

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA E AGRIMENSURA
CURSO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA E AGRIMENSURA



EDSON OLIVEIRA RAMOS JÚNIOR

**MAPEAMENTO DE BORDAS EM REGIÕES ESTUARINAS UTILIZANDO
MORFOLOGIA MATEMÁTICA COM IMAGENS ALOS/PALSAR: CANAL DE
SANTA CRUZ, PERNAMBUCO**

RECIFE

2017

EDSON OLIVEIRA RAMOS JÚNIOR

**MAPEAMENTO DE BORDAS EM REGIÕES ESTUARINAS UTILIZANDO
MORFOLOGIA MATEMÁTICA COM IMAGENS ALOS/PALSAR: CANAL DE
SANTA CRUZ, PERNAMBUCO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Cartográfica e Agrimensura, Centro de Ciências e geotecnologias, Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Cartográfica.

Área de concentração: Processamento de Imagens

Orientadora: Prof. Dra. Ana Lúcia Bezerra Candeias

RECIFE

2017

Catálogo na fonte
Bibliotecária Valdicêa Alves, CRB-4 / 1260

R175m	Ramos Júnior, Edson Oliveira. Mapeamento de bordas em regiões estuarinas utilizando morfologia matemática com imagens alos/palsar: canal de santa cruz, pernambuco/ Edson Oliveira de - 2017. 49 folhas, Il.; Tab. e Sigl. Orientadora: Prof. Dra. Ana Lúcia Bezerra Candeias. TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Engenharia Cartográfica e Agrimensura, 2017. Inclui Referências. 1. Engenharia Cartográfica. 2. Canal de Santa Cruz. 3. Morfologia Matemática. 4. Processamento de Imagens. I. Candeias, Ana Lúcia Bezerra (Orientadora). II. Título. UFPE 526.1 CDD (22. ed.) BCTG/2017-432
-------	--

EDSON OLIVEIRA RAMOS JÚNIOR

**MAPEAMENTO DE BORDAS EM REGIÕES ESTUARINAS UTILIZANDO
MORFOLOGIA MATEMÁTICA COM IMAGENS ALOS/PALSAR: CANAL DE
SANTA CRUZ, PERNAMBUCO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao
Departamento de Engenharia Cartográfica e
Agrimensura da Universidade Federal de
Pernambuco, como requisito para a obtenção do
grau de Bacharel em Engenharia Cartográfica.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Ana Lúcia Bezerra Candeias (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. João Rodrigues Tavares Júnior (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Aprovado em: 05/12/2017

RECIFE

AGRADECIMENTOS

A minha família, pelo incentivo a concluir esse trabalho. Aos meus pais principalmente, que mesmo com as adversidades e dificuldades, mantiveram a confiança em mim e persistiram comigo nessa etapa da minha vida.

A professora Ana Lúcia Bezerra Candeias, pela oportunidade de trabalhar nesse projeto, orientação, incentivo, apoio e confiança. Pela paciência com minhas consultas quase que diárias, para dúvidas e conselhos.

As amigas Rayane Fonseca e Mirelly Farias, pelo apoio e colaboração na realização deste trabalho. Pela insistência em me corrigir nos meus momentos de teimosia.

Aos amigos Guilherme Lira, Júlio César, Débora Nathália, Íris Ravenna, Flávia Manhães, Nathália Oliveira, por me motivarem a não fraquejar e continuar até o fim.

Aos colegas de departamento e do estágio (Centro Integrado de Estudos Georreferenciados para Pesquisa Social – CIEG) que colaboraram de alguma forma durante o processo deste trabalho.

Ao Processo 311120/2014-8 do CNPq da orientadora desse trabalho. Pelo apoio e auxílio financeiro.

Ao departamento de Engenharia Cartográfica e aos professores do curso.

Concluir esse trabalho e o curso não seria possível sem o apoio de todos.

“Livros não mudam o mundo.
Quem muda o mundo são as pessoas.
Os livros só mudam as pessoas.”

Mário Quintana (1906 - 1994)

RESUMO

A ilha de Itamaracá é separada do continente pelo canal de Santa Cruz e está inserida na Mesorregião metropolitana do Recife, Pernambuco. Esse canal possui duas saídas para o mar e seis pequenos rios desaguam nele. A geração de material cartográfico para essa região úmida não é trivial devido aos vários acessos fluviais. O objetivo do trabalho é gerar a delimitação automática dos contornos das áreas úmidas utilizando imagem ALOS/PALSAR polarização HV e técnicas de processamento de imagem. A metodologia aplicada no trabalho utilizou a geração de borda a partir das ferramentas da morfologia matemática. Foram usadas operações aritméticas a partir dos operadores de dilatação, erosão, abertura e fechamento. A área de estudo está contida na parte sul do Canal de Santa Cruz, Pernambuco. O mapeamento desse contorno foi sobreposto a outra imagem georreferenciada para comparação visual do contorno obtido. A partir da metodologia gerada é possível obter o contorno da área úmida da área analisada.

Palavras-chave: Canal de Santa Cruz. Morfologia matemática. Processamento de imagens.

ABSTRACT

The island of Itamaracá is separated from the mainland by the channel of Santa Cruz and is inserted in the Metropolitan Meso-region of Recife, Pernambuco. This channel has two exits to the sea and six small rivers flow into it. The generation of cartographic material for this humid region is not trivial due to the various river accesses. The objective of the work is to generate the automatic delimitation of the contours of the wetlands using ALOS / PALSAR image HV polarization and image processing techniques. The methodology applied in the work utilized edge generation from the tools of mathematical morphology. Arithmetic operations were used from the dilation, erosion, opening and closing operators. The study area is contained in the southern part of the Santa Cruz Channel, Pernambuco. The mapping of this contour was superimposed on another georeferenced image for visual comparison of the contour obtained. From the generated methodology it is possible to obtain the contour of the wet area of the analyzed area.

Keywords: Santa Cruz channel. Mathematical morphology. Image processing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Características dos Satélites Landsat	17
Figura 2 - Morfologia Matemática Binária.....	19
Figura 3 - Exemplo de Extração de bordas com Morfologia Matemática	20
Figura 4 - Mapa de Localização do Canal do Santa Cruz	21
Figura 5 - Imagens de satélite Landsat 5 e ALOS respectivamente	22
Figura 6 - Sequenciamento para importação de imagens no software SPRING	23
Figura 7 - Procedimento inicial da binarização de uma imagem no software SPRING	25
Figura 8 - Sequência do processo de binarização de imagens no software SPRING	25
Figura 9 - Procedimento de exportação de imagem sintética no software SPRING	27
Figura 10 - Procedimento de filtragem de imagens no software SPRING	28
Figura 11 - Resultados da filtragem Dilatação e Erosão respectivamente	29
Figura 12 - Procedimento final para a extração automática de bordas no software SPRING	30
Figura 13 - Imagens resultantes com delimitação das bordas	31
Figura 14 - Imagens com aplicação de abertura e fechamento respectivamente	31
Figura 15 - Imagens descartadas pelo processo do trabalho (ALOS e Landsat respectivamente)	32
Figura 16 - Imagens resultantes finais (dilatação – fechamento com 1 e 2 iterações, respectivamente)	32
Figura 17 - Procedimento de importação das imagens no software QGIS	33
Figura 18 - Procedimento inicial para georreferenciar no software QGIS	34
Figura 19 - Continuação do procedimento de georreferenciamento	35
Figura 20 - Procedimento de pontos de controle e transformação	36
Figura 21 - Procedimento inicial para criação de shape no software QGIS	37
Figura 22 - Sequência da edição do shape no software QGIS	38
Figura 23 - Shape final do contorno da imagem resultante	38
Figura 24 - Imagem dil_bin_ (dil-ero) polarização HV	39
Figura 25 - Shape criado	39
Figura 26 – União do corte da carta planimétrica e shape criado a partir da borda da imagem.....	40
Figura 27 - Imagens com corte de perfil para análise gráfica (linha de perfil começa de cima para baixo)	40
Figura 28 - Gráfico estatístico dos perfis anteriores	41
Figura 29 – Linha de Perfil no trecho da costa na ilha (início da linha da esquerda para a direita).....	42
Figura 30 - Gráfico estatístico dos perfis na costa da ilha.....	43
Figura 31 – Linha de Barragem na parte inferior do Canal do Santa Cruz	44
Figura 32 – Linha de Barragem na faixa esquerda do Canal do Santa Cruz	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características do Satélite ALOS	15
Tabela 2 - Características do Sensor PALSAR	16
Tabela 3 - Características do Sensor TM	18

LISTA DE SIGLAS

ADEOS	Advanced Earth Observing Satellite
ALOS	Advanced Land Observing Satellite
AVNIR - 2	Advanced Visible and Near Infrared Radiometer - type 2
Condepe/FIDEM	Agência Estadual de Planejamento e Pesquisa de Pernambuco
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ERTS	Earth Resources Technology Satellite
HH	Horizontal e Horizontal
HV	Horizontal e Vertical
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
JAROS	Japan Resources Observation System Organization
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency
JERS - 1	Japanese Earth Resource Satellite 1
MM	Morfologia Matemática
MSS	Multispectral Scanner System
PALSAR	Phased Arrayed type L-band Synthetic Aperture Radar
PRISM	Panchromatic Remote Sensing Instrument for Stereo
QGis	Quantum Geographic Information System
RADAR	Radio Detection and Ranging
SAR	Synthetic Aperture Radar
SPRING	Processamento de Informações Georreferenciadas
TM	Thematic Mapper
USGS	United States Geological Survey

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	13
2.1	OBJETIVOS GERAIS	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3	JUSTIFICATIVA	13
4	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
4.1	CANAL DE SANTA CRUZ	14
4.2	SATÉLITE ALOS	14
4.3	SATÉLITE LANDSAT	16
4.4	BINARIZAÇÃO	18
4.5	MORFOLOGIA MATEMÁTICA	18
4.6	OPERAÇÕES UTILIZADAS DA MORFOLOGIA MATEMÁTICA	19
4.6.1	Dilatação e erosão	19
4.6.2	Abertura e Fechamento	20
5	ÁREA DE ESTUDO	21
6	MATERIAIS	22
7	DESENVOLVIMENTO	23
7.1	METODOLOGIA	23
7.2	PROCEDIMENTOS DO USO DAS IMAGENS	23
7.2.1	Importar as imagens	23
7.2.2	Binarização	25
7.2.3	Filtros Morfológicos não lineares	28
7.2.4	Operações Matemáticas	30
7.2.5	Abertura e Fechamento	31
7.2.6	Georreferenciamento	33
7.2.7	Criação do <i>shape</i> de linha para comparação de resultados	37
8	RESULTADOS	39
9	CONCLUSÃO	46
	REFERÊNCIAS	47
	ANEXO A – CARTA PLANIMÉTRICA 1:20000	49

1 INTRODUÇÃO

A ilha de Itamaracá, situada no litoral norte do Estado de Pernambuco, é separada do continente, por um traço de mar denominado Canal de Santa Cruz (PARANAGUÁ, M. N., DO NASCIMENTO, D. A., DE MACÊDO, S. J., 2016, p.66). Vários rios desembocam no canal, todos nascidos no continente.

Para saber a delimitação desses corpos de água, são necessários métodos que sejam viáveis e de rápida obtenção, para minimizar os custos, mas em áreas quilométricas, e de difícil acesso, é complicada a coleta desses dados.

As imagens de RADAR (*Radio Detection And Ranging*) representam uma alternativa para delimitar corpos de água (rios, reservatórios de barragens, estuários), contidos em limites em áreas cultivadas e áreas urbanas. Em regiões com grande ocorrência de nuvens, a exemplo do litoral do nordeste do Brasil, imagens SAR (*Synthetic Aperture Radar*), facilitam a extração dos planos de informação destes corpos hídricos e terrestres, gerando bases de dados espaciais, com bom potencial para atualização do mapeamento na gestão de recursos hídricos em regiões costeiras.

Trabalhos como Ansoult e Soille (1990), Bonnefon, Dhérété e Desachy (2002), Candeias (1997) e Candeias (2013) mostram a atualização cartográfica usando Morfologia Matemática (MM). Dias, Cribari-Neto e Ospina (2015) e Girón, E.; Frery, A. C.; Cribari-Neto, F. (2012) mostram soluções de segmentação para imagens de RADAR. A extração de bordas em imagens de RADAR não é trivial devido a sua informação contida nos pixels, textura e *speckle*.

Neste trabalho foram utilizadas imagens ALOS/PALSAR (*Advanced Land Observing Satellite/Phased Arrayed type L-band Synthetic Aperture Radar*) com polarização HH e HV, aplicando-se a binarização, em seguida foram aplicadas ferramentas da Morfologia Matemática (MM) para gerar os contornos dos alvos de interesse. A área escolhida foi o Canal de Santa Cruz, entre os municípios de Itamaracá e Igarassu, Estado de Pernambuco. Deseja-se gerar automaticamente, os *layers* para corpos de água e terrenos úmidos a partir do processamento de imagem e Morfologia Matemática e obter o mapeamento dessas áreas a partir desses contornos. Os corpos de água e terrenos úmidos podem ser vistos na imagem de radar como áreas escuras, porque não há o retorno do sinal, e esta propriedade é aproveitada para obter automaticamente as áreas úmidas ou com água.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos gerais

Criar bordas automaticamente das áreas úmidas da parte Sul do Canal do Santa Cruz pelas imagens de satélite ALOS/PALSAR e Landsat 5, obter o mapeamento dessas bordas e comparar entre as imagens e uma carta planimétrica georreferenciada.

2.2 Objetivos Específicos

- Obter o mapeamento de áreas úmidas a partir da extração dos contornos.
- Automatizar a extração de contornos das áreas úmidas usando processamento de imagem e Morfologia Matemática.

3 JUSTIFICATIVA

A região tem sido estudada em outros trabalhos acadêmicos recentemente e este trabalho será de auxílio para continuação e conclusão dessas pesquisas. A região também possui facilidades na coleta de informações na banda L por conta de haver muitas nuvens na região e outros sensores de satélites não conseguem obter os mesmos produtos. A obtenção das bordas será utilizada para identificação de mangues e apicum, sendo comparada com uma carta obtida no Condepe/Fidem para comparação dos resultados.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 Canal de Santa Cruz

Braço de mar com 22 km de extensão e largura variável entre 0,6 a 1,5 km, que contorna a Ilha de Itamaracá (7°34'00"- 7°55'16"S; 34°48'48"- 34°52'24"W), Pernambuco, Brasil (FIDEM, 1987). A comunicação do Canal de Santa Cruz com o oceano ocorre através da Barra de Catuama, ao norte, e da Barra Orange ou Barra Sul, ao sul, onde a profundidade pode variar entre 10 e 17 m (ESKINAZI-LEÇA, E., MACÊDO, S. J., PASSAVANTE, J. Z. O., 1980). A profundidade no canal, durante a maré baixa, muitas vezes é inferior a 2 m (MACÊDO, S. J., FLORES-MONTES, M. J., LINS, I. C., 2000).

Vários rios desembocam no canal, principalmente na parte norte os rios Catuama, Carrapicho, Botafogo e Congo e na parte sul o rio Igarassu, todos nascidos no continente. Este fator faz com que o canal de Santa Cruz reúna um conjunto de pequenos estuários. Um estuário se caracteriza como sendo corpos de água costeiras, semi-fechados, que mantem conexão com o mar aberto e dentro dos quais a água do mar é moderadamente diluída pela água doce, proveniente da drenagem terrestre (PRITCHARD, D. N., 1967). As características topográficas do canal concorrem para que a região não possa ser comparada com outras tipicamente estuarinas, uma vez que as correntes de marés penetram por ambas as barras e a água oceânica não sofre moderada diluição. Estudos como Lacerda, Eskinazi-Leça e Koenig (2016), Moura e Candeias (2011) e Candeias et al (2008) comprovam essa afirmação.

