

# Em Rumo a Um Sistema Automático de Controle de Acesso de Veículos Automotivos: Localização de Placas de Identificação

Pedro R. Mendes Júnior, José Maria Ribeiro Neves, David Menotti  
Universidade Federal de Ouro Preto - Departamento de Computação  
Laboratório de Processamento Digital de Imagens - LaPDI  
Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil  
pedrormjunior@gmail.com, jmneves@iceb.ufop.br, menottid@gmail.com

**Resumo**—Um sistema automático de controle de acesso de veículos automotivos pode ser dividido em três etapas: localização de veículos, localização de placas de identificação e reconhecimento de placas de identificação. Esse trabalho apresenta um novo método de localização de placas de identificação de veículos com base no gradiente vertical, operações morfológicas, análise de componentes conectados e medidas estatísticas. Experimentos mostram que em 92,55% dos casos em um banco de imagens de 722 imagens, obteve-se a placa de identificação localizada corretamente.

**Keywords**—morfologia matemática; localização de placas de identificação; análise de componentes conectados.

**Abstract**—An automatic vehicle access control system can be divided into three steps: vehicle location, license plate location and license plate recognition. This paper presents a new method for vehicle license plate location based on the vertical gradient, morphological operations, connected components analysis and statistical measures. Experiments show that in 92.55% of the cases in a database of 722 images, the vehicle license plate was correctly located.

**Keywords**—mathematical morphology; vehicle license plate location; connected components analysis.

## I. INTRODUÇÃO

Nossa universidade recentemente vem passando por transformações causadas principalmente pelo REUNI (Programa de Apoio ao Plano de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais). Esse programa tem provocado profundas mudanças em vários setores desde o ensino ao estrutural. A quantidade de veículos presentes em nossos estacionamentos supera os locais devidamente sinalizados. Faz-se então, necessário um estudo para a expansão deste setor na universidade. Uma forma de realizar esse estudo é por meio de um sistema automático de controle de acesso de veículos automotivos (SACAVA). O desenvolvimento de tal sistema, baseado em vídeo/imagens, apresenta o maior gargalo, ou menor robustez, na localização da placa de identificação do veículo (PIV).

Para a tarefa de localização de PIVs, na literatura, encontram-se métodos que processam imagens binárias [1], [2], [3], imagens em níveis de cinza [4], [5] e imagens coloridas [6], sendo que um método pode trabalhar com mais de um tipo de imagem [8].

Neste trabalho, apresenta-se um método de localização de PIVs por meio de imagens digitais, visando a construção de um SACAVA. O método é produto do estudo aprofundado de alguns métodos contidos na literatura. Algumas operações realizadas no método proposto derivam de métodos tais como [1], [2] e [3].

Métodos de localização de PIVs baseados em morfologia matemática [9] procuram extrair saliências a partir da imagem do veículo, utilizando operações tais como *bottom-hat* ou *top-hat* [1] e gradiente vertical [2], binarizam-na e em seguida utilizam as operações morfológicas com o intuito de deixar a região pertencente à PIV e remover as regiões não pertencentes. Esse tipo de abordagem pode perder a região da PIV no momento da binarização. Caso haja um objeto mais ressaltado na operação inicial, o limiar conseguido para binarização é tal que a região da PIV não é mantida ou permanece somente parte dela.

Com o objetivo de solucionar esse problema, é proposto um método onde são realizadas operações sobre a imagem do módulo do gradiente vertical da imagem original. Inicialmente, é computado o gradiente vertical da imagem e aplicado um filtro da média sobre ele. Em seguida operações morfológicas são realizadas nessa imagem para, em outro momento, realizar a binarização e a análise de componentes conectados. Dentre as candidatas a serem consideradas a PIV, são utilizadas medidas estatísticas para a decisão entre elas.

Para testes foram utilizadas duas bases de imagens diferentes: 377 imagens adquiridas por uma câmera fotográfica digital na portaria do campus da UFOP e 345 imagens de veículos da Grécia disponibilizadas por [8]. Foram constatadas as taxas de acerto de 90,18% e 95,14%, respectivamente. Utilizou-se validação cruzada de 5 partições para a validação do método proposto.

