

Automatic Vehicle Count in Multiple Climatic and Illumination Conditions

Ricardo Fantin da Costa, Hugo Vieira Neto and Keiko Verônica Ono Fonseca
 Graduate Program in Electrical and Computer Engineering
 Federal University of Technology – Paraná
 Email: ricardofantin@gmail.com

Abstract—Traffic engineering can benefit from the use of quantitative parameters extracted directly from the streets to plan traffic flow, especially if these extracted parameters are reliable in different illumination and climatic conditions. This paper discusses the feasibility of obtaining such descriptive parameters to help plan the traffic flow in a city using computer vision techniques, namely segmentation and counting of vehicles, using real data from a camera installed in a street crossing. The algorithm was built using frame differences, mathematical morphology and contour correspondence, and with few configuration parameters (the definition of a counting line and the expected length of vehicles) it was able to count vehicles accurately in different climatic and illumination conditions.

I. INTRODUÇÃO

A engenharia de tráfego utiliza múltiplos parâmetros para descrever o trânsito em uma cidade. Obter esses parâmetros de forma rápida e em grande quantidade facilita o planejamento do trânsito, sendo que três fatores principais são destacados em [1] para analisar o tráfego: o fluxo de veículos, a sua velocidade média e a distância média entre eles. A medida de fluxo é feita pela contagem dos veículos, que consiste no objetivo deste trabalho.

Diversas técnicas para realizar a segmentação e contagem de veículos existem. Almeja-se um método de rápido processamento e que seja capaz de trabalhar com câmeras que não tenham que ser posicionadas especialmente para este fim. Um processo comum para segmentar objetos em movimento utiliza modelagem de fundo da cena.

No contexto de aplicações de contagem de veículos, em [2] é proposta uma forma de atualizar o modelo do fundo da cena levando em consideração veículos parados ou movimento lento de veículos por meio de um processo de espera por um determinado período. Quando a segmentação está sendo feita com exatidão ou há poucos veículos ou não há muita oclusão, é possível acompanhar a trajetória dos veículos. Em [3] é apresentada uma técnica simples para seguir e contar veículos com altas taxas de acurácia e em [4], os pontos de interesse de objetos em movimento são agrupados e analisados quanto a possuírem velocidades próximas e distribuição que corresponda ao tamanho estimado de um veículo. Uma abordagem híbrida com modelagem de fundo e agrupamento de pontos de interesse é apresentada em [5]. Outro exemplo de modelagem de fundo e segmentação de veículos com base na forma das manchas de movimento foi apresentado em [6], em que o fecho convexo de uma mancha de movimento é comparada

à sua área para determinar se dois veículos foram agrupados erroneamente e devem ser separados. Em [7], manchas de movimento são separadas quando ultrapassam a linha entre duas faixas de veículos.

No presente trabalho é apresentada uma forma de segmentação baseada na premissa de que um veículo possui seu comprimento maior que sua largura. Combinando as técnicas de análise da direção do eixo principal da mancha do movimento [8] com a direção esperada da velocidade do veículo, pode-se determinar se o suposto veículo detectado está alinhado com a direção do movimento. Se não estiver, provavelmente detectou-se erroneamente dois veículos como sendo apenas um – quando este tipo de situação é detectada, os veículos são separados pelo algoritmo proposto neste trabalho.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma: a Seção II descreve os materiais e métodos empregados; a Seção III descreve os experimentos realizados para a obtenção dos resultados discutidos na Seção IV; e finalmente a Seção V apresenta as principais conclusões sobre os resultados obtidos e algumas sugestões de investigações futuras.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados nos experimentos relatados neste trabalho são vídeos adquiridos por uma câmera instalada em um cruzamento na cidade de Curitiba. Foram selecionados cinco vídeos de uma mesma câmera em diferentes horários do dia e em diferentes condições climáticas. Cada vídeo tem a duração de dez minutos, com trinta quadros por segundo, totalizando dezoito mil quadros por vídeo, o que torna a base de dados utilizada bastante rica em informações.