4.2 Satélite ALOS

O satélite japonês artificial ALOS (Advanced Land Observing Satellite), também conhecido como *Daichi*, com objetivo inicial de ser utilizado em atividades voltadas para a cartografia, observações regionais, monitoramento de desastres e exploração de recursos não-renováveis (JAXA, 2007).

Tabela 1: Características do Satélite ALOS

Missão Advanced Land Observing Satellite (ALOS)	
Instituições Responsáveis	Japan Aerospace Exploration Agency – JAXA
País/ Região	Japão
Satélite	ALOS – Daichi
Lançamento	24/01/2006
Local de Lançamento	Tanegashima Space Center
Veículo Lançador	H-IIA 8
Situação Atual	Desativado em 2011
Órbita	heliossínorona
Altitude	691,65 km
Inclinação	98,16°
Tempo de Duração da Órbita	98,7 min
Horário de Passagem	10:30 AM
Período de Revisita	46 dias
Tempo de Vida Projetado	3 a 5 anos
Instrumentos Sensores	PRISM, AVNIR-2 e PALSAR

Fonte: Embrapa (2017).

Foi lançado em 24 de janeiro de 2006 por um veículo de lançamento H-IIA do Centro Espacial Tanegashima, no Japão (JAXA, 2007). Teve seu desligamento em 22 de abril de 2011. Foi desenvolvida pela tecnologia dos satélites antecessores ADEOS e JERS-1, mas acrescentadas características necessárias aos satélites de alta resolução: capacidade de tratamento dos dados e precisão avançada na determinação de seu posicionamento espacial (JAXA, 2006). O ALOS possui 3 sensores, sendo eles o PRISM, o AVNIR-2 e o PALSAR.

O sensor PRISM (*Panchromatic Remote Sensing Instrument for Stereo*) para mapeamento de elevação digital com resolução espacial de 2,5 metros provido de uma banda no modo pancromático, apresentando uma resolução radiométrica de 8 bits.

O sensor AVNIR-2 (*Advanced Visible and Near Infrared Radiometer - type 2*) para uma observação precisa de cobertura terrestre com resolução de 10 metros operando no modo multiespectral com quatro bandas, 3 delas no espectro eletromagnético atuando na região do visível e 1 no infravermelho próximo. Resolução radiométrica de 8 bits.

O sensor PALSAR (*Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar*) para observação terrestre durante todo o dia e noite. Opera na região de micro-ondas do espectro eletromagnético, banda L, com resolução espacial variando entre 10 e 100 metros (IBGE,

2010). Este sensor é capaz de imagear faixas que variam de 20 a 250km de largura conforme apresentado por JAXA (2007).

O sensor PALSAR é o instrumento principal que fornece as imagens usadas nesse trabalho. Esse radar de abertura sintética que opera na banda L, é capaz de obter imagens em quaisquer condições climáticas, sejam pelo dia ou pela noite. Foi desenvolvida pela JAXA (*Japan Aerospace Exploration Agency*) com parceira da JAROS (*Japan Resources Observation System Organization*). O sensor tem limitações quanto a sua área de coleta, com isso, não se obtém imagens em locais acima de 87,8° na latitude Norte e 75,9° latitude Sul.

Tabela 2: Características do Sensor PALSAR

Sensor	Canais/ Bandas Espectrais	Frequência	Compr. de Onda	Ângulo de Visada	Polarização	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Resolução Radiométrica	Área Imageada
PALSAR	Fine - single	1270 MHz (Banda L)	s.d.	8° - 60°	HH ou VV	7 - 44 m	s.d.	5 bits	40 - 70 km
	Fine - dual				HH+HV ou VV+VH	14 - 88 m			
	ScanSAR			18° - 43°	HH ou VV	100 m		3 a 5 bits	250 - 350 km
	Polarimetric			8° - 30°	HH+HV+V H+VV	24 - 89 m			20 - 65 km

s.d. = sem dados / informações

Fonte: Embrapa(2017).

4.3 Satélites Landsat

Os satélites Landsat teve sua série iniciada no final dos anos 60, criado por um projeto focado em observar os recursos naturais terrestres. Foi desenvolvido pela agência espacial americana. O nome era ERTS (*Earth Resources Technology Satellite*) antes de serem chamadas de Landsat.

O Landsat 5 começou a operar em 1984, com os sensores MSS (*Multispectral Scanner System*) e TM (*Thematic Mapper*), criado para dar suporte nas pesquisas de diversas áreas temáticas, especializado em recursos naturais (Embrapa, 2017). O sensor MSS do Landsat 5 parou de enviar seus dados para a central em 1995, e o sensor TM continuou ativo até novembro de 2011.

Figura 1: Características dos Satélites Landsat

Missão Land Remote Sensing Satellite (Landsat)								
Instituições Responsáveis	NASA (National Aeronautics and Space Administration) e USGS (U.S. Geological Survey)							
País/Região	Estados Unidos							
Satélite	LANDSAT 1	LANDSAT 2	LANDSAT 3	LANDSAT 4	LANDSAT 5	LANDSAT 6	LANDSAT 7	LANDSAT 8
Lançamento	23/07/1972	22/01/1975	05/03/1978	16/07/1982	01/03/1984	05/10/1993	15/04/1999	11/02/2013
Local de Lançamento	Vandenberg Air Force Base	Vandenberg Air Force Base	Vandenberg Air Force Base	Vandenberg Air Force Base	Vandenberg Air Force Base	Vandenberg Air Force Base	Vandenberg Air Force Base	NASA Kennedy Space Center (KSC)
Veículo Lançador	Delta 900	Delta 2910	Delta 2910	Delta 3920	Delta 3920	Titan II	Delta-II	Atlas-V 401
Situação Atual	Inativo (06/01/1978)	Inativo (25/02/1982)	Inativo (31/03/1983)	Inativo (1993)	Inativo (22/11/2011)	Inativo (05/10/1993)	Ativo (Interrompeu recepção no Brasil em 31/05/2003)	Ativo
Órbita	Polar, helios-síncrona	Polar, helios-síncrona	Polar, helios-síncrona	Polar, helios-síncrona	Polar, helios-síncrona	Polar, helios-síncrona	Polar, helios-síncrona	Circular
Altitude	917 km	917 km	917 km	705 km	705 km	705 km	705 km	705 km
Inclinação	99,2°	99,2°	99,2°	98,20°	98,20°	98,20°	98,2°	98,2°
Tempo de Duração da Órbita	103,3 min	103 min	103 min	99 min	99 min	98,9 min	98,9 min	99 min
Horário de Passagem	9:30 AM	9:30 AM	9:30 AM	9:45 AM	9:45 AM	10:00 AM	10:00 AM	1:40 PM
Período de Revisita	18 dias	18 dias	18 dias	16 dias	16 dias	16 dias	16 dias	16 dias
Tempo de vida projetado	1 ano	1 ano	1 ano	3 anos	3 anos	s.d.	5 anos	5 anos
Instrumentos Sensores	RBV e MSS	RBV e MSS	RBV e MSS	MSS e TM	MSS e TM	ETM	ETM+	OLI e TIRS

Fonte: Embrapa(2017).

O sensor MSS foi utilizado nos 5 primeiros satélites Landsat. Eles foram construídos para atuarem em 4 bandas (faixa do visível e infravermelho próximo), exceto o Landsat 3, que foi acrescentado a banda termal, mas após o lançamento, houve falha no sensor e este operou nas mesmas 4 bandas dos outros satélites. O sensor TM foi incluso nos Landsat 4 e 5. Possui divisão espectral compatível para trabalhar com mapeamento temático na área de recursos naturais.

O sensor TM foi acoplado nos Landsat 4 e 5, operando em 7 bandas nas regiões do visível, infravermelho próximo, médio e termal. Gerou resolução espacial, acurácia radiométrica e posicionamento geométrico melhor do que o sensor anterior, o MSS. Os dados

do sensor TM tiveram e tem importância singular para o desenvolvimento e evolução de técnicas utilizadas no sensoriamento remoto.

Tabela 3: Características do Sensor TM

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada	Resolução Radiométrica
TM (Thematic Mapper)	(B1) AZUL	0.45 – 0.52 μm	30 m	16 dias	185 km	8 bits
	(B2) VERDE	0.52 – 0.6 μm				
	(B3) VERMELHO	0.63 – 0.69 μm				
	(B4) INFRAVERMELHO PRÓXIMO	0.76 – 0.9 μm				
	(B5) INFRAVERMELHO MÉDIO	1.55 – 1.75 μm	120 m			
	(B6) INFRAVERMELHO TERMAL	10.4 – 12.5 μm				
	(B7) INFRAVERMELHO MÉDIO	2.08 – 2.35 μm	30 m			

Fonte: Embrapa (2017).

As imagens utilizadas nesse trabalho são dos sensores PALSAR e TM dos satélites ALOS e Landsat 5 respectivamente. Elas são adquiridas no site do INPE e USGS, com formatos diferentes, e respostas espectrais diferentes. Para serem utilizadas em paralelo, é necessário a binarização das imagens.

4.4 Binarização

De acordo com Leonardo Hiss Monteiro (20xx, p. 21)

Para separar os objetos que desejamos analisar da imagem inicial, utilizamos técnicas de binarização ou limiarização. A binarização é o método mais simples de segmentação de imagens. Resumidamente consiste em separar uma imagem, em regiões de interesse e não interesse através da escolha de um ponto de corte. Essas regiões podem ser representadas por *pixels* pretos e brancos.

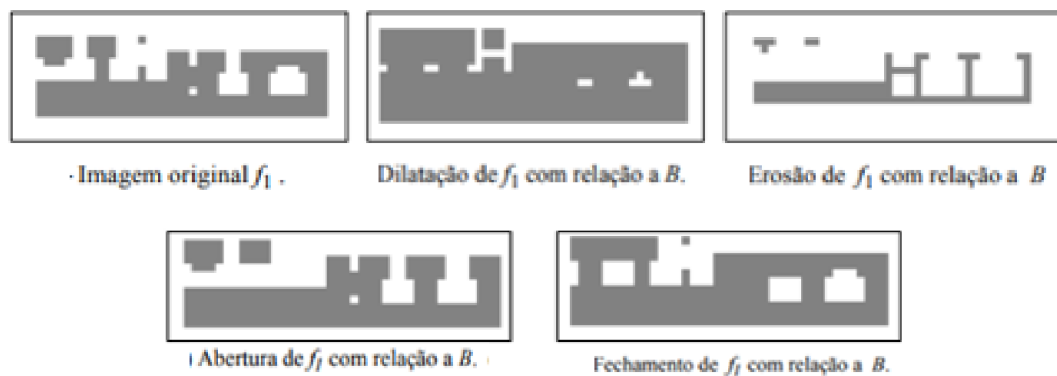
4.5 Morfologia Matemática

A Morfologia Matemática se refere ao ramo de processamento não-linear de imagens que se concentram na estrutura geométrica da imagem (STATELLA, T. e DA SILVA, E., 2011). Esta estrutura pode ser de natureza macroscópica, onde o intuito é a análise de formas como caracteres impressos, por exemplo, ou pode ser de natureza microscópica onde pode haver interesse na distribuição de partículas ou texturas geradas por pequenas primitivas. O objetivo da Morfologia Matemática é descrever quantitativamente as estruturas geométricas e funcionar como uma técnica na concepção de algoritmos na área de PDI, dispondo de ferramentas básicas como os detectores de borda e os filtros morfológicos (ISHIKAWA, A. S.; DA SILVA, P. H. A.; DA SILVA, E. A., 2004).

Logo, a morfologia não é apenas uma teoria matemática, mas uma poderosa técnica utilizada em PDI.

O elemento estruturante é um conjunto completamente definido e conhecido (forma, tamanho), o qual é comparado, a partir de uma transformação, ao conjunto desconhecido da imagem. O resultado desta transformação permite avaliar o conjunto desconhecido (Facon, 1996).

Figura 2: Morfologia Matemática Binária



Fonte: Candeias (1997)

4.6 Operações utilizadas da Morfologia Matemática

4.6.1 Dilatação e erosão

A dilatação é uma transformação morfológica a qual combina dois conjuntos usando adição vetorial (WANGENHEIM, A; DE SOUZA, A. I. e SANTOS, C. A., 2014). Pode-se definir a dilatação de um conjunto A pelo conjunto B como:

$$A \oplus B = \{c \mid c = a + b, a \in A, b \in B\}$$

onde A representa a imagem sendo processada e B o elemento estruturante, onde sua composição define a natureza específica da dilatação. O símbolo $\oplus$ se refere à dilatação binária (CANDEIAS, A. L. B., 1997.). Outra forma de definir a dilatação se baseia no uso de funções, podendo ser aplicada a qualquer tipo de imagem:

$$\delta_g(f)(u) = (f \oplus g)(u) := \bigvee_{v \in S} f(v) \wedge g(u - v), \forall u \in S$$

onde, nesse caso, g é o elemento estruturante. Na prática, a imagem original é transformada pela dilatação de forma a fazer com que o elemento estruturante se encaixe na imagem,

fazendo com que a imagem original “engorde”, ou seja, que a imagem seja expandida, como o nome dilatação sugere.

Ao contrário da dilatação, a erosão basicamente “encolhe” uma imagem e pode ser vista como uma transformação morfológica que combina dois conjuntos usando vetores de subtração. Baseando-se na erosão binária, tal operação é definida como:

$$A \ominus B = \{x \mid x + b \in A, \forall b \in B\}$$

onde B é o elemento estruturante. Como na dilatação, a erosão pode ser definida para o caso de imagens em níveis de cinza. Nesse caso:

$$\varepsilon_g(f)(u) = (f \ominus g)(u) := \bigwedge_{v \in S} f(v) \vee \bar{g}(v - u), \forall u \in S$$

Na prática, a erosão transforma a imagem original f de modo a fazer as áreas semelhantes ao elemento estrutural g “diminuírem”.

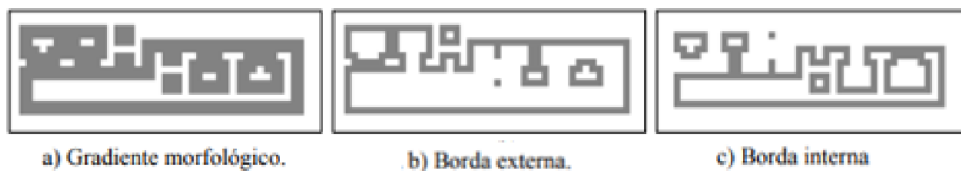
4.6.2 Abertura e Fechamento

De acordo com Jacques Facon (2011), abertura consiste em erodir e depois dilatar o resultado da erosão, enquanto fechamento consiste em dilatar e depois erodir o resultado da dilatação.

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

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

Figura 3: Exemplo de Extração de bordas com Morfologia Matemática



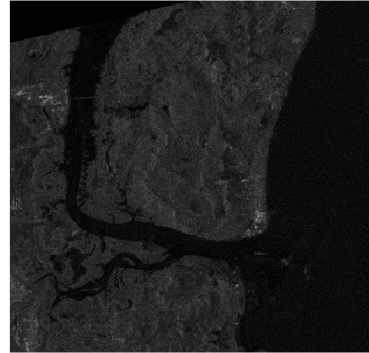
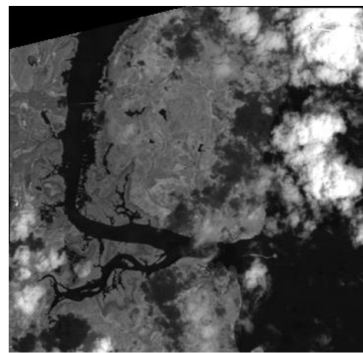
Fonte: Candeias (1997)

O gradiente morfológico é dado pela subtração da dilatação de f1 com relação a B e a erosão de f1 com relação a B. A borda externa é dada pela subtração da dilatação de f1 com relação a B e f1 e a borda interna é dada pela subtração entre f1 e a erosão de f1 com relação a B.

