

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ANDRÉ WAGNER LIMA OSÓRIO FILHO

**RECONHECIMENTO DE PLACAS DE CARRO PARA O
CONTROLE DE ACESSO A UM CONDOMÍNIO
RESIDENCIAL**

Manaus
2019

ANDRÉ WAGNER LIMA OSÓRIO FILHO

**RECONHECIMENTO DE PLACAS DE CARRO PARA O
CONTROLE DE ACESSO A UM CONDOMÍNIO
RESIDENCIAL**

Projeto de Pesquisa desenvolvido durante a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II e apresentado à banca avaliadora do Curso de Engenharia Elétrica da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas, como pré-requisito para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Jozias Parente de Oliveira

Manaus

2019

Universidade do Estado do Amazonas – UEA
Escola Superior de Tecnologia - EST

Reitor:

Cleinaldo de Almeida Costa

Vice-Reitor:

Cleto Cavalcante de Souza Leal

Diretor da Escola Superior de Tecnologia:

Ingrid Sammyne Gadelha Figueiredo

Coordenador do Curso de Engenharia Elétrica:

Walfredo da Costa Lucena Filho

Banca Avaliadora composta por:

Prof. Jozias Parente de Oliveira (Orientador)

Prof. Fabio de Souza Cardoso

Prof. Karlo Homero Ferreira Santos

Data da defesa: 16 /12/2019.

CIP – Catalogação na Publicação

Filho, André Wagner Lima Osório

Reconhecimento de placas de carro para o controle de acesso a um condomínio residencial / André Wagner Lima Osório Filho; [orientado por] Jozias Parente de Oliveira. – Manaus: 2019.
45 p.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica). Universidade do Estado do Amazonas, 2019.

1. Reconhecimento de placas de carro. 2. Sistema de controle de acesso. I. Oliveira, Jozias.

ANDRÉ WAGNER LIMA OSORIO FILHO

RECONHECIMENTO DE PLACAS DE CARRO PARA O CONTROLE DE ACESSO A UM
CONDOMÍNIO RESIDENCIAL

Pesquisa desenvolvida durante a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II e apresentada à banca avaliadora do Curso de Engenharia Elétrica da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas, como pré-requisito para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Nota obtida: _____ (_____)

Aprovado em ____/____/____.

Área de concentração: Processamento Digital de Imagem

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Jozias Parente de Oliveira, Dr.

Avaliador: Fábio de Sousa Cardoso, Dr.

Avaliador: Karlo Homero Ferreira Santos, Me.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que por meio da sua infinita graça me permitiu chegar até aqui.

Aos meus pais, André e Nádia, por sempre me apoiarem e dedicarem seu tempo e dinheiro para que eu recebesse a melhor educação possível, suas histórias de vida são minha inspiração.

A todos os meus familiares, em especial minha avó Dona Etelvina que sempre cuidou de mim como seu próprio filho e nunca mediu esforços para me apoiar e ajudar no que fosse necessário.

Ao professor Dr. Jozias Oliveira por ter me aceitado como orientando, por toda paciência que teve comigo e pelas ideias e aconselhamentos trocados durante toda essa fase final da graduação.

A minha grande amiga Erica que esteve presente grande parte da minha vida acadêmica sempre me apoiando e ajudando nos momentos difíceis da graduação.

E também agradeço a todos os professores, amigos, colegas de curso e faculdade que contribuíram para a minha vida acadêmica e pessoal.

RESUMO

Neste trabalho é apresentado um método para localização e reconhecimento de placas de licenciamento veicular visando aplicar em um sistema de acesso a um condomínio residencial (controle de cancela) por meio de visão computacional. O método proposto subsiste basicamente em duas etapas a primeira é constituída para localizar e extrair a região da placa da imagem de entrada utilizando a aplicação de operadores morfológicos. Na segunda etapa é realizado o processo de reconhecimento através da técnica de Template Matching por meio do coeficiente de correlação de Pearson. Resultando assim na comparação entre imagens cadastradas em um banco de dados com o template que é retirado da imagem de entrada para efeitos de validação do acesso ao local.

Palavras-chave: reconhecimento de placa de carro. controle de acesso.

ABSTRACT

This work presents a method for locating and recognizing license plates to be applied in a residential condominium access system (gate control) through a computer vision. The proposed method basically subsists in two steps, the first one is constituted to locate and extract the region of the plate of the input image using the application of morphological operators. In the second stage the process of recognition through the technique of Template Matching is performed through the Pearson correlation coefficient. This results in the comparison of images registered in an image bank with the template that is taken from the input image for the purpose of validating the access to the site.

Keywords: license plate recognition. access control.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Espectro eletromagnético.....	14
Figura 2: Matriz de pixel.	15
Figura 3: Diagrama em blocos de um sistema típico para processamento de imagens.	16
Figura 4: Representação de uma imagem digital bidimensional.....	17
Figura 5: Representação de uma imagem digital bidimensional.....	18
Figura 6: Sequência de Processamento de Imagem Digital (PDI).	19
Figura 7: Caracteres da placa segmentados.	20
Figura 8: Exemplos de elementos estruturantes cruz, quadrado, linha e disco, respectivamente da esquerda para a direita.	21
Figura 9: Dilatação de uma figura A por um elemento estruturante B e a imagem resultante	21
Figura 10: Resultado de uma erosão binária.....	22
Figura 11: Abertura da imagem 11.a por elemento estruturante 11.b resultando na imagem 11.c.	23
Figura 12: Fechamento da imagem 12.a por elemento estruturante 12.b resultando na imagem 12.c.	23
Figura 13: Imagem escala cinza a), histograma b) e binarizada por Otsu c).	24
Figura 14: Banco de imagens.	28
Figura 15: Metodologia utilizada.....	29
Figura 16: Amostra do banco de imagens.....	30
Figura 17: Metodologia aplicada na etapa de pré-processamento e extração da região da placa.	31
Figura 18: Imagem original a) e convertida em escala de cinza b).	32
Figura 19: Aplicação do filtro <i>top-hat</i>	33

Figura 20: Etapa de binarização pelo método de OTSU.	33
Figura 21: Processo de abertura.	34
Figura 22: Processo de dilatação sucessiva por SE retangular.	35
Figura 23: Seleção da ROI.	36
Figura 24: Template	36
Figura 25: Trecho extraído do algoritmo onde é representado o cálculo da correlação.	37
Figura 26: Placa detectada á esquerda e template correlacionado á direita.	37
Figura 27: Resultado VN gerado pelo sistema, carro_21	39
Figura 28: Exemplo do FP imagem de entrada à direita e <i>template</i> à esquerda, carro_7.	40
Figura 29: Resultado após filtro <i>top-hat</i> , carro_7.	40
Figura 30: Resultados das operações morfológicas na imagem carro_7.	41

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Resultados obtidos após iterações, VP (verdadeiro positivo) e FP (falso positivo).	38
--	----

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CCD	Charge-Coupled Device
FP	Falso Positivo
PDI	Processamento Digital de Imagens
RGB	<i>Red, Green and Blue</i>
ROI	<i>Region Of Interest</i>
SE	<i>Structural Element</i>
VN	Verdadeiro Negativo
VP	Verdadeiro Positivo

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	12
1 REFERENCIAL TEÓRICO	14
1.1 NATUREZA DA LUZ	14
1.2 IMAGEM DIGITAL.....	14
1.3 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS	15
1.3.1 Captura de Imagem por Câmera Digital	17
1.3.2 Processamento	18
1.4 SEGMENTAÇÃO	19
1.5 MORFOLOGIA.....	20
1.5.1 Elemento Estruturante	20
1.5.2 Dilatação	21
1.5.3 Erosão	21
1.5.4 Abertura	22
1.6 BINARIZAÇÃO.....	23
1.6.1 Otsu	24
1.7 FILTROS.....	26
1.7.1 Filtro Top-Hat	26
2 MÉTODO	27
3 DESENVOLVIMENTO	29
3.1 AQUISIÇÃO DA IMAGEM.....	29
3.2 EXTRAÇÃO DA REGIÃO DA PLACA	30
3.3 TEMPLATE MATCHING	36
4 RESULTADOS	38
CONCLUSÃO	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

INTRODUÇÃO

Com o aumento do número de veículos nos grandes centros, segundo GUINGO; RODRIGUES; THOMÉ (2002), surgiu a necessidade em conseguir informações rápidas e precisas no que diz respeito ao reconhecimento de placas dos automóveis, por meio dele é possível aumentar a eficiência do controle e da monitoração do tráfego, bem como o controle de acesso à determinados lugares.

