

UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE
MESTRADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

LUIZ ANGELO D'AMORE

ROBUSTEZ NA SEGMENTAÇÃO DE
PLACAS VEICULARES EM CONDIÇÕES
COMPLEXAS DE AQUISIÇÃO

SÃO PAULO

2010

LUIZ ANGELO D'AMORE

ROBUSTEZ NA SEGMENTAÇÃO DE
PLACAS VEICULARES EM CONDIÇÕES
COMPLEXAS DE AQUISIÇÃO

Trabalho apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Presbiteriana Mackenzie, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientador: Dr. Maurício Marengoni

SÃO PAULO

2010

D164r D'Amore, Luiz Angelo.

Robustez na segmentação de placas veiculares em condições complexas de aquisição / Luiz Angelo D'Amore – 2010.

62 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2010.

Bibliografia: f. 60-62.

1. Localização de placas veiculares. 2. Reconhecimento de padrões. 3. Visão computacional. I. Título.

CDD 621.367

LUIZ ANGELO D'AMORE

ROBUSTEZ NA SEGMENTAÇÃO DE
PLACAS VEICULARES EM CONDIÇÕES
COMPLEXAS DE AQUISIÇÃO

Data da defesa: 13 de agosto de 2010.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Maurício Marengoni

Prof. Dr. Pedro Paulo Balbi de Oliveira

Prof. Dr. Adilson Gonzaga

DEDICATORIA

Dedico este trabalho aos meus pais Mario e Sonia, minha esposa Monique e meus filhos João Pedro e Letícia Helena.

AGRADECIMENTOS

Ao meu professor e orientador Dr. Mauricio Marengoni, pela confiança e apoio neste trabalho e no curso de mestrado.

A todos os meus professores do mestrado, pelos conhecimentos transmitidos, fundamentais a este projeto e a minha vida acadêmica.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo fomento parcial do curso.

“Não há nada mais difícil de se tomar nas mãos, mais perigoso de se conduzir e mais incerto quanto ao seu sucesso, do que a iniciativa de se introduzir uma nova ordem das coisas”

Maquiavel

“Em momentos de crise, só a imaginação é mais importante que o conhecimento”

Albert Einstein

D'AMORE, Luiz Angelo. **Robustez na Segmentação de Placas Veiculares em Condições Complexas de Aquisição**. Trabalho apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Presbiteriana Mackenzie, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica. 2010. 62 páginas.

RESUMO

Os sistemas automáticos de reconhecimento de placas veiculares têm como principal função a identificação de veículos a partir de imagens digitais, com aplicações nas áreas de segurança pública e privada. Neste trabalho são apresentadas técnicas de processamento de imagens com o objetivo de desenvolver um método robusto para a segmentação de placas veiculares em condições complexas de aquisição. O termo robusto neste trabalho é relacionado diretamente à eficácia do sistema quanto à localização automática das placas veiculares sem intervenção humana, considerando características específicas das imagens e placas. O método proposto é baseado nas especificidades dos dígitos localizados nas placas brasileiras. Embora o método tenha sido projetado para o padrão de placas brasileiro, pode ser facilmente ajustado para outros padrões. Os resultados obtidos com o método proposto mostram um desempenho melhor que outras abordagens acadêmicas, ou mesmo de sistemas comerciais.

Palavras-chave: Localização de placas veiculares, reconhecimento de padrões, visão computacional.

D'AMORE, Luiz Angelo. **Robustez na Segmentação de Placas Veiculares em Condições Complexas de Aquisição**. Trabalho apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Presbiteriana Mackenzie, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica. 2010. 62 páginas.

ABSTRACT

The work presented here shows a robust method for license plate detection. The term robust in this work is directly related to the efficacy of the system as an automated locator of license plates without human intervention and considering specific characteristics of image acquisition and license plate features. The proposed method is based on the specific features of the digits found on the Brazilian license plates. Although the method was designed for the Brazilian license plate pattern it can be easily adjusted to other patterns. The results obtained using the proposed method showed a better performance than that of other academic approaches and even of commercial systems.

Key-words: License plate detection, pattern recognition, computer vision.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. TRABALHOS RELACIONADOS	21
2.1. “AUTOMATIC VEHICLE IDENTIFICATION BY PLATE RECOGNITION”	21
2.2. “A HÍBRID APPROACH TO LICENSE PLATE SEGMENTATION UNDER COMPLEX CONDITIONS”	25
2.3. “SIAV – UM SISTEMA DE IDENTIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE VEÍCULOS”	28
2.4. “RECONHECIMENTO AUTOMÁTICO DE PLACAS DE VEÍCULOS AUTOMOTORES ATRAVÉS DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS”	30
2.5. “KAPTA – UM SISTEMA DE RECONHECIMENTO AUTOMÁTICO DE PLACAS DE VEÍCULOS BASEADO NAS TÉCNICAS DE REDES NEURAIS E PROCESSAMENTO DE IMAGENS”	32
3. MÉTODO PROPOSTO	36
3.1. MÉTODO “A” - LOCALIZAÇÃO DE FAIXAS VERTICAIS.....	36
3.2. MÉTODO “B” - LOCALIZAÇÃO DE ASSINATURAS DE GRADIENTES DE INTENSIDADE	41
3.3. MÉTODO “C” - LOCALIZAÇÃO DE FAIXAS HORIZONTAIS	45
3.3.1. <i>Pré-processamento</i>	47
3.3.2. <i>Faixas horizontais</i>	48
3.3.3. <i>Agrupamento de faixas horizontais</i>	51
3.3.4. <i>Morfologia</i>	52
3.3.5. <i>Regiões conexas</i>	53
3.3.6. <i>Sub-regiões conexas</i>	54
4. RESULTADOS	55
5. CONCLUSÃO	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - PRINCIPAIS ETAPAS DOS SISTEMAS DE RECONHECIMENTO DE PLACAS.....	15
FIGURA 2 – IMAGEM COM BAIXO CONTRASTE	17
FIGURA 3 - IMAGEM COM BAIXA ILUMINAÇÃO	17
FIGURA 4 - IMAGEM DE VEÍCULO INCLINADO	18
FIGURA 5 - IMAGEM DE VEÍCULO COM INSCRIÇÕES	18
FIGURA 6 - IMAGEM DE VEÍCULO COM REFLEXO	19
FIGURA 7 - PLACA VEICULAR COM ESTADO DE CONSERVAÇÃO CRÍTICO.....	19
FIGURA 8 – IMAGEM ORIGINAL	21
FIGURA 9 – IMAGEM BINARIZADA	22
FIGURA 10 – RESULTADO DA VARREDURA E DAS OPERAÇÕES MORFOLÓGICAS.....	23
FIGURA 11 – REGIÃO DA PLACA	23
FIGURA 12 - DÍGITOS/CARACTERES SEGMENTADOS E NORMALIZADOS	24
FIGURA 13 - IMAGEM BINARIZADA APÓS PRÉ-PROCESSAMENTO	25
FIGURA 14 – FAIXAS LOCALIZADAS NA BUSCA POR TEXTURAS	26
FIGURA 15 - REGIÕES CANDIDATAS A PLACA VEICULAR	26
FIGURA 16 – PROJEÇÃO VERTICAL	27
FIGURA 17 - SUB-REGIÕES SEGMENTADAS	27
FIGURA 18 - IMAGEM DE VEÍCULO	28
FIGURA 19 - VARIAÇÃO TONAL DA LINHA "A"	28
FIGURA 20 - VARIAÇÃO TONAL DA LINHA "B"	28
FIGURA 21 - ESTÁGIO NA PROCURA POR DÍGITOS	29
FIGURA 22 - SEGMENTAÇÃO DOS CARACTERES DA PLACA	30
FIGURA 23 - PROJEÇÕES PARA O QUADRADO	31
FIGURA 24 - PROGRAMA DE LOCALIZAÇÃO DA REGIÃO DA PLACA	32
FIGURA 25 - PROGRAMA DE SEGMENTAÇÃO DOS CARACTERES DA PLACA	33
FIGURA 26 - MAPA DE BITS	34
FIGURA 27 - PROJEÇÃO HORIZONTAL.....	34
FIGURA 28 - PROJEÇÃO VERTICAL.....	34
FIGURA 29 - PROCESSO DE RECONHECIMENTO DOS CARACTERES	34
FIGURA 30 - IMAGEM ORIGINAL DO MÉTODO “A”	36
FIGURA 31 - RESULTADO DA APLICAÇÃO DE SOBEL.....	37

FIGURA 32 - RESULTADO DA BINARIZAÇÃO	37
FIGURA 33 – FAIXAS VERTICAIS LOCALIZADAS PELO MÉTODO “A”	38
FIGURA 34 - REGIÃO CANDIDATA A DE UMA PLACA VEICULAR	39
FIGURA 35 - RESULTADO DA BINARIZAÇÃO	39
FIGURA 36 - REGIÕES CONEXAS CANDIDATAS AOS DÍGITOS/CARACTERES.	40
FIGURA 37 – EXEMPLO DE ANÁLISE DE GRADIENTE EM LINHA SEM PLACA VEICULAR.....	41
FIGURA 38 - EXEMPLO DE ANÁLISE DE GRADIENTE EM LINHA COM PLACA VEICULAR.....	42
FIGURA 39 - EXEMPLO DE ASSINATURA DE GRADIENTE DE INTENSIDADE	42
FIGURA 40 - EXEMPLO DE ASSINATURA DE GRADIENTE DE INTENSIDADE	43
FIGURA 41 – EXEMPLO DE ASSINATURA DE GRADIENTE DE INTENSIDADE.....	43
FIGURA 42 - EXEMPLO DE ASSINATURA DE GRADIENTE DE INTENSIDADE	44
FIGURA 43 - SEIS ETAPAS DO MÉTODO PROPOSTO	45
FIGURA 44 - IMAGEM ORIGINAL DO MÉTODO “C”	47
FIGURA 45 - EXEMPLOS DE FAIXAS HORIZONTAIS	49
FIGURA 46 – CENTRO DAS FAIXAS HORIZONTAIS COM O PRÉ-PROCESSAMENTO	50
FIGURA 47 - CENTRO DAS FAIXAS HORIZONTAIS SEM O PRÉ-PROCESSAMENTO	50
FIGURA 48 - AGRUPAMENTOS DE FAIXAS HORIZONTAIS.....	51
FIGURA 49 - IMAGEM APÓS OPERAÇÕES MORFOLÓGICAS	52
FIGURA 50 - IMAGEM ORIGINAL COM REGIÕES CANDIDATAS EM DESTAQUE	53
FIGURA 51 - IMAGENS DA REGIÃO CONSIDERADA DE UMA PLACA VEICULAR	54
FIGURA 52 - IMAGEM COM SOMBRA, REFLEXO E INSCRIÇÕES	57
FIGURA 53 – IMAGEM COM SOMBRA E INCLINAÇÃO	58

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – COMPARATIVO DOS RESULTADOS OBTIDOS PELOS TRÊS SISTEMAS	56
TABELA 2 - COMPARATIVOS SOBRE OS PROBLEMAS INVESTIGADOS.....	57

1. INTRODUÇÃO

Dentro da área de visão computacional existe uma grande quantidade de trabalhos relacionados com o reconhecimento de padrões (SOUZA, 2000). Técnicas de segmentação e reconhecimento de placas veiculares em imagens digitais estão inseridas na área de visão computacional em reconhecimento de padrões (ANAGNOSTOPOULOS, PSOROULAS, *et al.*, 2008) (CAMPOS, BAMPI e SUSIN, 2001) (GUINGO e THOMÉ, 2004).