6 MATERIAIS

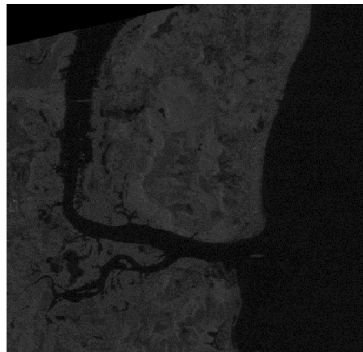
Os materiais utilizados para este trabalho foram: 3 imagens de satélite recortadas, 2 do ALOS e 1 do Landsat 5. As imagens foram imageadas no ano de 2010. A imagem do Landsat 5 foi da banda 4 (Infravermelho Próximo), e as imagens do satélite ALOS foram da banda L, com polarizações HV e HH. Foi adquirida uma carta planimétrica 1:20000 do Norte da Região Metropolitana do Recife, contendo a ilha de Itamaracá e parte dos municípios que estão no seu entorno. Ela foi adquirida na Condepe/Fidem e data o ano de 2003. Foram utilizados os softwares gratuitos SPRING 5.2.7 e o QGis 2.8.7.

Figura 5: Imagens de satélite Landsat 5 e ALOS respectivamente



(a) Imagem Landsat banda 4

(b) Imagem ALOS polarização HV



(c) Imagem ALOS polarização HH

Fonte: INPE e USGS, 2010

7 DESENVOLVIMENTO

7.1 Metodologia

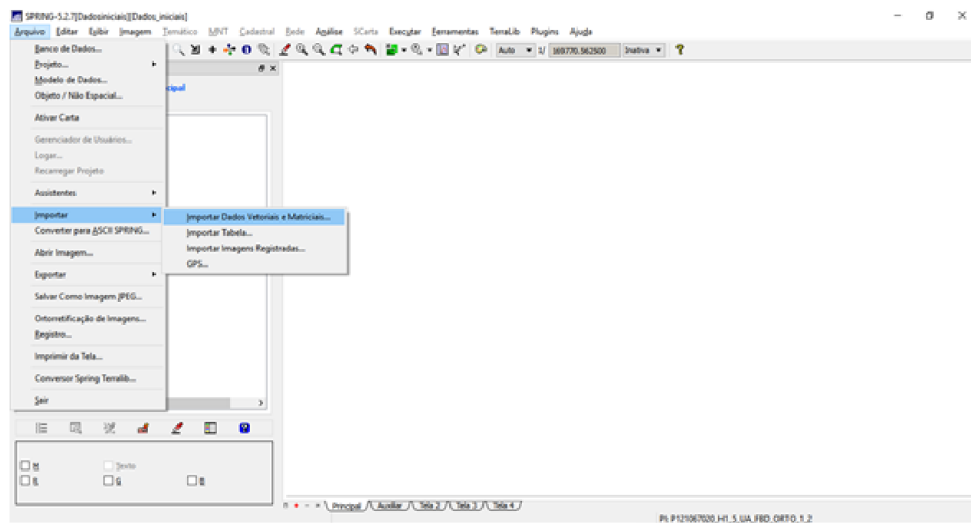
O trabalho consiste em fazer transformações morfológicas em imagens de satélites e processar essas imagens entre si para que o resultado nos traga as bordas das áreas úmidas. Isso ocorre quando aplicamos no software SPRING os filtros morfológicos não lineares de dilatação e erosão para mudança dos níveis de cinza dos pixels e assim, conseguimos fazer as operações matemáticas entre as imagens. Para utilização dos filtros, é necessária que as imagens sejam binárias, e com isso, sejam utilizáveis. O processo de binarização ocorre após o corte no gráfico de contraste da imagem, onde ela é dividida em duas partes, que são os valores extremos que o pixel pode ter: 255 (branco) ou 0 (preto). Após o processo de binarização, filtragem, operações morfológicas, processamento de imagens e obtenção das bordas, é iniciado o processo de georreferenciamento das imagens para que sejam comparadas entre si e com a carta planimétrica 1:20000. A carta foi scanneada e georreferenciada no software livre QGis, assim como as imagens de satélite que estivessem fora do sistema de referência. Em seguida, foi criado *shapes* de linha a partir das bordas encontradas nas imagens resultantes. E feita a comparação de todos os dados, visualmente e estatisticamente.

7.2 Procedimentos do uso das imagens

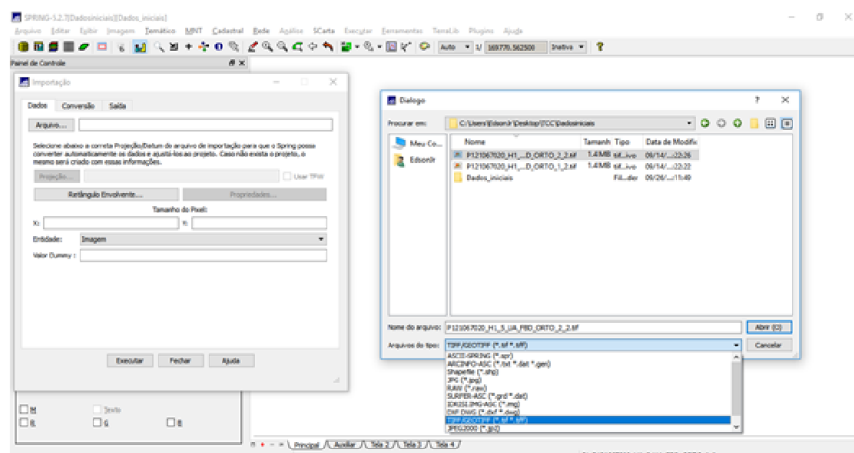
7.2.1 Importar as imagens

Importamos a imagem no programa Spring (versão 5.2.7), clicando no ícone Arquivo – Importar – Importar Dados Vetoriais e Matriciais; é aberto uma janela onde iremos selecionar as imagens a serem importadas. As imagens a serem trabalhadas precisam estar georreferenciadas (GeoTIFF).

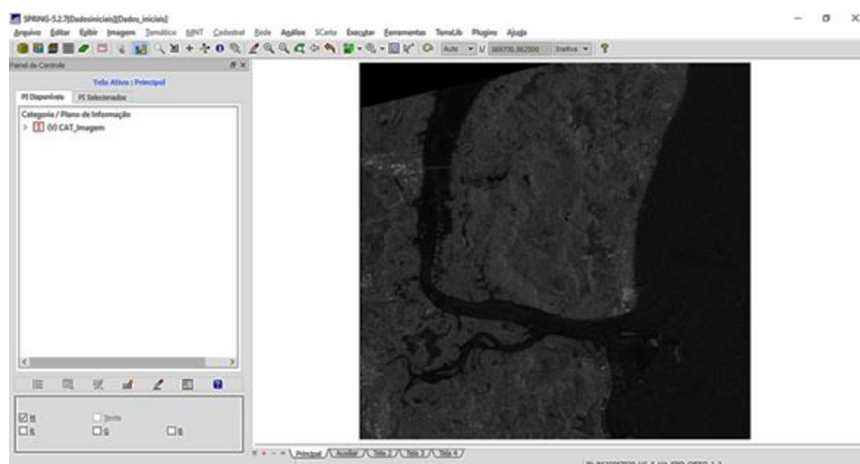
Figura 6: Sequenciamento para importação de imagens no software SPRING



(a) Clica no ícone Importar Dados Vetoriais e Matriciais



(b) Seleciona a imagem que será importada



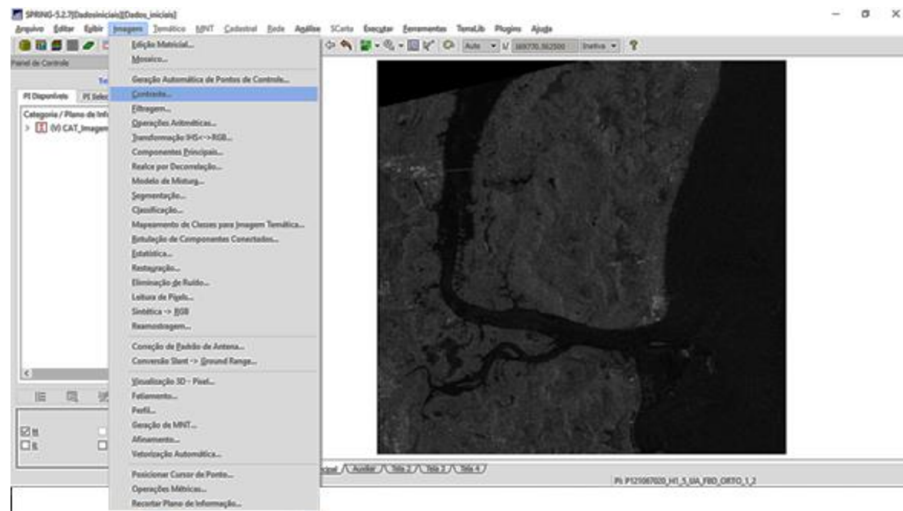
(c) A imagem aparece na tela do programa

Fonte: do próprio autor, 2017

7.2.2 Binarização

Em seguida, será realizado a binarização da imagem, alterando seu contraste. Clicamos no ícone Imagem – Contraste. É aberto uma janela onde mostra um diagrama com os valores espectrais da imagem, onde podemos fazer modificações.

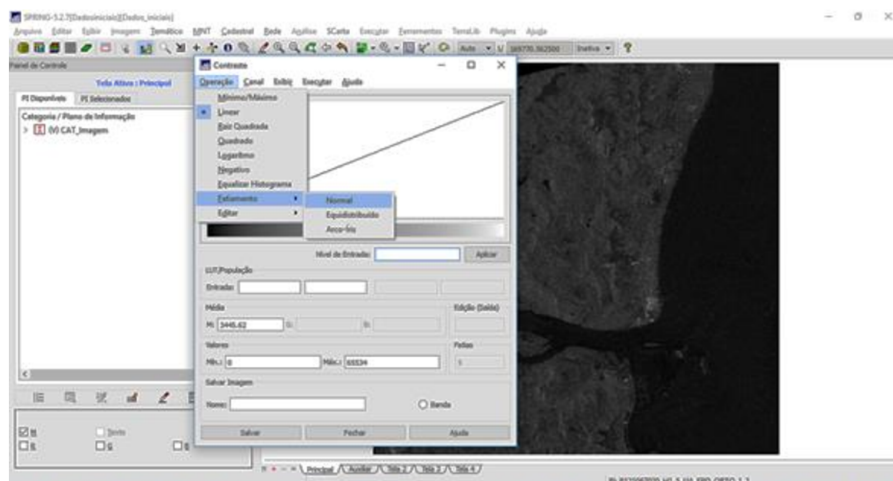
Figura 7: Procedimento inicial da binarização de uma imagem no software SPRING



Fonte: do próprio autor, 2017

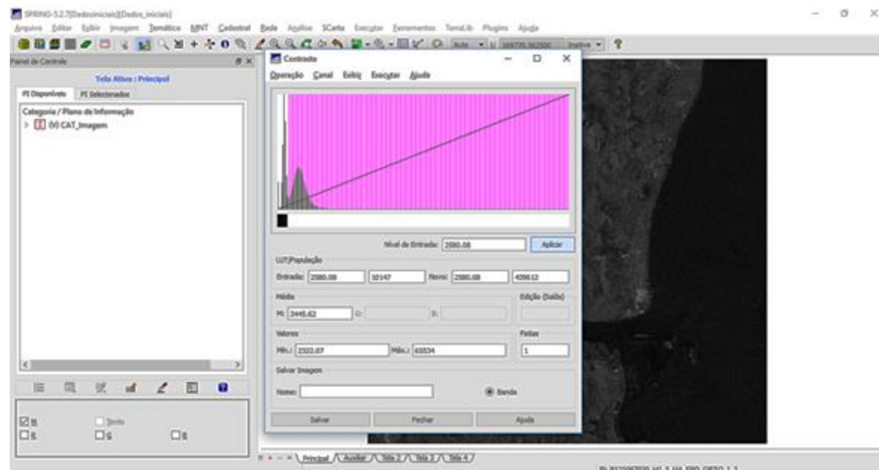
Para a binarização, utilizamos o fatiamento normal, onde será modificado os valores dos pixels a partir de um corte no diagrama. Em seguida, escrevemos um nome para a imagem modificada, que será salva como imagem sintética.

Figura 8: Sequência do processo de binarização de imagens no software SPRING



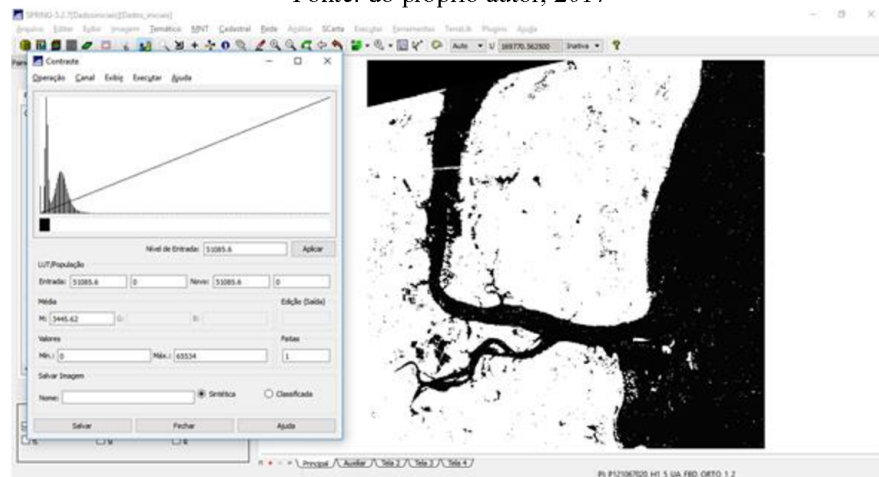
(a) Clica na janela de Fatiamento - Normal