A câmera utilizada para a aquisição dos vídeos é capaz de rotacionar, adquirindo cenas do trânsito a partir de diferentes pontos de vista e com diferentes níveis de zoom. Caso um processamento corriqueiro fosse utilizado, refazer as calibrações necessárias cada vez que o ponto de vista de aquisição da câmera fosse alterado se tornaria uma tarefa bastante inconveniente. Portanto, busca-se uma solução suficientemente genérica para realizar o processamento de vídeo independentemente do ponto de vista de aquisição das imagens e com baixo custo computacional, devido ao grande volume de dados a serem processados.

O processo geral aplicado sobre os vídeos está ilustrado na Figura 1. A entrada se dá na forma da especificação de uma linha no local onde deseja-se contar quantos veículos

passaram e do tamanho estimado para esses veículos. O processo retorna os instantes de tempo em que veículos com o tamanho especificado cruzaram a linha de contagem.

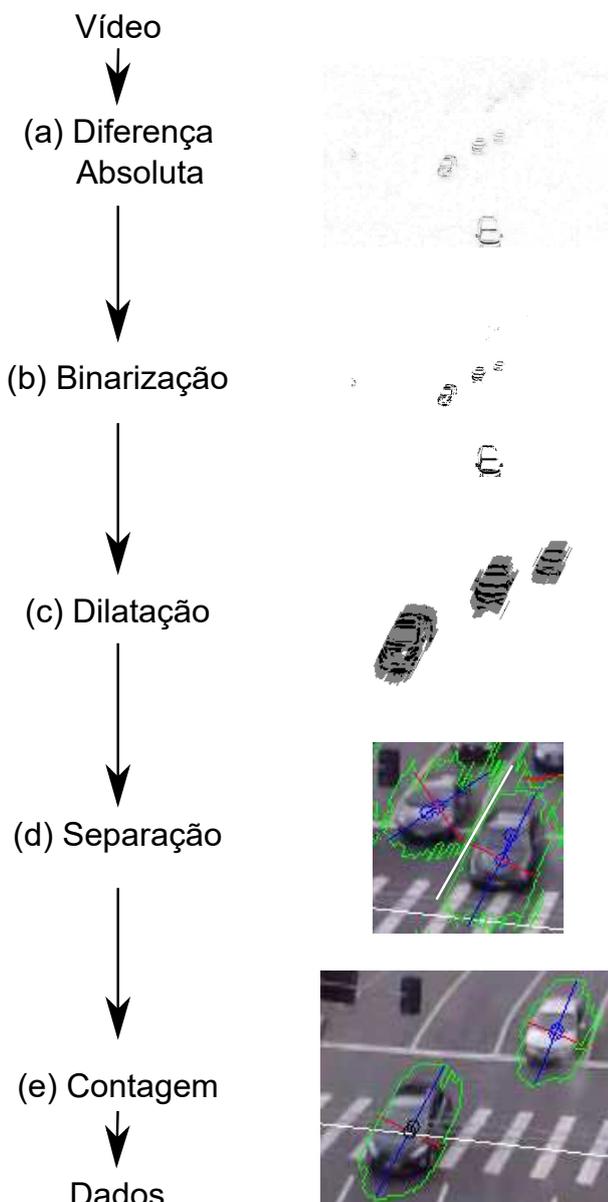


Figura 1: (a) diferença absoluta de quadros; (b) binarização dos pixels em dois grupos (em movimento ou estáticos); (c) operação morfológica de dilatação para unir os pixels em movimento; (d) separação de veículos, caso manchas de movimento tenham seu eixo principal em uma direção diferente da direção do elemento morfológico; (e) contagem através da ligação do centro de cada mancha com o centro correspondente em dois quadros anteriores.

O objetivo inicial do algoritmo proposto é o de separar os veículos do fundo para depois contá-los, pois a contagem é uma das poucas métricas objetivas para validar os resultados do experimento. O movimento dos veículos pode ser detectado

pela técnica da diferença absoluta entre quadros, como ilustra a Figura 2. Neste processamento, os quadros em cores do vídeo foram previamente convertidos para tons de cinza.

