



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

IDENTIFICAÇÃO DE EMBARCAÇÕES EM IMAGENS  
AEROTRANSPORTADAS DE RADAR DE ABERTURA SINTÉTICA NA  
ÁREA MARÍTIMA DO BRASIL

SÉRGIO ROBERTO HORST GAMBA

Dissertação de Mestrado em Geociências Aplicadas nº 11

BRASÍLIA - DF

2010



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

IDENTIFICAÇÃO DE EMBARCAÇÕES EM IMAGENS  
AEROTRANSPORTADAS DE RADAR DE ABERTURA SINTÉTICA NA  
ÁREA MARÍTIMA DO BRASIL

SÉRGIO ROBERTO HORST GAMBA

Dissertação de Mestrado em Geociências Aplicadas nº 11

**Orientadores:**

Prof. Dr. Edson Eyji Sano - Orientador

Prof. Dr. Marcelo Peres Rocha - Co-orientador

BRASÍLIA - DF

2010

SÉRGIO ROBERTO HORST GAMBA

IDENTIFICAÇÃO DE EMBARCAÇÕES EM IMAGENS  
AEROTRANSPORTADAS DE RADAR DE ABERTURA SINTÉTICA NA  
ÁREA MARÍTIMA DO BRASIL

Dissertação submetida à comissão examinadora designada pelo colegiado do programa de pós-graduação em Geociências Aplicadas do Instituto de Geociências como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geociências Aplicadas pela Universidade de Brasília.

Banca Examinadora:

Dr. Edson Eyji Sano

---

Orientador

Dr. Marco Ianniruberto

---

Membro da Banca

Dr. David Fernandes

---

Membro da Banca

BRASÍLIA - DF

2010

## DEDICATÓRIA

À minha família,  
Estela, esposa, Alison e Ariel, filhos,  
pelo apoio e companhia ao longo da caminhada.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por ter me concedido, através de sua bondade infinita, o potencial de concretizar mais uma conquista em minha vida.

Ao meu orientador e professor, Edson Eyji Sano, e co-orientador e professor, Marcelo Peres Rocha, pelos seus conhecimentos e auxílio que me fizeram crescer tanto na minha vida acadêmica quanto na profissional.

Ao professor de Estatística, Augusto César Bittencourt Pires, pela contribuição através de livros e de orientações.

Aos colegas do mestrado e do doutorado, pelos esclarecimentos e contribuições de informações, sem os quais a realização deste se tornaria mais árdua.

## EPÍGRAFE

“Mede o que é mensurável e torna mensurável o que não o é.”  
(Galileu Galilei)

## RESUMO

Esta dissertação trata sobre a identificação de embarcações em imagens aerotransportadas de radar de abertura sintética (SAR) da aeronave R 99 na área marítima do Brasil. Os objetivos deste trabalho são: identificar os métodos de geoprocessamento, o tipo de realce de contraste, os filtros morfológicos, os classificadores e os transformadores que permitem melhor identificação de embarcações em imagens SAR da Área Marítima do Brasil, relacionar os elementos de interpretação com as fases da interpretação, bandas, polarizações, filtros morfológicos, classificador e transformador, a fim de determinar os elementos de interpretação mais apropriados para identificação de embarcações; e distinguir embarcações entre si em imagens SAR por meio da utilização dos elementos de interpretação e de análises estatísticas de dados, gerando um algoritmo de medição automática do comprimento das embarcações. A metodologia foi dividida em três fases. Na primeira e na segunda fase, foi proposta uma definição de metodologia de interpretação de alvos em imagens SAR, enquanto na terceira fase, foi criado um algoritmo capaz de medir o comprimento dos alvos. Na primeira fase, os níveis digitais das cinco imagens das três áreas de estudo (Porto de Tubarão, Porto de Santos e Baía de Guanabara) foram exportados para a planilha MS Excel™ e para os pacotes estatísticos SPSS™ e MINITAB™ para serem analisados estatisticamente (análise de médias, desvio-padrão, correlação de Pearson, correlação múltipla, análise de variância, coeficiente Kappa e matriz de autovetores). Nesta fase, as imagens foram ainda processadas no *software* ENVI 4.5 em diferentes realces (linear 2%, gaussiano, equalização, raiz quadrada e contraste de 50 a 200), filtros morfológicos (dilatação, erosão, abertura e fechamento), classificadores não-supervisionados (isodata e K-médias), classificadores supervisionados (paralelepípedo, distância mínima, distância Mahalanobis, máxima verossimilhança, mapa de ângulo espectral, divergência de informação espectral, codificação binária e máquina de vetor suporte) e transformadores (realce por decorrelação, de saturação e imagem colorida sintética). Na segunda fase, os resultados da primeira fase serviram de base para confrontar elementos e fases da interpretação com bandas/polarizações, definindo os principais elementos de interpretação. Na última fase, foi utilizado um algoritmo na linguagem MATLAB, com base em dados estatísticos, banco de dados com 14 tipos de tabelas de embarcações militares e mercantes e 31 tipos de embarcações para cada tabela, com suas respectivas larguras e comprimentos, para diferenciar embarcações entre si (militar ou mercante). Resultados desse estudo mostraram que, para interpretar embarcações, a composição mais indicada é a banda L com as polarizações HH, VV e VH ou HH, VV e HV, seguida de aplicação de realce de contraste de 50-200, filtro morfológico abertura e classificador máquina de vetor suporte ou transformador imagem colorida sintética. A metodologia para medir de forma automática as embarcações apresentou resultados satisfatórios, principalmente para o limite de corte 255, pixel com 2,46 metros e uso do arquivo no formato texto.

