

UMA METODOLOGIA BASEADA EM SIMULAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DE FACILIDADES PARA AVALIAR ESTRATÉGIAS DE ATENDIMENTO A INCIDENTES EM VIAS EXPRESSAS

Marina Leite de Barros Baltar

Programa de Engenharia de Transportes – PET – COPPE/UFRJ

Rafael Ferreira Santos

Companhia de Engenharia de Tráfego do Rio de Janeiro – CET-Rio

RESUMO

Este trabalho apresenta uma metodologia que utiliza a simulação computacional e o problema de localização de p -medianas capacitado para analisar a operação de atendimento a incidentes em vias expressas, através da realocação dos veículos de atendimento afim de reduzir o tempo de resposta dos incidentes. A modelagem proposta é baseada em dados históricos de atendimento aos incidentes que envolvem: horário de ocorrência, equipamento utilizado na remoção, tempo gasto para chegar até o local do atendimento e tempo gasto para retirar o incidente da via. A análise da performance é feita através do percentual de ocupação dos equipamentos de socorro a fim de encontrar onde estão os gargalos do sistema e o que pode ser melhorado para reduzir o tempo de chegada até os incidentes. Como estudo de caso, foram utilizados dados reais de atendimento a incidentes da Avenida Brasil, uma das principais vias expressas da cidade do Rio de Janeiro.

ABSTRACT

This paper presents a methodology which uses computational simulation and capacitated p -median location problem to analyze strategies of response to incidents in expressways, aiming to find a good location for the service vehicles in order to reduce the response time of the incident. The proposed methodology is based on historical incident response data which involve: incident time, the vehicle used for clean the incident, time taken to reach the place of service, and time taken to clean the incident from the road. The performance analysis is done by the percentage of occupation of the service vehicles in order to find where is the bottlenecks of the system and what can be improved to reduce the response time of the incidents. As a case study, real data from Avenida Brasil were used, one of the main expressways in the city of Rio de Janeiro.

1. INTRODUÇÃO

Segundo o Texas Transportation Institute (2015), os congestionamentos implicam em tempo extra necessário para realizar a viagem, gasto adicional de combustível, perda de produtividade e aumento da falta de confiabilidade no tempo de viagem para os motoristas. Neste contexto, estão os congestionamentos não recorrentes.

Um dos principais fatores responsáveis pelo congestionamento não-recorrente é a ocorrência de incidentes em vias urbanas. Assim, entender os processos de detecção e atendimento a incidentes, bem como buscar medidas que possam torná-los mais eficientes, são elementos essenciais para reduzir as consequências geradas por esses problemas.

No caso de vias expressas, os efeitos dos incidentes geralmente são mais graves, pois essas vias são caracterizadas por um grande fluxo de veículos que trafegam em alta velocidade, resultando em acidentes com ferimentos graves ou até mesmo fatalidades, além de causar um extenso congestionamento e grande atraso aos passageiros (Jeong, 2011). Por outro lado, os serviços de atendimento em vias expressas são complexos, pois dependem de diversos parâmetros tais como tamanho da frota, horário da operação, localização dos reboques e área de cobertura (atendimento). Com isso, todos esses elementos influenciam no tempo de resposta e de limpeza do local do incidente.

Reestabelecer a capacidade total da via no menor tempo possível é um dos principais pontos do gerenciamento de incidentes. Sendo assim, identificar e quantificar os fatores que

influenciam no tempo de liberação das vias afetadas por incidentes pode beneficiar o gerenciamento e, conseqüentemente, mitigar o impacto do congestionamento não recorrente (Ma *et al.*, 2017).

Os veículos de socorro compõem uma ferramenta do gerenciamento de incidentes, e são responsáveis por retirar os veículos da via, dar assistência aos agentes no local do incidente e proteger os condutores com veículos enguiçados. Assim, com a finalidade de analisar diferentes políticas de atendimento a incidentes, este trabalho apresenta uma metodologia que emprega um modelo de simulação computacional, agregado ao problema de localização de *p*-medianas capacitado, para analisar estratégias de atendimento a incidentes em vias expressas. Essa metodologia busca uma localização mais adequada para os veículos de atendimento afim de reduzir o tempo de atendimento.

A metodologia proposta foi aplicada na Avenida Brasil, uma via expressa importante da Cidade do Rio de Janeiro. Atualmente, operadores de motocicletas e caminhonetes fazem patrulha nas vias expressas e são responsáveis pela detecção e primeiro atendimento aos incidentes. Além disso, as ocorrências não recorrentes também são detectadas por meio de câmeras distribuídas por toda cidade e de um número de telefone, disponibilizado à população, que permite um contato direto com o centro de operações do município. Após a detecção, um veículo é enviado para realizar o atendimento, que pode ser um reboque ou a própria caminhonete ou motocicleta que estão no patrulhamento, isso depende do tipo de incidente e do veículo envolvido. A análise da performance de cada um dos cenários será feita através do percentual de ocupação desses equipamentos.