O restante deste trabalho está organizado da seguinte forma. Na Seção II, são apresentados fundamentos teóricos de morfologia matemática. Na Seção III, são apresentadas as etapas do método proposto. Na Seção IV, são apresentados os resultados obtidos e comparações com resultados obtidos por outro método na literatura. E, por fim, na Seção V, são apresentados possíveis trabalhos futuros que comple-

mentarão o trabalho atual.

## II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Para um melhor entendimento do método apresentado neste trabalho, expõem-se algumas operações morfológicas utilizadas.

As operações básicas da morfologia matemática são erosão e dilatação [9], [10]. Uma operação de erosão e dilatação com um elemento estruturante (EE)  $E_{m \times n}$  sobre uma imagem  $I$  é denotada por  $I \ominus E_{m \times n}$  e  $I \oplus E_{m \times n}$ , respectivamente.

A operação de fechamento consiste na aplicação de uma dilatação seguida de uma erosão com o mesmo EE:

$$I \bullet E_{m \times n} = (I \oplus E_{m \times n}) \ominus E_{m \times n}.$$

Ao contrário do fechamento, na operação de abertura primeiramente é aplicada uma erosão e em seguida uma dilatação:

$$I \circ E_{m \times n} = (I \ominus E_{m \times n}) \oplus E_{m \times n}.$$

Outra operação utilizada neste trabalho é a *top-hat*. Um *top-hat* aplicado sobre uma imagem  $I$  com um dado EE consiste em subtrair da imagem  $I$  a imagem resultante da aplicação de uma operação de abertura sobre a imagem  $I$ :

$$I \triangle E_{m \times n} = I - I \circ E_{m \times n}.$$

## III. MÉTODO PROPOSTO

Para resolver a tarefa de localização de PIVs por meio de imagens digitais é proposto um método que realiza operações sobre a imagem do módulo do gradiente vertical da imagem original. Para tanto, é utilizado o operador Sobel [10], para o cálculo do gradiente vertical, operações morfológicas, análise de componentes conectados e medidas estatísticas. O processo realizado pelo método é apresentado no diagrama da Figura 1.

### A. Gradiente Vertical

Em uma imagem contendo as bordas da imagem original, nota-se que a parte dianteira e a traseira de um veículo são compostas principalmente de linhas horizontais [7], enquanto a PIV apresenta nítida predominância de linhas verticais em relação às horizontais.

1) *Detecção do Gradiente Vertical*: O primeiro processamento realizado na imagem original é a aplicação do operador Sobel para detecção do gradiente vertical [2]. A Figura 2(b) exibe a imagem de gradiente vertical obtida após a aplicação desse operador sobre a imagem da Figura 2(a).

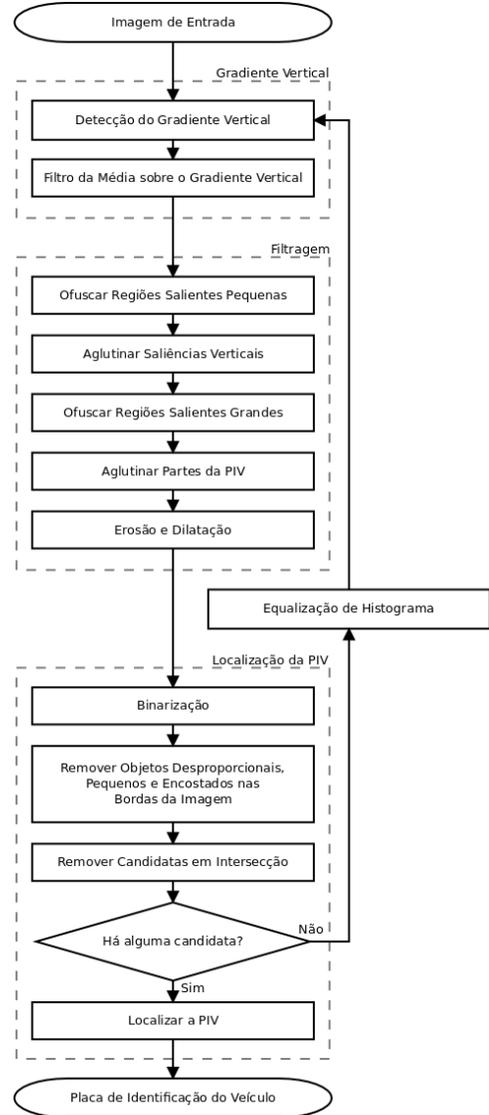


Figura 1. Etapas do método de localização de PIVs.