Atualmente observamos que sistemas de reconhecimento utilizando visão computacional são amplamente utilizados na indústria e no setor de segurança. Com a necessidade crescente de aperfeiçoar e automatizar processos, o desenvolvimento de um sistema de reconhecimento de placa de veículos para o controle de acesso a um condomínio faz se necessário, visto que este sistema diminui o tempo de execução da tarefa, aumenta a comodidade e a segurança para os usuários.

Os sistemas de reconhecimento de placas de carros são estudados há certo tempo no Brasil, durante as pesquisas observou-se que existem poucos trabalhos relacionado ao tema. Grande parte dos estudos são na área de controle de tráfego, *out door*, entretanto a proposta do trabalho é uma solução *in door*, totalmente voltada para o controle de acesso a condomínios.

Durante o processo de aquisição das imagens existem muitas variáveis que prejudicam na exatidão da identificação dos caracteres das placas, dentre eles podemos destacar: condições ambientais e climáticas desfavoráveis; distância e ângulo de captura da imagem; ilegibilidade da placa .

A hipótese proposta foi que será possível desenvolver um sistema de visão computacional utilizando técnicas de processamento digital de imagens, operações morfológicas e técnicas de correlação para reconhecer placas de carros cadastradas em um banco de imagens e validar o acesso em um condomínio residencial.

Todo sistema foi testado e validado por meio de um *software* que possibilita o processamento de imagens, Matlab, onde foi realizado o reconhecimento de placas provenientes de um banco de dados.

OBJETIVOS

Objetivo geral

Projetar e implementar um sistema de visão computacional capaz de identificar e reconhecer os caracteres das placas de carros para o controle de acesso em um condomínio residencial.

Objetivos específicos

- a) realizar levantamento bibliográfico e do estado da arte;
- b) estruturar um banco de imagens das placas de carros;
- c) desenvolver um algoritmo capaz de extrair da imagem da região da placa;
- d) realizar o reconhecimento e validação do *template* da placa;
- e) comparar a informação gerada com as placas cadastradas no banco de dados;
- f) realizar um levantamento dos resultados obtidos, mensurando a taxa de acerto do algoritmo.

Justificativa

A necessidade crescente de aperfeiçoar e automatizar processos, o desenvolvimento de um sistema de reconhecimento de placa de carro para o controle de acesso a um condomínio residencial faz se necessário, visto que este sistema diminui o tempo de execução da tarefa, aumenta a comodidade e a segurança para os usuários.

É importante destacar que a utilização de técnicas de processamento digital de imagens por meio de operadores morfológicos e *template matching* propostos no trabalho, promove um fundamento em toda a teoria de processamento ministrada durante a graduação de Engenharia Elétrica. Além disso, o projeto estimula inúmeras aplicações de tais técnicas em outras áreas.

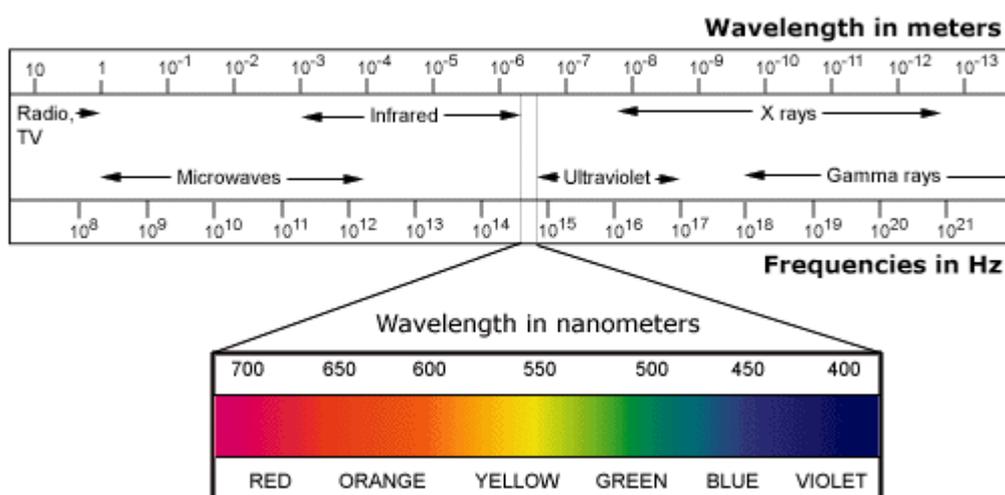
As disciplinas correlatas com o tema incluem Processamento Digital de Imagens, Processamento Digital de Sinais, Sinais e Sistemas, Linguagem de Programação I e II, Sistemas de Controle e seus respectivos laboratórios.

1 REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 NATUREZA DA LUZ

A luz é representada por uma radiação eletromagnética que apresenta um comportamento ondulatório caracterizado por sua frequência (f) e comprimento de onda (λ). A faixa do espectro eletromagnético à qual o sistema visual humano é sensível se estende aproximadamente de 400 a 770 nm e denomina-se luz visível (ACHARYA; RAY, 2005). O espectro eletromagnético pode ser observado na figura abaixo.

Figura 1: Espectro eletromagnético.



Fonte: SERC MEDIA (2007).

1.2 IMAGEM DIGITAL

Uma imagem digital é uma função bidimensional da forma $f(x,y)$, onde cada ponto da imagem possui uma intensidade definida por $f(x,y)$ e o valor da função é um escalar positivo em cada ponto (x,y) cujo significado físico está ligado à fonte de luz e ao objeto (OLIVEIRA, 2010).

A função $f(x,y)$ é contínua em relação as coordenadas x e y e também em amplitude, logo é necessário discretizá-la tanto espacialmente quanto em amplitude, portanto, uma imagem digital pode ser vista como uma matriz cujas linhas e colunas identificam um ponto na imagem, chamados de pixel ou elemento de imagem (MARQUES FILHO; NETO, 1999).

Figura 2: Matriz de pixel.

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

Fonte: MARQUES FILHO; NETO (1999).

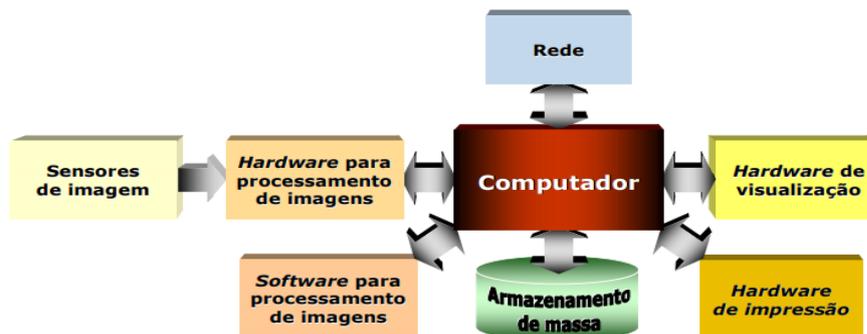
1.3 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

O processamento Digital de Imagem (PDI) está relacionado com mudanças na natureza de uma imagem. Duas áreas principais de aplicação são fundamentais para o interesse em métodos de PDI, quais sejam: análise de interpretação humana pela melhoria da informação visual, e o processamento de dados da imagem para fins de armazenamento, transmissão e representação (GONZALEZ; WOODS, 2002).

