

DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA PARA DETECÇÃO DE
INCIDENTES EM UM TÚNEL URBANO CONGESTIONADO

Marina Leite de Barros Baltar

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Transportes.

Orientador: Paulo Cezar Martins Ribeiro

Rio de Janeiro

Março de 2014

DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA PARA DETECÇÃO DE
INCIDENTES EM UM TÚNEL URBANO CONGESTIONADO

Marina Leite de Barros Baltar

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA
(COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE
EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES.

Examinada por:

Prof. Paulo Cezar Martins Ribeiro, Ph.D.

Prof. Carlos David Nassi, Dr. Ing.

Prof. Felipe Maia Galvão França, Ph.D.

Prof. Walber Paschoal da Silva, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

MARÇO DE 2014

Baltar, Marina Leite de Barros

Desenvolvimento De Uma Metodologia Para Detecção De Incidentes Em Um Túnel Urbano Congestionado/ Marina Leite de Barros Baltar. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2014.

XII, 71 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Paulo Cezar Martins Ribeiro

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Transportes, 2014.

Referências Bibliográficas: p. 69-71.

1. Sistema de detecção automática de incidente. 2. Túnel urbano. 3. Congestionamento. I. Ribeiro, Paulo Cezar Martins. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Transportes. III. Título.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer meu orientador, Paulo Cezar Martins, por aceitar abraçar meu tema e ter todo o cuidado de escutar todas as metodologias testadas, além de aguentar minhas crises quando algumas não davam certo. Ao Professor Sergio Luiz Morais Magalhães que me ensinou a gostar de Transportes e foi o principal incentivador do meu mestrado.

Aos meus pais e irmã, que entenderam minha mudança e a importância do meu mestrado para os meus planos. Ao Bruno Reginatto que me ajudou nas dúvidas de Excel e ao André Avelino, que mesmo sem entender nada de tráfego, se propôs a aprender o que era headway, ondas de choque e ler diversas vezes minha dissertação, além de ajudar a coletar dados e acompanhar fechamentos do túnel.

Aos meus colegas de mestrado, Luiz, Matheus, Victor e Solange que fizeram meus primeiros meses no Rio de Janeiro serem bem mais fáceis. Um agradecimento especial ao Thiago Figueira que me apoiou desde a inscrição e teve o cuidado de ler minha dissertação nos momentos de insegurança.

Ao Ruy Moreira que sem saber muito sobre minha dissertação me ajudou disponibilizando dados sobre o Túnel Rebouças, a sala de rádio e seu conhecimento pessoal. A todos que ficaram no Túnel gravando os vídeos que eu precisava e me acolhendo como parte da equipe.

Ao Joaquim Dinis que me liberou quando necessário e sempre me incentivou no término da minha dissertação. Além do Luiz Gustavo que me emprestou um computador antigo quando eu não tinha mais esperanças de conseguir rodar alguns vídeos.

Aos professores Carlos Nassi, Felipe França e Walber Paschoal por participarem da banca examinadora disponibilizando tempo e conhecimento para contribuir com a dissertação.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA PARA DETECÇÃO DE INCIDENTES EM UM TÚNEL URBANO CONGESTIONADO

Marina Leite de Barros Baltar

Março/2014

Orientador: Paulo Cezar Martins Ribeiro

Programa: Engenharia de Transportes

Esta dissertação tem como objetivo desenvolver um método que elimine os alarmes falsos, resultantes de paradas por congestionamento, nos sistemas de detecção automática de incidentes instalados em túneis urbanos com grande fluxo. Além das modificações dos parâmetros de fluxo de tráfego, esse método levou em consideração o conceito de ondas de choque com a finalidade de prever o momento que essa onda atingirá um próximo ponto no túnel, fazendo com que o sistema diferencie quando as modificações bruscas na velocidade, densidade e fluxo ocorrem devido a um incidente ou como consequência de uma parada por congestionamento apenas. Após o desenvolvimento dessa metodologia, foi realizado um estudo de caso no Túnel Rebouças, localizado na Cidade do Rio de Janeiro, onde há instalado um sistema de detecção automática de incidente que gera diversos alarmes falsos no horário de pico. Como resultado, observou-se que é possível reduzir a taxa de alarmes falsos a partir da previsão das ondas de choque que atingem as galerias do túnel, já que foi feito um comparativo do tempo calculado para que a onda de choque atinja a câmera na saída do túnel e o momento que as modificações dos parâmetros de tráfego realmente ocorreram.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR THE DETECTIONS OF
INCIDENTS IN A JAMMED URBAN TUNNEL

Marina Leite de Barros Baltar

March/2014

Advisor: Paulo Cezar Martins Ribeiro

Department: Transportation Engineering

The present work has the objective to develop a method capable of eliminating the large number of false alarms, resulted of system stopping due to jamming, on the automatic incidents detection systems installed in urban tunnels with large traffic flow. In addition to the modifications in the traffic flow parameters, this method took in consideration the concept of shocks wave with the goal of predicting the moment when this wave will reach an other point in the tunnel, making the system capable of identifying when the sudden changes in speed, density and flow are the consequence of an incident or simply the result a jamming. After developing the methodology, a case study was conducted in the tunnel Rebouças, in Rio de Janeiro city, where there is an automatic detection system that generates a large number of false alarms during rush hours. With the suggested methodology, it was observed that it is possible to lower the number of false alarms by predicting the shock waves that hit the tunnel galleries, since there has been done a comparison of the time it takes for the wave to reach a camera in the end of the tunnel and the moment that the modifications in the traffic parameters really occurred.

Sumário

Capítulo 1 Introdução	1
1.1 Objetivo	3
1.2 Justificativa e relevância.....	5
1.3 Metodologia da pesquisa	8
1.4 Estrutura do trabalho	8
Capítulo 2 Revisão Bibliográfica	10
2.1 Incidente	11
2.2 Capacidade	13
2.3 Parâmetros de tráfego	13
2.3.1 Volume e fluxo de tráfego	14
2.3.2 Velocidade	14
2.3.3 Densidade	15
2.3.4 Headway e espaçamento.....	15
2.4 Diagramas fundamentais	16
2.5 Ondas de choque.....	17
2.6 Sistemas inteligentes de transporte.....	21
2.7 Gerenciamento do tráfego urbano	23
2.8 Gerenciamento de incidentes.....	25
2.9 Sistema de detecção automática de incidentes	27
2.10 Gerenciamento de incidentes em túneis	29
2.11 Situação atual do Túnel Rebouças.....	30
2.12 Conclusões do capítulo.....	35
Capítulo 3 Sistemas de detecção automática de incidentes.....	36
3.1 Sistemas de detecção automática de incidentes desenvolvidos para vias expressas 37	
3.1.1 Sistemas de detecção automática de incidentes desenvolvidos para vias expressas urbanas	40
3.2 Sistemas de detecção automática de incidentes desenvolvidos para vias urbanas arteriais.....	42
3.3 Sistemas de detecção automática de incidentes desenvolvidos para tuneis	44
3.4 Conclusões do capítulo.....	46
Capítulo 4 Metodologia desenvolvida.....	47
4.1 Cálculo de previsão das ondas de choque	48
4.2 Algoritmo desenvolvido	51
4.3 Conclusões do capítulo.....	54
Capítulo 5 Estudo de caso	55
5.1 Conclusões do capítulo.....	63

Capítulo 6 Conclusões e recomendações	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

Lista de Figuras

- Figura 2.1:** Duração do incidente
- Figura 2.2:** Relação da velocidade com a densidade
- Figura 2.3:** Relação do fluxo com a densidade
- Figura 2.4:** Relação do fluxo com a velocidade
- Figura 2.5:** Curvas teóricas em situação de congestionamento
- Figura 2.6:** Variáveis para cálculo da velocidade da onda de choque
- Figura 2.7:** Formação da onda de tráfego
- Figura 2.8:** Recuperação do tráfego
- Figura 2.9:** Relação fluxo e velocidade com uma onda de choque
- Figura 2.10:** Áreas de aplicação do ITS
- Figura 2.11:** Fases de um gerenciamento de incidentes
- Figura 2.12:** Gestão de incidentes
- Figura 2.13:** Princípio da detecção de incidente
- Figura 2.14:** Características do tráfego durante um incidente
- Figura 2.15:** Fluxo veicular Túnel Rebouças
- Figura 2.16:** Centro de controle do Túnel Rebouças
- Figura 2.17:** Painel do tipo X e ↓
- Figura 3.1:** Variação dos gráficos quando um incidente ocorre.
- Figura 3.2:** Variação da velocidade durante o dia
- Figura 3.3:** Pacote de trabalho e responsabilidade de cada um.
- Figura 4.1:** Esquema para cálculo da onda de choque
- Figura 4.2:** Relação entre o fluxo e a densidade
- Figura 4.3:** Velocidade da onda de tráfego
- Figura 4.4:** Local dos detectores
- Figura 4.5:** Algoritmo desenvolvido
- Figura 5.1:** Esquema do Túnel Rebouças
- Figura 5.2:** Câmeras da CET-Rio utilizadas
- Figura 5.3:** Área de cálculo da densidade
- Figura 5.4:** Linha simples seccionada
- Figura 5.5:** Coleta de dados
- Figura 5.6:** Média do fluxo e densidade
- Figura 5.7:** Tempo calculado para onda de choque atingir B

Figura 5.8: Velocidade do Ponto B

Figura 5.9: Tempo calculado para onda de choque atingir outros pontos no Túnel

Lista de Tabelas

Tabela 1.1: Capacidade das vias quando ocorre um incidente.

Tabela 2.1: Relação entre capacidade e velocidade da via

Tabela 2.2: Planilha anual de atendimentos no Túnel Rebouças

Tabela 5.1: Relação entre a velocidade da onda de choque e o tempo que ela atingirá determinados pontos na via

Lista de Siglas

AID: Detecção automática de incidentes

ANTP: Agência Nacional de Transportes

CBMERJ: Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro

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

FHWA: Federal Highway Administration

HCM: Highway Capacity Manual

IPEA: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

ITS: Sistemas Inteligentes de Transporte

SMTR: Secretaria Municipal de Transportes

Capítulo 1

Introdução

O aumento do número de automóveis devido ao incentivo fiscal dado pelo governo, os demais meios de transporte e pedestres geram uma acentuada disputa por espaço geográfico nos grandes centros urbanos. O emprego dos sistemas inteligentes de transporte (ITS – *Intelligent transportation system*) para o gerenciamento do tráfego se tornam imprescindíveis para otimizar a utilização da rede viária existente e reduzir esse conflito.

Esses sistemas são representados por uma aliança entre a telecomunicação, a tecnologia da informação e a eletrônica. Tendo como principal objetivo uma utilização mais racional da infraestrutura viária, abrangem desde o gerenciamento de tráfego até os sistemas avançados de informações.

Fazem parte dos ITS, tecnologias utilizadas com a finalidade de racionalizar a ocupação da rede viária, diminuir o nível de poluição e reduzir os congestionamentos do tráfego. Sua utilização traz benefícios tanto nos casos de vias urbanas como em rodovias.

Na questão específica do gerenciamento de tráfego, os ITS têm um amplo aproveitamento, envolvendo desde o controle de tráfego por meio de semáforos controlados em tempo real, informações aos usuários que ainda não iniciaram viagens e aos que já estão nela. Assim, contribuem para a redução de poluição.

Os sistemas de gerenciamento de incidentes são umas das principais ferramentas dos sistemas de gerenciamento de tráfego, já que os incidentes são responsáveis por grande parte dos congestionamentos e dos acidentes secundários. Portanto, quanto menor o tempo de detecção, resposta e atendimento, menor serão os atrasos e custos impostos à população. Para esse gerenciamento ser eficaz, entretanto, é necessário um completo entendimento das várias propriedades de um incidente, entre elas o tempo de resposta e a duração do atendimento. Tal entendimento é indispensável para estimar com precisão a duração de incidentes e para beneficiar tomadas de decisão a fim de reduzir o impacto dos congestionamentos recorrentes devido a incidentes não relevantes (Ruiminet *al.*, 2010).

Lou *et al.* (2011) afirmam que, na prática, para aliviar os congestionamentos causados por incidentes, é necessária a detecção, resposta e remoção dos mesmos com o objetivo de restabelecer a capacidade das vias da forma mais segura e rápida possível.

No caso de vias expressas, em especial, os efeitos dos incidentes geralmente são mais graves, já que essas vias são caracterizadas por um grande fluxo de veículos, que trafegam em alta velocidade, resultando geralmente em incidentes com ferimentos graves ou até mesmo fatalidades, além de causar um extenso congestionamento de tráfego e grande atraso (JEONG *et al.*, 2011).

Especificamente nos túneis, o gerenciamento tem como objetivo detectar situações anormais e avisar rapidamente os trabalhadores e usuários sobre a situação, fornecer proteção e facilitar a evacuação dos usuários e o acesso das equipes de resgate.

Nesses casos a detecção deve ser mais bem planejada já que ela impõe condições de condução única. Devido à característica própria dos túneis, os usuários estão confinados em um ambiente fechado, escuro e monótono. A capacidade de se evadir é limitada se comparada com uma estrada aberta e o usuário deve estar muito atento para evitar batidas nas paredes do túnel (VASHITZ *et al.*, 2008).

Apesar das pesquisas já existentes nos países desenvolvidos, o Brasil ainda se encontra em um estágio inicial na implantação de ITS. Nas principais metrópoles brasileiras, Rio de Janeiro, São Paulo, Brasília, Curitiba, Fortaleza e Recife, os sistemas inteligentes são utilizados principalmente no controle semafórico e para informação aos usuários, por meio de painéis de mensagens variáveis. No caso do gerenciamento de incidentes, apenas São Paulo e Rio de Janeiro possuem sistemas implantados para detecção automática, utilizando circuitos fechados de televisão.

Este trabalho foca na detecção automática de incidentes em túneis urbanos congestionados. Segundo Zhang *et al.*(2011), a detecção baseia-se principalmente na comparação entre os parâmetros de tráfego, antes e depois dos incidentes acontecerem e já são amplamente utilizados. Entretanto, Thomas e Berkum (2009) afirmam que detectar esses incidentes não é fácil, já que os incidentes não são frequentes e nunca iguais.

1.1 Objetivo

Esta dissertação tem como objetivo desenvolver um método que elimine o grande número de alarmes falsos, resultantes de paradas por congestionamento nos sistemas de detecção de incidentes instalados em túneis urbanos congestionados. Essa ferramenta busca, por meio da revisão bibliográfica realizada e de conceitos retirados da teoria de

fluxo de tráfego, uma maneira de detectar de forma mais eficiente os incidentes em túneis urbanos congestionados, reduzindo as consequências por ele causadas.

Segundo Lu *et al.*(2012),a maioria dos sistemas de gerenciamento de incidentes são algoritmos que usam dados coletados a partir de sensores instalados nas estradas afim de detectar uma situação anormal. Eles recebem periodicamente informações em tempo real de medidas como a velocidade, volume e ocupação para avaliar o estado de tráfego, além de decidirem se um incidente aconteceu ou não de acordo com algum algoritmo AID (*Advanced Incident Detection*). Se detectarem a presença de um problema, os alarmes serão acionados, propondo recomendações sobre como resolver ou reduzir as consequências.

Como objeto de estudo, foram escolhidas as vias congestionadas, pois os parâmetros de tráfego sofrem modificações bruscas quando o tráfego sofre interrupções frequentes, ou seja, não têm fluidez. Isso ocorre não apenas devido a incidentes, mas também devido a filas e congestionamentos, ocasionando um grande número de alarmes falsos nos AID que trabalham somente com essa visão.

Pretende-se com esse método ter um sistema mais confiável, buscando, assim, soluções mais eficientes nos casos dos incidentes em túneis urbanos congestionados, reduzindo os atrasos, a deseconomia e o tamanho das filas causadas por eles. Além disso, por meio de um gerenciamento correto, a previsão dos tempos de viagem pode ser realizada de forma mais precisa, mesmo com situações inesperadas.

O método proposto trabalha com o conceito de ondas de choque e pretende prever os momentos em que ocorrerão modificações bruscas nos parâmetros de tráfego sem ter ocorrido um incidente no trecho em questão.

Será estudado em especial o caso do Túnel Rebouças, que é uma via expressa, principal ligação entre a Zona Norte e a Zona Sul da Cidade do Rio de Janeiro, que já tem um sistema de detecção automática de incidente implantado, mas que gera um alto número de alarmes falsos nos horários de pico por trabalhar apenas com os parâmetros de tráfego que não conseguem distinguir as instabilidades naturais no tráfego de um incidente.

Para esse estudo, foram utilizadas imagens de duas câmeras da CET-Rio localizadas no Viaduto Engenheiro Freyssinet, que liga o Túnel às principais vias da Zona Norte.

1.2 Justificativa e relevância

Segundo Coelho (2009), um sistema de transporte eficiente é um dos pilares de sustentabilidade das cidades modernas. Qualquer deficiência desse sistema prejudica diretamente as atividades exercidas nas cidades.

Essas deficiências agravam os crescentes congestionamentos de tráfego urbano, o que reduz a qualidade de vida dos seus habitantes, que sofrem com as deseconomias geradas. Essas deseconomias envolvem o aumento do tempo gasto nos deslocamentos, aumento de acidentes, poluição do ar, maior gasto com combustível e maior desgaste para a população.

Existem dois tipos de congestionamento, o recorrente e o não recorrente. O primeiro é consequência da capacidade insuficiente das vias de tráfego e ocorrem com frequência, já o segundo é devido a incidentes na via.

Se um incidente não for detectado e atendido o mais rápido possível, ele aumenta os atrasos no trânsito e reduz a capacidade das vias, além de aumentar os acidentes secundários, já que o primeiro incidente pode causar distração e filas, facilitando a ocorrência de um segundo. Portanto, os AIDs desempenham um papel fundamental na gestão de tráfego. O algoritmo detecta a ocorrência de incidentes pelo processamento dos dados relacionados aos parâmetros de tráfego, como fluxo de tráfego, velocidade média e taxa de ocupação (CHEN *et al.*, 2010).

A perda e a influência causada por incidentes no trânsito são proporcionais ao tempo em que o incidente permanece na via dificultando a circulação. A detecção precoce nesses casos é vital para a formulação de uma estratégia de resposta eficaz e os benefícios a serem derivados de uma detecção de incidentes precoce e a consequente resposta rápida podem reduzir drasticamente atrasos no trânsito, melhorar a segurança rodoviária e otimizar o controle de tráfego em tempo real (YUAN & CHEU, 2003 *apud* LU *et al.*, 2012).

A deseconomia gerada por esses congestionamentos são enormes, segundo um estudo do IPEA e ANTP (1998) realizado em 1997 em dez cidades brasileiras. Os custos decorrentes dos congestionamentos correspondiam a aproximadamente 500 milhões de reais por ano em valores da época. Desses custos, os mais representativos decorriam do desperdício de tempo dos usuários de automóveis (cerca de 240 milhões de horas/ano

nos congestionamentos), do consumo adicional de gasolina (200 milhões de litros/ano a mais) e de diesel (4 milhões de litros/ano a mais) e, conseqüentemente, da poluição atmosférica adicional acima dos níveis permitidos (123 mil toneladas/ano de monóxido de carbono, pelos automóveis e 726 mil toneladas/ano, pelos ônibus).

Nota-se que a aferição dos componentes básicos do congestionamento urbano pode ser feita por meio da medição de suas externalidades: aumento de tempo de viagem, aumento de 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 originados pelos congestionamentos.

Com base nas análises estatísticas feitas na China, Wang *et al.* (2005) mostraram algumas características sobre incidentes:

- Entre 20 a 50% de todos os incidentes de tráfego são decorrentes de outro incidente, chamado de incidente primário;
- Mais de 50% dos acidentes secundários acontecem até dez minutos após o primeiro. Se o acidente primário for detectado imediatamente e informado aos condutores que estão na via, é possível evitar um grande número de acidentes secundários;
- Em vias urbanas, o congestionamento de tráfego devido a incidentes corresponde a aproximadamente 20% do congestionamento total. Além disso, esses congestionamentos gastam mais tempo para serem vencidos.