Palavras chaves: Sensoriamento Remoto, Imagens SAR, Embarcações.

## ABSTRACT

This dissertation deals with the identification of vessels in images of airborne synthetic aperture radar (SAR) of the plane R 99 in the sea area of Brazil. Our objectives are to identify the methods of GIS, the type of contrast enhancement, morphological filters, classifiers and processors that enable better identification of ships in SAR images of the Maritime Area of Brazil, to relate the elements of interpretation with the stages of interpretation, bands, polarizations, morphological filters, classifier and processor in order to determine the elements of interpretation more appropriate to identify ships, boats and distinguish between them in SAR images by using the elements of interpretation and statistical analysis data, generating an algorithm for automatic measurement of the length of vessels. The methodology was divided into three phases. In the first and second phase, we proposed a definition of methodology of interpretation of targets in SAR images, while the third stage, was created an algorithm able to measure the length the targets. In the first phase, the levels of five digital images of the three study areas (Tubarão Port, Port of Santos and Guanabara of Bay) were exported to MS Excel™ spreadsheet and statistical packages SPSS™ and MINITAB™ to be analyzed statistically (analysis of means, standard deviation, Pearson correlation, multiple correlation, analysis of variance, and Kappa coefficient matrix of eigenvectors). At this stage, the images were further processed using ENVI 4.5 on different highlights (2% linear, Gaussian, equalization, square root and contrast from 50 to 200), morphological filters (dilation, erosion, opening and closing), non-supervised classifiers (ISODATA and K-means clustering), supervised classifiers (parallelepiped, minimum distance, Mahalanobis distance, maximum likelihood, spectral angle map, divergence of spectral information, binary encoding and support vector machine) and processors (by decorrelation highlight, saturation and synthetic color image). In the second phase, the results of the first phase provided a basis for comparing elements and stages of interpretation with band / polarization, defining the main elements of interpretation. In the last phase, we used an algorithm in MATLAB, based on statistical data, database tables with 14 types of naval and merchant ships and 31 types for each table, with their widths and lengths to differentiate vessels each other (military or merchant). Results of this study showed that, in interpreting vessels, the composition is the most appropriate L band with HH, VV and VH, or HH, VV and HV, followed by application of contrast enhancement of 50-200, morphological opening filter and classifier support vector machine or synthetic color image processor. The methodology for automatically measuring vessels with satisfactory results, especially for the cut-off 255 pixels with 2.46 meters and use the file in text format.

