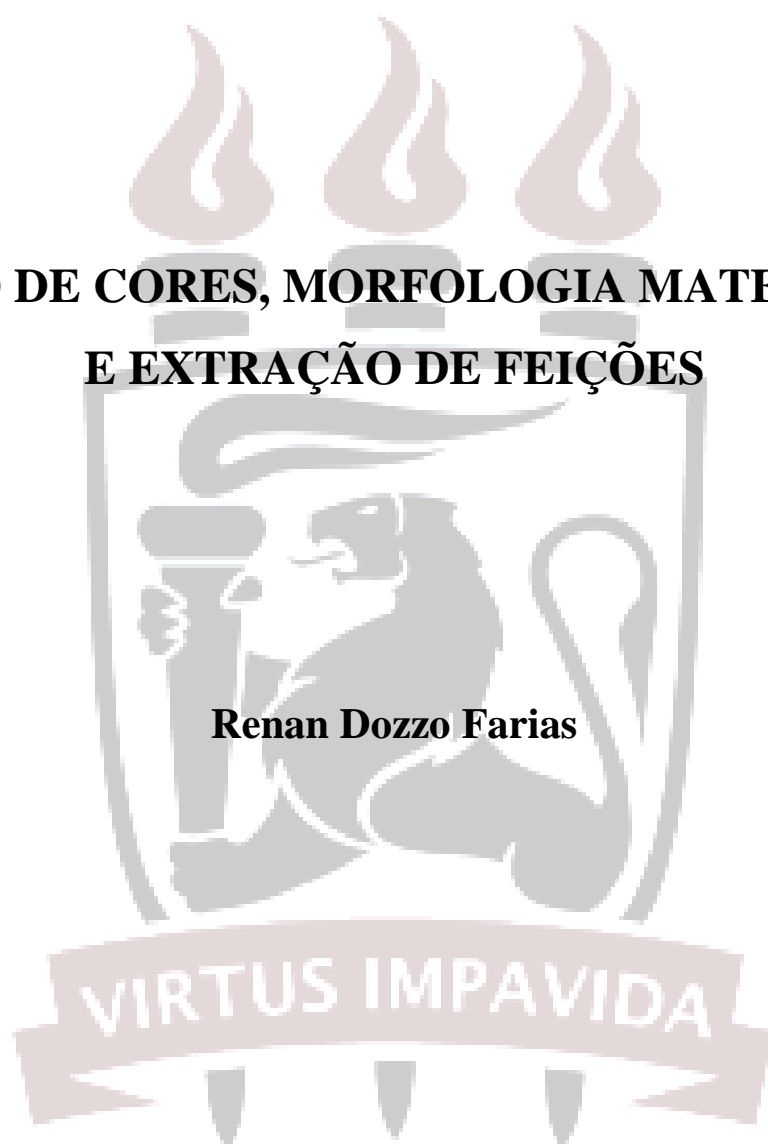

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E
TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO

**ESPAÇO DE CORES, MORFOLOGIA MATEMÁTICA
E EXTRAÇÃO DE FEIÇÕES**

Renan Dozzo Farias



Recife

2016

Renan Dozzo Farias

ESPAÇO DE CORES, MORFOLOGIA MATEMÁTICA E EXTRAÇÃO DE FEIÇÕES

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Área de concentração: Cartografia e Sistemas de Geoinformação.

Orientadora: Prof^ª Dr^ª Ana Lúcia Bezerra Candeias

Recife

2016

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

F224e Farias, Renan Dozzo.
 Espaço de cores, morfologia matemática e extração de feições / Renan Dozzo
Farias. – 2016.
 81 folhas, il., gráfs., tabs.

 Orientadora: Profa. Dra. Ana Lúcia Bezerra Candeias.
 Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da
Geoinformação, 2016.
 Inclui Referências e Apêndices.

 1. Engenharia Cartográfica. 2. Produtos cartográficos. 3. Imagens. 4.
Extração de feições. 5. Morfologia matemática. 6. Espaço de cores. I.
Candeias, Ana Lúcia Bezerra. (Orientadora). II. Título.

UFPE

526.1 CDD (22. ed.)

BCTG/2016-314

Renan Dozzo Farias

ESPAÇO DE CORES, MORFOLOGIA MATEMÁTICA E EXTRAÇÃO DE FEIÇÕES

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Aprovado em: 29/08/2016

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a. Dr.^a. Ana Lúcia Bezerra Candeias (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Prof. Dr. João Rodrigues Tavares Júnior (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Prof. Dr. Wellington Pinheiro dos Santos (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Dedico aos meus amados pais, amigos e noiva que me apoiaram, incentivaram e me deram força para que eu pudesse acreditar na minha capacidade de vencer.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer, em primeiro lugar, a Deus, pela força e coragem durante toda esta longa caminhada árdua que tive que passar durante o trabalho da dissertação.

À minha orientadora, Ana Lúcia Bezerra Candeias, pela sua confiança e total autonomia concedida para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos membros da banca examinadora: João Rodrigues Tavares Júnior e Wellington Pinheiro dos Santos pelas contribuições.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pelo apoio financeiro durante a minha permanência no programa de pós-graduação.

À Prefeitura da Cidade do Recife por ceder o recorte da ortofoto (articulação 80-49-00 do voo de 2013) que foi usada nessa dissertação.

Aos colegas da Pós-Graduação, em especial, ao Thomás, Elaine, Ariely, Túllio, Alexandre, Talita e Nicolas pelas longas conversas, incentivo e, sobretudo pela amizade durante estes anos. Em especial, a toda minha família que sempre acreditaram em mim, me apoiando e dando muita força para a concretização desse trabalho.

*“Que os vossos esforços desafiem as
impossibilidades, lembrai-vos de que as
grandes coisas do homem foram conquistadas
do que parecia impossível.”
(Charles Chaplin)*

RESUMO

A busca de métodos que possam auxiliar na atualização de produtos cartográficos existentes e propiciar uma base cartográfica atual é de fundamental importância para o planejamento urbano e conseqüentemente para o gerenciamento de todo o território nacional. As feições que devem ser atualizadas nos produtos cartográficos podem ser obtidas a partir de imagens de sensoriamento remoto e fotografias aéreas. E um dos atributos das feições que pode ser usado é a cor que é amplamente utilizado na extração pela análise visual e também pode auxiliar na extração automática das feições. Nessa dissertação, tem-se uma abordagem levando em consideração a extração pela cor usando a morfologia matemática e espaço de cores RGB e HSV. Denota-se Morfologia, por ajudar na análise de formas e objetos, e Matemática, por esta análise se basear na teoria de conjuntos, topologia, reticulados. A morfologia matemática foi inicialmente desenvolvida para análise de imagens binárias, onde a abordagem linear não se mostrava eficiente, e depois foi estendida para níveis de cinza. Nessa dissertação trabalha-se com as imagens no espaço de cores. Utiliza-se as ferramentas da morfologia matemática denotadas de erosão, dilatação e gradiente para a segmentação e detecção de bordas das imagens. Essas ferramentas e os espaços de cores RGB e HSV são a base dos algoritmos para a obtenção das bordas das feições na imagem, obtendo-se como resultados as feições do tipo estradas, edificações e vegetações existentes na imagem de alta resolução (ortofoto). A metodologia com gradiente no espaço HSV gera o melhor resultado e semelhante com fotointerpretação (interpretação visual).

Palavras chaves: Produtos cartográficos, Imagens, Extração de feições, Morfologia Matemática, Espaço de cores.

ABSTRACT

Methods that assist a cartographic updating products and provide a current map base is fundamental importance for urban planning and therefore for managing the entire national territory. Features that must be updated in cartographic products can be obtained from remote sensing images and aerial photographs. And one of the attributes of the features that can be used is the color that is widely used in extraction by visual analysis and can also assist in the self-extracting features. In this dissertation, there is an approach considering the color extraction using mathematical morphology, RGB and HSV color space. It denotes Morphology, because of the analysis of shapes and objects, and mathematics, because this analysis is based on set theory, topology, lattices. Mathematical morphology was initially developed for the analysis of binary images, where the linear approach showed no efficient and was then extended to gray levels. In this dissertation, it works with images in color space. It uses the tools of mathematical morphology denoted erosion, dilation and gradient for segmentation and detection of images of edges. These tools and RBG color space and HSV are the basis of algorithms for obtaining the edges of the features in the image, obtaining thus the features of the type roads, existing buildings and vegetation in high resolution image (orthophoto). Methodology with gradient with HSV space is shown the best result and similar with photointerpretation (visual interpretation).

Keywords: Cartographic products, Images, Feature extraction, Mathematical Morphology, Color space.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Modelo RGB.....	22
Figura 2: Combinação aditiva das cores RGB, gerando as cores secundárias ciano, magenta e amarelo.	23
Figura 3: (a) Combinação das cores HSV visualizadas no hexacone. (b) Modelo de representação dos atributos HSV da cor por meio da geometria do hexacone.....	27
Figura 4: Exemplos de elementos estruturantes: (a) com conectividade 4 e (b) com conectividade 8.....	30
Figura 5: Resultado da aplicação da operação de erosão binária. (a) Imagem binária. (b) Imagem binária erodida.	32
Figura 6: Resultado da aplicação da operação de dilatação binária. (a) Imagem binária. (b) Imagem binária dilatada.	33
Figura 7: Resultado da erosão em níveis de cinza com elemento estruturante máscara cheia 3x3.	34
Figura 8: Resultado da dilatação em níveis de cinza com elemento estruturante máscara cheia, 3x3. (a) Imagem original. (b) Imagem dilatada.	35
Figura 9: Operadores Básicos da MM sobre a imagem em níveis de cinza X.....	36
Figura 10: Localização geográfica da área de estudo.	39
Figura 11: Recorte de ORTOFOTO (articulação 80-49-00 do voo de 2013).	40
Figura 12: Fluxograma referente a esse estudo.	41
Figura 13: Software MATLAB R2015a rodando numa plataforma Windows 10 x64 bits.	47
Figura 14: Software ArcGIS 10 rodando numa plataforma Windows 10 x64 bits.	47
Figura 15: (a) Imagem original. (b) Imagem binarizada para os objetos avermelhados.....	48
Figura 16: (a) Imagens original. (b) Imagem binarizada para os objetos avermelhados fracos. (c) Imagem binarizada para os objetos avermelhados médios. (d) Imagem binarizada para os objetos avermelhados fortes.	50
Figura 17: Imagens extraídas a partir de objetos avermelhados para um elemento estruturante B3x3. (a) Imagem original. (b) Imagem com as bordas internas. (c) Imagem com as bordas externas. (d) Imagem com o Gradiente.	52
Figura 18: Resultado de bordas internas para os objetos avermelhados com elementos estruturantes diferentes. (a) B=3x3. (b) B=5x5. (c) B=7x7.....	53

Figura 19: Resultado de bordas externas para os objetos avermelhados com elementos estruturantes diferentes. (a) $B=3 \times 3$. (b) $B=5 \times 5$. (c) $B=7 \times 7$	54
Figura 20: Resultado do gradiente para os objetos avermelhados com elementos estruturantes diferentes. (a) $B=3 \times 3$. (b) $B=5 \times 5$. (c) $B=7 \times 7$	55
Figura 21: Resultados da representação HSV para imagem da ortofoto. (a) Imagem no RGB. (b) Resultado da imagem para o componente H. (c) Resultado da imagem para o componente S. (d) Resultado da imagem para o componente V.	57
Figura 22: Resultados da representação da extração de bordas binarizando vegetação com HSV para imagem da ortofoto. (a) Imagem binária da vegetação. (b) Contorno interno da imagem binária da vegetação. (c) Contorno externo da imagem binária da vegetação. (d) Gradiente da imagem binária da vegetação.	58
Figura 23: Ampliação dos resultados da representação da extração de bordas apresentado na figura anterior. (a) Ampliação da imagem binária da vegetação. (b) Ampliação do contorno interno da imagem binária da vegetação. (c) Ampliação do contorno externo da imagem binária da vegetação. (d) Ampliação do gradiente da imagem binária da vegetação.....	59
Figura 24: Ampliação dos resultados de bordas externas com elemento estruturantes diferentes. (a) Ampliação da imagem binária da vegetação. (b) Elemento estruturante $B=3 \times 3$. (c) Elemento estruturante $B=5 \times 5$. (d) Elemento estruturante $B=7 \times 7$	60
Figura 25: Representação da extração de bordas externas binarizando vegetação com HSV para imagem da ortofoto usando $B7 \times 7$. (a) Imagem original. (b) Contorno externo da imagem binária da vegetação usando $B7 \times 7$	60
Figura 26: Representação análise visual de algumas feições da ortofoto.	61
Figura 27: Representação da extração da borda interna com a análise visual de algumas feições da ortofoto.....	62
Figura 28: Representação da extração da borda externa com a análise visual de algumas feições da ortofoto.....	63
Figura 29: Representação da extração da borda gradiente com a análise visual de algumas feições da ortofoto.	64
Figura 30: Representação da extração da borda no espaço HSV com a análise visual de algumas feições da ortofoto (em azul). (a) ortofoto. (b) borda interna. (c) borda externa. (d) gradiente.	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Pesquisas sobre a representação do espaço de cores e a morfologia matemática. ..	38
Tabela 2: Exemplificação para os objetos avermelhados no modelo HSV.....	45
Tabela 3: Áreas de uma mesma feição para cada resultados obtidos.....	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

C.C.	-	Caso contrário
CIE	-	<i>Commission Internationale de l'Eclairage</i>
CMY	-	<i>(Cyan, magenta, yellow)</i>
CMYK	-	<i>(Cyan, magenta, yellow, black)</i>
GPS	-	Sistemas de Posicionamento Global
HSI	-	<i>(Hue, saturation, intensity)</i>
HSV	-	<i>(Hue, saturation e value)</i>
MM	-	Morfologia Matemática
ND	-	Número digital
NTSC	-	<i>National Television System Committee</i>
PDI	-	Processamento Digital de Imagens
P&B	-	Preto e branco
RGB	-	<i>(Red, Green e Blue)</i>
SIG	-	Sistema de Informações Geográficas
TV	-	Televisão
UFPE	-	Universidade Federal de Pernambuco
YCbCr	-	Padrão normalizado pela recomendação ITU-R BT.601
YIQ	-	Padrão NTSC de TV em cores

LISTA DE SÍMBOLOS

C_λ	-	Representação das cores no modelo RGB
ε	-	Erosão
B_x	-	Elemento estruturante B centrado no pixel x
δ	-	Dilatação
\subseteq/\subset	-	Subconjunto
\in	-	Pertence ao conjunto
\cap	-	Interseção
\max	-	Valor máximo de uma função
\min	-	Valor mínimo de uma função
ρ	-	Gradiente
\rightarrow	-	Implicação material
$ $	-	Notação de construção de conjuntos (tal que)
b_i	-	Borda interna
b_e	-	Borda externa
\mathbb{R}^3	-	Espaço tridimensional

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
2	OBJETIVOS	19
2.1	OBJETIVO GERAL	19
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
3.1	IMAGEM COLORIDA E ESPAÇO DAS CORES.....	20
3.1.1	ESPAÇO RGB	22
3.1.2	ESPAÇO HSV	25
3.1.3	OUTROS ESPAÇOS DE CORES	28
3.2	MORFOLOGIA MATEMÁTICA.....	30
3.2.1	OPERADORES BÁSICOS DA MORFOLOGIA MATEMÁTICA.....	31
3.3	ESTADO DA ARTE SOBRE REPRESENTAÇÃO DO ESPAÇO DE CORES E MORFOLOGIA MATEMÁTICA	38
4	AREA DE ESTUDO	39
5	MATERIAIS E MÉTODOS	40
5.1	MATERIAIS.....	40
5.2	MÉTODOS	40
5.2.1	PROCEDIMENTOS METODOLOGICOS	41
5.2.2	MODELAGEM A SER APLICADA SOBRE MORFOLOGIA MATEMÁTICA E ESPAÇO DAS CORES RGB	41
5.2.3	MODELAGEM A SER APLICADA SOBRE MORFOLOGIA MATEMÁTICA E ESPAÇO DAS CORES HSV	44
5.2.4	PROCEDIMENTOS REALIZADOS PARA AS MODELAGENS NOS SOFTWARES	46
6	RESULTADOS	48
6.1	RESULTADOS PARA EXTRAÇÃO DE BORDAS COM RGB	48
6.2	RESULTADOS PARA EXTRAÇÃO DE BORDAS COM HSV	57
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
	REFERÊNCIAS.....	68
	APÊNDICES	72

APÊNDICE A – ALGORITMO FEITO NO MATLAB PARA OS OBJETOS	
AVERMELHADOS NO MODELO RGB (ELEMENTO ESTRUTURANTE $B_{3 \times 3}$)	72
APÊNDICE B - ALGORITMO FEITO NO MATLAB PARA OS OBJETOS	
AVERMELHADOS NO MODELO RGB (ELEMENTO ESTRUTURANTE $B_{5 \times 5}$)	75
APÊNDICE C - ALGORITMO FEITO NO MATLAB PARA OS OBJETOS	
AVERMELHADOS NO MODELO RGB (ELEMENTO ESTRUTURANTE $B_{7 \times 7}$)	78
APÊNDICE D – ALGORITMO FEITO NO MATLAB PARA O MODELO HSV	81

1 INTRODUÇÃO

A extração de feições em uma imagem pela cor, textura e outros atributos são recursos amplamente utilizados no mapeamento de objetos e feições no terreno.

Aqui tem-se uma abordagem de extração de feições levando em consideração a cor. Inicialmente tem-se a imagem supondo uma representação da cor no domínio RGB (*Red, Green e Blue*) e no domínio HSV (*Hue, saturation e value*). Em adição a isto, tem-se a Morfologia Matemática (MM), que pode auxiliar na extração das feições usando seus operadores. Para isto, iremos a seguir desenvolver algumas definições importantes sobre o domínio RGB, HSV, e morfologia matemática para posteriormente definirmos um método para extração de feições pela cor.

GONZALEZ (2011) relata que o espaço RGB é representado em um sistema cartesiano (x, y, z) onde cada uma das cores primárias (*Red, Green e Blue*) representa um dos eixos do cubo RGB. Os valores são normalizados com valores 0 e 1 e representa-se cada cor que o monitor pode produzir como um ponto dentro do volume do cubo. Entretanto as coordenadas de cor RGB são dependentes do dispositivo (monitor), ou seja, geralmente dispositivos diferentes não reproduzem a mesma cor.

O espaço HSV define a cor como: matiz (H) – a propriedade da cor que varia em passar de vermelho para verde; saturação (S) – a propriedade da cor que varia na passagem de vermelho para rosa; e brilho (intensidade, luminosidade ou valor) (V) – a propriedade que varia na passagem do preto para o branco (SILVA, 2014).