A FHWA (2010) também fez um levantamento de dados nos Estados Unidos, considerando variáveis diferentes, relacionadas a incidentes primários e secundários:

- Estimativas mostram que incidentes são responsáveis por mais de 50% dos atrasos ocorridos em todas as áreas urbanas. Sendo que 25% são causados por colisões, veículos enguiçados, detritos na estrada e carga derramada. Já as zonas de trabalhos ou intervenções de obras e manutenção correspondem a 10% e os 15% restantes referem-se às condições climáticas adversas;

- Incidentes secundários são responsáveis por 18% do total de fatalidades em vias expressas;
- Entre 1997 e 2006, 17% das mortes acidentais no trânsito são resultados de colisões de trânsito e das consequências de bloqueios nas vias.

Outro importante exemplo das consequências de incidentes foi demonstrado em um levantamento feito por Knoop *et al.* (2009). Ele demonstrou que em vias expressas de três faixas quando o incidente foi removido para o acostamento, a via trabalha com uma média de 75,6% da capacidade. Por sua vez, quando há 3 faixas de tráfego e uma é obstruída, a capacidade média cai para 44% e, quando duas são obstruídas, a via fica com apenas 20% da sua capacidade (Tabela 1.1).

Tabela 1.1: Redução de capacidade em vias expressas de três faixas devido a um incidente (%)

Pesquisadores	Acostamento bloqueado	1 faixa bloqueada	2 faixas bloqueadas
Goolsby (1971)	0.67	0.50	0.21
Blumentritt <i>et al.</i> (1981)	0.84	0.53	0.22
Transportation Research Board (2000)	0.83	0.49	0.17
Schrijver <i>et al.</i> (2006)	0.77	0.351	0.17
Dutch Road Authority (2007b)	-	0.36	0.17
Smith <i>et al.</i> (2003)	-	0.37	0.27
Van Toorenburg & Nijenhuis (2007)	0.67	0.50	0.21

FONTE: Knoop *et al.* (2009)

No caso de túneis, principalmente, esse gerenciamento de incidentes deve ser muito bem planejado, pois são áreas que têm como característica a dificuldade para acesso das equipes de resgate e para a evacuação das pessoas. Quando o túnel já se encontra congestionado, o problema é agravado, pois as consequências dos incidentes são vistas mais rapidamente devido ao grande fluxo afetado com a redução da capacidade.

O Túnel Rebouças, onde será realizado o estudo de caso, atualmente opera próximo ao regime de saturação, com um volume médio de 190 mil veículos/dia, com três faixas por sentido, e as consequências de um incidente em seu interior impactam no fluxo de várias vias importantes da cidade.

1.3 Metodologia da pesquisa

Nesta pesquisa, foi desenvolvido um método para tornar mais eficaz a detecção de incidentes em túneis urbanos já congestionados com a finalidade de eliminar os alarmes falsos resultantes de paradas por congestionamento. Dessa forma, se fez necessária à realização de uma revisão bibliográfica para observar os sistemas de detecção de incidentes atualmente em operação.

Foi dado destaque às pesquisas mais recentes, visto que os sistemas inteligentes de transporte estão em constante evolução. Os estudos analisados têm como objetivo buscar formas de detectar rapidamente os incidentes com o menor número de alarmes falsos e sua validação é feita sempre comparando o método desenvolvido com algum outro já existente.

Neste caso, o método desenvolvido nesta pesquisa utilizou como base os dados coletados e a revisão bibliográfica realizada, observando o que vem sendo pesquisado sobre detecção automática de incidentes em vias expressas e túneis urbanos.

Atualmente há diversos pesquisadores propondo e testando algoritmos com essa finalidade que, segundo Chen (2010), inclui: o reconhecimento de padrões de tráfego, técnicas estatísticas e, mais recentemente, inteligência artificial e processamento de imagens. O método desenvolvido busca somar aos métodos existentes o fato da via estar congestionada, melhorando, assim, a resposta dos sistemas já implantados.

1.4 Estrutura do trabalho

O primeiro capítulo desta dissertação faz uma breve introdução sobre sistemas inteligentes de transporte e detecção automática de incidentes. Explanando de forma simplificada também o objetivo do método desenvolvido e a metodologia que será utilizada, além de justificar a relevância desta pesquisa.

Já no segundo capítulo, foi feita uma revisão bibliográfica, mostrando os principais conceitos que foram utilizados para o desenvolvimento do método, tais como: incidentes, parâmetros de tráfego e onda de choque.

No terceiro capítulo, foi realizado o levantamento do estado da arte com a finalidade de saber o que vem sendo desenvolvido na área de detecção automática de incidentes em

vias expressas e em túneis urbanos. As pesquisas selecionadas foram publicadas em forma de artigos em revistas internacionais especializadas.

No quarto capítulo, é apresentada a metodologia desenvolvida com a finalidade de tornar mais eficaz a detecção automática de incidentes em túneis urbanos congestionados, na qual foram utilizados os conceitos de onda de tráfego e capacidade a fim de eliminar os alarmes falsos gerados devido às paradas por congestionamento.

O quinto capítulo mostra o estudo de caso utilizado para testar a metodologia desenvolvida. O Túnel Rebouças foi utilizado como exemplo, já que a via trabalha praticamente em regime de saturação e atualmente possui um sistema de detecção de incidente que produz muitos alarmes falsos, devido a problemas externos.

Por fim, no sexto capítulo, são apresentadas as conclusões e as recomendações.

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica

O método proposto nesta dissertação busca eliminar o grande número de alarmes falsos resultantes de paradas por congestionamento nos sistemas de detecção de incidentes instalados em túneis urbanos congestionados, utilizando o conceito de onda de choque.

Diante disso, para o desenvolvimento da metodologia proposta, foi realizada uma revisão bibliográfica, buscando definir conceitos-chaves desta pesquisa, como incidentes, parâmetros de fluxo de tráfego, ondas de choque e sistema de detecção automática de incidentes.

2.1 Incidente

O HCM (2010) define um incidente como sendo qualquer ocorrência em uma via que impede o fluxo de tráfego normal.

Mais detalhadamente, a FHWA (2010) define incidente como qualquer acontecimento não recorrente que causa redução na capacidade da rodovia ou aumento anormal da demanda. Esses eventos incluem acidentes, veículos avariados, carga derramada, manutenção e reconstrução da via e eventos especiais de caráter não emergenciais.

Coelho (2009) afirma que incidentes reduzem a capacidade das vias em absorver o fluxo passante e produzem congestionamento em função da demanda e da oferta, ou seja, a consequência devido aos incidentes depende do volume de fluxo naquele determinado horário. Portanto, principalmente nos períodos de pico, onde a demanda por viagens é maior, essas consequências são observadas mais rapidamente.

Os incidentes são divididos em duas categorias. A primeira delas é quando uma ou mais faixas de tráfego ficam bloqueadas. A outra é quando um veículo sofre uma pane e o acostamento é utilizado para a realização dos reparos necessários, deixando livre todas as faixas de tráfego.

Reestabelecer a capacidade total da via em 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 baseados em sua experiência e no reconhecimento das características do incidente (a natureza, se houve fatalidade, número de veículos envolvidos). A confiança nessas estimativas ainda é desconhecida e depende em larga escala da habilidade do operador.

De acordo com o mesmo autor, a duração do incidente é o tempo decorrido entre o início do incidente até a retirada de todas as evidências do acontecimento. O que consiste de três estágios: tempo de verificação, tempo de resposta e tempo de limpeza (Figura 2.1). A verificação 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 limpeza é o tempo entre a chegada das equipes responsáveis e do restabelecimento da capacidade.

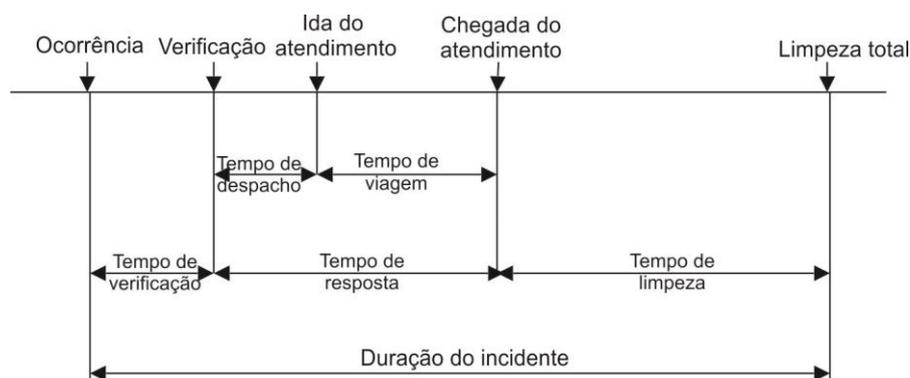


Figura 2.1: Duração do incidente

FONTE: Valenti *et al.* (2010)

Os incidentes de tráfego são um dos maiores contribuintes para o aumento do congestionamento. O National Traffic Incident Management Coalition (NTIMC) estima que os incidentes causem $\frac{1}{4}$ 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 relacionado a incidentes, economizando 143,3 milhões de horas e 3,06 milhões de dólares (FHWA, 2010).

Resumidamente, Zheng *et al.* (2011) afirmam que os incidentes contribuem significativamente para os atrasos e gastos no trânsito e sua detecção e limpeza feitas de

forma rápida são meios mais efetivos de reduzir os impactos desses eventos não recorrentes.

2.2 Capacidade

A capacidade, segundo o HCM (2010), é o maior número de veículos que passam em determinado ponto da via em certo período de tempo.

Em outras palavras, Immers & Logghe (2002) afirmam que a capacidade de uma via é igual à vazão máxima de veículos que ela suporta. Esse fluxo pode ser relacionado também com uma velocidade e uma densidade, já que os parâmetros de tráfego se relacionam entre si.

Diversos fatores, entretanto, influenciam na capacidade da via, como as condições da via e as condições de controle. Segundo o HCM (2010), a capacidade máxima de uma faixa de uma via expressa está diretamente ligada à velocidade, conforme pode ser observado na Tabela 2.1.

Tabela 2.1: Relação entre capacidade e velocidade da via

Velocidade com fluxo livre (km/h)	Fluxo máximo (ucp/h/faixa)
110 ou mais	2400
100	2350
95	2300
90	2250

FONTE: HCM (2010)

2.3 Parâmetros de tráfego

Os parâmetros de tráfego são variáveis utilizadas para descrever o tráfego em qualquer via. Segundo o HCM (2010), o volume, o fluxo de tráfego e a velocidade são parâmetros comuns para os fluxos interrompidos e os ininterruptos, já a densidade se utiliza apenas nos ininterruptos. Parâmetros como espaçamento e intervalo são relativos ao fluxo livre, porém são utilizados nos dois tipos de fluxo.

Todos os parâmetros estão relacionados entre si. A relação entre a velocidade, o fluxo e a densidade são a base para definição da capacidade de uma via.

2.3.1 Volume e fluxo de tráfego

Segundo o HCM (2010), esses dois parâmetros quantificam a volume de tráfego que passa em um determinado ponto em uma faixa ou rodovia em certo intervalo de tempo.

O volume é o número total de veículos que passa em determinada seção de uma via ou rodovia durante um dado intervalo de tempo. Ele pode ser expresso em ano, dia, hora ou períodos menores.

Segundo Santos (2007), o fluxo de trafego é expresso normalmente em veículos por hora (veíc/h) e é dado pela relação entre o número de veículos que trafegam por uma determinada seção de via e pelo intervalo de tempo durante o qual foi observada essa passagem. Para uniformização de valores comparáveis entre si, o fluxo de tráfego pode ser expresso em unidades de carros de passeio por hora (ucp/h).

Apesar de o fluxo ser uma grandeza representativa de uma hora, ele sofre variações nesse período. O HCM (2010) usa o fator de pico da hora (FHP) para medir a flutuação do fluxo de tráfego (Equação 2.1).

$$FHP = \frac{\text{volumehorário}}{4 \times \text{volume pico (15 min)}} \quad (2.1)$$

Quanto menor o valor do PHF maior é a variação do fluxo. Nas áreas urbanas, esse valor varia entre 0,80 e 0,98.

Esses dois parâmetros quantificam a demanda em determinada via, porém congestionamentos podem influenciar na demanda, pois volume em alguns momentos reflete a capacidade.

2.3.2 Velocidade

Segundo o HCM (2010), velocidade é a relação entre a distância e o tempo. Além disso, ela é um importante meio de avaliar o nível de serviço de tráfego oferecido aos motoristas.

A velocidade no segmento de detecção da via é calculada pela média da velocidade de todos os veículos que passam naquele local dividida pelo número total de carros considerados.

2.3.3 Densidade

Densidade é o número de veículos que ocupam determinado espaço da faixa de tráfego em um instante particular. Ela é expressa em veículo/mi, em ucp/ mi ou ucp/km e é uma grandeza difícil de ser medida (HCM,2010).

A ocupação da rodovia é a grandeza geralmente utilizada para medir densidade.

$$k = \frac{1.000}{S} \quad (2.2)$$

Onde,

k: densidade (veic/km);

S: espaçamento (m/veic);

2.3.4 Headway e espaçamento

Segundo Santos (2007), o *headway* é dado pelo intervalo de tempo, medido em segundos, entre a passagem de dois veículos sucessivos em uma corrente de tráfego e sobre uma determinada seção da via, tendo como referência um mesmo ponto em cada veículo, que pode ser definido a partir de elementos como o para-choque dianteiro, ou o para-choque traseiro, ou o eixo dianteiro.

O espaçamento é correlacionado com a distância, já o *headway*, com o tempo.

$$k = \frac{5,28 \text{ ft/mi}}{S} \quad (2.3)$$

$$H = \frac{S}{V} \quad (2.4)$$

$$q = \frac{3.600s/h}{H} \quad (2.5)$$

Em que,

k: densidade (veic/km);

V: velocidade (km/h);

S: espaçamento (m/veic);

H: *headway* (seg/veic);

q: fluxo (veic/h).

2.4 Diagramas fundamentais

A densidade, o fluxo e a velocidade podem ser relacionados um a um. Essas relações, segundo o HCM (2010), são as bases para o estudo da capacidade em vias expressas.

A Figura 2.2 mostra a relação entre a velocidade e a densidade. Elas são grandezas inversamente proporcionais, quanto maior a velocidade menor a densidade. Portanto, a velocidade será máxima quando a densidade estiver tendendo a zero.

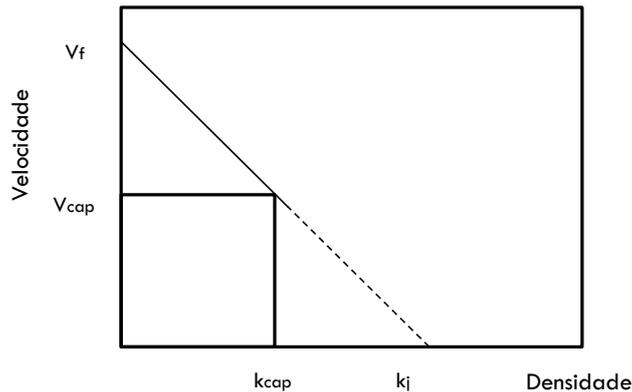


Figura 2.2: Relação entre velocidade e densidade

FONTE: HCM (2010)

A densidade máxima de uma via (k_j) ocorre quando o fluxo e a velocidade tendem a zero, o que representa o regime de fluxo saturado, mostrado pela área pontilhada das Figuras 2.2 e 2.3. Já o fluxo máximo ocorre quando o tráfego está trabalhando com sua capacidade máxima (q_{cap} e k_{cap}).

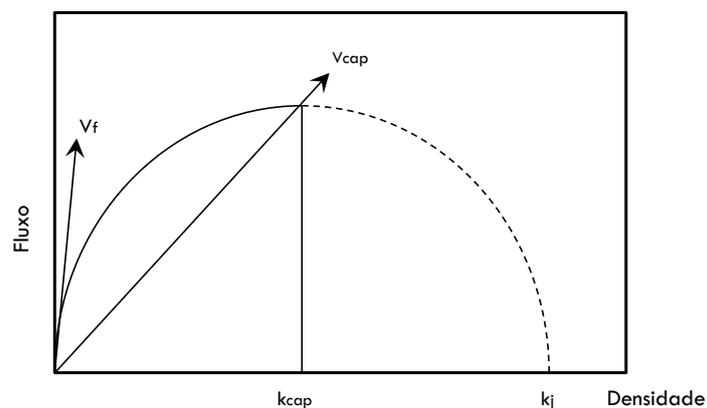


Figura 2.3: Relação do fluxo com a densidade

FONTE: HCM (2010)

A velocidade e a fluidez na via se reduzem drasticamente quando o fluxo de tráfego entra em regime de saturação, o que é possível notar na Figura 2.4.

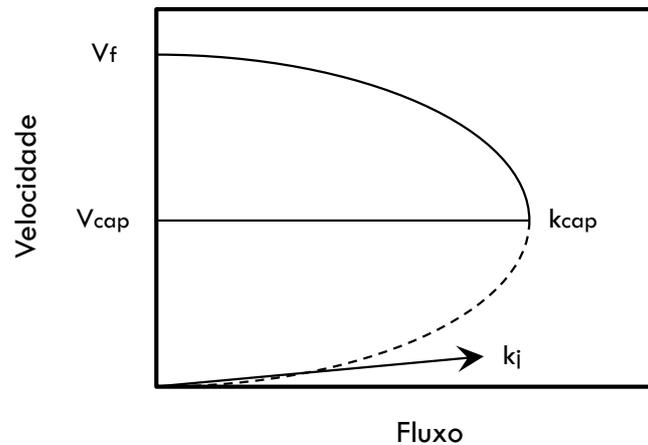


Figura 2.4: Relação do fluxo com a velocidade

FONTE: HCM (2010)

Sendo assim, quando o fluxo está livre, a densidade está abaixo da capacidade. Já com fluxo saturado, essa densidade fica maior, fazendo com que filas sejam formadas por falta de capacidade na via.

2.5 Ondas de choque

O fluxo imediatamente após um gargalo é reduzido devido à redução de velocidade da maioria dos veículos, o que aumenta o tempo de passagem dos veículos naquele ponto. Nesses casos, é necessário fazer uma ponderação no fluxo máximo que passará naquele segmento de faixa de tráfego, o que resulta em filas que podem se estender por quilômetros na montante.

Nas vias expressas, as filas não são estáticas como no caso dos cruzamentos. Nelas os veículos movem-se lentamente, com períodos de parada e de movimento (HCM, 2010). Esse fenômeno, conhecido como *stop-and-go*, é visto frequentemente em vias congestionadas. A geração dessas ondas ou a amplificação delas no espaço e no tempo explicam a instabilidade do tráfego (YEO & SKABARDONIS, 2009).

Essas ondas podem ser de antecipação, desaceleração, aceleração ou ondas secundárias que se separaram de outras. Ondas com diferentes velocidades podem colidir, sendo que, se essa colisão envolver uma onda de aceleração e uma de desaceleração, elas podem se anular. Caso sejam do mesmo tipo, elas se somam e o impacto é amplificado.

A Figura 2.5 mostra a assimetria nas ondas de aceleração e de desaceleração, ilustrando as curvas que existem nas áreas congestionadas que causam instabilidades no tráfego. Esse gráfico, segundo Yeo & Skabardonis (2009), foi proposto por Newell's em 1965, porém, ele não especificou o formato da curva.

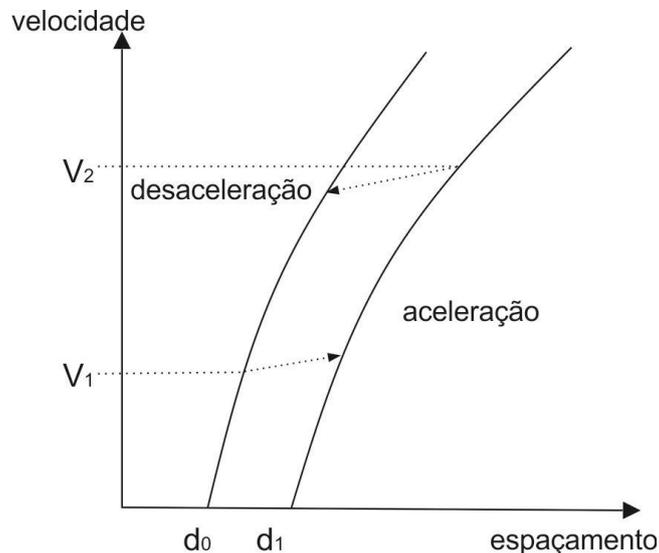


Figura 2.5: Curvas teóricas em situações de congestionamento
 FONTE: Yeo & Skabardonis (2009)

Segundo o TRB (1976), uma onda de choque ocorre devido à descontinuidade do fluxo ou da densidade. A decorrência física dessa descontinuidade é a mudança abrupta da velocidade do carro, que pode causar tanto a aceleração do fluxo quanto sua desaceleração.