Key words: Remote Sensing, SAR Images, vessels.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

1.1-Área de estudo. Da direita para a esquerda, Porto de Santos, Porto de Tubarão e Baía das Cobras.....	05
2.1-Área Marítima.....	10
2.2-Portos fluviais e marítimos no Brasil.....	11
2.3-Produção relativa de petróleo por bacia sedimentar brasileira.....	12
2.4-Sequência de descobertas de petróleo na bacia de Campos.....	13
2.5-Definição de limites marítimos em milhas e em quilômetros.....	16
2.6-Localização da Amazônia Azul.....	17
2.7-Fotografia de uma Fragata União (F-45), classe Niterói, da Marinha do Brasil...21	
2.8-Fotografia de um navio mercante petroleiro.....	21
2.9-Fotografia de uma aeronave R-99 transportando sensor de radar de abertura sintética (SAR).....	22
3.1- Faixa espectral das microondas.....	24
3.2-Transparência atmosférica e efeito das nuvens na faixa espectral das microondas .....	25
3.3-Transparência atmosférica e efeito da chuva na faixa espectral das microondas	25
3.4-Carta Aeronáutica de Pilotagem na escala de 1:250.000 da região de Porto de Santos.....	26
3.5-Carta Aeronáutica de Pilotagem na escala de 1:250.000 da região de Porto de Tubarão.....	28
3.6-Carta Aeronáutica de Pilotagem na escala de 1:250.000 da região da Baía de Guanabara.....	30
3.7-Imagem de alta resolução espacial disponível no programa Google Earth da região da Baía de Guanabara.....	31
3.8-Exemplos típicos de histogramas de imagens com baixa e alta radiância e com baixo e alto contraste.....	32
3.9-Imagens SAR na banda L e polarização HH da região da Baía de Guanabara, realçadas com filtro abertura.....	33
3.10-Imagens SAR na banda L e polarização HH da região de Porto de Santos, realçadas com filtro abertura.....	33

3.11-Imagens SAR na banda L e polarização HH da região de Porto de Tubarão, realçadas com filtro abertura Imagens SAR na banda L e polarização HH da região de Porto de Tubarão, realçadas com filtro abertura.....	34
3.12-Dados estatísticos da imagem SAR na banda L e polarização HH da região de Porto de Santos, realçadas com filtro abertura e sem contraste espectral.....	35
3.13-Diferença conceitual entre realce de contraste e filtragem espacial.....	37
3.14-Imagens SAR da região de Porto de Santos, obtidas nas bandas X e L e polarizações HH, HV, VH e VV.....	39
3.15-Imagens SAR da região do Porto de Tubarão, obtidas nas bandas X e L e polarizações HH, HV, VH e VV.....	39
3.16-Imagens SAR da região de Porto de Santos, obtidas na banda L e polarização HH e realçadas com quatro filtros morfológicos distintos.....	40
3.17-Imagens SAR da região de Porto de Santos, obtidas na banda L e polarização VH e realçadas com quatro filtros morfológicos distintos.....	40
3.18-Imagens SAR da região de Porto de Santos, obtidas na banda L e polarização HV e realçadas com quatro filtros morfológicos distintos.....	41
3.19-Imagens SAR da região de Porto de Santos, obtidas na banda L e polarização VV e realçadas com quatro filtros morfológicos distintos.....	41
3.20-Imagens SAR da região de Porto de Santos, obtidas na banda X e polarização HH e realçadas com quatro filtros morfológicos distintos.....	42
3.21-Imagens SAR da região de Porto de Tubarão, obtidas na banda L e polarização HH e realçadas com quatro filtros morfológicos distintos.....	42
3.22-Imagens SAR da região de Porto de Tubarão, obtidas na banda L e polarização HV e realçadas com quatro filtros morfológicos distintos.....	43
3.23-Imagens SAR da região de Porto de Tubarão, obtidas na banda L e polarização VH e realçadas com quatro filtros morfológicos distintos.....	43
3.24-Imagens SAR da região de Porto de Tubarão, obtidas na banda L e polarização VV e realçadas com quatro filtros morfológicos distintos.....	44
3.25-Imagens SAR da região de Porto de Tubarão, obtidas na banda X e polarização HH e realçadas com quatro filtros morfológicos distintos.....	44
3.26-Imagens SAR da região da Baía de Guanabara, obtidas na banda L e polarização HH e realçadas com quatro filtros morfológicos distintos.....	45
3.27- Regiões de interesse (ROI) extraídas na região do Porto de Santos.....	53

