

Detecção de ultrapassagens veiculares irregulares através de processamento de imagens

Mauro F. Rodrigues, Alzenira da Rosa Abaide, Douglas Castro Karnikowski*/ Marco A. Furmann**
Taciana P. Enderle e Gabriel H. Danielsson

*Universidade Federal de Santa Maria – UFSM – Santa Maria/RS e Fabor – Faculdade de Engenharia de Horizontina +55 55 98401-1070; e-mail: mauro.rodrigues@gmail.com/ alzenira@ufsm.br/douglascastrok@gmail.com

** Engenheiro Eletricista, Cooperluz – mafurmann@bol.com.br

Abstract: Traffic accidents currently make up a global health problem. Among the most diverse occurrences, head-on collisions on single lanes are responsible for the highest number of deaths on Brazilian roads, according to surveys by the Institute for Applied Economic Research (IPEA), these collisions are caused mainly due to illegal overtaking maneuvers. The big problem lies in the fact that there are no consolidated electronic equipment designed to inspect this type of infraction, leaving only an insufficient number of field agents in fully punctual operation. In this sense, the present work aims to develop a tool for automatic detection of irregular vehicle overtaking in prohibited places, through the application of traffic image processing and analysis techniques. To this end, an algorithm was developed on the MATLAB platform, which basically includes mathematical processes for manipulating and altering pixels, analyzing the matrices formed by digital images and, mainly, by segmentation and mathematical morphology operations, in order to detect vehicles and the type of lane on a highway, with the least computational resource possible. In the end, it was possible to determine whether in the analyzed section the overtaking in an irregular area happened, determining characteristics of the object in order to determine if it is a vehicle that performed the fact, characterizing traffic violation.

Resumo: Acidentes de trânsito compõem atualmente um problema de saúde global. Entre as mais diversas ocorrências, as colisões frontais ocorridas em pistas simples, são as responsáveis pelo maior número de mortes nas estradas brasileiras, segundo levantamentos do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), essas colisões são causadas principalmente devido a manobras de ultrapassagem ilegais. O grande problema situa-se no fato de que não existem equipamentos eletrônicos consolidados destinados a fiscalizar esse tipo de infração, cabendo somente a um número insuficiente de agentes de campo em operação totalmente pontual. Nesse sentido, o presente trabalho visa desenvolver uma ferramenta de detecção automática de ultrapassagens veiculares irregulares em locais proibidos, através da aplicação de técnicas de processamento e análise de imagens de tráfego. Para tanto, desenvolveu-se um algoritmo em plataforma MATLAB, o qual contempla basicamente processos matemáticos de manipulação e alteração de pixels, analisando as matrizes formadas pelas imagens digitais e, principalmente, por segmentação e operações de morfologia matemática, de forma a detectar veículos e o tipo de faixa de uma rodovia, com o menor recurso computacional possível. Ao final, foi possível determinar se no trecho analisado a ultrapassagem em área irregular aconteceu, determinando características do objeto de forma a determinar se é um veículo que realizou o fato, caracterizando infração de trânsito.

Keywords: Digital image processing; Mathematical morphology; Matlab; Traffic safety; Computer vision.

Palavras-chaves: Processamento digital de imagens; Morfologia matemática; Matlab; Segurança de trânsito; Visão computacional.

1. INTRODUÇÃO

Todos os anos milhões de pessoas morrem vítimas de acidentes de trânsito ao redor do mundo. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), em 2013 foram cerca de 1,2 milhões de pessoas que perderam suas vidas. Frente a isso, acidentes desse gênero passaram a compor um problema de saúde global segundo a Organização das Nações Unidas (ONU) (OMS, 2015).

No Brasil os números vêm aumentando no período 2009 a 2015, colocando o país em primeiro lugar na América do Sul em número de óbitos no trânsito por habitante com cerca de 41.059 mortes em 2013 (OMS, 2015). Conforme Relatório de Pesquisa apresentado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) em 2014 ocorreram 169.163 acidentes em estradas federais fiscalizadas pela Polícia Rodoviária Federal

(PRF), totalizando 8.227 mortes e cerca de 100 mil feridos (BRASIL, 2015).

Ainda, segundo o relatório, entre as mais diversas ocorrências as colisões frontais ocorridas em pistas simples, foram as que caracterizaram o maior número de mortes, aproximadamente 92% (BRASIL, 2015). Nesse contexto, considerando a presença predominante de rodovias simples de mão dupla na malha viária brasileira (CNT; SEST; SENAT, 2017), ultrapassagens irregulares são um dos principais motivos que originam esse tipo de acidente.