Isto é, uma onda de choque causa uma mudança descontínua nos parâmetros de tráfego dos veículos na via, já que as trajetórias que são atravessadas pela onda mudam de velocidade abruptamente (Immers & Logghe, 2002).

Elas podem ser ocasionadas pela falta de capacidade da via, que pode ocorrer devido a incidentes, devido apenas a um fluxo maior que a capacidade ou um estreitamento, devido à redução do número de faixas, entre outros.

A velocidade da onda de choque (u_k) é definida pela Equação (2.8).

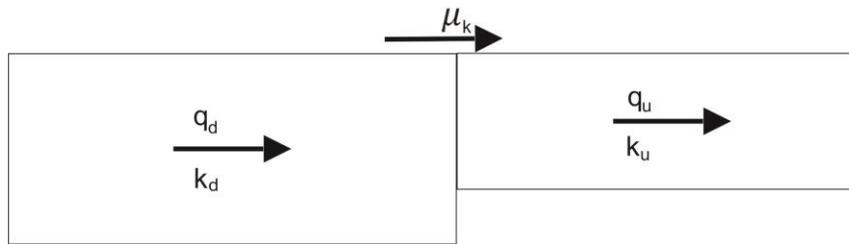


Figura 2.6: Variáveis para cálculo da velocidade da onda de choque

$$u_k = \frac{q_d - q_u}{k_d - k_u} \quad (2.8)$$

Onde, como mostrado na Figura 2.6,

- q_d : fluxo da montante;
- q_u : fluxo da jusante;
- k_d : densidade da montante;
- k_u : densidade da jusante.

Com base na Equação 2.8 é possível observar que a onda de choque pode se mover para frente ou para trás, já que não há uma regra. Tanto o fluxo da jusante como o da montante pode ser o maior, assim como a densidade.

A Figura 2.7 demonstra a relação entre o fluxo e a densidade e a ocorrência de uma onda de tráfego. Nota-se que, quando a velocidade da onda de choque for positiva, ela se move na direção do fluxo, já quando for negativa essa onda se move no sentido contrário.

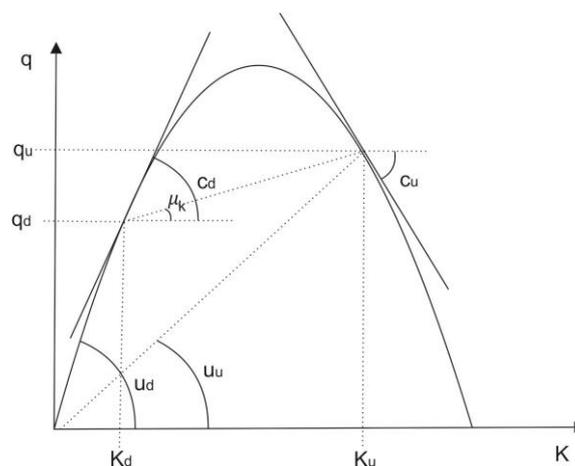


Figura 2.7: Formação da onda de tráfego

Quando a velocidade das ondas de choque está no sentido do fluxo, as ondas passam a ser de recuperação. Quando ocorrem essas ondas, é possível notar a dissipação das filas

acumuladas na sobre demanda. Sendo assim, nessas ondas, o sistema viário ainda opera com utilização intensa, já que não há recuperação imediata no tráfego.

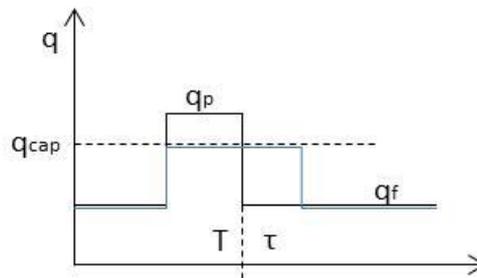


Figura 2.8: Recuperação do tráfego

O ritmo intermitente no tráfego ocorre tanto em razão das ondas de choque quanto das de recuperação. Quando o regime está congestionado, a recuperação se inicia quando $\Delta q > 0$, como mostrado na Figura 2.8. O tempo de recuperação é dado pela Equação 2.9 e ocorre a partir de $q_F < q_{cap}$.

$$\tau = \frac{(q_p - q_{cap}) \times T}{q_{cap} - q_f} \quad (2.9)$$

Onde,

τ : tempo de recuperação;

q_{cap} : capacidade da via;

q_p : demanda de pico;

q_f : demanda após pico;

T : duração de sobre demanda.

O efeito das ondas de choque acaba quando a distância percorrida pela onda de recuperação se iguala à distância percorrida pela onda de congestionamento. Sendo assim, o tempo para o tráfego voltar à situação normal (τ) é obtido pela Equação 2.10.

$$\mu_k \times \tau = \mu_r \times (\tau - T) \quad (2.10)$$

Sendo,

τ : tempo de recuperação;

μ_r : velocidade da onda de recuperação;

μ_k : velocidade da onda de choque;

T : tempo necessário para liberar a faixa.

A velocidade da onda de recuperação é obtida da mesma maneira que a da onda de choque, entretanto, o fluxo e a densidade a serem considerados para comparação são os do trecho em que ainda há corrente de tráfego.

As filas de tráfego formadas começam a desaparecer de frente para trás se atenderem a duas condições, segundo o HCM (2000): a capacidade do segmento no intervalo de tempo presente deve ser maior do que a capacidade do segmento no próximo intervalo e a capacidade do segmento menos a demanda para esse intervalo de tempo deve ser superior à demanda do mesmo.

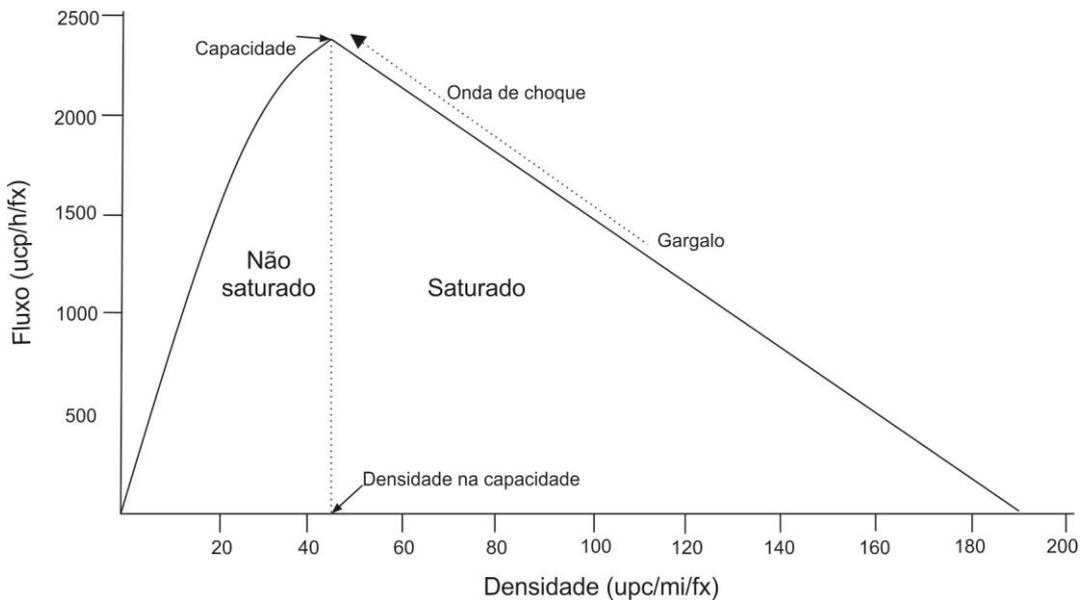


Figura 2.9: Relação fluxo e velocidade em uma onda de choque

FONTE: HCM (2010)

A fila frontal de um segmento tem, portanto, a densidade reduzida durante a recuperação, enquanto o fim da fila ainda sofre efeito da onda de choque. Na Figura 2.9, a velocidade da onda é estimada pelo declive da linha tracejada que liga o fluxo do gargalo as suas respectivas capacidades.

2.6 Sistemas inteligentes de transporte

Segundo o ITS America (2011), os sistemas inteligentes de transporte (ITS) são tecnologias avançadas, integradas a sistemas de transporte que promovem a segurança e a eficiência dos meios de locomoção terrestre de uma determinada região. Além disso, melhoraram a mobilidade e as condições de poluição.

Sendo assim, esses sistemas têm como principais funções monitorar e gerenciar o trânsito de uma região, objetivando o aumento da eficiência e da eficácia do transporte em geral, a redução da poluição e melhora na segurança. A National ITS Architecture (2011) divide os ITS em oito principais áreas de aplicação, sendo elas:

- Gerenciamento de Tráfego;
- Gerenciamento de Transporte Público;
- Cobrança Eletrônica;
- Operações de Veículos Comerciais;
- Gerenciamento de Emergências;
- Sistema Avançado de Segurança de Veículos;
- Gerenciamento de Informação;
- Gerenciamento de Construção e Manutenção;

Essas aplicações englobam desde sistemas de gerenciamento básicos como navegação do veículo, sistema de controle de semáforos, sistemas de gerenciamento de cargas, sinais com mensagens variadas, ou câmeras de velocidade para monitoramento de vias a aplicativos mais avançados que integram dados em tempo real e informações de várias outras fontes como previsão do tempo (ITS BRASIL,2011).

Quando se trata de ITS, é importante ressaltar a necessidade de investimento em pesquisas para que seja avaliada a tecnologia a ser utilizada em cada situação específica. No caso da engenharia de tráfego, as soluções não são globais. Faz-se necessário também simular os diferentes cenários, utilizando ferramentas computacionais adequadas com a finalidade de conhecer as possíveis consequências causadas pelo sistema a ser implantado. Entretanto, a calibração desses simuladores se torna complexa devido às decisões pessoais dos motoristas estarem envolvidas em alguns casos, como na mudança de trajeto devido a uma informação recebida durante a viagem.

Outro aspecto dessas tecnologias é que, embora esses sistemas forneçam benefícios individualmente, os seus potenciais não são inteiramente alcançados até que sejam integrados regionalmente. A integração regional permite aos sistemas compartilhar informações, possibilitando um melhor gerenciamento de todo o sistema de transporte regional (Ribeiro et. al., 2009).

Williams (2008) também aborda essa necessidade ao afirmar que no passado a maioria desses sistemas operava por si só ou sem um sistema de gerenciamento fechado. Entretanto, no século XXI houve uma necessidade dos sistemas operarem juntos, fazendo uma comunicação entre eles para obter uma viagem melhor e mais segura.

Essa integração entre os sistemas é conhecida como arquitetura de ITS e é de extrema importância, porém, ainda é um grande obstáculo na maioria dos países que utilizam essas tecnologias. Segundo Albornoz (2005), a estrutura fornecida por uma Arquitetura ITS faz possível a compatibilidade/interoperabilidade do sistema, produto e serviço, sem limitar as opções de projeto da parte interessada.

A comunicação entre os sistemas novos e antigos também é importante. Portanto, as pesquisas e a manutenção adequada dos sistemas já implantados são importantes para não torná-los obsoletos.

Os ITS tem se mostrado essencial na melhoria dos problemas de tráfego e tem um bom custo/benefício, porém o planejamento e o gerenciamento são primordiais para usufruir dessa tecnologia da forma adequada. A razão da maioria dos insucessos nesses casos se dá por falta de conhecimento ou de planejamento.

Os ITS, portanto, são grandes aliados tanto para garantir a fluidez da via como no planejamento, porém não basta utilizar diversos sistemas inteligentes sem interligá-los e sem dar a manutenção adequada.

2.7 Gerenciamento do tráfego urbano

Segundo o ITS America (2011), os sistemas de gestão do tráfego monitoram vias e veículos, coletam dados, produzem informações para ajudar a decidir as ações operacionais, utilizam os recursos dos sistemas para implementar melhorias na segurança e fluidez das vias e disseminam aos usuários informações sobre as condições do percurso por meio de tecnologias variadas com o objetivo da racionalização e do conforto dos deslocamentos.

De acordo com Bazzan & Klugl (2007), os sistemas de controle de fluxo de tráfego têm como principais objetivos:

- 1- Prover um movimento ordenado do tráfego;
- 2- Aumentar a capacidade na intersecção (cruzamento de duas ou mais vias);
- 3- Reduzir a frequência de acidentes e interromper o tráfego principal a fim de permitir o fluxo do tráfego secundário;
- 4- Sincronizar semáforos para um movimento contínuo do tráfego a uma determinada velocidade ao longo de uma artéria.

Esse conceito de controle de fluxo de tráfego é uma evolução dos primeiros sistemas de gerenciamento que tinham como objetivo apenas melhorar as condições de circulação e a fluidez dos veículos privados.

Atualmente, passou a ser necessário dar mais atenção aos ciclistas, pedestres e ao transporte público. As principais vias estão trabalhando quase em regime de saturação, mostrando a necessidade de se dar preferência aos transportes alternativos e de alta capacidade. Esse fato aumentou a complexidade do sistema, que passou a necessitar de respostas mais rápidas a fim de manter a fluidez na via e reduzir o número de conflitos.

Os principais elementos desses sistemas atuais são:

- Coleta de informações: objetivando o monitoramento das condições de operação de uma via ou uma rede viária e do nível de poluição;
- Suporte para os operadores dos sistemas: constituído por equipamentos como câmeras, sensores e painéis eletrônicos;
- Controle de tráfego em tempo real: que utiliza as informações coletadas para modificar a operação dos sistemas de controle como semáforos e painéis de mensagens variáveis.

Esses elementos podem ser usados separadamente ou combinados.

Os serviços prestados pelo gerenciamento de tráfego, segundo o National ITS Architecture (2011) são:

- Informação antes da viagem (*Pre-trip TravelInformation*);
- Informação durante a viagem (*En-route Driver Information*);
- Orientação de rotas (*Route Guidance*);
- Conciliações de horários e reservas (*Ride Matching And Reservation*);
- Informação aos usuários (*Traveler Services Information*);
- Controle de tráfego (*Traffic Control*);
- Gerenciamento de incidentes (*Incident Management*);
- Gerenciamento da demanda de tráfego (*Travel Demand Management*);
- Teste e mitigação de emissões veiculares (*Emissions Testing And Mitigation*);
- Gerenciamento de cruzamento rodo-ferroviários (*Highway Rail Intersection*).

Com uma infraestrutura inteligente, os sistemas ITS atuam em diversas áreas, entre elas: gerenciamento de viagens, controle de tráfego urbano, gerenciamento de incidentes e sistemas de informação aos usuários. Outras áreas são mostradas na Figura 2.10.

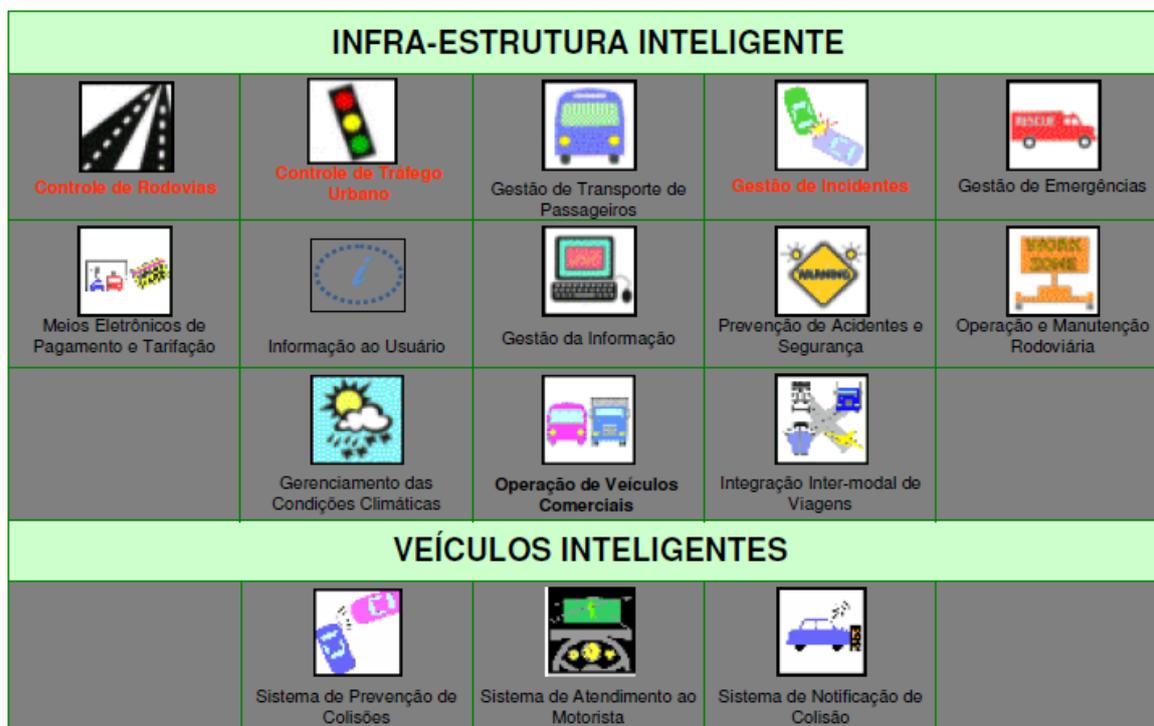


Figura 2.10: Áreas de aplicação do ITS

FONTE: ITS America(2011)

Esses sistemas, portanto, são importantes para tornar a rede viária mais eficiente, reduzindo o tempo de resposta a qualquer problema, levando informação à população e tornando os processos mais ágeis.

2.8 Gerenciamento de incidentes

O gerenciamento de incidentes é um dos serviços oferecidos pelo gerenciamento de tráfego. Segundo Chen *et al.* (2010), os detectores automáticos de incidentes são um dos mais importantes dentre os componentes essenciais do Sistema Avançado de Gerenciamento e Informação de Tráfego (ATMIS – *Advanced Traffic Management and Information Systems*).

Ele utiliza sensores, processamento de dados e meios de comunicação para melhorar o atendimento a todos aqueles envolvidos na resposta a incidentes. Esses sistemas buscam tornar mais rápido o atendimento da equipe de segurança pública e de reboque, por exemplo. Além de contribuir para a resolução dos problemas relativos a um incidente

mais rapidamente. Esse serviço também ajuda a minimizar as consequências por ele causadas, como o congestionamento do tráfego (NATIONAL ITS ARCHITETURE, 2011).

O objetivo desses sistemas, na visão do ITS America (2011), é minimizar os efeitos da perturbação no trânsito relacionada com o incidente, reduzindo os tempos de detecção e de atendimento, diminuindo, assim, o tempo para que o tráfego volte às condições normais, já que a severidade dos acidentes está relacionada ao tempo de atendimento. Quanto menor o tempo de atendimento, menores são os danos por ele causados.

Esse serviço inclui, além da detecção, resposta e remoção, a informação ao usuário e um gerenciamento de tráfego em tempo real, como é possível observar na Figura 2.11.

A informação aos usuários é importante para evitar os incidentes secundários e diminuir o congestionamento, indicando rotas alternativas para os condutores. Entretanto, para que as informações tenham efeito, é importante conhecer as características dos motoristas e suas reações perante as informações dadas, pois os motoristas tendem a seguir as alternativas sugeridas, caso elas já forem conhecidas. Outro ponto relacionado ao motorista é a necessidade de confiança nas informações fornecidas pelo painel de mensagem variável. Quanto mais rápido elas forem atualizadas mais os motoristas tendem a segui-las.