Tudo se inicia com a captura de uma imagem, a qual, normalmente, corresponde à iluminação que é refletida na superfície dos objetos, realizada através de um sistema de aquisição. Após a captura por um processo de digitalização, uma imagem precisa ser representada de forma apropriada para tratamento computacional. Imagens podem ser representadas em duas ou mais dimensões (QUEIROZ; GOMES, 2006). Vários modelos de sistemas para processamento de imagens têm sido propostos e comercializados no mundo inteiro nas duas últimas décadas. Entre meados das décadas de 80 e 90, com a progressiva redução nos custos das tecnologias de hardware, as tendências de mercado voltaram-se para placas projetadas, segundo padrões industriais, para uso em computadores pessoais e estações de trabalho (GONZALEZ; WOODS, 2002).

A representação do hardware e o diagrama em blocos da Figura 3 ilustram os componentes de um sistema de uso geral tipicamente utilizado para o processamento digital de imagens.

Figura 3: Diagrama em blocos de um sistema típico para processamento de imagens.



Fonte: QUEIROZ; GOMES (2006).

Em nível do processamento propriamente dito, o computador em um sistema para processamento de imagens é um hardware de uso geral que pode ser desde um PDA até um supercomputador, em função da capacidade de processamento exigida pela tarefa (GONZALEZ; WOODS, 2002).

O armazenamento é um dos grandes desafios para a área de processamento de imagens, uma vez que os sistemas de aquisição vêm sendo cada vez mais aprimorados para a captura de volumes de dados cada vez maiores, o que requer dispositivos com capacidades de armazenamento cada vez maiores, além de taxas de transferência de dados mais elevadas e maiores índices robustez e confiabilidade do processo de armazenamento (ACHARYA; RAY, 2005; GONZALEZ; WOODS, 2002; RUSS, 2000).

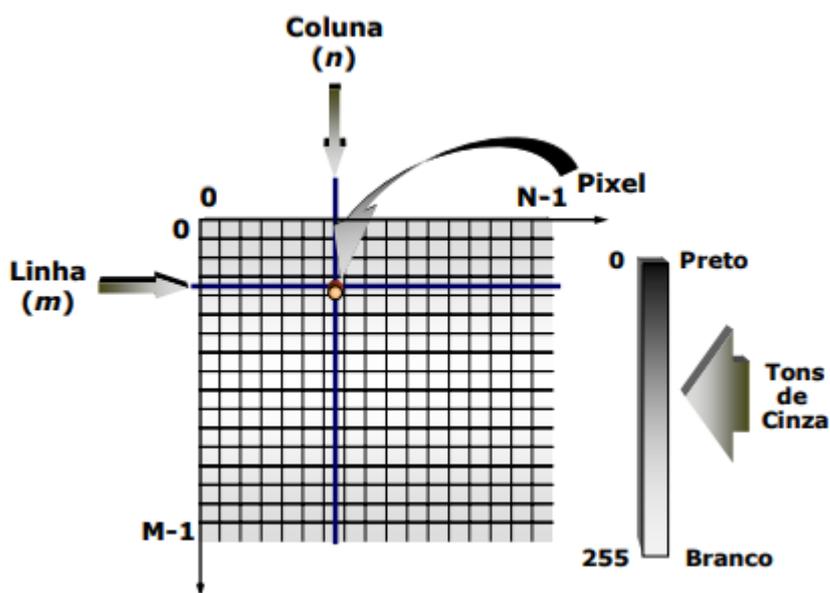
No âmbito da saída do sistema de processamento de imagens, são típicas duas alternativas, a saber: a visualização de dados; e a impressão de dados. A visualização requer tipicamente monitores de vídeo coloridos e preferencialmente de tela plana, que recebem dados de placas gráficas comerciais ou dedicadas. No tocante à impressão, costuma-se utilizar diferentes dispositivos de impressão de pequeno, médio e grande porte - impressoras e/ou traçadores gráficos (plotters) de jato de tinta, sublimação de cera ou laser (ACHARYA; RAY, 2005; GONZALEZ; WOODS, 2002; RUSS, 2000). Costuma-se também incluir nesta etapa a geração de produtos em filme, que oferecem a mais alta resolução possível (RENCZ; RYERSON, 1999).

1.3.1 Captura de Imagem por Câmera Digital

Câmeras Digitais usam um dispositivo chamado CCD (*Charge Coupled Device*) que atua como se fosse o filme fotográfico. Os *Line Scan* CCDs são usados para altas resoluções, com alta linearidade, alta banda dinâmica e *readout* lento e possuem qualidade excepcional. O sistema de cor é RGB (SCURI, 1999).

Cada ponto na grade bidimensional que representa a imagem digital é denominado elemento de imagem ou pixel. Na Figura 4, apresenta-se a notação matricial usual para a localização de um pixel no arranjo de pixels de uma imagem bidimensional. O primeiro índice denota a posição da linha, m , na qual o pixel se encontra, enquanto o segundo, n , denota a posição da coluna. Se a imagem digital contiver M linhas e N colunas, o índice m variará de 0 a $M-1$, enquanto n variará de 0 a $N-1$. Observe-se o sentido de leitura (varredura) e a convenção usualmente adotada na representação espacial de uma imagem digital.

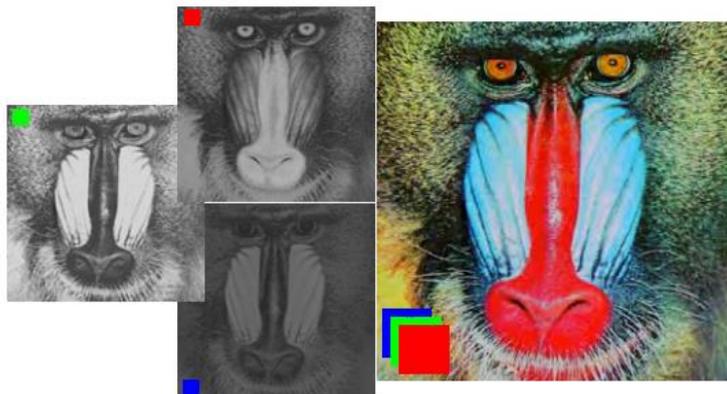
Figura 4: Representação de uma imagem digital bidimensional.



Fonte: QUEIROZ; GOMES (2006).

Na Figura 5, são apresentados os planos monocromáticos de uma imagem e o resultado da composição dos três planos. Os mesmos conceitos formulados para uma imagem digital monocromática aplicam-se a cada plano de uma imagem colorida (GONZALEZ; WOODS, 2002; RENCZ; RYERSON, 1999; RUSS, 2000).

Figura 5: Representação de uma imagem digital bidimensional.



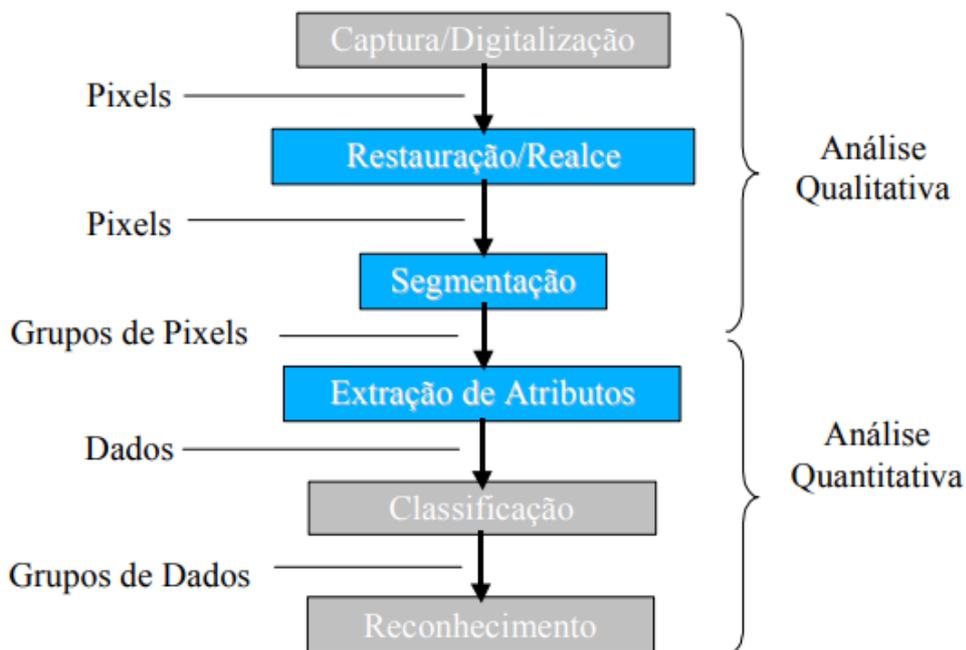
Fonte: RUSS (2000).