Mais recentemente, a partir de 2013, a Resolução nº 471 do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN), autorizou o monitoramento em centrais de vídeo, dessa forma a fiscalização pode também ser realizada de forma remota (BRASIL, 2013).

Quanto à fiscalização eletrônica de trânsito, essa se divide em duas aplicações (MING, 2006):

- Aplicações metrológicas: medição do valor de uma grandeza física (velocidade) baseando-se na tecnologia de laços indutivos, a exemplo do radar fixo e da barreira eletrônica ou por meio de ondas eletromagnéticas (radar estático).
- Aplicações não metrológicas: não envolvem medição, apenas constatando ou identificando ocorrências. Por exemplo a fiscalização de invasão de semáforo vermelho ou de faixa exclusiva de ônibus. Nesse caso “a captura e o processamento de imagens constitui uma etapa importante no processo de fiscalização.” (MING, 2006).

O presente trabalho tem como proposta desenvolver um sistema de detecção automática de infração de trânsito do gênero ultrapassagem; mais especificamente, elaborar um algoritmo que seja capaz de determinar quando um veículo realiza uma ultrapassagem na presença de linha dupla contínua, ou seja, detectar a ultrapassagem proibida a partir de imagens tomadas por câmeras de vigilância, não necessariamente específicas para o processo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O processo de rastreamento de objetos tornou-se uma das tarefas mais importantes na área de visão computacional, dado que a base de qualquer aplicação envolvendo monitoramento de veículos advém da localização espacial do mesmo. Aliado a isso, tem-se difundido atualmente o estudo de métodos de detecção de ultrapassagem, principalmente a partir de câmeras embarcadas em veículos, como meio de alerta para o motorista em caso de ultrapassagem sobre seu veículo (SANTOS, 2014).

Conforme a Lei 9.503 (BRASIL, 1997, Anexo I) o termo ultrapassagem é definido como “movimento de passar à frente de outro veículo que se desloca no mesmo sentido, em menor velocidade e na mesma faixa de tráfego, necessitando sair e retornar à faixa de origem.”

“A ultrapassagem de outro veículo em movimento deverá ser feita pela esquerda, obedecida a sinalização regulamentar [...]” (BRASIL, Lei 9.503, 1997, Capítulo III, Art. 29). Ainda, segundo o artigo 203 da Lei 9.503 (BRASIL, 1997) “Ultrapassar pela contramão outro veículo (Fig. 1): [...] V – onde houver marcação viária longitudinal de divisão de fluxos opostos do tipo linha dupla contínua ou simples contínua amarela. Infração – gravíssima. Penalidade - multa (cinco vezes).”

Montanari (2015) argumenta que, em uma aplicação de rastreamento de objetos a detecção de um objeto em movimento em um vídeo é uma etapa essencial. Segundo ele, “O objetivo da detecção de objetos em movimento é localizar objetos em primeiro plano para extrair informações úteis ao sistema como trajetória, orientação e velocidade, etc.” (MONTANARI, 2015, p. 23). Sendo assim, essa técnica resume-se basicamente a segmentar, a partir de cenas de vídeo (quadros), os objetos em análise.



Fig. 1 Ultrapassagem irregular em rodovia simples de mão dupla.

Foi realizada uma verificação na base de dados IEEE para analisar possíveis trabalhos na área. Os avanços nessa área fora do Brasil são notáveis. Chen et al (2019), realizam uma estimativa de colisão e detecção da ultrapassagem com métodos numéricos avançados. Garcia et al (2019) realizam a integração de radar e imagem para realizar a detecção. Nessa linha, a maioria dos trabalhos encontrados usam processamento avançado e grandes bancos de dados para análise e comparação de dados.

Para este trabalho, busca-se a análise de quadros de vídeo, de forma a separar os quadros que mostram a violação para uma posterior detecção de placa e emissão de notificação.

2.1 A imagem

Segundo Gonzalez; Woods (2010), o processo de aquisição de uma imagem digital é realizado basicamente por sensores individuais (Fig. 2(a)) dispostos em forma de uma matriz bidimensional, conforme representado na Fig. 2(b). Sensores típicos, amplamente utilizados em câmeras digitais, são o CCD (*Charge Coupled Device* – Dispositivo de Cargas Acopladas), e o CID (*Charge Integrated Device* – Dispositivo de Cargas Integradas).