A cidade do Rio de Janeiro é a segunda maior metrópole brasileira e tem características geográficas específicas. O centro urbano é deslocado para o leste e no centro geográfico da cidade existe o maciço da Tijuca. Devido a essa configuração, as distâncias percorridas são grandes e existem poucas vias de ligação até o Centro. A Avenida Brasil é o principal corredor expresso da cidade com 58 quilômetros de extensão. As quatro rodovias que dão acesso a cidade (Rio-Santos, Rodovia Presidente Dutra, Rodovia Washington Luiz e Ponte Rio- Niterói) confluem na Avenida Brasil, além disso, ela é a principal ligação entre a Zona Oeste, Zona Norte e o Centro da cidade e o acesso ao Porto do Rio de Janeiro. O fluxo médio diário da via é 210 mil veículos e são realizados, em média, 770 atendimentos a incidentes por mês.

Com isso, dadas as possibilidades de atendimento, o histórico das ocorrências, a extensão da Avenida Brasil e o alto fluxo de veículos, a metodologia proposta permite analisar políticas de atendimento que definem a performance dos diferentes tipos de veículos frequentemente utilizados: motocicletas; caminhonete; reboque leve para veículos de passeio; reboque pesado para ônibus e caminhões; e reboque superpesado para carretas.

O restante deste artigo está dividido em outras cinco seções. A Seção 2 apresenta uma revisão bibliográfica que aborda o gerenciamento de incidentes, destacando o uso de modelos de simulação, bem como as lacunas preenchidas por esta pesquisa. A Seção 3 descreve a metodologia proposta para a definição da melhor estratégia de atendimento a incidentes em vias expressas. A Seção 4 apresenta o estudo de caso com dados reais disponibilizados pela Companhia de Engenharia de Tráfego da cidade do Rio de Janeiro (CET-Rio). A Seção 5

apresenta os resultados obtidos com a metodologia e, por último, a Seção 6 exhibe as considerações finais do trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O HCM (2010) define um incidente como sendo qualquer ocorrência em uma via que impede o fluxo de tráfego normal e divide sua duração em quatro fases: tempo de detecção; tempo de resposta (o tempo entre a detecção do incidente e a chegada da equipe); tempo de liberação do incidente (o tempo entre a chegada da equipe de resposta e a liberação do incidente); e tempo de recuperação (o tempo entre a liberação do incidente e o retorno da via à condição normal).

Segundo Steenbruggen *et al.* (2013), na prática, o gerenciamento de incidentes é na verdade um conjunto de medidas que visa minimizar os efeitos negativos nas condições de segurança e fluxo de tráfego, reduzindo o tempo de liberação da via após um incidente. Além dos ferimentos, das fatalidades e dos custos médicos, o congestionamento, o atraso e a poluição causada por incidentes são um fardo para os viajantes e para o meio ambiente.

Em situações que envolvem incidentes, modelos de simulação podem ser úteis para definir as melhores políticas de atendimento. Pal e Sinha (2002) desenvolveram um modelo de simulação que permite avaliar e aprimorar o programa de patrulhas de serviço em vias expressas. O objetivo principal dos autores foi melhorar o desempenho do sistema em termos do total de horas-veículo no sistema a fim de reduzir o impacto do incidente no fluxo de tráfego. No problema abordado, os veículos de atendimento não possuem bases fixas, são previstas rotas alternativas a serem utilizadas pelos veículos que estão circulando na via expressa em caso de congestionamento e, como medida de desempenho, foi utilizado o tempo médio de duração de um incidente. Os autores concluíram que a operação poderia ser melhorada alterando os parâmetros do sistema como tamanho da frota, horas de operação, área de operação e políticas de despacho.

Ozby e Bartin (2003) utilizaram o *software* de simulação Arena e concentraram os estudos na variação dos tempos de detecção e resposta para cinco diferentes tipos de incidentes que exigem o envolvimento de diferentes entes públicos. Foram utilizadas várias estratégias de implantação de equipes de resposta a emergências e os resultados foram analisados baseando-se no atraso gerado aos veículos.

Wu *et al.* (2014) também utilizaram o *software* Arena para o processo de patrulha que inclui desde a geração de incidentes, o despacho e roteamento de veículos de resposta, até a liberação dos incidentes. Além disso, foi realizada uma análise de sensibilidade mudando a frequência de incidentes, os diferentes distritos envolvidos, diferentes quantidades de veículos de patrulha e diferentes taxas de detecção. O estudo revelou resultados promissores e forneceu uma visão mais ampla sobre o processo de patrulha, bem como uma melhor compreensão do impacto dos parâmetros do sistema de atendimento.

Com outro enfoque, Fries *et al.* (2012) analisaram, por meio de simulação computacional, uma política vigente nos Estados Unidos sobre a limpeza rápida de incidentes. Alguns estados nos Estados Unidos exigem que os condutores envolvidos em incidentes menores retirem o veículo das faixas de tráfego antes da chegada do socorrista, porém não há muitos estudos sobre a eficácia dessa lei. A análise foi feita levando em consideração a diferença de emissão

de gases, de gasto de combustível e de atraso com e sem a implementação dessa política. Os autores concluíram que o custo-benefício dessa lei é positivo.