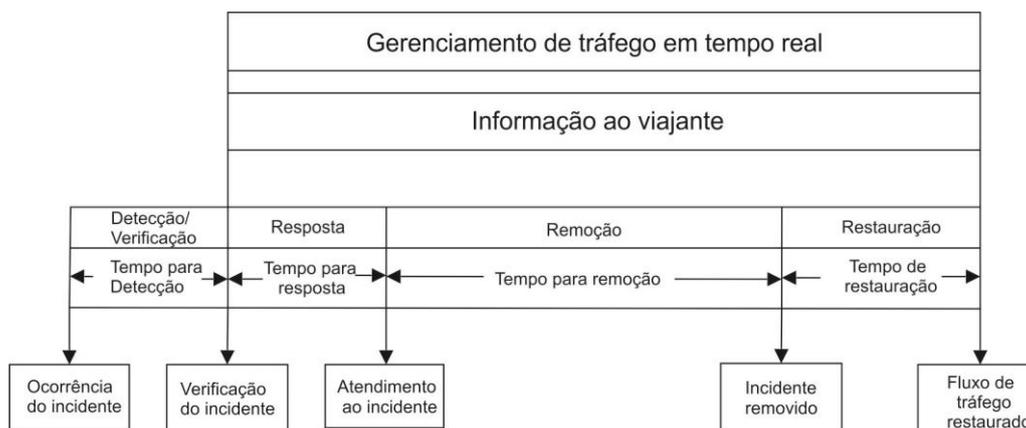


Figura 2.11: Fases de um gerenciamento de incidentes

FONTE: Skorputet *al.* (2010)

2.9 Sistema de detecção automática de incidentes

Os sistemas de detecção automática de incidentes (AID – *Automatic Incident Detection*) são apoios para o gerenciamento. Quando eles são aplicados de forma correta, os congestionamentos de tráfego e os acidentes secundários podem ser reduzidos.

Os métodos de detecção de incidentes incluem telefone particular, *call box*, frota operacional, chamadas de emergência, imagens/vídeo e sistemas de detecção automática (Figura 2.5). Para reduzir o número de alarmes falsos, muitas vezes são utilizados sistemas de verificação que checam/determinam a exata posição e a natureza do incidente. Essa verificação pode ser feita pelas câmeras ou pelo cruzamento das informações dadas pela população (SKORPUT *et al.*, 2010).

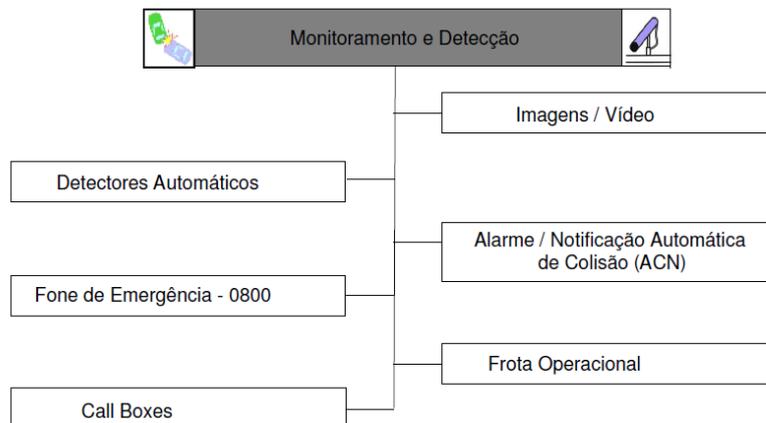


Figura 2.12: Gestão de incidentes

FONTE: ITS America (2011)

Além disso, a rápida detecção faz com que esses incidentes de tráfego sejam atendidos e removidos, adotando ações mais efetivas. Com o avanço tecnológico, o custo dos equipamentos necessários para o AID tem diminuído e eles já têm sido utilizados no gerenciamento de tráfego em tempo real (WANG *et al.*, 2005).

Os dois métodos de AID mais estudados são baseados em detectores e em imagens de câmera. Os detectores são enterrados sob o solo e quando os veículos passam por eles, alguns dados como contagem de tráfego de veículos, velocidade e comprimento do veículo podem ser obtidos por meio da mudança da potência do *loop* magnético. As desvantagens de tais detectores, de acordo com Wang *et al.* (2005), são:

- Inconveniência para instalar e fazer reparos, já que as estradas correspondentes têm de ser fechadas e escavadas para instalação e reparação dos loops;
- Captam apenas alguns parâmetros de tráfego, tais como contagem de veículos, velocidade e comprimento do veículo;
- Métodos baseados em detectores têm um atraso na detecção dos incidentes de trânsito, já que podem ser detectados somente se os incidentes afetarem o fluxo de tráfego em todos os *loops*.

Em comparação com o método de detectores, as vantagens da utilização de imagem, levantadas pelo mesmo autor, são:

- Uma quantidade maior de informações pode ser extraída, como tipo de veículo em movimento e trajetória, além do volume de veículos em determinado período de tempo, velocidade, ocupação e comprimento do veículo;
- O tempo de detecção médio é menor;
- As câmeras são mais econômicas e duráveis;
- A instalação e a reparação dos equipamentos não afetam o tráfego.

Com o rápido desenvolvimento de tecnologias de detecção de incidentes baseadas na visão, os métodos de incidente com base em processamento de imagem irão se tornar os algoritmos-chave dos métodos AID, na opinião de Wang *et al.* (2005).

A FHWA (2010) mostra que as melhorias no gerenciamento de incidentes ajudam tanto a reduzir a duração dos incidentes em geral como os acidentes secundários. Na avaliação do programa Coordinated Highways Action Response Team (CHART), do Estado de Maryland, onde há um gerenciamento efetivo de incidentes, houve uma redução de 7 minutos na duração do incidente e uma diminuição de 290 incidentes secundários em 2005. O impacto dessa redução de duração do incidente foi apresentado pelo Journal ITS, que estimou que a probabilidade de um acidente secundário aumenta 2,8% a cada minuto de duração do incidente principal. Portanto, o tempo de detecção é o parâmetro mais importante no processo de gerenciamento de incidentes. Segundo Skorput (2010), para se obter a máxima eficiência nesse gerenciamento, o tempo de detecção deve ser o mais curto possível, pois atrasos na detecção resultam em filas, congestionamentos e incidentes secundários. Na Figura 2.13, é demonstrado o que ocorre em uma via expressa no momento de um incidente.

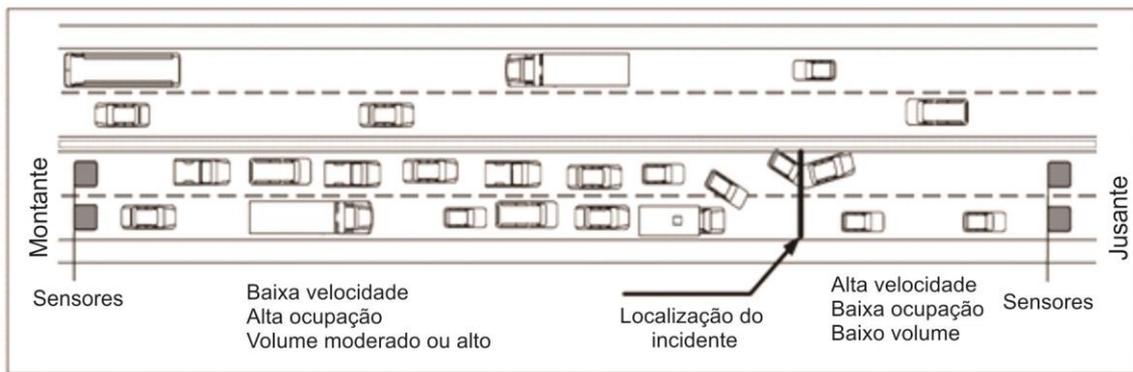


Figura 2.13: Princípio da detecção de incidente

FONTE: Skorputet *al.* (2010)

A Figura 2.14 apresenta as modificações na velocidade e na densidade quando ocorre um incidente em uma via. Antes do ponto em que ocorreu o incidente, a velocidade diminui e a densidade aumenta. Logo após o ocorrido, o inverso acontece, a velocidade aumenta e a densidade diminui.

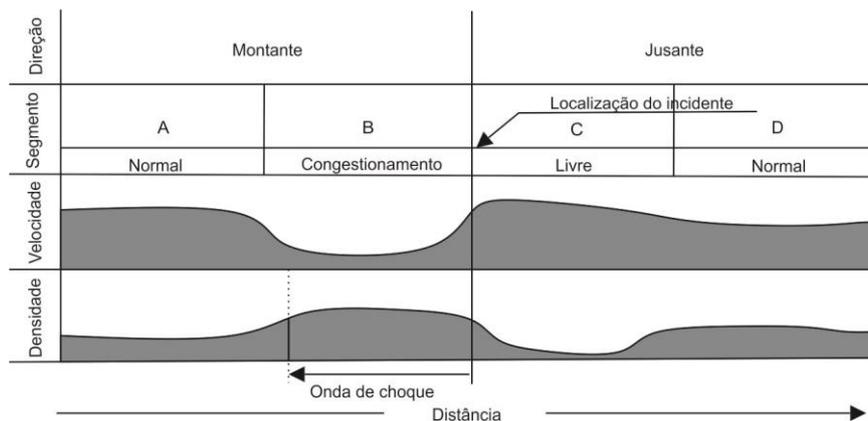


Figura 2.14: Características do tráfego durante um incidente

FONTE: Skorputet *al.* (2010)

2.10 Gerenciamento de incidentes em túneis

O uso de túneis aumentou significativamente nas últimas décadas devido aos avanços das tecnologias de construção. Eles são importantes para a redução de distâncias e do tempo de viagem. Além de terem participação fundamental na integração de diferentes regiões, já que permitem ultrapassar obstáculos ambientais e densas áreas urbanas.

Segundo Vashitzet *al.* (2008), túneis rodoviários impõem condições de condução única. Devido à estrutura física de túneis, os condutores são confinados a um ambiente fechado, escuro e monótono. A capacidade se evadir é limitada, se comparada com uma

estrada aberta, e o usuário deve estar muito atento para evitar batidas nas paredes do túnel. Além disso, o ambiente pode causar má percepção de condições da estrada, claustrofobia e falta de orientação espacial.

Os incêndios catastróficos no túnel Mont-Blanc e no túnel Tauern no ano de 1999 e uma série de acidentes em alguns túneis no verão de 2001 desencadearam extensas discussões e propostas relativas à segurança nos túneis. Quando ocorre um incêndio em um túnel, não havendo um sistema específico para esse atendimento, grandes quantidades de fumaça são geradas, enchendo os veículos e qualquer espaço disponível em torno deles. A menos que um forte fluxo de ar seja criado e mantido, gases quentes e fumaça tendem a migrar em todas as direções. Com um fluxo de ar fraco, a fumaça forma uma camada ao longo do teto do túnel e pode fluir na direção contrária à da ventilação forçada, indo na mesma direção em que está sendo feita a evacuação das pessoas (Modic 2003).

Apesar de ser menor o número de acidentes em túnel em relação às demais categorias e tipos de vias, como as de fluxo interrompido, a sua configuração aumenta as consequências. Além disso, o aumento do tráfego em toda a rede rodoviária também eleva o número de incidentes, inclusive nos túneis. Portanto, com a finalidade de tornar as viagens mais seguras e reduzir a deseconomia é necessário melhorar os aspectos de segurança. Segundo Vuilleumier *et al.* (2002), as seguintes ações são necessárias para obter essa melhoria:

- Detectar situações anormais e rapidamente informar os usuários de qualquer perigo;
- Fornecer proteção e facilitar a evacuação dos usuários e o acesso dos trabalhadores no resgate;
- Otimizar os preparativos tendo em vista a possibilidade de incêndio.

2.11 Situação atual do Túnel Rebouças

Segundo a SMTR – RJ, o Túnel Rebouças foi inaugurado em 03 de outubro de 1967, ligando as zonas Norte e Sul. Projetado para um volume de 76 mil veículos/dia, com duas faixas de rolamento e acostamento, possui 2.040 metros de galeria contínua da Lagoa até o Cosme Velho e mais 772 metros na galeria do Cosme Velho até o Rio Comprido, totalizando 2.840 metros. Atualmente o volume diário é de 190 mil

veículos/dia, em três faixas de rolamento sem acostamento, com velocidade máxima permitida de 90km/h.

O fluxo dentro das galerias chega a ultrapassar 5.000 veic/h nas três faixas no sentido Centro (Agosto, 2012), como é possível observar na Figura 2.15. Com esse gráfico, também se pode observar que praticamente não existe mais horário de pico nem movimentos pendulares bem definidos nas galerias.

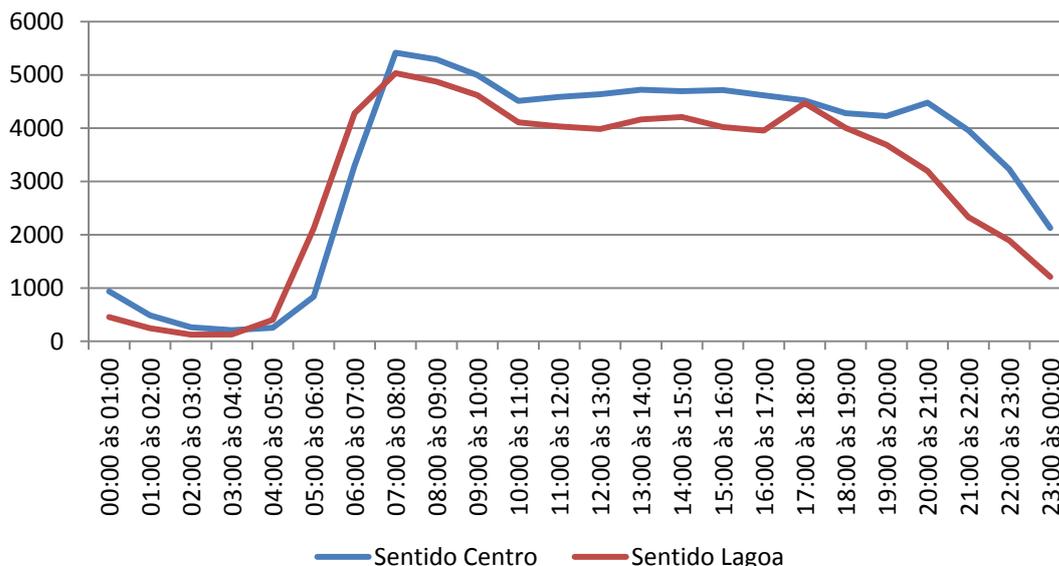


Figura 2.15: Fluxo veicular no Túnel Rebouças

FONTE: CET-Rio (2012)

O número de incidentes nesse túnel é elevado, como é possível observar na Tabela 2.2, que inclui panes mecânicas, pneu furado, falta de combustível (pane seca), acidente, incêndio, abandono e atropelamento¹.

Tabela 2.2: Planilha anual de atendimentos no Túnel Rebouças (2 faixas, 2 sentidos)

Mês	Pane de veículo	Pneu Furado	Falta de Combustível	Colisão	Incêndio	Abandono	Fecha mento	Atropelamento	
2012	jan/12	458	76	0	101	1	0	5	0
	fev/12	493	56	1	84	2	4	4	0
	mar/12	547	66	3	122	1	2	8	0
	abr/12	411	56	5	77	2	0	3	0
	mai/12	458	60	0	114	1	1	0	1
	jun/12	404	62	2	83	2	0	1	0

¹ Quando o condutor abandona o carro e tenta percorrer todo o trecho da via a pé.

Mês	Pane de veículo	Pneu Furado	Falta de Combustível	Colisão	Incêndio	Abandono	Fecha mento	Atropelamento
jul/12	407	67	3	91	0	2	0	0
ago/12	436	39	3	82	0	0	0	4
set/12	438	49	0	88	1	0	0	0
out/12	444	63	2	111	1	0	0	0
nov/12	367	39	1	89	2	1	0	1
dez/12	532	74	1	132	2	0	0	0
Total 2012	5395	707	21	1174	15	10	21	6

FONTE: CET-Rio

Em 2000, foram instaladas câmeras para o gerenciamento de tráfego dentro do túnel, que auxiliavam na detecção dos incidentes, porém essas câmeras foram deterioradas com o tempo. Atualmente os incidentes são detectados por meio de um programa chamado Citilog (TRAFFICINFRA TECH, 2012), que tem a finalidade de detectar situações anormais, sendo elas: parada com fluxo, parada com congestionamento, veículo lento e falta de visibilidade.

Esse sistema ainda passa por calibração diária devido ao grande número de alarmes falsos que são gerados, principalmente nos horários de maior fluxo, quando ocorrem os congestionamentos.

Muitas das situações que o processamento de imagem detecta como anormais não passam de situações cotidianas, como ondas de choque que ocorrem devido às modificações geométricas ou incidentes no exterior do túnel ou até mesmo um motorista que desliga o motor do carro acidentalmente.



Figura 2.16: Centro de controle do Túnel Rebouças

FONTE: Jornal O Globo (2012)

Além das câmeras, há viaturas com operadores da CET-Rio fazendo ronda dentro do túnel e no seu entorno, sendo elas: três motocicletas, dois reboques leves, um reboque pesado e uma caminhonete. Se os operadores detectarem alguma situação anormal durante essa ronda, eles prestam o primeiro atendimento, isolando o local e passam informações por meio de rádio para a central, local onde há acesso às imagens das câmeras (Figura 2.16).

Esse apoio das viaturas é importante para detecção de situações anormais, já que o sistema implantado ainda passa por calibração e há pontos cegos em áreas que têm grande influência dentro das galerias, como no vão central entre as galerias e no entorno do túnel.

O monitoramento da via e o atendimento aos usuários são feitos por meio de três bases fixas (Base Rebouças, Base Cosme Velho e Base Rio Comprido): uma localizada entre as duas galerias e as outras duas nos extremos. Em caso de incêndios, o túnel é fechado e os bombeiros são acionados.

Segundo o CBMERJ, desde 2010, todos os dias, no horário de pico, bombeiros ficam com uma viatura Auto Tático de Emergência no recuo localizado entre as duas galerias

do túnel. Essa viatura faz o primeiro atendimento, caso haja feridos nos acidentes dentro do túnel. Essa medida visou a melhorar o atendimento aos incidentes no túnel.

Essa medida foi tomada visto que, no horário de pico, com intenso fluxo de veículos, as equipes de regaste demoravam a chegar ao local do incidente, além de necessitar transitar em mão contrária a fim de reduzir esse atraso, já que os congestionamentos, devido a incidentes dentro do túnel, causam reflexos em uma abrangente área da cidade.

Foram implantados também painéis indicativos, do tipo X e ↓ (Figura 2.17), tanto nas entradas como no interior das galerias, mostrando as condições de tráfego em cada uma das faixas de tráfego monitoradas. Ao todo, foram instalados 14 pontos desses painéis. O espaçamento entre eles é de 500 m nas galerias entre o Cosme Velho e a Lagoa e de 250m nas galerias entre o Cosme Velho e o Rio Comprido.



Figura 2.17: Painel do tipo X e ↓

FONTE: GLOBO (2012)

Além disso, as informações sobre incidentes são transmitidas para o Centro de Operações da cidade e poderá ser enviada aos Painéis de mensagens variáveis existentes na Cidade do Rio de Janeiro, como na Rua Humaitá e na Praça da Bandeira, com a finalidade de informar aos usuários sobre as condições de tráfego no Túnel Rebouças.

De acordo com a SMTR-RJ, o Túnel Rebouças foi o primeiro túnel do país a ter sistema de detecção automática de incidentes.

A CET-Rio acredita que com a implantação desse sistema de informações de detecção automática de incidentes em túneis aumentará a segurança viária, o atendimento será mais rápido, as decisões serão tomadas mais agilmente e os impactos no tráfego serão menores.

2.12 Conclusões do capítulo

Primeiramente foi definido o conceito de incidentes como qualquer acontecimento não recorrente que causa redução na capacidade da via. Isso inclui: enguiço mecânico, acidentes, atropelamentos, entre outros.

Depois foram apresentados diversos conceitos da engenharia de tráfego relacionados aos parâmetros de fluxo de tráfego, capacidade e ondas de choque.

