

## **CUSTO ADICIONAL DE VIAGEM EM TÚNEIS URBANOS: CASO DO TÚNEL REBOUÇAS (RJ)**

**Marina Leite de Barros Baltar**

Mestre em Engenharia de Transportes pela UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
Doutoranda em Engenharia de Transportes, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
mabaltar@gmail.com

**Luiz Afonso Penha de Sousa**

Mestre em Engenharia de Transportes pela UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
Professor do Departamento de Engenharia Civil – CEFET/RJ  
Luiz\_af@hotmail.com

**Paulo Cezar Martins Ribeiro**

Doutor em Engenharia de Transportes pela University College London, Londres, Inglaterra  
Professor do Programa de Engenharia de Transportes da COPPE/UFRJ  
pribeiro@pet.coppe.ufrj.br

### **RESUMO**

Entre os fatores envolvidos para o surgimento dos congestionamentos estão os incidentes. Esses provocam retenções no tráfego que afetam o do tempo de viagem e o consumo de combustível. O objetivo desta pesquisa é avaliar o custo de um incidente em túneis baseado em dois impactos: o tempo adicional necessário pelo motorista para atravessar o túnel e o acréscimo no consumo de combustível. Diferentemente das demais vias, os túneis apresentam características específicas que podem potencializar as consequências de um incidente. Por isso, foi realizado um estudo de caso em um túnel localizado na cidade do Rio de Janeiro utilizando a metodologia proposta. Os resultados indicaram que durante o período de um ano, as alterações do tráfego devido aos incidentes, implicaram em gastos adicionais de R\$ 1.938.343,47 em hora perdida e de R\$ 541.662,92 com combustíveis para os usuários, gerando um custo total de R\$ 2.525,006,40/ano.

**Palavras-chave:** Custo. Incidente. Túneis Urbanos.

## **ADDITIONAL TRAVEL COST IN URBAN TUNNELS: CASE OF REBOUÇAS TUNNEL (RJ)**

### **ABSTRACT**

One of the factors involved in traffic congestion are the incidents. They cause retention in traffic that affects travel time and fuel consumption. The purpose of this article is to

calculate the cost of a tunnel incident according to the impact of the increase in fuel consumption and the increase in time travel. Unlike other routes, tunnels have characteristics that can potentiate the consequences of an incident. Therefore, a case study was carried out in a tunnel located in the city of Rio de Janeiro using the proposal methodology. The results indicate that, in the period of one year, the amount is increased by R\$ 1.938.343,47 in lost hours and R\$ 541.662,92 in fuel consumption for users, generating a total of R\$ 2,525,006.40/year.

**Keywords:** Cost, Incident, Urban Tunnels.

## 1 INTRODUÇÃO

O transporte público, os pedestres e a crescente taxa de motorização geram uma acentuada disputa por espaço geográfico nos grandes centros urbanos. Neste cenário, o gerenciamento do tráfego se torna imprescindível para otimizar a utilização da rede viária existente e reduzir esse conflito, melhorando a eficiência do sistema de transporte.

Um sistema de transporte eficiente é um dos pilares de sustentabilidade das cidades modernas. Qualquer deficiência agrava o crescente congestionamento do tráfego urbano, com consequências no aumento do tempo de viagem, no número acidentes, na poluição do ar e no consumo de combustível. De uma forma geral, os congestionamentos apresentam reflexos negativos na qualidade de vida dos habitantes e na economia da região.

O objetivo desta pesquisa é avaliar o custo de um incidente em túneis baseado em dois impactos: o tempo adicional necessário pelo motorista para atravessar o túnel e o acréscimo no consumo de combustível.

O congestionamento pode ser considerado periódico, quando a capacidade das vias de tráfego é insuficiente para atender o fluxo de veículos; ou não periódico, que são aqueles decorrentes de eventualidades, como acidentes e carros com pane mecânica, por exemplo. Na prática, aliviar esses congestionamentos e restabelecer a capacidade das vias de forma mais segura possível envolve um processo composto das seguintes etapas:

- 1º Detecção e reverificação;
- 2º Resposta/atendimento;
- 3º Gerenciamento do tráfego na via;
- 4º Informações aos viajantes e;
- 5º Limpeza (ou remoção) do acidente.

A aferição dos componentes básicos dos congestionamentos urbanos pode ser feita por meio da medição de suas externalidades: aumento de tempo de viagem, aumento da poluição sonora e atmosférica, menor segurança viária, redução de mobilidade e acessibilidade urbana (Meneses *et al.*, 2003). Essas externalidades ocasionam uma piora na qualidade de vida da população, por isso a sua quantificação é fundamental na orientação das decisões que devem ser tomadas no gerenciamento de tráfego a fim de reduzir os impactos negativos decorrentes do congestionamento.

Segundo o *Texas Transportation Institute* (2015), os congestionamentos implicam para os motoristas tempo extra necessário para realizar a viagem, gasto adicional de combustível, perda de produtividade e aumento da falta de confiabilidade no tempo de viagem. Dados do mesmo relatório indicam que devido aos congestionamentos, os americanos que moram em centros urbanos viajaram 6,9 bilhões de horas adicionais e compraram de 3,1 bilhões de galões de combustível extra gerando um custo de congestionamento de US\$ 160 bilhões. Além disso, eram necessários 48 minutos para fazer uma viagem que sem congestionamentos levaria 20 minutos.