A MM é uma abordagem não linear em processamento de imagens. Ela surgiu nos anos de 1960 com George Matheron e Jean Serra na Escola de Minas de Paris, em Fontainebleau. O objetivo era a extração de informações a partir da análise de estruturas geométricas de amostras de rochas ou metais obtidos por imagens de microscópio. Como consequência deste estudo surgiu uma teoria de análise espacial de estruturas que foi denominada de MM: Morfologia, por ajudar na análise de formas e objetos, e Matemática, por esta análise se basear na teoria de conjuntos, topologia, reticulados, funções randômicas, etc. A morfologia matemática foi inicialmente desenvolvida para análise de imagens binárias, onde a abordagem linear não se mostrava eficiente, e depois foi estendida para níveis de cinza (CANDEIAS, 1997).

A extração de feições, na área de Cartografia, pode ser usada no processo de identificação ou na atualização de produtos cartográficos. O uso integrado de tecnologias pode

reunir estruturas e ferramentas essenciais na determinação de processos de segmentação de imagens e extração de feições.

O processo de extração de feições é uma tarefa bastante complexa, devido a existência dos tipos variados de estruturas e formas de edificações, oclusões, efeitos de sombras, deslocamento devido ao relevo, ruídos, baixo contraste, entre outros fatores; principalmente por apresentarem formas variadas, a implementação de ferramentas automáticas para a extração destas feições torna-se complexa.

DESTIVAL (1986) é uma das autoras pioneiras na aplicação da MM à análise de imagens de Sensoriamento Remoto. Ela mostra uma comparação entre a abordagem clássica vista na literatura e a abordagem usando as ferramentas da MM. Ainda nos anos de 1980, trabalhos desenvolvidos por FLOUZAT (1989) e BANON e BARRERA (1989) mostram o potencial da MM na análise de imagens na área de Sensoriamento Remoto. Nos anos de 1990, continuou-se o estudo da MM para extração de informações de imagens e alguns trabalhos na área de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento mostraram resultados bastante significativos. Dentre eles podemos citar: ANSOULT e SOILLE (1990) e CANDEIAS e FERNANDEZ (1993).

Algumas técnicas para extrair feições podem ser encontradas em ARTERO (1999), que afirma que, embora grande parte dos processos da área de Cartografia tenham sido automatizados – câmeras digitais capturando imagens e enviando-as diretamente a sistemas computacionais, com apoio simultâneo de Sistemas de Posicionamento Global (GPS), e outros dispositivos –, a identificação dos objetos presentes nas imagens continua ainda sendo uma tarefa difícil de ser totalmente resolvida computacionalmente. Apesar do grande avanço tecnológico de *hardware*, uma grande quantidade de informações, presente nas imagens, continua ainda dependendo de um operador humano para ser extraída, e verificar-se, nesta etapa, o grande gargalo do processo.

DAL POZ e AGOURIS (2001) apresentam um método de extração semiautomática de rodovias em imagens de satélite ou em fotografias aéreas digitalizadas, visando à captura e à atualização de base de dados do Sistema de Informações Geográficas (SIG). No referido trabalho, um modelo genérico de rodovia é formulado usando propriedades básicas de rodovia, sendo resolvido através do algoritmo de programação dinâmica. Alguns pontos-semente, descrevendo grosseiramente a rodovia, devem ser fornecidos pelo operador, os fundamentos matemáticos do método e os resultados experimentais são apresentados e discutidos.

Nesta pesquisa, ocorrem modelagens aplicadas sobre algumas ferramentas derivadas da MM envolvendo os espaços de cores RGB e HSV, utilizando-se um recorte de uma ortofoto oriunda da Fotogrametria, e empregando técnicas provenientes de Processamento Digital de Imagens (PDI). Sabendo-se que a MM tem como princípio descrever quantitativamente as estruturas geométricas e funciona como uma técnica na concepção de algoritmos na área de PDI, dispondo de ferramentas básicas, como detectores de bordas e filtros morfológicos. Uma fotointerpretação, fez-se necessário para cada situação do espaço de cores que foi usado, analisando-se os objetos principais presentes na imagem e obtendo informações qualitativas. A partir dos resultados alcançados, faz-se comparações com arquivos vetoriais derivados do recorte da ortofoto, de modo que se obtenha informações quantitativas das discrepâncias obtidas.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Automatizar a extração de feições em imagem oriunda da Fotogrametria utilizando a representação do espaço de cores e operações da Morfologia Matemática.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar o espaço de cores e as ferramentas da morfologia matemática para a extração de feições em imagem fotogramétrica.
- Desenvolver um algoritmo para a extração de feições em imagens.
- Analisar o comportamento espacial das bordas de edificações utilizando a binarização de objetos avermelhados.
- Comparar os resultados obtidos por meio da binarização de objetos avermelhados utilizando a morfologia matemática com a vetorização das edificações a partir da fotointerpretação.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse capítulo são tratados conceitos e temas de importância no desenvolvimento do presente trabalho, tais como o conhecimento sobre o estudo dos espaços das cores e os conceitos e ferramentas da morfologia matemática.

3.1 IMAGEM COLORIDA E ESPAÇO DAS CORES

Na classificação de imagens de Sensoriamento Remoto, a extração de informações visando à identificação e discriminação dos objetos, depende, primordialmente, da forma de apresentação gráfica/digital. Uma das formas mais comuns e eficiente é por meio de imagens coloridas, pela simples razão de que a visão humana é colorida e porque a propriedade perceptiva da variável visual cor é muito forte, eficiente para comunicar a informação ou separar objetos na imagem (MENESES, 2012).

Conforme GUIMARÃES (2004), um sistema de ordenamento de cor tem por objetivo “incluir todas as cores, ao menos em forma teórica, em um modelo topológico, prevendo uma posição específica para cada uma delas, e propondo alguma lógica que determine a organização total”.

Pode-se afirmar, então, que as cores são resultantes da interação entre a fonte de luz, o objeto e o sistema visual humano, denominado como observador. De acordo com FRASER *et al.* (2005), a cor é uma sensação experimentada pelo observador frente aos comprimentos de onda da luz produzida pela fonte de luz e modificada pelo objeto.

Permite-se então dizer que as fontes luminosas brancas possuem todos os comprimentos de onda da faixa do visível. Em consequência, uma fonte luminosa colorida tem um comprimento de onda dominante. Quando os comprimentos de onda da fonte de luz atingem um objeto, a superfície do objeto absorve alguns comprimentos de onda do espectro e reflete os não absorvidos, que são percebidos pelo sistema visual humano como a cor do objeto (X-RITE: *The Color Guide and Glossary*, 2015).

Em 1931, a *Commission Internationale de l'Eclairage* (CIE) adotou um sistema de especificações triestímulo como o padrão internacional para colorimetria. Foram estabelecidos os valores de comprimentos de onda 435,8 nm, 546,1 nm e 700 nm para representarem espectralmente as três cores básicas, azul, verde e vermelha, respectivamente. Foi com base

nessa teoria triestímulo que se modelou a percepção visual de cores e se criaram as formulações computacionais, para usar a cor como forma de exposição de imagens multiespectrais de Sensoriamento Remoto e, por meio de técnicas de processamento, realçar a extração da informação da imagem (MENESES, 2012).

MENESES (2012) também menciona que o procedimento mais simples para associar cor a um pixel é por meio do fatiamento dos valores de brilho, processo que alguns pesquisadores consideram ser uma forma de realce de contraste, muito embora, de fato não é realizada uma operação matemática ou estatística de transformação da imagem.

De acordo com FRASER (2005), a diferença entre brilho e luminosidade, para a maioria das aplicações, pode ser desconsiderada, pois ambos fazem referência à percepção humana (não-linear) da intensidade. Por definição, luminosidade é o brilho relativo, ou seja, luminosidade é o brilho de um determinado objeto tendo o branco absoluto como referência. A luminosidade varia do escuro ao claro tendo como limites definidos o preto e o branco, respectivamente; enquanto o brilho varia do escuro (turvo) ao claro. É importante distingui-los, pois pode-se medir a luminosidade e associar um valor numérico a ela, enquanto que o brilho é uma sensação subjetiva na mente do ser humano. Porém, o brilho pode ser medido por instrumentos, e o brilho do pixel está associado a um número digital (ND) e foi medido por um sensor. A imagem já contém um brilho medido, representado por um nível de cinza.

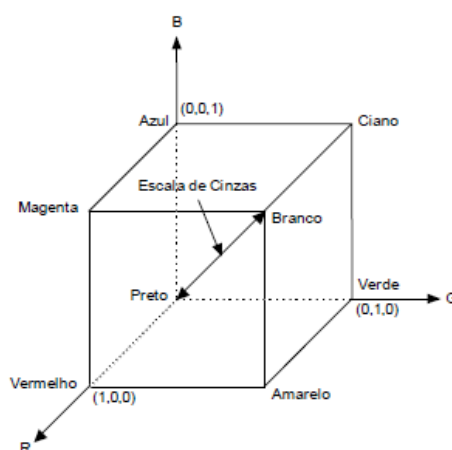
A primeira decisão para se definir uma caracterização da cor de uma imagem é escolher o modelo de cor. O objetivo dos modelos de cores é permitir a especificação de cores em um formato padronizado, reproduzível e mensurável por todos. Em linhas gerais, um modelo de cores é uma representação tridimensional na qual cada cor é representada por um ponto no sistema de coordenadas tridimensionais. A maioria dos modelos em uso atualmente é orientada ao hardware (impressoras ou monitores coloridos, por exemplo) ou a aplicações que utilizam manipulação de cores. Os modelos mais utilizados para representação de cores são: *RGB* (*red, green, blue*), *CMY* (*cyan, magenta, yellow*), *CMYK* (variante do modelo *CMY*, onde *K* denota *black*), *YCbCr* (padrão normalizado pela recomendação ITU-R BT.601 e utilizado em várias técnicas de compressão de vídeo), *YIQ* (padrão NTSC de TV em cores), *HSI* (*hue, saturation, intensity*), e *HSV* (*hue, saturation, value*) (MARQUES FILHO, 2011). Apresentamos a seguir mais detalhes sobre os padrões *RGB*, *CMY*, *CMYK*, *YIQ* e *HSV*.

3.1.1 ESPAÇO RGB

O sistema de cor RGB é o mais usado entre os modelos de cores, especialmente para imagens de 8 bits. Por outro lado, quando se trabalha com as imagens de 11 bits ou 16 bits (imagens de sensoriamento remoto, por exemplo), obtêm-se muitas vantagens comparadas as imagens de 8 bits, como por exemplo, a garantia da gradação suave de tons e cores. Em contrapartida, quanto maior o número de bits, maior será o tamanho do arquivo. De acordo com a teoria de mistura de cores, a luz visível, quando passa por meio da pupila é focada na retina pelas lentes oculares. Na retina há um grande número de células fotoreceptoras, altamente especializadas, conhecidas como cones e bastonetes, e que estão conectados por uma rede de fibras nervosas ao nervo óptico, ao longo das quais a energia luminosa detectada pelo olho vai ao cérebro, formando a imagem visual (MENESES, 2012).

O modelo *RGB* é baseado em um sistema de coordenadas cartesianas, que pode ser visto como um cubo onde três de seus vértices são as cores primárias, outros três as cores secundárias, o vértice junto à origem é o preto, e o mais afastado da origem corresponde à cor branca, conforme ilustra a figura 1. Neste modelo, a escala de cinza se estende através de uma linha (a diagonal do cubo) que sai da origem (preto), até o vértice mais distante dela (branco). Por conveniência, geralmente assume-se que os valores máximos de *R*, *G* e *B* estão normalizados na faixa de 0 a 1 (MARQUES FILHO, 2011).

Figura 1: Modelo RGB.



Fonte: MARQUES FILHO (2011).

Cada tom ao longo dessa diagonal é formado por contribuições iguais de cada primária. Logo, um tom de cinza médio entre o branco e o preto é representado por (0,5;0,5;0,5). As cores C_λ desse sistema podem ser expressas na equação (1) na forma:

$$C_\lambda = rR + gG + bB \quad (1)$$

Onde:

R: refere-se a cor vermelha;

G: refere-se a cor verde;

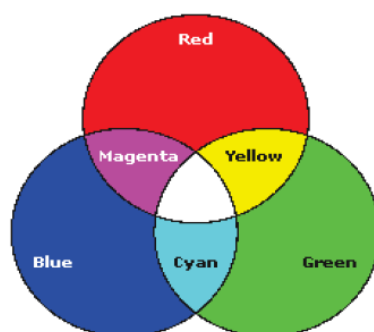
B: refere-se a cor azul;

r, g, b: as intensidades.

No algoritmo do modelo do espaço de cor para as imagens de Sensoriamento Remoto, as intensidades r, g, b, são determinadas pelos valores digitais de brilho das bandas. Em obediência à teoria triestímulo da percepção da cor, o modelo concebido baseia-se na adição de um tripleto de bandas, às quais são associados livremente os canais das cores azul, verde e vermelho do monitor MACHADO (2006).

Segundo MENESES (2012), a regra universal de adição das três cores primárias, azul, verde e vermelho, é mostrada na Figura 2. A combinação da projeção dos focos de luzes azul, verde e vermelho resulta no branco, e a combinação em par das cores azul + verde resulta na cor ciano, o par de cores azul + vermelho resulta na cor magenta, e o par de cores verde + vermelho na cor amarela. Milhões de cores poderão ser obtidas variando a intensidade de luz de qualquer uma das três cores primárias.

Figura 2: Combinação aditiva das cores RGB, gerando as cores secundárias ciano, magenta e amarelo.



Fonte: MENESES (2012).

CRÓSTA (2002) afirma que o sistema de cores RGB tem como qualidade destacada a liberdade para o analista explorar as possíveis combinações de três cores com três bandas, para obter a imagem colorida de melhor contraste. Embora o apelo visual das cores seja dependente da qualidade de contraste de cada banda, ele é controlado pela escolha adequada das bandas em função do comportamento espectral dos alvos presentes na imagem. Isso requer do fotointérprete experiência e conhecimento sobre o comportamento espectral dos alvos. Não basta apenas habilidade do intérprete em processamento de imagem.

MACHADO (2006) aborda que o modelo RGB está intimamente associado às superfícies emissoras de luz. É por esta razão que este modelo é utilizado quase que universalmente pelos equipamentos que manipulam a emissão de luz, tais como os monitores e os televisores a cores.

Tradicionalmente, as implementações do modelo RGB nos sistemas gráficos empregam valores inteiros entre 0 e 255 para exprimir o valor da intensidade de cada componente, em vez de valores reais normalizados entre 0 e 1. Esta idiossincrasia teve origem no fato do processamento de valores inteiros ser muito mais rápido do que o processamento de valores reais, desde os primeiros sistemas gráficos, além de que a notação com inteiros ser mais simples de escrever e apreender do que a notação com valores reais fracionários. A discretização, em 256 valores de intensidade, é mais do que suficiente para o olho humano, pois este consegue distinguir entre um mínimo de 16 intensidades na zona do azul, e um máximo de 23 intensidades na zona do amarelo (LOPES, 2013).

Resumindo-se, MACHADO (2006) descreve que as vantagens do modelo RGB são a grande simplicidade geométrica, suporte a um controle direto sobre o dispositivo (computação mínima) e facilidade de implementação. As desvantagens são:

- a) Dependência de dispositivo, isto é, as coordenadas RGB não são transferíveis, em geral, ou seja, os mesmos valores de coordenadas não reproduzem exatamente a mesma cor;
- b) Não é recomendado para dispositivos não aditivos (por exemplo, uma impressora que usa o modelo subtrativo CMYK). Neste caso, o modelo RGB assume que as primárias subtrativas são complementos das primárias aditivas, o que leva à suposição de que as tintas também são aditivas, o que não é verdade;
- c) Não é perceptualmente uniforme, o que significa que uma variação de uma unidade da coordenada corresponde a diferentes variações perceptuais da cor, dependendo da região do cubo;

- d) Não se baseia em estímulos visuais, mas sim em ND dos dispositivos (voltagens), o que faz com que não seja facilmente relacionado com a aparência da cor.

3.1.2 ESPAÇO HSV

No espaço de cores RGB, os eixos do cubo representam a quantização da radiação referente aos comprimentos de onda de um tripleto de bandas, resultando em imagens coloridas, que satisfazem a maioria das necessidades do intérprete e da classificação da imagem. Contudo, ao se descrever visualmente a cor de um objeto, frequentemente nos referimos, por exemplo, se aquela cor vermelha é brilhante, clara ou escura, ou mesmo se é uma cor pura. Essa é uma forma de se descrever a cor por meio da percepção fisiológica humana, através de três atributos: intensidade, matiz e saturação, que são grandezas quantitativamente especificáveis e independentes, sob o ponto de vista de percepção visual. Diz-se, então, que *Value* (V), *Hue* (H) e *Saturation* (S) são atributos da cor, fortemente, percebidos pela visão. Dependendo dos valores dos dados das bandas, esses atributos possuirão valores bem diferentes de imagem para imagem (MENESES, 2012).

Segundo MENESES (2012), o sistema HSV não é uma teoria de cor, mas outra forma de igualmente modelar uma representação espacial desses três atributos, para a mesma cor obtida pelo espaço de cubo de cor. Ou seja, é uma transformação numérica do espaço de cor RGB para o espaço HSV. Define-se valor (V) como a quantidade de brilho de uma cena, o que é uma medida do albedo refletido das partes iluminadas e sombreadas de todos os alvos presentes na imagem. É o equivalente a ver uma cena colorida, com uma visão em preto e branco. Assim, o valor é independente dos atributos saturação e *hue*, que são apropriadamente, os atributos da cor. Saturação (S) é o grau de diluição de uma cor pura por luz branca, e por isso é também chamada de pureza da cor. E hue (H) ou matiz define a cor espectral dominante.