2) *Filtro da Média sobre o Gradiente Vertical*: Neste trabalho, a altura e largura esperada de uma PIV é a média das alturas e larguras das PIVs das imagens utilizadas para treinamento no processo de validação cruzada.

Um filtro da média com altura e largura, em *pixels*, de 20% da altura e largura esperada de uma PIV é aplicado sobre a imagem do gradiente vertical [3]. Isso é realizado com o objetivo de ressaltar a região da PIV mais que qualquer outra região, pois, na região da PIV, há maior concentração de *pixels* com valores altos (Figura 2(c)).

### B. Filtragem

Nessa etapa do algoritmo, são utilizadas operações morfológicas sobre a imagem resultante da aplicação do filtro da média com o propósito de manter saliências referentes à PIV,

assim como ofuscar as saliências referentes às regiões que não são de interesse. São realizadas operações morfológicas de maneira semelhante às operações realizadas em [1] e [2]. Diferencia-se no fato de que naqueles trabalhos as operações são predominantemente realizadas sobre imagens binárias.

1) *Ofuscar Regiões Saliêntes Pequenas*: Para ofuscar regiões salientes pequenas (com altura menor que a constante *MINALTCHAR*) não pertencentes à PIV, é utilizado um EE coluna de tamanho igual à constante *MINALTCHAR* (altura mínima, em *pixels*, de um caractere da PIV). É realizada uma abertura na imagem para que as saliências pertencentes à PIV permaneçam e saliências não pertencentes à PIV sejam ofuscadas (Figura 2(d)).

2) *Aglutinar Saliências Verticais*: O filtro da média aplicado na imagem de gradiente vertical faz com que após a abertura, na região da PIV permaneça uma variação entre saliências verticais mais ressaltadas e saliências verticais menos ressaltadas.

As saliências verticais mais ressaltadas são aglutinadas. Um fechamento com um EE linha de tamanho da distância média, em *pixels*, entre um caractere e outro é utilizado para reconstituir as falhas existentes nessa região. Dessa forma, a região da PIV fica com menor variação entre os valores de *pixel*.

Neste trabalho, a distância média entre caracteres é a média das distâncias entre os caracteres nas PIVs das imagens utilizadas como treinamento.

3) *Ofuscar Regiões Saliêntes Grandes*: Uma imagem resultante de uma operação de abertura contém valores de *pixel* menores ou iguais aos valores correspondentes da imagem original. Uma operação de *top-hat* sobre uma imagem, com um determinado EE, consiste em subtrair da imagem a imagem obtida aplicando uma abertura com o EE (Seção II).

Desse modo, com um EE coluna de tamanho igual à constante *MAXALTPIV* (altura máxima, em *pixels*, de uma PIV), aplicando-se um *top-hat* à imagem, consegue-se uma imagem com saliências grandes (maiores que altura máxima da PIV) ofuscadas, como é mostrado na Figura 3(a).

4) *Aglutinar Partes da PIV*: Acontece principalmente em PIVs gregas que as operações morfológicas realizadas anteriormente fazem com que, entre a parte da PIV que

contém letras e a parte que contém números, fique uma região saliente menos ressaltada. Isso pode ocasionar, na etapa de binarização (Seção III-C1), que o método trate a PIV como dois objetos distintos, obtendo somente a localização de parte da PIV ou não a localizando.

Neste trabalho, a distância média entre o fim da última letra e o início do primeiro número é obtida com o cálculo da média das distâncias entre o fim da última letra e o início do primeiro número nas PIVs das imagens de treinamento.

Um EE linha é utilizado para aglutinar as partes da PIV (regiões salientes mais ressaltadas referente as letras e referente aos números) em uma operação de fechamento. O tamanho do EE é a distância média entre o fim da última letra e o início do primeiro número.

5) *Erosão e Dilatação*: Finalizando a sequência de operações morfológicas utilizadas para manter a região da PIV e ocultar as demais regiões, realiza-se uma operação de erosão seguida de uma de dilatação com EE's diferentes. Ambos EE's são linha, sendo que o tamanho do EE da operação de erosão é o dobro da largura do filtro da média utilizado na Seção III-A2 e o tamanho do EE da dilatação é de 1,5 vezes a largura do filtro da média (Figura 3(b)).