Especificamente nos túneis, Vashitz *et al.*, (2008) destacam que os mesmos impõem condições de condução singulares. Devido à sua estrutura física, os condutores são confinados a um ambiente fechado, escuro e monótono. Bassan (2016) destaca as principais diferenças dos túneis em relação as outras vias, tais como:

- Sistemas de segurança: deve englobar os sistemas de incêndio, detecção de fogo, ventilação e sistemas de comunicação;
- Áreas de escape: necessidade de local para resgate dos veículos, paradas de ambulâncias e veículos pesados de resgate;
- Projeto Geométrico: as paredes do túnel limitam a visão em curvas horizontais, acarretando em curvas mais suaves; impossibilidade de implantação de retornos;
- Tempos de Percepção e Reação dos Motoristas: os condutores apresentam um tempo de reação diferente quando comparado às vias fora do túnel. No interior das galerias é constatado uma taxa de acidente proporcionalmente menor em relação às vias abertas (Lemke, Mashimo e Anundsen *apud* Bassan, 2016);
- Custos: orçamento destinado a construção de túneis é consideravelmente superior ao de uma via comum.

O processo envolvido na remoção dos veículos que sofrem acidentes em túneis

apresenta elementos adicionais quando comparado às demais vias. Fatores como fumaça, pânico dos condutores e dificuldade na liberação de espaço para a passagem dos veículos de resgate podem implicar no aumento do tempo para chegada do socorro. Com o resgate no local ainda podem surgir problemas relacionados às dificuldades de manobras. Durante o procedimento de resgate, a faixa de tráfego onde ocorreu o incidente fica impossibilitada de ser usada, podendo gerar congestionamentos e aumento do tempo de viagem para a travessia do túnel.

A metodologia adotada para a realização da pesquisa inclui a utilização dos dados do trabalho realizado por Baltar e Ribeiro (2013). Nele, os autores mediram a velocidade dos veículos antes e após um incidente no interior do túnel. Com essas informações e com o tempo médio para liberação das pistas devido aos incidentes é possível determinar o acréscimo de combustível e o tempo adicional para atravessar o túnel.

## 2 CUSTOS DOS INCIDENTES

Com a finalidade de calcular o custo adicional gerado pelos incidentes de tráfego foi realizada uma revisão bibliográfica sobre o assunto onde foram discutidas as fases do incidente e o tempo de duração médio para a limpeza total da via e cálculo do consumo de combustível.

### 2.1 Caracterização dos incidentes

O HCM (2010) classifica incidente como qualquer ocorrência em uma estrada que impede o fluxo de tráfego normal. Mais detalhadamente a FHWA (2010) define como qualquer acontecimento não periódico que provoque redução na capacidade da rodovia ou aumento anormal da demanda. Esses eventos incluem acidentes, veículos em pane, carga derramada, manutenção e reconstrução da via e eventos especiais de caráter não emergenciais.

Como consequência de um incidente pode haver a redução da capacidade das vias em absorver o fluxo passante e, na sequência, o congestionamento. Os incidentes são divididos em duas categorias: a primeira é quando pelo menos uma das vias de tráfego fica bloqueada; a segunda é quando um veículo sofre pane e utiliza o acostamento para fazer os reparos necessários, deixando livres todas as faixas de tráfego.

Os incidentes de tráfego são um dos maiores fatores contribuintes para o au-

mento dos congestionamentos. O *National Traffic Incident Management Coalition* (NTI-MC, 2010) estima que os incidentes causem 25% do congestionamento nas rodovias americanas. Melhorar o gerenciamento de incidentes é uma das chaves para reduzir os congestionamentos. Em um estudo sobre mobilidade urbana em 2009, a TTI *apud* FHWA (2010) calculou que em 2007, quando foram utilizados os melhores sistemas de gerenciamento de incidentes, 272 das 439 áreas urbanas reduziram os congestionamentos relacionados a incidentes, economizando 143,3 milhões de horas e 3,06 milhões de dólares (FHWA, 2010).

## 2.2 Redução de capacidade devido aos incidentes

Knoop *et al.* (2009) realizaram pesquisa para estimar o impacto de um incidente na capacidade das vias. Quando o mesmo acontece no acostamento, a via fica com uma média de 75,6% da capacidade, já quando há três faixas de tráfego e uma é obstruída, a capacidade média cai para 44% e quando duas faixas são obstruídas a via fica com apenas 20% da sua capacidade. A Tabela 1 apresenta a redução da capacidade da via em função do local que ocorreu o incidente dos autores e de outros pesquisadores. Não foram encontrados na bibliografia estudos de redução de capacidade devido a incidentes somente em túneis.

Tabela 1: Perda de capacidade das vias devido à ocorrência de um incidente

Pesquisadores	Acostamento	1 de 3 faixas bloqueada	2 de 3 faixas bloqueadas
Goolsby (1971)	0.67	0.50	0.21
Blumentritt <i>et al.</i> (1981)	0.84	0.53	0.22
HCM (2000)	0.83	0,49	0,17
Qin e Smith (2001)		0,37	0,23
Schrijver <i>et al.</i> (2006)	0.77	0,35	0,17
Dutch Road Authority (2007b)	-	0,36	0,17
Smith <i>et al.</i> (2003)	-	0,37	0,23
Van Toorenburg e Nijenhuis (2007)	0.67	0,50	0,21
Knoop <i>et al.</i> (2009)	0,75	0,44	0,20

Fonte: (Knoop *et al.*, 2009)

Restabelecer a capacidade total da via no menor tempo possível é um dos principais pontos no que tange o gerenciamento de incidentes. Portanto, quando ocorre um

incidente, o tempo estimado para solucioná-lo é a chave do gerenciamento de incidente, já que essa previsão pode ajudar os controladores a passar informações corretas para os usuários das vias, aplicando as soluções apropriadas de controle de tráfego na via do acidente e em suas proximidades, avaliando o efeito causado por essas intervenções.

Na prática, segundo Valenti *et al.*, (2010), essa duração é estimada pelos controladores de tráfego, ou pela polícia baseados em sua experiência e no reconhecimento das características do incidente (a natureza, se houve fatalidade, número de veículos envolvidos, entre outros). A confiança nessas estimativas ainda é desconhecida e depende em larga escala da experiência do operador.