O reconhecimento de padrões é tipicamente utilizado em aplicações comerciais, como no reconhecimento da fala, de faces, das íris, das mãos, de impressões digitais, de caracteres, na classificação de documentos e em mineração de dados (GUINGO e THOMÉ, 2004). Este trabalho tem como foco um caso particular do reconhecimento de padrões: a localização de placas veiculares em imagens digitais.

Sistemas automáticos de reconhecimento de placas veiculares têm como principal função a identificação de veículos a partir de imagens digitais. Um sistema automático de reconhecimento de placas veiculares, a partir de uma imagem digital, pode ser dividido nas seguintes etapas: localização, segmentação e reconhecimento da placa de licenciamento (DAMORE e MARENGONI, 2010) (ANAGNOSTOPOULOS, PSOROULAS, *et al.*, 2008) (SOUZA, 2000) (PEDRINI e SCHWARTZ, 2008) (GOMES e LOTUFO, 2005).

No Brasil o problema no reconhecimento de placas de veículos automotores, além dos problemas clássicos ligados aos processos de visão computacional, apresenta ainda um grande número de variáveis que precisam ser tratadas pelos sistemas. Essas variáveis são apresentadas em resolução específica (CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO DO BRASIL, 2007), que prevê oito tipos de placas, conforme a utilização do veículo: aluguel; aprendizagem; coleção; experiência; fabricantes; missões diplomáticas; oficiais; particulares. Estas placas possuem cores diferentes, símbolos que podem aparecer em um tipo, mas não em outro, número de caracteres e dígitos diferentes, etc.

Esses sistemas podem ser utilizados na segurança pública ou privada, através de aplicações específicas como: controle de infrações de trânsito, acesso a áreas restritas, acesso a áreas públicas e na investigação (ANAGNOSTOPOULOS, PSOROULAS, *et al.*, 2008) (SOUZA, 2000) (CAMPOS, BAMPI e SUSIN, 2001) (GAO, WANG e XIE, 2007) (KWASNICKA e WAWRZYNIAK, 2002) (THOMÉ, RODRIGUES e GUINGO, 2002) (BELVESI, FREITAS, *et al.*, 1999).

No controle de infrações de trânsito esses sistemas são utilizados para auxiliar o registro por excesso de velocidade, avanço de sinal vermelho e pelo trânsito em áreas restritas na cidade de São Paulo está relacionado ainda à restrição da circulação dos veículos em determinados dias da semana e faixas horárias, com base no último dígito da placa do veículo. Normalmente esses controles são realizados através de radares fixos e móveis, que capturam as imagens dos veículos ao longo dos dias e em diferentes condições de iluminação, clima, hora do dia, e de velocidade (SOUZA, 2000) (CAMPOS, BAMPI e SUSIN, 2001) (GAO, WANG e XIE, 2007) (KWASNICKA e WAWRZYNIAK, 2002) (THOMÉ, RODRIGUES e GUINGO, 2002) (BELVESI, FREITAS, *et al.*, 1999).

No controle de acesso a áreas restritas esses sistemas são utilizados para verificar a prévia autorização de entrada e saída de veículos. Esse tipo de sistema normalmente é utilizado por condomínios, empresas e órgãos públicos (SOUZA, 2000) (GAO, WANG e XIE, 2007) (KWASNICKA e WAWRZYNIAK, 2002).

No controle de acesso em áreas públicas esses sistemas são utilizados para controlar o tempo de permanência, frequência e fluxo de acesso. Esse tipo de sistema normalmente é utilizado por estacionamentos onde não há a exigência de cadastro prévio dos veículos. (SOUZA, 2000) (CAMPOS, BAMPI e SUSIN, 2001) (GAO, WANG e XIE, 2007) (KWASNICKA e WAWRZYNIAK, 2002) (THOMÉ, RODRIGUES e GUINGO, 2002) (BELVESI, FREITAS, *et al.*, 1999).

Os sistemas automáticos de reconhecimento de placas veiculares também começam a se fazer presente na área da segurança pública especificamente nos setores de investigação criminal. Partindo das imagens capturadas por radares instalados em pontos estratégicos, as placas de identificação dos veículos são pesquisadas e registradas nas bases de dados dos órgãos de trânsito, auxiliando na

localização de veículos furtados e roubados, além da identificação de possíveis rotas de fuga (KWASNICKA e WAWRZYNIAK, 2002) (THOMÉ, RODRIGUES e GUINGO, 2002).

As pesquisas relacionadas a sistemas de reconhecimento de placas veiculares, normalmente utilizam em seus testes, bases de imagens de veículos cedidas por empresas particulares ou órgãos públicos. Como essas bases são formadas por imagens de veículos relacionados a infrações de trânsito, elas não são disponibilizadas para outros pesquisadores, evitando a exposição dos infratores que podem ser facilmente identificados.

Com isso o comparativo entre a eficiência de sistemas de detecção de placas de veículos utilizando um banco de imagens comum, ou ainda a comparação entre trabalhos relacionados disponíveis fica restrito à utilização de alguns sistemas disponibilizados por seus autores ou empresas na web.

Apesar de existirem diversas publicações relacionadas a sistemas de reconhecimento de placas, são poucas as que apresentam e detalham as técnicas utilizadas, principalmente quando são proprietárias de algum diferencial. O autor deste trabalho acredita que o problema da divulgação parcial das técnicas em publicações tem como principal origem o interesse comercial de empresas e governos sobre o assunto.

Normalmente os sistemas automáticos de reconhecimento de placas veiculares possuem uma etapa de pré-processamento e mais três etapas básicas (ANAGNOSTOPOULOS, PSOROULAS, *et al.*, 2008) (GOMES e LOTUFO, 2005) (GAO, WANG e XIE, 2007) (KWASNICKA e WAWRZYNIAK, 2002) (OZBAY e ERCEBELI, 2005): localização e segmentação da região da placa do veículo; localização e segmentação dos dígitos/caracteres contidos na região; reconhecimento dos dígitos/caracteres. Estas etapas estão apresentadas na Figura 1.



Figura 1 - Principais etapas dos sistemas de reconhecimento de placas

A etapa de pré-processamento é utilizada com o objetivo de melhorar a imagem para um melhor resultado nas etapas seguintes. Normalmente nessa etapa são aplicadas técnicas de realce, equalização de histograma e filtragens (ANAGNOSTOPOULOS, PSOROULAS, *et al.*, 2008) (GOMES e LOTUFO, 2005) (GAO, WANG e XIE, 2007) (KWASNICKA e WAWRZYNIAK, 2002) (GONZALEZ e WOODS, 2010).

A etapa de localização e segmentação da região da placa do veículo normalmente utiliza técnicas baseadas nas características morfológicas da placa, dos caracteres ou da combinação de ambas (GOMES e LOTUFO, 2005). As duas principais técnicas baseadas na morfologia da placa são: detecção de arestas com a transformada de Hough (ANAGNOSTOPOULOS, PSOROULAS, *et al.*, 2008) (GONZALEZ e WOODS, 2010) e redes neurais artificiais (GUINGO e THOMÉ, 2004) (KWASNICKA e WAWRZYNIAK, 2002). Entre as técnicas baseadas na morfologia dos caracteres estão a de variação tonal e a de correlação dos objetos da imagem (ANAGNOSTOPOULOS, PSOROULAS, *et al.*, 2008) (GOMES e LOTUFO, 2005) (KWASNICKA e WAWRZYNIAK, 2002).

Na etapa de localização e segmentação dos dígitos/caracteres, são utilizadas técnicas de projeções horizontais e verticais (ANAGNOSTOPOULOS, PSOROULAS, *et al.*, 2008) (GAO, WANG e XIE, 2007) (BELVESI, FREITAS, *et al.*, 1999) (OZBAY e ERCEBELI, 2005), busca por um “L” invertido (SOUZA, 2000) e projeções sobre polígonos regulares (THOMÉ, RODRIGUES e GUINGO, 2002).

Para o reconhecimento dos dígitos/caracteres as técnicas mais utilizadas são; comparação das projeções horizontais e verticais com padrões (BELVESI, FREITAS, *et al.*, 1999), rede neural com o valor dos pixels na camada de entrada (ANAGNOSTOPOULOS, PSOROULAS, *et al.*, 2008) (GAO, WANG e XIE, 2007), rede neural com as projeções obtidas da técnica dos polígonos (GUINGO e THOMÉ, 2004) (THOMÉ, RODRIGUES e GUINGO, 2002), subtração de padrões de dígitos/caracteres (OZBAY e ERCEBELI, 2005).

O principal objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um método robusto para a localização das placas veiculares em imagens obtidas por radares fixos e móveis, em diferentes condições de iluminação, posição, tempo, contraste e outros ruídos.

O termo robusto neste trabalho está relacionado diretamente com a eficácia do sistema quanto à localização automática das placas veiculares, sem a necessidade de intervenção humana e considerando características específicas de aquisição e das placas. Algumas das características das placas são: inclinação, cor, tamanho, posicionamento e estado de conservação. Algumas interferências externas também são consideradas, como: reflexos, iluminação, chuva, neblina, neve, inscrições nos veículos, ruídos originados pelos dispositivos de captação e a diversidade de padrões existentes (GUINGO e THOMÉ, 2004) (KWASNICKA e WAWRZYNIAK, 2002) (BELVESI, FREITAS, *et al.*, 1999).