3.28-Regiões de interesse (ROI) extraídas na região do Porto de Tubarão.....	53
3.29-Resultado da classificação isodata envolvendo as imagens SAR da região do Porto de Santos, obtidas na banda L e polarizações HH, HV e VV.....	54
3.30-Resultado da classificação isodata envolvendo as imagens SAR da região do Porto de Tubarão, obtidas na banda L e polarizações HH, VH e VV.....	54
3.31-Resultado da classificação K-médias envolvendo as imagens SAR da região do Porto de Santos, obtidas na banda L e polarizações HH, HV e VV.....	55
3.32-Resultado da classificação K-médias envolvendo as imagens SAR da região do Porto de Tubarão, obtidas na banda L e polarizações HH, VH e VV.....	56
3.33-Resultado da classificação pelo método do paralelepípedo envolvendo as imagens SAR da região do Porto de Santos, obtidas na banda L e polarizações HH, HV e VV.....	57
3.34-Resultado da classificação pelo método do paralelepípedo envolvendo as imagens SAR da região do Porto de Tubarão, obtidas na banda L e polarizações HH, VH e VV.....	57
3.35- Resultado da classificação pelo método da distância mínima envolvendo as imagens SAR da região do Porto de Santos, obtidas na banda L e polarizações HH, HV e VV.....	58
3.36-Resultado da classificação pelo método da distância mínima envolvendo as imagens SAR da região do Porto de Tubarão, obtidas na banda L e polarizações HH, VH e VV.....	59
3.37-Resultado da classificação pelo método da distância Mahalanobis envolvendo as imagens SAR da região do Porto de Santos, obtidas na banda L e polarizações HH, HV e VV.....	60
3.38-Resultado da classificação pelo método da distância Mahalanobis envolvendo as imagens SAR da região do Porto de Tubarão, obtidas na banda L e polarizações HH, VH e VV.....	60
3.39-Resultado da classificação pelo método da máxima verossimilhança envolvendo as imagens SAR da região do Porto de Santos, obtidas na banda L e polarizações HH, HV e VV.....	61
3.40-Resultado da classificação pelo método da máxima verossimilhança envolvendo as imagens SAR da região do Porto de Tubarão, obtidas na banda L e polarizações HH, VH e VV.....	62

3.41-Resultado da classificação pelo método SAM envolvendo as imagens SAR da região do Porto de Santos, obtidas na banda L e polarizações HH, HV e VV.....	63
3.42-Resultado da classificação pelo método SAM envolvendo as imagens SAR da região do Porto de Tubarão, obtidas na banda L e polarizações HH, VH e VV.....	63
3.43-Resultado da classificação pelo método SID envolvendo as imagens SAR da região do Porto de Santos, obtidas na banda L e polarizações HH, HV e VV.....	64
3.44-Resultado da classificação pelo método SID envolvendo as imagens SAR da região do Porto de Tubarão, obtidas na banda L e polarizações HH, VH e VV.....	65
3.45-Resultado da classificação pelo método da codificação binária envolvendo as imagens SAR da região do Porto de Santos, obtidas na banda L e polarizações HH, HV e VV.....	66
3.46-Resultado da classificação pelo método da codificação binária envolvendo as imagens SAR da região do Porto de Tubarão, obtidas na banda L e polarizações HH, VH e VV.....	66
3.47-Resultado da classificação pelo método SVM envolvendo as imagens SAR da região do Porto de Santos, obtidas na banda L e polarizações HH, HV e VV.....	67
3.48-Resultado da classificação pelo método SVM envolvendo as imagens SAR da região do Porto de Tubarão, obtidas na banda L e polarizações HH, VH e VV.....	68
3.49-Ilustração de rotação de dois eixos envolvida na transformação por componentes principais.....	70
3.50-Imagens SAR da região do Porto de Santos obtidas na banda L e polarizações HH, HV e VV, realçadas pelo método da decorrelação.....	73
3.51-Imagens SAR da região do Porto de Tubarão obtidas na banda L e polarizações HH, HV e VV, realçadas pelo método da decorrelação.....	73
3.52-Imagens SAR da região do Porto de Santos obtidas na banda L e polarizações HH, HV e VV, realçadas pelo método da saturação.....	74
3.53-Imagens SAR da região do Porto de Tubarão, obtidas na banda L e polarizações HH, HV e VV, realçadas pelo método da saturação.....	75
3.54-Imagens SAR da região do Porto de Santos obtidas na banda L e polarizações	