Do ponto de vista computacional, basicamente a intensidade da luz em cada *pixel* é convertida em uma coleção de 0 e 1 (forma binária), a qual é sequencialmente armazenada em uma memória, em um arquivo, geralmente no formato TIFF, JPG, Bitmap. Sendo assim, tendo constituído o arquivo da imagem em formato digital, pode-se acessar o mesmo, para tarefas simples de visualização, ou em rotinas de processamento de imagens, de forma a manipular os dados, salvando o resultado em um novo arquivo (NIKU, 2013) (MONTANARI, 2015).

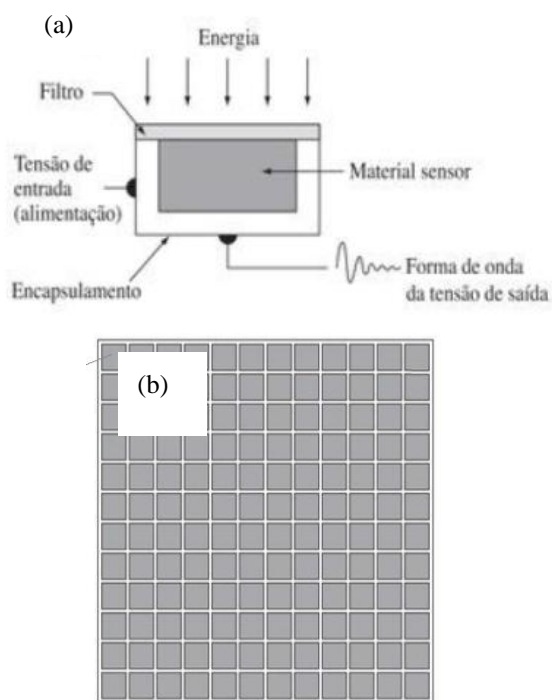


Fig. 2 (a) Um único sensor de aquisição de imagens (b) Matriz de sensores.

2.2 Representação de imagens

Na forma matemática, a matriz $f(x,y)$ de $N \times M$ pixels, onde N representa a quantidade de linhas, e M representa a quantidade de colunas, é definida pela Equação 1 (GONZALEZ; WOODS, 2000, p. 22) :

$$f(x,y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,M-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1,M-1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f(N-1) & f(N-1) & \dots & f(N-1,M-1) \end{bmatrix} \quad (1)$$

Os valores de N , M e o número de tonalidades de cinza (G) permitido para cada pixel, são potências inteiras de dois, definidas no processo de digitalização (seção 2.2.1), e determinam a resolução de uma imagem, descrita na literatura como o grau de detalhes discerníveis.

Seja uma imagem (GATTAS, 2015) de 128 (N) x 128 pixels (M) com 64 (G) níveis de cinza, por exemplo, tem-se que: $G = 2^m$. $64 = 2^6$ e $m = 6$. Como $M.N$ é o tamanho da matriz e G são os níveis de cinza, encontra-se a quantidade de bits necessários para o armazenamento: $b = 128^2 \cdot 64 > 1$ M bits.

Dessa forma, nota-se que os parâmetros N , M e G , influenciam diretamente na quantidade de memória necessária para o armazenamento e, por conseguinte, no processamento. Nesse sentido, quanto maiores forem esses parâmetros, melhor será a resolução da imagem, por outro lado, será necessária maior quantidade de memória e processamento para a manipulação dos dados (GONZALEZ; WOODS, 2000).

Na Fig. 3, pode-se notar que a variação desses parâmetros implica diretamente no nível de detalhes visíveis. (GONZALEZ; WOODS, 2000; GOMES; QUEIROZ, 2001).



Fig. 3 Influência da variação dos parâmetros N , M e G na qualidade uma imagem monocromática. (a) 200 x 200 pixels/256 níveis (b) 100 x 100 pixels/ 256 níveis. (c) 25 x 25 pixels/ 256 níveis. (d) 200 x 200 pixels / 2 níveis

3. METODOLOGIA

Nesse contexto, o algoritmo desenvolvido em plataforma MATLAB contempla cada etapa de um sistema de PADI, conforme proposto por Gomes (2007) e ilustrado na Fig. 4, em sintonia com os aspectos teóricos apresentados durante a revisão da bibliografia.