Alguns exemplos dos problemas tratados na robustez deste trabalho são apresentados da Figura 2 a Figura 7

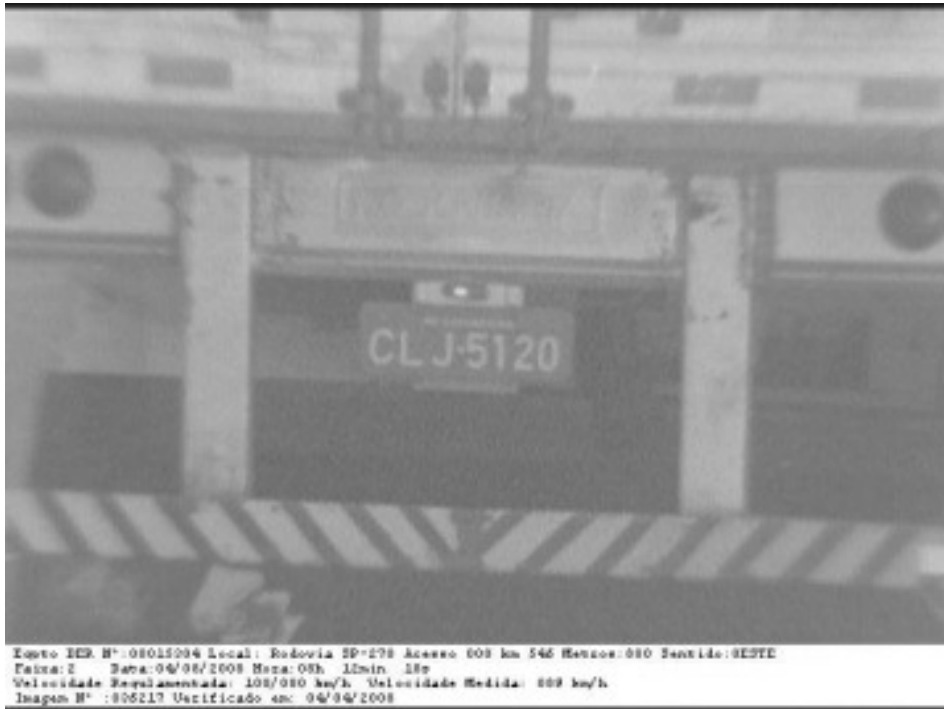


Figura 2 – Imagem com baixo contraste



Figura 3 - Imagem com baixa iluminação



Figura 4 - Imagem de veículo inclinado



Figura 5 - Imagem de veículo com inscrições



Figura 6 - Imagem de veículo com reflexo



Figura 7 - Placa veicular com estado de conservação crítico

O capítulo 2 apresenta alguns resumos de trabalhos relacionados à localização de placas, segmentação de caracteres e reconhecimento de placas veiculares. Nos resumos são apresentadas as técnicas utilizadas, os resultados obtidos e diferenciais observados pelos autores.

No capítulo 3 são apresentados três métodos investigados neste trabalho com base nos trabalhos listados no capítulo 2. O último método apresentado é o proposto pelo autor, sendo dividido em 6 etapas. A primeira de pré-processamento, trata da atenuação de ruídos nas imagens. A segunda faz uma busca por faixas horizontais, compatíveis com os tamanhos dos caracteres. A terceira é responsável pela localização de agrupamentos das faixas horizontais localizadas. A quarta elimina as faixas isoladas e agrupa as faixas próximas. A quinta faz uma busca por possíveis regiões contendo uma placa veicular. A última etapa valida as regiões da etapa anterior segmentando os dígitos/caracteres.

No capítulo 4 são apresentados os resultados obtidos nos testes realizados com o método proposto neste trabalho e uma comparação com outros dois sistemas disponíveis na web, sendo um comercial e outro acadêmico.

O capítulo 5 apresenta as conclusões e alguns comentários sobre os resultados obtidos, considerando o objetivo de localizar placas veiculares em imagens digitais obtidas em condições complexas de aquisição.

2. TRABALHOS RELACIONADOS

Neste capítulo são apresentadas técnicas para a detecção e/ou reconhecimento de placas veiculares, extraídas de trabalhos científicos relevantes. Para cada trabalho é descrita a metodologia utilizada, apresentando seus diferenciais e os resultados obtidos.

2.1. “Automatic vehicle identification by plate recognition”

Uma das técnicas para a localização da região da placa veicular é baseada na varredura das linhas e colunas utilizando as características da largura e altura da placa (OZBAY e ERCEBELI, 2005).

A partir da imagem original apresentada na Figura 8, os autores iniciam o processo com uma binarização, o resultado é apresentado na Figura 9. No trabalho é mencionada a utilização de algumas técnicas para binarização, sem maiores informações sobre as mesmas.



Figura 8 – Imagem original

(OZBAY e ERCEBELI, 2005)

Após a binarização é realizada uma varredura nas linhas verticais e horizontais da imagem em busca de faixas com tamanhos correspondentes à região da placa esperada. São apresentados os valores de 10 e 100 pixels para o mínimo e máximo tamanho das faixas.

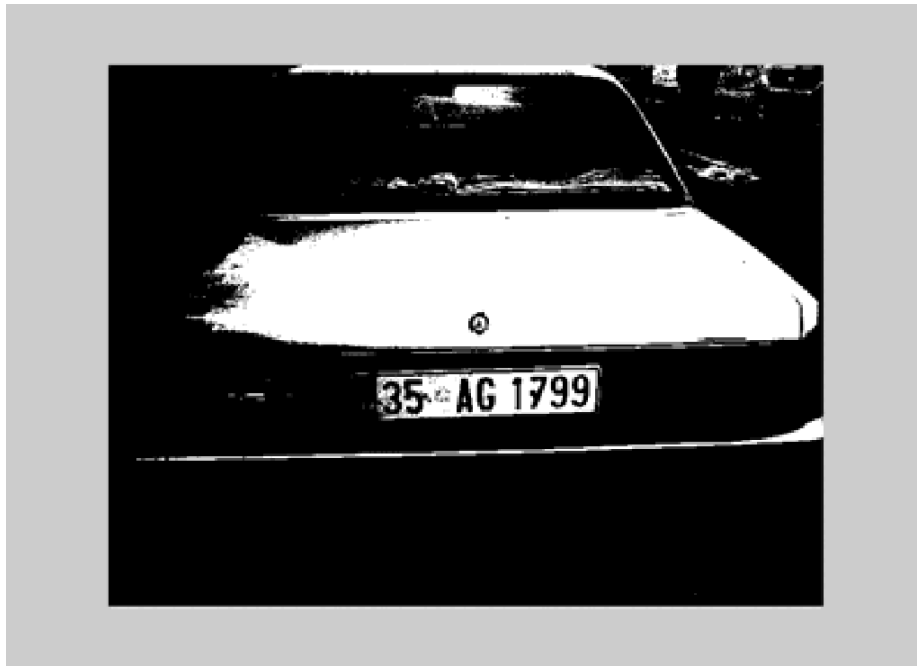


Figura 9 – Imagem binarizada

(OZBAY e ERCEBELI, 2005)

Localizadas as faixas correspondentes aos critérios apresentados, os autores utilizam operações morfológicas de dilatação e erosão sobre a imagem, objetivando o fechamento de regiões. O resultado dessa etapa pode ser observado na Figura 10.

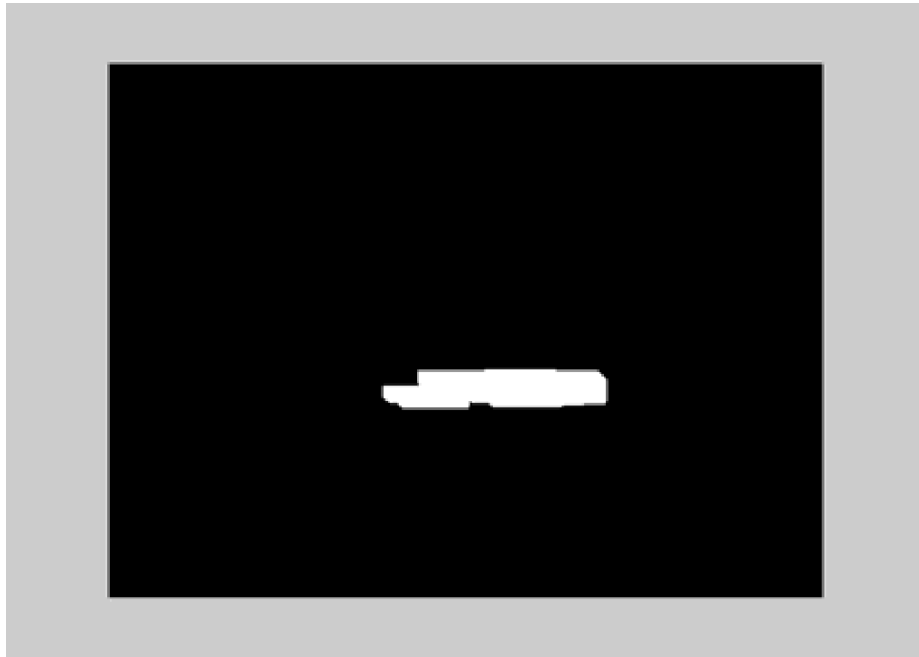


Figura 10 – Resultado da varredura e das operações morfológicas
(OZBAY e ERCEBELI, 2005)

A partir das coordenadas da região localizada é extraída a região correspondente da imagem original binarizada, conforme apresentado na Figura 11.



Figura 11 – Região da placa
(OZBAY e ERCEBELI, 2005)

Da região extraída são segmentadas as sub-regiões correspondentes aos dígitos/caracteres através das projeções horizontais e verticais da região. As sub-regiões localizadas são normalizadas em 36 x 18 pixels, conforme Figura 12.



Figura 12 - Dígitos/caracteres segmentados e normalizados
(OZBAY e ERCEBELI, 2005)

O método proposto pelos autores propõe o reconhecimento dos dígitos/caracteres através da comparação das regiões normalizadas com padrões.

Para os testes os autores utilizaram 340 imagens coloridas com resolução de 1600 x 1200 pixels, considerando apenas imagens com variações na condição de iluminação. O sistema foi implementado em Matlab 6.5, objetivando a localização de placas veiculares da Turquia.

É apresentada uma taxa de acerto de 97,6% para a localização das placas veiculares, 96% para a correta segmentação das regiões dos dígitos/caracteres e 98,8% de acerto no reconhecimento dos mesmos.

2.2. “A Hibrid Approach to License Plate Segmentation under Complex Conditions”

Nesse trabalho (ZHANG, LIU e JIANG, 2007) é proposto um método híbrido para localização de placas veiculares adquiridas em condições complexas de aquisição. O método proposto pelos autores é baseado na utilização de redes neurais artificiais e na análise das características dos componentes da imagem.

É apresentada inicialmente uma etapa de pré-processamento seguida de uma binarização adaptativa, conforme Figura 13. Depois de binarizada a imagem o método percorre suas linhas em busca de texturas e características correspondentes às das placas veiculares. As linhas localizadas são agrupadas formando regiões conforme apresenta a Figura 14.



Figura 13 - Imagem binarizada após pré-processamento

(ZHANG, LIU e JIANG, 2007)



Figura 14 – Faixas localizadas na busca por texturas
(ZHANG, LIU e JIANG, 2007)

As faixas localizadas são processadas em busca de regiões que possam conter placas veiculares. Os resultados dessa etapa são apresentados na Figura 15.



Figura 15 - Regiões candidatas a placa veicular
(ZHANG, LIU e JIANG, 2007)

Das coordenadas de cada região candidata é extraída a região correspondente da imagem original, sendo cada uma delas apresentadas a próxima etapa do método proposto, que se utiliza de redes neurais artificiais para a validação das mesmas.

A etapa seguinte trabalha na segmentação dos dígitos/caracteres das regiões válidas utilizando a projeção vertical dos pixels da região binarizada (Figura 16). O resultado dessa etapa pode ser observado na Figura 17.