HH, HV e VV, realçadas pelo método SCI.....	76
3.55-Imagens SAR da região do Porto de Tubarão, obtidas na banda L e polarizações HH, HV e VV, realçadas pelo método SCI.....	76
4.1-Imagem SAR na banda L, polarização HH e resolução espacial de 3 metros do Porto de São Sebastião, SP, mostrando formas distintas entre píer e embarcação.....	75
4.2-Imagem SAR do satélite canadense RADARSAT-1mostrando embarcações com diferentes dimensões.....	79
4.3-Imagem SAR do satélite canadense RADARSAT-1 mostrando uma embarcação com sombras no convés.....	80
4.4-Imagem SAR do satélite canadense RADARSAT-1 mostrando tonalidades diferentes para o mar e para uma embarcação.....	81
4.5-Imagem SAR na banda L, polarização HH e resolução espacial de 3 metros sobre o Porto de São Sebastião, SP, mostrando diferença de altura entre o nível do mar e o do morro.....	82
4.6-Fase de detecção na interpretação de imagens. O alvo escuro encontra-se em contraste com o terreno claro.....	83
4.7-Fase de reconhecimento na interpretação de imagens. O alvo escuro que se encontra em contraste com o terreno claro possui forma de uma aeronave.....	83
4.8-Fase de análise na interpretação de imagens. O alvo aeronave opera com quatro motores.....	84
4.9-Classificação do alvo como sendo uma aeronave do tipo C-130.....	85
4.10-Imagem SAR com visada lateral. A distorção geométrica é menor para posições mais próximas do nadir.....	88
4.11-Tipos mais comuns de retroespalhamento no mar (reflexão especular) e em embarcações (reflexão de canto).....	89
4.12-Efeito da polarização no retroespalhamento de um solo para diferentes ângulos de incidência.....	90
4.13-Vista de cima de embarcações militares e mercantes típicas.....	91
4.14-Embarcações militares e mercantes em imagens SAR.....	93
5.1-Fluxograma que representa o processo para interpretar e medir de forma automática embarcações em imagens SAR.....	95
5.2-Imagem SAR da região do Porto de Tubarão, obtida na banda L e polarizações	

HH, HV e VV, contendo embarcações mercantes.....	96
5.3-Imagem MSS da região do Porto de Tubarão, obtida nas bandas 842, contendo embarcações mercantes.....	96
5.4- Aeronave R99 com os sensores SAR e MSS.....	97
5.5- Bandas espectrais do MSS.....	98
5.6- Imagens MSS e SAR de uma embarcação mercante graneleiro 225 metros.....	98
5.7 Image (imagem 1), gráfico linear (imagem 2), contorno (imagem 3) e gráfico em três dimensões (imagem 4) da imagem 1.....	108
5.8- Image (imagem 1), gráfico linear (imagem 2), contorno (imagem 3) e gráfico em três dimensões (imagem 4) da imagem 2.....	108
5.9- Image (posição 1,1), gráfico linear (posição 1,2), contorno (posição 1,3) e gráfico em três dimensões (posição 1,4).da imagem 3.....	109
5.10- Image (imagem 1), gráfico linear (imagem 2), contorno (imagem 3) e gráfico em três dimensões (imagem 4) da imagem 4.....	109
5.11- Image (imagem 1), gráfico linear (imagem 2), contorno (imagem 3) e gráfico em três dimensões (imagem 4) da imagem 5.....	110
5.12- Image (imagem 1), gráfico linear (imagem 2), contorno (imagem 3) e gráfico em três dimensões (imagem 4) da imagem 6.....	110
5.13- Image (imagem 1), gráfico linear (imagem 2), contorno (imagem 3) e gráfico em três dimensões (imagem 4) da imagem 7.....	111
5.14- Image (imagem 1), gráfico linear (imagem 2), contorno (imagem 3) e gráfico em três dimensões (imagem 4) da imagem 8.....	111
5.15 Image (imagem 1), gráfico linear (imagem 2), contorno (imagem 3) e gráfico em três dimensões (imagem 4) da imagem 9.....	112
5.16- Image (imagem 1), gráfico linear (imagem 2), contorno (imagem 3) e gráfico em três dimensões (imagem 4) da imagem 10.....	112
5.17- Image (imagem 1), gráfico linear (imagem 2), contorno (imagem 3) e gráfico em três dimensões (imagem 4) da imagem 11.....	113
5.18- Image (imagem 1), gráfico linear (imagem 2), contorno (imagem 3) e gráfico em três dimensões (imagem 4) da imagem 12.....	113
5.19- Fluxograma que representa o processo para calcular de forma automática o comprimento de embarcações em imagens SAR.....	116
5.20- Imagem SAR da região da Baía de Guanabara (Ilha das Cobras), obtida na	