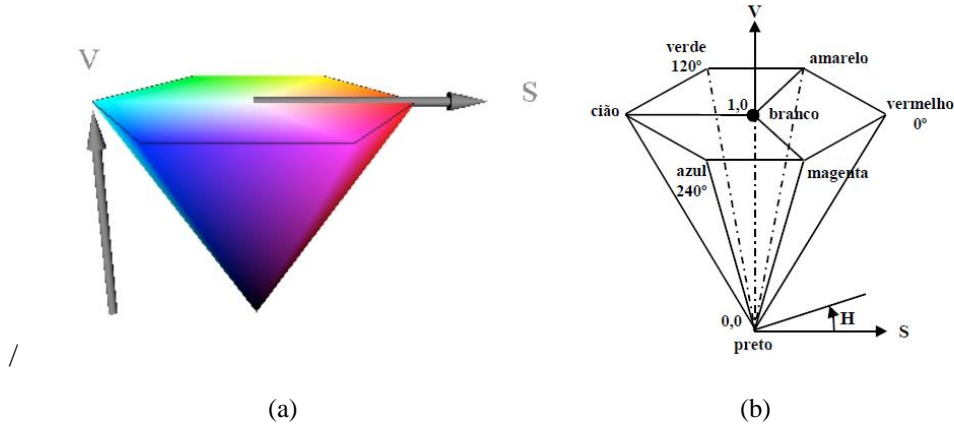
Este modelo de cor é considerado o mais próximo do sistema RGB. Ele é utilizado pelo fato de decompor a cor em sua tonalidade predominante e pureza (o que permite uma função de comparação de características baseadas em cor uma discriminação adequada de tonalidades semelhantes) e no componente brilho, que pode variar em diferentes cenas ou condições (MATOS, 2009).

SCHOWENGERT (2007), utilizando a geometria de um hexacone, descreve como se chega às medidas das coordenadas dos atributos HSV. Como este é uma transformação do

sistema RGB, a concepção da geometria do hexacone deve ser subtraída da geometria do cubo de cor. Imagine a projeção de cada subhexágono de cor, em um plano perpendicular à linha do vetor preto ao branco, como visto na Figura 3(b). Movendo-se o vértice do vetor preto ao branco, a projeção do plano resulta em uma série de hexágonos de diferentes dimensões. Essa série de hexágonos define o hexacone. No hexacone, a linha de cinza do preto ao branco define a intensidade de cada hexágono, enquanto os componentes H e S se localizam, propriamente, no hexágono. O local onde o hexacone se reduz ao valor mínimo, o valor V é zero, isso é, o hexacone é um ponto preto. À medida que aumenta a intensidade os tamanhos dos hexágonos vão aumentando, e o ponto preto caminha do cinza até atingir o seu máximo, o branco. A dimensão de cada seção transversal do hexacone determina a quantidade de matizes presentes (*Hue*). Para um ponto interno à projeção de um hexágono, com uma dada intensidade, os outros dois componentes da cor, *Hue* e Saturação, são definidos, geometricamente, na superfície do hexágono. O *Hue* é determinado pela posição do matiz em torno do hexágono, e que é calculado pela rotação do ângulo azimutal de 0° a 360°. O vermelho está em 0° graus, o amarelo em 60° graus, o verde 120° graus, o ciano em 180°, o azul em 240° graus e o magenta em 300°.

A Saturação é determinada pela distância do ponto ao centro do hexágono, e por isso, define a quantidade de branco que está associada à cor. Pontos mais distantes do centro representam matizes mais puros do que aqueles mais próximos ao centro. Saturação e valor têm valores no intervalo de 0 a 1. Para se efetuar o realce dos atributos HSV de uma forma independente, antes de voltar ao espaço RGB (transformação inversa), a componente V pode ser linearmente ampliada para realçar as áreas de baixo albedo, H é rotacionado pela escolha de um ângulo apropriado para destacar uma cor, e os valores de S podem ser linearmente reescalados, a fim de aumentar a saturação e tornar as cores mais vivas (SCHOWENGERT, 2007).

Figura 3: Modelo HSV. (a) Combinação das cores HSV visualizadas no hexacone. (b) Modelo de representação dos atributos HSV da cor por meio da geometria do hexacone.



Fonte: Adaptado de SCHOWENGERT, 2007.

A conversão de RGB para HSV é dada partindo do princípio que é possível transformar qualquer imagem do espaço de cor RGB para uma imagem no espaço de cor HSV aplicando as seguintes regras: as cores nos modelos HSV são obtidas a partir das informações RGB com respeito aos valores normalizados do vermelho (r), verde (g) e azul (b), dadas pelas equações (2), (3) e (4):

$$r = \frac{R}{255} \quad (2)$$

$$g = \frac{G}{255} \quad (3)$$

$$b = \frac{B}{255} \quad (4)$$

Onde: R , G e B representam as cores vermelha, verde e azul respectivamente.

Após obter os canais r , g e b normalizados, as equações abaixo são utilizadas para o cálculo do H (tonalidade), S (saturação) e I (brilho).

$$H = \tan^{-1} \frac{\sqrt{(r-g)(r-b)}}{\sqrt{(r-g)^2 + (r-g)(r-b)}} \quad (5)$$

$$S = 1 - \frac{3}{r+g+b} \times \min(r, g, b) \quad (6)$$

$$V = \frac{(r+g+b)}{3} \quad (7)$$

De acordo com MATOS (2009), a vantagem de se trabalhar com essa representação de cor encontra-se na possibilidade de separar a intensidade da informação, tonalidade e saturação, bem como, na relação que existe entre essas componentes, muito próxima da forma na qual o homem percebe a cor.

A transformação de HSV para RGB pode ser realizada com as equações seguintes:

$$R = V \left[1 + \frac{S \times \cos H}{\cos(60^\circ - H)} \right] \quad (8)$$

$$G = 1 - (R + B) \quad (9)$$

$$B = V(1 - S) \quad (10)$$

3.1.3 OUTROS ESPAÇOS DE CORES

O modelo CMY é baseado nos pigmentos primários ciano, magenta e amarelo. A maioria dos dispositivos que opera sob o princípio da deposição de pigmentos coloridos em papel (como impressoras ou fotocopiadoras coloridas, por exemplo) requer uma conversão interna do formato RGB para o formato CMY (MARQUES FILHO, 2011). Esta conversão é simples e consiste na equação (11):

$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 255 \\ 255 \\ 255 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (11)$$

Onde:

R, G e B são normalizados: $0 \leq R \leq 255$; $0 \leq G \leq 255$; $0 \leq B \leq 255$;

C: refere-se a cor ciano;

M: refere-se a cor magenta;

Y: refere-se a cor amarela.

Todos os valores envolvidos estão normalizados no intervalo $[0, 1]$. A equação (11) permite a dedução da relação oposta. Vale enfatizar que este modelo é de interesse prático, pois os resultados das imagens são impressos no CMY.

O modelo YIQ é utilizado no padrão *National Television System Committee* (NTSC) de televisão (TV) em cores. Basicamente, o modelo YIQ foi desenvolvido sob o princípio da dupla compatibilidade, que norteou os projetos de TV colorida para garantir a convivência entre o sistema colorido e o sistema preto e branco (P&B) já existente. A componente Y (luminância) contém a informação necessária para um receptor P&B reproduzir a imagem monocromática correspondente, enquanto as componentes I e Q codificam as informações de cromaticidade (MARQUES FILHO, 2011). A conversão de RGB para YIQ pode ser obtida pela equação (12):

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,299 & 0,587 & 0,114 \\ 0,596 & -0,275 & -0,321 \\ 0,212 & -0,523 & 0,311 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (12)$$

Onde:

Y : componente de brilho;

I e Q : componente de cromaticidade.

A principal vantagem do modelo YIQ é sua capacidade de permitir a separação entre a componente de brilho (Y) e as componentes de cromaticidade (I e Q). Uma técnica como a equalização de histograma, por exemplo, pode ser aplicada à componente Y de uma imagem colorida, com o intuito de aprimorar seu contraste sem distorcer as informações de matiz e saturação da imagem original.

O modelo CMYK é formado pelas cores ciano (C), magenta (M), amarelo (Y) e preto (K). É utilizado em dispositivos de impressão que depositam pigmentos coloridos sobre o papel, tais como impressoras à tinta. Quando a superfície é coberta com tinta ciano, nenhuma luz vermelha é refletida desta superfície. O ciano subtrai vermelho da luz branca refletida, ou seja, a soma de vermelho, verde e azul. Assim, em termos de aditivas primárias, ciano é branco menos o vermelho. De maneira similar, o magenta absorve o verde, ou seja, ele é vermelho mais azul. Uma superfície coberta com ciano e amarelo absorve vermelho e azul, refletindo apenas verde. O ciano, amarelo e magenta misturados sobre uma superfície absorvem vermelho, verde e azul e refletem, portanto, o preto (K) (BORGES, 2001).

3.2 MORFOLOGIA MATEMÁTICA

Dentre as técnicas de PDI, a MM vem se destacando, visto que em várias pesquisas realizadas foram obtidos resultados interessantes em diversas áreas do conhecimento.

A palavra morfologia pode ser compreendida como a forma e a estrutura de um objeto, ou o arranjo e as inter-relações entre as partes de um objeto. O estudo da morfologia matemática tem como objetivo descrever ou analisar a forma de uma imagem digital, permitindo a construção de operadores úteis para realizar tais objetivos PARKER (2011).

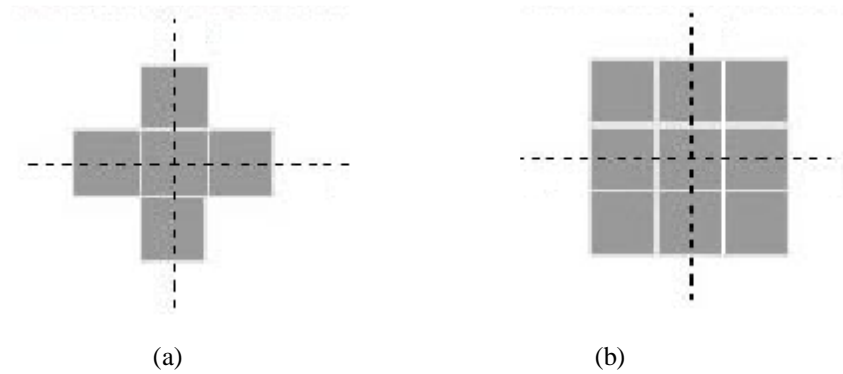
A MM é uma área relativamente recente, sua teoria foi formulada na década de 1960, ao passo que os computadores puderam torná-la prática. Inicialmente foi desenvolvida para manipular imagens binárias, e posteriormente estendida para imagens em níveis de cinza PEDRINI (2008). Seus fundamentos estão baseados na teoria dos conjuntos para representar os objetos em uma imagem. A ideia por trás da morfologia matemática é considerar que as imagens são constituídas por um conjunto de elementos, os *pixels*, que se agrupam numa estrutura bidimensional (forma) PARKER (2011).

O campo de ação da MM no processamento de imagens inclui: realce, segmentação, detecção de bordas, análise de textura, análise de partículas e compressão. Técnicas de MM vêm sendo empregadas em robótica, microscopia, Sensoriamento Remoto, imagens em medicina, biologia, metalurgia e reconhecimento automático de caracteres NASCIMENTO (2013).

A ideia básica em MM é investigar uma imagem utilizando um elemento estruturante, verificando como ele se ajusta à imagem à medida em que ele se desloca pela mesma. Elementos estruturantes são conjuntos de pixels ativos com uma origem e forma bem definidas, sendo um subconjunto da imagem original. O elemento estruturante se ajusta à região da imagem que ele está explorando, quando a sequência de pixels que o compõem é idêntica à sequência de pixels presentes em uma dada região da imagem VALERO (2010).

As figuras 4(a) e 4(b) apresentam dois exemplos de elementos estruturantes.

Figura 4: Exemplos de elementos estruturantes: (a) com conectividade 4 e (b) com conectividade 8.



Fonte: MEDEIROS (2003).

A figura 4(a) ilustra um elemento estruturante em forma de cruz, com conectividade 4, na figura 4(b) é ilustrado o elemento estruturante com forma de máscara cheia, com conectividade 8.

Segundo GONZALEZ (2011), a conectividade entre pixels é um conceito importante usado no estabelecimento das bordas de objetos e componentes de regiões em uma imagem. Para estabelecer que dois pixels são conectados, é preciso determinar se eles são, de alguma forma, adjacentes e se seus níveis de cinza satisfazem um certo critério de similaridade.

De acordo com GONZALEZ (2011), o objetivo primordial da MM é descrever quantitativamente as estruturas geométricas e funcionar como uma técnica na concepção de algoritmos na área de processamento de imagens, dispondo de ferramentas básicas, como detectores de bordas e filtros morfológicos.

3.2.1 OPERADORES BÁSICOS DA MORFOLOGIA MATEMÁTICA

Os dois operadores básicos que constituem os pilares da MM binária são a erosão e a dilatação. Vale mencionar que podemos encontrar um grande número de outros operadores definidos a partir da erosão e da dilatação, como por exemplo as bordas internas e externas de um determinado objeto na imagem e o gradiente morfológico.

A erosão é uma operação morfológica resultante da translação de um elemento estruturante ao longo da imagem, marcando os pontos nos quais a origem do elemento estruturante se ajusta à imagem. A origem do elemento estruturante define a região da imagem que deverá ser desativada, ou não, após cada operação morfológica.

Definição 1. A erosão segundo SOILLE (2004), de um conjunto X pelo elemento estruturante B é dada por:

$$\varepsilon_B(X) = \{x \mid B_x \subseteq X\} \quad (13)$$

onde:

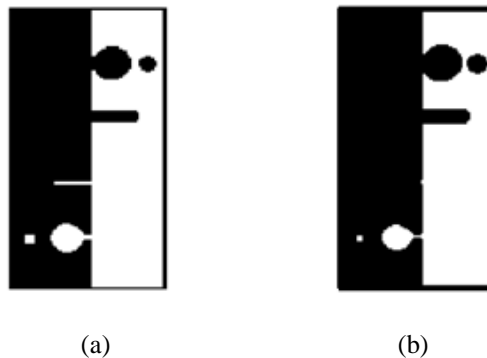
ε representa a erosão;

B é o elemento estruturante;

B_x é o elemento estruturante centrado no pixel $x \in X$;

O resultado visual da imagem binária erodida apresenta-se com redução dos padrões claros e o alargamento das regiões escuras, sabendo-se que essas regiões são referentes aos pixels. Esses efeitos podem ser observados na figura 5, onde foi realizada a aplicação do operador erosão binária com elemento estruturante de tamanho 3x3, em forma de cruz, com origem no centro físico do elemento.

Figura 5: Resultado da aplicação da operação de erosão binária.
(a) Imagem binária. (b) Imagem binária erodida.



Fonte: MEDEIROS (2003).

Em geral, o resultado desse operador apresenta os efeitos:

- Diminuição dos objetos da imagem;
- Eliminação de objetos com tamanho inferior ao tamanho do elemento estruturante;
- Aumento dos buracos;
- Permite a separação de objetos próximos.

Definição 2. Segundo SOILLE (2004), a dilatação de um conjunto X pelo elemento estruturante B é dada por:

$$\delta_B(X) = \{x \mid B_x \cap X \neq \emptyset\} \quad (14)$$

onde:

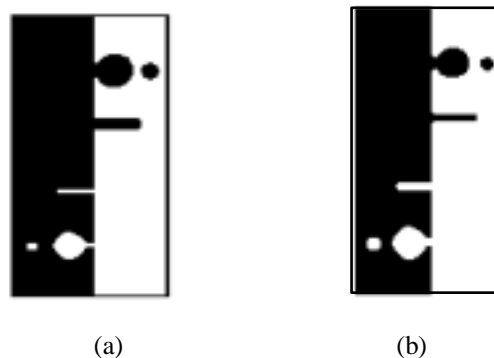
δ representa a dilatação;

B é o elemento estruturante;

B_x é o elemento estruturante centrado no pixel $x \in X$.

O resultado visual da imagem binária dilatada apresenta-se com diminuições dos padrões escuros e alargamento nas regiões claras, sabendo-se que essas regiões são referentes aos pixels. A figura 6 ilustra a aplicação do operador dilatação binária com elemento estruturante de tamanho 3x3, em forma de cruz com origem no centro físico do elemento.

Figura 6: Resultado da aplicação da operação de dilatação binária.
(a) Imagem binária. (b) Imagem binária dilatada.



Fonte: MEDEIROS (2003).

O resultado desse operador possui os seguintes efeitos:

- Aumentar os objetos da imagem;
- Preencher pequenos buracos;
- Conectar objetos próximos;

As imagens utilizadas em aplicações com operadores morfológicos são imagens binárias ou em níveis de cinza. Em sequência serão apresentados alguns dos operadores morfológicos em abordagem de níveis de cinza.

Definição 3. De acordo com SOILLE (2004), a erosão de f por um elemento estruturante B é definida como:

$$[\varepsilon_B(f)](x) = \min_{b \in B} \{f(x + b) - B(b)\} \quad (15)$$

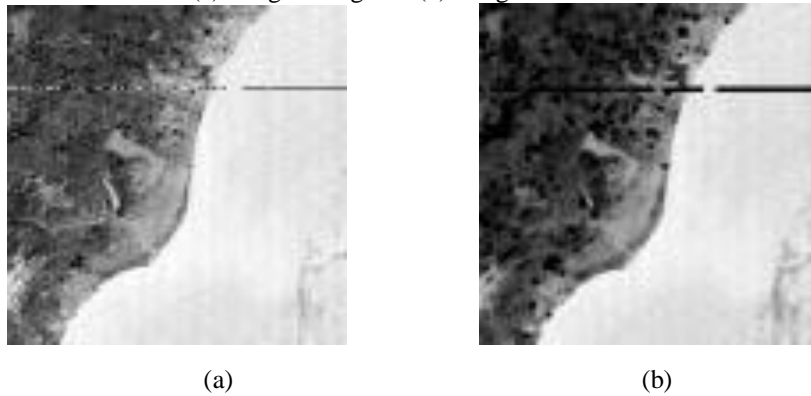
A erosão em níveis de cinza de f pelo elemento estruturante B , consiste em verificar se o elemento estruturante centrado em x , encontra-se abaixo do sinal f , não sendo definida em um ponto onde o elemento estruturante estiver acima do sinal f , ou seja, não haverá resposta se o elemento estruturante B não estiver contido na função f .

De modo geral, os efeitos da erosão em níveis de cinza são:

- Escurecer a imagem;
- Alargar e aumentar os padrões escuros;
- Conectar padrões escuros próximos;
- Reduzir e, às vezes, eliminar padrões claros;
- Separar padrões claros próximos;

O resultado visual da imagem erodida em níveis de cinza apresenta-se com redução dos padrões claros e o alargamento das regiões escuras. As figuras 7(a) e 7(b) ilustram respectivamente, a imagem original e a aplicação do operador erosão em níveis de cinza com elemento estruturante de tamanho 3x3, máscara cheia com origem no centro físico do elemento.

Figura 7: Resultado da erosão em níveis de cinza com elemento estruturante máscara cheia 3x3.
(a) Imagem original. (b) Imagem erodida.



Fonte: CANDEIAS (1997).