Fonte: do próprio autor, 2017



(b) Seleciona qual parte do diagrama será dividido

Fonte: do próprio autor, 2017

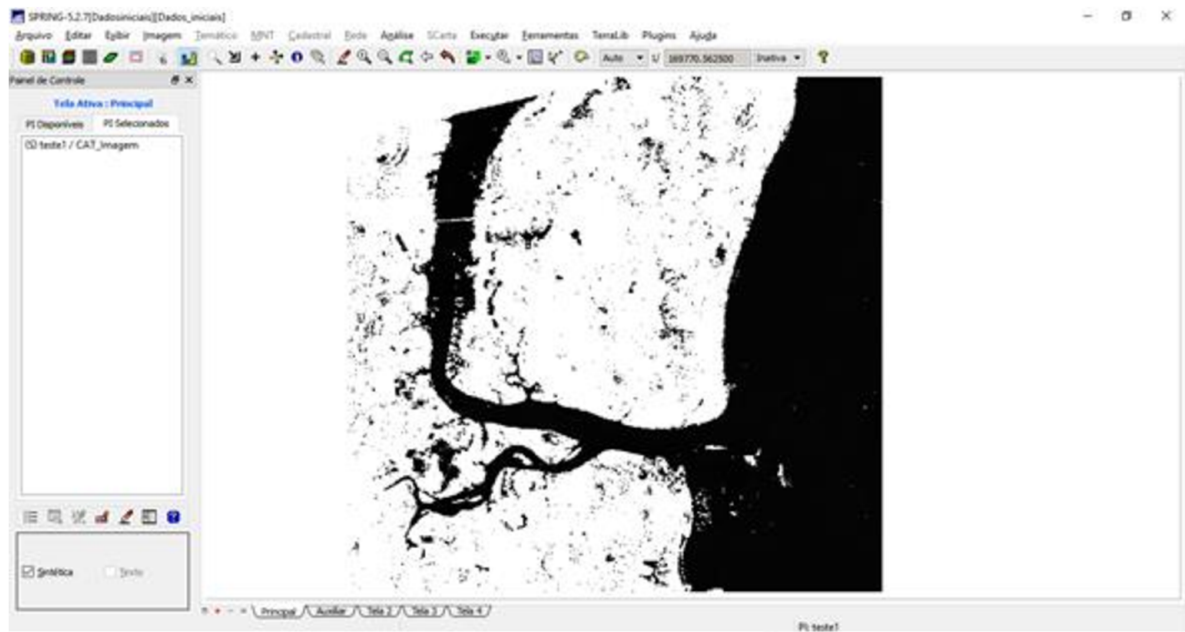


(c) Imagem binarizada

Fonte: do próprio autor, 2017

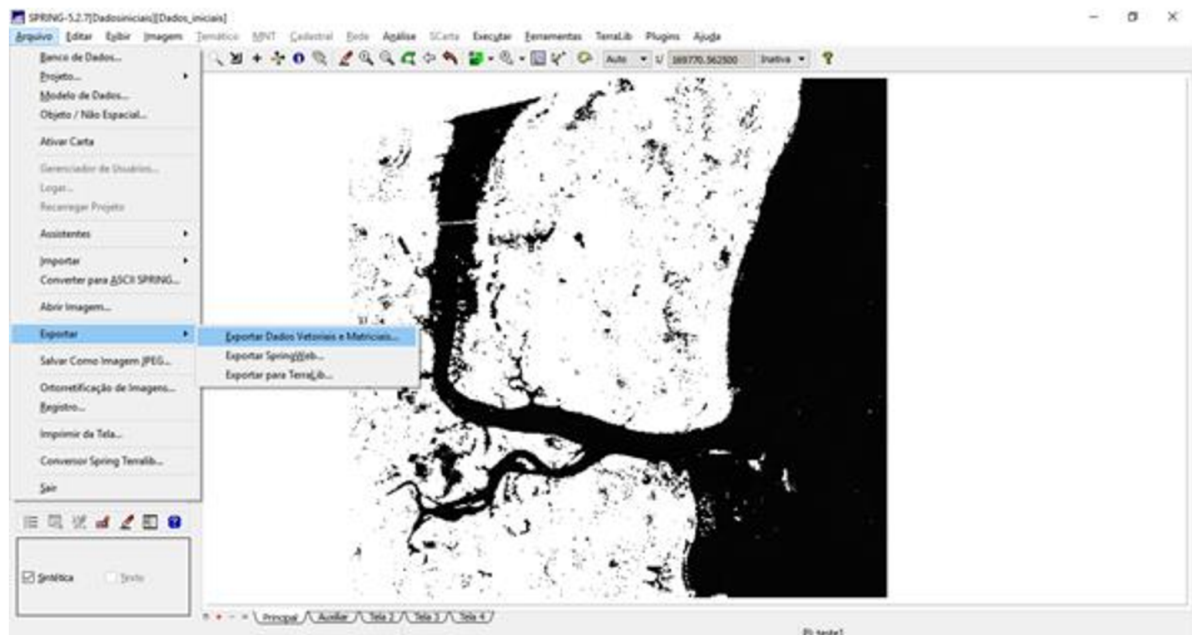
Após salvar a imagem (imagem sintética), exportaremos a imagem para transforma-la em uma imagem utilizável, que será importada, sendo viável ser trabalhada com as ferramentas do Spring necessárias para a criação das bordas, uma vez que as imagens sintéticas não podem.

Figura 9: Procedimento de exportação de imagem sintética no software SPRING



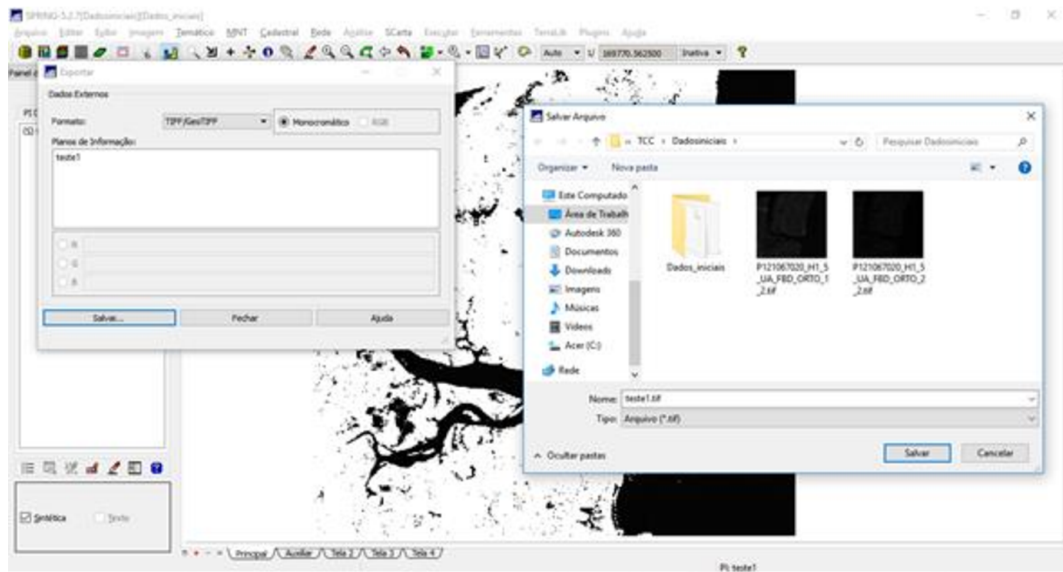
(a) Imagem Sintética binarizada

Fonte: do próprio autor, 2017



(b) Procedimento de Exportar a imagem sintética

Fonte: do próprio autor, 2017



(c) Selecione o tipo de imagem que será exportada e salve o arquivo

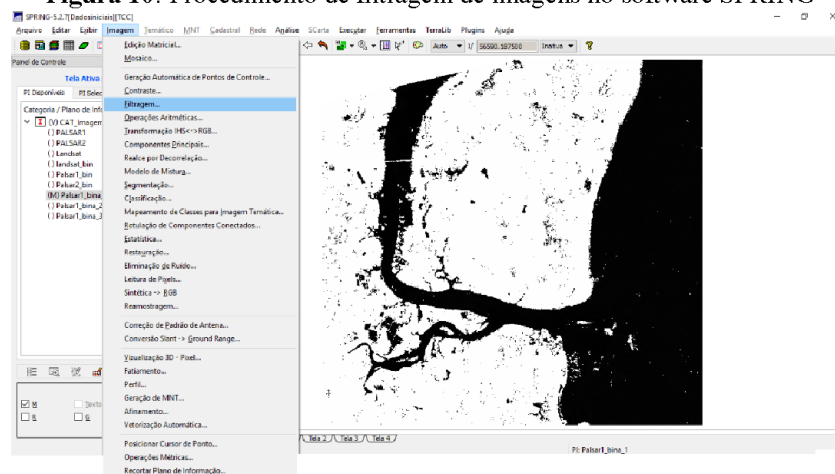
Fonte: do próprio autor, 2017

Após a exportação, importamos a imagem criada, e ela sairá em 3 bandas. Excluímos 2 das 3 imagens que aparecerem no visor, e renomeamos a imagem para melhor organização.

7.2.3 Filtros morfológicos não lineares

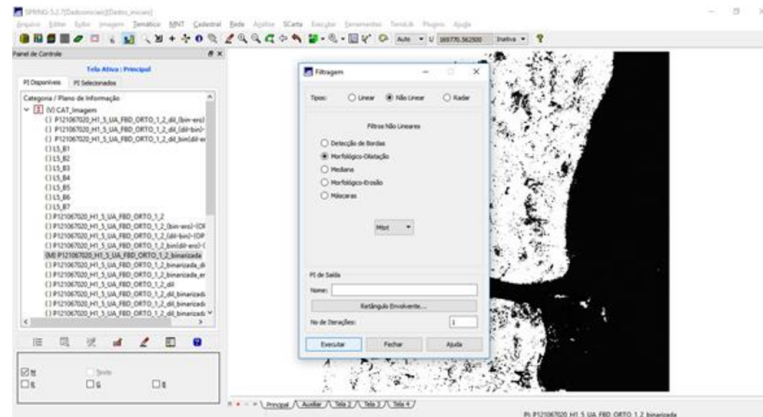
Em seguida, iremos usar os filtros morfológicos não lineares para criação de bordas. Serão aplicados filtros não lineares (erosão e dilatação) para alteração das imagens.

Figura 10: Procedimento de filtragem de imagens no software SPRING



(a) Clica na janela Filtragem, contida no ícone Imagem

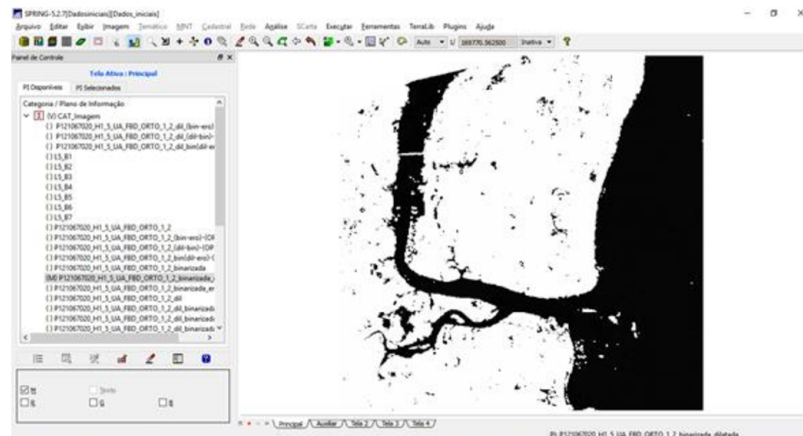
Fonte: do próprio autor, 2017



(b) Seleciona o tipo de filtro que será utilizado na aplicação da imagem

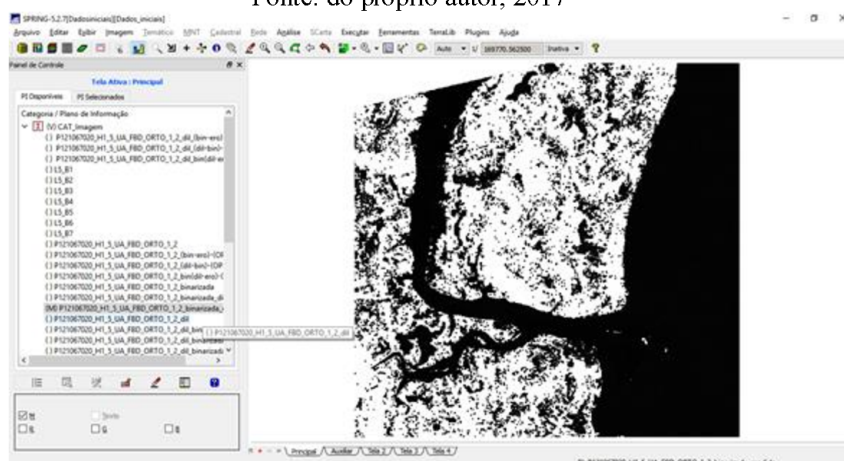
Fonte: do próprio autor, 2017

Figura 11: Resultados da filtragem Dilatação e Erosão respectivamente



(a) Imagem dilatada resultante

Fonte: do próprio autor, 2017



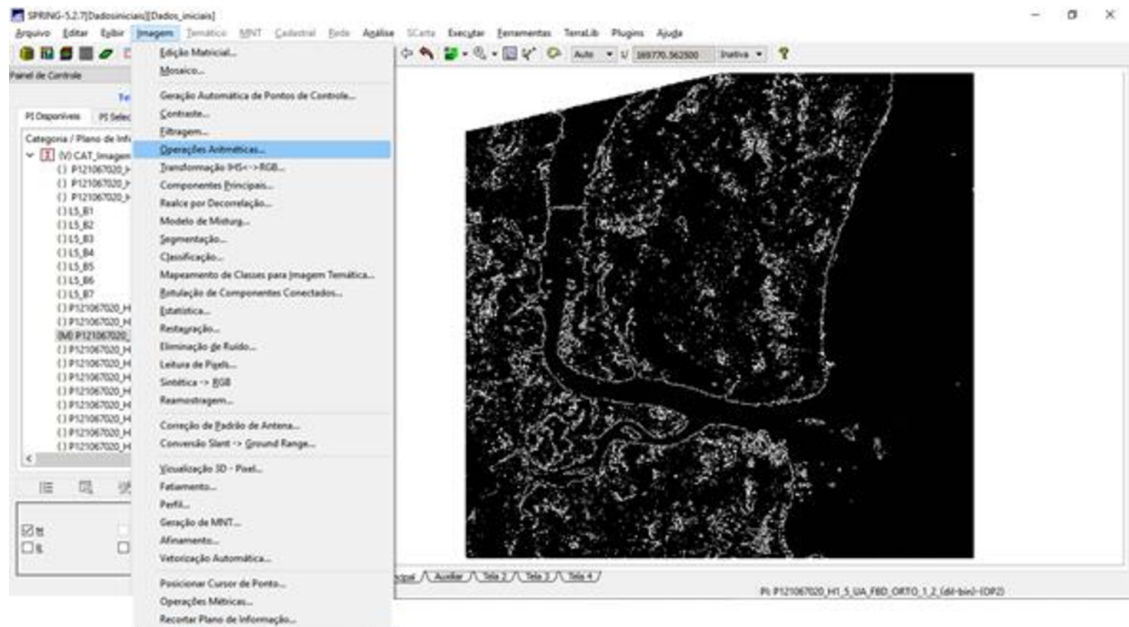
(b) Imagem Erodida Resultante

Fonte: do próprio autor, 2017

7.2.4 Operações Matemáticas

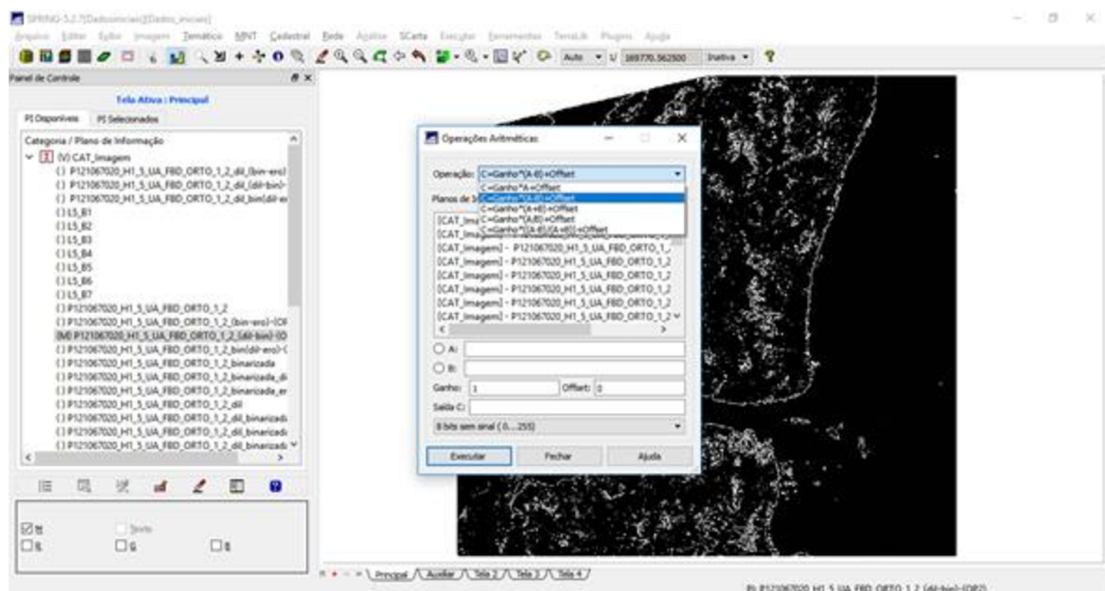
Após a aplicação dos filtros, usaremos a ferramenta Operações Aritméticas para a junção dessas imagens de formas variadas.