O conceito de ondas de choque foi a base da metodologia desenvolvida, já que o objetivo da pesquisa é conseguir que um sistema de detecção automática de incidentes diferencie um incidente da instabilidade normal do tráfego ocasionada por ondas de choque, já que nas duas situações ocorre uma mudança descontínua nos parâmetros de tráfego dos veículos na via.

Além disso, foram apresentados conceitos sobre sistemas inteligentes de transporte, dando destaque ao gerenciamento de incidente e mais especificamente à detecção automática de incidentes. Também foi feito um breve relato sobre a atual situação do Túnel Rebouças e sobre o funcionamento do sistema de detecção automática de incidentes em funcionamento.

Os sistemas de detecção automática de incidentes têm como objetivo reduzir o tempo de detecção dos incidentes com a menor taxa possível de alarme falso para reduzir o tempo total de duração de um incidente. Para isso, a maioria dos AIDs atualmente trabalham com as mudanças significativas dos parâmetros de tráfego em uma via, acusando assim o acontecimento de um incidente.

Nesta dissertação, esse tema será tratado mais especificamente em túneis, onde o gerenciamento deve ser feito de forma mais eficaz devido às condições únicas que a via impõe, confinada e que muitas vezes pode causar claustrofobia.

Capítulo 3

Sistemas de deteção automática de incidentes

Atualmente diversas pesquisas vêm sendo realizadas na área de detecção automática de incidentes, utilizando diferentes algoritmos e buscando solução para diferentes situações, tais como: rodovias, vias arteriais, vias expressas urbanas e túneis.

Essas pesquisas tentam aumentar a taxa de detecção, reduzir o tempo para detecção e diminuir o número de alarmes falsos, sempre comparando com algoritmos já existentes.

Abaixo estão descritas algumas das pesquisas recentes na área, por tipo de via para qual cada detector foi desenvolvido.

3.1 Sistemas de detecção automática de incidentes desenvolvidos para vias expressas

Chen *et al.* (2010) desenvolveram um algoritmo de detecção automática de incidentes baseado em *Support Vector Machine* (SVM). Nessa pesquisa, os dados como velocidade, ocupação e fluxo são coletados por meio de laços indutivos. A distância entre os detectores é de 1 km e o intervalo de coleta dos dados é de 60s.

Esse AID analisa os parâmetros de tráfego e rapidamente detecta o local do incidente, fazendo uma comparação dos dados coletados na montante e na jusante da via, pois quando há uma mudança brusca dos dados coletados, como uma diminuição do fluxo e da velocidade e um aumento da densidade, ele mostra que alguma situação anormal está ocorrendo, como mostrado na Figura 3.1.

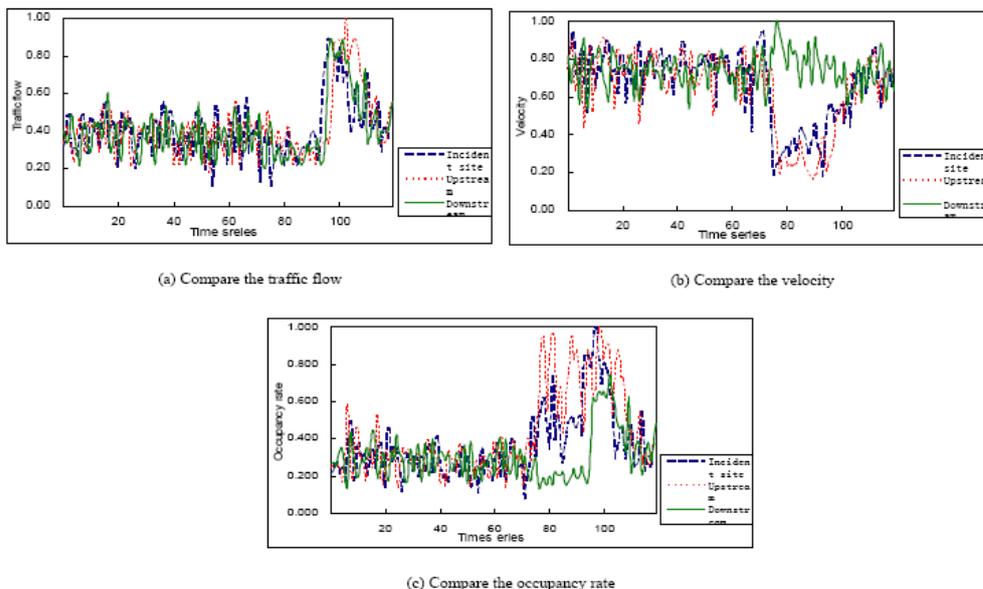


Figura 3.1:Variação dos gráficos quando um incidente ocorre.

FONTE: Chen *et al.* (2010)

O método que foi utilizado é uma ferramenta efetiva para reconhecer e estimar problemas, baseado em teorias estatísticas. Comparado com redes neurais artificiais, ele é mais eficiente no caso de alarmes falsos (1,03% em comparação a 1,22% no ANN) e demora menos tempo na detecção (41segundos em comparação com 91segundos no ANN).

Já Wang (2011) propôs um método que utiliza um detector de veículos que coleta as informações relevantes e processa esses dados para que sejam classificados por uma rede neural para determinar o tipo de informação obtida. Esses detectores são separados em seções de 1000m e coletam os dados relacionados aos parâmetros de tráfego em intervalos de 30segundos.

Nessa rede neural, seis informações entram no sistema, são elas: o fluxo médio, espaço e velocidade dos pontos A e B. Depois de repetidos testes que combinam esses parâmetros na camada oculta da rede neural, apenas um nó é gerado com os avisos de estado normal ou anormal do tráfego.

Fazendo simulação do algoritmo proposto, notou-se que, em condições normais, as redes neurais têm grande habilidade de estimar o incidente na seção. Esse algoritmo teve uma maior taxa de detecção, menor número de alarmes falsos e um tempo médio de detecção intermediário, após o autor comparar o algoritmo desenvolvido com algoritmos tradicionais: o California #7 algorithm e o McMaster algorithm.

O método proposto teve 94% de taxa de detecção e 5,26% de alarme falso. O problema desse algoritmo é que ele detecta apenas duas situações: normal e anormal, mas não especifica o tipo de evento.

Lu *et al.* (2012) desenvolveram um estudo preliminar que indica a programação lógica indutiva (ILP), como um método de AID competitivo e promissor. Esse método tem a vantagem de relacionar dados mais complexos, como é o caso da estrutura das redes de tráfego, que é um importante fator na detecção de incidentes.

O sistema nFOIL, desenvolvido por Lu *et al.* (2012), utiliza uma linguagem mais forte que os outros ILP para descrever objetos e conceitos. Ele foi testado em simuladores e com dados reais.

Como a maioria dos AIDs, esse método usa uma coleção de dados obtidos de sensores das vias expressas e compara-os com os dados em tempo real, como velocidade, volume e ocupação, decidindo assim se há ou não um incidente naquela via.

Após Lu *et al.* (2012) comparar o método desenvolvido com outros algoritmos baseados em redes neurais e *Support Vector Machine*, esse algoritmo teve um desempenho mediano no número de detecção, nos alarmes falsos e no tempo de detecção.

Já a vantagem do nFoil é sua melhor capacidade de armazenar dados estruturais e os modelos produzidos são mais fáceis de entender. A desvantagem é que o método é menos eficiente que os outros dois, aos quais ele foi comparado no que diz respeito à taxa de alarmes falsos, que ficou em torno de 5,53%.

Chen & Wang (2009) utilizaram *Decision Tree Learning* para a detecção automática de incidente em vias expressas, visto que essa alternativa é competitiva com as redes neurais. Esse algoritmo tem as melhores *performances* nesses casos.

O método desenvolvido compara os valores do fluxo de tráfego em tempo real com o um valor predeterminado, utilizando uma decisão lógica. Se o valor de comparação é excedido, o programa avisa a existência de um incidente.

Ainda se fazem necessárias, porém, futuras pesquisas para descobrir uma forma de esse método transferir as informações de modo automático, sem necessitar de uma intervenção manual.

Jeonget *al.* (2011) propõem um novo algoritmo para gerenciamento de incidentes em vias expressas, utilizando um sistema baseado em frequência de *loops*, que necessita tanto dos dados de ocupação como velocidade da via.

Com um intervalo de 30 segundos, o programa obtém a ocupação e a velocidade dos dois sentidos da via, analisa esses dados e observa se houve oscilações, comparando-os com os dos dados anteriormente recolhidos. Um diferencial é que os dados de comparação são adaptados de acordo com o fluxo do tráfego, obtendo assim um número menor de alarmes falsos. Os resultados obtidos foram: taxa de detecção de 95%, 1% de alarme falso e 83s de tempo de detecção. O que demonstra a superioridade do algoritmo em relação aos demais utilizados atualmente, pois aumenta a taxa de detecção de incidentes, diminui a de falsos alarmes e, conseqüentemente, o tempo de detecção.

3.1.1 Sistemas de detecção automática de incidentes desenvolvidos para vias expressas urbanas

Segundo o HCM (2010), as vias expressas urbanas têm como principais características o controle total dos acessos sem interrupções no tráfego e fluxo em apenas uma direção. Por estarem em área urbanas, elas têm fluxo maior que as das áreas rurais.

Jiang *et al.* (2010) propuseram o desenvolvimento de um algoritmo baseado nas mudanças da tendência dos parâmetros de tráfego (velocidade, volume e ocupação), sendo que esses dados foram agrupados em três escalas de tempo: 20 segundos, 1 minuto e 5 minutos.

O algoritmo detecta um incidente a partir das mudanças dos parâmetros de tráfego, os quais passam a não seguir mais a tendência que vinha sendo imposta. O problema é que algumas mudanças são tão pequenas que é necessário amplificá-las para serem detectadas pelo AID. Para isso, foi desenvolvido um índice nomeado *Traffic Status Variability Index* (VSI), que funciona comparando-se os parâmetros estimados e os reais.

Foi utilizado um modelo de média móvel para facilitar os cálculos dos parâmetros, isto é, ele soma todos os valores de um parâmetro em determinada semana, dia, hora e localização, fazendo uma média.

O AID funciona da seguinte forma: ele calcula o índice comparando o valor estimado com o que está ocorrendo realmente. Se houver uma grande diferença, ele considera aquela área como provável local de ocorrência, porém, a fim de reduzir o número de alarmes falsos, é aplicado outro algoritmo como teste.

Após o desenvolvimento do algoritmo, ele foi testado e comparado com outro algoritmo já existente na Califórnia, no que ficaram provados uma redução nos alarmes falsos, uma detecção mais rápida, além de maior número de incidentes detectados.

Já o algoritmo desenvolvido por Zhang *et al.* (2011) detecta incidentes em vias expressas urbanas por meio de detectores móveis em carros de teste que passam pelas vias para obter os dados relacionados com os parâmetros de tráfego.

Foram utilizadas as redes neurais para o desenvolvimento desse método. Ele observa a ocorrência de um incidente devido à modificação dos parâmetros de tráfego nos carros de teste, como, por exemplo, uma redução brusca de velocidade.

Com a finalidade de reduzir os falsos alarmes, o alarme final só é gerado após a observação das modificações dos parâmetros em mais de um carro de teste e por um tempo prolongado.

Uma das vantagens desse método é o fato de não utilizar detectores fixos, o que diminui o alto custo dos detectores e as pequenas falhas na cobertura. Já uma das desvantagens é a demora na detecção, porém, mesmo assim, a metodologia se mostrou eficaz e aplicável na prática.

Zhao *et al.* (2010) utilizaram um algoritmo bidimensional para a detecção automática de incidentes em vias expressas urbanas. O método proposto é composto por um algoritmo simples que atende às necessidades práticas de uma via urbana expressa.

Os parâmetros do tráfego nas vias foram obtidos por meio de veículos teste. A velocidade é calculada a partir do processamento dos dados obtidos, mostrado na Figura 3.2. Depois é feita uma análise temporal, observando no tempo em que ponto a velocidade ficou abaixo do limite esperado. A seguir, é feita uma análise espacial, observando a diferença entre pontos adjacentes do arco de estudo.

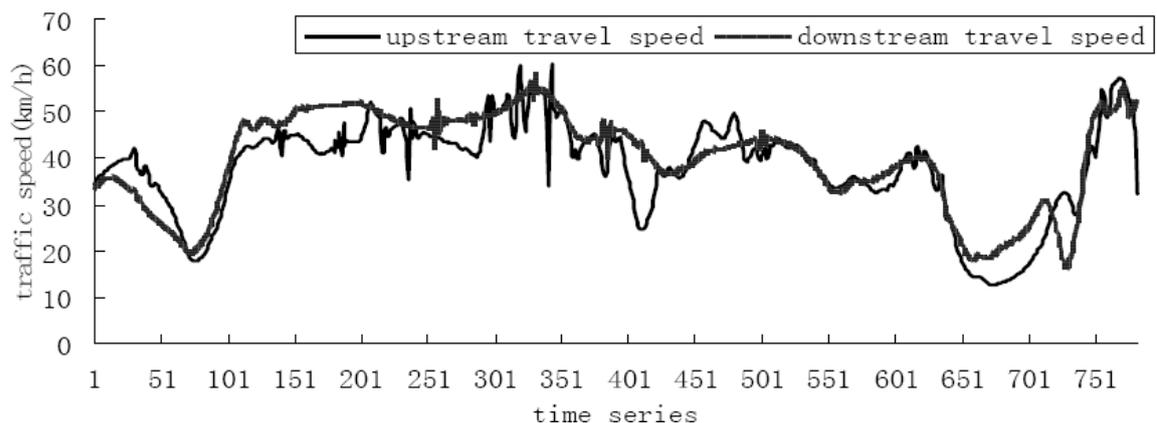


Figura 3.2: Variação da velocidade durante o dia

FONTE: Zhao *et al.* (2010)

O alarme é acionado ao identificar a ocorrência de um incidente, se tanto os veículos-teste quanto a análise temporal de velocidade mostrar mudanças do padrão. Entretanto,

o algoritmo fica prejudicado quando o número de veículos-teste naquela região é pequeno ou há poucos dados sobre incidentes.

Após testes, os autores observaram que essa metodologia detectou pelo menos 88% dos incidentes e não teve mais de 1,8% de alarmes falsos.

Já Jinglei *et al.* (2011) obtiveram os dados por meio de câmeras de vídeo e utilizaram o modelo *Hidden Markov*. A contribuição principal desse método não está relacionada apenas à detecção de incidentes, pois ele busca mostrar as condições do tráfego naquela via com eficácia mesmo em áreas com pouca visibilidade.

O método desenvolvido relaciona o fluxo com as faixas de tráfego existentes, obtendo uma matriz que contém o fluxo médio e sua variação. Após a obtenção desses dados que relacionam espaço e tempo pelo processamento de imagens, o algoritmo desenvolvido classifica a condição do tráfego existente na via como: livre, bom, intenso ou congestionado.

Após simulações, foram obtidos resultados experimentais que comprovaram a eficácia e a robustez do método.

3.2 Sistemas de detecção automática de incidentes desenvolvidos para vias urbanas arteriais

Todos os AIDs estudados para vias urbanas arteriais utilizaram de forma integrada detectores e veículos-teste para levantar os parâmetros de tráfego necessários, sempre visando à obtenção de dados mais confiáveis com a finalidade de reduzir os alarmes falsos, já que as vias arteriais urbanas sofrem mudanças maiores que as vias expressas.

Dias & Thomas (2011) utilizaram redes neurais para o desenvolvimento desse AID, visto que as literaturas afirmam que elas são responsáveis pelo maior número de incidentes detectados e menor número de alarmes falsos.

Foram desenvolvidas duas configurações de redes neurais para detecção de incidentes, que se portou melhor que as existentes. O banco de dados do simulador inclui certos parâmetros, sendo eles: localização do incidente, duração do incidente, severidade e fluxo de tráfego. Entretanto, a localização do incidente influencia no tempo de detecção devido a sua distância com os detectores. Utilizando os veículos de teste, os falsos

alarmes foram reduzidos ainda mais em cerca de 20%. O grande problema dessa pesquisa foi a impossibilidade de obtenção de dados em campo.

Wen & Luo (2011) utilizaram as redes neurais artificiais, trabalhando com nove entradas obtidas com um intervalo de 30 segundos. Sendo elas: velocidade, ocupação e tempo de viagem de cada faixa de tráfego. O algoritmo se mostrou vantajoso por ter um bom desempenho na detecção de incidentes, além disso, ele atende à necessidade dos ITS de ter respostas em tempo real. Utilizando tanto os detectores como os veículos-teste, a taxa de detecção foi a mesma (96,67%), porém, o tempo para detecção foi reduzido significativamente.

Em vias, portanto, que ainda não trabalham em regime de saturação, o algoritmo se mostrou eficaz, porém, se houver congestionamento, ele não é válido. Somando os veículos-teste ao algoritmo, foi possível obter uma redução do tempo de detecção e os falsos alarmes.

Já Zheng *et al.* (2011) utilizaram os detectores para obter os dados relacionados ao fluxo, ocupação e a diferença entre a ocupação da via em questão e da adjacente. Um dos parâmetros de entrada do algoritmo para melhorar sua portabilidade é o comprimento da seção a ser estudada, pois, em alguns casos, mesmo após a limpeza do incidente, ainda há retenções nos detectores mais distantes.

Os veículos de teste são utilizados para obter a velocidade e o tempo de viagem, fatores que são modificados quando ocorre um incidente. Para reduzir a influência dos fatores aleatórios que modificam esses parâmetros, é feita uma média dos dados de diversos carros.

Após testarem o algoritmo no estudo de caso, os resultados mostraram que os que utilizam a fusão de dados são melhores dos que usam só uma fonte de dados.

Ainda são necessárias pesquisas futuras para descobrir como fundir esses parâmetros nas camadas de dados, obtendo assim melhor precisão e dimensão da informação, expandido a capacidade da informação e utilizando-as no algoritmo de detecção automática de incidentes.

3.3 Sistemas de detecção automática de incidentes desenvolvidos para túneis

Os algoritmos de detecção automática de incidentes desenvolvidos para túneis estudados utilizaram o processamento de imagens preocupando-se com a dificuldade de obter boas imagens, já que esse tipo de via tem baixa visibilidade.

Por meio das imagens detectadas no túnel de estudo, Kamijo e Fujimura (2010) buscaram uma detecção de incidente mais rápida em túneis urbanos com tráfego já saturado. Foi utilizado um algoritmo de rastreamento (*tracking algorithm*) com esse propósito. Resultando em um método que pode ser utilizado em vias congestionadas e com imagens precárias. O método em questão obtém a trajetória precisa dos veículos, observando assim a ocorrência de algum evento anormal na via.

Uma das dificuldades encontradas é a calibração dos métodos mesmo após o processamento das imagens obtidas, porém, nos resultados de teste, o detector automático de incidentes desenvolvido se mostrou eficiente.

Já Schwabachet *al.* (2005) buscaram apenas definir os diversos cenários existentes nos túneis e colocar prioridades de detecção, além de buscar as tecnologias disponíveis de sensores de vídeo para ver se é possível aplica-los no AID desenvolvido. Como resultado final, eles desenvolveram uma arquitetura de estudo e um protótipo do método denominado VITUS-1, demonstrados na Figura 3.3.

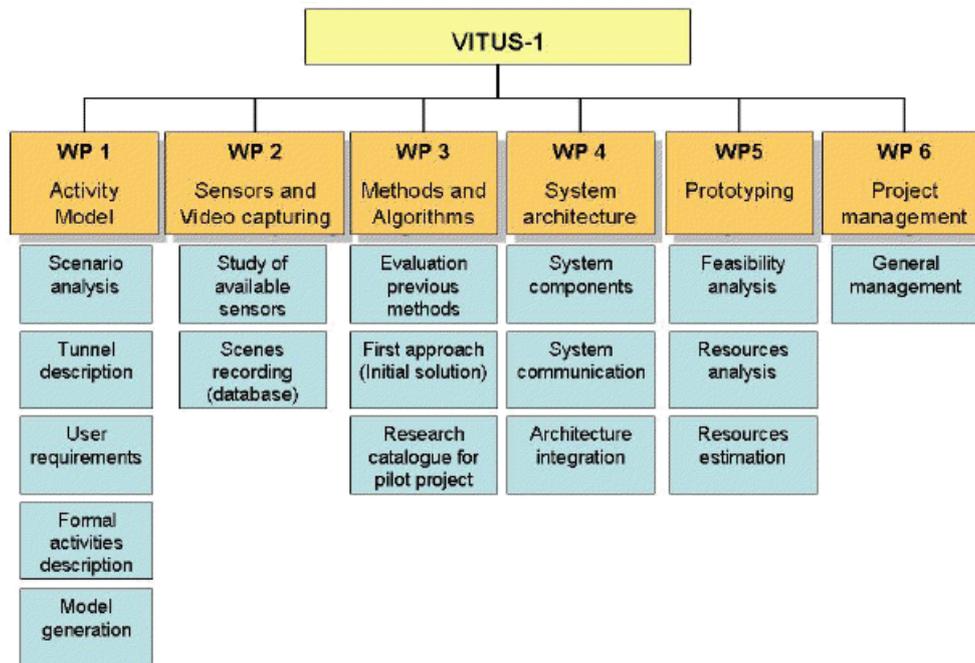


Figura 3.3: Pacote de trabalho e responsabilidade de cada um.