Definição 4. De acordo com SOILLE (2004), a dilatação de uma imagem em tons de cinza por um elemento estruturante é definida como:

$$[\delta_B(f)](x) = \max_{b \in B} f(x + b) \quad (16)$$

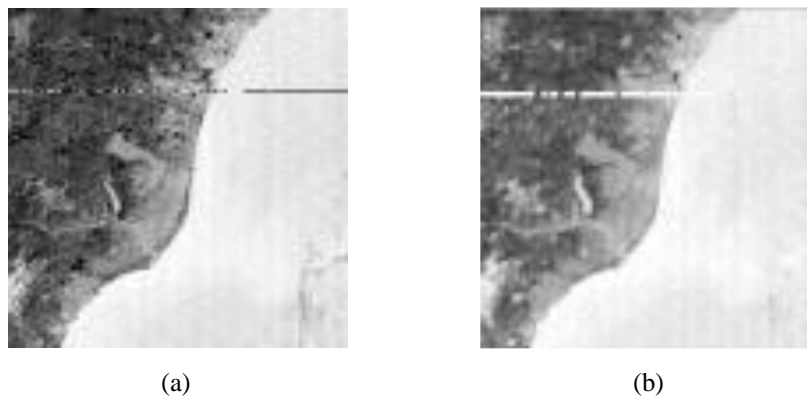
A dilatação em níveis de cinza de f pelo elemento estruturante B , consiste em verificar se o elemento estruturante centrado em x , encontra-se acima da função f , não sendo definida em um ponto onde o elemento estruturante estiver abaixo do sinal f , ou seja, a operação não terá resposta quando o elemento estiver totalmente fora da função f .

De modo geral, os efeitos da dilatação em níveis de cinza são:

- Clarear a imagem;
- Alargar e aumentar os picos (padrões claros);
- Conectar picos (padrões claros) próximos;
- Reduzir e, as vezes eliminar vales (padrões escuros);
- Separar vales próximos;

O resultado visual da imagem dilatada em níveis de cinza apresenta-se com diminuição dos vales e alargamento nas regiões claras. As figuras 8(a) e 8(b) ilustram respectivamente, a imagem original e a aplicação do operador dilatação em níveis de cinza com elemento estruturante de tamanho 3x3, máscara cheia com origem no centro físico do elemento.

Figura 8: Resultado da dilatação em níveis de cinza com elemento estruturante máscara cheia, 3x3.
(a) Imagem original. (b) Imagem dilatada.



Fonte: CANDEIAS (1997).

Em MEDEIROS (2003), menciona-se que os operadores dilatação e erosão morfológicos são transformações que nem sempre evidenciam características das imagens quando aplicados isoladamente. De qualquer forma, permitem construir algumas funções muito interessantes, como por exemplo, o gradiente morfológico, fechamento, abertura, segmentação, etc.

Outro exemplo significativo, podemos também ver em CANDEIAS *et al.* (2013), onde exprime com outras palavras que a dilatação $\delta_B(X)$ avalia máximos locais, enquanto a erosão $\varepsilon_B(X)$, mínimos locais. Supondo que X seja uma imagem em níveis de cinza, tem-se como efeito da dilatação uma imagem borrada e mais clara e na erosão uma imagem borrada e mais escura, ver figura 9.

Figura 9: Operadores Básicos da MM sobre a imagem em níveis de cinza X .

(a) Imagem em níveis de cinza X . (b) Dilatação $\delta_B(X)$. (c) Erosão $\varepsilon_B(X)$.



Fonte: CANDEIAS *et al.* (2013).

As Equações (17), (18) e (19) mostram matematicamente as bordas interna, externa e o gradiente. São três possibilidades de gerar contornos e isso pode ser uma vantagem na extração de feições para aplicações Cartográficas. Maiores detalhes ver em (CANDEIAS *et al.*, 2013) e em CANDEIAS (1997).

a) Borda interna

A borda interna de X supondo um elemento estruturante B é definida por:

$$f = X - \varepsilon_B(X) \quad (17)$$

b) Borda externa

A borda externa de X supondo um elemento estruturante B é definida por:

$$f = \delta_B(X) - X \quad (18)$$

c) Gradiente

A partir dos operadores básicos da MM (erosão e dilatação), SOILLE (2004), define o gradiente morfológico por dilatação e erosão como a diferença aritmética entre a dilatação e erosão de uma imagem f por um elemento estruturante B :

$$\rho(f) = \delta_B(f) - \varepsilon_B(f) \quad (19)$$

Onde:

ρ representa o gradiente por dilatação e erosão;

δ_B é a dilatação pelo elemento estruturante B ;

ε_B é a erosão pelo elemento estruturante B .

O gradiente morfológico é invariante à operação de complementação, sendo, portanto, uma transformação auto complementar.

Geralmente o primeiro passo em análise de imagens é a segmentação da imagem. A segmentação subdivide uma imagem em suas partes ou objetos constituintes. O nível dessa subdivisão deve ser realizado dependendo do objetivo que se quer alcançar. Ou seja, a segmentação deve parar quando os objetos de interesse forem isolados (GONZALEZ, 2011).

3.3 ESTADO DA ARTE SOBRE REPRESENTAÇÃO DO ESPAÇO DE CORES E MORFOLOGIA MATEMÁTICA

Neste tópico serão abordadas pesquisas realizadas referentes ao assunto sobre a representação do espaço de cores e a morfologia matemática (Tabela 1).

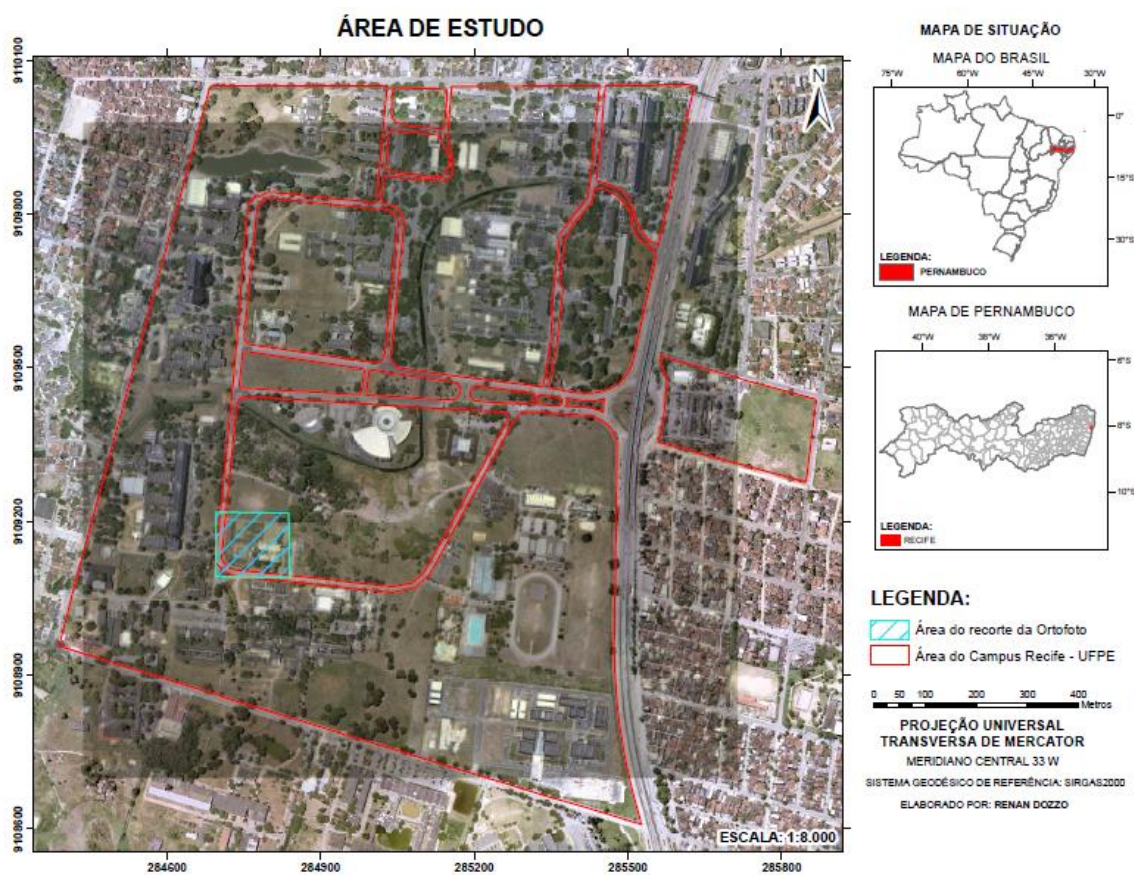
Tabela 1: Pesquisas sobre a representação do espaço de cores e a morfologia matemática.

Trabalho	Metodologia	Resultados
Aplicação da Morfologia Matemática na extração automática de curva de nível de carta topográfica (CANDEIAS, 1996)	<ul style="list-style-type: none"> • Digitalização da carta topográfica por meio de um scanner; • Binarização das Bandas R, G e B; • Extração das isolinhas com Cota; • Eliminação das cotas; • Vetorização e SIG; 	Imagem de isolinhas extraídas a partir de uma carta topográfica, onde as linhas já se encontram devidamente cotadas, permitindo-a a manipulação da mesma para vários fins.
<i>Mathematical morphology in color spaces applied to the analysis of cartographic images</i> (ANGULO, 2005)	<ul style="list-style-type: none"> • Análise de imagens coloridas, oriundas da cartografia, baseadas em operadores da morfologia matemática; • Discussão sobre a extensão do gradiente e as noções <i>top-hat</i> para o espaço de cores IHS; • Análise dos operadores morfológicos que podem ser utilizados para o particionamento hierárquico de imagens em regiões homogêneas e para os detalhes extraídos; 	Foi demonstrado nos exemplos de imagens preliminares que a abordagem proposta é capaz de alcançar bons resultados de segmentação, proporcionando algoritmos robustos e reprodutíveis (muito poucos parâmetros para definir).
<i>Mathematical Morphology in the HLS Colour Space</i> (HANBURY, 2003)	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolvimento de um algoritmo para analisar retinas imunocoradas; • Foi introduzido uma extensão dos operadores da morfologia matemática clássica, que foi a segmentação de imagens multiespectrais; • Utilização de um método para a morfologia matemática vetorial no espaço de cores HSV, detalhando a transformação geodésica de cor; 	A programação desenvolvida promoveu a melhora no que se diz respeito ao reconhecimento automático de imagens em biologia celular, através da utilização da extensão numérico da geodésia para imagens coloridas.
<i>Colour Mathematical Morphology For Neural Image Analysis</i> (ORTIZ, 2002)	<ul style="list-style-type: none"> • Ordenar matizes que requerem a escolha de uma origem; • Discussão sobre algumas ordens do vetor lexicográficas no espaço de cores IHS, incluindo um novo método de usar os valores de saturação para ponderar os valores de matiz; 	Operadores com base na ordem lexicográfica com luminância na primeira posição são os melhores em preservar os contornos dos objetos da imagem. Quando os objetos de interesse são altamente coloridos em um fundo acinzentado, os operadores com saturação em primeira posição deve ser o melhor.

4 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo abrange o Campus Joaquim Amazonas, localizada na capital pernambucana (Recife), da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). A figura 10 apresenta a localização geográfica da área de estudo, mostrando a área abrangente da imagem de alta resolução de uma ORTOFOTO utilizada.

Figura 10: Localização geográfica da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2016).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse capítulo serão relatados os materiais e métodos utilizados ao decorrer desse trabalho, evidenciando também em um fluxograma os procedimentos metodológicos.

5.1 MATERIAIS

Os materiais e recursos utilizados nessa dissertação foram: os *softwares* MATLAB R2015a e o ArcGIS 10, e a ORTOFOTO (resolução espacial de 8 cm da folha de articulação 80-49-00 do voo de 2013), ver Figura 11.

Figura 11: Recorte de ORTOFOTO (articulação 80-49-00 do voo de 2013).



Fonte: Prefeitura do Recife.

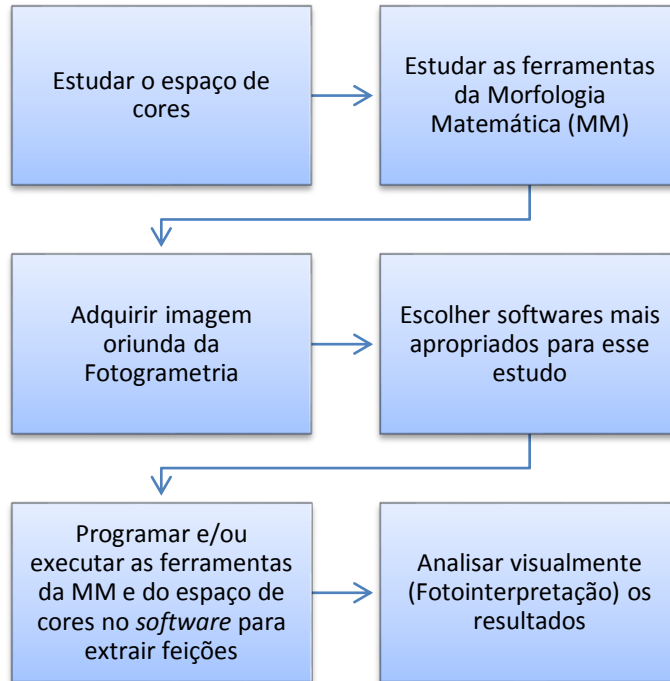
5.2 MÉTODOS

Nessa seção serão expostos os procedimentos metodológicos a serem implementados, assim como os recursos que serão utilizados na execução do trabalho, a implementação desses procedimentos para obtenção dos resultados.

5.2.1 PROCEDIMENTOS METODOLOGICOS

A seguir será apresentado o fluxograma referente a essa investigação.

Figura 12: Fluxograma referente a esse estudo.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2016).

5.2.2 MODELAGEM A SER APLICADA SOBRE MORFOLOGIA MATEMÁTICA E ESPAÇO DAS CORES RGB

No modelo RGB temos a representação de todas as cores, possuindo uma vantagem relevante devido a sua simplicidade, pois ele permite um controle direto sobre o dispositivo gráfico e necessita o mínimo de processamento.

A seguir temos um exemplo para o caso de extração de objetos avermelhados. Isto pode ser feito também para os objetos azulados e esverdeados. Sabendo-se que a extração para objetos com outras cores segue o mesmo raciocínio modificando apenas alguns parâmetros.

Então, supondo a extração de bordas de objetos avermelhados de imagem colorida f . Define-se:

$$R(i, j) = f(i, j, 1) \quad (20)$$

$$G(i, j) = f(i, j, 2) \quad (21)$$

$$B(i, j) = f(i, j, 3) \quad (22)$$

Onde: $(i, j) \subseteq \Omega$; $f: \Omega \rightarrow \mathbb{R}^3$; $f = (R, G, B)$;

R, G e B são as bandas do modelo RGB;

f_1 é a imagem binária onde objetos avermelhados são iguais a 255 e com outras cores igual a zero, segundo a regra abaixo:

$$f_1(i, j) = \begin{cases} 255, \max\{R(i, j), G(i, j), B(i, j)\} = R(i, j) \\ 0, C.C. \end{cases} \quad (23)$$

Deseja-se obter uma imagem f_2 a partir de f_1 e de R que apresente apenas os objetos avermelhados com os seus níveis de cinza originais. Logo, tem-se que:

$$f_2(i, j) = \frac{1}{255} f_1(i, j) R(i, j), \quad \forall (i, j) \subseteq \Omega \quad (24)$$

A partir de f_2 , pode-se detectar os objetos com cor avermelhadas fracos, médios e fortes. Dividindo 255 por 3, obtém-se o valor $l = 85$ que será o limiar. Portanto:

$$f_{31}(i, j) = \begin{cases} 255, f_2(i, j) \leq l \\ 0, C.C. \end{cases} \quad (25)$$

$$f_{32}(i, j) = \begin{cases} 255, l < f_2(i, j) < 2l \\ 0, C.C. \end{cases} \quad (26)$$

$$f_{33}(i, j) = \begin{cases} 255, f_2(i, j) \geq 2l \\ 0, C.C. \end{cases} \quad (27)$$

Onde:

f_{31} é a imagem binária do avermelhado fraco;

f_{32} é a imagem binária do avermelhado médio;

f_{33} é a imagem binária do avermelhado forte.

As imagens f_{31} , f_{32} e f_{33} representam imagens binárias que mostram os objetos avermelhados fraco, médio e forte.

Quando se utiliza a morfologia matemática para a detecção de bordas externas, interna e gradiente para f_{31} , f_{32} e f_{33} estamos sendo mais específicos com relação a extração da borda de cor avermelhada da imagem f . Neste caso, pode-se extrair bordas dos objetos avermelhados fraco, médio e forte.

Quando se utiliza a imagem f_1 estamos generalizando todos os objetos avermelhados e a borda será a união de f_{31} , f_{32} e f_{33} .

Supondo f_{31} , tem-se que a borda interna b_{i31} , borda externa b_{e31} e o gradiente b_{g31} dos avermelhados fracos serão dados por:

$$b_{i31} = f_{31} - \varepsilon_B(f_{31}) \quad (28)$$

$$b_{e31} = \delta_B(f_{31}) - f_{31} \quad (29)$$

$$b_{g31} = \delta_B(f_{31}) - \varepsilon_B(f_{31}) \quad (30)$$

Onde:

B é o quadrado 3×3 .

Supondo f_{32} , tem-se que a borda interna b_{i32} , borda externa b_{e32} e o gradiente b_{g32} dos avermelhados médios serão dados por:

$$b_{i32} = f_{32} - \varepsilon_B(f_{32}) \quad (31)$$

$$b_{e32} = \delta_B(f_{32}) - f_{32} \quad (32)$$

$$b_{g32} = \delta_B(f_{32}) - \varepsilon_B(f_{32}) \quad (33)$$

Onde:

B é o quadrado 3×3 .

Supondo f_{33} , tem-se que a borda interna b_{i33} , borda externa b_{e33} e o gradiente b_{g33} dos avermelhados fortes serão dados por:

$$b_{i33} = f_{33} - \varepsilon_B(f_{33}) \quad (34)$$

$$b_{e33} = \delta_B(f_{33}) - f_{33} \quad (35)$$

$$b_{g33} = \delta_B(f_{33}) - \varepsilon_B(f_{33}) \quad (36)$$

Onde:

B é o quadrado 3×3 .