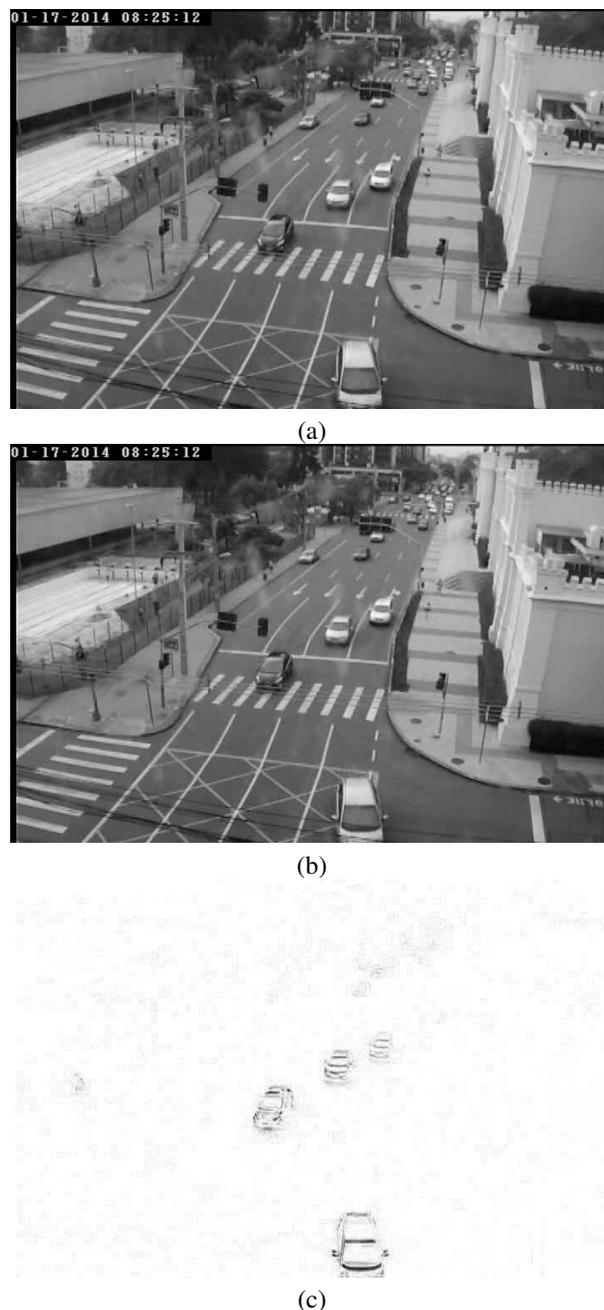


Figura 2: (a) e (b) apresentam dois quadros subsequentes; (c) apresenta o módulo da diferença entre esses quadros (invertida e normalizada para melhor visualização).

Uma vez calculada a diferença de valores dos pixels na etapa representada na etapa (a) da Figura 1, é necessário determinar o limiar de separação entre o que se consideram pixels em movimento ou pixels estáticos. Para este fim, utiliza-se o algoritmo de Otsu [9] no histograma da diferença absoluta entre

quadros. A ideia por trás deste algoritmo é a de determinar um ponto de separação no histograma de forma a minimizar o desvio padrão dos valores do histograma à esquerda (pixels estáticos) e à direita (pixels em movimento), conforme etapa (b) da Figura 1.

Os pixels classificados como estando em movimento na diferença absoluta entre quadros correspondem às bordas ortogonais à direção do movimento, conforme ilustrado na Figura 3 – bordas do asfalto com a frente do veículo, do capô com o para-brisa, do para-brisa com o teto e da traseira do veículo com o asfalto. Diversas regiões homogêneas do veículo acabam sendo classificadas como sendo pixels estáticos e para agrupá-las foi usado o filtro morfológico da dilatação com elemento estruturante em forma de linha orientada na direção do movimento. Essa forma de elemento estruturante tende a não agrupar os veículos que estão nas faixas de trânsito adjacentes, auxiliando também a reduzir os efeitos causados por postes, fios de distribuição de eletricidade e outros objetos existentes na cena que possam obstruir os objetos de interesse.



Figura 3: À esquerda um dos veículos classificados como estando em movimento pela limiarização; no centro o elemento estruturante em forma de linha orientada na direção do movimento; à direita o resultado da dilatação.