De acordo com o mesmo autor, a duração do incidente é o tempo decorrido entre o início do mesmo até o momento em que são retiradas todas as evidências do acontecimento. Ele consiste basicamente em três estágios: detecção, reação (resposta) e atuação (remoção). A detecção é o período entre a ocorrência do incidente e a determinação precisa de sua localização e natureza. A resposta é o tempo gasto para o envio das equipes de resgate e equipamentos apropriados ao local. Finalmente, a remoção é o tempo entre a chegada das equipes responsáveis e do restabelecimento da capacidade.

O tempo transcorrido entre o início e o fim do incidente varia em função da tecnologia existente para monitoramento do túnel. Schiereck (2006) destaca que para o túnel atingir 100% da capacidade após uma interrupção, quando equipado com sistemas em tempo real (ou até 2 minutos de atraso), o tempo entre a ocorrência e a limpeza total é, em média, 34 minutos; e se equipado com outros sistemas de monitoramento pode atingir até 77 minutos (dos quais 16 minutos gastos somente para detectar o incidente).

A deseconomia gerada por esses congestionamentos é significativa. O Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 1999) calculou os custos decorrentes dos congestionamentos em dez cidades brasileiras. Na cidade do Rio de Janeiro a pesquisa concluiu que há uma perda de R\$ 43.167.098 reais com o tempo adicional no congestionamento e R\$ 21.164.612,6 com combustível (em valores atualizados para 2018 usando o Índice Nacional de Preços ao Consumidor no período, os valores são respectivamente R\$ 149.200.209,91 e R\$ 73.152.117,91).

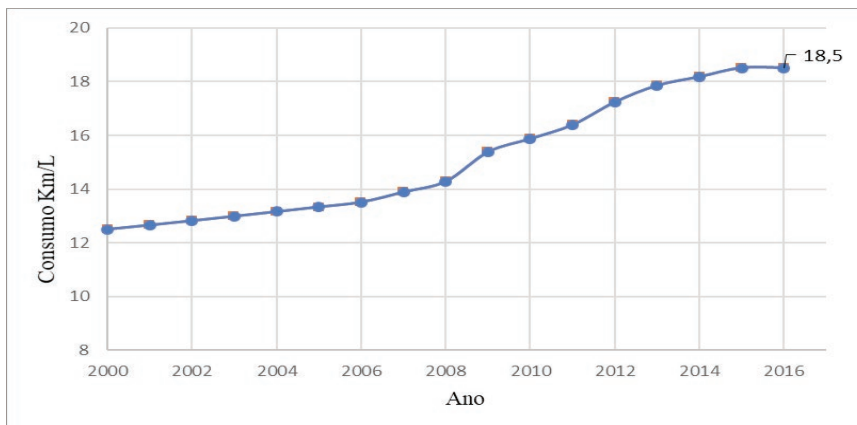
Outras pesquisas indicam (FIRJAN, 2014) que os custos dos congestionamentos na região metropolitana do Rio de Janeiro atingiram o patamar de R\$ 29 bilhões de reais em 2013, o que corresponde a 8,4% do Produto Interno Bruto (PIB) da mesma região e valor superior ao PIB de estados como Acre, Amapá, Roraima e Tocantins.

### 2.3 Consumo de Combustível

A preocupação com meio ambiente e as políticas de redução de liberação de partículas poluidoras promovem o desenvolvimento de veículos mais eficientes e menos poluentes. A eficiência de um motor pode ser definida como a quantidade de combustível necessária para percorrer uma determinada distância (litros/quilômetro). Fatores como tráfego, tipo de veículo, potência do motor, inclinação do terreno e tipo de condução podem gerar variações no consumo. Quanto maior a distância que o veículo consiga percorrer com um litro de combustível, mais eficiente ele é.

Dados disponibilizados pelo Department for Transport of United Kingdom, no seu caderno de Estatísticas de Energia e Meio Ambiente (2017), mostram que a média do consumo (Km/L) de combustível desde o ano 2000 até 2016 apresenta redução constante, conforme Figura 1. Esse indicador aponta que há uma tendência de produção de carros mais econômicos pelos fabricantes dos veículos.

Figura 1 - Aumento da eficiência dos carros novos



Fonte: (Department for Transport of United Kingdom, 2017)

Estudos para medir o impacto do tráfego no consumo do combustível, concluíram que quanto mais tempo o veículo permanece no congestionamento maior é o consumo de combustível (Treiber *et al.*, 2008). Fatores como aceleração e desaceleração constantes apresentam impacto direto nesse aumento (Greenwood *et al.*, 2007). Nesse sentido, apesar dos veículos mais novos apresentarem menor consumo, as condições de tráfego elevam a exigência pelo combustível resultando em maiores gastos para o proprietário. O mesmo Department for Transport of United Kingdom (2017) apresenta a Equação 1 para o cálculo estimado do consumo de combustível (gasolina) para veículos.

$$L=(1,08152\div v)+0,04252-(0,00008\times v)+(0,000002\times v) \quad (1)$$

Onde: L = Consumo (litros/km);

V = Velocidade média (km/h).

### 3 METODOLOGIA ADOTADA

#### 3.1 Cálculo da quantidade de veículos impactados pelos incidentes

Com o objetivo de calcular o custo do incidente, é apresentada metodologia para determinar a quantidade de veículos afetados pelo mesmo (Figura 2). A primeira etapa consiste em definir a densidade de veículos no interior do túnel após a ocorrência do incidente.

Em seguida, é calculada a quantidade de veículos que conseguiram ultrapassar o ponto onde ocorreu o incidente. Para isso, foi calculado o fluxo veicular nas faixas sem incidentes considerando a velocidade média após o incidente.