Utilizando-se f_1 , obtém-se a borda interna, externa e o gradiente dos avermelhados dados por:

$$b_i = f_1 - \varepsilon_B(f_1) \quad (37)$$

$$b_e = \delta_B(f_1) - f_1 \quad (38)$$

$$b_g = \delta_B(f_1) - \varepsilon_B(f_1) \quad (39)$$

Mas,

$$f_1 = f_{31} + f_{32} + f_{33} \quad (40)$$

Portanto, substituindo a equação anterior em b_i , b_e e b_g tem-se:

Para b_i :

$$b_i = f_{31} + f_{32} + f_{33} - \varepsilon_B(f_{31} + f_{32} + f_{33}) \quad (41)$$

$$b_i = f_{31} - \varepsilon_B(f_{31}) + f_{32} - \varepsilon_B(f_{32}) + f_{33} - \varepsilon_B(f_{33}) \quad (42)$$

$$b_i = b_{i31} + b_{i32} + b_{i33} \quad (43)$$

Da mesma forma tem-se para b_e :

$$b_e = b_{e31} + b_{e32} + b_{e33} \quad (44)$$

E finalmente tem-se para o b_g :

$$b_g = b_{g31} + b_{g32} + b_{g33} \quad (45)$$

5.2.3 MODELAGEM A SER APLICADA SOBRE MORFOLOGIA MATEMÁTICA E ESPAÇO DAS CORES HSV

Para o modelo HSV utiliza-se o que foi mostrado na seção 3.1.2 para extração dos objetos quanto o seu matiz (H), saturação (S) e valor (V), observando os intervalos nessa representação. A programação do Apêndice D exemplifica a extração usando intervalos na representação HSV. A Tabela 2 apresenta uma exemplificação de como ficam as cores para os objetos avermelhados. Para as outras cores, tem-se que apenas adaptar os resultados vistos na Seção 3.1.2.

Tabela 2: Exemplificação para os objetos avermelhados no modelo HSV.

H	S	V	Cor	Extração dos tons de cinza na imagem	Extração dos objetos vermelhos claros	Extração dos objetos vermelhos escuros
0	0	0	Preto	Tons de cinza		
0	0	128	Cinza	Tons de cinza		
0	0	255	Branco	Tons de cinza	Branco para o vermelho	
0	85	255	Rosa claro		Branco para o vermelho	
0	128	255	Rosa médio		Branco para o vermelho	
0	255	255	Vermelho		Branco para o vermelho	Vermelho para o preto
0	255	128	Vermelho escuro			Vermelho para o preto
0	255	85	Vermelho mais escuro			Vermelho para o preto
0	255	0	Preto			Vermelho para o preto

Fonte: Elaborado pelo Autor (2016).

A modelagem usada é mostrada nos passos abaixo (ver também o Apêndice D e Figura 3), para obter os verdes. Para se obter as outras cores é feito algo similar ao que é mostrado abaixo.

$$H \Rightarrow l_1 = 21 \text{ e } l_2 = 171 \quad (46)$$

Onde:

H é a matiz;

l_1 é o primeiro limiar referente a matiz;

l_2 é o segundo limiar referente a matiz.

Isto foi usado porque tem-se resposta espectral de diversos tipos de vegetação, vegetação seca, vegetação com solo, vegetação com sombra (foi necessário abranger tons avermelhados até azulados).

Portanto, usou-se:

$$l_1 \leq H(i, j) \leq l_2 \quad (47)$$

$$S \Rightarrow l_3 = 50 \quad (48)$$

Onde:

S é a saturação;

l_3 é o limiar referente a saturação.

Quanto menor o valor de S , mais claro são os tons obtidos. No caso tem-se valores de verdes médios a tons mais escuros.

Portanto, usou-se:

$$S(i, j) > l_3 \quad (49)$$

Regra usada para extração de objeto pela cor:

$$G(i, j) = \begin{cases} 255, & l_1 \leq H(i, j) \leq l_2 \text{ and } S(i, j) \geq l_3 \\ 0, & C.C. \end{cases} \quad (50)$$

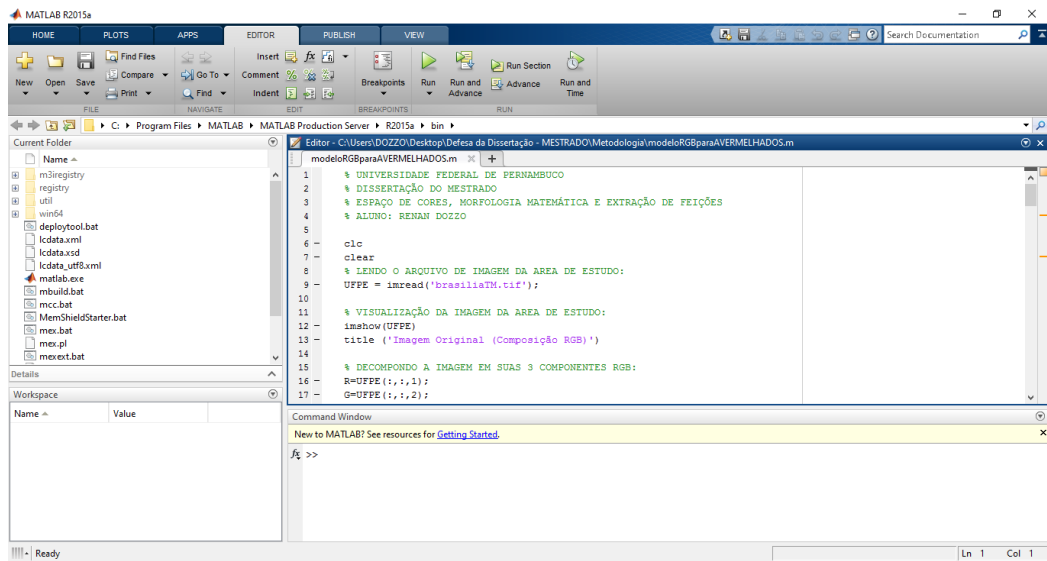
Para as modelagens citadas nas seções 5.2.2 e 5.2.3 foram utilizados elementos estruturantes de matrizes quadradas de ordem 3 ($B_{3 \times 3}$), de ordem 5 ($B_{5 \times 5}$) e de ordem 7 ($B_{7 \times 7}$) que estão explicitadas abaixo.

$$B_{3 \times 3} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}; B_{5 \times 5} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}; B_{7 \times 7} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (51)$$

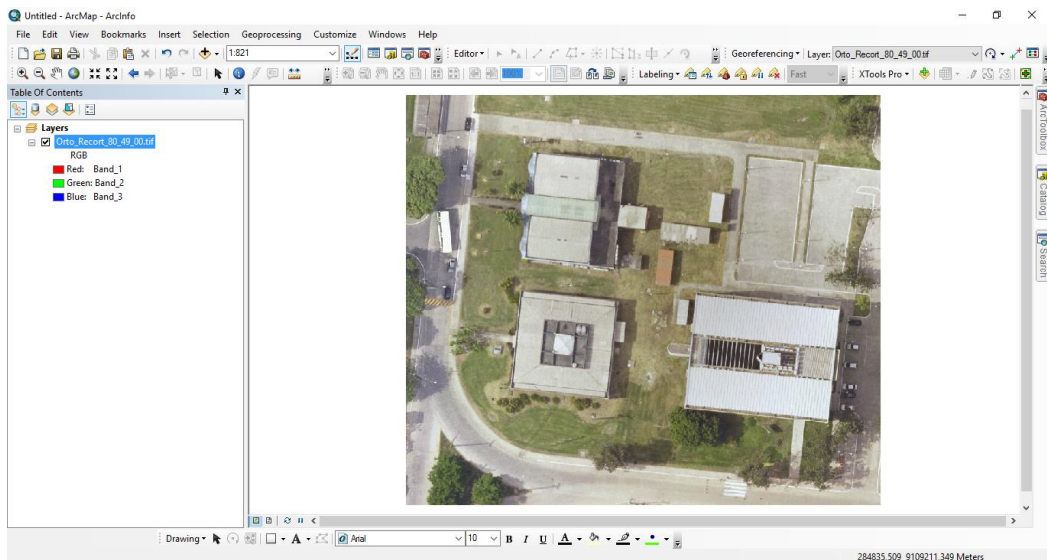
5.2.4 PROCEDIMENTOS REALIZADOS PARA AS MODELAGENS NOS *SOFTWARES*

O *software* MATLAB R2015a (Figura 13) foi usado para a implementação das modelagens que foram aplicadas sobre a MM e os espaços de cores RGB e o HSV. Neste ambiente, realizou-se o trabalho com imagens, onde, fez-se a leitura de um arquivo de imagem, decompondo-o em bandas e por fim aplicando-se as equações e condições necessárias que foram expostas nas seções 5.2.2 e 5.2.3 para que se pudesse gerar as imagens finais para as análises. Nos Apêndices A, B, C e D estão todas as programações feitas no *software*.

Com as imagens geradas pelo *software* MATLAB R2015a, utilizou-se o programa ArcGIS 10 (Figura 14) para converter os dados raster obtidos em dados vetoriais. Com isso, pôde-se obter por meio das bordas geradas os polígonos das feições de alguns objetos existentes naquela área da imagem. O ArcGIS 10 também foi utilizado para a vetorização dos mesmos objetos obtidos na modelagem na imagem original, para que se pudesse fazer análises quantitativas dos resultados obtidos.

Figura 13: Software MATLAB R2015a rodando numa plataforma Windows 10 x64 bits.


Fonte: Elaborado pelo Autor (2016).

Figura 14: Software ArcGIS 10 rodando em uma plataforma Windows 10 x64 bits.


Fonte: Elaborado pelo Autor (2016).

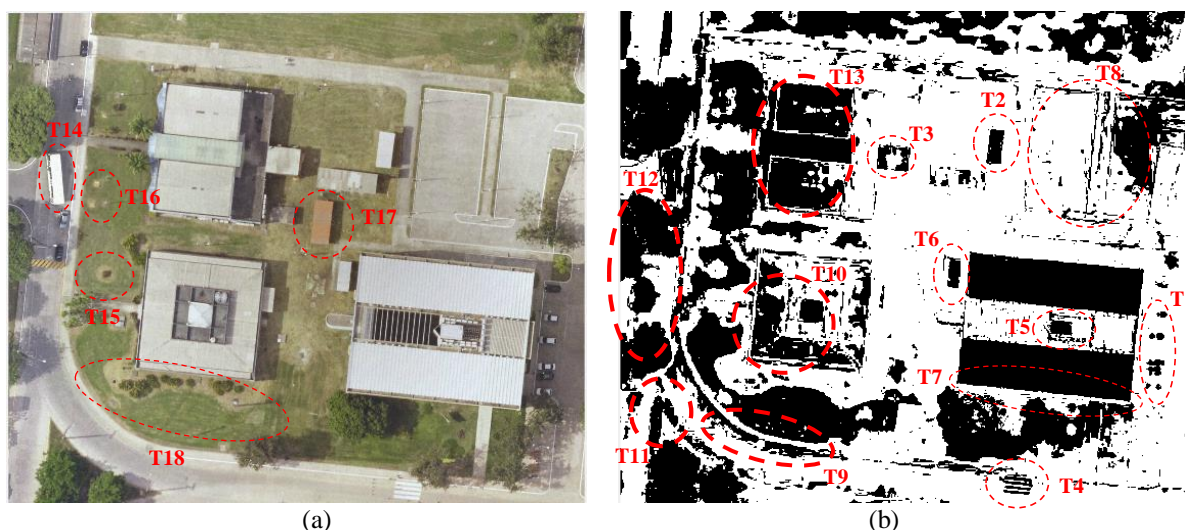
6 RESULTADOS

6.1 RESULTADOS PARA EXTRAÇÃO DE BORDAS COM RGB

A seguir tem-se resultados para extração de bordas no modelo RGB (visto na seção 5.2.2) para a ortofoto (Figuras 15 a 20). A implementação foi feita para a obtenção dos objetos avermelhados.

A Figura 15 mostra o resultado da imagem binarizada para os objetos avermelhados. Por meio de uma interpretação visual das imagens, foram marcadas algumas feições para que se pudesse descrever sobre suas respostas provenientes do processamento. Nessa figura foram selecionados os alvos de T1 até T13 para a imagem binarizada (Figura 15(b)) e T14 até T18 para a imagem original (Figura 15(a)).

Figura 15: (a) Imagem original. (b) Imagem binarizada para os objetos avermelhados.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2016).

Descreve-se a seguir essa interpretação visual. Em T17, um determinado tipo de telhado em uma edificação, percebe-se que para os objetos mais próximo do vermelho não é visível na binarização.

Os objetos que conseguiram ter uma boa separação na binarização para os avermelhados foram os dos telhados das edificações em T2, T3, T5, T6 e T7, o da quina da praça em T11, onde podemos identificar a grama e a calçada bem definidas, a da borda do gramado e a calçada

em T9, a da borda do gramado em T15, as das manchas de gramas em T16, as das faixas de pedestres em T4 e os dos carros em T1.

Em T8, as bordas do estacionamento norte e leste estão com a visibilidade parcialmente nítida, nota-se algumas imperfeições no contorno.

Na região em T12, as sombras das árvores se confundem com a copa das árvores, impossibilitando a identificação de qualquer feição. Na área próxima, podemos ver a região T14, onde contém um ônibus que pode ser visualizado na binarização de maneira parcial, pois as respostas se misturam com a sua própria sombra.

No lugar onde localiza-se o T10, verifica-se telhados formados com uma angulação. No trecho (oeste e sul) em que o telhado está voltado para o Sol, têm-se mais ou menos a borda definida da edificação.

Na edificação presente em T13, observa-se quase todo o telhado bem separados, menos uma parte do trecho sul devido a sombra. Na região oeste a esta edificação, nota-se a sombra da própria sendo representada pelos avermelhados.

No resultado da binarização para a área de T18, pode-se observar a linha de separação bem definida entre os dois gramados do jardim, isso se deve pelo fato em que esses gramados têm diferentes teores de vermelhos.

Na Figura 16, onde se tem os resultados das imagens obtidas para os avermelhados fracos, médios e fortes, percebe-se que os gramados mais altos tem teores de vermelhos fracos e os gramados mais rasteiros tem teores de vermelho médio e forte, devido ao fato da vegetação estar próximo ao nível do solo exposto. Os gramados internos entre os 3 prédios estão ressecados, portanto, estão sendo mais explicitados por ter um teor forte de vermelho, dificultando-se a obtenção de um contorno nessa área. Dividiu-se as regiões da imagem original (Figura 16(a)) em S1, S2, S3, S4 e S5. Com isso é possível comparar-se visualmente as imagens binárias das Figuras 16(b), (c) e (d).

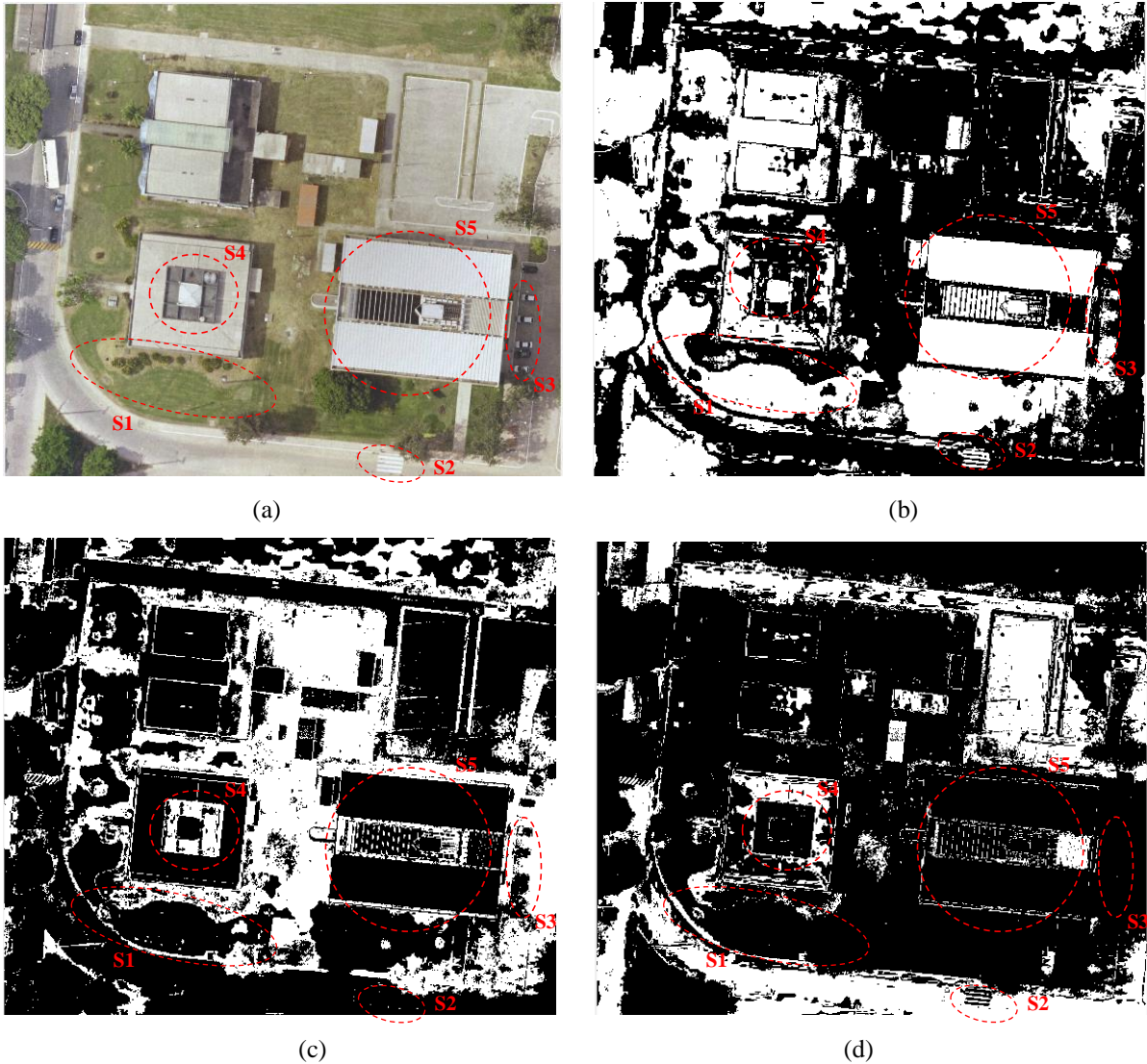
Os experimentos resultantes apresentados na Figura 16, definem os teores de vermelho e uma identificação lógica e georreferenciada dos alvos conforme o critério do tipo de cobertura (gramado, telhado, estradas, etc), sua forma, área e nível de cinza.