Este trabalho difere dos demais já publicados na literatura por utilizar um modelo de simulação que permite analisar a eficiência do sistema de atendimento a incidentes, variando os diferentes tipos de reboque, conforme as necessidades dos veículos enguiçados, e a localização desses veículos. Além disso, somada a simulação computacional, utiliza-se o problema de localização p -medianas capacitado para melhor posicionar os equipamentos de resgate, objetivando reduzir o tempo de atendimento.

3. METODOLOGIA PARA AVALIAR ESTRATÉGIAS DE ATENDIMENTO A INCIDENTES EM VIAS EXPRESSAS

A metodologia proposta, exibida na Figura 1, tem como objetivo analisar a situação atual do sistema de gerenciamento a incidentes e realizar uma análise de sensibilidade, por meio da melhor localização dos equipamentos com a resolução do problema matemático de p -medianas capacitado, considerando variações quanto ao tamanho e composição da frota de reboques. A metodologia busca, ao final, indicar a melhor estratégia de atendimento aos incidentes. Para isso, considera-se que os reboques estão posicionados em bases fixas e que são acionados quando um incidente é detectado.

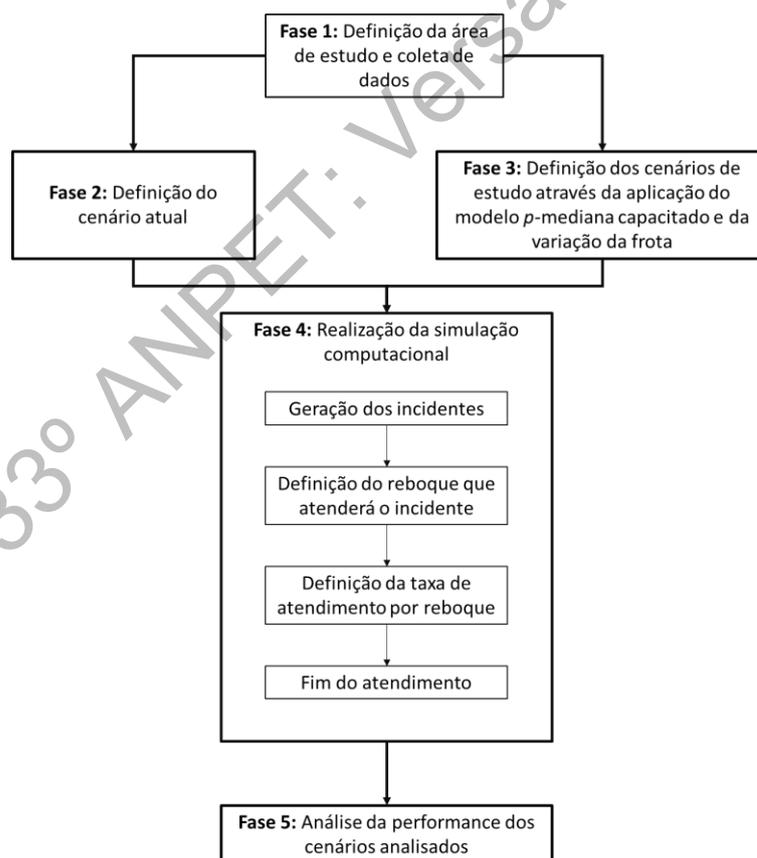


Figura 1: Metodologia proposta

Conforme Figura 1, na Fase 1 deve-se definir as vias que serão analisadas, dividi-las em seções homogêneas e coletar os dados históricos de atendimento aos incidentes. Os dados necessários são: horário de ocorrência dos incidentes, equipamento utilizado na remoção,

tempo gasto para chegar até o local do atendimento, tempo gasto para desobstruir a via e quantidade de equipamentos disponível.

Na Fase 2 deve-se estudar a situação atual de como está ocorrendo a operação de atendimento a incidentes, mantendo a quantidade e a localização dos veículos de socorro. Na Fase 3 define-se avaliar outros cenários a serem estudados que envolvem a localização dos equipamentos de resgate em posições definidas por meio do problema de p -medianas capacitado. Os reboques devem atender o maior número possível de incidentes no menor tempo possível. Portanto, esse problema deve ser utilizado a fim de obter uma melhor distribuição dos equipamentos de resposta buscando minimizar o tempo de atendimento total a incidentes.

O modelo matemático do problema de p -medianas (1) - (6) busca localizações para p seções homogêneas (bases para os veículos de atendimento) que minimiza a soma dos tempos de atendimento entre estas seções e aquelas com incidentes, conforme Função Objetivo (1). No modelo proposto, a via é dividida em $|I|$ seções e os reboques poderão estar localizados em qualquer uma delas. O tempo de atendimento (t_{ij}) considerado no modelo é a soma do tempo de deslocamento do reboque de uma seção $i \in I$ até o local do incidente, ou seja, seção $j \in J$, sendo J o conjunto de seções que apresentam incidentes, somado ao tempo gasto pelo reboque para retirar o incidente da via e, se for o caso, o tempo de retorno do reboque até seu ponto de origem (veja Figura 2). Esse tempo de deslocamento é calculado considerando a distância entre o local do reboque e o local de ocorrência do incidente e velocidade média da via no horário da ocorrência.