Por último, é realizado o somatório da quantidade de veículos que passaram em baixa velocidade pelo incidente, isto é, que sofreram as consequências do mesmo, porém conseguiram ultrapassar o local do incidente, à quantidade de veículos que ainda estão em fila ao término do mesmo no trecho analisado.

Para todas essas etapas foi utilizada a relação entre fluxo, velocidade e densidade apresentada na Equação 2.

$$q=V\times k \quad (2)$$

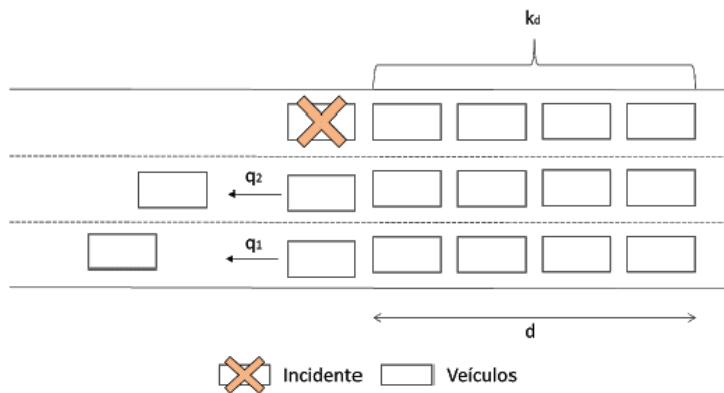
Onde: q: fluxo (veículos/hora)

V: velocidade (km/h)

k: densidade (veículo/km)



Figura 2 - Esquema da situação em estudo



Fonte: (Os autores).

### 3.2 Redução de velocidade devido aos incidentes

Para medir o impacto dos incidentes na velocidade, Baltar e Ribeiro (2013) analisaram 34 incidentes que ocorreram nas galerias do túnel. A análise foi realizada com as imagens das câmeras instaladas dentro do Túnel Rebouças e concluiu que um incidente em um túnel urbano causa uma redução entre 31 e 40% na velocidade média para atravessar o túnel. Nesse sentido, a relação entre a velocidade antes e após o incidente segue o padrão apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Velocidade antes e após incidentes no Túnel Rebouças

Velocidade sem Incidente (Km/h)	Velocidade após incidente (Km/h)
90	58,5
80	52
70	45,5
60	39
50	32,5
40	26

Fonte: (Baltar e Ribeiro, 2013)

### 3.2 Custo Total

O total do custo de um incidente em túneis será baseado em dois impactos: o tempo adicional necessário pelo motorista para atravessar o túnel e o acréscimo no consumo de combustível.

### 3.2.1 Aumento do tempo de viagem

O acréscimo do tempo de viagem devido aos incidentes deve ser calculado a partir da variação de tempo de deslocamento em função da redução da velocidade. Portanto, deve-se definir a distância que será analisada e o aumento do tempo de viagem considerando a diferença do tempo de viagem percorrendo a distância analisada na velocidade sem incidente.

Monetizar o valor da hora que o usuário perdeu no trânsito é atribuição difícil de ser estimada. Devido aos diferentes motivos de viagem, especialistas divergem sobre qual método deve ser utilizado para se chegar a um determinado valor. Nesta pesquisa, são considerados os dados disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2016).

### 3.2.2 Aumento do consumo de combustível

A Equação 1 indica que o consumo de combustível ocorre em função da velocidade do veículo, a variação da mesma implica no aumento ou redução do seu consumo. Neste método o cálculo do aumento do consumo de combustível será estimado pela diferença do consumo de combustível com a velocidade antes e após o incidente. Com essa diferença é possível estimar o consumo adicional dos veículos devido aos incidentes para cada quilômetro no congestionamento.

A Tabela 3 apresenta o aumento de consumo para cada possível cenário.

Tabela 3: Aumento no consumo devido aos incidentes

Velocidade sem Incidente (Km/h)	Velocidade após incidente (Km/h)	Aumento do consumo (%)
90	58,5	18,8
80	52	19,0
70	45,5	19,5
60	39	20,3
50	32,5	22,5
40	26	23,6
Média		20,6

Os resultados indicam que o aumento no consumo para percorrer a distância de 1 quilômetro na situação com incidente depende da velocidade anterior. O pior cenário acontece quando a velocidade varia inicialmente de 40km/h (antes do incidente) para 26

km/h (após o incidente), nesse caso, o acréscimo é de 23,6%.

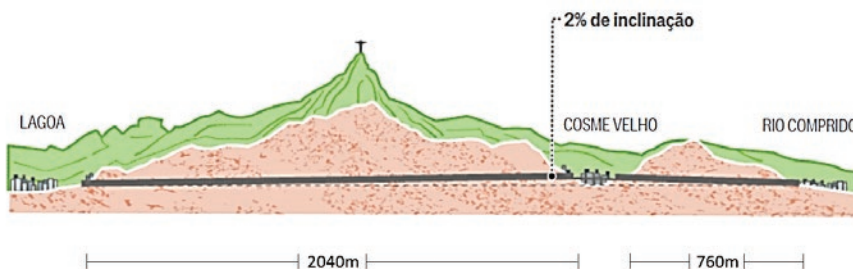
## 4 ESTUDO DE CASO

Para testar e validar a metodologia proposta nesta pesquisa foi realizado um estudo de caso na cidade do Rio de Janeiro. Neste estudo de caso será feita uma caracterização do local de estudo, o Túnel Rebouças, será mostrada a redução de velocidade na via devido à ocorrência de um incidente e o custo dessa ocorrência para a população através do aumento do gasto de combustível e o aumento do tempo de viagem.