Figura 12: Procedimento final para a extração automática de bordas no software SPRING



(a) Seleciona a janela de Operações Matemáticas

Fonte: do próprio autor, 2017

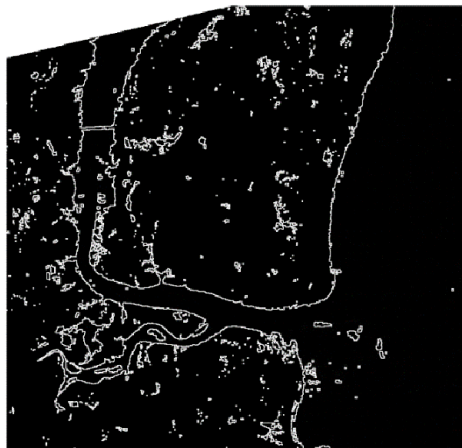


(b) Determina o tipo de operação a ser aplicada com as imagens

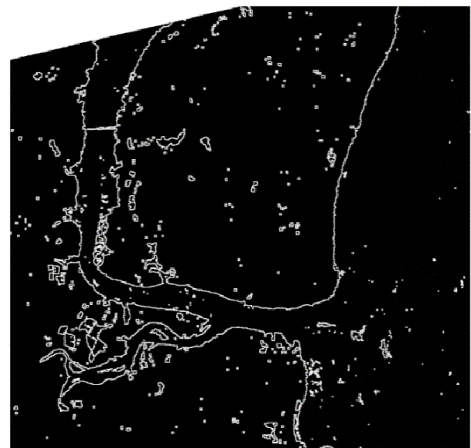
Fonte: do próprio autor, 2017

As imagens resultantes aceitáveis foram as mostradas a seguir.

Figura 13: Imagens resultantes com delimitação das bordas



(a) Imagem erodida (dilatada – erodida) polarização HH.



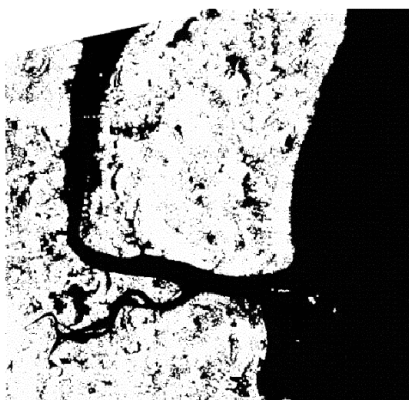
(b) Imagem dilatada (dilatada – erodida) polarização HH

Fonte: do próprio autor, 2017

7.2.5 Abertura e Fechamento

Os resultados adquiridos foram satisfatórios, porém, houve uma quantidade maior de ruídos na imagem com polarização HH. A seguir, é realizado o procedimento de abertura e fechamento das imagens resultantes. Utilizamos as imagens resultantes da polarização HV por haver menos ruídos. O procedimento de abertura e fechamento ajuda a suavizar as imagens para que tenhamos resultados expressivos sem ruídos, e assim, tenhamos o nosso objetivo. Como foi citado por Jacques Facon (2011), será dilatada a imagem já erodida para se obter a abertura e a imagem dilatada inicialmente sofrerá erosão, para se criar o fechamento da imagem binária. O procedimento é o mesmo que o inicial (filtro morfológico não linear), porém, as imagens selecionadas serão as obtidas inicialmente com a primeira etapa de filtragem. Os resultados obtidos com essas aplicações serão as seguintes.

Figura 14: Imagens com aplicação de abertura e fechamento respectivamente



(a) Imagem com aplicação da abertura

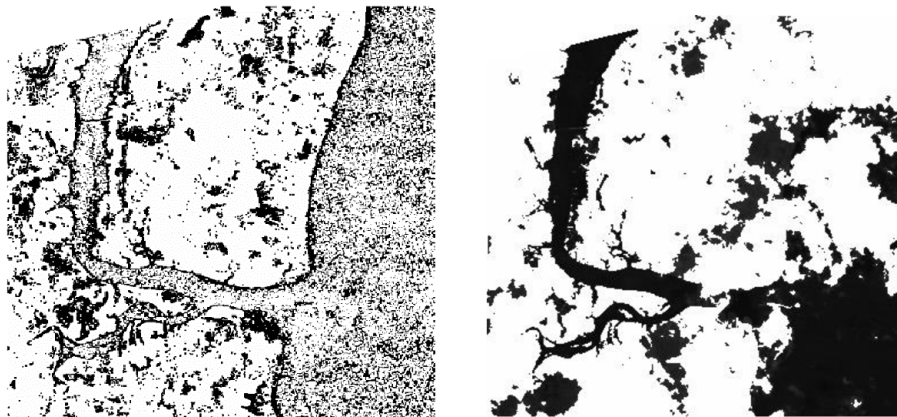


(b) Imagem com aplicação do fechamento

Fonte: do próprio autor, 2017

Os resultados após essas operações variam de acordo com a ordem que as imagens são selecionadas. A grande maioria dos resultados saem fora do adequado para estudo das bordas, e com isso, o trabalho fazendo o procedimento completo em todas as imagens são de grande custo de tempo. Por isso o estudo detalhado do conteúdo teórico é fundamental para estar apto a compreender os resultados preliminares e escolher as imagens resultantes adequadas. Alguns exemplos a seguir de imagens que não são adequadas para seguir o procedimento acima e que são descartadas pelo caminho:

Figura 15: Imagens descartadas pelo processo do trabalho (ALOS e Landsat respectivamente)



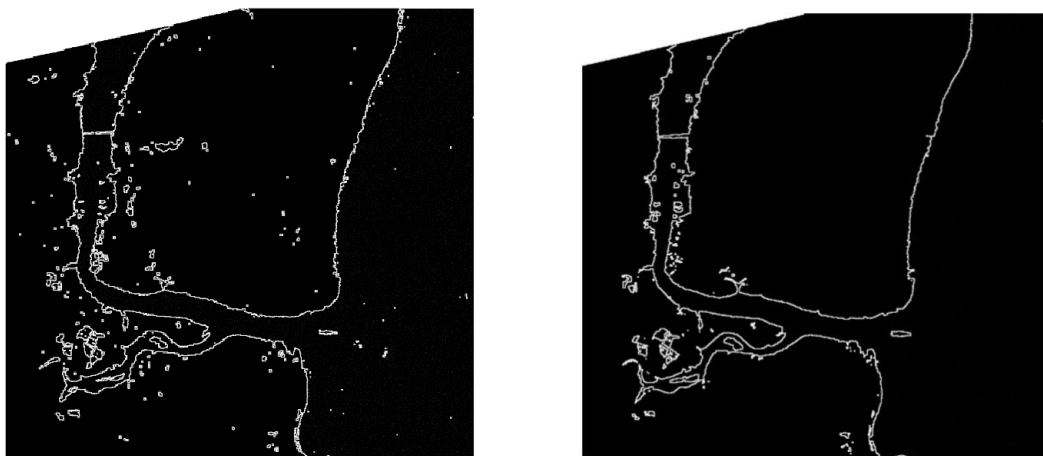
(a) Imagem ALOS polarização HH

(b) Imagem Landsat banda 4

Fonte: do próprio autor, 2017

Após o procedimento de abertura e fechamento das imagens, foi repetido os procedimentos de operações matemáticas para obtenção das bordas, mas com uma variação menor de ruídos. Os resultados mais satisfatórios foram os seguintes:

Figura 16: Imagens resultantes



(a) Imagem dilatada (dilatação – erosão) polarização HV

(b) Imagem dilatação – fechamento polarização HV

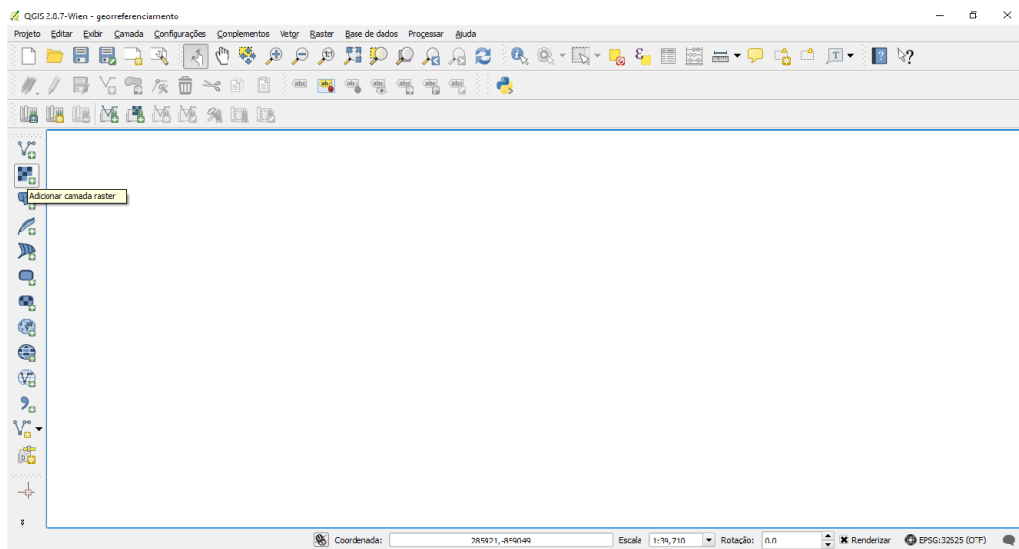
Fonte: do próprio autor, 2017

7.2.6 Georreferenciamento

Com os resultados obtidos, iremos agora georreferenciar as imagens que não estiverem no mesmo sistema de referência da carta planimétrica que utilizaremos como base para comparação de resultados. O procedimento será realizado no software gratuito QGIS, onde faremos todo o processo.

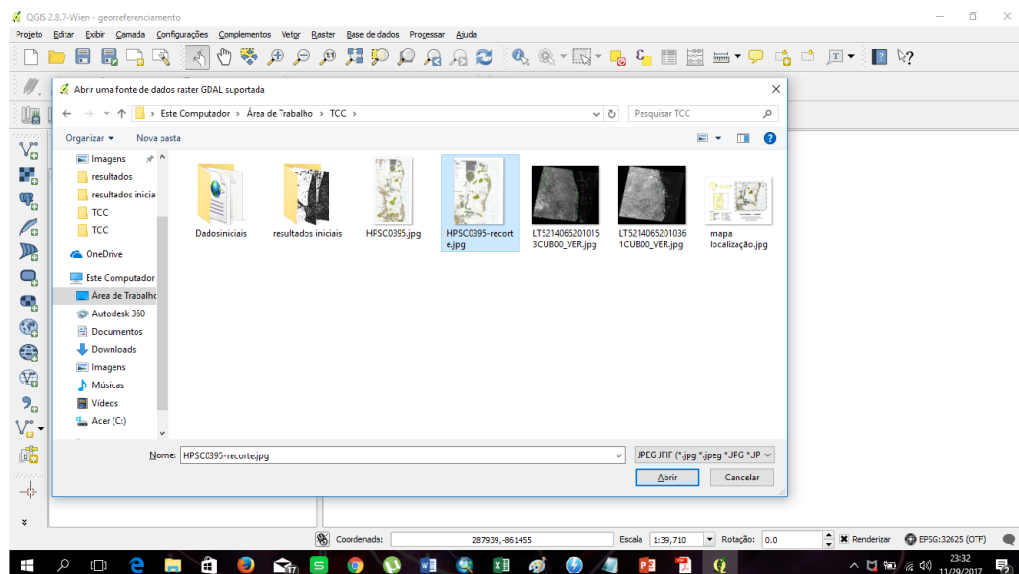
Inicialmente, importamos as imagens (JPEG) que quisermos utilizar no software utilizando o ícone  para que possamos seleccionar um sistema de referência adequado de acordo com as imagens georreferenciadas (GeoTiff).