Figura 2: Definição do tempo de resposta

As Restrições (2) garantem que toda seção com incidentes deve ser atendida por uma base, as Restrições (3) garantem que a capacidade de cada base será respeitada, sendo $Q_i, i \in I$, a maior quantidade de atendimento possível para cada reboque e $q_{ij}, j \in J$, a quantidade de incidentes por trecho. A Restrição (4) garante que p bases serão selecionadas e, por último, as Restrições (5) e (6) definem o domínio das variáveis de decisão, sendo que y_i , vale 1 se há um reboque localizado no local $i \in I$ e 0 caso contrário. Já x_{ij} vale 1 se o reboque localizado em $i \in I$ atender uma seção $j \in J$ e 0 caso contrário. Os diferentes tipo de reboques são analisados separadamente.

$$\text{Minimizar } \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} t_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i \in I} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in J \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J} q_{ij} x_{ij} \leq Q_i y_i \quad \forall i \in I \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I} y_i = p \quad (4)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (5)$$

$$y_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad (6)$$

A Fase 4 da metodologia proposta considera a simulação computacional da situação atual e dos cenários definidos. Entretanto, é importante definir a taxa de geração de incidentes por seção homogênea, já que eles ocorrem como eventos aleatórios que variam de acordo com a hora do dia, dia da semana e das condições climáticas (em dias chuvosos, a quantidade de incidentes geralmente aumenta).

As taxas de geração de incidentes devem ser analisadas separadamente para cada tipo de reboque existente, pois os incidentes podem envolver diferentes tipos de veículos e necessitar de diferentes tipos de atendimento. Por exemplo, o reboque utilizado para atender uma carreta é diferente daquele utilizado para atender um veículo de passeio.

Essas taxas de geração são baseadas na ocorrência histórica dos incidentes e, tem como dado básico, a diferença entre os horários de início dos incidentes de maneira sequencial no tempo. Por exemplo, se um incidente ocorreu às 6h10, o outro às 8h05 e um terceiro às 9h00, a taxa de ocorrência é função dos tempos decorridos entre os eventos, ou seja, em função de 115 e 55 minutos, respectivamente.

Após a definição da geração de incidentes, faz-se necessário definir como ocorrem os atendimentos. Portanto, além das taxas de geração, deve-se definir também a taxa de atendimento de cada equipamento de socorro.

Após os resultados da simulação computacional, na Fase 5 realiza-se uma análise da performance de cada um dos cenários. Isso pode ser feito levando em consideração o tempo médio de utilização de cada equipamento de socorro ou do percentual de ocupação desses equipamentos. Essa análise permite identificar os gargalos do sistema e o que pode ser realizado afim de reduzir o tempo de atendimento a incidentes. Sendo assim, a próxima seção apresenta uma aplicação da metodologia proposta a um caso real no Rio de Janeiro.

4. ESTUDO DE CASO: AVENIDA BRASIL, RIO DE JANEIRO

Como mencionado na Seção 1, os incidentes em vias expressas na cidade do Rio de Janeiro são atendidos pelos reboques, motocicletas e caminhonetes da CET-Rio, órgão da Prefeitura responsável por planejar, coordenar e controlar a circulação de pedestres e veículos na cidade do Rio de Janeiro.

Dentre todas as principais vias da cidade, optou-se por estudar a Avenida Brasil por se tratar de um importante eixo de ligação entre o Centro, o subúrbio e a zona oeste do município do Rio de Janeiro, que possui 58 quilômetros de extensão e passa por 27 bairros (Cezar, 2012), conforme mostrado no mapa de calor da Figura 3. Esse mapa destaca as principais seções em termos de número de incidentes.

A Avenida Brasil possui, em ambos os sentidos, uma pista central com quatro faixas de rolamento sendo uma exclusiva para ônibus e uma pista lateral com três faixas de rolamento. Após a detecção de um incidente, um veículo é enviado para o atendimento que pode ser um

reboque, ou a caminhonete ou motocicleta que fazem o patrulhamento, isso depende do tipo de incidente e do veículo envolvido. Por exemplo, carretas só podem ser atendidas por reboque superpesado, porém veículos de passeio, se estiverem apenas enguiçados, podem ser empurrados por uma caminhonete rapidamente.