Na Figura 16(b) e 16(c), imagens binarizadas para os objetos avermelhados fracos e médios, os gramados estão bem separados na região S1. Os carros, localizados na região S3, como também o prédio presente na área S5, permitem uma boa definição para os seus contornos

também para essas imagens binarizadas. Além disso, pode-se identificar para esse prédio na área S5 que o seu telhado é plano e horizontal.

Na Figura 16(d), imagens binarizadas para os objetos avermelhados fortes, não se consegue distinguir as diferenças entre os gramados presentes na região S1.

Figura 16: (a) Imagens original. (b) Imagem binarizada para os objetos avermelhados fracos. (c) Imagem binarizada para os objetos avermelhados médios. (d) Imagem binarizada para os objetos avermelhados fortes.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2016).

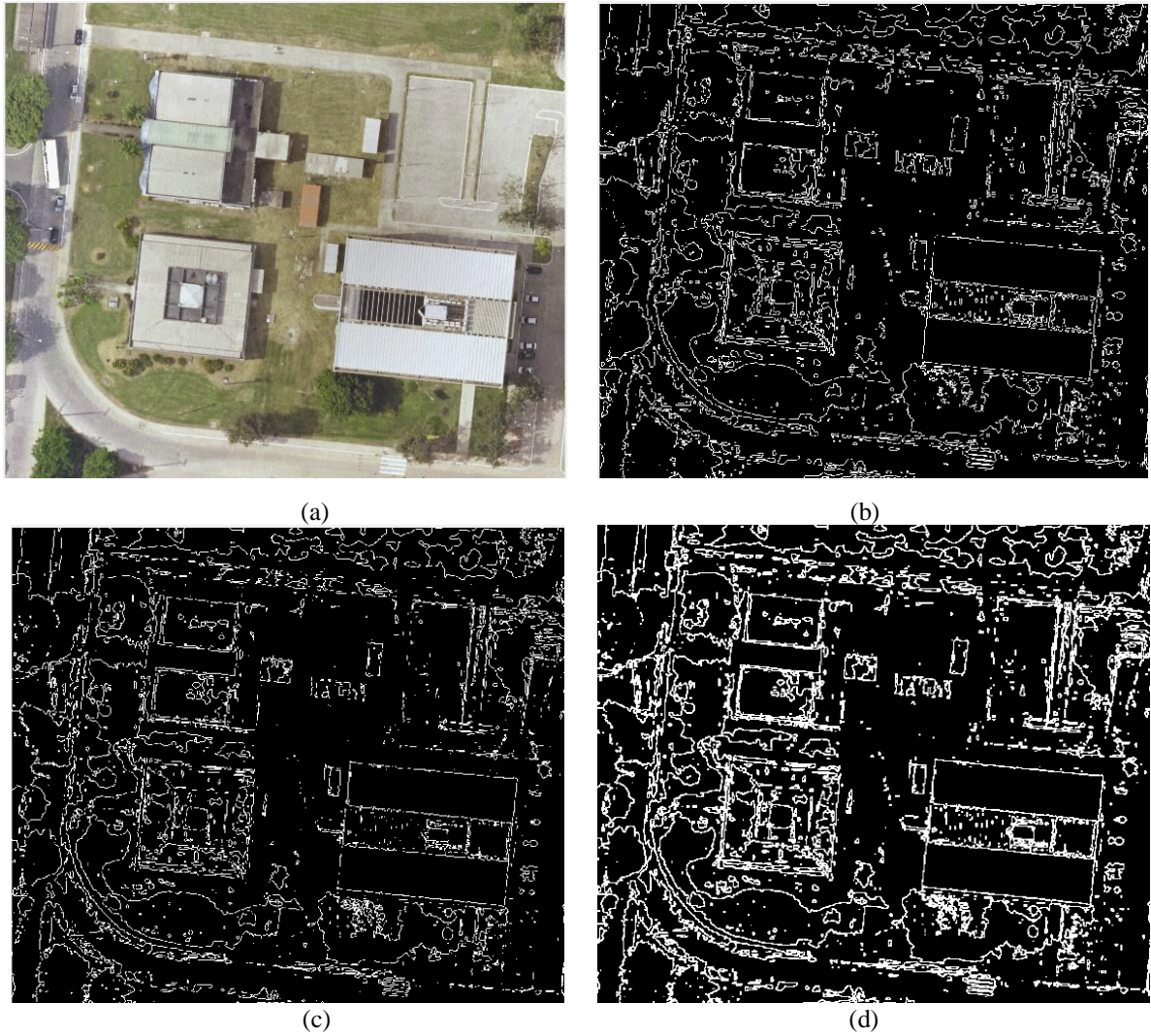
Na área S2, tem-se as faixas de pedestres que estão sendo bem representadas nas imagens binarizadas para os objetos avermelhados fracos e fortes.

Na região S4, pode-se obter uma definição melhor nas imagens binarizadas para os objetos avermelhados médios e fortes.

A imagem binarizada para os objetos avermelhados médios parece ser o negativo da imagem binarizada para os objetos avermelhados fracos, visualmente nota-se bastante semelhança. Se os acostamentos fossem gramados (curtos de manutenção) o mapeamento entre os acostamentos e as rodovias de concreto seriam facilitados. Se as bordas das rodovias de placas de concreto tiverem sinalização de tinta branca, este procedimento facilitaria muito o mapeamento de rodovias.

A Figura 17 mostra as imagens extraídas a partir de objetos avermelhados, percebe-se que em todos os casos desses resultados obtidos, temos imperfeições na extração das bordas nos objetos. Logo, fez-se necessário a análise com um elemento estruturante maior para que se pudesse corrigir essas imperfeições, pois quando se aumenta o elemento estruturante, aumenta-se a espessura da borda.

Figura 17: Imagens extraídas a partir de objetos avermelhados para um elemento estruturante B3x3. (a) Imagem original. (b) Imagem com as bordas internas. (c) Imagem com as bordas externas. (d) Imagem com o Gradiente.

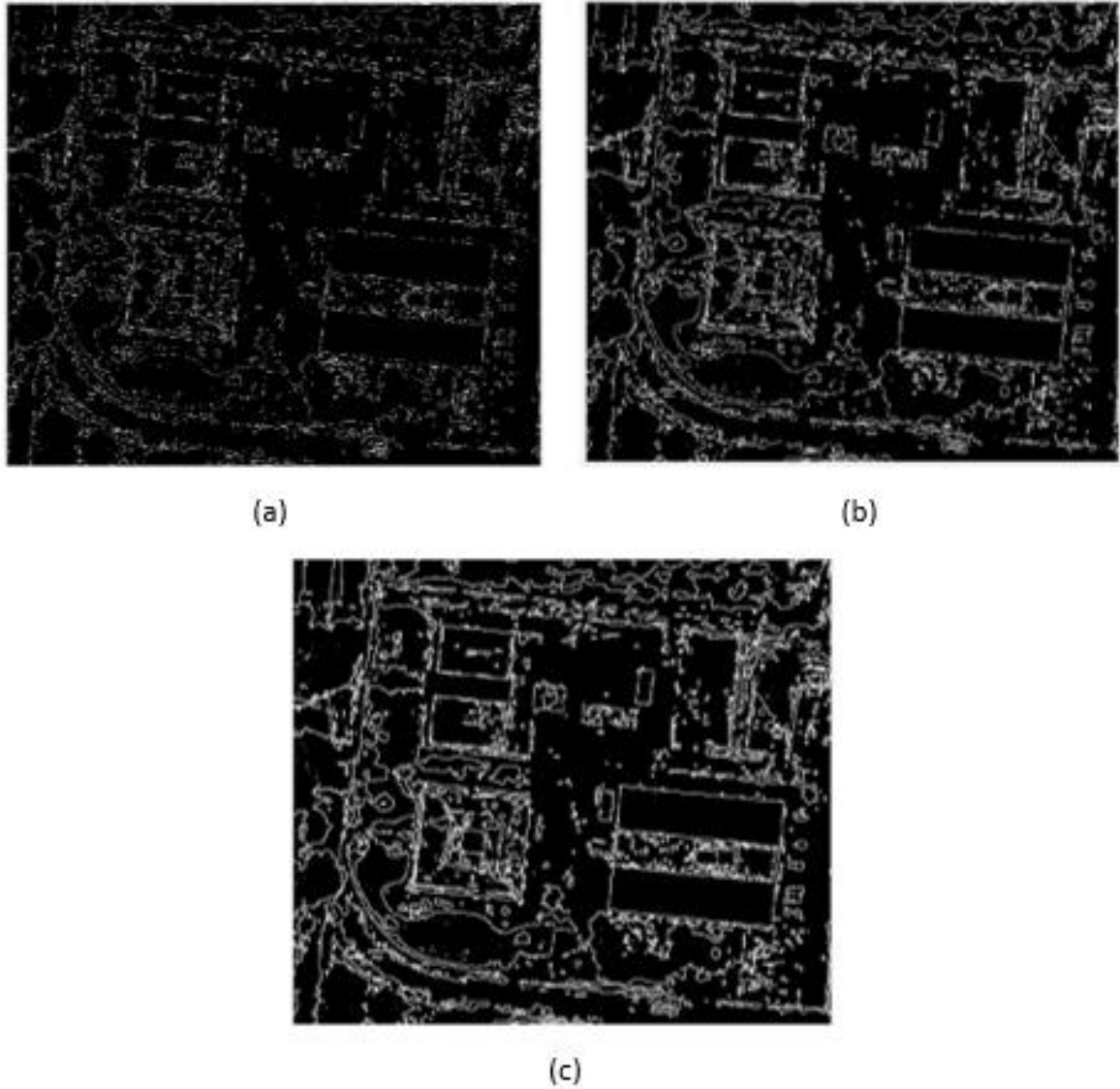


Fonte: Elaborado pelo Autor (2016).

Na Figura 18 a 20 temos os resultados das bordas internas, externas e do gradiente com elementos estruturantes distintos, são eles: $B_{3 \times 3}$, $B_{5 \times 5}$ e $B_{7 \times 7}$.

Figura 18: Resultado de bordas internas para os objetos avermelhados com elementos estruturantes diferentes.

(a) $B_{3 \times 3}$. (b) $B_{5 \times 5}$. (c) $B_{7 \times 7}$.



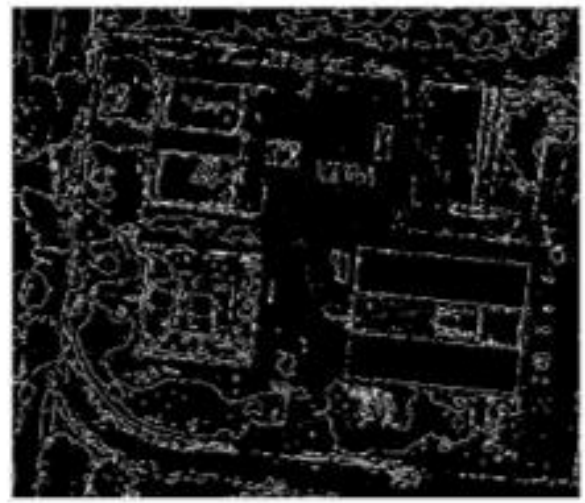
Fonte: Elaborado pelo Autor (2016).

Figura 19: Resultado de bordas externas para os objetos avermelhados com elementos estruturantes diferentes.

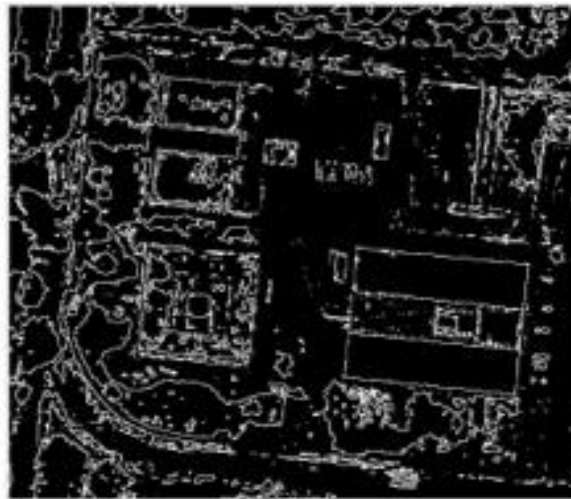
(a) $B_{3 \times 3}$. (b) $B_{5 \times 5}$. (c) $B_{7 \times 7}$.



(a)



(b)

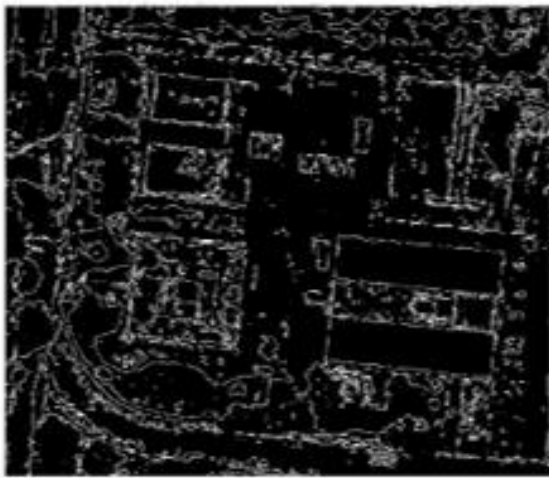


(c)

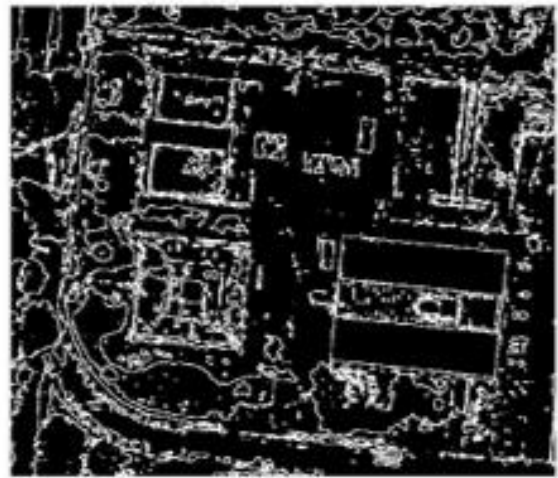
Fonte: Elaborado pelo Autor (2016).

Figura 20: Resultado do gradiente para os objetos avermelhados com elementos estruturantes diferentes.

(a) $B_{3 \times 3}$. (b) $B_{5 \times 5}$. (c) $B_{7 \times 7}$.



(a)



(b)



(c)

Fonte: Elaborado pelo Autor (2016).

Os experimentos realizados para os três casos (borda interna, borda externa e gradiente) com elementos estruturantes diferentes mostraram que houve uma melhoria na representação dos objetos na imagem, portanto, para os demais casos a seguir foram utilizados para a implementação o elemento estruturante $B_{7 \times 7}$.

A tabela 3, mostra as áreas obtidas, por meio da vetorização, do prédio localizado na região S5 da Figura 16 para as imagens: original, com as bordas internas, com as bordas externas e com o gradiente. A área que se aproximou mais com o da imagem original foi o das bordas externas, que teve uma discrepância de 1,85 m. Esse resultado era de se esperar, pois a vetorização de qualquer objeto em uma imagem é realizada a partir do contorno que divide um objeto do outro, ou seja, a vetorização é delimitada pelo contorno externo do objeto.

Tabela 3: Áreas de uma mesma feição para cada resultados obtidos.

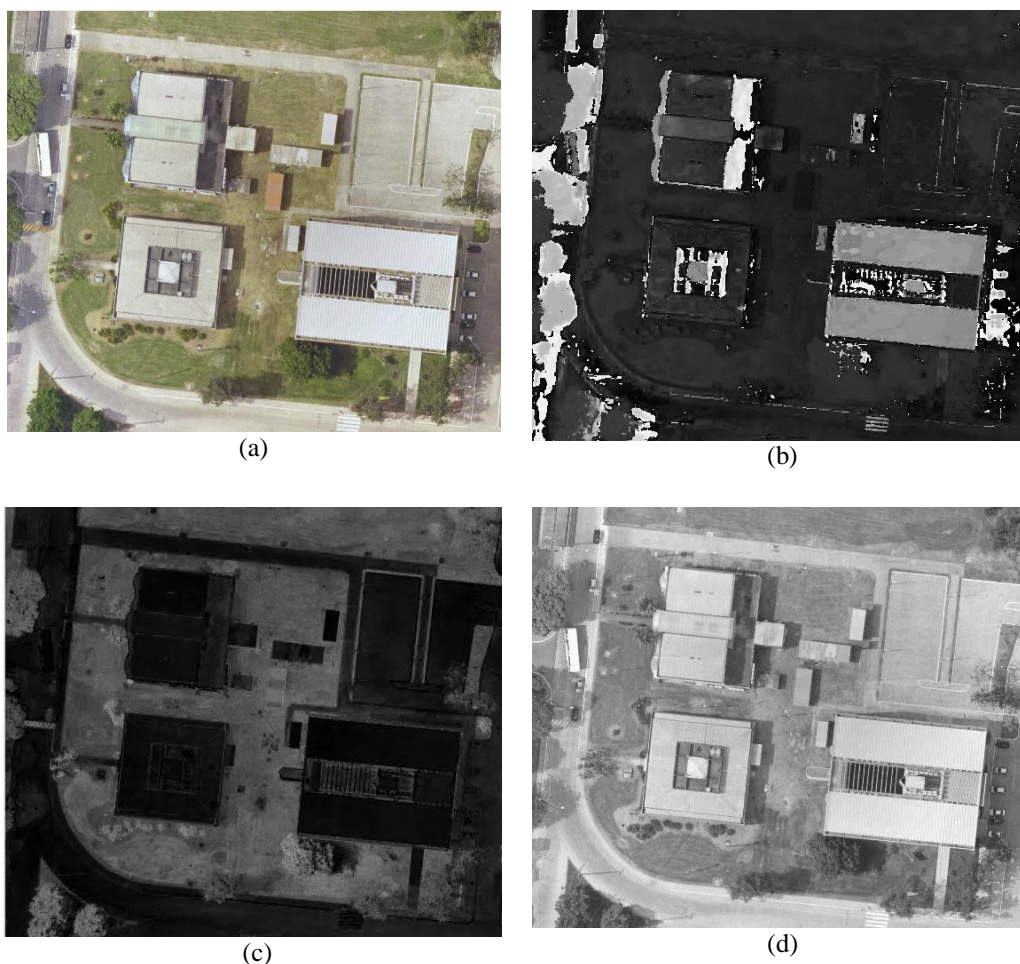
Bordas obtidas na imagem	Área (m ²)	Área na imagem original (m ²)	Discrepâncias (m ²)
Borda interna	1318,13	1282,78	35,35
Borda externa	1284,63		1,85
Gradiente	1314,01		31,23

Fonte: Elaborado pelo Autor (2016).