1.3.2 Processamento

As funções de processamento de imagens digitais podem ser classificadas em duas classes, por escopo ou por resultado. Por escopo, está relacionado com técnicas de processamento. Por resultado, está relacionado com os tipos de resultado de cada técnica. Há um fator comum em todas as classes de processamento, este fator é a qualidade. Existem duas subdivisões em qualidade de imagem: fidelidade e inteligibilidade. No primeiro caso, há o cuidado em aproximar a imagem processada da imagem original ou de um padrão estipulado que a melhor represente. No segundo caso, a preocupação é com a informação que conseguimos extrair da imagem, seja pelo olho humano, seja por algum processamento (SCURI, 1999).

É possível observar a partir da Figura 6 uma sequência tradicional para processamento da imagem, da captura à classificação.

Figura 6: Sequência de Processamento de Imagem Digital (PDI).



Fonte: SCURI (1999).

1.4 SEGMENTAÇÃO

Nesta seção é abordada a definição de segmentação de imagens e a proposição de dois métodos de segmentação de placas que poderão ser utilizados no trabalho.

A segmentação tem por objetivo obter, a partir de uma imagem digitalizada, um conjunto de primitivas – os segmentos significativos – que contém a informação semântica relativa à imagem (SCHRAMM, 1997).

No que diz respeito às placas, a segmentação consiste em realizar a separação de cada um dos caracteres da placa, criando sete recortes, cada um com a imagem de um caractere da placa (RODRIGUES; THOMÉ, 2000).

A segmentação da placa do automóvel em uma cena é uma instância do problema de detecção de regiões de interesse. Pode-se afirmar que essa etapa representa o principal empecilho no reconhecimento de placas de veículos, visto que a realização desta fase atua como base para todo o processamento seguinte (NUÑES, 2006). Portanto, o baixo desempenho desta etapa pode vir a influenciar diretamente todas as etapas posteriores à segmentação da placa do automóvel.

Figura 7: Caracteres da placa segmentados.



Fonte – GUINCO; ROGRIGUES; THOMÉ (2002)

1.5 MORFOLOGIA

Filtros morfológicos são filtros não lineares baseados em formas dos elementos de interesse nas imagens e consistem em uma aplicação ordenada dos processos de abertura, erosão seguida de dilatação, e de fechamento, dilatação seguida de erosão. Uma abertura seguida de um fechamento constitui um filtro morfológico utilizado tanto na suavização como para a remoção de ruídos nas imagens. A etapa de abertura suprime detalhes menores que o elemento estruturante fora das bordas de um objeto presente em uma imagem, enquanto a etapa de fechamento suprime os detalhes menores que o elemento estruturante dentro das bordas, recuperando os detalhes das bordas corroídas na etapa anterior. (GONZALEZ e WOODS, 2010).

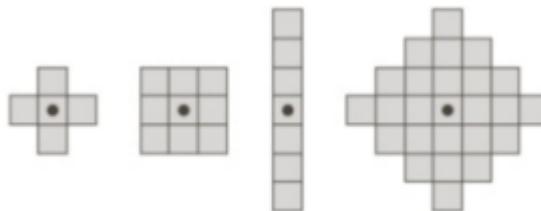
A morfologia pode funcionar como uma ferramenta para a extração de componentes de imagens que sejam úteis na representação e descrição da forma de uma região, como fronteiras e esqueletos. Também é muito utilizada na etapa de pré e pós-processamento, como filtragem morfológica, afinamento, etc. (PRATT, 1991).

1.5.1 Elemento Estruturante

Antes de tudo é importante saber o conceito de elemento estruturante, SE do inglês *Structuring Element*, ele é para as operações morfológicas o que as máscaras são para os filtros.

Basicamente são pequenas matrizes ou subimagens utilizados na operação morfológica.

Figura 8: Exemplos de elementos estruturantes cruz, quadrado, linha e disco, respectivamente da esquerda para a direita.



Fonte: GONZALEZ e WOODS, 2010.

1.5.2 Dilatação

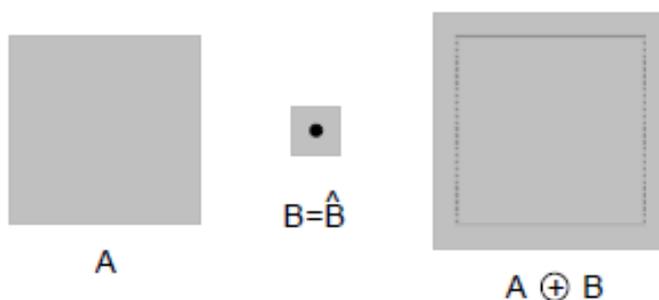
Dilatação é uma das duas operações básicas da morfologia matemática. Ela opera utilizando um elemento estruturante para sondar e expandir as formas da imagem (DOUGHERTY, 1992).

Sejam A e B conjuntos no espaço Z^2 e seja \emptyset o conjunto vazio. A dilatação de A por B , denotada $A \oplus B$, é definida como (GONZALEZ; WOODS, 2010):

$$A \oplus B = \{x | (\hat{B})_x \cap A \neq \emptyset\}$$

A dilatação de A por B é, então, o conjunto de todos os x deslocamentos para os quais a interseção de $(\hat{B})_x$ e A inclui pelo menos um elemento diferente de zero.

Figura 9: Dilatação de uma figura A por um elemento estruturante B e a imagem resultante



Fonte: MARQUES FILHO; NETO (1999)

A aplicação desse operador produz os seguintes efeitos visuais na imagem: aumenta os objetos da imagem; preenche pequenos buracos e conecta objetos próximos (FACON, 1996). Alguns desses efeitos podem ser observados na figura 9.

1.5.3 Erosão

Erosão é a segunda operação básica da morfologia matemática. Em contraste a dilatação, essa função contrai as estruturas da imagem.

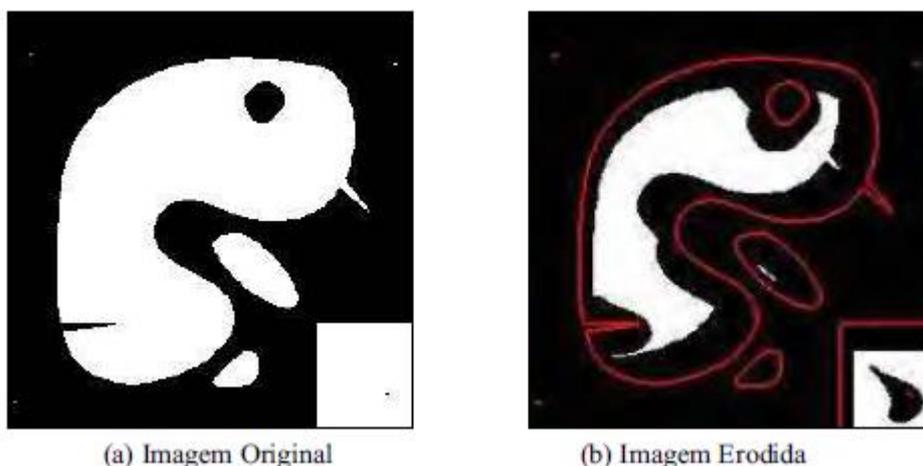
Sejam A e B conjuntos no espaço Z^2 . A erosão de A por B , denotada $A \ominus B$, é definida como (GONZALEZ; WOODS, 2010):

$$A \ominus B = \{x | (\hat{B})_x \subseteq A\}$$

Ou seja, a erosão de A por B resulta nos conjuntos de pontos x tais que B , transladado de x , está contido em A .