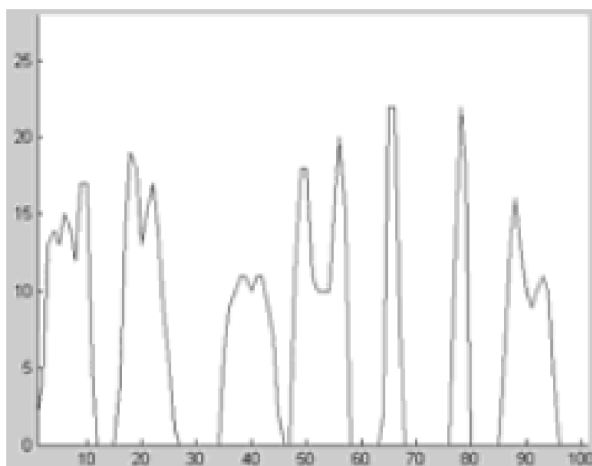


Figura 16 – Projeção vertical

(ZHANG, LIU e JIANG, 2007)

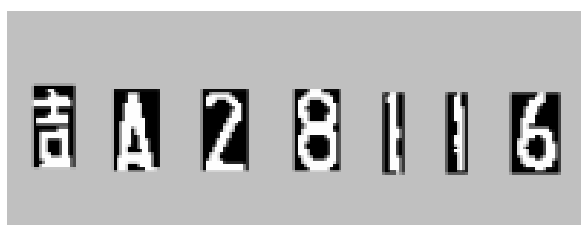


Figura 17 - Sub-regiões segmentadas

(ZHANG, LIU e JIANG, 2007)

O método proposto não apresenta uma etapa responsável pelo reconhecimento dos dígitos/caracteres.

Nos testes foram utilizadas 400 imagens com resolução de 640 x 480 pixels, adquiridas em condições complexas. É apresentada uma taxa de acerto de 94% para a localização das placas e 95% para a correta segmentação das regiões dos dígitos/caracteres, com tempo médio de processamento de 1,2 segundos por imagem.

2.3. “SIAV – Um Sistema de Identificação Automática de Veículos”

Os autores desse artigo utilizam um processo de análise por variação tonal nas linhas das imagens (SOUZA e SUSIN, 2000), com o objetivo de localizar as regiões das placas conforme apresentado na Figura 18. Essa análise é apresentada como uma assinatura, conforme Figura 19 e Figura 20.



Figura 18 - Imagem de veículo
(SOUZA e SUSIN, 2000)

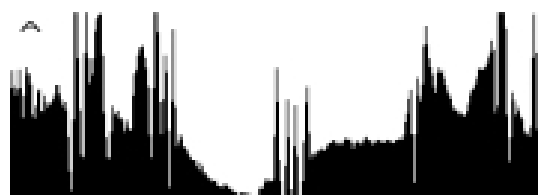


Figura 19 - Variação tonal da linha "A"
(SOUZA e SUSIN, 2000)

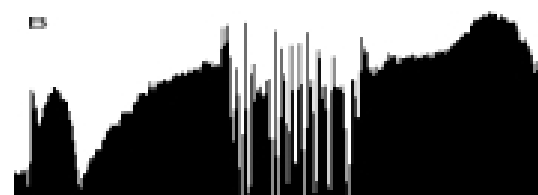


Figura 20 - Variação tonal da linha "B"
(SOUZA e SUSIN, 2000)

A região localizada na etapa anterior é binarizada por um algoritmo adaptativo que apresentou melhores resultados no contexto do reconhecimento de caracteres (NIBLACK, 1986).

Depois da binarização o trabalho utiliza um algoritmo de busca por dígitos, na procura por regiões com o formato de um “L” invertido de pixels em branco, conforme Figura 21. As regiões localizadas são percorridas por uma barra horizontal e outra vertical, com o objetivo de determinar os limites das possíveis regiões dos caracteres.



Figura 21 - Estágio na procura por dígitos
(SOUZA e SUSIN, 2000)

Esse algoritmo de busca não consegue localizar caracteres quando interconectados ou conectados com as bordas da placa, sendo totalmente dependente de uma correta binarização.

Após a localização dos caracteres é verificada a correta formação dos mesmos considerando uma placa veicular. Se o algoritmo não localizar nenhuma formação válida, a etapa anterior é repetida com uma nova taxa para a binarização adaptativa. Quando a região da placa é finalmente localizada, uma expansão de contraste é aplicada sobre a mesma região da imagem original, seguida de uma nova binarização.

Os caracteres extraídos são redimensionados para uma região de 15 x 15 pixels, sendo apresentados a duas redes neurais distintas. A rede para o reconhecimento das letras foi construída com 225 x 26 x 26 neurônios, já a rede para os números com 225 x 10 x 10 neurônios. Os valores correspondem respectivamente as camadas de entrada, oculta e de saída.

O treinamento da rede e os testes do sistema foram realizados com uma mesma base de 500 imagens com resolução de 320 x 240 pixels, contendo veículos com placas de 70 x 20 a 120 x 40 pixels.

As taxas de acerto do sistema desenvolvido e denominado "SIAV", foram comparados com o sistema demonstrativo da empresa israelense Hi-Tech Solutions (Seecar License Plate Recognition).

O sistema SIAV apresentou melhores resultados nas etapas de localização da placa e na etapa de segmentação dos caracteres, quando comparados ao sistema Seecar. As taxas foram de 97,7% (SIAV) contra 76,2% (Seecar License Plate

Recognition) para a etapa de localização da placa e de 91,3% (SIAV) contra 64,6% (Seecar License Plate Recognition) na etapa de segmentação dos caracteres. Para a combinação da localização e reconhecimento correto das placas é apresentada uma taxa de acerto de 37,5%.

2.4. “Reconhecimento Automático de Placas de Veículos Automotores Através de Redes Neurais Artificiais”

Nesse artigo (THOMÉ, RODRIGUES e GUINGO, 2002) os autores utilizam redes neurais artificiais para selecionar, dentre as diversas regiões de uma imagem, aquela com maior probabilidade de conter uma placa veicular.

A região da placa selecionada é apresentada para a segmentação dos caracteres, através de suas projeções horizontal e vertical, conforme apresentado no canto esquerdo inferior da Figura 22.

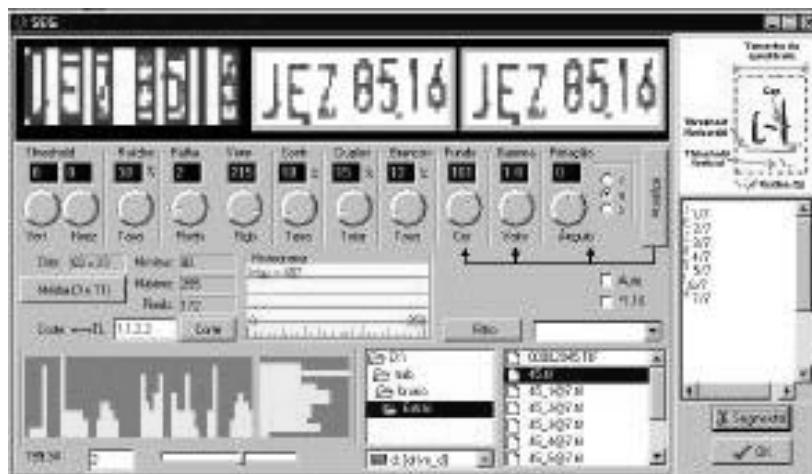


Figura 22 - Segmentação dos caracteres da placa

(THOMÉ, RODRIGUES e GUINGO, 2002)

Após a segmentação dos caracteres, são extraídas suas características pela técnica da projeção do contorno dos mesmos sobre os lados de um polígono regular,

especificamente um quadrado de 32 x 32 pixels, conforme Figura 23, resultando num vetor de 128 características para cada caractere.



Figura 23 - Projeções para o quadrado

(THOMÉ, RODRIGUES e GUINGO, 2002)

No trabalho também é apresentada a construção de duas redes neurais distintas, responsáveis pelo reconhecimento em separado das letras e dos números. Na camada de entrada os autores utilizam o vetor de 128 características obtido na etapa anterior, são utilizados 47 neurônios na camada oculta da rede e, respectivamente, 10 e 26 neurônios para as camadas de saída das duas redes. Os treinamentos das redes foram feitos com as características obtidas de 80% das imagens, sendo os 20% restantes utilizados para os testes.

O banco de imagens utilizado no trabalho foi composto por 5.233 imagens provenientes do DER-RJ, Departamento de Estrada e Rodagem do estado do Rio de Janeiro, obtidas de radares instalados em ambientes não controlados, porém não foi apresentada a resolução das imagens.

Na conclusão os autores apresentam uma taxa de 76,61% para o reconhecimento correto das placas, não apresentando resultados para a segmentação das placas, nem comparando com outro sistema comercial ou acadêmico.

2.5. “Kapta – Um Sistema de Reconhecimento Automático de Placas de Veículos Baseado nas Técnicas de Redes Neurais e Processamento de Imagens”

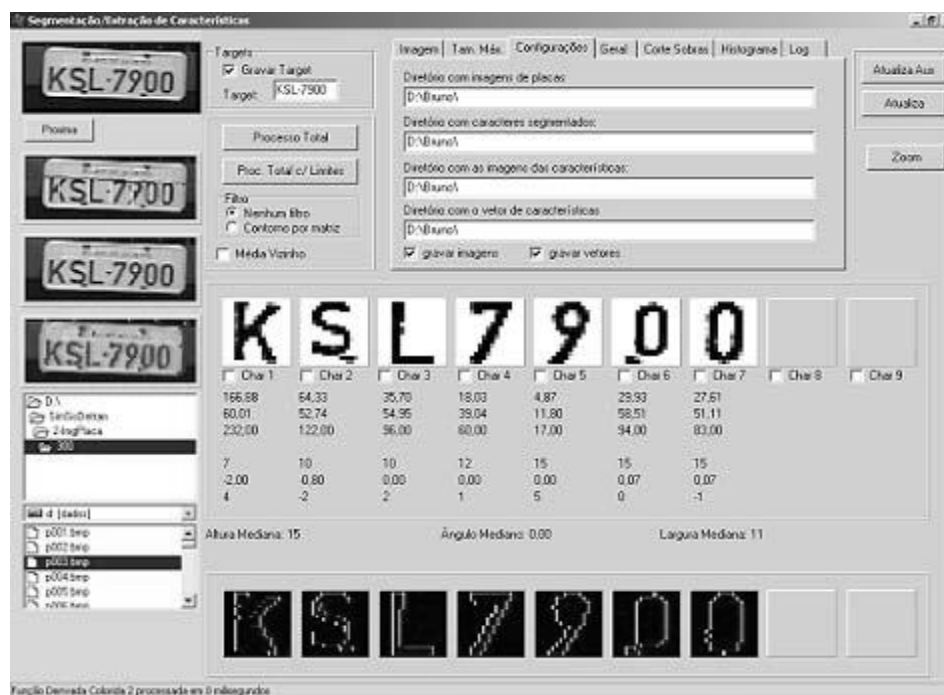
Neste trabalho (GUINGO, STIEBLER e THOMÉ, 2004) é utilizado primeiramente um filtro laplaciano para localizar a região da placa, identificando pontos com determinado contraste. Após a aplicação desse filtro é realizada uma busca por regiões com maior probabilidade de pertencerem às bordas dos caracteres, conforme Figura 24, seguida de uma nova busca por áreas de maior densidade dos pontos de bordas localizados.