6.2 RESULTADOS PARA EXTRAÇÃO DE BORDAS COM HSV

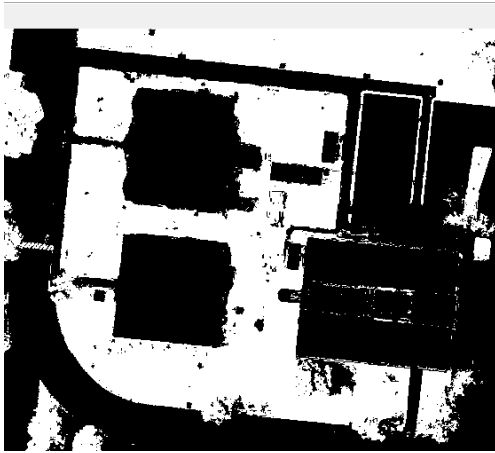
A seguir, tem-se resultados para extração de bordas no modelo HSV (visto na seção 3.1.2) para a ortofoto (Figuras 21 a 25). Observa-se que, como o tamanho do pixel é de 8 cm, um elemento estruturante maior irá gerar maior continuidade da borda (Figura 24 e 25). Este e outros resultados de extração de bordas serão comparados aos objetos vetorizados na imagem original para se analisar discrepâncias da extração dessas bordas. A programação para extração de bordas da Figura 22 é apresentado no Apêndice D.

Figura 21: Resultados da representação HSV para imagem da ortofoto. (a) Imagem no RGB. (b) Resultado da imagem para o componente H. (c) Resultado da imagem para o componente S. (d) Resultado da imagem para o componente V.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2016).

Figura 22: Resultados da representação da extração de bordas binarizando vegetação com HSV para imagem da ortofoto. (a) Imagem binária da vegetação. (b) Contorno interno da imagem binária da vegetação. (c) Contorno externo da imagem binária da vegetação. (d) Gradiente da imagem binária da vegetação.



(a)



(b)



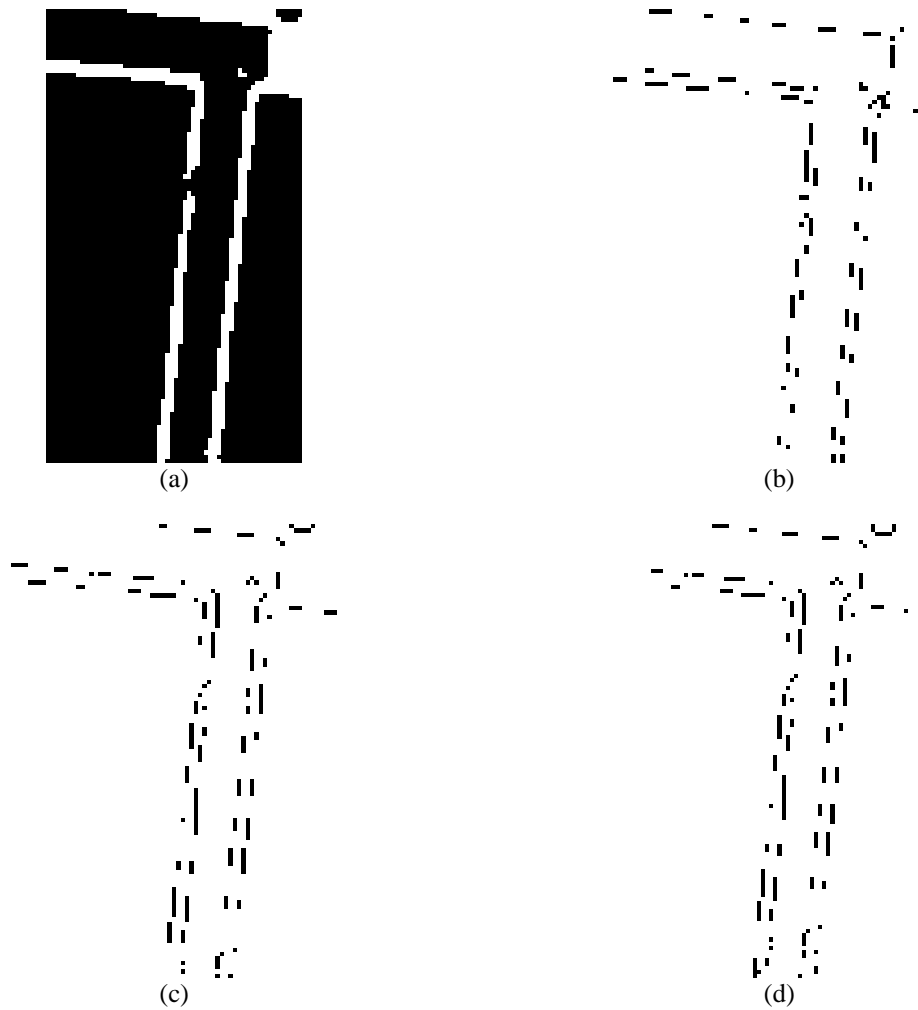
(c)



(d)

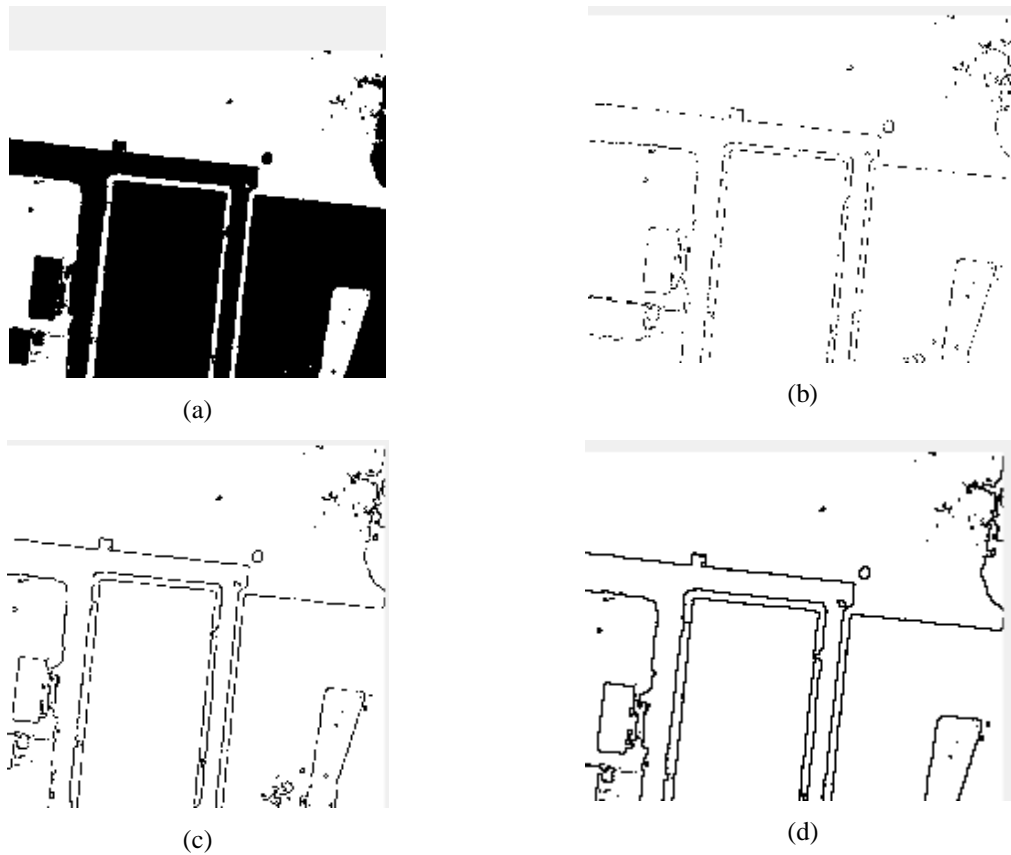
Fonte: Elaborado pelo Autor (2016).

Figura 23: Ampliação dos resultados da representação da extração de bordas apresentado na figura anterior. (a) Ampliação da imagem binária da vegetação. (b) Ampliação do contorno interno da imagem binária da vegetação. (c) Ampliação do contorno externo da imagem binária da vegetação. (d) Ampliação do gradiente da imagem binária da vegetação.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2016).

Figura 24: Ampliação dos resultados de bordas externas com elemento estruturantes diferentes. (a) Ampliação da imagem binária da vegetação. (b) Elemento estruturante $B_{3 \times 3}$. (c) Elemento estruturante $B_{5 \times 5}$. (d) Elemento estruturante $B_{7 \times 7}$.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2016).

Figura 25: Representação da extração de bordas externas binarizando vegetação com HSV para imagem da ortofoto usando $B_{7 \times 7}$. (a) Imagem original. (b) Contorno externo da imagem binária da vegetação usando $B_{7 \times 7}$.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2016).

Na Figura 25, mostra-se que detalhes como a presença de sombras dos objetos foram removidas, melhorando de forma significativa para uma análise visual.

A Figura 26 apresenta a análise visual (fotointerpretação em vermelho) de algumas feições da ortofoto e as Figuras 27, 28 e 29 mostram a superposição dessa análise as extrações da borda interna (neg_cont_interno), externa (neg_cont_externo) e gradiente (neg_cont_grad) obtidas pela programação do Apêndice D para exemplificação. A Figura 30 apresenta uma ampliação de uma parte da extração da borda das Figuras 27, 28 e 29. Observa-se que a extração de borda pelo gradiente fornece um resultado similar ao da extração visual por fotointerpretação.

Figura 26: Representação análise visual de algumas feições da ortofoto.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2016).

Figura 27: Representação da extração da borda interna com a análise visual de algumas feições da ortofoto.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2016).

Figura 28: Representação da extração da borda externa com a análise visual de algumas feições da ortofoto.



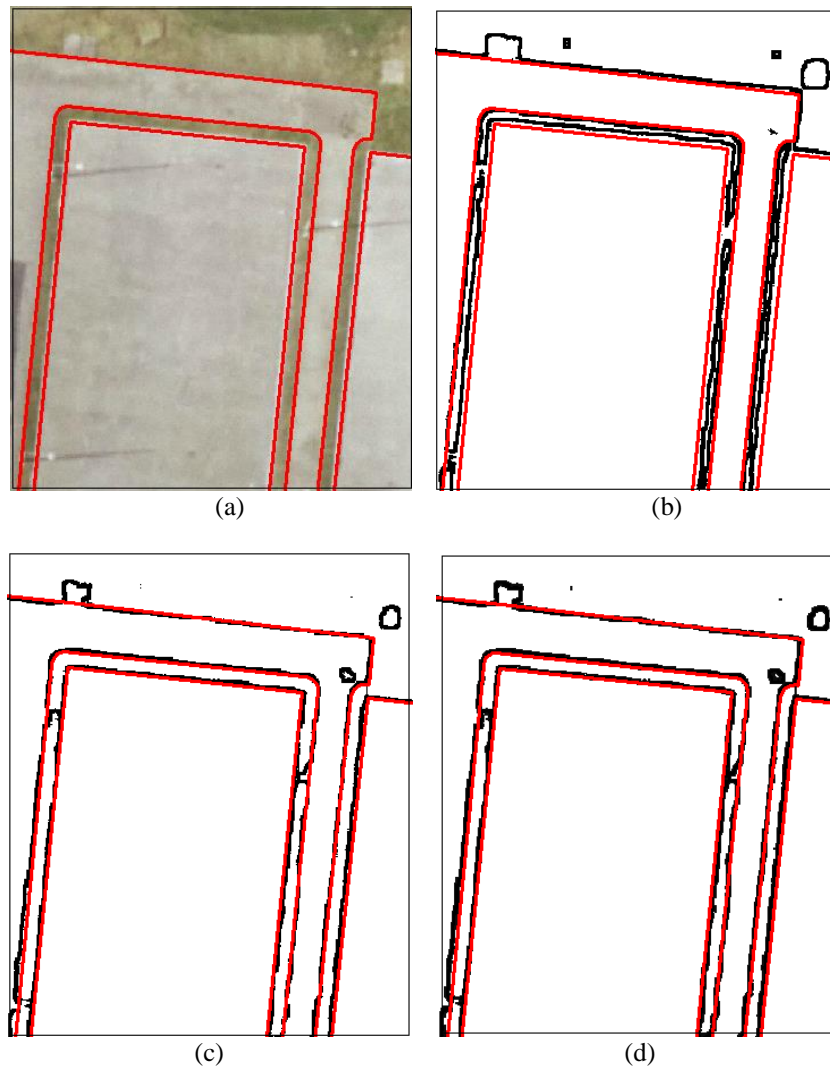
Fonte: Elaborado pelo Autor (2016).

Figura 29: Representação da extração da borda gradiente com a análise visual de algumas feições da ortofoto.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2016).

Figura 30: Representação da extração da borda no espaço HSV com a análise visual de algumas feições da ortofoto (em azul). (a) ortofoto. (b) borda interna. (c) borda externa. (d) gradiente.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2016).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A morfologia matemática foi inicialmente desenvolvida para análise de imagens binárias, onde a abordagem linear não se mostrava eficiente, e depois foi estendida para níveis de cinza. Nessa dissertação trabalhou-se com as imagens no espaço de cores. Utilizou-se as ferramentas da morfologia matemática denotadas de erosão, dilatação e gradiente para a segmentação e detecção de bordas das imagens. Essas ferramentas e os espaços de cores RGB e HSV são a base dos algoritmos usados para a aquisição das bordas das feições na imagem, obtendo-se como resultados as feições do tipo estradas, edificações e vegetações existentes na imagem de alta resolução (ortofoto).

A morfologia matemática fornece ao usuário possibilidades para extração de objetos na imagem usando bordas internas, externas e gradiente e isto foi objeto de análise da dissertação.

O fator fundamental para se obter bons resultados com a detecção utilizando técnicas de Morfologia Matemática foi a escolha do elemento estruturante a ser utilizado nas operações, uma vez que este é o parâmetro que identifica a forma do objeto a ser detectado. Verificou-se que com o aumento do elemento estruturante de matriz quadrada, houve uma melhoria nos resultados obtidos, pois as imperfeições que existiam no contorno dos objetos foram eliminadas.

Neste trabalho foram propostas modelagens para extração das feições usando os espaços de cores RGB e HSV e aplicou-se esta modelagem a um recorte de uma ortofoto de alta resolução de 8 cm. Os resultados práticos obtidos revelam que a aplicação da morfologia matemática acompanhado da extração pela cor podem oferecer ferramentas importantes na extração de contornos. Comparações com fotointerpretação a partir da análise visual foram desenvolvidas e os resultados foram apresentados. O modelo HSV se mostrou mais eficiente para a extração das feições e a borda a partir do gradiente é mais próxima à extração vetorial.

Dessa maneira, a presente dissertação tem por finalidade principal contribuir à área de Cartografia na delimitação de contornos de objetos do tipo edificação em imagens de alta resolução, onde se tem uma grande relevância e pode servir como uma etapa de pré-processamento para processos de extração automáticas de edificações de uma determinada área de um município, além de contribuir como um método alternativo para a atualização cartográfica.

Afinal, sugere-se a implementação de técnicas da Morfologia Matemática voltadas à áreas urbanas, em regiões que há um crescimento vertiginoso de edificações, visando dados que possam auxiliar a um recadastramento territorial de um determinado município.

REFERÊNCIAS

- ANGULO, J.; SERRA, J. **Mathematical morphology in color spaces applied to the analysis of cartographic images**. Centre de Morphologie Mathematique - Ecole des Mines de Paris, França. 2005.
- ANSOULT, M.M.; SOILLE, P.J. *Mathematical morphology: a tool for automated GIS data acquisition for scanned thematic maps*. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 56(9):1263–1271, Sept. 1990.
- ARTERO, A. O. **Técnicas para extração automática de feições retas em imagens digitais**. Presidente Prudente-SP, 1999. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Ciências e Tecnologia – Unesp.
- BANON, G. J. F.; BARRERA, J. *Morphological filtering for stripping correction of SPOT images*. *Photogrammetria*, 43(3/4):195–205, Mar. 1989.
- BARRERA, J. **Uma abordagem unificada para problemas de visão computacional**. (Tese de Doutorado em Engenharia Eletrônica) – INPE. São José dos Campos, 1992. (INPE 5391–TAE/012).
- BORGES, R. C. M.; WINCKLER, M. A. A.; BASSO, K. **Considerações sobre o uso de cores em interfaces www**. Instituto de Informática – UFRGS, Porto Alegre – RS, 2001.
- CANDEIAS, A. L. B.; **Aplicação da morfologia matemática à análise de imagens de sensoriamento remoto**. Tese de doutorado em computação aplicada, INPE, São José dos Campos, 1997.
- CANDEIAS, A. L. B.; FERNANDEZ, M. **Delimitação do reservatório Buritama a partir da imagem simulada SSR usando morfologia matemática**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7., Curitiba. 10–14, maio 1993. *Anais*. São José dos Campos, INPE, 1993. v. 2, p. 318–322.

CANDEIAS, A. L. B.; MOURA, C. J. M. DE; NASCIMENTO, P. H. O. DO; TAVARES JR., J. R. **Extração de borda: uma análise pela morfologia matemática**. VIII Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, Curitiba, 2013.

CANDEIAS, A. L. B.; SOUSA, E. B. **Aplicação da morfologia matemática na extração automática de curva de nível de carta topográfica**. Anais VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador, Brasil. 14-19 abril 1996, INPE, p. 681-688.

CRÓSTA, A.P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. ed.rev. Campinas: UNICAMP/Instituto de Geociências. 154 p. 2002.

DAL POZ, A. P.; AGOURIS, P. **Um algoritmo de otimização global para a extração de rodovias em imagens digitais**. Revista Brasileira de Cartografia, Curitiba-PR, n. 53, p. 65-72, 2001.

DESTIVAL, I. *Mathematical morphology applied to remote sensing*. Acta Astronáutica. 13(6/7):371–385, June/July 1986.

FLOUZAT, G. *Review on image analysis with mathematical morphology in remote sensing*. In: IGARSS' 89 *International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Vancouver, 10–14 July 1989. *An economic tool for the nineties*. IEEE, Canada, 1989. v. 4, p. 2424–2429.

FRASER, B; MURPHY, C.; BUNTING, F. **Real World Color Management**. Second Edition. Estados Unidos: Peachpit Press, 2005. 582p.

GONZALEZ, R. C., WOODS, R. E., **Processamento Digital de Imagens**. 3.ed., Editora Pearson Education - Br. São Paulo, 2011.

GUIMARÃES, Luciano. **A cor como informação: a construção biofísica, lingüística e cultural da simbologia das cores**. 3. ed. São Paulo: Annablume, 2004.

HANBURY, A.; SERRA, J. **Mathematical Morphology in the HLS Colour Space**. London: Academic Press. 2003.