FONTE: Schwabach (2005)

Nessa pesquisa, portanto, três questões foram consideradas relevantes para a detecção de incidentes, sendo elas:

- Detecção de um objeto: veículo parado, presença de pessoas não autorizadas, objetos perdidos, entre outros;
- Situação do tráfego: reconhecimento da situação do tráfego (normal ou congestionada), classificação do meio de transporte (carro, moto, ônibus) e parâmetros do tráfego (velocidade e fluxo);
- Eventos de tráfego perigosos: veículos conduzidos na direção contrária, fogo e fumaça.

Após esse levantamento, foi feita uma lista de prioridades para a modelagem. As principais foram: objetos perdidos, automóvel em direção contrária, congestionamento, presença de pessoas e fogo ou fumaça. Nessa pesquisa, porém, os sensores só foram capazes de detectar os objetivos parados dentro do túnel, o fogo e a fumaça foram deixados para pesquisas futuras.

Os dados de teste para calibração desse sistema foram obtidos a partir de um túnel na Áustria e envolvem dados como velocidade, fatos como carros na contramão e dados derivados desses outros dois.

3.4 Conclusões do capítulo

O algoritmo que vem sendo mais utilizado com a finalidade de detectar incidentes é a rede neural, já que atualmente esse é o método com melhores performances. Entretanto, os pesquisadores estão buscando um sistema menos complexo e tão eficiente quanto esses algoritmos.

Outra grande diferença entre os métodos é a forma de obtenção de dados, podendo utilizar: câmeras de vídeo, detectores de laços indutivos e veículos de teste. Esse último vem sendo utilizado de forma integrada com outros detectores a fim de reduzir o número de alarmes falsos.

Todos eles trabalham com pelo menos um dos parâmetros de fluxo de tráfego: velocidade, densidade e fluxo. Após a obtenção dos dados, os AIDs atuais detectam o incidente por meio do processamento das imagens ou de comparação entre séries temporais e buscam um número maior índice de detecção de incidentes, menor tempo de detecção e menor taxa de alarmes falsos.

Capítulo 4

Metodologia desenvolvida

A maioria dos AIDs existentes levam em consideração as modificações nos parâmetros de tráfego no momento em que ocorre um incidente. Entretanto, em vias congestionadas ou com retenções, essa metodologia gera muitos alarmes falsos, já que os parâmetros são modificados devido às ondas de tráfego que podem, ou não, ser provenientes de um incidente. Sendo assim, para o desenvolvimento do método desta pesquisa, é necessário ver o sistema como um todo e não apenas o túnel isoladamente.

Isso ocorre devido ao fato da via, quando passa a trabalhar em regime de saturação, ter o fluxo e a velocidade drasticamente reduzidos, formando filas de veículos, fazendo com que aquele trecho da via atinja a sua densidade máxima.

Para desenvolvimento da metodologia de detecção de incidentes em um túnel urbano congestionado será utilizado, portanto, além das modificações dos parâmetros de fluxo de tráfego, o conceito de ondas de tráfego para tentar diferenciar quando as modificações bruscas na velocidade, densidade e fluxo são devidas a um incidente ou consequência de outros fatores.

4.1 Cálculo de previsão das ondas de choque

Quando há uma descontinuidade do fluxo ou da densidade, ocorrem ondas de choque que levam a mudanças bruscas na velocidade dos carros. Essas ondas podem ser de aceleração ou desaceleração e sua velocidade (u_k) é definida pela Equação (4.1).

$$u_k = \frac{\Delta q}{\Delta k} \quad (4.1)$$

Onde,

u_k : Velocidade da onda de choque (m/s);

Δq : Variação do fluxo (ucp/h);

Δk : Variação da densidade (veic/km).

Cabe ressaltar que as ondas de choque geralmente ocorrem quando a densidade à jusante é maior que da montante, gerando filas que se propagam em direção à montante. Quando a situação é contrária, há uma difusão do fluxo parecida com o que ocorre quando uma fila termina denominada onda de recuperação.

Para prever o tempo que essa onda de choque leva para atingir certo ponto na rede viária, considere a Figura 4.1.

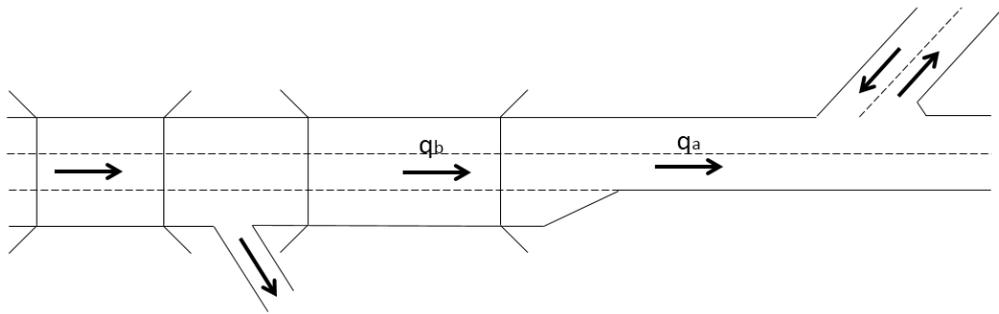


Figura 4.1: Esquema para cálculo da onda de choque

As ondas de tráfego podem ser justificadas por causa da ocorrência de um incidente, alto volume de tráfego, não homogeneidade do local ou por condições meteorológicas ruins. Isto é, quando a via atinge sua capacidade, passa a haver uma redução da velocidade V_a e um aumento da densidade (Figura 4.2), formando as filas. A velocidade reduz até chegar a zero quando a densidade máxima é atingida (k_j).

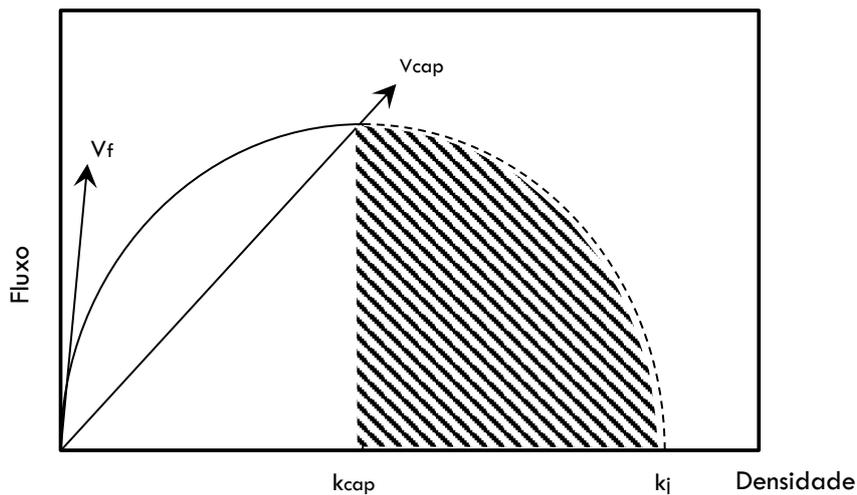


Figura 4.2: Relação entre o fluxo e a densidade

Caso após a análise de dados o valor da densidade for superior a k_{cap} , pode se dizer que a via está trabalhando atingiu-se a capacidade.

Utilizando o esquema da Figura 4.1, a velocidade que a onda de choque se propaga dentro do túnel é definida pela Equação 4.2.

$$\mu_k = \frac{q_b - q_a}{k_b - k_a} \quad (4.2)$$

Neste caso, a velocidade da onda de choque é negativa, isto é, corre em direção contrária ao fluxo, como é possível observar na Figura 4.3, que relaciona o fluxo com a densidade, mostrando a velocidade da onda de tráfego μ_k .

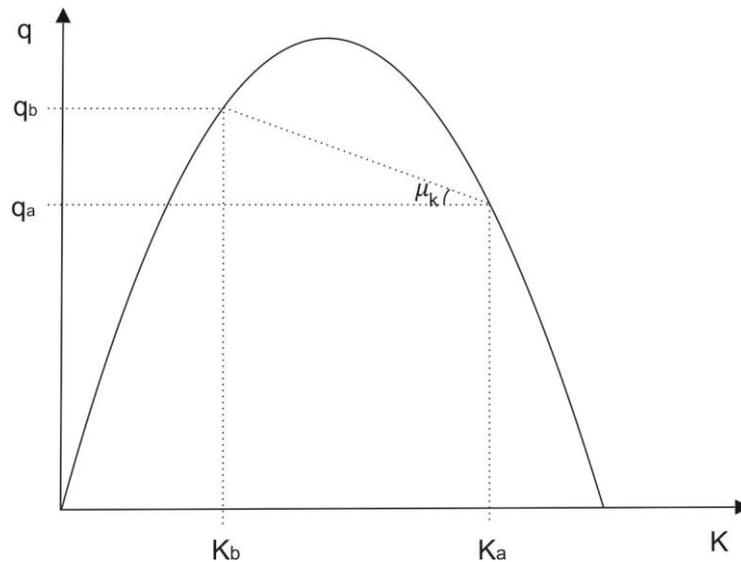


Figura 4.3: Velocidade da onda de choque

Pode haver ondas de choque consecutivas que atingem o ponto B. Elas podem ser motivadas por modificações na geometria das vias, pela existência de um incidente nas vias à frente ou até mesmo por um grande volume de veículos entrando na via contra um fluxo baixo saindo. Portanto, o fluxo pode ser modificado devido a várias ondas de choque.

Após essas análises, é preciso definir pontos dentro do túnel, nos quais poderá ser previsto se o ocorrido é uma onda de choque ou um incidente. Serão ao todo dois pontos (A e B), sendo um dentro da galeria e um na via fora do túnel (Figura 4.2).

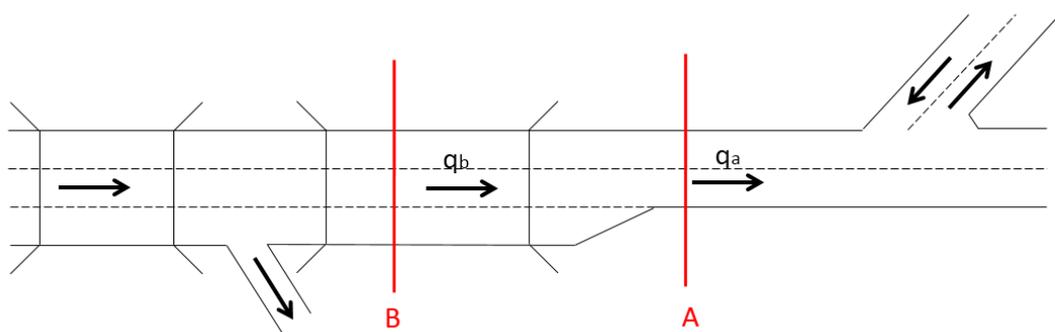


Figura 4.4: Local dos detectores

Sabendo que velocidade é a razão entre um deslocamento e o intervalo de tempo levado para efetuar esse deslocamento, pode-se prever o tempo que a onda de choque demora a chegar a certo ponto dentro do túnel pela Equação 4.4.

$$t = \frac{d_{\vec{AB}}}{\mu} \quad (4.4)$$

Onde:

μ : Velocidade da onda de choque (m/s);

$d_{\vec{AB}}$: Distância entre os pontos A e B (m).

Em situações normais, a velocidade nos pontos A e B seriam iguais, porém, a partir do momento que a velocidade em A fica menor que em B, ocorrem ondas de choque que trazem instabilidade ao fluxo de tráfego em B. Sendo t_0 o momento em que $V_a \geq V_b$ no ponto A e considerando $\mu = \mu_k$ calculado na Equação 4.2, o instante t_{AB} pode ser definido pela Equação 4.5.

$$t_{AB} = \frac{d_{\vec{AB}}}{\left(\frac{q_b - q_a}{k_b - k_a}\right)} + t_0 \quad (4.5)$$

É necessário prever todas as ondas de choque que podem atingir a galeria.

4.2 Algoritmo desenvolvido

Após a realização do cálculo da previsão das ondas de choque, foi desenvolvido um fluxograma com todas as etapas que devem ser seguidas para o correto funcionamento do método de detecção automática de incidentes desenvolvido.

Primeiramente devem ser levantados os parâmetros fluxo e densidade nos pontos definidos previamente, os quais devem ter distância entre eles conhecida. Serão mostrados apenas dois pontos, já que a lógica deverá ser seguida em todos os trechos subsequentes.

Com o fluxo e a densidade é possível calcular a velocidade. Os dados de parâmetro de tráfego nos dois pontos devem ser obtidos no mesmo momento, já que as ondas de choque surgem a partir no momento que a velocidade em A for diferente da velocidade

em B. Se a velocidade no primeiro ponto for menor que a do segundo ponto, a onda de choque irá se alastrar no sentido contrário ao fluxo, trazendo instabilidade no tráfego.

O valor de t_0 é o momento em que é observada a diferença de velocidade entre os dois pontos, isto é, o tempo inicial da onda de choque é obtido quando há um aumento da densidade e redução do fluxo e velocidade no primeiro ponto.

Devido à grande quantidade de dados obtidos em tempo real, é importante agrupar os parâmetros de tráfego de cada ponto em intervalos de tempo. Com os dados agrupados, é possível obter uma velocidade média e o fluxo em cada ponto naquele determinado intervalo. Nesse caso, o intervalo será de 30 segundos.

Se $V_a < V_b$, após obter os dados por intervalo, deve-se prever o tempo gasto pela onda de choque se alastrar até o próximo ponto, aplicando a equação que relaciona distância com a velocidade. O tempo obtido deve ser somado ao tempo inicial da onda de choque, t_0 , para obter o momento previsto para a onda de choque chegar ao segundo ponto, t_{AB} .

O tempo calculado para a onda de choque atingir o segundo ponto deve ser gravado, pois se naquele tempo guardado, t_{AB} , houver uma redução de velocidade no ponto B, o programa não reconhecerá a mudança como um incidente.

Se no tempo calculado, entretanto, ocorrerem modificações nos parâmetros de tráfego no ponto B, não soarão alarmes anunciando incidentes, já que esse era um comportamento esperado devido a uma onda de choque prevista. Com isso, é possível reduzir o número de alarmes falsos devido a paradas geradas pelo congestionamento.

Já se a velocidade no primeiro ponto for igual a do segundo, a situação está normal, isto é, sem incidente naquele trecho.

Se $V_a > V_b$, é preciso, portanto, recuperar os tempos em que foi prevista a ocorrência de ondas de choque em B, t_{AB} , e comparar com o tempo atual. Se eles foram iguais, nada é acionado, já que era uma situação prevista. Se não houver nenhuma previsão para essa instabilidade, provavelmente há um incidente naquela região e um alarme é gerado.

O algoritmo desenvolvido é demonstrado de forma esquemática na Figura 4.5.

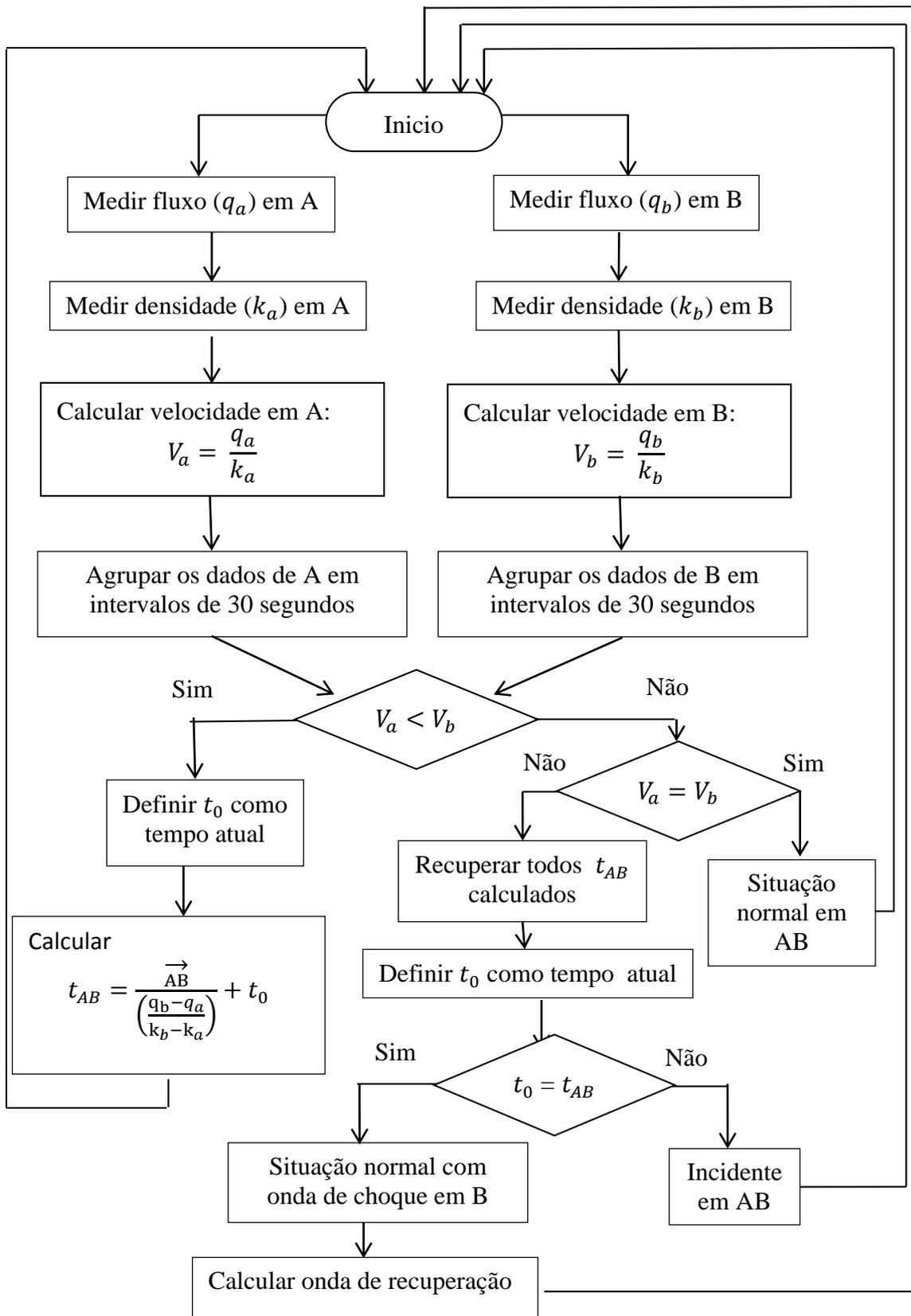


Figura 4.5: Algoritmo desenvolvido

4.3 Conclusões do capítulo

Neste capítulo foi desenvolvida uma metodologia com a finalidade de reduzir o número de alarmes falsos que ocorrem em túneis urbanos já equipados com sistemas de detecção automática de incidentes, mas que trabalham em regime saturado ou próximo da saturação. Esse método também pode ser utilizado em vias expressas, pois elas trabalham em regime semelhante ao dos túneis.

Para isso, foi utilizado o conceito de ondas de choque, propondo uma previsão do momento em que ela atingirá pontos predeterminados do túnel. Essa solução foi encontrada após fazer a revisão bibliográfica e observar que sistemas de detecção de acidentes normalmente trabalham com as modificações dos parâmetros de tráfego, porém, no congestionamento, as ondas de choque provocam essas mesmas modificações, gerando alarmes falsos.