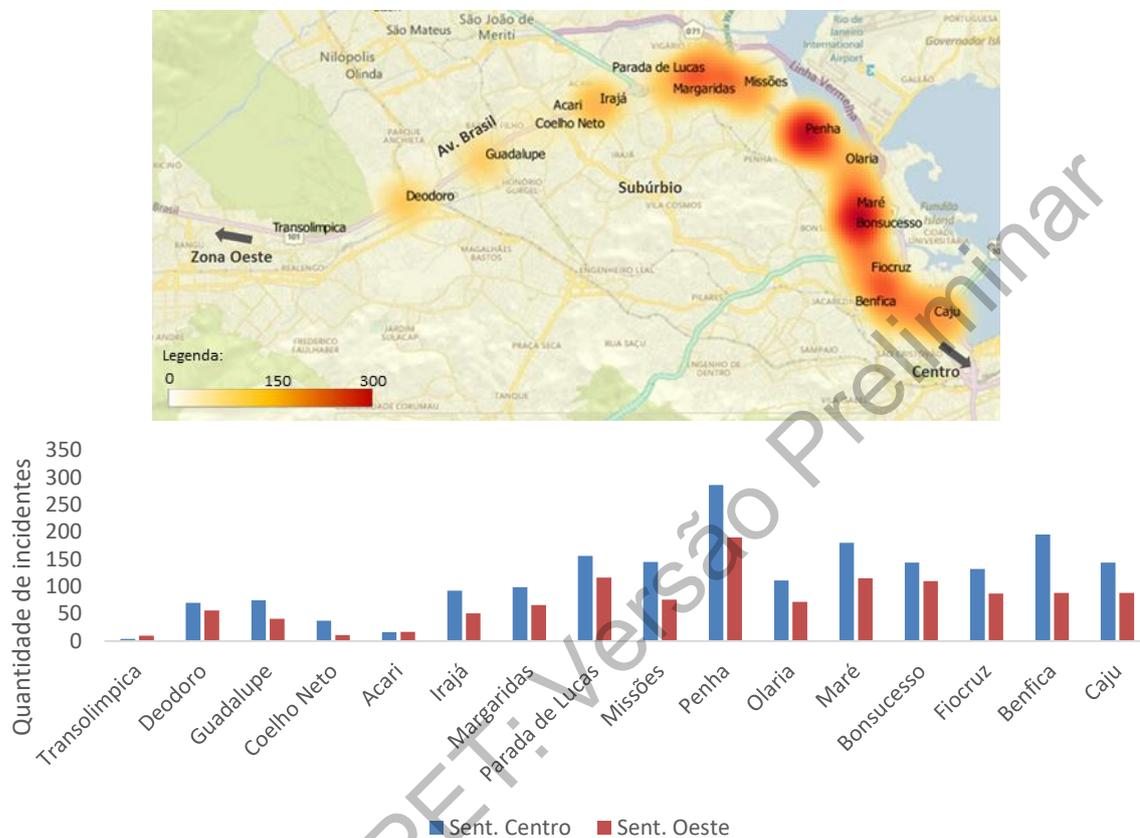


Figura 3: Mapa de calor dos incidentes ocorridos na Avenida Brasil entre março e junho de 2018 e quantidade de incidentes por sentido da via.

Ao todo, 3080 incidentes, ocorridos entre março e junho de 2018, foram considerados para fins de análise que se distribuem por sentido da via expressa, conforme mostra o gráfico da Figura 4. Buscou-se os dados a partir de março pois foi a partir deste mês que os incidentes passaram a ser registrados com mais detalhes, sendo possível representá-los por meio de um mapa.

A Tabela 1 apresenta a distribuição dos tipos de incidentes: enguiço mecânico, acidente, atropelamento, incêndio, abandono, falta de combustível, pneu furado e outros. Destaca-se que 61% dos incidentes são provenientes de enguiços mecânicos e que 9% são relativos a veículos que pararam por apresentarem um pneu furado. Elementos estes que podem estar diretamente relacionados ao estado de conservação dos veículos envolvidos.

Com base nos dados históricos, foi possível verificar que cada veículo de atendimento possui um tempo médio para desobstrução da via diferente, veja Tabela 1. Por exemplo, os reboques, que atendem veículos maiores, levam mais tempo se comparado aos que atendem os veículos de passeio.

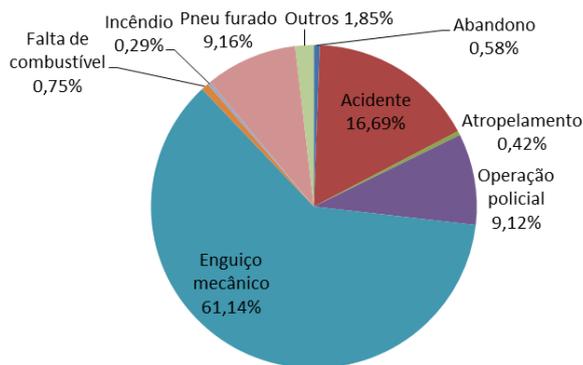


Figura 4: Tipos de incidentes ocorridos na Avenida Brasil entre março e junho de 2018.

Tabela 1: Tempo médio para desobstrução da via por veículo de atendimento.