**Figura 24 - Programa de localização da região da placa
(GUINGO, STIEBLER e THOMÉ, 2004)**

Na etapa de segmentação dos caracteres da placa, é apresentada primeiramente a conversão da região para tons de cinza e aplicado um filtro adaptativo com o objetivo de melhorar o contraste. Na sequência é realizada uma busca por regiões conexas com “vizinhança de oito” (GONZALEZ e WOODS, 2010). As regiões

localizadas recebem uma verificação em suas dimensões, posições relativas na imagem, alinhamento das bordas superiores e inferiores, etapas apresentadas na Figura 25. Por último é verificada a formação de conjuntos contendo sete regiões conexas válidas.



**Figura 25 - Programa de segmentação dos caracteres da placa
(GUINGO, STIEBLER e THOMÉ, 2004)**

Após a segmentação dos caracteres são extraídas as características individuais, através da combinação do mapa de bits com 16 x 16 pixels apresentado na Figura 26, com as projeções horizontais e verticais, conforme Figura 27 e Figura 28.

Para o treinamento das redes, os autores utilizaram os caracteres extraídos de 1000 imagens coloridas com resolução de 320 x 240 pixels, adquiridas no posto de vistoria do DETRAN-RJ. Da mesma forma outras 300 imagens foram utilizadas para os testes das redes.

Na conclusão é apresentada uma taxa de 78,38% para a correta localização e identificação dos sete caracteres de uma mesma placa, 97,01% no reconhecimento das letras e 98,26% para os números.

Segundo os autores “O reconhecimento automático de placa de veículos embora possua um grande apelo e potencial de aplicação prática, ainda apresenta desafios que demandam esforço de pesquisa na busca de melhores soluções para as diferentes etapas do processamento.”

3. MÉTODO PROPOSTO

Baseado nos trabalhos investigados no capítulo anterior foi desenvolvido um sistema baseado na busca por faixas verticais correspondentes aos dígitos/caracteres. Como esse método não apresentou a robustez necessária para lidar com as imagens em nossa base de imagens, um novo método baseado em “assinaturas espectrais” correspondentes as regiões das placas, foi desenvolvido. Como este método “B” ainda não apresentou resultados satisfatórios para o banco de imagens utilizado, partiu-se então para um método que procurasse por faixas horizontais pertencentes aos dígitos/caracteres, considerando também o agrupamento entre as mesmas, este é o método “C”.

3.1. Método “A” - Localização de faixas verticais

Neste método, é aplicado um filtro de Sobel para a detecção de bordas (GONZALEZ e WOODS, 2010) na imagem original apresentada na Figura 30. O resultado obtido pode ser observado na Figura 31.



Figura 30 - Imagem original do método “A”



Figura 31 - Resultado da aplicação de Sobel

Após a aplicação do filtro a imagem é apresentada para binarização com um limiar empírico (neste caso 128) e o resultado é exemplificado na Figura 32.



Figura 32 - Resultado da binarização

Partindo do resultado da binarização, as colunas da imagem são percorridas em busca de faixas verticais correspondentes à altura esperada para os dígitos/caracteres. O tamanho esperado das faixas depende diretamente da resolução da imagem e das porcentagens mínima e máxima de ocupação do veículo na largura da imagem. Neste caso é esperado que o veículo preencha de 50 a 100% da largura da imagem, considerando a atuação dos radares em apenas uma faixa de rolagem das vias públicas. As faixas verticais localizadas pelo processamento da imagem da Figura 32 são apresentadas na Figura 33, com uma maior concentração na região da placa do veículo.

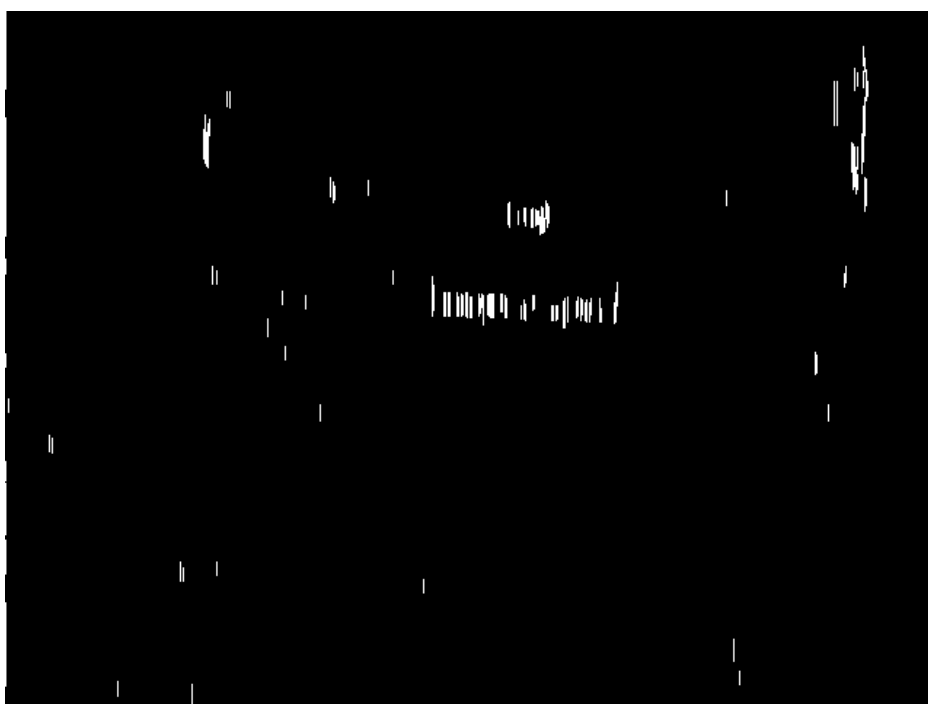


Figura 33 – Faixas verticais localizadas pelo método “A”

Na etapa seguinte o sistema faz uma busca por um agrupamento das faixas verticais localizadas na etapa anterior. As linhas da imagem são percorridas buscando por uma maior concentração de pontos. As concentrações localizadas são consideradas válidas se as linhas imediatamente superiores e inferiores também apresentarem concentrações na mesma região. A região com maior concentração de faixas localizadas é considerada candidata a uma região que contenha uma placa veicular, conforme apresentado na Figura 34.



Figura 34 - Região candidata a de uma placa veicular

Após a localização da região candidata é extraída da imagem original a região correspondente, sendo realizada uma nova binarização com um limiar empírico (o mesmo valor de 128). O resultado da binarização é apresentado na Figura 35.



Figura 35 - Resultado da binarização

A partir da binarização apresentada na Figura 35, a nova imagem é processada em busca de regiões conexas com “vizinhança de quatro” (PEDRINI e SCHWARTZ, 2008) (GONZALEZ e WOODS, 2010). As regiões conexas localizadas são validadas com referência à largura e altura mínimas e máximas. O resultado deste processamento é apresentado na Figura 36.

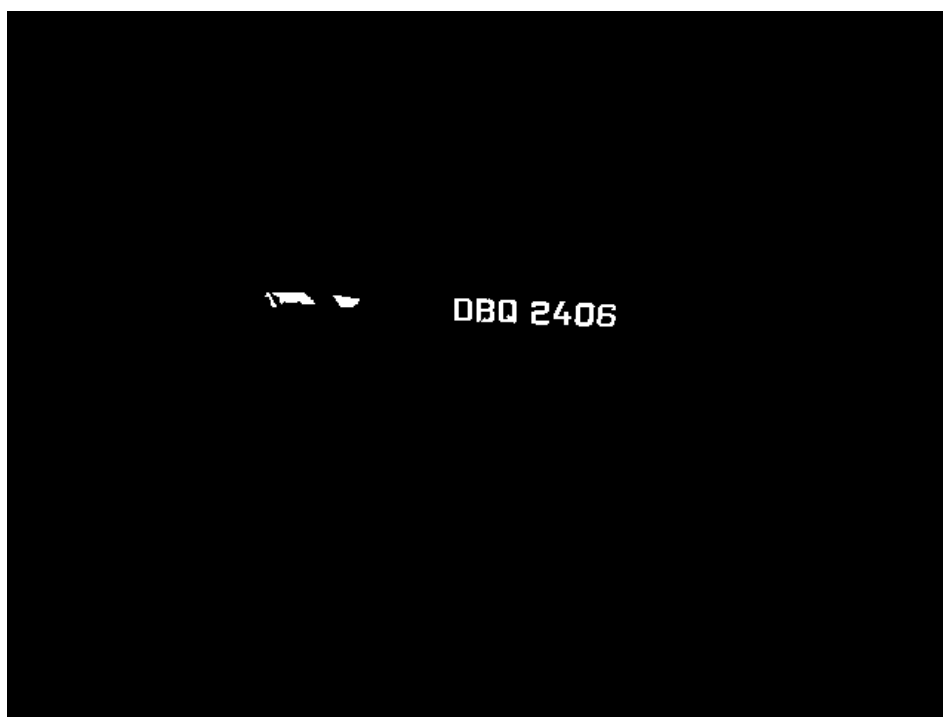


Figura 36 - Regiões conexas candidatas aos dígitos/caracteres.

Uma próxima etapa para este método seria a apresentação das regiões conexas localizadas para uma rede neural artificial, objetivando um possível reconhecimento dos dígitos/caracteres. Porém este método foi descartado por não apresentar robustez na localização de placas veiculares em imagens onde foram observadas inclinações acentuadas do veículo com relação à câmera. Outro fator que desmotivou a continuidade na investigação deste método foi a quantidade de parâmetros trabalhados de forma empírica, fator contrário para a obtenção de um algoritmo robusto.

3.2. Método “B”- Localização de assinaturas de gradientes de intensidade

Este método procura por assinaturas de gradientes de intensidade correspondentes às regiões das placas (SOUZA e SUSIN, 2000). A Figura 37 apresenta um exemplo de imagem com análise de gradiente de intensidade em uma linha específica que não corta uma placa veicular. Pode ser observado nos gráficos da Figura 37 a ausência de altas frequências que caracterizem uma assinatura ou padrão para uma placa.