Ao utilizar essas operações, tem-se como objetivo remover algumas saliências que permanecem nas bordas laterais da PIV que fazem com que, ao final do processo de localização, a altura da região exceda a altura necessária para incluir todos os caracteres. Essas saliências surgem na obtenção do gradiente vertical quando, por exemplo, a PIV está sobre alguma parte de cor preta do veículo.

### C. Localização da PIV

Faz-se necessário, neste momento, a binarização da imagem obtida após as operações morfológicas para que, dentre os objetos, sejam selecionados os que indicam possíveis regiões e, por fim, a região da PIV.

1) *Binarização*: Imagem de veículo em cuja PIV há pouco gradiente vertical permanece, ao final das operações morfológicas, com a região saliente referente à PIV pouco ressaltada, apesar do ofuscamento das regiões salientes não pertencentes à PIV.

Desse modo, para que se mantenha a região da PIV após a binarização, o limiar para binarização é obtido com o método



Figura 2. Etapas do método de localização de PIVs: (a) Imagem original; (b) Gradiente vertical; (c) Aplicação do filtro da média; (d) Saliências pequenas ofuscadas.

de Otsu [11] (Figura 3(c)).

2) *Remover Objetos Desproporcionais, Pequenos e Encostados nas Bordas da Imagem:* Com a análise de componentes conectados, objetos desproporcionais (considera-se objetos desproporcionais os objetos em que a altura é maior ou igual à largura), objetos pequenos e objetos encostados nas bordas da imagem são removidos.

Os objetos que tiverem largura menor que a constante  $MINLARGPIV$  (largura mínima de uma PIV) são considerados objetos pequenos e, por consequência, são desconsiderados para a etapa seguinte.

Os objetos encostados nas bordas da imagem também são desconsiderados porque, normalmente, as saliências referentes ao fundo da imagem ficam encostadas nas bordas.

É importante observar que essa decisão não impõe que as PIVs nas imagens de veículos estejam localizadas distantes das bordas da imagem. Com as operações realizadas na imagem na etapa de filtragem (Seção III-B), mesmo que a PIV esteja próxima, no momento da binarização o objeto referente à região da PIV não fica encostado nas bordas.

Como resultado desse processamento, tem-se uma imagem contendo os objetos remanescentes às restrições. Essa imagem contém objetos retangulares que são o limite superior, inferior e laterais dos objetos analisados. Chamam-se os objetos retangulares de candidatas, ou seja, são objetos referentes às regiões candidatas a serem consideradas PIVs (Figura 3(d)).

3) *Remover Candidatas em Intersecção:* Como resultado da operação anterior, pode haver objetos que, no momento de serem tidos como objetos retangulares, unem-se uns aos outros. Nesse caso, esses objetos são desconsiderados.

Essa decisão existe porque as saliências referentes ao fundo de uma imagem são, geralmente, desorganizadas, produzindo a união dos objetos no momento de tê-los como retângulos. Ocorrências semelhantes não envolvem a PIV, uma vez que ela é basicamente composta de gradiente vertical, e no veículo tem-se gradiente horizontal em sua maioria. Além disso, saliências resultantes de adesivos e nomes de marcas de veículos não localizam-se suficientemente próximas à PIV a ponto das regiões se unirem.

4) *Localizar a PIV:* Após essa sequência de operações e processamentos sobre a imagem, tem-se uma imagem na

qual se pode usar para encontrar a localização da PIV.

Na imagem das candidatas, é realizada uma dilatação com um EE quadrado (normalmente com tamanho  $3 \times 3$  ou  $5 \times 5$ ) tratando a imagem quando há intersecção entre as candidatas. O motivo dessa dilatação é mencionado logo adiante.

Para cada uma das candidatas, é selecionada a região correspondente na imagem obtida na Seção III-B5 (imagem da Figura 3(b)) para que cada uma delas seja binarizada com limiar determinado pelo método de Otsu. É realizada a dilatação na imagem das candidatas para que o limiar detectado não seja alto a ponto de perder sub-regiões de interesse no momento da binarização, ou seja, as candidatas são dilatadas para que *pixels* com valores mais baixos sejam levados em conta no momento de determinar o limiar para cada candidata.