A partir de um desenho esquemático de um túnel, foram marcados dois pontos para análise: um na via após a saída do túnel e o outro dentro dele, A e B respectivamente. Conhecendo a distância entre eles e o fluxo e a densidade em cada um deles, é possível prever o tempo que uma onda de choque que atinge o ponto A demorará a atingir B ou qualquer outro ponto dentro do túnel que tenha uma distância conhecida.

Com essa previsão, é possível diferenciar as ondas de choque dos incidentes na via.

Após essa análise, foi montado um fluxograma (Figura 4.5) que busca de maneira simples e esquemática demonstrar os passos que devem ser seguidos para tentar reduzir o número de alarmes falsos.

Capítulo 5

Estudo de caso

O túnel urbano congestionado escolhido como exemplo é o Túnel Rebouças, principal ligação entre a Zona Norte e a Zona Sul da Cidade do Rio de Janeiro. Nessa via, já existe um sistema de detecção automática de incidentes, porém, esse sistema gera um grande número de alarmes falsos quando há congestionamento dentro do túnel devido a fatores externos, como incidentes ou falta de capacidade nas vias da jusante.

O túnel é composto por duas galerias por sentido com três faixas de rolamento. A galeria entre a Lagoa e o Cosme Velho é a maior, com 2.040 metros de extensão. Já a outra galeria possui 760 metros.

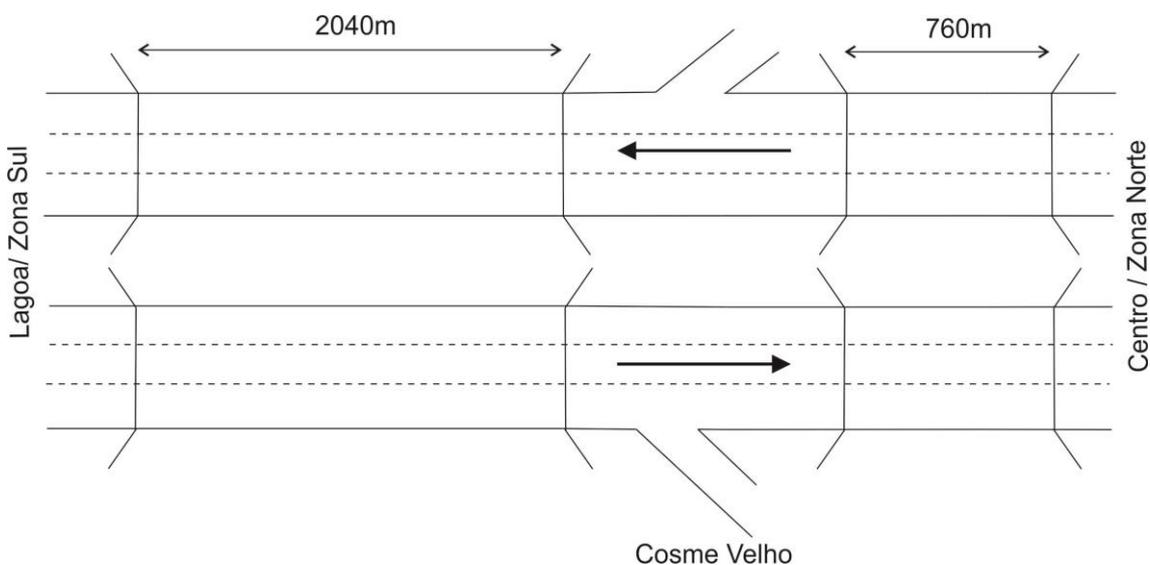


Figura 5.1: Esquema do Túnel Rebouças

No sentido Zona Sul/Lagoa, o Túnel Rebouças tem quatro saídas, nas quais o fluxo de saída se divide, são elas: Jardim Botânico, Humaitá, Avenida Borges de Medeiros e Avenida Epitácio Pessoa. Já no sentido Centro/Zona Norte, a saída principal é no Elevado Freyssinet, que liga o Túnel a importantes avenidas da cidade como: Linha Vermelha, Radial Oeste e Avenida Presidente Vargas. Há ainda neste sentido a saída para a Avenida Paulo de Frontin, sob o Elevado Engenheiro Freyssinet.

Os alarmes falsos que o sistema de detecção automática de incidentes implantado no Túnel percebe são uma consequência das ondas de choques vindas dessas saídas que, no horário de pico, possuem o tráfego instável.

Para tentar reduzir essa taxa de alarmes falsos do sistema, será utilizada a metodologia desenvolvida que busca prever o tempo em que ondas de choque chegarão em

determinado ponto do túnel, diferenciando assim a retenção devido a fatores externos das retenções derivadas dos incidentes dentro do túnel.

As galerias utilizadas para este estudo foram as do sentido Centro, que sofrem consequência direta do Elevado Engenheiro Freyssinet, o qual possui apenas duas faixas de rolamento, fator que ocasiona modificação no fluxo, na velocidade e, conseqüentemente, na densidade nesse trecho.

Devido a dificuldades de se obter gravações dentro do túnel, foram utilizadas imagens obtidas pelas duas câmeras da CET-Rio localizadas no Elevado Engenheiro Freyssinet. Essas imagens foram gravadas em um dia de semana entre as 18:00 e 20:00 horas, horário de pico na via e com grande número de alarmes falsos no sistema de detecção automática de incidentes implantado dentro do túnel.

Esse horário é o que gera maior número de alarmes falsos, já que a via está trabalhando praticamente em regime de saturação. Portanto, podem ser vistos ao longo da via diversos momentos de retenção que o sistema implantado lê como uma situação anormal e não como algo rotineiro.

As câmeras utilizadas ficam localizadas próximo à saída do túnel (B) e na altura da Rua Leontina Machado (A) (Figura 5.2), totalizando uma distância de 570m entre as duas. A partir dessas imagens, foi possível calcular a densidade e o fluxo no horário de pico nesse trecho.



Figura 5.2: Câmeras da CET-Rio utilizadas

FONTE: Google Earth (2012)

O *headway* e a densidade de cada ponto foram calculados a partir da sobreposição de figuras geométricas à imagem com a finalidade de ter sempre o mesmo ponto de referência para trabalhar com dados equivalentes.

A densidade foi definida com a demarcação de uma área com 60m de extensão nos vídeos, como demonstrada na Figura 5.3



Figura 5.3:Área de cálculo da densidade

FONTE: Câmera da CET-Rio

Esse comprimento foi definido após medir a pintura horizontal, no Elevado, já que essa é a melhor referência de comprimento nos dois vídeos. Ela segue o padrão 5x7, isto é, 5m de pintura e 7 de vazio. Portanto, foi utilizada uma área com 5 conjuntos de “pintura e vazio” (Figura 5.4).A cada veículo que passava pela linha inferior do retângulo, eram contados quantos veículos havia naquela área e armazenados no Microsoft Office Excel.

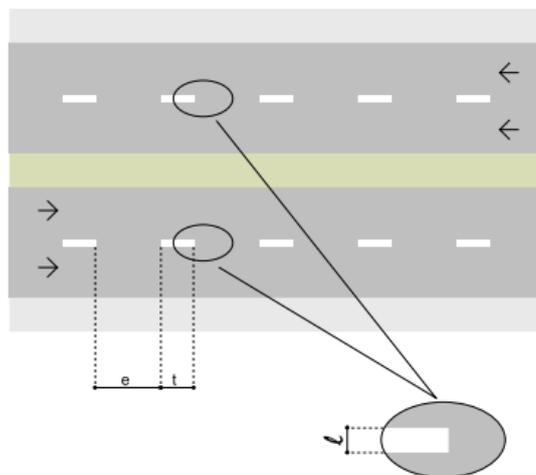


Figura 5.4:Linha simples seccionada

FONTE: CONTRAN (2007)

Para o cálculo do *headway* em segundos, foi calculada a diferença entre o tempo que cada veículo passava em uma linha predeterminada sobreposta às imagens das câmeras. Com esses dados, foi possível calcular o fluxo e a velocidade por meio das relações mostradas nas Equações 5.1 e 5.2. Os dados foram todos armazenados no Microsoft Office Excel, com o qual foi possível gerar a tabela mostrada na Figura 5.5.

$$Fluxo = \frac{3600 \text{ s/h}}{Headway} \quad (5.1)$$

$$Velocidade = \frac{Fluxo}{Densidade} \quad (5.2)$$

	A	B	E	G	H	J	L	N	P	R	S	U	W	Y
1	FAIXA 2						FAIXA 1							
2	Tempo no vídeo	Densidade	Headway (s)	Densidade (veic/km)	Fluxo na faixa (veic/h)	Velocidade (km/h)	Tempo no vídeo	Densidade	Headway (s)	Densidade (veic/km)	Fluxo na faixa (veic/h)	Velocidade (km/h)		
4	19:08:33	2	3	83,3333333	1200	36	19:08:33	3	2	83,3333333	1800	36		
5	19:08:34	3	1	83,3333333	3600	72	19:08:36	2	3	83,3333333	1200	36		
6	19:08:36	3	2	66,6666667	1800	36	19:08:38	3	2	100	1800	36		
7	19:08:38	3	2	83,3333333	1800	36	19:08:40	2	2	66,6666667	1800	54		
8	19:08:41	2	3	66,6666667	1200	36	19:08:42	3	2	66,6666667	1800	36		
9	19:08:43	2	2	83,3333333	1800	54	19:08:43	3	1	83,3333333	3600	72		
10	19:08:44	3	1	100	3600	72	19:08:44	4	1	100	3600	54		
11	19:08:49	2	5	66,6666667	720	21,6	19:08:45	4	1	116,6666667	3600	54		
12	19:08:52	2	3	66,6666667	1200	36	19:08:46	4	1	100	3600	54		
13	19:08:55	2	3	66,6666667	1200	36	19:08:48	4	2	83,3333333	1800	27		
14	19:08:57	2	2	83,3333333	1800	54	19:08:49	2	1	66,6666667	3600	108		
15	19:08:59	3	2	83,3333333	1800	36	19:08:50	2	1	66,6666667	3600	108		
16	19:09:00	4	1	100	3600	54	19:08:54	2	4	50	900	27		
17	19:09:02	4	2	116,6666667	1800	27	19:08:55	2	1	50	3600	108		
18	19:09:03	3	1	100	3600	72	19:08:56	3	1	66,6666667	3600	72		
19	19:09:04	4	1	133,3333333	3600	54	19:08:58	3	2	83,3333333	1800	36		
20	19:09:06	4	2	116,6666667	1800	27	19:08:59	4	0,8	100	4500	67,5		
21	19:09:08	4	2	100	1800	27	19:09:00	3	1,2	116,6666667	3000	60		
22	19:09:09	4	1	100	3600	54	19:09:01	3	1	100	3600	72		
23	19:09:11	4	2	100	1800	27	19:09:03	3	2	100	1800	36		

Figura 5.5: Coleta de dados

Após o cálculo dos parâmetros de tráfego de cada ponto separadamente, os dados obtidos com as imagens foram agrupados de 30 em 30 segundos. Com esses dados, foi montada uma planilha com o intervalo de tempo, a quantidade de veículos que passou em cada ponto naquele intervalo de tempo, além de calcular a densidade média e o fluxo total naquele intervalo de tempo nos dois pontos separadamente, Figura 5.6.

1	T_INICIAL	T_FINAL	PONTO A				PONTO B					
			QTD	SOMA DENSIDADE	SOMA FLUXO	MÉDIA DENSIDADE	MÉDIA FLUXO	QTD	SOMA DENSIDADE	SOMA FLUXO	MÉDIA DENSIDADE	MÉDIA FLUXO
4	19:08:31	19:09:00	13	1033,333333	16111,76471	79,48717949	1239,86516	31	1433,333333	74520	46,23655914	2403,870968
5	19:09:01	19:09:30	12	783,333333	11554,28571	65,27777778	962,8571429	29	1600	64114,28571	55,17241379	2210,837438
6	19:09:31	19:10:00	6	483,333333	3106,396761	80,55555556	517,7327935	29	1733,333333	61800	59,77011494	2131,034483
7	19:10:01	19:10:30	21	1416,666667	31024,28571	67,46031746	1477,346939	24	1733,333333	43320	72,22222222	1805
8	19:10:31	19:11:00	32	2233,333333	77700	69,79166667	2428,125	2	216,6666667	1500	108,3333333	750
9	19:11:01	19:11:30	30	2300	63900	76,66666667	2130	12	1016,666667	10624	84,72222222	885,3333333
10	19:11:31	19:12:00	30	2250	63000	75	2100	24	1166,666667	40800	48,61111111	1700
11	19:12:01	19:12:30	20	1733,333333	28620	86,66666667	1431	29	1316,666667	58200	45,40229885	2006,896552
12	19:12:31	19:13:00	7	750	4900	107,1428571	700	26	1683,333333	51420	64,74358974	1977,692308
13	19:13:01	19:13:30	6	633,333333	2765,909091	105,5555556	460,9848485	4	433,333333	3214,285714	108,3333333	803,5714286
14	19:13:31	19:14:00	2	116,6666667	836,1290323	58,33333333	418,0645161	10	550	12903,72093	55	1290,372093
15	19:14:01	19:14:30	19	1400	29346,59341	73,68421053	1544,557548	22	1333,333333	37714,28571	60,60606061	1714,285714
16	19:14:31	19:15:00	29	2050	57000	70,68965517	1965,517241	7	733,333333	7650	104,7619048	1092,857143
17	19:15:01	19:15:30	16	1400	22170	87,5	1385,625	6	333,333333	5882,54172	55,55555556	980,42362
18	19:15:31	19:16:00	3	333,333333	1800	111,1111111	600	19	716,6666667	24840	37,71929825	1307,368421
19	19:16:01	19:16:30	3	333,333333	456,5217391	111,1111111	152,173913	23	916,6666667	44640	39,85507246	1940,869565
20	19:16:31	19:17:00	12	1083,333333	13185,88235	90,27777778	1098,823529	28	1216,666667	58920	43,45238095	2104,285714
21	19:17:01	19:17:30	11	1183,333333	14104,1958	107,5757576	1282,199619	29	1250	67125	43,10344828	2314,655172
22	19:17:31	19:18:00	4	450	2016,923077	112,5	504,2307692	27	1133,333333	56820	41,97530864	2104,444444
23	19:18:01	19:18:30	6	533,333333	3253,518822	88,88888889	542,2531369	22	983,333333	38040	44,6969697	1729,090909
24	19:18:31	19:19:00	24	1366,666667	44700	56,94444444	1862,5	15	1300	18840	86,66666667	1256
25	19:19:01	19:19:30	31	2083,333333	70500	67,20430108	2274,193548	3	216,6666667	2520	72,22222222	840

Figura 5.6: Média do fluxo e densidade

A velocidade das ondas de choque iniciadas em A foi calculada a partir da relação entre a diferença do fluxo em A e B e a velocidade média dos dois pontos.

Como a distância entre os dois pontos era conhecida, 570 metros, foi possível calcular o tempo que demoraria a essa onda atingir B. Esse tempo calculado somado ao tempo médio do intervalo de 30 segundos em questão é o momento previsto para haver instabilidade do tráfego no ponto B, coluna Q da Figura 5.7.

1	Cálculo do tempo						R	S	T	U	V	W
2	MÉDIA FLUXO	Distância (m)	Velocidade (km/h)	Velocidade (m/s)	t (s)	t total calculado						
4	2403,870968	570	-35,02203687	-9,7283436	58,59168	19:09:58						
5	2210,837438	570	-123,4968179	-34,304672	16,61581	19:09:46						
6	2131,034483	570	-77,61691076	-21,560253	26,43754	19:10:26						
7	1805	570	68,80714286	19,1130952	0	00:00:00						
8	750	570	-43,54054054	-12,094595	47,12849	19:11:47						
9	885,333333	570	-154,5103448	-42,91954	13,28066	19:11:43						
10	1700	570	15,15789474	4,21052632	0	00:00:00						
11	2006,896552	570	-13,95626741	-3,8767409	147,0307	19:14:57						
12	1977,692308	570	-30,13477322	-8,3707703	68,09409	19:14:08						
13	803,5714286	570	123,3311688	34,258658	0	00:00:00						
14	1290,372093	570	-261,6922731	-72,692298	7,841271	19:14:07						
15	1714,285714	570	-12,97799518	-3,6049987	158,1138	19:17:08						
16	1092,857143	570	-25,61204819	-7,1144578	80,11854	19:16:20						
17	980,42362	570	12,68456494	3,52349026	0	00:00:00						
18	1307,368421	570	-9,638247012	-2,6772908	212,9018	19:19:32						
19	1940,869565	570	-25,10237288	-6,9728814	81,74526	19:17:51						
20	2104,285714	570	-21,47258225	-5,9646062	95,56373	19:18:35						
21	2314,655172	570	-16,01393785	-4,4483161	128,1384	19:19:38						
22	2104,444444	570	-22,69011951	-6,302811	90,43584	19:19:30						
23	1729,090909	570	-26,8564433	-7,4601231	76,40625	19:19:46						
24	1256	570	-20,40560748	-5,6682243	100,5606	19:20:40						

Figura 5.7: Tempo calculado para onda de choque atingir B

Para verificar se ocorreu instabilidade no tráfego no ponto B no tempo em que era previsto, foi construído um gráfico que sobrepõe o tempo previsto à situação real. O gráfico apresenta a velocidade das duas faixas de tráfego no ponto B (eixo vertical) em

função do tempo (eixo horizontal) e junto a ele foram plotadas linhas tracejadas que mostram o momento em que foram previstas ondas de choque por meio dos cálculos.

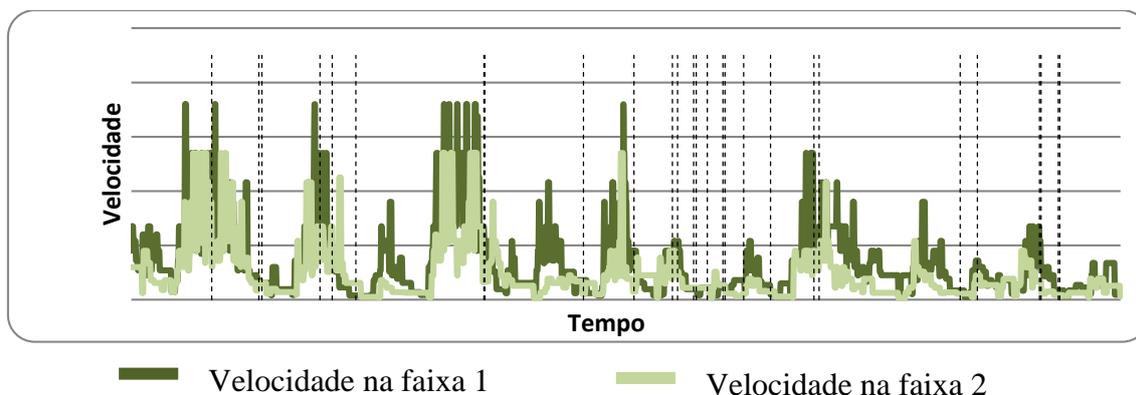


Figura 5.8: Velocidade no ponto B

Segundo os cálculos, é previsto, portanto, que, após essas linhas tracejadas, haja uma redução brusca na velocidade, independente da ocorrência de um incidente.

Como essa análise foi feita no horário de pico da via, é notável a instabilidade da velocidade devido ao grande número de ondas de choque que atingem aquele ponto. Utilizando a metodologia desenvolvida, foi possível diferenciá-las de um incidente, já que as reduções bruscas já eram previstas.

Anterior aos momentos em que a velocidade sofreu uma queda brusca, há uma linha tracejada que mostra que essa mudança já era prevista e não passa de uma situação rotineira.

Em alguns pontos eram esperadas reduções de velocidades, mas elas não aconteceram. Isso ocorre provavelmente devido a onda de recuperação que não foi levada em consideração nesse método.