Figura 17: Procedimento de importação das imagens no software QGIS



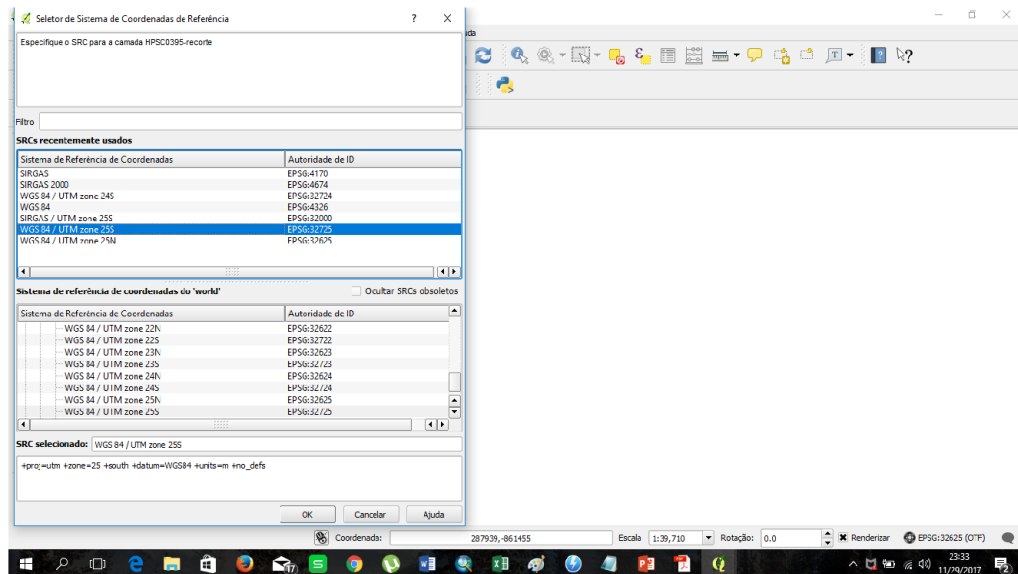
(a) Importar Imagem GeoTIFF

Fonte: do próprio autor, 2017



(b) Selecionar a Imagem

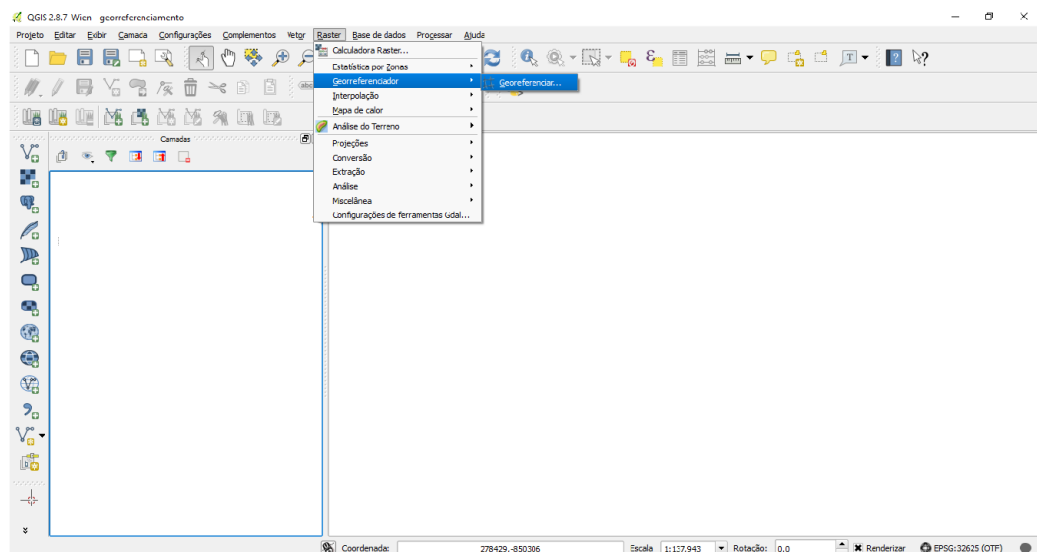
Fonte: do próprio autor, 2017



(c) Escolher o sistema de Referência

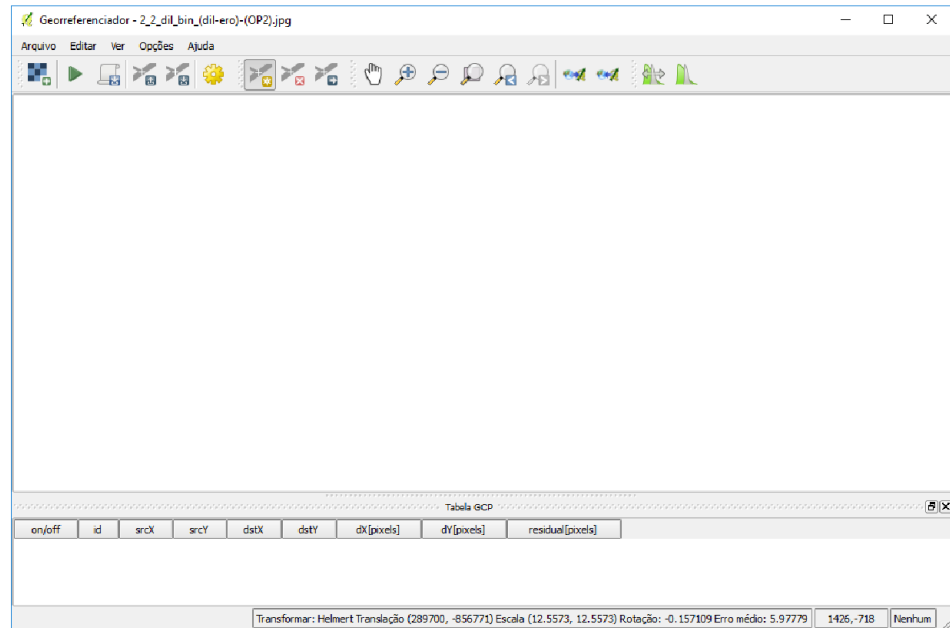
Fonte: do próprio autor, 2017

Após a importação das imagens, vamos georreferenciar as imagens JPEG que precisam ser ajustadas ao sistema de referência das imagens GeoTiff. Como imagem base, utilizamos a do Landsat 5 – banda 4 como referência. A seguir, clicamos em Raster – Georreferenciador – Georreferenciar (Figura 18(a)), e aparecerá o layout como o mostrado abaixo (Figura 18(b)):

Figura 18: Procedimento inicial para georreferenciar no software QGis

(a) Selecionar a janela de Georreferenciamento

Fonte: do próprio autor, 2017

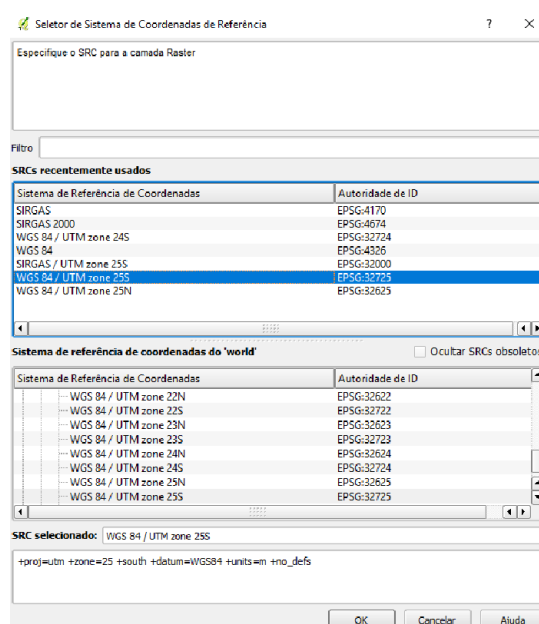


(b) É aberta uma nova janela onde será realizada o procedimento de georreferenciamento

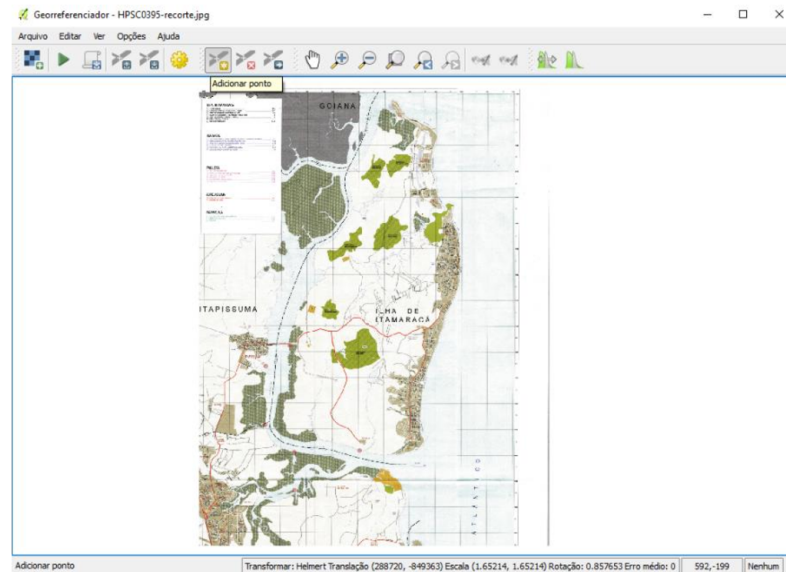
Fonte: do próprio autor, 2017

É realizado o processo de georreferenciar a imagem com base em um já georreferenciada. Para isso, criamos um conjunto de pontos de controle em formato *shapefile*. Importamos a imagem no layout da Figura 18(b), escolhemos o sistema de referência a ser trabalhado com base a imagem GeoTiff escolhida e depois clicamos no ícone  para que possamos adicionar pontos de controle na imagem.

Figura 19: Continuação do procedimento de georreferenciamento



(a) Seleciona o sistema de referência que será georreferenciada a imagem

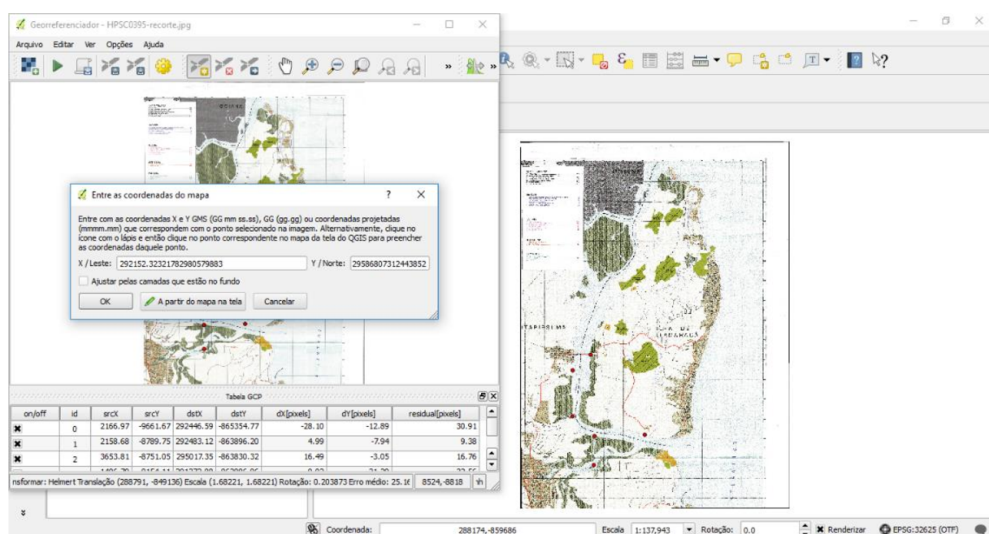


(b) Seleciona o ícone para inserir pontos na imagem

Fonte: do próprio autor, 2017

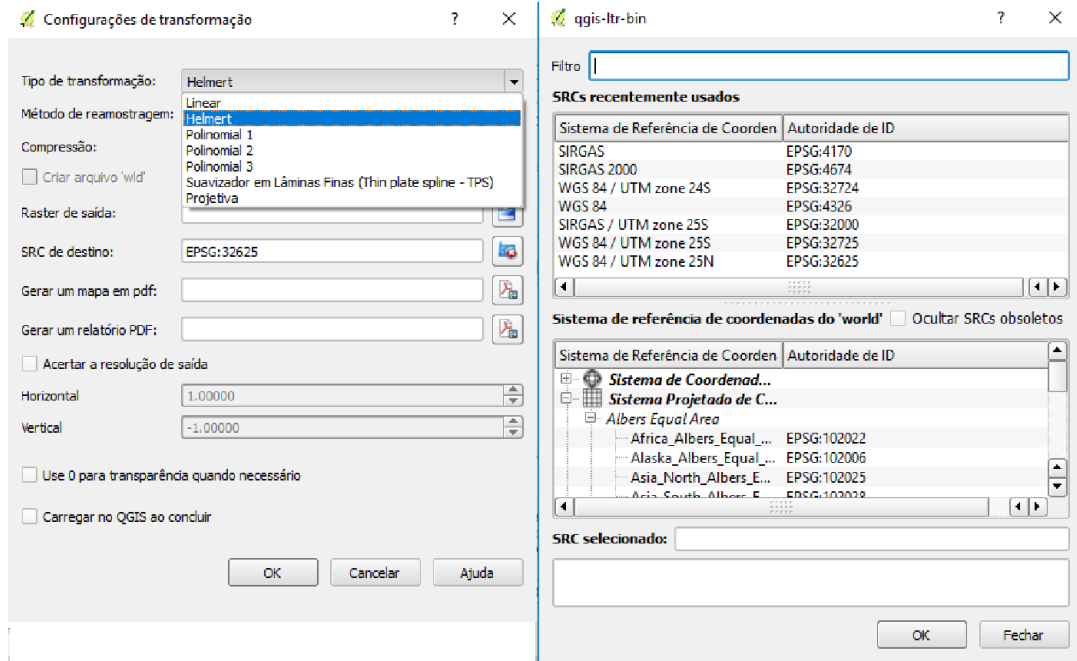
Após clicar no ícone, selecionamos um ponto na tela semelhante aos pontos de controle e aparece uma caixa onde você pode digitar as coordenadas do ponto escolhido ou clicar no ícone “Escolher no mapa”, onde você pode utilizar os pontos de controle para georreferenciar. Em seguida, após selecionar todos os pontos de controle, clica no ícone ► para selecionar o tipo de transformação utilizado no georreferenciamento e Sistema de Referência de Coordenadas que está sendo usado.

Figura 20: Procedimento de pontos de controle e transformação



(a) Insere os pontos de controle a partir de pontos da imagem já georreferenciada

Fonte: do próprio autor, 2017



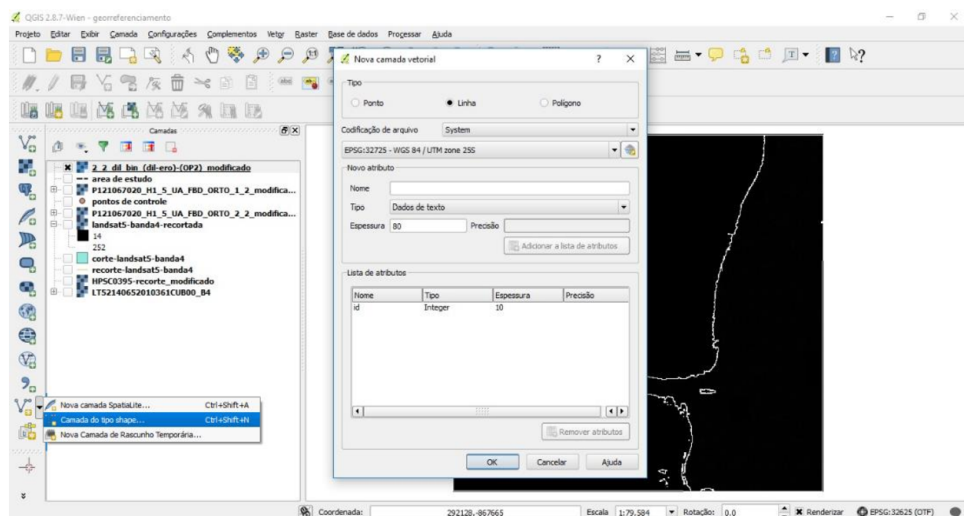
(b) Aplica o georreferenciamento escolhendo o sistema de referência aplicado

Fonte: do próprio autor, 2017

7.2.7 Criação do *shape* de linha para comparação de resultados

Depois que todas as imagens foram georreferenciadas, é hora da criação de shape de linha para comparação dos resultados. Iremos criar o shape a partir da delimitação encontrada na Figura 34. Clicamos no ícone  no canto inferior esquerdo para “adicionar camada do tipo shape” e aparece uma nova caixa, onde selecionamos o tipo de shape (linha), e o sistema de referência.