Depois da binarização, cada candidata (região retangular) contém sub-regiões. De maneira semelhante a que foi realizada na Seção III-B5, uma operação de erosão e em seguida uma de dilatação (agora são operações sobre imagens binárias) com EE's diferentes são realizadas com o objetivo de excluir regiões inválidas e remover sub-região que não pertence à PIV, caso a candidata trabalhada seja referente à PIV. O EE da operação de erosão é um EE linha com tamanho de 5% da largura esperada para a PIV. O EE da dilatação tem altura e largura de 10% da altura e largura esperadas para a PIV. A altura e largura da sub-região fica limitada pela candidata.

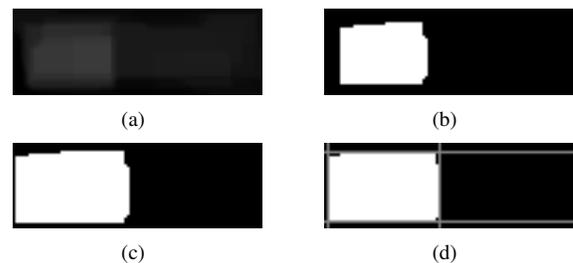


Figura 5. Operações sobre uma candidata descartada: (a) Região correspondente à imagem obtida na Seção III-B5; (b) Binarização da região; (c) Erosão e dilatação; (d) Atualização das coordenadas.

Nesse momento os limites superior, inferior e laterais da

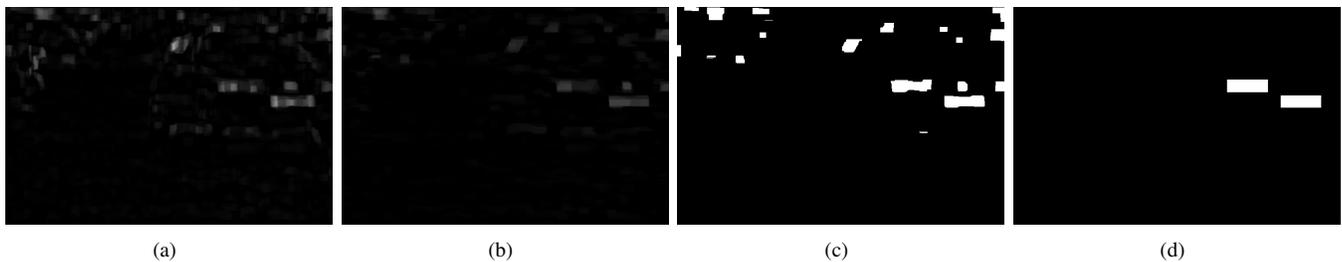


Figura 3. Etapas do método de localização de PIVs: (a) Saliências grandes ofuscadas; (b) Operações de erosão e dilatação; (c) Binarização; (d) Regiões candidatas.

candidata são atualizados. A coordenada  $i_T$  referente ao limite superior da candidata é incrementada até que seja encontrada alguma sub-região. A coordenada  $i_B$  referente ao limite inferior é decrementada até que seja encontrada alguma sub-região. A coordenada  $j_L$  referente ao limite esquerdo é incrementada e a coordenada  $j_R$  referente ao limite direito é decrementada, semelhantemente, até que seja encontrada alguma sub-região (Figura 5).

Após a atualização das coordenadas é verificado novamente se a altura e largura da região satisfazem a altura e largura mínimas de uma PIV. Se não satisfazem são descartadas, a menos que seja a única candidata existente (nesse caso, o limite superior, inferior e laterais da candidata são mantidos sem a atualização); se satisfazem, é realizado o cálculo da média e do desvio padrão dos *pixels*, correspondentes aos *pixels* ativos das sub-regiões, da imagem obtida na Seção III-B5 (imagem da Figura 3(b)).

A candidata referente à região da PIV tem o valor da média adquirido anteriormente como um dos maiores valores. Além disso, a variação dos valores dos *pixels* utilizados para o cálculo da média é uma das menores variações. Para escolher qual das candidatas será considerada a PIV, leva-se em conta essas duas medidas.