### 4.1 Caracterização do Local de Estudo

O Túnel André Rebouças foi inaugurado em 03 de outubro de 1967, ligando as zonas Norte e Sul da cidade do Rio de Janeiro. Projetado para um volume de 76 mil veículos por dia, possui 2.040 metros de galeria contínua da entre os bairros da Lagoa e Cosme Velho e mais 760 metros na galeria do Cosme Velho até o Rio Comprido, totalizando 2.800 metros (Figura 3).

Figura 3 - Perfil do Túnel Rebouças



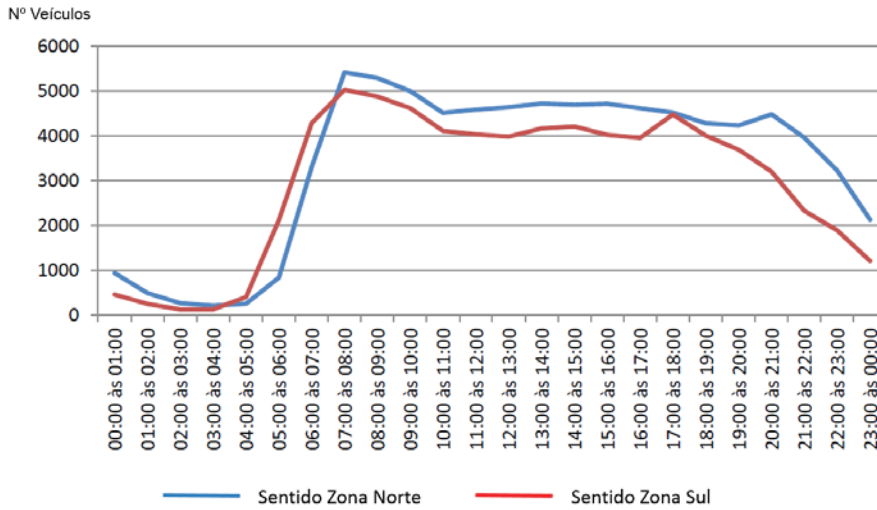
Fonte: (O Globo, 2017)

O túnel opera atualmente com três faixas de rolamento (sem acostamento) e velocidade máxima permitida de 90km/h. O sistema de resgate conta com 50 câmeras de monitoramento, 1 veículo de passeio (*pick-up*), 4 motocicletas e 3 caminhões reboques (O Globo, 2017).

Em 2017 o volume diário de veículos constatado foi de 170 mil veículos nos dois sentidos e uma velocidade média 40km/h para atravessar todo o túnel (O Globo, 2017). O fluxo no interior das galerias ultrapassa 5000 veículos/hora no sentido Zona Norte. Na Figura 4 é possível constatar que entre as 8:00 da manhã e 21:00 horas o fluxo permane-

ce praticamente constante e não existe um horário de pico específico.

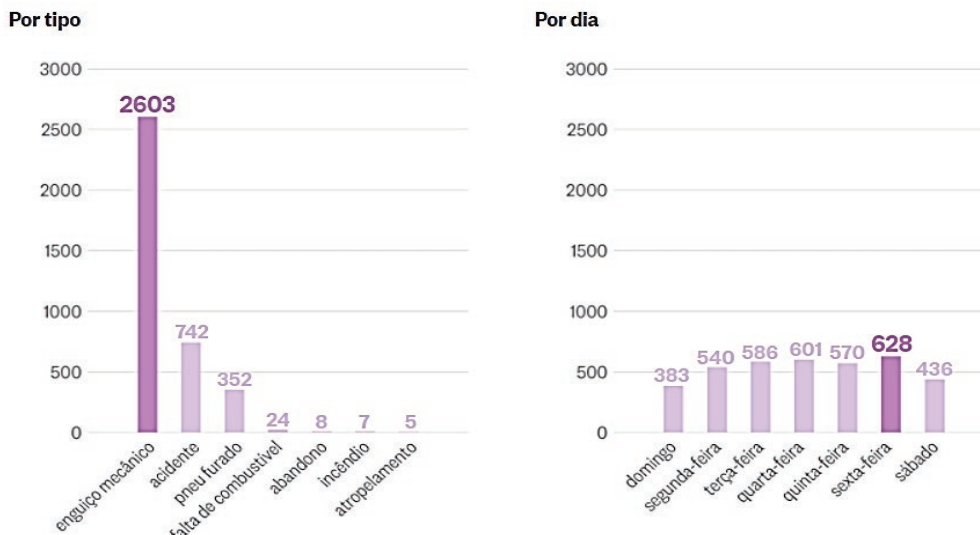
Figura 4 - Fluxo de veículos no Túnel Rebouças (2016)



Fonte: (CET-Rio, 2016)

Em 2017 foram registrados, em média, 311 incidentes por mês (O Globo, 2017), aproximadamente 10 por dia, incluindo enguiço mecânico, acidente, pneu furado, falta de combustível, abandono, incêndio e atropelamento. O dia da semana com maior quantidade de incidentes é sexta-feira, com a média de 628 casos. Na Figura 5 são apresentados o histórico por tipo de incidentes em 2017 e a frequência por dia da semana.

Figura 5 - Tipos de incidentes e dia da semana com maior frequência

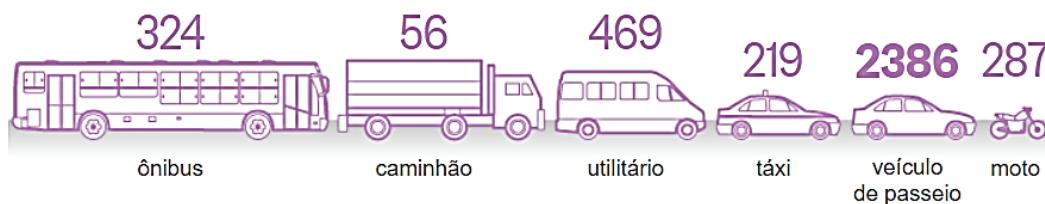


Fonte: (CET-RIO, 2017)

A Figura 6 apresenta as categorias dos veículos envolvidos nos incidentes em 2017. Um total de 2386 (63,7%) eram do tipo veículos de passeio e 849 (22,6%) de veículos com maior complexidade para resgate devido ao peso ou por transportar passageiros (ônibus, caminhões e utilitários).