Analizando a Fig. 4 este trabalho irá deter-se a partir da *Segmentação* que trata de separar a imagem em grupos de pixels de interesses ou objetos, atuando de duas formas. Em um primeiro momento, a partir da imagem pré-processada, seleciona-se a região de interesse da imagem (ROI – *Region of Interest*), no caso o centro da pista, onde se localizam o limite/divisão entre pistas simples de mão dupla, representadas por sinalização horizontal do tipo linha dupla contínua, ou tracejada/seccionada amarela. Mais especificamente esse processo, consiste em selecionar a região onde encontram-se esses elementos (aproximadamente 40% da imagem – área central) utilizando indexação de matrizes. A partir disso a imagem é binarizada e operações de morfologia matemática são realizadas de forma a rotular os objetos da região com posterior cálculo do número de objetos presentes. Com isso, o algoritmo é capaz de determinar se a linha presente na imagem se trata de linha contínua, nesse caso realiza as etapas posteriores visto que a ultrapassagem não é permitida nessa situação, ou então, se trata de linha tracejada, onde a ultrapassagem é permitida.

Em um segundo momento, após identificada a faixa, e caso esta não permita a ultrapassagem, o algoritmo determina se algum objeto se sobrepõe a mesma, o que caracteriza a infração de ultrapassagem irregular no caso de o objeto ser um veículo. Para isso, utilizou-se primeiramente um processo de mapeamento da faixa contínua através de laços de repetição, vetores e indexação de matrizes. Mais especificamente nessa etapa o algoritmo armazena as informações de onde se localiza a faixa na imagem a fim de comparar com uma imagem posterior. Dessa forma, é capaz de determinar se os pixels da faixa se alteraram. Caso ocorra essa alteração, armazena-se a informação do local em que essa mudança ocorreu e isola-se o objeto que se sobrepôs à linha realizando posteriormente uma operação de identificação do mesmo. Caso contrário o algoritmo retorna e repete o processo de comparação até localizar alguma mudança.

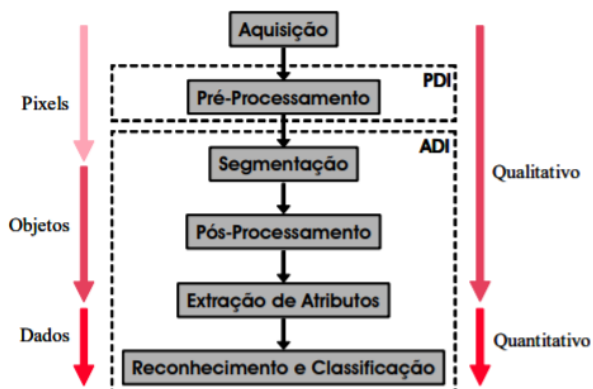


Fig. 4 Sequência do PADI (Processamento e Análise Digital de Imagens)

Para identificar o objeto sobreposto à faixa contínua amarela primeiramente binariza-se a imagem do objeto, a partir da seleção da ROI realizada pela etapa anterior. Dessa forma, seguindo o processo de segmentação por similaridade (limiarização) e associando operações de morfologia matemática, pode-se discriminar o objeto em relação ao fundo da imagem da pista. Nessa etapa operações morfológicas como dilatação, erosão, abertura e fechamento binário foram utilizadas como forma de homogeneizar o objeto e o fundo. A partir disso, com a rotulação do objeto pode-se realizar o cálculo da área do mesmo, através de comandos realizados pelo *toolbox* (caixa de ferramentas) de processamento de imagens do MATLAB, que ao ser comparada com uma área predeterminada caracteriza-o como veículo ou não.

Cabe salientar que a etapa de extração de atributos e reconhecimento e classificação atuam juntas com a segmentação. Entre os atributos obtidos têm-se a área da sinalização horizontal (faixa contínua ou tracejada amarela), o número de objetos da ROI, os pontos de intersecção do objeto sobre a faixa contínua e a área do objeto que causou a descontinuidade de faixa.

Caso o objeto que se sobrepôs à faixa contínua seja um veículo, a imagem é armazenada, possibilitando uma eventual tarefa de identificação da placa e aplicação da penalidade ao infrator, a qual foge do escopo do presente trabalho. Caso contrário o algoritmo volta a monitorar as imagens, repetindo o processo descrito. O fluxograma (Fig. 5) exemplifica o método de detecção relatado rodando continuamente sobre o vídeo das câmeras de monitoramento do local.