Sabendo que o Coeficiente de Variação [12] é dado por

$$CV = \frac{\sigma}{\mu},$$

calcula-se um valor  $V$  dado por

$$V = \frac{\mu}{CV} = \frac{\mu^2}{\sigma}$$

como uma medida atribuída à candidata, onde  $\mu$  é a média e  $\sigma$  é o desvio padrão adquiridos anteriormente.

Desse modo, consegue-se decidir qual das candidatas é considerada a PIV: a candidata cujo valor  $V$  é o maior, é tida como tal (Figura 6).

Na imagem binária contendo a candidata escolhida, é realizada uma dilatação com um EE de tamanho  $7 \times 7$  para que nenhum caractere seja cortado.

Se todas as candidatas são desconsideradas, ou se não há alguma, é realizada uma equalização de histograma na imagem original, para que haja um maior contraste na região

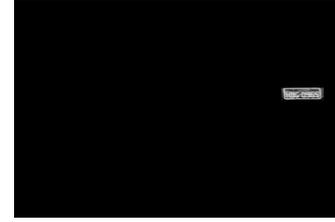


Figura 6. Localização da PIV.

da PIV, e todo o processo é repetido, desde a obtenção do gradiente vertical.

#### IV. RESULTADOS

Para validação do método proposto foram utilizados dois bancos de imagens: 377 imagens (de tamanho  $800 \times 600$ ) adquiridas na portaria do campus da UFOP por meio de uma câmera digital e 345 imagens (93 de tamanho  $800 \times 600$  e 252 de tamanho  $640 \times 480$ ) de veículos gregos disponibilizadas por [8].

Para o primeiro banco de imagens, as imagens foram adquiridas de modo a simular as condições típicas de um SACAVA.

Para esse banco de imagens, o tamanho esperado para a PIV é  $30,4 \pm 0,33$  de altura e  $111,8 \pm 1,36$  de largura. Para o banco de imagens de veículos gregos, o tamanho esperado para a PIV é  $33,1 \pm 0,55$  de altura e  $127,1 \pm 2,47$  de largura.

Os valores das constantes  $MINALTCHAR$ ,  $MAXALTPIV$  e  $MINLARGPIV$  são restrições do método, ou seja, quando se dá liberdade a esses valores, a possibilidade de falha do método é maior. Neste trabalho, as imagens dos bancos de imagens satisfazem às restrições de  $MINALTCHAR$ ,  $MAXALTPIV$  e  $MINLARGPIV$  iguais a 12, 43 e 72, respectivamente.

O método foi implementado em MATLAB e o tempo de execução foi de  $0,73 \pm 0,18$  segundos para cada imagem. Acredita-se que se otimizado e implementado em C/C++, o método poderá ser utilizado em aplicações de tempo real.

Após executar os experimentos com validação cruzada de 5 partições, obteve-se uma taxa de localização de  $90,18\% \pm 0,65\%$  e  $95,14\% \pm 0,63\%$  para os bancos de imagens



Figura 4. Exemplos de erros na localização da PIV: (a) Localização da marca do veículo; (b) Localização do símbolo da marca; (c) Localização de região extra; (d) Localização de somente parte da PIV.

adquiridas no campus da UFOP e disponibilizadas por [8], respectivamente.

A principal causa dos erros do método proposto está na etapa de decisão entre as candidatas. Há regiões no veículo (número de identificação de um ônibus, por exemplo) que podem ter maior gradiente vertical, além de ter dimensão próxima à dimensão de uma PIV. Isso faz com que, na etapa de decisão entre candidatas, essa região seja selecionada como a região da PIV. Na Figura 4, são mostrados alguns exemplos de falhas na localização de PIVs.

A Tabela I apresenta resultados obtidos com o método [2] e o método proposto. Para cada método, são apresentados resultados obtidos considerando a decisão de qual candidata é considerada a PIV e sem considerar tal decisão, ou seja, se a PIV for uma das candidatas, é considerado que o método obteve sucesso na localização da PIV.

Tabela I  
RESULTADOS OBTIDOS COM E SEM A DECISÃO ENTRE CANDIDATAS.