A partir da etapa (c) da Figura 1 existem manchas (regiões) de movimento e não mais pixels de interesse. Deseja-se a correspondência de apenas um veículo a cada mancha de movimento, mas pode ocorrer o agrupamento de mais de um veículo. Então, é preciso extrair mais informações da mancha de movimento para determinar se uma separação se faz necessária. O algoritmo proposto se utiliza da técnica dos momentos para calcular o centro de massa e os eixos principais das manchas [8]. A direção do eixo principal da mancha de movimento deve ser próxima à direção do movimento e aproximadamente perpendicular à linha de contagem – se não o for, conclui-se que a mancha deve ser separada em duas. O ponto de separação usado é o centro de massa, com uma linha na direção do movimento esperado do veículo. Na etapa (d) da Figura 1 é exibido o resultado de uma separação em duas manchas.

Ao final do processamento é necessário definir a correspondência das manchas de movimento entre quadros. Para isto, verifica-se em dois quadros anteriores se existe uma mancha de movimento com tamanho, orientação do eixo principal e centro próximos a cada mancha encontrada no quadro atual. Com esta informação é possível traçar a movimentação da mancha entre os quadros e detectar se algum centro passou pela linha

de contagem. A Figura 4 ilustra mais detalhadamente uma situação de contagem.

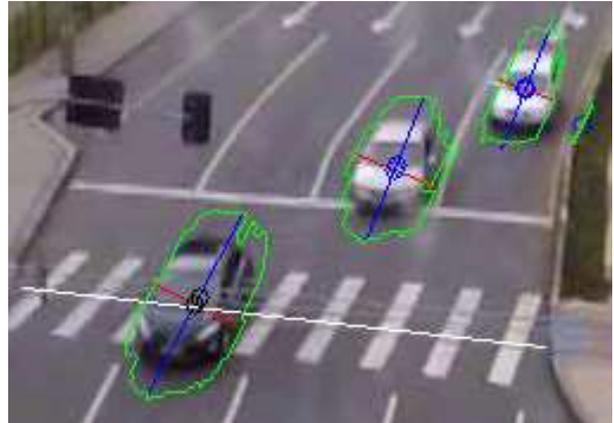


Figura 4: O centro de cada mancha de movimento é representado por um círculo azul, sendo a posição anterior que esse centro ocupou também representada por um círculo ligado ao centro atual. Quando é detectada a passagem do centro pela linha de contagem, a cor dos círculos é alterada para preto.

III. EXPERIMENTOS

O algoritmo foi aplicado em cinco vídeos com a linha de contagem entre as coordenadas (228, 292) e (447, 317), e com o mesmo tamanho da linha do elemento estruturante da dilatação (18 pixels). A validação dos resultados foi efetuada através da comparação com os dados corretos de contagem de veículos pela linha de contagem (padrão-ouro), realizada manualmente por um operador humano. As situações analisadas foram: 1) contagem de um veículo; 2) contagem de um veículo em duplicidade; e 3) falha na contagem de um veículo, sendo as duas últimas situações indesejadas.

A avaliação dos resultados levou em conta quando um veículo deixou de ser contado e quando um veículo foi contado erroneamente. A razão entre o número de veículos contados corretamente pelo total de veículos deveriam ter sido contados é definido como acurácia e consiste na principal métrica de qualidade do processo. Uma segunda métrica possível de ser utilizada consiste em desconsiderar os veículos que não foram contados e calcular a preditividade positiva para mensurar se o algoritmo está contando elementos inexistentes.

Para realizar a contagem, o usuário define a linha de contagem e o tamanho do elemento estruturante da dilatação. Estes são os únicos dados que o usuário deve informar ao sistema, sendo a direção do elemento estruturante da dilatação sempre ortogonal à linha de contagem. Quando um veículo cruza a linha de contagem são registrados os seguintes metadados: o número do quadro, o tamanho em pixels do veículo, a localização do centro da mancha de movimento e a localização desse mesmo centro no quadro anterior. Diversas informações podem ser retiradas destes metadados, além da contagem do fluxo de veículos, como por exemplo a temporização dos semáforos e a quantidade de veículos trafegando em cada pista.

Tabela I: Resultados da contagem de veículos nos cinco vídeos utilizados.