Figura 6 - Categoria dos veículos envolvidos em incidentes no ano de 2017

Por categoria



Fonte: (O Globo, 2017)

#### 4.2 Cálculo do Custo do Incidente

Com a finalidade de calcular o custo correspondente ao aumento de consumo de combustível e do tempo de viagem anual devido à ocorrência de incidentes no ano de 2017, as seguintes condições são consideradas:

- Ocorreram 415 incidentes por mês no período entre janeiro e setembro de 2017, conforme dados da CET-RIO 2017. Para o período de 1 ano foi considerado um total de 4.980 incidentes no ano de 2017.
- Para determinar o local do incidente, foi considerado um modelo uniforme onde a probabilidade de gerar qualquer ponto em um intervalo contido no espaço amostral é proporcional ao tamanho do intervalo, ou seja, a distância percorrida pelos veículos com e sem incidentes é igual, por isso foi considerado que ocorrem na metade do túnel (1.400m);
- A velocidade sem incidente é de 40 km/h, velocidade média para percorrer o Túnel segundo o jornal O Globo (2017);
- O Túnel Rebouças trabalha próximo à sua capacidade durante todo o dia. Considerando o fluxo médio no sentido zona sul de 4.000 veículos/hora e no sentido Zona Norte é de 4.800 veículos/hora, para o cálculo do impacto será calculado o custo de 4.400 veículos/hora;

- O tempo entre a ocorrência e a limpeza total é, em média, 34 minutos, conforme a pesquisa de Schiereck (2006);
- O valor médio da gasolina na cidade do Rio de Janeiro no período considerado era de R\$4,00 o litro (Agência Nacional do Petróleo, 2018).

#### 4.2.1 Número de Veículos Impactados

Para o cálculo do consumo adicional de combustível devido aos incidentes é necessário determinar o número de veículos impactados no ano.

A partir da Equação 2, pode-se calcular a densidade no trecho imediatamente antes da ocorrência de um incidente. Nesse cenário, o fluxo é de 4400 veículos/hora e a velocidade média 40km/h. Para essas condições, a densidade é de 110 veículos/km. Como a distância considerada neste estudo de caso é de 1,4km, tem-se que 1ª fila formada dentro do túnel após o trecho de ocorrência do incidente é de 154 veículos.

Nas duas faixas livres, após os incidentes, os veículos têm velocidade de 26km/h, o que gera um fluxo de tráfego de 1.087 veículos durante a ocorrência do incidente. Portanto, será considerado nesse estudo de caso os 1.087 veículos que conseguiram passar pelo incidente, mas foram afetados pelo mesmo, somado aos 154 veículos que estão em fila dentro do túnel. Sendo assim, foram afetados 1.241 veículos/incidente. Ao ano, considerando os 4.980 acidentes, há a estimativa de 6.195.117 veículos tiveram o tempo de travessia impactados pelo incidente.

Utilizando o método do HCM (2010) que considera o fator de 0,49 relativo à redução da capacidade (Tabela 1), o fluxo veicular após o incidente será de 2.244 veículos/hora. Levando em consideração o total de horas sob incidente, há um impacto anual em 6.369.814 veículos. No entanto, é adotado o total previsto de 6.180.180 veículos, tendo em vista que este cálculo considera as características locais do estudo de caso. A Tabela 4 apresenta o resumo dos dois métodos para estimar o número de veículos impactados.

Tabela 4: Número de veículos impactados ao ano devido aos incidentes

A	Fluxo de veículos	4.400 veículos/hora
B	Velocidade média antes incidente	40 km/h
C	Densidade	$(A/B) = 110$ veículos/km
D	Quantidade veículos na faixa incidente (1,4 km)	$(1,4 \times C) = 154$ veículos
E	Velocidade média após incidente	26 km/h
F	Tempo de duração incidente	0,57 horas
G	Quantidade veículos atravessam local incidente nas duas faixas livres	$(C \times 2/3 \times E \times F) = 1087$
H		$(G+D) = 1241$
Fluxo de veículos atravessaram túnel durante incidente		
I	Quantidade de incidentes	4.980/ano
J	Total de veículos impactados ano	$(H \times I) = 6.180.180$
<b>MÉTODO HCM</b>		
K	Fator de Redução Capacidade	0,49
L	Fluxo máximo após incidente	$(K \times A) = 2.244$
M	Total veículos impactados ano	$(L \times I \times F) = 6.369.818$

#### 4.2.2 Gasto Adicional com Combustível

Com o número de veículos impactados no ano devido aos incidentes, é possível calcular que todos esses veículos necessitaram de um aumento no consumo de combustível devido à ocorrência de incidentes no ano de 2017. Sendo assim, os incidentes implicaram, considerando apenas o aumento de consumo de combustível, em R\$ 541.662,92 adicionais para todos os condutores de veículos. A Tabela 5 apresenta o resumo do cálculo para estimativa do aumento de consumo de combustível.

Tabela 5: Cálculo do consumo adicional de combustível devido aos incidentes em 2017

Consumo na velocidade média de 40 km/h	0,066 (L/Km)
Consumo na velocidade média de 26 km/h	0,082 (L/Km)
Diferença de consumo	0,016 (L/Km)
Número de veículos impactados no ano	6.180.180
Distância percorrida sob incidente	1,4 Km
Gastos anual com o consumo	R\$ 541.662,92

#### 4.2.3 Custo de Oportunidade Devido ao Aumento do Tempo de Viagem

O acréscimo do tempo de viagem devido aos incidentes, durante o período de um ano, calculado a partir da variação de tempo de deslocamento devido à redução da velocidade de 40km/h para 26 km/h, gera um custo adicional para todos os usuários que utilizam o túnel durante um ano.