Veículo de atendimento	Tempo médio para desobstrução da via (minutos)
Reboque leve	21
Reboque pesado	25
Reboque superpesado	34
Caminhonete	15

4.1 Aplicação do modelo de simulação

Para a simulação, considerou-se apenas os incidentes que ocorreram entre segunda e sexta-feira, das 6h às 10h, período de maior fluxo e com o maior número de ocorrências registradas. A taxa de ocorrência de incidentes foi calculada considerando a diferença horária entre o início de cada incidente. Cada tipo de veículo que realiza o atendimento tem uma taxa específica de ocorrência de incidentes, conforme histórico.

O tempo de atendimento ao incidente foi calculado considerando a soma do tempo de chegada do reboque até o local do incidente e do tempo de desobstrução da via (veja Tabela 1). Para cálculo do tempo de deslocamento entre o local do reboque e o local da ocorrência (t_{ij}), foi utilizada a velocidade média na via no horário da ocorrência do incidente e a distância obtidas por meio do *Google Maps*. No caso dos reboques, o tempo de retorno à base foi acrescido no tempo de atendimento. No caso das motocicletas, foi considerada a velocidade média medida pelos equipamentos de rastreamento (36 km/h) para cálculo do tempo de deslocamento.

Para fazer as simulações de atendimento da Avenida Brasil foi utilizado o *software* Arena, dessa forma foi possível analisar qual o tempo de atendimento e a taxa de ocupação de cada equipamento. Para análise dos outros cenários estudados, que envolvem o problema de localização de p -medianas capacitado, o *software* FICO Xpress-IVE 1.24.24 64 bits foi empregado para resolução do modelo matemático com posterior aplicação do *software* Arena para a simulação. Independente do cenário simulado, foram realizadas 50 replicações do modelo de simulação com um período de aquecimento de 30 minutos.

4.2 Cenários simulados

Foram considerados quatro cenários ao todo, que são aqui descritos. O primeiro cenário simulado (Cenário 1) consiste na situação atual que conta os seguintes recursos:

- Quatro motos que fazem o patrulhamento da Avenida Brasil;
- Uma caminhonete que faz o patrulhamento pela Avenida Brasil;

- Três reboques pesados localizados no Trevo das Missões, Olaria e Bonsucesso;
- Um reboque leve baseado em Manguinhos; e
- Um reboque superpesado baseado no Trevo da Linha Amarela.



Figura 5: Comparação entre os dados reais e o cenário simulado

Tabela 2: Custo da operação atual (Cenário 1)

Equipamento	Quantidade	Valor	Total
Caminhonete + motorista	1	26.500,00	26.500,00
Motociclista + operador	4	17.100,00	68.400,00
Reboque leve + motorista	1	35.200,00	35.200,00
Reboque pesado + motorista	3	46.400,00	139.200,00
Reboque superpesado + motorista	1	56.200,00	56.200,00
Total			325.500,00

Esse cenário foi utilizado para validar a simulação, para isso a quantidade de atendimentos realizados por cada reboque pesado, conforme dados históricos, foi comparada com os resultados da simulação. A Figura 5 apresenta o resultado do processo de validação. Percebe-se que, no pior caso, a maior diferença percentual foi de 7,77%. Essa diferença foi observada nos atendimentos realizados pelo reboque localizado em Bonsucesso. Com isso, pode-se validar a simulação, uma vez que os erros obtidos foram pequenos.

Segundo dados disponibilizados pela CET-Rio, o custo da operação mensal do Cenário Atual é de R\$ 325.500,00, incluindo o aluguel dos equipamentos e motoristas, conforme detalhamento apresentado na Tabela 2. Esse custo é fixo e pago mensalmente, ou seja, não é influenciado pela taxa de utilização do equipamento.

No Cenário 2, inicialmente foi realizado um estudo sobre a melhor localização das bases dos reboques pesados, leve e superpesado. O modelo matemático resultante, descrito na Seção 3, foi resolvido com o *software* FICO Xpress-IVE que indicou que os reboques deveriam ser posicionados como segue (veja Figura 6):

- Três reboques pesados localizados no Caju, Olaria e Trevo das Margaridas;
- Um reboque leve baseado em Olaria; e
- Um reboque superpesado baseado no Trevo das Missões.

Ao analisar conjuntamente as Figuras 3 e 6, percebe-se que os reboques foram distribuídos ao longo do trecho mais crítico da Avenida Brasil, ou seja, entre o Caju e o Trevo das Margaridas.



Figura 6: Disposição dos reboques no Cenário 2

Os Cenário 3 e 4 são variações possíveis do Cenário 2, de acordo com os gestores da CET-Rio. O Cenário 3 considera que a frota foi ampliada da seguinte maneira: uma caminhonete e um reboque leve nos mesmos locais definidos para o Cenário 2; e o Cenário 4 consiste no Cenário 3 mas com apenas dois reboques pesados. A Tabela 3 apresenta um resumo da frota considerada em cada cenário.