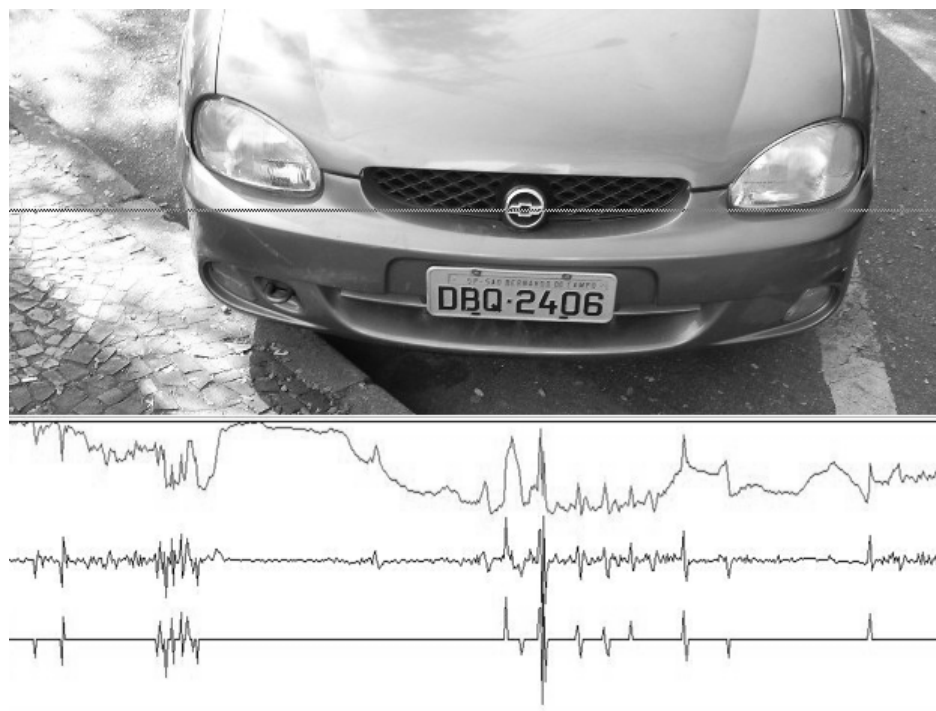


Figura 37 – Exemplo de análise de gradiente em linha sem placa veicular

Na Figura 38 é apresentada uma imagem com análise de gradiente de intensidade em uma linha específica que corta uma placa veicular. Nos gráficos desta figura pode ser observada uma região com alta frequência que caracteriza uma assinatura correspondente ao padrão de uma placa veicular.

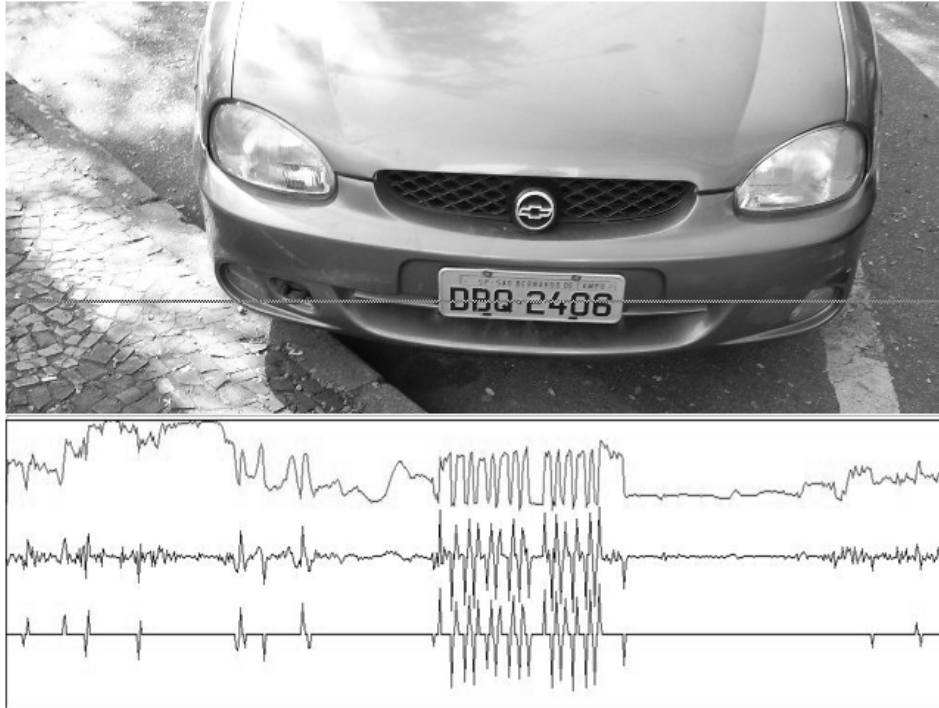


Figura 38 - Exemplo de análise de gradiente em linha com placa veicular

As regiões onde foram localizadas as assinaturas de gradiente de intensidade são marcadas com faixas horizontais conforme apresentado na Figura 39 a Figura 42.



Figura 39 - Exemplo de assinatura de gradiente de intensidade



Figura 42 - Exemplo de assinatura de gradiente de intensidade

As próximas etapas para este método seriam a localização das regiões com maior concentração de assinaturas, a segmentação e apresentação desses dígitos/caracteres para uma rede neural artificial objetivando o reconhecimento.

Este método também não apresentou robustez no processamento das imagens com baixo contraste ou sombra na região das placas veiculares e, portanto, o método "B" foi abandonado. Outro fator considerado foi novamente a quantidade de parâmetros empíricos. Contudo, com base neste método e no anterior, foi criada uma nova proposta de localização dos dígitos/caracteres baseada na busca por faixas horizontais.

3.3. Método “C”- Localização de faixas horizontais.

Um dos métodos para localizar placas veiculares em imagens digitais é baseado na frequência da mudança de cores (GOMES e LOTUFO, 2005) (KWASNICKA e WAWRZYNIAK, 2002), estes métodos em geral localizam a posição das placas nas imagens, mas também criam um número grande de hipóteses para serem testadas.

O método proposto neste trabalho também é baseado na frequência da mudança de cores, mas combinado com a densidade de caracteres/dígitos, reduz o numero de hipóteses a serem testadas (DAMORE e MARENGONI, 2010). O método procura nas imagens por regiões que apresentem variações de cor compatível com as densidades dos dígitos/caracteres de uma placa. Para cada região localizada no processo é aplicada uma técnica de validação. O método proposto foi dividido em seis etapas, conforme a Figura 43.



Figura 43 - Seis etapas do método proposto

A primeira etapa, de pré-processamento, trata da atenuação de ruídos nas imagens. A atenuação é feita de modo a não prejudicar as bordas dos caracteres. Na segunda etapa, é feita uma busca por faixas horizontais, compatíveis com os tamanhos dos caracteres e considerando um limite máximo de variação na tonalidade de cada faixa. A terceira etapa é responsável pela localização de agrupamentos de faixas horizontais, considerando uma quantidade mínima de faixas com uma distância máxima entre elas. Na quarta etapa são aplicadas operações morfológicas de erosão e dilatação nos agrupamentos de faixas horizontais, com o objetivo de eliminar faixas isoladas e agrupar faixas próximas. Na quinta etapa é realizada uma busca por regiões conexas que passam a ser candidatas a uma região onde existe uma placa de veículo. A sexta e última etapa é responsável pela validação das regiões candidatas, através da busca por sub-regiões compatíveis aos dígitos/caracteres encontrados nas placas dos veículos no Brasil.

3.3.1. Pré-processamento

A etapa de pré-processamento é utilizada para atenuar ruídos sem prejudicar as bordas principalmente dos dígitos/caracteres. Esta etapa ajuda a diminuir os falsos positivos nas etapas seguintes (GAO, WANG e XIE, 2007).

Para definir as técnicas a serem utilizadas nesta etapa, foram realizados testes com os filtros da média, gaussiana, mediana simples e média com preservação de bordas. Esses filtros foram combinados com variações nos tamanhos das máscaras (3x3, 5x5 e 7x7). O filtro da mediana simples com tamanho 3x3 foi o que apresentou os melhores resultados, considerando o custo computacional, a atenuação dos ruídos e a preservação das bordas dos caracteres, resultado este já esperado (GONZALEZ e WOODS, 2010).

Na próxima etapa do método proposto, serão apresentados os resultados com e sem a etapa de pré-processamento. A imagem original do veículo é apresentada na Figura 44.



Figura 44 - Imagem original do método "C"

3.3.2. Faixas horizontais

Esta etapa tem como objetivo localizar faixas horizontais compatíveis com os tamanhos dos caracteres esperados, considerando três parâmetros: o primeiro define o limite de variação de tonalidade entre os pixels de uma mesma faixa horizontal, os outros dois parâmetros, limitam a largura mínima e máxima esperadas para os caracteres/dígitos em uma placa.

O parâmetro que limita a variação de tonalidade é relacionado diretamente ao contraste de imagem. Nos testes realizados, foram obtidos os melhores resultados empiricamente com o valor de 20 níveis de cinza para a variação máxima em uma faixa horizontal. A utilização de valores superiores a 20 limita a localização das placas veiculares em imagens com baixo contraste. Já a utilização de valores inferiores a 20 apresentam uma excessiva quantidade de regiões candidatas a uma placa veicular.

Os parâmetros que limitam a largura mínima e máxima esperadas para os caracteres/dígitos em uma placa, dependem diretamente de três fatores: a largura de imagem; largura do veículo na imagem e a espessura dos caracteres/dígitos das placas brasileiras.

Neste trabalho foram utilizadas inicialmente imagens com resolução de 640 pixels na largura, sendo esperado que a largura dos veículos ocupe de 50% a 100% dessa resolução. Considerando um valor aproximado de 2 metros para a largura média das faixas de rolagem dos veículos e como a largura padrão do traço dos caracteres/dígitos é de 10 mm (CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO DO BRASIL, 2007), tem-se então uma espessura esperada para os caracteres/dígitos, na imagem adquirida de 3 a 6 pixels.

O algoritmo percorre e analisa as linhas da imagem, atualizando os valores de mínimo e máximo das intensidades de cada faixa sendo analisada, monitorando a diferença entre esses dois valores, para que não exceda valor do primeiro parâmetro, que limita a variação de tonalidade. Quando o primeiro parâmetro é excedido, é verificada se a largura da faixa localizada está entre os valores do segundo e terceiro parâmetros, que limitam a largura mínima e máxima esperada. Quando uma faixa é considerada válida, o sistema verifica seus dois pixels vizinhos, um à direita e outro à

esquerda, sendo que ambos devem ter tonalidades superiores ou inferiores à tonalidade média da faixa.

A Figura 45 apresenta os três exemplos de regiões a serem consideradas: a região número 1 possui uma faixa central inválida, considerando que a mesma possui gradientes de mesmo sinal nas bordas laterais. A região número 2 possui uma faixa central considerada válida pela sua largura e pelos gradientes de sinal contrários nas bordas laterais. A região número 3 possui uma faixa central inválida, pois sua largura ultrapassa os limites estabelecidos das espessuras esperadas de caracteres/dígitos.

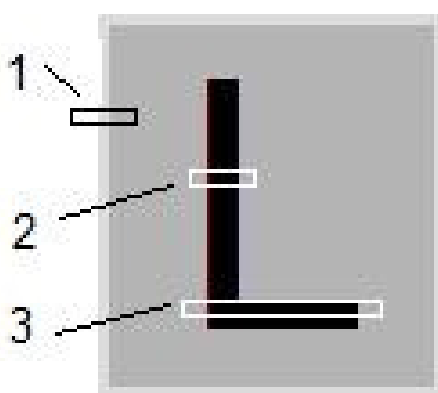


Figura 45 - Exemplos de faixas horizontais

Quando uma faixa satisfaz a todas as verificações propostas, o centro da mesma é armazenado em uma nova imagem. A Figura 46 e Figura 47, exibem os resultados desta etapa com e sem o pré-processamento, onde a diferença entre as imagens é o ruído atenuado na etapa de pré-processamento. Note que na imagem da Figura 47 o número de pontos que serão posteriormente descartados é bem maior que na imagem da Figura 46, devido a ruído existente na imagem.