LOPES, J. M. B. **Cor e Luz**. Computação Gráfica. Disponível em <<http://www.ulbra.tche.br/~franzfigueroa/Cor.pdf>>, 2013. Acesso em: 11 out. 2015.

MACHADO, A. M. L. **Extração automática de contornos de edificações utilizando imagem gerada por câmara digital de pequeno formato e dados lidar**. Dissertação de doutorado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

MARQUES FILHO, O.; VIEIRA NETO, H. **Processamento Digital de Imagens**, Rio de Janeiro: Pearson Education - BR, 2011.

MATOS, T. A. A. **Uma proposta de construção de índice invertido para recuperação de imagens baseada em conteúdo**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2009.

MEDEIROS, N. G. **Segmentação morfológica aplicada à cartografia**. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente: [s.n.], 2003 131 f.: il.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. D. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Universidade de Brasília, Brasília, 2012, 266 p.

NASCIMENTO, T. C. M.; **Segmentação de imagens utilizando elementos de morfologia matemática**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE, 2013.

ORTIZ, F.; TORRES, F.; JUAN, E.; CUENCA, N. **Colour Mathematical Morphology For Neural Image Analysis**. Real-Time Imaging 8, 455–465 (2002).

PARKER J. R. *“Algorithms for Image Processing and Computer Vision”*. 2. ed. Wiley Publishing, Inc, 2011.

PEDRINI, H.; SCHWARTZ, W. R.. **Análise de Imagens Digitais**. 1.ed. São Paulo, Thomson Learning, 2008.

SCHOWENGERDT, R. A. *Remote Sensing Models and Methods for Image Processing*. 3a ed., Elsevier, 2007.

SILVA, R., AIRES, K., VERAS R., SOUSA, A. **Análise de modelos de cores para detecção de motociclistas sem capacete em imagens**. Anais do XX Congresso Brasileiro de Automática, Belo Horizonte – MG, 20 a 24 de setembro de 2014.

SOILLE, P. *Morphological Image Analysis - Principles and Applications*. 2.ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2004.

VALERO, S.; CHANUSSOT, J.; BENEDIKTSSON, J.; TALBOT, H.; WASKE, B. *Advanced directional mathematical morphology for the detection of the road network in very high resolution remote sensing images*. Pattern Recognition Letters 31 (10), 1120-1127 (2010)

X-RITE. *The Color Guide and Glossary*. Disponível em:
<http://www.xrite.com/documents/literature/en/L11_029_color_guide_en.pdf>. Acesso em:
03 set. 2015.

APÊNDICES

APÊNDICE A – ALGORITMO FEITO NO MATLAB PARA OS OBJETOS AVERMELHADOS NO MODELO RGB (ELEMENTO ESTRUTURANTE $B_{3 \times 3}$)

```
% UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
% DISSERTAÇÃO DO MESTRADO
% ESPAÇO DE CORES, MORFOLOGIA MATEMÁTICA E EXTRAÇÃO DE FEIÇÕES
% ALUNO: RENAN DOZZO

clc
clear
% LENDO O ARQUIVO DE IMAGEM DA AREA DE ESTUDO:
UFPE = imread('Orto_Recort_80_49_00.TIF');

% VISUALIZAÇÃO DA IMAGEM DA AREA DE ESTUDO:
imshow(UFPE)
title ('Imagem Original (Composição RGB)')

% DECOMPONDO A IMAGEM EM SUAS 3 COMPONENTES RGB:
R=UFPE(:,:,1);
G=UFPE(:,:,2);
B=UFPE(:,:,3);

% f1 É A IMAGEM BINÁRIA ONDE:
% 255: SÃO OS OBJETOS AVERMELHADOS;
% 0: SÃO AS OUTRAS CORES.
[n,m]=size(R);
f1=zeros(n,m);
f2=f1;
for i=1:n
    for j=1:m
        if R(i,j)>G(i,j) & R(i,j)>B(i,j)
            f1(i,j)=255;
            % f2 É A IMAGEM COM APENAS OS OBJETOS AVERMELHADOS COM OS SEUS
NÍVEIS DE CINZA ORIGINAIS
            f2(i,j)=R(i,j);
        end
    end
end
figure
imshow(f1)
title ('Imagem Binarizada')
figure
imshow(f2)
title ('Imagem com objetos avermelhados')

% O VALOR DO LIMAR:
l=255/3;

% Objetos avermelhados fraco
f3l=zeros(n,m);
for i=1:n
```

```

        for j=1:m
            if f2(i,j) <= 1
                f31(i,j) = 255;
            end
        end
    end
end
figure
imshow(f31)
title ('Imagem com objetos avermelhados fracos')

% Objetos avermelhados médio
f32=zeros(n,m);
for i=1:n
    for j=1:m
        if f2(i,j) > 1 & f2(i,j) < (2*1)
            f32(i,j) = 255;
        end
    end
end
figure
imshow(f32)
title ('Imagem com objetos avermelhados médio')

% Objetos avermelhados forte
f33=zeros(n,m);
for i=1:n
    for j=1:m
        if f2(i,j) >= (2*1)
            f33(i,j) = 255;
        end
    end
end
figure
imshow(f33)
title ('Imagem com objetos avermelhados forte')

% ELEMENTO ESTRUTURANTE
se = strel('square',3);

% BORDAS INTERNAS PARA OS AVERMELHADOS:
% FRACO:
bi31=f31-imerode(f31,se);
figure
imshow(bi31)
title ('Imagem com as bordas internas dos objetos avermelhados fracos')
% MÉDIO:
bi32=f32-imerode(f32,se);
figure
imshow(bi32)
title ('Imagem com as bordas internas dos objetos avermelhados médios')
% FORTE:
bi33=f33-imerode(f33,se);
figure
imshow(bi33)
title ('Imagem com as bordas internas dos objetos avermelhados fortes')

```

```

% BORDAS EXTERNAS PARA OS AVERMELHADOS:
% FRACO:
be31=imdilate(f31,se)-f31;
figure
imshow(be31)
title ('Imagem com as bordas externas dos objetos avermelhados fracos')
% MÉDIO:
be32=imdilate(f32,se)-f32;
figure
imshow(be32)
title ('Imagem com as bordas externas dos objetos avermelhados médios')
% FORTE:
be33=imdilate(f33,se)-f33;
figure
imshow(be33)
title ('Imagem com as bordas externas dos objetos avermelhados fortes')

% GRADIENTE PARA OS AVERMELHADOS:
% FRACO:
bg31=imdilate(f31,se)-imerode(f31,se);
figure
imshow(bg31)
title ('Imagem do gradiente dos objetos avermelhados fracos')
% MÉDIO:
bg32=imdilate(f32,se)-imerode(f32,se);
figure
imshow(bg32)
title ('Imagem do gradiente dos objetos avermelhados médios')
% FORTE:
bg33=imdilate(f33,se)-imerode(f33,se);
figure
imshow(bg33)
title ('Imagem do gradiente dos objetos avermelhados fortes')

% UTILIZANDO O F1, OBTÉM-SE A BORDA INTERNA, EXTERNA E O GRADIENTE DOS
% AVERMELHADOS:
bi=f1-imerode(f1,se);
figure
imshow(bi)
title ('Imagem com as bordas internas dos objetos avermelhados')
be=imdilate(f1,se)-f1;
figure
imshow(be)
title ('Imagem com as bordas externas dos objetos avermelhados')
bg=imdilate(f1,se)-imerode(f1,se);
figure
imshow(bg)
title ('Imagem do gradiente dos objetos avermelhados')
    
```

APÊNDICE B - ALGORITMO FEITO NO MATLAB PARA OS OBJETOS AVERMELHADOS NO MODELO RGB (ELEMENTO ESTRUTURANTE $B_{5 \times 5}$)

```

% UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
% DISSERTAÇÃO DO MESTRADO
% ESPAÇO DE CORES, MORFOLOGIA MATEMÁTICA E EXTRAÇÃO DE FEIÇÕES
% ALUNO: RENAN DOZZO

clc
clear
% LENDO O ARQUIVO DE IMAGEM DA AREA DE ESTUDO:
UFPE = imread('Orto_Recort_80_49_00.TIF');

% VISUALIZAÇÃO DA IMAGEM DA AREA DE ESTUDO:
imshow(UFPE)
title ('Imagem Original (Composição RGB)')

% DECOMPONDO A IMAGEM EM SUAS 3 COMPONENTES RGB:
R=UFPE(:,:,1);
G=UFPE(:,:,2);
B=UFPE(:,:,3);

% f1 É A IMAGEM BINÁRIA ONDE:
% 255: SÃO OS OBJETOS AVERMELHADOS;
% 0: SÃO AS OUTRAS CORES.
[n,m]=size(R);
f1=zeros(n,m);
f2=f1;
for i=1:n
    for j=1:m
        if R(i,j)>G(i,j) & R(i,j)>B(i,j)
            f1(i,j)=255;
            % f2 É A IMAGEM COM APENAS OS OBJETOS AVERMELHADOS COM OS SEUS
NÍVEIS DE CINZA ORIGINAIS
            f2(i,j)=R(i,j);
        end
    end
end
figure
imshow(f1)
title ('Imagem Binarizada')
figure
imshow(f2)
title ('Imagem com objetos avermelhados')

% O VALOR DO LIMAR:
l=255/3;

% Objetos avermelhados fraco
f3l=zeros(n,m);
for i=1:n

```

Farias, R. D.

```

        for j=1:m
            if f2(i,j) <= 1
                f31(i,j) = 255;
            end
        end
    end
end
figure
imshow(f31)
title ('Imagem com objetos avermelhados fracos')

% Objetos avermelhados médio
f32=zeros(n,m);
for i=1:n
    for j=1:m
        if f2(i,j) > 1 & f2(i,j) < (2*1)
            f32(i,j) = 255;
        end
    end
end
figure
imshow(f32)
title ('Imagem com objetos avermelhados médio')

% Objetos avermelhados forte
f33=zeros(n,m);
for i=1:n
    for j=1:m
        if f2(i,j) >= (2*1)
            f33(i,j) = 255;
        end
    end
end
figure
imshow(f33)
title ('Imagem com objetos avermelhados forte')

% ELEMENTO ESTRUTURANTE
se = strel('square',5);

% BORDAS INTERNAS PARA OS AVERMELHADOS:
% FRACO:
bi31=f31-imerode(f31,se);
figure
imshow(bi31)
title ('Imagem com as bordas internas dos objetos avermelhados fracos')
% MÉDIO:
bi32=f32-imerode(f32,se);
figure
imshow(bi32)
title ('Imagem com as bordas internas dos objetos avermelhados médios')
% FORTE:
bi33=f33-imerode(f33,se);
figure
imshow(bi33)
title ('Imagem com as bordas internas dos objetos avermelhados fortes')

```

```

% BORDAS EXTERNAS PARA OS AVERMELHADOS:
% FRACO:
be31=imdilate(f31,se)-f31;
figure
imshow(be31)
title ('Imagem com as bordas externas dos objetos avermelhados fracos')
% MÉDIO:
be32=imdilate(f32,se)-f32;
figure
imshow(be32)
title ('Imagem com as bordas externas dos objetos avermelhados médios')
% FORTE:
be33=imdilate(f33,se)-f33;
figure
imshow(be33)
title ('Imagem com as bordas externas dos objetos avermelhados fortes')

% GRADIENTE PARA OS AVERMELHADOS:
% FRACO:
bg31=imdilate(f31,se)-imerode(f31,se);
figure
imshow(bg31)
title ('Imagem do gradiente dos objetos avermelhados fracos')
% MÉDIO:
bg32=imdilate(f32,se)-imerode(f32,se);
figure
imshow(bg32)
title ('Imagem do gradiente dos objetos avermelhados médios')
% FORTE:
bg33=imdilate(f33,se)-imerode(f33,se);
figure
imshow(bg33)
title ('Imagem do gradiente dos objetos avermelhados fortes')

% UTILIZANDO O F1, OBTÉM-SE A BORDA INTERNA, EXTERNA E O GRADIENTE DOS
% AVERMELHADOS:
bi=f1-imerode(f1,se);
figure
imshow(bi)
title ('Imagem com as bordas internas dos objetos avermelhados')
be=imdilate(f1,se)-f1;
figure
imshow(be)
title ('Imagem com as bordas externas dos objetos avermelhados')
bg=imdilate(f1,se)-imerode(f1,se);
figure
imshow(bg)
title ('Imagem do gradiente dos objetos avermelhados')
    
```

APÊNDICE C - ALGORITMO FEITO NO MATLAB PARA OS OBJETOS AVERMELHADOS NO MODELO RGB (ELEMENTO ESTRUTURANTE $B_{7 \times 7}$)

```
% UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
% DISSERTAÇÃO DO MESTRADO
% ESPAÇO DE CORES, MORFOLOGIA MATEMÁTICA E EXTRAÇÃO DE FEIÇÕES
% ALUNO: RENAN DOZZO

clc
clear
% LENDO O ARQUIVO DE IMAGEM DA AREA DE ESTUDO:
UFPE = imread('Orto_Recort_80_49_00.TIF');

% VISUALIZAÇÃO DA IMAGEM DA AREA DE ESTUDO:
imshow(UFPE)
title ('Imagem Original (Composição RGB)')

% DECOMPONDO A IMAGEM EM SUAS 3 COMPONENTES RGB:
R=UFPE(:,:,1);
G=UFPE(:,:,2);
B=UFPE(:,:,3);

% f1 É A IMAGEM BINÁRIA ONDE:
% 255: SÃO OS OBJETOS AVERMELHADOS;
% 0: SÃO AS OUTRAS CORES.
[n,m]=size(R);
f1=zeros(n,m);
f2=f1;
for i=1:n
    for j=1:m
        if R(i,j)>G(i,j) & R(i,j)>B(i,j)
            f1(i,j)=255;
            % f2 É A IMAGEM COM APENAS OS OBJETOS AVERMELHADOS COM OS SEUS
            NÍVEIS DE CINZA ORIGINAIS
            f2(i,j)=R(i,j);
        end
    end
end
figure
imshow(f1)
title ('Imagem Binarizada')
figure
imshow(f2)
title ('Imagem com objetos avermelhados')

% O VALOR DO LIMIAR:
l=255/3;

% Objetos avermelhados fraco
f31=zeros(n,m);
for i=1:n
    for j=1:m
        if f2(i,j)<=l
            f31(i,j)=255;
```

```

        end
    end
end
figure
imshow(f31)
title ('Imagem com objetos avermelhados fracos')

% Objetos avermelhados médio
f32=zeros(n,m);
for i=1:n
    for j=1:m
        if f2(i,j)>1 & f2(i,j)<(2*1)
            f32(i,j)=255;
        end
    end
end
figure
imshow(f32)
title ('Imagem com objetos avermelhados médio')

% Objetos avermelhados forte
f33=zeros(n,m);
for i=1:n
    for j=1:m
        if f2(i,j)>=(2*1)
            f33(i,j)=255;
        end
    end
end
figure
imshow(f33)
title ('Imagem com objetos avermelhados forte')

% ELEMENTO ESTRUTURANTE
se = strel('square',7);

% BORDAS INTERNAS PARA OS AVERMELHADOS:
% FRACO:
bi31=f31-imerode(f31,se);
figure
imshow(bi31)
title ('Imagem com as bordas internas dos objetos avermelhados fracos')
% MÉDIO:
bi32=f32-imerode(f32,se);
figure
imshow(bi32)
title ('Imagem com as bordas internas dos objetos avermelhados médios')
% FORTE:
bi33=f33-imerode(f33,se);
figure
imshow(bi33)
title ('Imagem com as bordas internas dos objetos avermelhados fortes')

% BORDAS EXTERNAS PARA OS AVERMELHADOS:

```



```

% FRACO:
be31=imdilate(f31,se)-f31;
figure
imshow(be31)
title ('Imagem com as bordas externas dos objetos avermelhados fracos')
% MÉDIO:
be32=imdilate(f32,se)-f32;
figure
imshow(be32)
title ('Imagem com as bordas externas dos objetos avermelhados médios')
% FORTE:
be33=imdilate(f33,se)-f33;
figure
imshow(be33)
title ('Imagem com as bordas externas dos objetos avermelhados fortes')

% GRADIENTE PARA OS AVERMELHADOS:
% FRACO:
bg31=imdilate(f31,se)-imerode(f31,se);
figure
imshow(bg31)
title ('Imagem do gradiente dos objetos avermelhados fracos')
% MÉDIO:
bg32=imdilate(f32,se)-imerode(f32,se);
figure
imshow(bg32)
title ('Imagem do gradiente dos objetos avermelhados médios')
% FORTE:
bg33=imdilate(f33,se)-imerode(f33,se);
figure
imshow(bg33)
title ('Imagem do gradiente dos objetos avermelhados fortes')

% UTILIZANDO O F1, OBTÉM-SE A BORDA INTERNA, EXTERNA E O GRADIENTE DOS
% AVERMELHADOS:
bi=f1-imerode(f1,se);
figure
imshow(bi)
title ('Imagem com as bordas internas dos objetos avermelhados')
be=imdilate(f1,se)-f1;
figure
imshow(be)
title ('Imagem com as bordas externas dos objetos avermelhados')
bg=imdilate(f1,se)-imerode(f1,se);
figure
imshow(bg)
title ('Imagem do gradiente dos objetos avermelhados')
    
```

APÊNDICE D – ALGORITMO FEITO NO MATLAB PARA O MODELO HSV

```

clear
clc
%Leitura da imagem
b = imread('Orto_Recort_80_49_00.tif');
imshow(b)

%Transformação RGB para HSV
a=rgb2hsv(b);
figure
imshow(a)
H=uint8(round(255*a(:,:,1)));
figure
imshow(H)
S=uint8(round(255*a(:,:,2)));
figure
imshow(S)
V=uint8(round(255*a(:,:,3)));
figure
imshow(V)
[n,m]=size(V);

%Extração dos objetos esverdeados
G=zeros(n,m);
for i=1:n
    for j=1:m
        if H(i,j)<=171 && H(i,j)>=21 && S(i,j)>50
            G(i,j)=255;
        end
    end
end
figure
imshow(G)

%Definição de elemento estruturante
se = strel('square',7);

%Geração dos contornos
cont_externo=imdilate(G,se)-G;
neg_cont_externo=255-cont_externo;
figure
imshow(neg_cont_externo)
cont_interno=G-imerode(G,se);
neg_cont_interno=255-cont_interno;
figure
imshow(neg_cont_interno)
cont_grad=cont_externo-cont_interno;
neg_cont_grad=255-cont_grad;
figure
    imshow(neg_cont_grad)
    
```