Em geral a erosão apresenta os seguintes efeitos na imagem: diminuição de partículas; eliminação dos grãos de tamanho inferior ao elemento estruturante; aumento dos buracos e separação de grãos próximos (FACON, 1996). A figura 10 representa um exemplo do processo de erosão onde podemos observar os efeitos citados acima.

Figura 10: Resultado de uma erosão binária.



(a) Imagem Original

(b) Imagem Erodida

Fonte: SDC Information Systems.

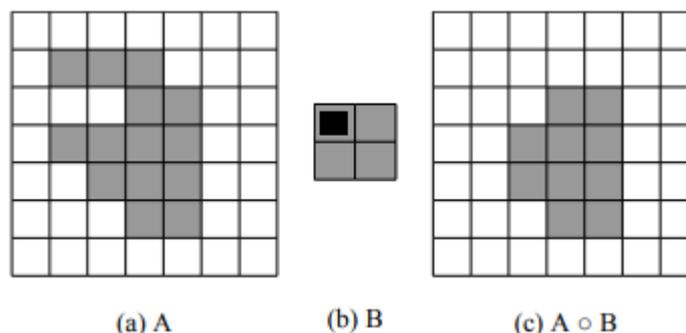
1.5.4 Abertura

A abertura de uma imagem A por um elemento estruturante B é definida como uma operação de erosão seguida de uma operação de dilatação.

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B$$

A abertura geralmente suaviza o contorno de uma imagem, quebra istmos estreitos e elimina protusões finas. Esta operação tende a abrir pequenos espaços entre objetos próximos numa imagem. A figura 11 ilustra uma operação de abertura.

Figura 11: Abertura da imagem 11.a por elemento estruturante 11.b resultando na imagem 11.c.



Fonte: SALES (2010).

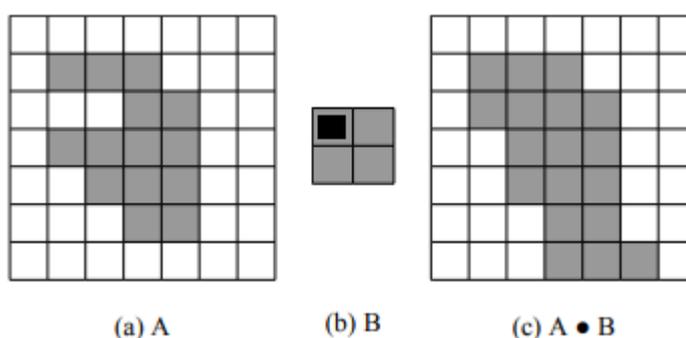
1.5.5 Fechamento

O fechamento de uma imagem A por um elemento estruturante B é definido como uma operação de dilatação seguida por uma operação de erosão.

$$A \cdot B = (A \oplus B) \ominus B$$

O fechamento tende a suavizar os contornos, fundir estreitamentos, eliminar pequenos buracos e preencher fendas em um contorno, podendo também remover muitos pontos brancos de ruído.

Figura 12: Fechamento da imagem 12.a por elemento estruturante 12.b resultando na imagem 12.c.



Fonte: SALES, 2010

1.6 BINARIZAÇÃO

O nome binarização remete ao conceito de duas unidades ou dois níveis. O processo de binarização de uma imagem consiste em transformar todos os pixels em apenas dois níveis de cinza, o preto e o branco. O conceito de limiarização remete a forma na qual são selecionados os pixels que serão pretos e os pixels que

serão brancos. Através de um limiar escolhido, T , ou seja, os pixels com intensidade maior que o limiar se tornarão brancos e os pixels com intensidade menor se tornarão pretos.

1.6.1 Otsu

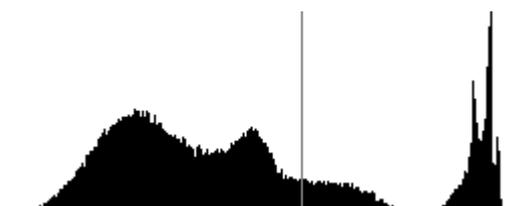
O método de Otsu é um algoritmo de limiarização, proposto por Nobuyuki Otsu em 1979. Seu objetivo é, a partir de uma imagem em tons de cinza, determinar o valor ideal de um *threshold* que separe os elementos do fundo e da frente da imagem em dois *clusters* (classes) C_1 e C_2 , por meio de funções Gaussianas, atribuindo a cor branca ou preta para cada um deles. Devido a essa característica, funciona bem para casos de imagens com histogramas bimodais, que podem ser divididas com um único valor (TOROK; CONCI, 2016) e (MOREIRA, 2011).

A figura 13.b ilustra o exemplo de um histograma bimodal da imagem em escala de cinza 13.a, onde podemos observar duas regiões distintas e o limiar que divide a imagem em duas classes resultando na figura 13.c, imagem binarizada por Otsu.

Figura 13: Imagem escala cinza a), histograma b) e binarizada por Otsu c).



a)



b)



c)

Fonte: Greenstad (2010).

O conceito proposto é de iterar todos os valores possíveis para o *threshold* em uma imagem, buscando aquele que minimiza a soma da variância intraclasse da imagem. Esse valor irá corresponder ao melhor *threshold* para esta imagem, separando frente e fundo e atribuindo uma cor para cada classe.

A variância intraclasse (*Within Class Variance*) para um possível *threshold*. T , pode ser calculado da seguinte maneira:

$$\sigma_W^2 = W_b \sigma_b^2 + W_f \sigma_f^2$$

Onde: W é o peso para cada classe. Essa medida corresponde à probabilidade que um pixel possui de pertencer à classe b (*background*) ou f (*foreground*).

Esse cálculo será realizado para todos os *thresholds* possíveis. O valor que minimizar a variância intraclasse será o *threshold* selecionado para a binarização da imagem. Otsu demonstrou que é possível substituir a fórmula acima pelo cálculo da variância interclasse, diminuindo o custo do algoritmo.

A variância interclasse (*Between Class Variance*), pode ser calculada da seguinte maneira:

$$\begin{aligned} \sigma_B^2 &= \sigma^2 + \sigma_W^2 \\ &= W_b(\mu_b - \mu)^2 + W_f(\mu_f - \mu)^2 \end{aligned}$$

Onde: $\mu = W_b \mu_b + W_f \mu_f$

$$= W_b W_f (\mu_b - \mu_f)^2$$

Portanto deseja-se distanciar uma classe da outra, ou seja, maximizar a variância interclasse, e agrupar cada classe em torno de seu centro, ou seja, minimizar a variância intraclasse. O valor que atinge esse objetivo é o mesmo *threshold* que minimiza a variância intraclasse desse modo resultando na limiarização ideal.

1.7 FILTROS

As operações de filtragem podem ser realizadas tanto no domínio do espaço quanto da frequência. Basicamente são classificados em três tipos: filtros passa-baixa, passa-alta e passa-faixa. O filtro passa-baixa atenua a informação de alta frequência da imagem causando um efeito de suavização e os filtros passa-alta realçam as bordas e contornos da imagem. (PEDRINI; SCHWARTS, 2008).

1.7.1 Filtro Top-Hat

A abertura top-hat é definida como a subtração da imagem aberta da imagem original (DOUGHERTY; LOTUFO, 2003):

$$THAT = A - A \circ B$$

onde A é a imagem original, B o elemento estruturante e $A \circ B$ é a imagem A aberta pelo elemento estruturante B . Esta operação resulta na seleção de regiões que possuam regiões claras circundadas por regiões escuras.