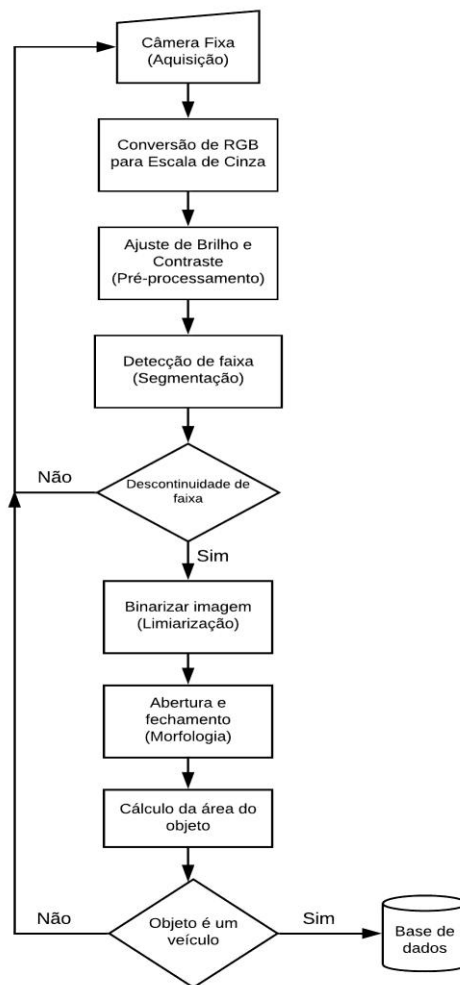


Fig. 5 Fluxograma do algoritmo implementado

A partir desse processo, passa-se para a implementação e testes do algoritmo.

4. IMPLEMENTAÇÃO E ANÁLISE

Como base para elaboração e análise do algoritmo foi utilizada uma imagem retirada da internet de uma pista de mão dupla, com sinalização horizontal do tipo faixa dupla contínua amarela (Fig. 6) (BRASIL, 2018).

A partir da Fig. 6 realizaram-se algumas manipulações (Fig. 7) de forma a simular situações que poderiam ocorrer no ambiente de utilização da aplicação, como presença de faixas contínuas, tracejadas, ultrapassagem irregular e condições normais de tráfego.



Fig. 6 Imagem base para o PADI.

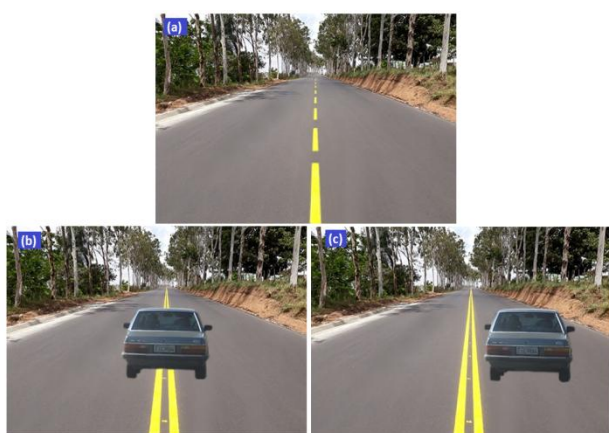


Fig. 7 Situações simuladas. (a) Presença de faixa tracejada/seccionada amarela; (b) Condição de ultrapassagem irregular; (c) Condição normal de tráfego.

4.1 Detecção da sinalização horizontal

O algoritmo realiza a leitura de uma imagem obtida a partir de uma câmera fixa, posicionada sobre o centro de uma via de mão dupla, e a partir disso determina qual o tipo de sinalização horizontal está presente no local, ou seja, se é linha contínua ou tracejada a partir de um ponto fixo.

O sistema precisa ajustar a iluminação e para isso a imagem é convertida em escala de cinza, com ajuste do histograma, conforme Fig. 8.

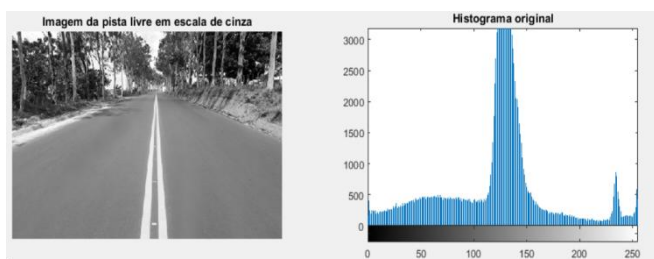


Fig. 8 Imagem da pista de mão dupla convertida para escala de cinza e respectivo histograma.

Esse processo deve ocorrer várias vezes por dia, para ajustar a leitura ao nível de luminosidade da pista. A Fig. 9 apresenta um exemplo de ajuste efetuado.

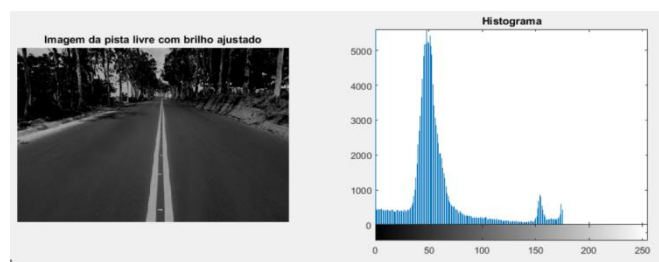


Fig. 9 Imagem com o brilho ajustado.