Após essa análise, é possível prever por extrapolação as ondas de choque dentro do Túnel, sabendo a distância entre os pontos a serem levados em consideração. Na Figura 5.8, é mostrado o tempo que uma onda de choque levaria para chegar à entrada da galeria entre o Cosme Velho e o Rio Comprido (R2), mostrado na coluna T da Figura 5.9, e na saída e na entrada da galeria entre o Cosme Velho e a Lagoa (L2), mostrado na coluna W e Z da Figura 5.8.

	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	
1			Início da R2			Fim da L2			Início da L2								
2	t total calculado	Distância (m)	t (s)	t total	Distância (m)	t (s)	t total	Distância (m)	t (s)	t total							
4	19:09:58	800	140,8256	19:11:20	220	163,44	19:11:43	2040	373,1365	19:15:13							
5	19:09:46	800	39,93625	19:10:09	220	46,34937	19:10:16	2040	105,8165	19:11:15							
6	19:10:26	800	63,54285	19:11:03	220	73,74682	19:11:13	2040	168,3654	19:12:48							
7	00:00:00	800	0	00:00:00	220	0	00:00:00	2040	0	00:00:00							
8	19:11:47	800	113,2737	19:12:53	220	131,4637	19:13:11	2040	300,1341	19:16:00							
9	19:11:43	800	31,92019	19:12:01	220	37,04606	19:12:07	2040	84,57686	19:12:54							
10	00:00:00	800	0	00:00:00	220	0	00:00:00	2040	0	00:00:00							
11	19:14:57	800	353,3896	19:18:23	220	410,1383	19:19:20	2040	936,3535	19:28:06							
12	19:14:08	800	163,6647	19:15:43	220	189,9467	19:16:09	2040	433,6518	19:20:13							
13	00:00:00	800	0	00:00:00	220	0	00:00:00	2040	0	00:00:00							
14	19:14:07	800	18,84656	19:14:18	220	21,87302	19:14:21	2040	49,93651	19:14:49							
15	19:17:08	800	380,0279	19:20:50	220	441,0543	19:21:51	2040	1006,935	19:31:16							
16	19:16:20	800	192,5656	19:18:12	220	223,4886	19:18:43	2040	510,2286	19:23:30							
17	00:00:00	800	0	00:00:00	220	0	00:00:00	2040	0	00:00:00							
18	19:19:32	800	511,7113	19:24:31	220	593,8839	19:25:53	2040	1355,848	19:38:35							
19	19:17:51	800	196,4754	19:19:46	220	228,0263	19:20:18	2040	520,5882	19:25:10							
20	19:18:35	800	229,6883	19:20:49	220	266,5725	19:21:26	2040	608,5901	19:27:08							
21	19:19:38	800	307,9817	19:22:37	220	357,4386	19:23:27	2040	816,0391	19:31:06							
22	19:19:30	800	217,3633	19:21:37	220	252,2684	19:22:12	2040	575,9335	19:27:35							
23	19:19:46	800	183,6431	19:21:33	220	213,1332	19:22:03	2040	486,5871	19:26:36							
24	19:20:40	800	241,6983	19:23:01	220	280,5111	19:23:40	2040	640,4122	19:29:40							
25	19:19:37	800	17,25596	19:19:47	220	20,02699	19:19:50	2040	45,722	19:20:15							
26	19:21:08	800	163,5602	19:22:43	220	189,8254	19:23:09	2040	433,3749	19:27:13							
27	00:00:00	800	0	00:00:00	220	0	00:00:00	2040	0	00:00:00							
28	00:00:00	800	0	00:00:00	220	0	00:00:00	2040	0	00:00:00							
29	19:25:49	800	622,6805	19:31:52	220	722,6729	19:33:32	2040	1649,876	19:48:59							
30	19:23:04	800	153,9706	19:24:33	220	178,6958	19:24:58	2040	407,9658	19:28:47							
31	19:23:23	800	128,5607	19:24:38	220	149,2055	19:24:59	2040	340,639	19:28:10							

Figura 5.9: Tempo calculado para onda de choque atingir os pontos no túnel

5.1 Conclusões do capítulo

Neste capítulo, foi utilizada a metodologia desenvolvida para o caso do Túnel Rebouças. Esse Túnel está localizado na Cidade do Rio de Janeiro, possui 2 galerias por sentido, totalizando 2.800m de cada lado e trabalha quase em regime de saturação no horário de pico. Sendo a principal ligação entre a Zona Sul e a Zona Norte da cidade.

Para testar a metodologia, o ideal seria ter imagens do Elevado Engenheiro Freyssinet, uma das vias de ligação do túnel e de dentro das galerias. Entretanto, devido à dificuldade de obtenção de gravações de imagens dentro do túnel, foram utilizadas duas câmeras implantadas no Elevado Engenheiro Freyssinet, uma logo na saída do túnel e outra 570m à frente.

Sem essas imagens e os alarmes dados pelo sistema de detecção automática de incidente implantado no túnel, não foi possível calcular a verdadeira redução do número de alarmes falsos obtida com essa metodologia. Entretanto, foi possível notar que, com a previsão das ondas de choque, é possível reduzi-los, já que foi feito um comparativo do tempo calculado para onda de choque atingir a câmera na saída do túnel e o momento que as modificações dos parâmetros de tráfego realmente ocorreram.

Por extrapolação, foi calculado o tempo que as ondas de choque levariam para chegar a pontos predefinidos dentro do túnel. Como resumo desse cálculo, obteve-se a Tabela 5.1, que mostra a relação entre a velocidade da onda de choque e o tempo que levará para ocorrer modificações nos parâmetros de tráfego nas entradas e saídas das galerias do túnel.

Tabela 5.1: Relação entre a velocidade da onda de choque e o tempo que ela atingirá determinados pontos na via

Velocidade da onda de choque no ponto A (m/s)	Tempo para chegar ao ponto B (s)	Tempo para chegar à saída para Paulo de Frontin (s)	Tempo para chegar à saída do Cosme Velho (s)	Tempo para chegar à entrada pela Lagoa (s)
2,5	228	548	636	1452
5	114	274	318	726
7,5	76	182	212	484
10	57	137	159	363
20	28,5	68,5	79,5	181,5
30	19	45	53	121

Capítulo 6

Conclusão e recomendações

O objetivo do trabalho foi alcançado após analisar os motivos que geram alarmes falsos nos sistemas de detecção automática de incidentes implantados em vias confinadas que já trabalham em regime de saturação, no caso, mais especificamente, em um túnel urbano.

Inicialmente buscou-se definir conceitos que seriam utilizados no trabalho como incidentes, capacidade, parâmetros de tráfego e ondas de choque.

Esse último conceito foi a base da metodologia desenvolvida, já que as vias que trabalham em regime de saturação possuem um fluxo de tráfego instável devido às diversas ondas de choque que atingem o trecho, que podem ser provenientes, ou não, de incidentes. Notou-se, portanto, que apenas com dados como velocidade, fluxo e densidade não seria possível conseguir redução dos falsos alarmes nas vias que trabalham acima da capacidade.

Além disso, foi definido o que é sistema de detecção automática de incidente, mostrando a importância deles principalmente em túneis que possuem uma condição única de condução, já que o ambiente pode causar má percepção de condições da estrada, claustrofobia e falta de orientação espacial.

Após as definições, foi feito um levantamento do estado da arte em relação a pesquisas sobre AIDs. Para isso, foi realizado levantamento bibliográfico sobre o que vem sendo desenvolvido sobre esse tema atualmente. Todos os AIDs pesquisados trabalham com pelo menos um dos parâmetros de fluxo de tráfego e buscam um maior índice de detecção de incidentes, menor tempo de detecção e menor taxa de alarmes falsos.

Essa taxa de alarmes falsos, entretanto, aumenta em situações em que a via trabalha em regime de saturação, já que as modificações ocasionadas pelas paradas em decorrência de congestionamentos são idênticas às que ocorrem em incidentes.

Para reduzir os alarmes falsos nos sistemas existentes, foi proposto um método que busca prever as ondas de choque que podem atingir o túnel, diferenciando se a instabilidade do fluxo de tráfego está relacionada a um incidente na galeria ou se é apenas parada por congestionamento.

Com a previsão dessas ondas, é possível saber o horário em que a densidade aumentará e o fluxo e a velocidade irão reduzir sem ter nenhuma relação com incidentes, mas apenas devido à falta de capacidade na via adiante.

A metodologia foi desenvolvida de maneira genérica e pode ser utilizada em qualquer túnel ou via confinada que já trabalha em regime de saturação e é frequentemente atingida por ondas de choque.

Essa metodologia leva em consideração dois pontos na via, A e B. Nesses pontos são medidos a densidade e o fluxo e é necessário que a distância entre eles seja previamente conhecida. Com esses dados é calculado o tempo em que uma onda de choque iniciada em A demorará a atingir B ou qualquer outro ponto dentro do túnel que tenha uma distância conhecida.

Sendo assim, é possível distinguir quando a via tratada foi atingida por uma onda de choque já prevista ou se ocorreu um incidente realmente.

O estudo de caso realizado levou em consideração o Túnel Rebouças, principal ligação entre a Zona Sul e a Zona Norte da Cidade do Rio de Janeiro que possui uma extensão de 2.080 metros por sentido e atualmente tem um fluxo próximo ao de sua capacidade máxima, principalmente no horário de pico.

Além disso, essa via é atingida por ondas de choque com frequência devido às variações geométricas. O Elevado Freyssinet, ligação direta do túnel, tem duas faixas de rolamento, já o túnel possui três faixas.

Foram analisadas gravações de duas câmeras do Elevado Engenheiro Freyssinet em um dia de semana no horário de pico da via, entre as 18:00 e as 20:00 horas. Uma dessas câmeras fica logo na saída do túnel e a outra 570m à frente.

Não foram utilizadas imagens de dentro do túnel devido a dificuldades de se conseguir essas gravações. Por isso, não foi possível calcular a verdadeira redução do número de alarmes falsos obtida com a metodologia desenvolvida, já que não se obteve uma gravação demonstrando os alarmes acionados no sistema atualmente implantado, bem como o cálculo da densidade e o fluxo em pontos dentro do túnel para observar se as modificações previstas ocorreram.

Por outro lado, observou-se que é possível obter uma redução dos alarmes falsos com a previsão das ondas de choque, já que foi feito um comparativo do tempo calculado para a onda de choque atingir a câmera na saída do túnel e o momento que as modificações dos parâmetros de tráfego realmente ocorreram.

Foi feito também um cálculo por extrapolação, prevendo o tempo que uma onda de choque demorará a atingir outros pontos dentro do túnel. Depois foi apresentada uma tabela resumo (Tabela 5.1) com as diversas velocidades dessa onda.

Como pesquisa futura, é sugerida a análise das ondas de recuperação, pois, em alguns momentos, a onda de recuperação pode ultrapassar a de congestionamento, não trazendo assim modificações aos parâmetros de tráfego na seção seguinte.

Como neste estudo de caso foram utilizados apenas dois pontos para análise, fica como recomendação testar o algoritmo utilizando um maior número de câmeras, principalmente as internas, que mostram o comportamento do fluxo de tráfego dentro do túnel.

Além disso, é importante comparar o método desenvolvido com outro já em uso para ver a real redução dos alarmes falsos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBORNOZ, M. A. P., 2005, *Contribuição Para Um Estudo Integrado do Gerenciamento de Tráfego e Transporte: Uma Visão Sistêmica*. Dissertação de M.Sc., Programa de Pós-graduação Engenharia de Transportes da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ., Brasil.
- BAZZAN, A. L. C. E KLÜGL, F., 2007, “Sistemas Inteligentes de Transporte e Tráfego: Uma Abordagem de Tecnologia da Informação”, *Anais das Jornadas de Atualização em Informática*, cap. 8, pp. 2296-2337.
- CBMERJ, 2010, Destacamento de Santa Tereza ativa operação no Túnel Rebouças. Disponível em <http://www.cbmerj.rj.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=1878:destacamento-de-santa-tereza-ativa-operacao-no-tunel-reboucas&catid=43:Noticias-do-CBMERJ&Itemid=43>. Acesso em: 07 de setembro de 2011.
- CET-Rio, 2010, Sistemas Inteligentes de Transportes CET RIO, Relatório da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, Setembro, Rio de Janeiro, Brasil.
- CHEN, L., CAO, Y., JI, R., 2010, “Automatic Incident Detection Algorithm Based on Support Vector Machine”, *IEEE*, pp 864-866, Yantai, Shandong, Agosto.
- CHEN, S. E WANG, W., 2009, “Decision tree learning for freeway automatic incident detection”, *Expert Systems with Applications*, n. 36, pp. 4101-4105.
- COELHO, E. C. , 2009, *Avaliação dos níveis de congestionamento em vias arteriais com a utilização da micro-simulação*. Dissertação de M.Sc., Programa de Pós-graduação Engenharia de Transportes da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ., Brasil.
- CONTRAN, 2007, Manual de sinalização horizontal, Volume IV, Brasília
- DIA, H. E THOMAS, K., 2011, “Development and evaluation of arterial detection models using fusion of simulated probe vehicle and loop detector data”, *Information Fusion*, n 12, pp 20-27.
- FWHA, 2010, *Traffic Incident Management Handbook Update*, Federal Highway Administration, Washington D. C.
- GLOBO (2012), Disponível em <<http://oglobo.globo.com/rio/galerias-do-tunel-reboucas-ganham-nova-sinalizacao-4899543>>. Acesso em: 23 de novembro de 2013.
- HCM, 2010, *Highway Capacity Manual*, Washington D. C., Transportation Research Board.
- IMMERS, L. H., LOGGHE, S., 2002, *Traffic Flow Theory*, Notas de aula sobre Teoria do fluxo de tráfego da Katholieke Universiteit Leuven.
- IPEA e ANTP , 1998, “Redução das Deseconomias Urbanas com a Melhoria do Transporte Público”, *Relatório síntese*.
- ITS AMERICA, 2011, “Intelligent Transportation Society of America”. Disponível em <<http://www.itsa.org/>>. Acesso em: 4 de abril de 2011.
- ITS BRASIL, 2011, “Tecnologia para o transporte inteligente”, matéria disponível em <<http://www.itsb.org.br/>>. Acesso em: 4 de abril de 2011.
- JEONG, Y., CASTRO, M. E HAN, M. K. J. D., 2011, “A wavelet-based freeway incident detection algorithm with adapting threshold parameters”, *Transportation Research Part C*, n 19, pp. 1 a 19.

- JIANG, G., NIU, S., LI, Q. CHANG, A. JIANG, H., 2010, “Automated Incident Detection Algorithms for Urban Expressway”, *IEEE*, v.3, pp.70 a 74, Yantai, Shandong, Agosto.
- JINGLEI, Z., JIN, X., SHAOYI, L., 2011, “Abnormal traffic incident detection based on hidden markov models”, *ICTE 2011*, pp. 3098 a 3103.
- KAMIJO E FUJIMURA, 2010, “Incident Detection in Heavy Traffics in Tunnels by the Interlayer Feedback Algorithm”, *Int. J. ITS Res*, v.8, pp. 121 a 130.
- KNOOP, V., HOOGENDOOM, S., ADAMS K., 2009, “Capacity Reductions at Incidents Sites on Motorways”, *EJTIR*, v.9, n. 4, pp. 363 a 379.
- YEO, H., SKABARDONIS, A., (2009) “Understanding Stop-and-go Traffic in View of Asymmetric Traffic Theory”, *Transportation and Traffic Theory*, pp 99 – 115.
- LOU, Y., YIN, Y. E LAWPHONGPANICH, S., 2011, “Freeway service patrol deployment planning for incident management and congestion mitigation”, *Transportation Research Part C*, v 19, pp. 283 a 295.
- LU, J., CHEN, S., WANG, W. E RAN, B. , 2012, “Automatic traffic incident detection based on nFoil”, *Expert Systems with Applications*, v. 39, n.7, pp. 6547–6556.
- MENESES, H. B., LEANDRO, C. H. P. E LOUREIRO, C. F. G., 2003, “Indicadores de desempenho para sistemas centralizados de controle do tráfego urbano em tempo real”, *Relatório CTAFOR*, Fortaleza, Recife, Brasil.
- MODIC, J. , 2003, “Fire simulation in Road tunnels”, *Tunnelling and Underground Space Technology*, v 18, pp. 525-530.
- NATIONAL ITS ARCHITETURE, 2011, “User services”. Disponível em <<http://itsarch.iteris.com/itsarch/html/user/userserv.htm>>. Acesso em: maio de 2011.
- RIBEIRO, P. C. M., RITTO, A. C. A. E ROJAS, A., 2009, “Desenvolvimento de Sistemas Complexos Aplicáveis aos Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) - O caso SINIAV”, *Cadernos do IME*, Rio de Janeiro.
- RUIMIN. L., XIAOQIANG, Z., XINXIN, Y., NAN, C., JIANAN, Z., 2010, “Incident Duration Model on Urban Freeway Based on Discrete Choice Model”, *IEEE*, pp.3826 a 3829, Yantai, Shandong, Agosto.
- SANTOS, C. L., 2007, *Fluxo de saturação de interseções complexas controladas por semáforos*. Dissertação de M.Sc., Programa de Pós-graduação Engenharia de Transportes da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ., Brasil
- SCHWABACH, H., HARRER, M., HOLZMANN, W., BISCHOF, H., DOMÍNGUEZ, G., NÖLLE, M., PFLUGFELDER, R., STROBL, B., TACKE, A., WALTL, A., 2005, “Video based image analysis for tunnel safety – vitus-1: a tunnel video surveillance and traffic control system”, TRB, Fevereiro, San Francisco California, United States.
- SMTR-RJ. Disponível em <<http://www.rio.rj.gov.br/web/guest/exibeconteudo?article-id=1838749>>. Acesso em: 8 de setembro de 2011.
- ŠKORPUT, P., MANDŽUKA, S., JELUŠIĆ, N., 2010, “Real-time Detection of Road Traffic Incidents”, *Promet – Traffic & Transportation*, v. 22, n. 4, pp.273-283.

- THOMAS, T., BERKUM, E.C., 2009, "Detection of Incidents and Events in Urban Networks", *IET Intell. Transp. Syst.*, v. 3, n. 2, pp. 198- 205.
- TRAFFICINFRA TECH, 2012, *A real-time Traffic Incident Detection System*. Disponível em <<http://www.citilog.com/pdf/en/TrafficTechMay2012.pdf>>. Acesso em: maio de 2012.
- TRB, 1976, *Traffic Flow Theory*, Washington D. C., Transportation Research Board
- VALENTI, G., LELLI, M. E CUCINA, D., 2010, "A comparative study of models for the incident duration prediction". Department of Statistics, La Sapienza University, Roma, Italy.
- VASHITZ, G., SHINARA, D. E BLUM, Y., 2008, "In-vehicle information systems to improve traffic safety in road tunnels", *Transportation Research Part F*, v. 11, pp. 61–74.
- VUILLEUMIER, F., WEATHERILL, A. CRAUSAZ, B., 2002, "Safety aspects of railway and road tunnel: example os the Lotschberg railway and Mont-Blanc road tunnel", *Tunnelling and Underground Space Technology*, v. 17, pp.153–158.
- WANG, K., JIA, X. E TANG, S , 2005, "A survey os vision-based automatic incident detection technology", *IEEE 2005*, pp. 290 a 295.
- WANG, Q., 2011, "Traffic incident detection based on artificial neural network", *IEEE 2011*, pp. 657 a 659.
- WEN E LUO, 2011, "Traffic Incident Detection for Urban Arterial Road Based on Data Fusion and Learning Vector Quantization", *ICTIS 2011*, pp.971 a 977.
- WILLIAMS, B., 2008, "What's New in Intelligent Transport Systems Standards?" *Synthesis Journal*, seção. 3.
- ZHANG, Z., LIN, X. E HU, B., 2011, "Algorithm Design of Traffic Incident Automatic Detection Based on Mobile Detection", *IEEE*, 2011, pp.331 a 335.
- ZHAO, X., WENG, J. e RONG, J., 2010, "Urban Expressway Incident Detection Algorithm Based on Floating Car Data", *Integrated Transportation Systems – Green Intelligent Reliable*, 2011, pp.2132 a 2139.
- ZHENG, C., ZHOU, Q., CHEN, S. e YU, Z., 2011, "Urban Road Traffic Incident Auto-detecting Based on Decision Fusion", *ICCTP*, 2011, pp. 1348 a 1359.