009) An area-level model of vehicle-pedestrian injury collisions with implications for land use and transportation planning. *Accident Analysis and Prevention*, v. 41, n. 1, p. 137–145. DOI:10.1016/j.aap.2008.10.001