Pode-se observar, nesse caso, que a imagem tornou-se mais escura em comparação com a anterior, o que também pode ser visualizado com o deslocamento à esquerda do histograma, provocado pelo ajuste realizado.

Após, realiza-se o ajuste do contraste da imagem, utilizando um valor de limiar igual a 130 (indicado na Fig. 9) Este valor foi obtido a partir de simulações e de testes, e levando em consideração a conversão entre classes de dados assim como a operação de potenciação ($\cdot 10^3$) realizada, conforme método proposto por Medeiros (2014).

Basicamente, nesse processo, todos os valores abaixo de 130 são atenuados, assumindo valores entre 0 e 1 e acima disso são realçados, assumindo números maiores que 1. A partir disso, com a operação de potenciação valores maiores que 1 ficam ainda maiores, e valores menores que 1 ainda menores. Em seguida conclui-se a operação convertendo novamente a imagem para classe de 8 bits, após multiplicar os novos valores pelo limiar utilizado.

Além desse processo, em seguida é realizada a seleção da ROI (RODRIGUES, 2010), que se localiza no centro da imagem, correspondendo a cerca de 40% da parte central. Horizontalmente também se retira da imagem a parte que não faz parte da pista, eliminando-se assim elementos que possam vir a interferir na análise. Basicamente, nessa etapa, utilizando-se de métodos de indexação de matrizes associados a operações matemáticas, pode-se isolar a área da imagem que comporta à sinalização horizontal de divisão de fluxos opostos da pista (Fig. 10).

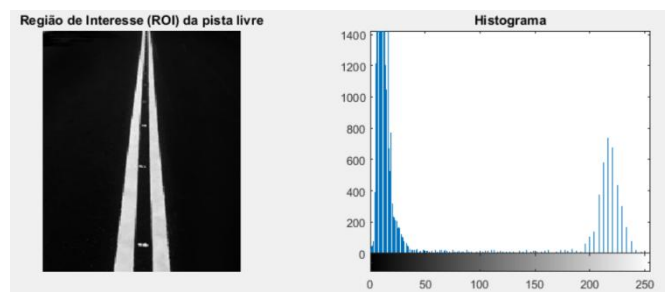


Fig. 10 Região de interesse da pista e histograma.

Após esta etapa é realizada a binarização com o Método de Otsu (MATHWORKS, 2018) e retiram-se os elementos desconexos, como os tachões, filtrando por pequenos

agrupamentos. Ainda, faz-se a suavização da imagem para evitar serrilhados, que porventura fiquem. Nesse ponto a imagem está pronta para contar os objetos que nela existem e que será usado de fundo padrão.

4.2 Detecção da descontinuidade da faixa

A partir da detecção de tipo de faixa como contínua, o algoritmo realiza uma segunda etapa, visando determinar se algum objeto se sobrepõe ou não à faixa central, caracterizando, no caso do objeto se tratar de um veículo, uma ultrapassagem irregular.

Com o fundo padronizado e as linhas contínuas bem definidas o algoritmo vai analisando as imagens e verificando a área da ROI que pode ser afetada pelo corte de um objeto sobre ela.

A partir disso tem-se a execução dos processos de Limiarização, eliminação de objetos desconexos, suavização e dilatação dos objetos encontrados. Os resultados encontram-se ilustrados na Fig. 11.

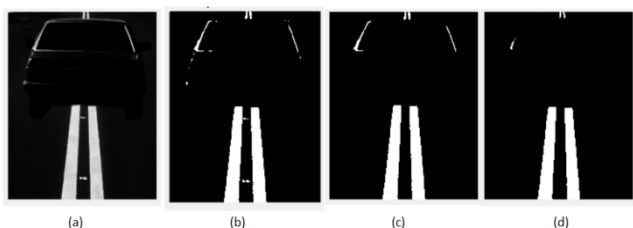


Fig. 11 (a) Seleção da ROI sobre Fig. 65-b; (b) Binarização utilizando Método de Otsu sobre (a); (c) Eliminação de objetos desconexos sobre (b); (d) Erosão binária sobre (c).