Tabela 3: Resumo da quantidade de equipamentos por cenário

Veículo de atendimento	Quantidade por cenário			
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Reboque leve	1	1	2	2
Reboque pesado	3	3	3	2
Reboque superpesado	1	1	1	1
Caminhonete	1	1	2	2
Motocicleta	4	4	4	4

5. RESULTADOS E ANÁLISES

A Figura 7 apresenta os resultados obtidos pelo Cenário 1 referente a taxa de utilização de cada um dos veículos de atendimento. Por meio da simulação, observa-se uma alta utilização (82%) da Caminhonete e do Reboque leve (68%). Outro fator observado diz respeito à taxa de utilização mais alta do Reboque Pesado localizado no Trevo das Missões (Reboque Pesado III) em relação aos outros dois. Essa desigualdade entre os três reboques foi confirmada ao analisar os dados reais.

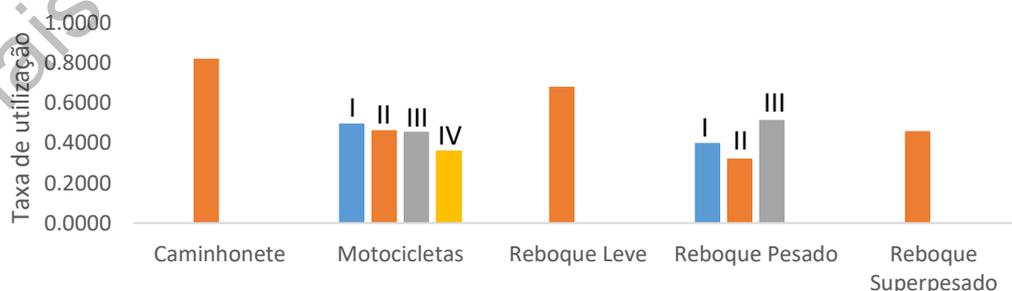


Figura 7: Taxa de utilização da situação atual (Cenário 1)

A simulação do Cenário 2 não apresentou resultados diferentes para Caminhonete e Motocicletas, conseqüentemente foram desconsiderados da análise. Entretanto, ao analisar os

demais veículos de atendimento, observou-se uma melhora significativa na taxa de atendimento dos Reboques Pesados. A Figura 8 apresenta uma comparação detalhada de cada um dos veículos de atendimento, de cada uma das categorias consideradas. Nota-se, entretanto, uma pequena elevação da taxa de atendimento dos Reboques Leves.

Os resultados dos Cenários 3 e 4 mostraram que o aumento de um Reboque Leve e de uma Caminhonete faz com que o atendimento seja melhor distribuído, evitando a sobrecarga em alguns equipamentos específicos. Nos Cenários 1 e 2, a taxa de utilização da Caminhonete foi de aproximadamente 80%, mas ao acrescentar mais uma caminhonete nos Cenários 3 e 4, cada caminhonete teve uma taxa de utilização média que variou entre 50 e 58% (veja Figura 9). Note que as taxas de utilização do Reboque Leve eram de 68 e 72% nos Cenários 1 e 2, respectivamente. Já com o acréscimo de um Reboque Leve nos Cenários 3 e 4, a maior taxa de utilização do Reboque Leve ficou em 53%.