2 MÉTODO

O presente trabalho trata-se de uma pesquisa aplicada, com o intuito de validar um método para o desenvolvimento de um sistema de visão computacional. Serão utilizados os procedimentos técnicos de pesquisa bibliográfica. Utilizando uma abordagem hipotético-dedutiva, a elaboração do trabalho seguiu o procedimento monográfico. Para coleta de dados foi utilizado documentação bibliográfica e experimental seguido de análise e interpretação dos resultados de maneira qualitativa.

As etapas para a elaboração deste trabalho ocorreram da seguinte maneira:

1. aquisição do banco de dados para teste e validação do algoritmo;
2. estudo da arte acerca de técnicas para detecção de placas;
3. implementação e testes em Matlab dos métodos e técnicas encontrados sobre detecção de placa de carros;
4. seleção do método pesquisado baseado na complexidade de implementação e resultados dos testes;
5. validação e testes finais do método escolhido para detecção de placas;
6. desenvolvimento do sistema no Matlab;
7. Banco de dados: O banco de dados é composto por 30 fotografias que capturaram imagens da parte dianteira e traseira de veículos que estavam estacionados no estacionamento do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Santa Catarina – IFSC, e estão disponíveis no trabalho de (PACHECO; SATOS, 2010)
8. Métricas: Para avaliar o desempenho do algoritmo foi adotado parâmetros de VP e FP, verdadeiro positivo e falso positivo respectivamente, onde para cada placa reconhecida corretamente é atribuído o valor de VP e para cada placa reconhecida incorretamente foi atribuído o valor de FP. Ao final é calculado a taxa de acerto do algoritmo proposto.

A figura 14 representa o banco de dados constituído de 30 veículos que estão enumerados de 1 até 30, “carro_1” ao “carro_30”, na ordem da esquerda para a direita, percorrendo a parte superior até a parte inferior da imagem

Figura 14: Banco de imagens.



Fonte: Própria:

3 DESENVOLVIMENTO

O método utilizado neste trabalho consiste basicamente em duas etapas principais, sendo eles:

1. extração da região da placa;
2. reconhecimento da placa extraída utilizando a técnica de *Template Matching* por meio do coeficiente de correlação de Pearson.

De forma geral o objetivo é extrair da imagem de entrada a região que contenha a placa por meio de operadores morfológicos e segmentação. Na etapa seguinte a placa extraída será comparada com o banco de imagens por meio de *Template Matching* utilizando o coeficiente de correlação de Pearson.

Figura 15: Metodologia utilizada.



Fonte: Própria.

3.1 AQUISIÇÃO DA IMAGEM

Foram utilizadas imagens da parte dianteira e traseira de veículos formando assim um banco de imagens para o desenvolvimento do trabalho. As imagens utilizadas neste trabalho estão disponíveis em (PACHECO; SANTOS, 2010), totalizando 30 fotos de veículos.

As imagens possuem ótima qualidade, foram capturadas por meio de câmera fotográfica digital com resolução de 480x640 pixels nas seguintes condições ambientais: durante o dia, em ambiente aberto e iluminado pela luz do sol (estacionamento do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Florianópolis - IFSC). A figura 16 representa uma amostra do banco de imagens.

Figura 16: Amostra do banco de imagens.



Fonte: PACHECO; SANTOS (2010).

3.2 EXTRAÇÃO DA REGIÃO DA PLACA

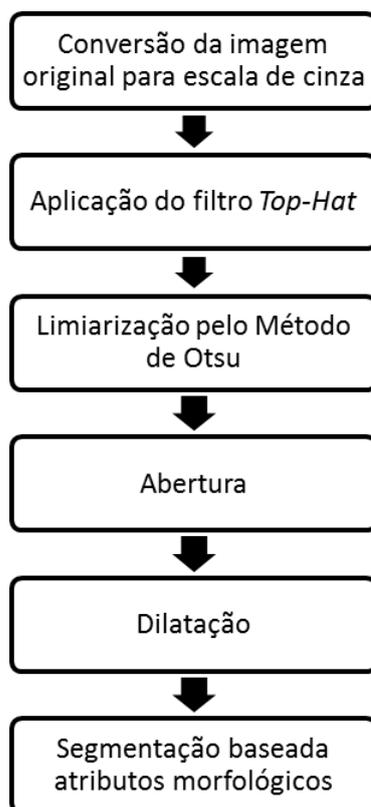
Para extrair a região da placa da imagem de entrada é necessário algumas operações de pré-processamento como a utilização de filtros e a aplicação de alguns operadores morfológicos.

ALVES; HASHIMOTO (2010) sugere uma série de hipóteses para que levam em consideração o contraste e a geometria das regiões da placa e seus caracteres. Adaptando tais hipóteses para o cenário deste trabalho podemos cita-las a seguir:

- **Contraste:** Existe contraste entre as regiões da placa em relação ao seu *background*.
- **Geometria da placa:** A região da placa possui largura e alturas similares ao modelo de placa utilizado adotado pelo país.

Antes de iniciar o processamento da imagem é necessário seguir algumas etapas de pré-processamento para adequar e facilitar todo processamento futuro, a taxa de sucesso do algoritmo está diretamente ligada a está etapa. Na figura 17 pode-se observar a sequência de passos tomados.

Figura 17: Metodologia aplicada na etapa de pré-processamento e extração da região da placa.



Fonte: Própria.

Ao trabalharmos com processamento de imagens é extremamente importante padronizar a resolução das imagens a serem processadas, entretanto as imagens utilizadas nesse trabalho possuem todas o mesmo tamanho devido ao fato de que foram capturadas pela mesma câmera, logo a etapa de *resize* não se faz necessário.

Primeiramente é preciso converter a imagem original (colorida) do espaço de cores RGB em escala cinza. Para isso é utilizado o comando *rgb2gray* do Matlab que resulta em uma matriz bidimensional da imagem em escala de cinza com 256 níveis de quantização. A figura 18 ilustra esse processo.

Figura 18: Imagem original a) e convertida em escala de cinza b).



a)



b)

Fonte: Própria.

Em seguida é aplicado o filtro *Top-Hat* utilizando um elemento estruturante (*SE*) na forma de disco com o raio equivalente a curvatura da borda placa. O objetivo deste processo é contrastar a zona da placa do *background* da imagem, facilitando a etapa seguinte que é a binarização. A figura 19 mostra o processo de filtragem pelo método *top-hat*.

Figura 19: Aplicação do filtro *top-hat*.



Fonte: Própria.

O seguinte passo tem como objetivo a binarização da imagem acima. Para obter um limiar global que forneça a máxima variância possível entre os níveis de cinza da imagem, utilizou-se o método de proposto por OTSU. A figura 20 ilustra a imagem pós binarização, podemos observar o destaque causado na região da placa.

Figura 20: Etapa de binarização pelo método de OTSU.

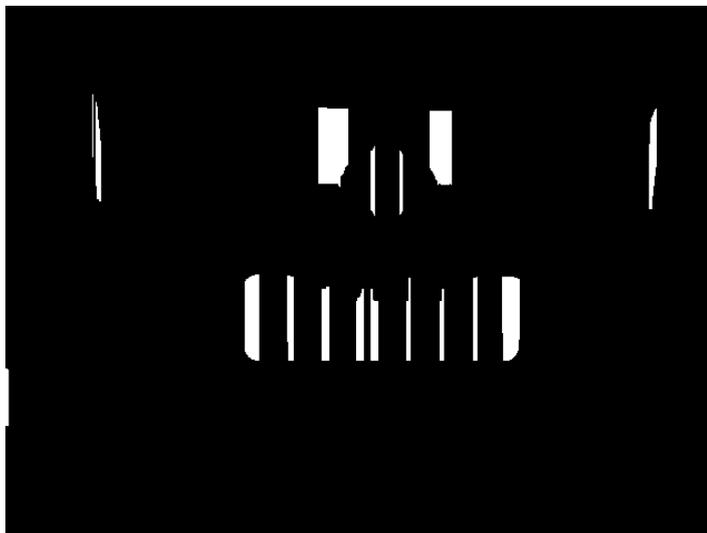


Fonte: Própria.