Figura 46 – Centro das faixas horizontais com o pré-processamento

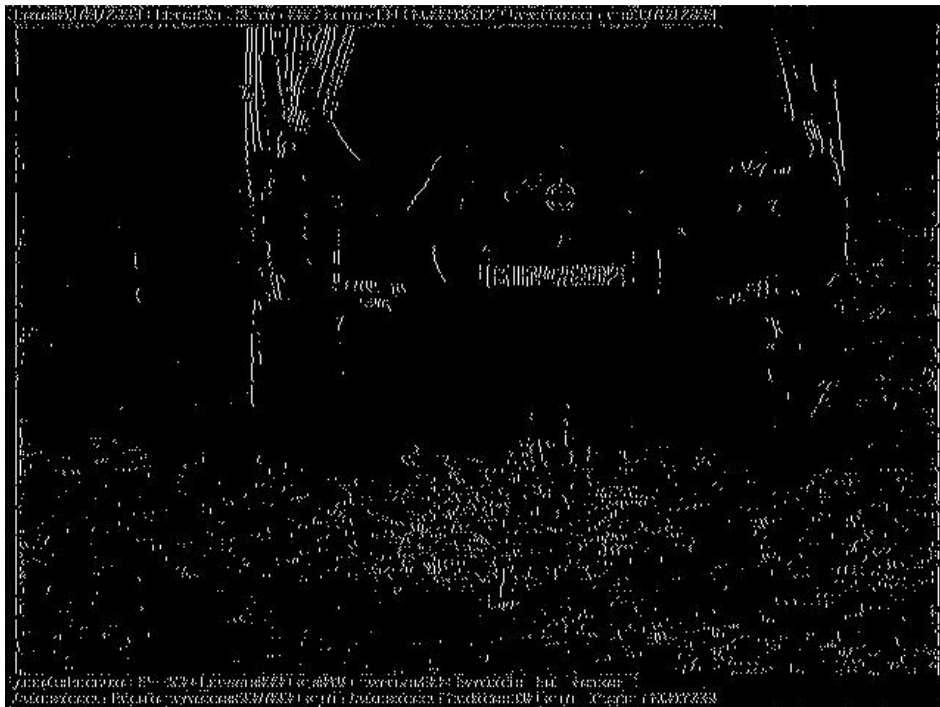


Figura 47 - Centro das faixas horizontais sem o pré-processamento

3.3.3. Agrupamento de faixas horizontais

A terceira etapa é responsável pela localização de agrupamentos de faixas horizontais, sendo utilizados dois parâmetros. O primeiro define o espaçamento horizontal máximo entre os centros das faixas horizontais localizadas na etapa anterior, esse parâmetro tem como referência a distância máxima entre dois caracteres em uma placa veicular. O segundo parâmetro define a quantidade mínima de faixas horizontais e sequenciais, considerando um mínimo de caracteres agrupados.

Novamente a resolução 231 (CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO DO BRASIL, 2007), define em 50 mm a distância máxima entre dois caracteres/dígitos e um mínimo de sete faixas horizontais correspondentes à quantidade de caracteres/dígitos das placas de licenciamento do Brasil.

Nesta etapa o algoritmo armazena em uma nova imagem as faixas que ligam o centro da primeira e da última faixa pertencente ao agrupamento localizado. A Figura 48 exibe o resultado desta etapa, podendo ser observadas três regiões com agrupamentos de faixas.

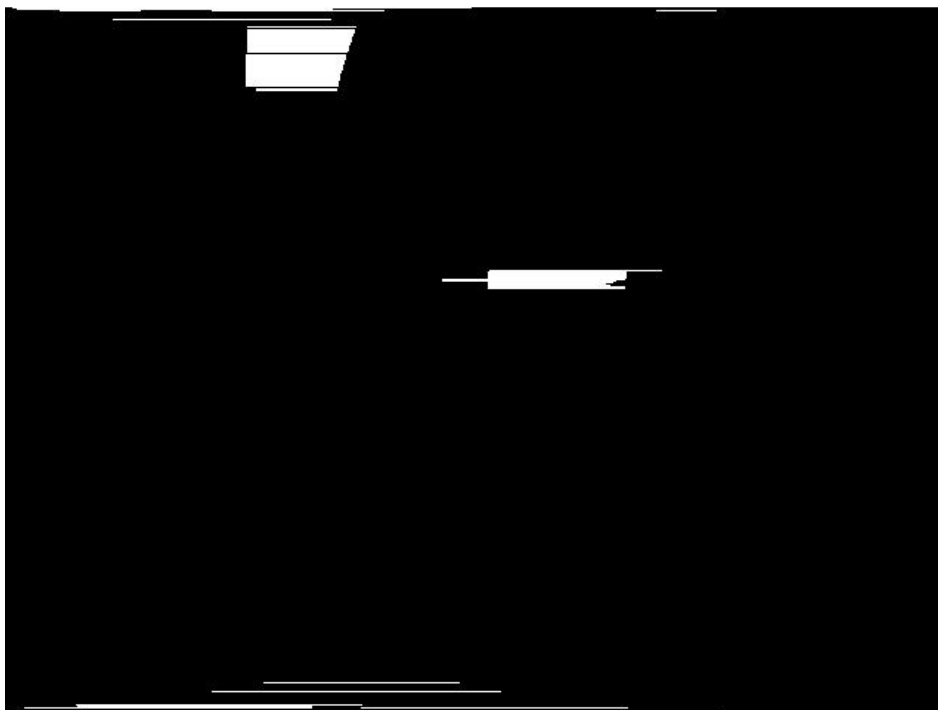


Figura 48 - Agrupamentos de faixas horizontais

3.3.4. Morfologia

Algumas das regiões localizadas na parte superior e inferior da Figura 48 nitidamente não pertencem a uma placa veicular. Essas regiões são formadas por grupos de uma a três linhas. A quarta etapa tem como objetivo eliminar essas faixas isoladas e agrupar faixas próximas, através da aplicação de operações morfológicas de erosão e dilatação.

Os melhores resultados foram obtidos quando foram aplicados primeiramente duas erosões, seguidas de três dilatações utilizando um elemento estrutural quadrado de dimensão três. A Figura 49 exibe o resultado desta etapa, podendo ser observados apenas dois agrupamentos de faixas.

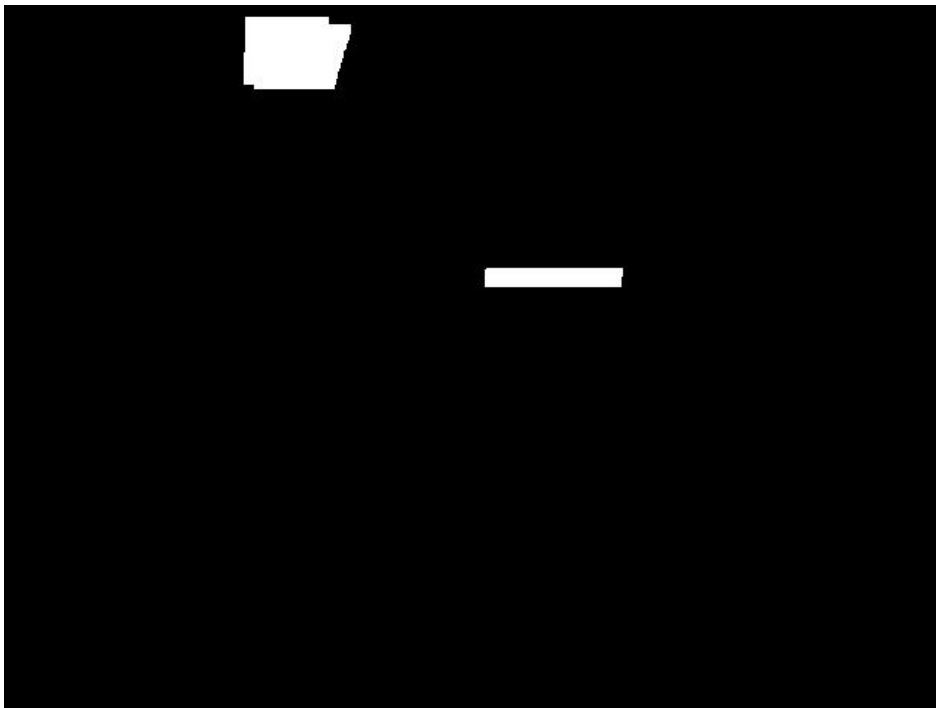


Figura 49 - Imagem após operações morfológicas

3.3.5. Regiões conexas

A quinta etapa é responsável pela localização de regiões conexas com “vizinhança de quatro” (PEDRINI e SCHWARTZ, 2008) (GONZALEZ e WOODS, 2010). Nesta etapa é gerada uma nova imagem com regiões retangulares que contornem as regiões conexas localizadas. Essas novas regiões são denominadas “candidatas”. A Figura 50 exibe sobre a imagem original as duas regiões candidatas localizadas



Figura 50 - Imagem original com regiões candidatas em destaque

3.3.6. Sub-regiões conexas

Esta última etapa é responsável pela validação das regiões candidatas localizadas na etapa anterior. Cada região candidata é binarizada 25 vezes, com limiares variando entre 10 e 250, com incrementos de 10.

Em cada imagem binarizada o método procura de 6 a 8 sub-regiões conexas e alinhadas horizontalmente, considerando que as placas veiculares no Brasil possuem 7 caracteres. Na Figura 51 são apresentadas três imagens da região considerada de uma placa veicular. A primeira corresponde à imagem original da região candidata, a segunda a imagem binarizada com o limiar que resultou na localização das sete sub-regiões conexas, apresentadas em destaque na última imagem da figura.

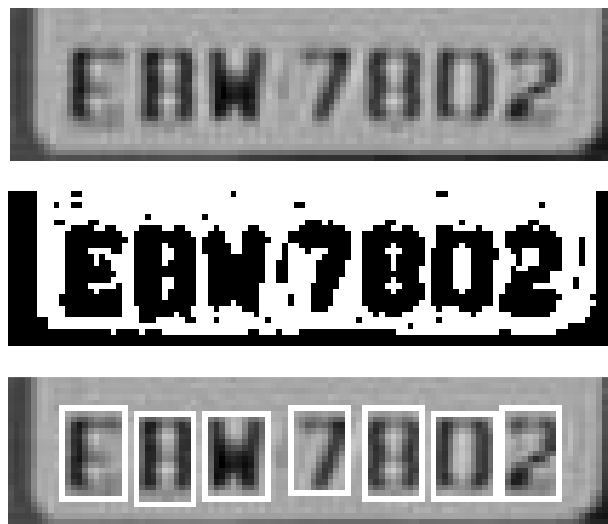


Figura 51 - Imagens da região considerada de uma placa veicular

4. RESULTADOS

O método proposto foi testado inicialmente com 516 imagens, coloridas e em tons de cinza com resolução de 640 x 480 pixels, obtidas por equipamentos de radares fixos e móveis de quatro rodovias brasileiras no estado de São Paulo e comparado com os sistemas SIAV (SOUZA e SUSIN, 2000) e Seecar (Seecar License Plate Recognition) com resultado de taxa de localização acima de 90% (DAMORE e MARENGONI, 2010).