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Sobre a imagem da Fig. 11, o algoritmo realiza a comparação, visando pontos de mudança dos pixels na faixa contínua. Como nesse caso, houveram mudanças, devido à presença do objeto (veículo) sobre a faixa, tem-se também a informação dos pontos onde o objeto cortou a linha. Os pontos limites verticais, onde foram detectadas alterações de pixels, tanto superior quanto inferior, servem de base para isolar o objeto. Para o caso da análise, os pontos de corte da linha podem ser visualizados na Figura 12.

```

Descontinuidade detectada!!!
Objeto se sobrepôs a linha
Ponto inicial do objeto: (89,12) [X,Y]
Ponto final do objeto: (104,106) [X,Y]
    
```

Fig. 12 Pontos e descontinuidade detectada.

Nesse caso, o algoritmo utiliza essas informações, e através de indexação de matrizes isola a ROI a partir da imagem de escala de cinza da nova imagem onde se encontra o objeto. Com essa informação o algoritmo busca recuperar informações, aprimorando contraste e redistribuindo o histograma, conforme é apresentado na Fig. 13.

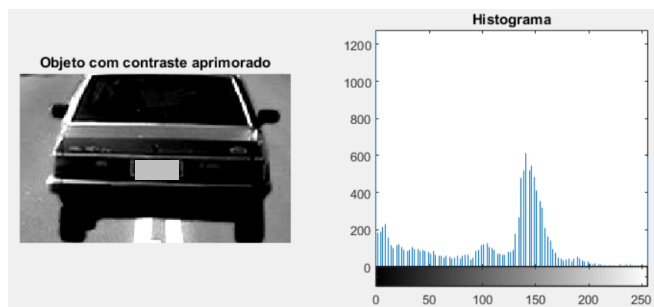


Fig. 13 ROI do objeto e histograma redistribuído

A melhor visualização traz a possibilidade de capturar corretamente a informação, incluindo a busca pelas informações de placa, por exemplo. O valor 124 destacado, para limiar, depende da iluminação, mas mostrou-se eficiente nas análises posteriores de morfologia matemática.

Dessa estrutura obtida é isolado o objeto, para obter a forma, centro e tamanho. Com isso, evita-se que objetos diferentes de veículos sejam erroneamente detectados pelo algoritmo. As matrizes tipo diamante e disco (MATHWORKS, 2018) foram utilizadas para suavizar e fechar o objeto detectado na imagem. Após são realizados processos de rotulação, delimitação e demarcação das fronteiras permitindo o cálculo da área e centróide encontrado, Fig. 14.

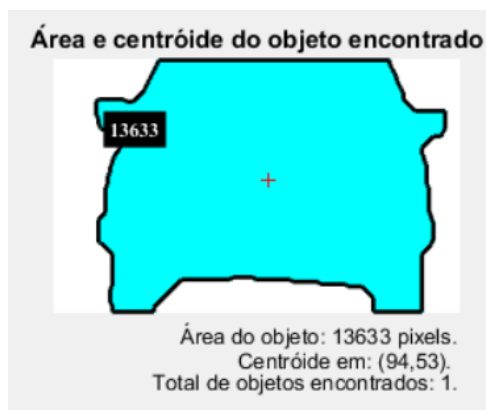


Fig. 14 Área e atributos do objeto encontrado

Realizadas essas tarefas, é possível concluir que houve realmente a invasão da pista contrária, caracterizando a infração.

6. CONCLUSÕES

Manobras de ultrapassagem irregular são responsáveis por um grande número de acidentes fatais no trânsito, porém a fiscalização é insuficiente em virtude da falta de recursos e de agentes de trânsito. Nesse sentido e diante dessa necessidade de aumento de fiscalização, o tema proposto pelo presente trabalho recaiu sobre imagens de monitoramento de trânsito e a possibilidade de fazer uma pesquisa voltada a realizar a detecção automática de veículos e ultrapassagens irregulares a partir de câmeras de monitoramento.

Nesta etapa o sistema detecta a ultrapassagem em local indevido, identificando o veículo pela sua área e volume presente no quadro analisado.

A área de PADI é muito vasta e inúmeras são as técnicas de transformação e análise. Devido a isso, as aplicações desenvolvidas acabam por se tornar bastante específicas, isto é, atuam somente na resolução das tarefas a qual foram designadas. Além disso, conforme constatado durante a pesquisa, aplicações desenvolvidas em monitoramento de trânsito com objetivo similar ao proposto pelo presente trabalho são praticamente inexistentes e omitem o algoritmo utilizado (FURMANN, 2019), o que dificulta o desenvolvimento de novas aplicações.

Pelos resultados apresentados percebe-se que foi possível realizar a detecção do objeto e separação do mesmo para avaliação de que se trata de um veículo que realizou a invasão da área restrita, aqui marcada pela linha contínua que divide as duas mãos da pista de rolagem.