Após a binarização, são aplicados alguns filtros morfológicos de abertura e dilatação com o intuito de eliminar regiões desconexas e realçar a região da placa. Submetendo a imagem binária a operação de abertura por um elemento estruturante

no formato de linha vertical com altura proporcional a altura da placa conseguiu-se eliminar regiões nas quais estão fora da *ROI*. Este processo elimina as linhas horizontais da imagem, enfatizando assim a região da placa composta por linhas verticais devido aos caracteres e borda da estrutura. A figura 21 representa o resultado do processo de abertura.

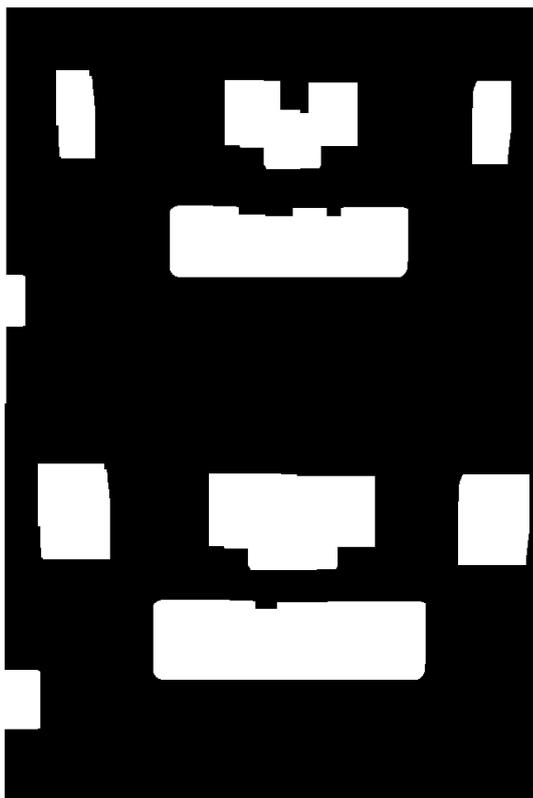
Figura 21: Processo de abertura.



Fonte: Própria

A próximo passo consiste em realizadas dilatações sucessivas na imagem para preenchimento dos espaços (vales) nas regiões de interesse da imagem, o elemento estruturante utilizado na dilatação é um retângulo com dimensões proporcionais a área da placa.

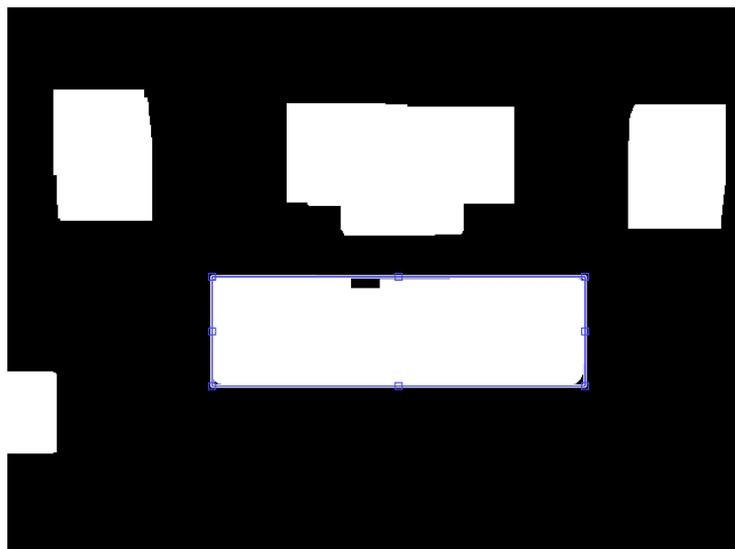
Figura 22: Processo de dilatação sucessiva por SE retangular.



Fonte: Própria.

Por fim é obtida uma imagem com todas as regiões candidatas a área da placa. Usando um algoritmo de varredura baseado em atributos de retangularidade é possível extrair a ROI da imagem para em seguida segmentar a imagem original resultando em um *template* da placa. O algoritmo varre as regiões em branco calculando sua área e comparando com outras possíveis ROI, por fim são retornadas as coordenadas da maior região candidata. A figura 23 ilustra a classificação da ROI.

Figura 23: Seleção da ROI.



Fonte: Própria.

Após a classificação da ROI obtemos as coordenadas da região e com isso é possível recortar, utilizando o comando *imcrop* do Matlab, a placa da imagem original. A figura 24 mostra o resultado da segmentação e o *template* resultante de todo o processamento.

Figura 24: Template



Fonte: Própria.

3.3 TEMPLATE MATCHING

A última etapa de todo processamento e do algoritmo desenvolvido consiste em validar o *template* obtido anteriormente através de técnicas de *Template Matching* por meio do coeficiente de correlação de Pearson.

Cada imagem do banco de imagens é correlacionada com o *template* por meio do comando *normxcorr2* do Matlab, antes de tudo é necessário converter as imagens em escala de cinza, resultando assim em uma matriz da com os coeficientes de correlação de cada pixel da imagem original.

Figura 25: Trecho extraído do algoritmo onde é representado o cálculo da correlação.

```
%%cálculo da correlação entre o template e a imagem  
cross = normxcorr2(template, I);  
%%obtenção das coordenadas de máxima correlação  
[y,x] = find(cross==max(cross(:)));
```

Fonte: Própria.

O programa faz uma varredura no banco de imagens calculando o coeficiente de correlação de cada imagem até encontrar um valor máximo que ultrapasse 95% de semelhança entre a imagem e o *template*, sendo este o critério de parada da varredura (*loop*). A figura 26 ilustra a localização do *template* na imagem na qual é selecionada por um retângulo, destacando assim a região com máxima correlação.

Figura 26: Placa detectada á esquerda e template correlacionado á direita.



Fonte: Própria.

4 RESULTADOS

Este tópico traz os resultados obtidos ao longo de todo trabalho bem como as resposta das 30 iterações das imagens do banco de dados.

O quadro 1 representa os resultados obtidos com o algoritmo proposto onde podemos classificar em duas etapas:

1. localização da região da placa na imagem de entrada;
2. localização do *Template* no banco de imagens.

Quadro 1: Resultados obtidos após iterações, VP (verdadeiro positivo) e FP (falso positivo).

Carro	Localização da região da placa	Localização do Tamplate
carro_1	VP	VP
carro_2	VP	VP
carro_3	VP	VP
carro_4	VP	VP
carro_5	VP	VP
carro_6	VP	VP
carro_7	FP	VP
carro_8	VP	VP
carro_9	VP	VP
carro_10	VP	VP
carro_11	VP	VP
carro_12	VP	VP
carro_13	VP	VP
carro_14	VP	VP
carro_15	VP	VP
carro_16	VP	VP
carro_17	VP	VP
carro_18	VP	VP
carro_19	VP	VP
carro_20	VP	VP
carro_21	VP	VN
carro_22	FP	VP
carro_23	VP	VP
carro_24	VP	VP
carro_25	FP	VP
carro_26	VP	VP
carro_27	FP	VP
carro_28	VP	VP
carro_29	FP	VP
carro_30	VP	VP

Fonte: Própria.

O método proposto para localizar a região da placa obteve uma taxa de acerto de 83%, em contrapartida a metodologia de reconhecimento através de *Template Matching* utilizando a correlação de Pearson mostrou-se muito eficiente atingindo uma taxa de 97% de sucesso.

Durante a execução do programa foram gerados resultados falsos positivos (FP) no processo de localização da região da placa e um verdadeiro negativo (VN) no reconhecimento.