Considerando o IBGE (2016), o valor da hora trabalhada na Região Metropolitana do Rio de Janeiro é de R\$ 11,35. Com isso, é possível estimar em aproximadamente R\$1.983.343,47 os gastos com a hora perdida devido aos incidentes. A Tabela 6 apresenta os resultados.

Tabela 6: Custo de oportunidade devido aos incidentes no Túnel em 2017

Extensão do túnel sob efeito do congestionamento	1,4 km
Tempo necessário para atravessar a 40 km/h (sem incidente)	0,035 h
Tempo necessário para atravessar a 26 km/h (com incidente)	0,054 h
Tempo adicional cada veículo	0,019 h
Taxa ocupação média dos veículos*	1,5
Nº veículos impactados	6.180.180
Nº estimado de pessoas impactadas	9.270.270
Custo da hora de trabalho	R\$ 11,35
Custo de oportunidade	R\$ 1.983.343,47

\*Fonte: PDTU (2015)

#### 4.3 Custo Total

Com base nos dados apresentados, é possível constatar que os 4.980 incidentes ocorridos em 2017, cada um necessitando de 34 minutos para limpeza, geram um total de 2822 horas de tráfego com uma faixa interdita. O impacto para os condutores ao ano é de R\$ 2.525.006,40.

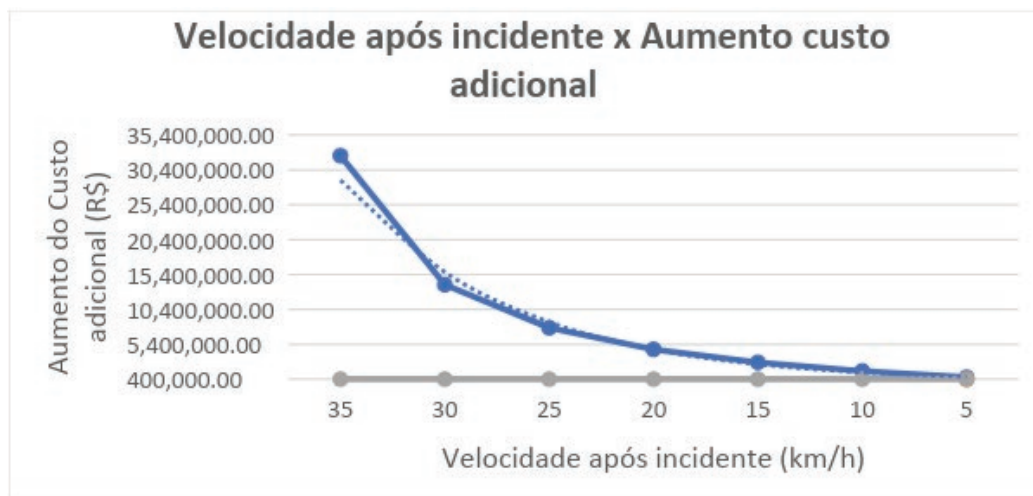
Os dados utilizados para a estimativa podem ser considerados conservadores, tendo em vista que o custo da hora trabalhada utilizado como referência incluiu toda a população economicamente ativa, ou seja, incluiu usuários de transporte público e proprietários de veículos. Caso fosse considerado apenas esse último, o custo de oportunidade tende a aumentar.

Outro fator com impacto para subestimar os resultados está na velocidade média de 26 km/h após o incidente. Essa velocidade ainda permite determinada fluidez no tráfego, principalmente quando comparada a velocidade sem incidente de 40 km/h. Po-



rém, caso essa diferença de velocidade aumente, maiores são os gastos dos condutores com combustível e hora perdida, conforme Figura 7.

Figura 7 - Velocidade após incidente x aumento dos custos com incidentes



## 5 CONCLUSÃO

Este artigo apresenta uma metodologia para estimar o custo de um incidente de trânsito, especificamente, foi criado um método para estimar o custo de um incidente no interior de um túnel urbano.

O estudo de caso foi realizado no Túnel Rebouças, uma das principais vias de ligação entre as zonas Norte e Sul da cidade do Rio de Janeiro que opera no limite da sua capacidade durante grande parte do dia. Esse alto tráfego aliado ao crescente aumento do preço do combustível, geram mais gastos para o condutor. Além do fator financeiro, há outros mais difíceis de medir em consequência dos incidentes, tais como a perda de tempo para o lazer, redução da produtividade, aumento dos poluentes, aumento custos transporte público e ainda aumento da insegurança devido à baixa velocidade.

Através do cálculo do consumo de combustível foi observado que o condutor que acessa o túnel após o início do incidente tem um aumento do consumo médio de 20,6%. Esse mesmo veículo tem um acréscimo no tempo de viagem de 53,8%. Esses dois fatores geraram um gasto adicional para os condutores de R\$ 2.525.006,40 no ano de 2017. Esses valores representam o cenário mais usual, quando a velocidade após o incidente é de 26 km/h. Entretanto, ficou demonstrado que conforme maior é a diferença entre a velocidade antes e após o incidente, maiores são os custos para os condutores.

Os resultados indicaram que fatores com potencial para agravar os danos causa-

dos pelos incidentes são o tempo de atendimento da ocorrência, negligência dos condutores, má conservação dos veículos e a falta de fiscalização. Medidas da administração pública podem amenizar a severidade e até reduzir o número de ocorrências aumentando a segurança viária ao agir na causa dos incidentes.