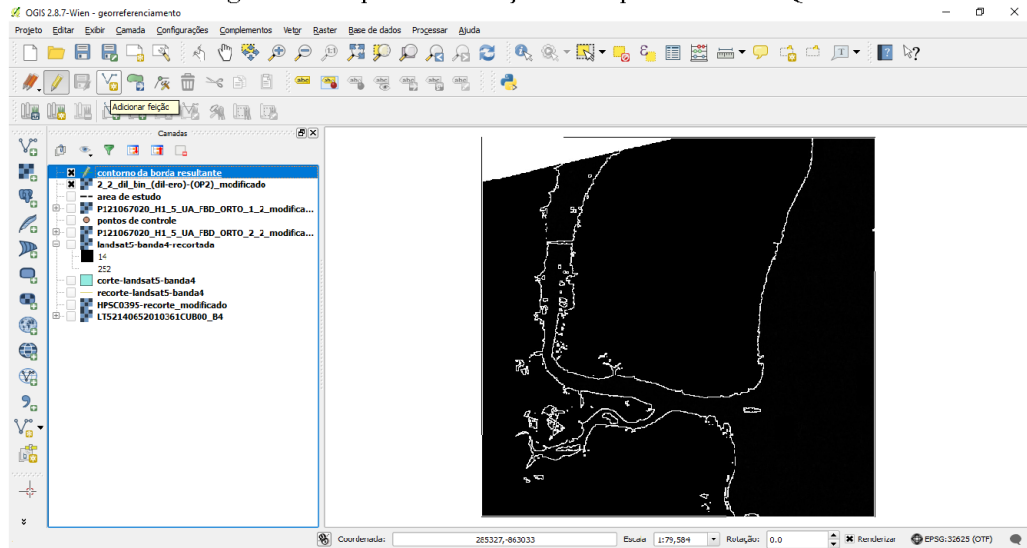
Figura 21: Procedimento inicial para criação de shape no software QGIS



Fonte: do próprio autor, 2017

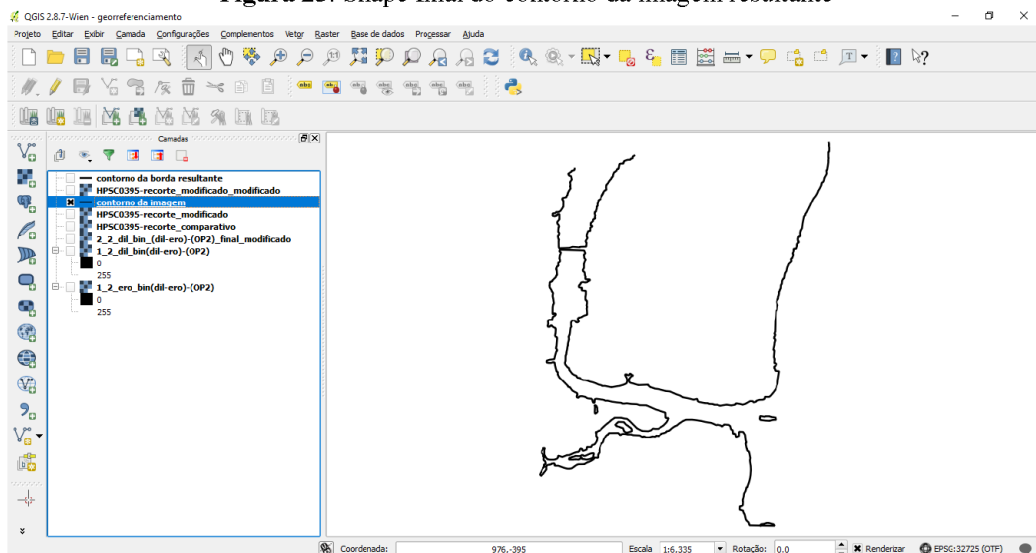
Após clicar em ok, você terá o shape “criado”, mas sem informações. Iremos editar o shape criado, para acrescentar o formato do contorno da área úmida da imagem resultante. Clicamos no ícone  para iniciar a edição do shape, e em seguida clicamos em  adicionarmos as arestas e vértices do contorno. O resultado será este:

Figura 22: Sequência da edição do shape no software QGis



Fonte: do próprio autor, 2017

Figura 23: Shape final do contorno da imagem resultante



Fonte: do próprio autor, 2017

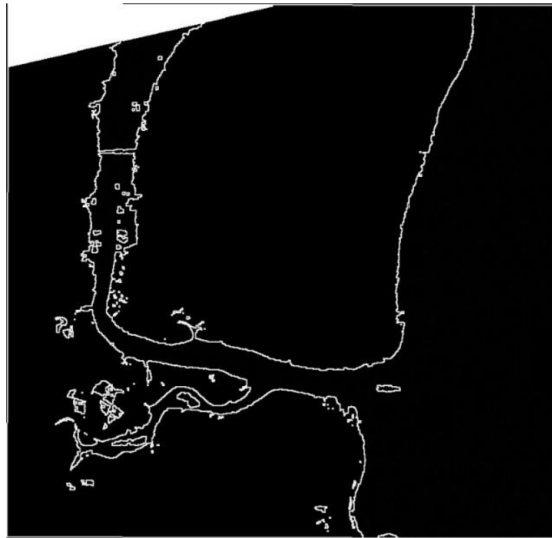
Como resultado, ligamos o shape de linha com a carta planimétrica 1:20000 georreferenciada, para vermos se o contorno encaixa com a limitação do corpo d'água da carta.

8 RESULTADOS

A seguir, os resultados obtidos:

- Imagem resultante final, com os menores ruídos.

Figura 24: Imagem dil_bin_ (dil-ero) polarização HV



Fonte: do próprio autor, 2017.

- Shape criado a partir das bordas da imagem anterior.

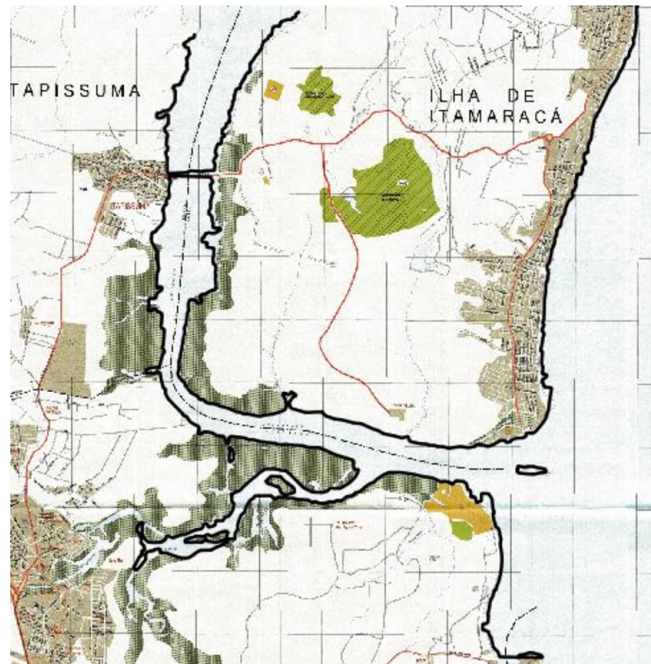
Figura 25: Shape criado



Fonte: do próprio autor, 2017.

- Ligação entre o shape de linha e a carta planimétrica para comparação visual:

Figura 26: União do corte da carta planimétrica e shape criado a partir da borda da imagem



Fonte: Condepe/Fidem, 2003, adaptado pelo autor, 2017

É perceptível na parte inferior da imagem, uma diferença entre o contorno e a carta planimétrica. Isso se dá por conta dos dados serem de períodos diferentes (carta planimétrica – 2003, Imagens ALOS – 2010). Se conclui que essa mudança ocorreu por conta do aumento global de temperatura, que afetou as condições climáticas da região, mantendo um período de estiagem maior em comparação ao período de chuvas, causando essa redução dos corpos d'água.

A seguir, para comparação visual, foi feito um gráfico mostrando um corte de perfil nas imagens para analisar e comparar resultados entre imagens com boa resposta após todo o processamento das imagens.

Figura 27: Imagens com corte de perfil para análise gráfica (linha do perfil começa de cima para baixo)

Figura (a): Imagem Binária HV



Figura (b): Imagem Binária (dil-fec) HH

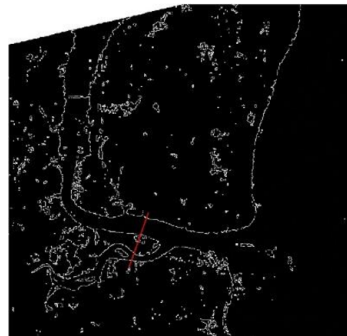
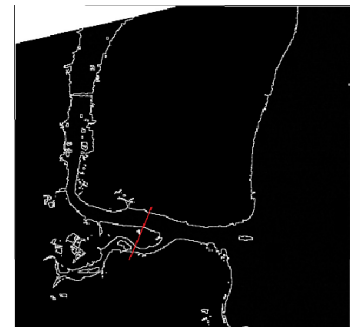
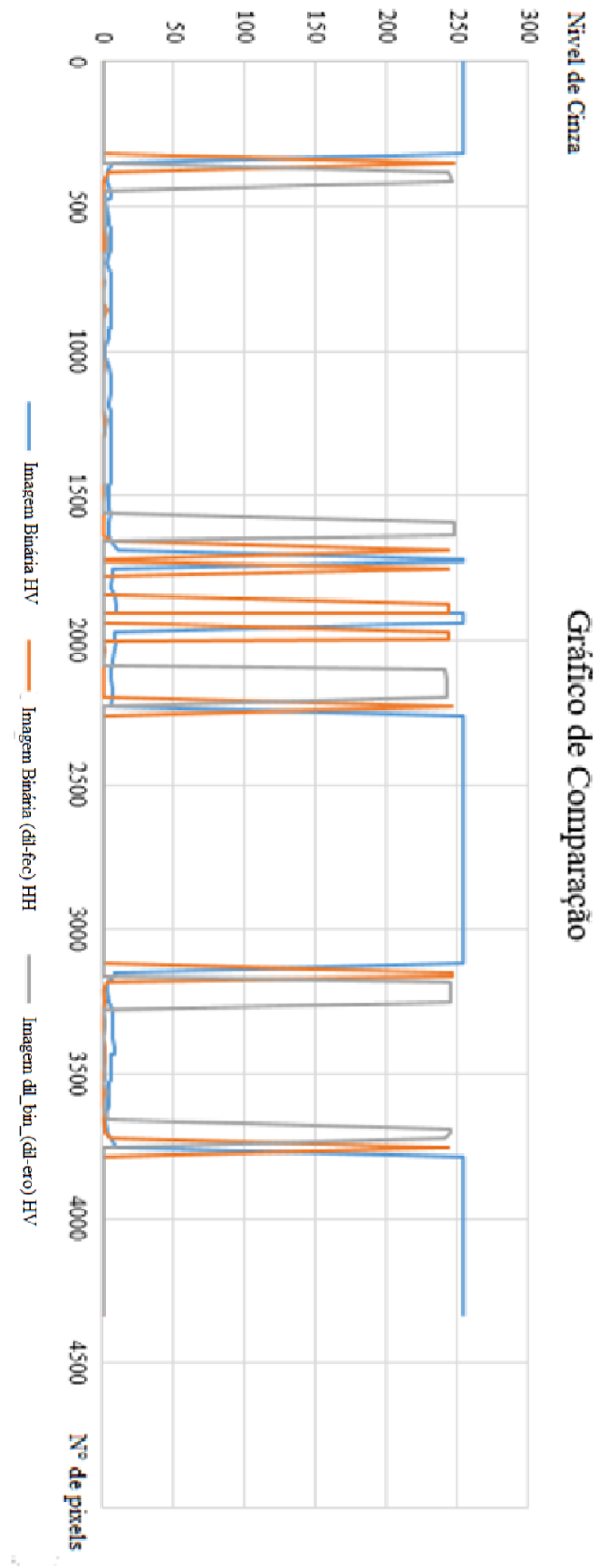


Figura (c): Imagem dil_bin_(dil-ero) HV



Fonte: do próprio autor, 2017.

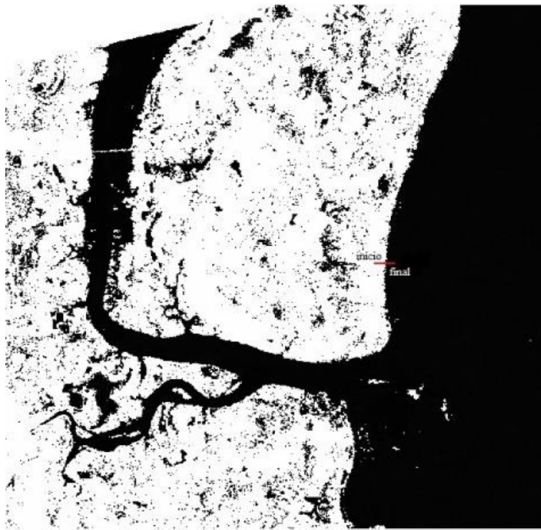
Figura 28: Gráfico estatístico dos perfis anteriores



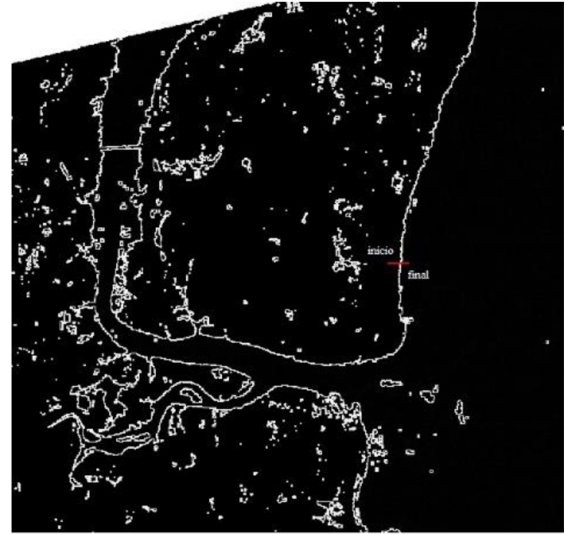
Fonte: do próprio autor, 2017.

Pelo gráfico, é possível visualizar paralelamente as imagens onde há a variação do nível de cinza dos pixels, e assim identificar onde se encontra os contornos das áreas úmidas. Após a criação do shape delimitando esse contorno, o mesmo é visível nos entornos da limitação do corpo d'água na carta planimétrica que foi scanneada e georreferenciada. A seguir, resultados em outros trechos da imagem:

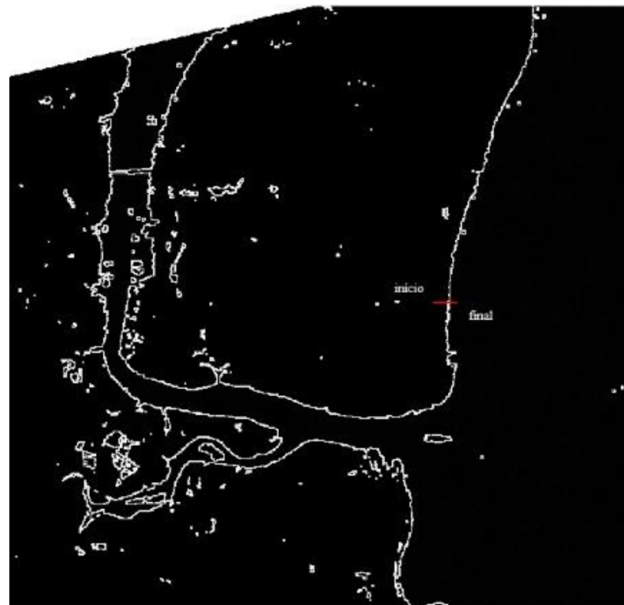
Figura 29: Linha de Perfil no trecho da costa na ilha (início da linha da esquerda para a direita)



(a) Binarizada HH

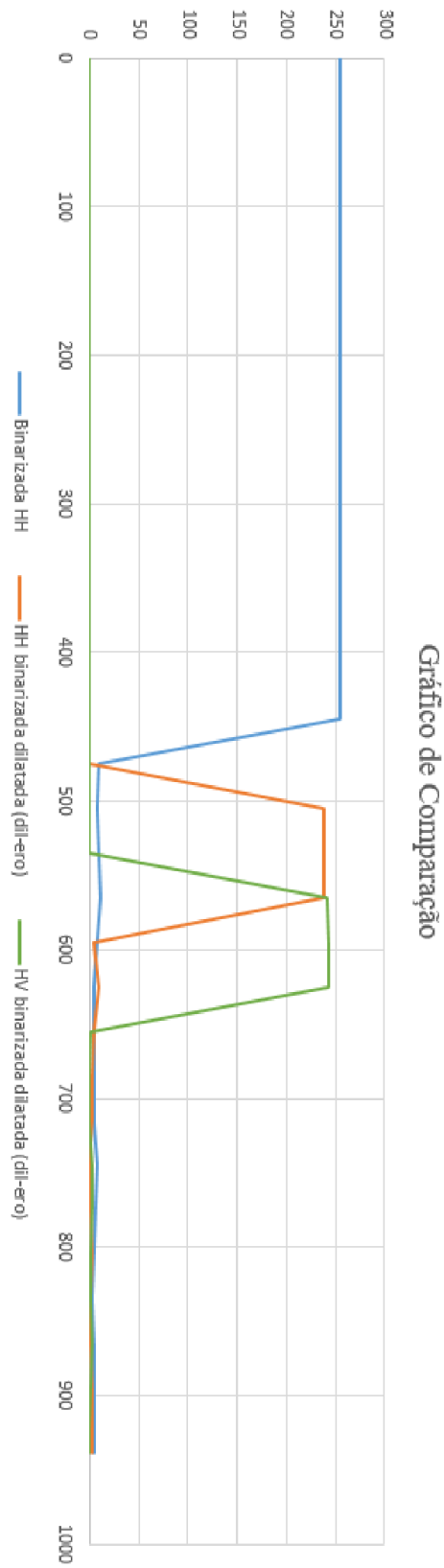


(b) HH binarizada dilatada (dil-ero)



(c) HV binarizada dilatada (dil-ero)

Figura 30: Gráfico estatístico dos perfis na costa da ilha

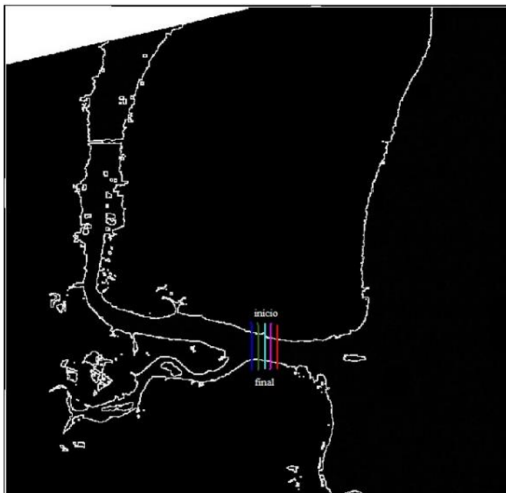


Fonte: do próprio autor, 2017.