Na localização do *template* no banco de dados obteve-se um único caso de VN, carro_21, devido ao coeficiente de correlação de 94% entre o *template* e a imagem padrão. O algoritmo interpreta resultados abaixo de 95% como FP, entretanto o sistema foi capaz de localizar a região correta na imagem padrão conforme a figura 27.

Figura 27: Resultado VN gerado pelo sistema, carro_21



Fonte: Própria.

Conforme o quadro 1, as imagens carro_7, carro_22, carro_25, carro_27 e carro_29 o algoritmo retornou um *template*, ilustrado pela figura 28, de outra área da imagem, ou seja, não foi possível extrair a região da placa na imagem de entrada.

Figura 28: Exemplo do FP imagem de entrada à direita e *template* à esquerda, carro_7.



Fonte: Própria.

Este FP é decorrente da etapa da filtragem pelo método *top-hat* onde regiões fora da área da placa são destacadas pelo filtro, desse modo comprometendo todo o processamento seguinte. Conforme a figura 29 pode-se observar que as zonas destacadas possuem contraste semelhante à área da placa.

Figura 29: Resultado após filtro *top-hat*, carro_7.



Fonte: Própria.

A figura 30 mostra o resultado após operações morfológicas, pode-se notar o destaque de ROI's Falso Positivo que implicará no processo de classificação das regiões candidatas.

Figura 30: Resultados das operações morfológicas na imagem carro_7.



Fonte: Própria.

Uma possível solução para sanar este problema é utilizar alguns filtros para eliminar tais zonas ou até mesmo outro método de binarização adaptativa *multi threshold*.

CONCLUSÃO

Neste trabalho foi apresentado um método para localizar, extrair e validar placas de licenciamento veicular com o intuito de utilizar a metodologia proposta em um sistema de acesso (liberação de cancela) por meio de visão computacional.

No experimento aqui proposto e desenvolvido teve um bom desempenho, certa vez que, atingiu uma taxa de acerto de 83% para a localização da região da placa contra 97% no reconhecimento. Tais números demonstram que a abordagem proposta é uma alternativa válida para implementar e resolver aplicações que necessitem de um sistema de reconhecimento.

De maneira geral o trabalho atingiu resultados totalmente satisfatórios uma vez que foi possível concluir todos os objetivos propostos, desde a estruturação do banco de imagens até desenvolver o algoritmo capaz de realizar o reconhecimento das placas de licenciamento. E por fim, comprovou-se a hipótese geral do trabalho, mostrando que é possível desenvolver um sistema de visão computacional utilizando operadores morfológicos e correlação para extrair e reconhecer placas de licenciamento.

No futuro almeja-se tornar o algoritmo mais robusto de forma que possa aumentar a taxa de sucesso da etapa de localização e extração da região da placa utilizando novos operadores e processos morfológicos e otimizar o tempo de execução da etapa de reconhecimento, pois apesar de ter um bom índice de sucesso o algoritmo desempenhou de maneira lenta devido ao fato de realizar uma varredura em um banco de imagens.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHARYA, T., RAY, A. K. Image Processing- Principles and Applications. **John Wiley & Sons**, Inc. 2005.

ALVES, W. A. L.; HASHIMOTO, R. F. Text regions extracted from scene images by ultimate attribute opening and decision tree classification. In: **2010 23rd SIBGRAPI Conference on Graphics, Patterns and Images**. IEEE, 2010. p. 360-367.

CAMPOS, T.; BAMPI, S.; SUSIN, A., Sistema de Identificação de Placas por Processamento Automático de imagens. Porto Alegre, v. 10, 2005.

DOUGHERTY, E. R. *An Introduction to Morphological Image Processing*. 1992, 161p.

DOUGHERTY, E. R.; LOTUFO, R. A. **Hands-on morphological image processing**. SPIE press, 2003.

FACON, J. *Morfologia Matemática: Teorias e exemplos*. Editor Jacques Facon, Gráfica Universitária Champagnat da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, xii, 320p: il 1996.

GONÇALVES, P. R. da S. Reconhecimento Automático de Placas de Automóveis Utilizando Redes de Kohonen. 2015.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. Digital Image Processing. **Addison-Wesley Publishing Company**, Chapter 3, September 1993.

GONZALEZ, R.; WOODS, R. **Processamento Digital de Imagens**. 3 ed. São Paulo: Pearson, 2010.

GONZALEZ, R; WOODS, R. Digital Imagem Processing. New Jersey: **Prentice-Hall**. 2.ed.,2002.

GREENSTED, A. Otsu Thresholding, 2010. Disponível em: <http://www.labbookpages.co.uk/software/imgProc/otsuThreshold.html>. Acesso em: 09 de dezembro de 2019.

GUINGO, B. C; RODRIGUES, R. J; THOMÉ, A. C. Técnicas de segmentação de

imagens, extração de características e reconhecimento de caracteres de placas de veículos. Rio de Janeiro: UFRJ, 2002.

MARQUES FILHO, O.; NETO, H. V. Processamento digital de imagens. **Brasport**, 1999.

MOREIRA, A. C. Métodos para segmentação binária para imagens em tons de cinza. Londrina: **LFNATEC**, 2011.

NUÑES, J. R., Segmentação Automática e Classificação em Vídeos Esportivo. Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2006.

OLIVEIRA, L. A. Localização e reconhecimento de caracteres em placas de automóveis. 2010. 86 p. Dissertação (Graduação) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

OTSU, N. A threshold selection method from gray-level histograms. **IEEE transactions on systems, man, and cybernetics**, v. 9, n. 1, p. 62-66, 1979.

PACHECO, F. S.; SANTOS, V. A. DOS. Desenvolvimento de um sistema portátil de reconhecimento de placas de veículos baseado na plataforma Beagleboard, 2010, Florianópolis.

PAN, M. -S.; YAN, J. -B.; XIAO, Z. -H. Vehicle License Plate Character Segmentation. **International Journal of Automation and Computing**, [S.l.], v.5, n.4, p.425–432, 2008.

PEDRINI, H.; SCHWARTZ, W. R. Análise de Imagens Digitais: princípios, algoritmos e aplicações, São Paulo: Thomson Learning, 2008.

PRATT, W. K. **Digital Image Processing**, New York: Jhon Wiley & Sons Inc, 1991.

QUEIROZ, J. E. R.; GOMES, H. M. Introdução ao processamento digital de imagens. **RITA**, v. 13, n. 2, p. 11-42, 2006.

RENCZ, A. N., RYERSON. R. A. (Eds.) Manual of Remote Sensing, Remote Sensing for the Earth Sciences. **John Wiley & Sons**, Inc. 3.ed., v.3, 1999.

RODRIGUES, R. J; THOMÉ, A. C. G. Cursive character recognition – a character

segmentation method using projection profile-based technique , **4th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics SCI 2000 and 6th International Conference on Information Systems, Analysis and Synthesis ISAS 2000**, Orlando - USA, August 2000.

RUSS, J. C. The image processing handbook. **CRC Press LLC**. 3.ed, 2000.

Sales, R. B. Localização e Validação Automática de Regiões Candidatas de Placas a Partir da Análise de Imagens Digitais. Fortaleza. UECE, 2010. 111 p. ; il.

SCHRAMM, C. R., Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Ciências da Computação. Desenvolvimento de um protótipo de um software de reconhecimento de caracteres. Blumenau: FURB, 1997.

SCURI, A. E. Fundamentos da imagem digital. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 1999.

SDC Morphology Toolbox. Information Systems.

SERC MEDIA. **Serc Carleton**: log scale of electromagnetic spectrum. Página inicial. Disponível em: https://serc.carleton.edu/download/images/3786/e-m_spectrum.gif. Acesso em: 23 de novembro de 2018.

TOROK, L; CONCI, A. Método de Otsu. **Instituto de Computação (UFF)**, 2016.