As seguintes medidas para minimizar os impactos podem ser adotadas: aprimorar a legislação, aprimorar a fiscalização e o processo de punição aos infratores, além de, melhorar o processo de documentação dos incidentes para ser possível analisar pontos críticos e os fatores recorrentes que podem ser modificados para mitigar o problema. Ações específicas da administração pública também são essenciais a fim de reduzir esse custo, tais como fiscalização da taxa de álcool no sangue dos motoristas, uso do cinto de segurança e capacete, obrigatoriedade da inspeção periódica dos veículos, penas severas a infratores e radares móveis de velocidade.

Nesse sentido, os sistemas de gerenciamento de incidentes são de fundamental importância para melhorar a operação de tráfego, pois ajudam a reduzir congestionamentos provocados pelos incidentes e os acidentes secundários. Quanto menor o tempo de detecção, resposta e atendimento menor serão os atrasos e custos impostos a população.

É importante ressaltar que o Túnel Rebouças possui monitoramento 24 horas por dia, sistema de detecção automática de incidentes, além de possuir equipamentos de socorro exclusivos. Nem todas as vias apresentam essa infraestrutura. Investir no controle de tráfego gera um custo ao município, porém reduz o tempo de atendimento ao incidente e conseqüentemente o gasto com consumo e o aumento do tempo de viagem dos outros usuários da via.

## REFERÊNCIAS

Agência Nacional do Petróleo. **Série Histórica do Levantamento de Preços e de margens de comercialização de combustíveis**. 2018. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/wwwanp/precos-e-defesa/234-precos/levantamento-de-precos/868-serie-historica-do-levantamento-de-precos-e-de-margens-de-comercializacao-de-combustiveis>. Acesso em: dezembro, 2017.

Bassan, S. **Overview of traffic safety aspects and design in road tunnels**. International Association of Traffic and Safety Sciences, v. 40 p. 35 – 46, 2016.

Baltar, M. L. B.; Ribeiro, P. C. M. **Redução de capacidade nas faixas adjacentes a um incidente em túneis urbanos**. In: Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes, Belém.

XXVII ANPET, v. 1. p. 1-10, 2013.

CET-RIO 2017. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/rio/reboucas-as-historias-os-bastidores-do-tunel-mais-movimentado-do-rio-21921332>. Acesso em: dezembro, 2017.

Departamento de Transportes do Reino Unido. **Caderno de Estatísticas de Energia e Meio Ambiente**. 2017. Disponível em: <[https://www.gov.uk/guidance/transport-analysis-guidance-webtag#webtag-data-book s](https://www.gov.uk/guidance/transport-analysis-guidance-webtag#webtag-data-book-s)>. Acesso em: dezembro, 2017.

FHWA. **Traffic Incident Management Handbook Update**, Federal Highway Administration Federal Highway Administration - Washington D. C., 2010.

Firjan. **Os custos da (i)mobilidade nas regiões metropolitanas do Rio de Janeiro e São Paulo**. Nota Técnica. 2014. Disponível em: <<http://www.firjan.com.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=2C908A8F4EBC426A014EC051E736421F>>. Acesso em: dezembro, 2017.

Greenwood, I.D., Dunn, R.C., Raine, R.R. **Estimating the effects of traffic congestion on fuel consumption and vehicle emissions based on acceleration noise**. J. Transp. Eng. 133 (2), 96–104, 2007.

HCM. **Highway Capacity Manual**, Washington D. C., Transportation Research Board. 2010.

IBGE. **Pesquisa mensal de emprego**. 2016. Disponível em: [https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/trabalhoerendimento/pme\\_nova/pme\\_201602tm\\_02.shtm](https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/trabalhoerendimento/pme_nova/pme_201602tm_02.shtm). Acesso em: dezembro, 2017.

IPEA. **Redução das Deseconomias Urbanas com a Melhoria do Transporte Público**. Revista dos Transportes Públicos - ANTP - Ano 21. 1999.

Knoop V., Hoogendoorn, S., Adams K. **Capacity Reductions at Incidents Sites on Motorways, Transport and Planning**. TRAIL Research School, Delft University of Technology, USA. 2009.

Meneses, H. B., Leandro, C. H. P. e Loureiro, C. F. G. **Indicadores de desempenho para sistemas centralizados de controle do tráfego urbano em tempo real – CTAFOR**, Forta-

leza, CE. 2003.

National Traffic Incident Management Coalition National Unified Goal (2010). Disponível em: <http://timcoalition.org/?siteid=41&pageid=1973>. Acesso em: dezembro, 2017.

O Globo, Jornal O Globo. 2017. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/rio/reboucas-as-historias-os-bastidores-do-tunel-mais-movimentado-do-rio-21921332>>. Acessado em: dezembro, 2017.

Schiereck, B. **Improving road and tunnel safety via incident management: implementing a video image processing system**. International Conference Tunnel Safety and Ventilation, Graz, Áustria. 2006.

Treiber, M.; Kesting, A.; Thiemann, C. **How much does traffic congestion increase fuel consumption and emissions? Applying a fuel consumption model to the NGSIM trajectory data**. In: Proceeding of the 87<sup>th</sup> Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D. C. 2008.

Texas Transportation Institute. **Urban mobility Scorecard**. 2015. Disponível em: <<https://static.tti.tamu.edu/tti.tamu.edu/documents/mobility-scorecard-2015.pdf>>. Acessado em: dezembro, 2017.

Valenti, G., Lelli, M. e Cucina, D. **A comparative study of models for the incident duration prediction**. Department of Statistics, La Sapienza University, Roma, Italy. 2010.

Vashitz, G., Shinara, D. e Blum, Y. **In-vehicle information systems to improve traffic safety in road tunnels**. Transportation Research Part F 11 (2008) 61–74.