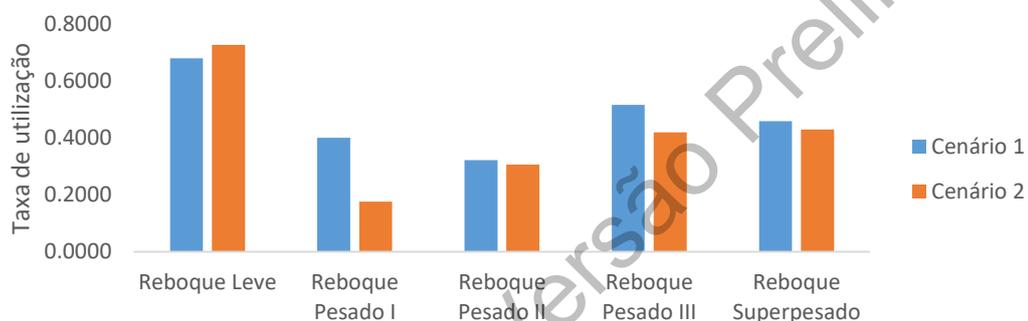


Figura 8: Comparação da taxa de utilização entre os Cenários 1 e 2

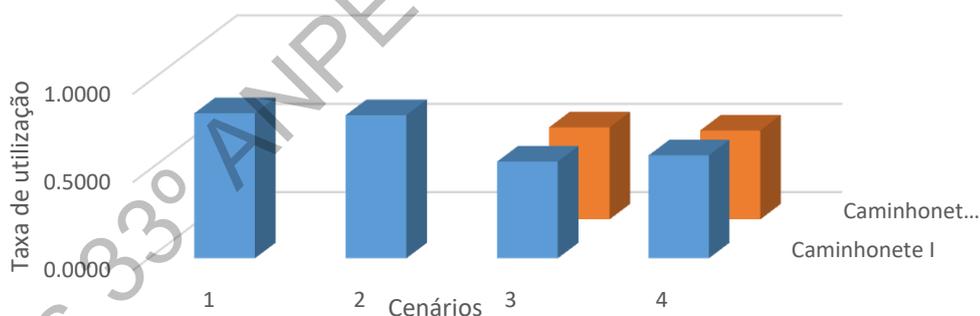


Figura 9: Mudança da taxa de utilização com o acréscimo de uma caminhonete

Os resultados do Cenário 4 mostram que não há problemas para atender a demanda de incidentes com apenas dois reboques pesados, pois a taxa de utilização média dos reboques fica abaixo de 40%. Ao avaliar o custo do aluguel desses equipamentos, de acordo com a Tabela 2, o Cenário 4 gera um acréscimo de apenas 4,7% no valor mensal da operação, porém apresenta uma melhor divisão dos equipamentos, com taxas de utilização menores, significando melhorias na qualidade de vida da população.

6. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Melhorar a estratégia de atendimento a incidentes é uma tarefa importante nas grandes cidades, principalmente em vias que já trabalham próximo à sua capacidade pois, quanto mais

tempo uma via permanecer obstruída, maior a “deseconomia” gerada. Os incidentes são responsáveis pelo aumento dos congestionamentos não recorrente, em consequência disso, pelo aumento da emissão de gases poluentes, redução da confiabilidade no tempo de viagem e aumento da exposição dos passageiros à violência urbana. Com isso, deve-se posicionar adequadamente os equipamentos de resgate.

Quanto mais ágil for o atendimento ao incidente, menor será o impacto negativo causado por ele. Portanto, nesta pesquisa foi proposta uma metodologia que utiliza a simulação computacional e o problema de localização de p -medianas capacitado para analisar a operação de atendimento a incidentes em vias expressas e testar cenários através da realocação dos veículos de atendimento afim de reduzir o tempo de respostas aos incidentes.

A Avenida Brasil foi utilizada como estudo de caso para mostrar a aplicação da metodologia. O último cenário estudado, denominado Cenário 4, mostrou que o aumento de uma caminhonete e de um reboque leve e a redução de um reboque pesado, com um posicionamento adequado desses equipamentos ao longo da Avenida Brasil, gera bons níveis de atendimento com um pequeno aumento dos custos (de apenas 4,7%). Assim, verifica-se que a metodologia apresenta bons resultados, auxiliando adequadamente os tomadores de decisão.

Como estudo futuro, sugere-se que seja incluído no modelo de simulação um esquema de rotas afim de otimizar também a operação de ronda das motocicletas e das caminhonetes. Dessa forma, será possível analisar o sistema de atendimento a incidentes como um todo. Além disso, sugere-se também o estudo de cenários no pico de tráfego do período da tarde e no entre pico, assim será possível prever realocação dos reboques de acordo com a demanda horária e definir melhor os turnos de trabalho de cada equipamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cezar, L. F. O. S. e T. S. S. Sardinha (2012) Avenida Brasil: os caminhos e descaminhos do desenvolvimento, declínio e reestruturação econômica e social da metrópole fluminense. *Trabalho apresentado no Urbicentro #3*. Salvador, BA.
- FHWA (2010) *Traffic Incident Management Handbook Update*. US Department of Transportation, Washington D.C.
- Fries, R.; C. Hamlin; M. Chowdhury; Y. Ma e K. Ozbay (2012) Operational impacts of incident quick clearance legislation: a simulation analysis. *Journal of Advanced Transportation*, v. 46, p. 1–11.
- Jeong, Y.; M. Castro e M. K. J. D. Han (2011) A wavelet-based freeway incident detection algorithm with adapting threshold parameters. *Transportation Research Part C*, v. 19, p. 1 a 19.
- Ma, X.; C. Ding; S. Luan, S; Y. Wang e Y. Wang (2017) Prioritizing Influential Factors for Freeway Incident Clearance Time Prediction Using the Gradient Boosting Decision Trees Method. *IEEE Transactions On Intelligent Transportation Systems*, v. 18, nº. 9, p. 2303- 2310.
- Ozbay, K. e B. Bartin (2003) Incident Management Simulation. *SIMULATION: Transactions of The Society for Modeling and Simulation International*, v. 79, n. 2, p. 69-82.
- Pal, R. e K. C. Sinha (2002) Simulation Model for Evaluating and Improving Effectiveness of Freeway Service Patrol Programs. *Journal of Transportation Engineering*, v. 128, n.4, p.355-365.
- Steenbruggen, J.; M. T. Borzacchiello; P. Nijkamp e H. Scholten (2013) Data from telecommunication networks for incident management: An exploratory review on transport safety and security. *Transport Policy*, v. 28, p. 86–102.
- Texas Transportation Institute (2015) *Urban mobility Scorecard 2015*. The Texas A&M Transportation Institute and INRIX, Texas, USA.
- TRB (2010) *Highway Capacity Manual 2010*. Transportation Research Board. Washington, D.C.
- Wu, W.; L. Shen; X. Ji e W. Jin (2014) Analysis of freeway service patrol with discrete event-based simulation. *Simulation Modelling Practice and Theory*, v. 47, p. 141–151.