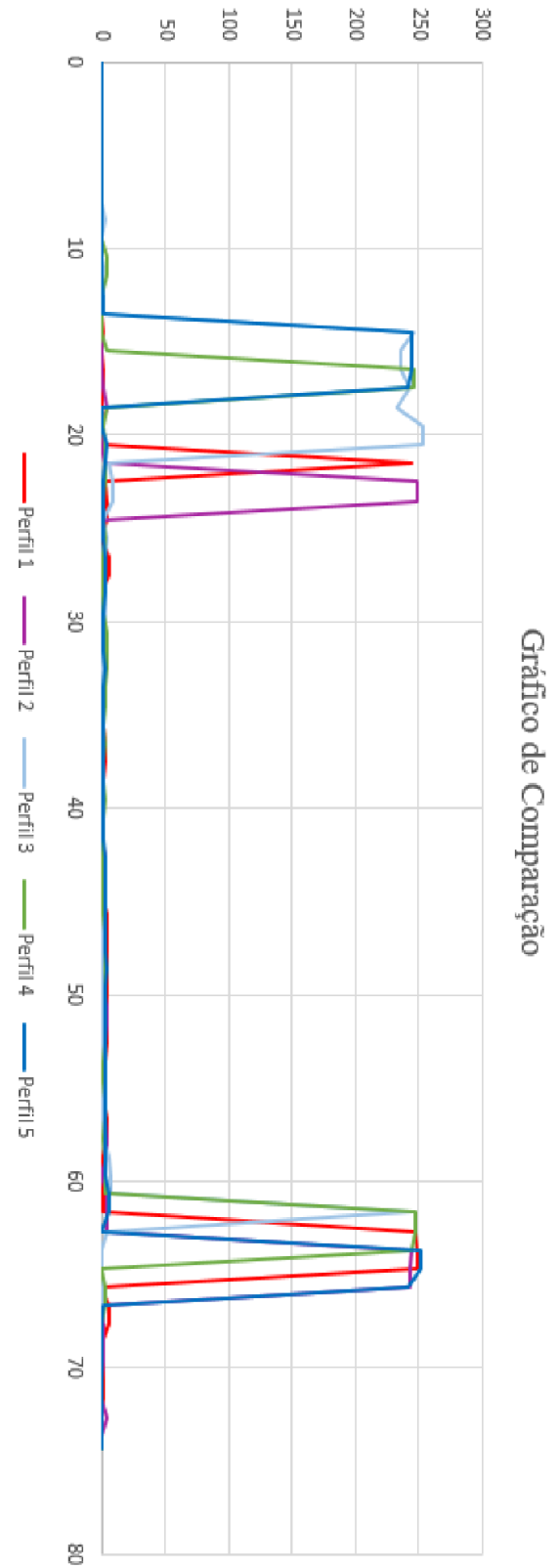
Outros exemplos: Linha de barragem (sequência de linhas de perfil)

Figura 31: Linha de Barragem na parte inferior do Canal de Santa Cruz

(a) Imagem de Satélite ALOS HV



(b) Gráfico

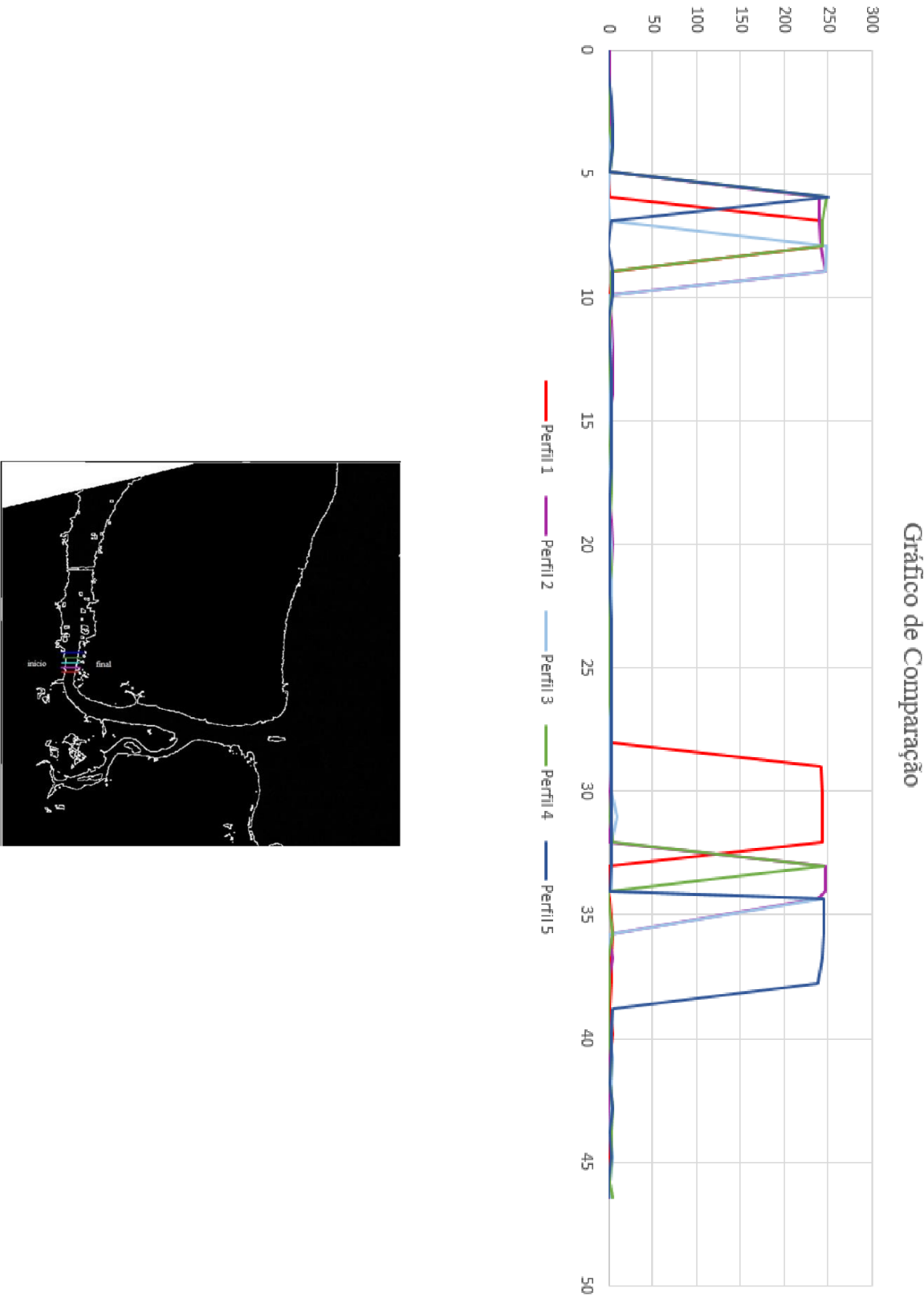


Fonte: do próprio autor, 2017.

Figura 32: Linha de Barragem na faixa esquerda do Canal de Santa Cruz

(a) Imagem de Satélite ALOS HV

(b) Gráfico



Fonte: do próprio autor, 2017.

9 CONCLUSÃO

A extração de contornos de corpos d'água são de grande importância para a cartografia temática, bem como na geração de planos de informação para um SIG (Sistema de Informação Geográfica).

O litoral brasileiro tem um grande problema de recobrimento de nuvens. Isso é um problema na extração de contorno de feições para a cartografia temática usando sensores passivos.

Os corpos de água e terrenos úmidos, na imagem de radar, são áreas escuras, porque não há o retorno do sinal, e esta propriedade é usada aqui para obter automaticamente as áreas úmidas ou com água. Vale ressaltar que a imagem TM da banda 4 do Landsat 5 não foi útil por conta do seu excesso de nuvens, que após a aplicação da binarização, teve respostas fora do limite aceitável para filtragem morfológica.

Este trabalho apresentou resultados positivos que possibilitaram a detecção automática de bordas usando MM de corpos de água e terrenos úmidos em regiões de grande índice de nebulosidade, onde os sistemas sensores óticos passivos tem grande dificuldade para aplicação de método de mapeamento em terrenos úmidos e superfícies líquidas.

A área de estudo foi a parte Sul do Canal de Santa Cruz, litoral norte de Pernambuco. Utilizou-se imagens de satélite ALOS/PALSAR e Landsat 5 para a extração automática dos limites geográficos dos corpos de água da região.

Gerou-se automaticamente, os *layers* para corpos de água e terrenos úmidos a partir do processamento de imagem e Morfologia Matemática e obteve-se o mapeamento dessas áreas a partir desses contornos.

Deixa-se como recomendação observar a precisão dos resultados obtidos com o resultado do shape obtido da carta planimétrica georreferenciada. Aqui foi visto apenas graficamente os resultados.

Foi possível concluir que esse método, utilizado nas imagens ALOS/PALSAR, traz resultados satisfatórios na extração de contornos. Foram realizados os procedimentos aqui apresentados em softwares gratuitos (SPRING e QGis).

REFERÊNCIAS

- BONNEFON, R.; DHÉRÉTÉ, P.; DESACHY, J. *Geographic information system updating using remote sensing images*. *Pattern Recognition Letters*, v. 23, n. 9, p. 1073-1083, 2002.
- CANDEIAS, A. L. B. **Aplicação da morfologia matemática e análise de imagens de sensoriamento remoto**, Tese de Doutorado, INPE, 6340 - TDI/592. Editora Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1997. 162 p.
- CANDEIAS, A. L. B. et al. **Extração de borda: uma análise pela morfologia matemática**. VIII Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, Curitiba, 2013.
- CANDEIAS, A. L. B. et al. **Reconhecimento das feições do complexo estuarino de Itamaracá usando índices espectrais**. Anais II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Informação. Recife, 2008.
- DIAS, L.; CRIBARI-NETO, F.; OSPINA, R. *Interval edge estimation in SAR images*. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 53, n. 2, p. 851-861, 2015.
- EMBRAPA. *ALOS - Advanced Land Observing Satellite*, 2017. Disponível em: <https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/sat/conteudo/missao_alos.html> Acesso em: 22/09/2017
- EMBRAPA. *LANDSAT - Land Remote Sensing Satellite*, 2017 Disponível em: <https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/sat/conteudo/missao_landsat.html> Acesso em: 22/09/2017
- ESKINAZI-LEÇA, E.; MACÊDO, S. J. & PASSAVANTE, J. Z. O. **Estudo ecológico da região de Itamaracá, Pernambuco, Brasil. V. Composição e distribuição do microfitoplâncton na região do Canal de Santa Cruz**. Trabalho Oceanografia Universidade Federal de Pernambuco, Recife, v. 15, p. 185- 262, 1980.
- FACON, J. **A Morfologia Matemática e suas Aplicações em Processamento de Imagens**, VII workshop de visão computacional, 2011
- FACON, J. **Morfologia matemática. Teoría y ejemplos**. Curitiba Brasil, CITS, 1996.
- FIDEM. **Proteção das áreas estuarinas**. Fundação de Desenvolvimento da Região Metropolitana do Recife, Série de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente, 40 p., 1987.
- GIRÓN, E.; FRERY, A. C.; CRIBARI-NETO, F. *Nonparametric edge detection in speckled imagery*. *Mathematics and Computers in Simulation*, v. 82, n. 11, p. 2182-2198, 2012.
- ISHIKAWA, A. S.; DA SILVA, P. H. A.; DA SILVA, E. A. **Extração de Redes de Drenagem em Imagens Orbitais Utilizando a Teoria da Morfologia Matemática**. COBRAC, 2004.
- JAXA. *Advanced Land Observing Satellite "Daichi" (ALOS): Start of Operations Phase and Data Provision to the Public*, 2006. Disponível em: <http://global.jaxa.jp/press/2006/10/20061023_alos_e.html> Acesso em: 25/09/2017

JAXA. *Advanced Land Observing Satellite “DAICHI” (ALOS)*. In: *Missions-Satellites and Spacecraft*, 2007. Disponível em: <http://www.jaxa.jp/projects/sat/alos/index_e.html> Acesso em: 25/09/2017

LACERDA, S. R.; ESKINAZI-LEÇA, E.; KOENING, M. L.. **Composição e variação da flora das Diatomáceas no estuário do Rio Paripe (Itamaracá-Pernambuco-Brasil)**. *TROPICAL OCEANOGRAPHY-ISSN: 1679-3013*, v. 26, n. 2, 2016.

MACÊDO, S. J.; FLORES-MONTES, M. J. & LINS, I. C. **Características abióticas da área, p. 7-25, in Gerenciamento participativo de estuários e manguezais**. Editora Universitária da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2000.

MONTEIRO, L. H. **Binarização por Otsu e Outras Técnicas Usadas na Detecção de Placas**. Disponível em: < <http://www2.ic.uff.br/~aconci/OTSUeOutras.pdf>>. Acesso em: 11/10/2017

MOURA, A.; CANDEIAS, A. L. B. **Uso de geotecnologias para o gerenciamento ambiental dos manguezais do sistema estuarino de Itamaracá-PE**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, Curitiba, PR, 2011.

PARANAGUÁ, M. N.; DO NASCIMENTO, D. A.; DE MACÊDO, S. J. **Estudo Ecológico da Região de Itamaracá, Pernambuco, Brasil. II Distribuição do Zooplâncton no Estuário do Rio Igarassu**. *Tropical Oceanography-ISSN: 1679-3013*, v. 14, n. 1, 2016.

PRITCHARD, D.N. *What is an estuary: physical view point*. In: LAUFF, G.H., ed. *Estuaries*. Washington, Am. Ass. Adv. Sci., p 3-5. 1967.

SOILLE, P. J.; ANSOULT, M. M. *Automated basin delineation from digital elevation models using mathematical morphology*. *Signal Processing*, v. 20, n. 2, p. 171-182, 1990.

STATELLA, T. e DA SILVA, E. **Morfologia Matemática: Extração de Feições a partir de Imagens Orbitais**. Anais de Simpósio Brasileiro de Geomática. São Paulo. 2011

WANGENHEIM, A.; DE SOUZA, A. I.; SANTOS, C. A. **Morfologia Matemática**. Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC, Santa Catarina, p. 49-80, 2014.

ANEXO I – Carta Planimétrica 1:20000