A evolução do trabalho permitirá que o sistema possa avaliar movimento, capturando quadros de câmeras de vídeo e montando um cenário de todo o evento que ocorreu, facilitando ainda mais a intervenção do agente de trânsito. Para trabalhos futuros, busca-se a detecção de mais de um veículo ultrapassando e buscar colocações de câmeras específicas para testes reais, simplificando o algoritmo proposto. Além disso, o uso de sensores eletrônicos pode ser associado ao método para ampliar as análises e resultados.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES/PROEX) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Lei 9503 de 23 de setembro de 1997. **Institui o Código de Trânsito Brasileiro**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/Ccivil_03/leis/L9503Compilado.htm. Acesso em: 26/03/2018.

BRASIL. Ministério das Cidades. Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN). Resolução 471 de 18 de dezembro de 2013. **Regulamenta a fiscalização de trânsito por intermédio de videomonitoramento em estradas e rodovias, nos termos do § 2º do artigo 280 do Código de Trânsito Brasileiro**. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/download/Resolucoes/Resolucao4712013.pdf>> Acesso em: 26/03/2018.

BRASIL. Ministério do Planejamento. Desenvolvimento de Gestão. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). **Acidentes de Trânsito nas Rodovias Federais Brasileiras. Relatório de Pesquisa**. Brasília, 2015. Disponível em: https://www.iciet.fiocruz.br/sites/www.iciet.fiocruz.br/files/IPEA%202015_relatorio_acidente_s_transito.pdf> Acesso em: 27/03/2018.

CHEN, J.; WANG, K; BAO, H; CHEN, T.. **A design of cooperative overtaking based on complex lane detection and collision risk estimation**. 2019. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8734074>> Acesso em 14/08/2020.

FURMANN, Marco Aurélio. **Deteção de ultrapassagens veiculares irregulares através de análise de imagens**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Elétrica,

Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Santa Rosa, 2019.

GARCIA, F.; CERRI, P; BROGGI, A; ESCALERA, A. de; ARMINGOL, J. M. **Data fusion for overtaking vehicle detection based on radar and optical flow**. 2012. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6232199>> Acesso em 14/08/2020.

GATTAS, Marcelo, **Imagem Digital**. 17 de setembro de 2015. Disponível em: http://webserver2.tecgraf.puc-rio.br/~mgattas/s/cg/pdf/03_ImagemDigital.pdf> Acesso em 14/05/2018.

GOMES, Herman Martins; QUEIROZ, José Eustáquio Rangel de Queiroz. **Introdução ao processamento digital de imagens**. Departamento de Sistemas e Computação, UFCG. Campina Grande, Paraíba, 2001. Disponível em: <http://www.dsc.ufcg.edu.br/~hmg/disciplinas/graduacao/vc-2014.1/Rita-Tutorial-PDI.pdf>> Acesso em 16/08/2018.

GONZALEZ, Rafael C.; WOODS, Richard E. **Processamento de Imagens Digitais**. São Paulo: Edgard Blucher LTDA, 2000.

GONZALEZ, Rafael C.; WOODS, Richard E. **Processamento Digital de Imagens**. 3 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

MATHWORKS, MATLAB. **boundary - Boundary of a set of points in 2-D or 3-D**. 2018. Disponível em: <https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/boundary.html>> Acesso em: 30/08/2018.

MONTANARI, Raphael. **Deteção e classificação de objetos em imagens para rastreamento de veículos**. 2015. 77 f. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciências de Computação e Matemática Computacional) – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015. Orientadora: Roseli Aparecida Francelin Romero. Disponível em: file:///C:/Users/mafur/Downloads/RaphaelMontanari_dissertacao_revisada.pdf> Acesso em 06/05/2018.

NIKU, Saeed Benjamin. **Introdução à robótica: análise, controle, aplicações**. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS), **Global Status Report on Road Safety**. 2015. Disponível em: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/189242/1/9789241565066_eng.pdf?ua=1> Acesso em 27/03/2018.

RODRIGUES, Mauro Fonseca. **Realce de contornos em imagens radiológicas digitais**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Ijuí, 2010.

SANTOS, Francisco Heider Willy dos. **Desenvolvimento de um sistema de identificação de ultrapassagens irregulares por análise de imagens**. 2014. 102 f. Dissertação (Mestrado em Processamento Digital de Sinais e Visão de Máquina) - Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2014. Orientador: Giovanni Francisco Rabelo. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/4454/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O%20Desenvolvimento%20de%20um%20sistema%20de>