Um dos fatores relacionados com a robustez já mencionada é o fator resolução. Para testar o sistema com imagens em resolução inferior à utilizada no primeiro teste anterior foram levantadas 543 imagens obtidas de radares fixos e interligados pelo Sistema Nacional de Identificação de Veículos em Movimento – SINIVEM, todas em tons de cinza com resolução de 384 x 288 pixels.

Os dois conjuntos de imagens utilizados neste trabalho não são públicos e foram cedidos com restrição de divulgação pela Polícia Civil do Estado de São Paulo.

As características comuns aos dois conjuntos de imagens são:

- Formato jpg;
- Imagens frontais e traseiras dos veículos;
- Diferentes tipos de licenças de veículos;
- Inclinação câmera / veículo;
- Reflexos nas placas, vidros e estrutura;
- Imagens diurnas e noturnas;
- Aquisições sobre chuva e neblina;
- Veículos com e sem inscrições diversas;
- Diferentes estados de conservação.

Estas imagens também foram testados em outros dois sistemas, o Seecar (Seecar License Plate Recognition) que é um sistema comercial da empresa israelense Hi-Tech Solutions e o SIAV que foi desenvolvido e disponibilizado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul no Brasil (SOUZA e SUSIN, 2000).

Na Tabela 1 são apresentados os resultados obtidos pelos três sistemas através do processamento das imagens dos dois conjuntos de imagens. Os resultados obtidos pelo sistema proposto pelo método “C” apresentado no capítulo 3 deste trabalho, superam os outros dois sistemas utilizados na comparação.

Tabela 1 – Comparativo dos resultados obtidos pelos três sistemas

Sistemas	Taxa de acerto		
	Resolução 640 x 480	Resolução 384 x 288	Média Ponderada
Proposto	93,80 %	91,16 %	92,45 %
Seecar	75,00 %	67,77 %	71,29 %
SIAV	54,65 %	46,04 %	50,24 %

Conforme apresentado na Tabela 1, das 1059 imagens processadas o sistema localizou a correta região da placa em 980 imagens, o que representa 92,45% do total. Além das regiões corretas o sistema também localizou nessas 980 imagens outras 56 regiões com possibilidade de serem uma placa veicular, resultando numa taxa de falsos positivos de 5,3%.

Para fazer uma análise de robustez do sistema foi feita uma análise manual das 1059 imagens mencionadas com relação aos parâmetros de robustez mencionados no início deste trabalho. Conforme apresentado na Tabela 2, as imagens foram divididas em 5 grupos: imagens com inscrições, imagens de baixo contraste, imagens com sombras, imagens com inclinações e imagens com reflexos. Algumas imagens foram classificadas como pertencendo a mais de um grupo, pois apresentavam mais de uma característica discriminante, conforme os exemplos apresentados na Figura 52 e Figura 53.

Tabela 2 - Comparativos sobre os problemas investigados

Problema investigado	Imagens dos conjuntos	Sistemas		
		Proposto	Seccar	SIIV
Inscrições	210 (19,83%)	86,67%	72,85%	42,86%
Baixo contraste	72 (06,80%)	69,44%	72,22%	31,94%
Sombra	153 (14,45%)	83,66%	70,58%	40,52%
Inclinação	585 (55,33%)	92,15%	84,30%	52,56%
Reflexos	108 (10,19%)	48,15%	43,51%	19,44%



Figura 52 - Imagem com sombra, reflexo e inscrições

Eqpto. DER N° 15510 Local: Rodovia SP-070 Acesso: 000 km: 037 Metros: 070 Sentido: OESTE Faixa: 1
Data: 29/07/2008 Hora 16h 37min 45s Vel. regul.: 120/090 km/h Vel. Medida: 131 km/h



Imagem N°: 1989 Verificado em: 08/04/2008

Figura 53 – Imagem com sombra e inclinação

Pode-se notar que a inclinação obtida devido ao posicionamento das câmeras dos radares não chega a ser um problema em termos de detecção. Inscrições e sombra reduzem as taxas de detecção em torno de 5 e 10 pontos percentuais respectivamente, mas o sistema ainda possui um desempenho superior aos outros dois testados. Para imagens de baixo contraste o limiar utilizado na etapa de busca de faixas horizontais não é suficiente para fazer a discriminação dos caracteres/dígitos, mas o desempenho do sistema é similar ao do Seecar e ainda melhor que o SIAV. Para imagens com reflexos ainda está sendo investigado o motivo do baixo desempenho. Uma hipótese possível é que na etapa onde são feitas as buscas por componentes conexas os reflexos não permitem a identificação do número mínimo de componentes.

5. CONCLUSÃO

Em um artigo recente (ANAGNOSTOPOULOS, PSOROULAS, *et al.*, 2008) foi apresentado um levantamento sobre técnicas de detecção e reconhecimento de placas veiculares, onde são apresentadas taxas de localização médias de 95%. Infelizmente o artigo não apresenta as condições de aquisição e não fornece detalhes sobre as imagens utilizadas nos testes destes sistemas.

O método proposto neste trabalho é novo método e faz a localização de placas veiculares em imagens adquiridas em condições complexas. O método apresentou uma taxa de detecção das placas próxima a 94% na base de imagens utilizada. Comparado com os resultados de outros dois sistemas utilizando o mesmo conjunto de imagens, o método proposto superou em aproximadamente 20 pontos percentuais o sistema comercial Seecar (Seecar License Plate Recognition) e em 40 pontos percentuais o sistema acadêmico SIAV (SOUZA e SUSIN, 2000).

O método proposto é completamente automático, de fácil implementação e mostrou robustez na detecção de placas para as condições de aquisição das imagens, que incluíram problemas do tipo inclinação, tamanho da placa, iluminação, chuva, neblina, resolução da imagem e oclusão parcial dos dígitos/caracteres. Note que a maioria dos sistemas apresentados na literatura utilizam imagens frontais e de alta resolução.

O sistema proposto neste trabalho pode ser melhorado ainda nos seguintes aspectos:

- a. Na etapa de pré-processamento, além da aplicação da mediana de 3x3, o alargamento de contraste deve facilitar a localização de regiões com placas veiculares em imagens com baixo contraste e que não são localizadas no sistema atual.
- b. Na etapa de sub-regiões conexas, a busca por limiares para binarização, é executada utilizando 25 valores de corte de forma crescente. Poderia ser utilizado uma técnica similar a de uma busca binária, partindo-se de um valor mediano e movendo-se o valor de corte em apenas uma direção, reduzindo o custo computacional do método proposto.
- c. Finalmente a implementação de mais uma etapa responsável pelo reconhecimento dos dígitos/ caracteres, juntamente com um analisador sintático, reduziria consideravelmente o número de falsos positivos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANAGNOSTOPOULOS, C.-N. E. et al. **License Plate Recognition From Still Images and Video Sequences: A Survey**. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. [S.l.]: [s.n.]. set. 2008. p. Vol 9.

BELVESI, R. et al. **Um Sistema de Reconhecimento Automático de Placas de Automóveis**. Encontro Nacional de Inteligência Artificial. Rio de Janeiro / RJ: [s.n.]. 1999.

CAMPOS, T.; BAMPI, S.; SUSIN, A. A. **Sistema de Identificação de Placas por Processamento Automático de Imagens**. IWS - VII Workshop Iberchip. Montivideo - Uruguay: [s.n.]. 2001.

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO DO BRASIL. Resolução 231 - Sistema de Placas de Indetificação, 2007. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/contran.htm>>.

DAMORE, L. A.; MARENGONI, M. **Automatic Licence Place Detection in Complex Conditions of Acquisition**. VISAPP- Internacional Conference on Computer Vision Theory and Applications. Angers / França: [s.n.]. 2010.

GAO, Q.; WANG, X.; XIE, G. **License Plate Recognition Based On Prior Knowledge**. IEEE - International Conference on Automation and Logistcs. Jinan / China: [s.n.]. 2007.

GOMES, A. L.; LOTUFO, R. D. A. **Método de Localização de Placa de Licenciamento Veicular**. Universidade Estadual de Campinas. Campinas / SP: [s.n.]. 2005.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento de Imagens Digitais**. 3ª. ed. [S.l.]: Pearson Prentice Hall, 2010.

GUINGO, B. C.; STIEBLER, G. M.; THOMÉ, A. C. G. **Kapta - Um Sistema de Reconhecimento Automático de Placas de Veículos Baseado nas Técnicas de Redes Neurais e Processamento de Imagens**. Congresso Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação. Florianópolis / SC: [s.n.]. 2004.

GUINGO, B. C.; THOMÉ, A. C. G. Estratégias para o Reconhecimento da Licença de Veículos. **RMCT - Revista Militar de Ciência e Tecnologia**, Rio de Janeiro, 2004.

KWASNICKA, H.; WAWRZYNIAK, B. **License plate location and recognition in camera pictures**. Artificial Intelligence Methods. Gliwice / Poland: [s.n.]. 2002.

NIBLACK, W. **An Introduction to Digital Image Processing**. [S.l.]: Prentice Hall, 1986.

OZBAY, S.; ERCEBELI, E. **Automatic Vehicle Identification by Plate Recognition**. Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology. [S.l.]: [s.n.]. 2005. p. Volume 9.

PEDRINI, H.; SCHWARTZ, W. R. **Análise de Imagens Digitais, Princípios, Algoritmos e Aplicações**. 1. ed. [S.l.]: Thomson Learning Inc, 2008.

SEECAR License Plate Recognition. **Hi-tech solutions**. Disponível em: <<http://www.htsol.com>>. Acesso em: 07 set. 2010.

SOUZA, F. P. C. **Localização e Leitura Automática de Caracteres Alfanuméricos - Uma Aplicação na Identificação de Veículos**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul: [s.n.]. 2000. Dissertação de Mestrado.

SOUZA, F. P. C.; SUSIN, A. A. **SIIV - Um Sistema de Identificação Automática de Veículos**. XIII Congresso Brasileiro de Automática. Florianópolis / SC: [s.n.]. 2000.

THOMÉ, A. C. G.; RODRIGUES, R. J.; GUINGO, B. C. **Reconhecimento Automático de Placas de Veículos Automotores Através de Redes Neurais Artificiais**. 2º Congresso Brasileiro de Computação. Itajaí / SC: [s.n.]. 2002.

ZHANG, X.; LIU, X.; JIANG, H. **A Hybrid Approach to License Plate Segmentation under Complex Conditions**. Third International Conference on Natural Computation. Haikou / China: [s.n.]. 2007.