	Portaria UFOP	Grécia
Com decisão ([2])	76, 12%	86, 95%
Sem decisão ([2])	91, 51%	91, 88%
Com decisão ( <i>Proposto</i> )	90, 18% ± 0, 65%	95, 14% ± 0, 63%
Sem decisão ( <i>Proposto</i> )	96, 55% ± 0, 54%	96, 44% ± 0, 53%

Segundo os valores apresentados nessa tabela, se pode concluir que o método proposto tem taxas de acerto que são estatisticamente superiores em ambas situações (com e sem decisão entre candidatas) ao método proposto em [2].

## V. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Neste trabalho, é proposto um método de localização de PIVs com base no gradiente vertical da imagem, operações morfológicas, análise de componentes conectados e medidas estatísticas. Os resultados obtidos foram de 92,55% de acerto na localização de PIVs.

Um trabalho de localização de veículos em vídeos é uma proposta de trabalho futuro, pois, além de ser parte fundamental de um SACAVA, é um trabalho complementar a este. Uma vez localizado um veículo por meio de processamento de vídeo, além de conseguir o *frame* que contém o veículo, consegue-se também a largura, em *pixels*, ocupada pelo veículo. Desse modo, na localização da PIV, evitar-se-á o uso de constantes para trabalhar com variáveis nos parâmetros. Isso fará com que o método seja robusto.

Um trabalho de reconhecimento de PIVs também, além de ser parte fundamental de um SACAVA, é complementar a este. Com um método de reconhecimento de PIVs, o método de localização terá maior capacidade de decidir entre regiões candidatas, pois, para cada candidata, poder-se-á verificar se há caracteres válidos de uma PIV. Além disso será possível localizar mais de uma PIV em uma imagem, e tal capacidade é necessária em alguns SACAVAs.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao PIP/UFOP (Programa de Iniciação à Pesquisa da UFOP) pela bolsa concedida durante a realização deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- [1] F. Martín, M. García, and J. L. Alba, "New methods for automatic reading of VLP's (Vehicle License Plates)," *In Proceedings of IASTED International Conference on Signal Processing, Pattern Recognition, and Applications (SPPRA)*, pp. 84–87, Jun. 2002.
- [2] P. V. Suryanarayana, S. K. Mitra, A. Banerjee, and A. K. Roy, "A morphology based approach for car license plate extraction," *In Proceedings of IEEE INDICON*, pp. 24–27, Dec. 2005.
- [3] B. Hongliang and L. Changping, "A hybrid license plate extraction method based on edge statistics and morphology," *In Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, vol. 2, pp. 831–834, Aug. 2004.
- [4] H.-J. Lee, S.-Y. Chen, and S.-Z. Wang, "Extraction and recognition of license plates of motorcycles and vehicles on highways," *In Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, vol. 4, pp. 356–359, Aug. 2004.
- [5] F. Yang and Z. Ma, "Vehicle license plate location based on histogramming and mathematical morphology," *In Proceedings of the Fourth IEEE Workshop on Automatic Identification Advanced Technologies (AutoID)*, pp. 89–94, Oct. 2005.
- [6] S.-L. Chang, L.-S. Chen, Y.-C. Chung, and S.-W. Chen, "Automatic license plate recognition," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 5, no. 1, pp. 42–53, Mar. 2004.
- [7] M. Sarfraz, M. J. Ahmed, and S. A. Ghazi, "Saudi arabian license plate recognition system," *In Proceedings of International Conference on Geometric Modeling and Graphics (GMAG)*, pp. 36–41, July 2003.
- [8] C.-N. E. Anagnostopoulos, I. E. Anagnostopoulos, I. D. Psoroulas, V. Loumos, and E. Kayafas, "License plate recognition from still images and video sequences: A survey," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 9, no. 3, pp. 377–391, Sept. 2008.
- [9] J. Facon, *Morfologia Matemática: Teoria e Exemplos*, 1st ed. Editora Universitária Champagnat da Pontífica Universidade Católica do Paraná, 1996.
- [10] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Processamento de Imagens Digitais*, 1st ed. Edgard Blücher Ltda., 2000.
- [11] N. Otsu, "A threshold selection method from gray-level histograms," *IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics*, vol. SMC-9, no. 1, pp. 62–66, Jan. 1979.
- [12] D. C. Montgomery and G. C. Runger, *Applied Statistics and Probability for Engineers*, 3rd ed. John Wiley & Sons, Inc., 2003.