Vídeo	Horário	Condições	Verdadeiros Positivos	Falsos Positivos	Falsos Negativos	Acurácia (VP/(VP+FP+FN))	Pred. Positiva (VP/(VP+FP))
1	19:40-19:50	Dia de chuva	187	1	27	87%	99%
2	21:00-21:10	Noite de chuva	158	0	17	90%	100%
3	23:30-23:40	Noite (tons de cinza)	80	0	7	92%	100%
4	09:30-09:40	Dia nublado	316	0	35	90%	100%
5	12:00-12:10	Dia de sol	113	0	7	94%	100%

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados dos experimentos de contagem de veículos são mostrados na Tabela I. A fim de avaliar o desempenho do algoritmo, foi verificado quando um veículo foi corretamente contado (Verdadeiro Positivo), quando um veículo não existente foi contado ou quando um mesmo veículo foi contado em duplicidade (Falso Positivo) e quando um veículo deixou de ser contado (Falso Negativo).

Em situações comuns em que os veículos estão em movimento, a contagem ocorre como esperado. Os momentos em que ocorrem erros na contagem são principalmente quando o semáforo acaba de abrir e os veículos ainda não estão em uma velocidade razoável para o movimento ser adequadamente detectado entre quadros consecutivos. Nestas situações, a dilatação acaba agrupando em uma mesma mancha de movimento carros da mesma faixa e o veículo mais à frente acaba não sendo contado.

Uma informação adicional possível de ser obtida pelo processamento são os momentos em que o semáforo está fechado ou aberto. Como dificilmente um falso positivo é detectado passando pela linha de contagem, os momentos em que o semáforo está fechado não apresentam nenhuma contagem. A Figura 5 apresenta um gráfico contendo os intervalos de tempo em que ocorreu contagem de veículos. No intervalo de 1870 até 3277 não há contagem de veículos, evidenciando um período de tempo em que o semáforo estava fechado, sendo esse um padrão que se repete em todo o gráfico. Essa informação simples pode ser usada para detectar anomalias grandes no trânsito. O termo preditividade positiva refere-se à relação entre o número de acertos pelo número total de veículos que o algoritmo contou. Na Tabela I os altos valores de preditividade positiva indicam grande robustez do método para encontrar longos períodos de tempo com uma pista de trânsito parada.

Com as imagens reais de uma mesma rua em diversos horários e condições climáticas distintas pode-se obter um grande número de situações interessantes para a análise do método. Se para cada condição climática e horário uma configuração distinta fosse necessária, então o método proposto neste artigo não seria viável. Com o usuário configurando apenas a linha de contagem na direção ortogonal ao movimento esperado dos veículos, supõe-se que o tamanho do elemento da dilatação seja simples de ser configurado.

Uma característica importante do algoritmo proposto neste trabalho é a pequena quantidade de parâmetros específicos para regular os algoritmos de visão computacional. É natural ao usuário especificar o local da contagem, já que cabe a ele

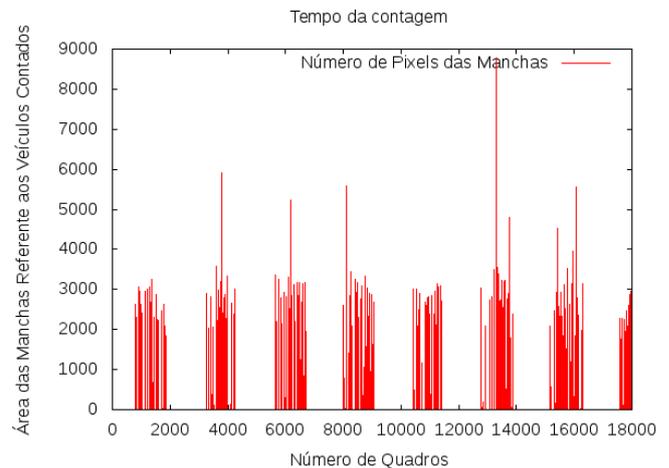


Figura 5: Contagem de veículos (área) ao longo do tempo (quadro) registrado no vídeo número 4, em que são notórios os períodos em que o semáforo está fechado.

também a sua interpretação e posterior uso. A distância entre as bordas perpendiculares ao movimento dos veículos acaba sendo um parâmetro mínimo necessário.

Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes [10] um operador experiente pode contar e classificar corretamente até aproximadamente 450 veículos por hora. Comparado a valores da ordem de centenas de veículos a cada dez minutos, torna-se claro que o trabalho executado pelo algoritmo proposto pode vir a substituir o trabalho de pelo menos dois operadores humanos no cruzamento em que os vídeos foram adquiridos, podendo ser executado ininterruptamente durante longos períodos de tempo.

V. CONCLUSÃO

Sob todas as condições climáticas dos diferentes vídeos a acurácia do algoritmo foi de 90,6% em média, um valor considerado promissor. A baixa variação na acurácia evidencia que o método proposto não foi afetado pelas condições adversas testadas e também não está tendencioso para apenas uma condição climática específica.

O agrupamento de manchas de movimento separadas pelas regiões homogêneas dos veículos através da operação morfológica de dilatação em formato de linha na direção do movimento foi eficaz em auxiliar na detecção correta de veículos ao mesmo tempo em que não causou uniões indesejadas com veículos próximos.

Próximo ao foco da câmera situa-se a região mais nítida das imagens, constituindo o local ideal para se realizar a contagem dos veículos. Foi selecionada a faixa de pedestres como local preferencial para contar os veículos, garantindo um local onde é possível contar até mesmo os veículos que realizam a conversão no cruzamento.

Mais informações sobre o tráfego podem ser retiradas das séries temporais geradas pela contagem em trabalhos futuros. A verificação da temporização dos semáforos frente a períodos de estagnação do fluxo de veículos ou a detecção de eventos (como acidentes) que causem a obstrução de uma via são exemplos nesse sentido.

O uso do fluxo ótico denso também pode ser usado para determinar quais pixels estão em movimento na cena, substituindo a diferença de quadros seguida da operação morfológica da dilatação. Embora essa abordagem seja susceptível a encontrar movimento nas sombras projetadas pelos veículos em alguns horários do dia, não é tão susceptível a ruído de pixels isolados. O uso do fluxo ótico denso permitiria detectar automaticamente situações em que um operador humano está movimentando a câmera, por exemplo, e mudar automaticamente os parâmetros de processamento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a bolsa de estudos concedida pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a gentil cessão dos vídeos utilizados pela Urbanização de Curitiba (URBS).

REFERÊNCIAS

- [1] A. Pande and B. Wolshon, *Traffic Engineering Handbook*, 7th ed. John Wiley & Sons, 2016.
- [2] M. Vargas, J. M. Milla, S. L. T. Marín, and F. Barrero, "An enhanced background estimation algorithm for vehicle detection in urban traffic scenes." *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 59, no. 8, pp. 3694–3709, 2010.
- [3] D. Li, B. Liang, and W. Zhang, "Real-time moving vehicle detection, tracking, and counting system implemented with OpenCV," in *IEEE International Conference on Information Science and Technology*, 2014, pp. 631–634.
- [4] Z. Kim, "Real time object tracking based on dynamic feature grouping with background subtraction," in *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, June 2008, pp. 1–8.
- [5] C. Bouvié, J. Scharcanski, P. Barcellos, and F. L. Escouto, "Tracking and counting vehicles in traffic video sequences using particle filtering," in *IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference*, 2013, pp. 812–815.
- [6] A. P. Vieira and R. F. da Costa, "Contagem volumétrica de veículos em vias urbanas," Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2014. [Online]. Available: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/2971>
- [7] A. Sanchez, P. D. Suarez, A. Conci, and E. Nunes, "Video-based distance traffic analysis: Application to vehicle tracking and counting," *Computing in Science Engineering*, vol. 13, no. 3, pp. 38–45, 2011.
- [8] R. J. Prokop and A. P. Reeves, "A survey of moment-based techniques for unoccluded object representation and recognition," *CVGIP: Graphical Models and Image Processing*, vol. 54, no. 5, pp. 438 – 460, 1992.
- [9] N. Otsu, "A threshold selection method from gray-level histograms," *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, vol. 9, pp. 62–66, 1979.
- [10] Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), *Manual de Estudos de Tráfego*, Rio de Janeiro, 2006.