banda L e polarização HH, contendo embarcações militares.....	118
5.21- Imagem SAR da região da Baía de Guanabara (Complexo Mocangue), obtida na banda L e polarização HH, contendo embarcações militares.....	118
5.22-Mapa demonstrativo da posição de navios atracados em 24 de setembro de 2010.....	119
5.23- Image (imagem 1), gráfico linear (imagem 2), contorno (imagem 3) e gráfico em três dimensões (imagem 4) da imagem 13.....	120
5.24- Image (imagem 1), gráfico linear (imagem 2), contorno (imagem 3) e gráfico em três dimensões (imagem 4) da imagem 14.....	121
5.25- Image (imagem 1), gráfico linear (imagem 2), contorno (imagem 3) e gráfico em três dimensões (imagem 4) da imagem 15.....	121
5.26- Image (imagem 1), gráfico linear (imagem 2), contorno (imagem 3) e gráfico em três dimensões (imagem 4) da imagem 16.....	122
5.27- Image (imagem 1), gráfico linear (imagem 2), contorno (imagem 3) e gráfico em três dimensões (imagem 4) da imagem 17.....	122
5.28- Image (imagem 1), gráfico linear (imagem 2), contorno (imagem 3) e gráfico em três dimensões (imagem 4) da imagem 18.....	123
5.29- Fluxograma do processo para realizar a busca no banco de dados. Fonte: COMGAR (2010).....	129

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Movimento anual de exportação e importação, de navios e de contêineres no período de 2003 a 2007 no Porto de Santos.....	27
Tabela 2 – Movimentação de cargas nos principais portos do Brasil.....	29
Tabela 3 – Médias e correspondentes desvios-padrões de imagens na banda L, polarização HH e filtro abertura da Baía de Guanabara, realçadas por cinco técnicas de aumento de contraste.....	35
Tabela 4 – Médias e correspondentes desvios-padrões de imagens na banda L, polarização HH e filtro abertura de Porto de Santos, realçadas por cinco técnicas de aumento de contraste.....	36
Tabela 5 – Médias e correspondentes desvios-padrões de imagens na banda L, polarização HH e filtro abertura de Porto de Tubarão, realçadas por cinco técnicas de aumento de contraste.....	36
Tabela 6 - Desempenho de filtros morfológicos para as imagens SAR da região de Porto de Santos, obtidas nas bandas X e L e polarizações HH, HV, VH e VV.....	45
Tabela 7 - Desempenho de filtros morfológicos para as imagens SAR da região de Porto de Tubarão, obtidas nas bandas X e L e polarizações HH, HV, VH e VV.....	46
Tabela 8 – Desempenho de filtros morfológicos para as imagens SAR da região da Baía de Guanabara, obtidas nas bandas X e L e polarizações HH, HV, VH e VV....	46
Tabela 9 - Valores digitais médios e os correspondentes desvios-padrões das imagens SAR da região de Porto dos Santos obtidas nas bandas L e X e polarizações HH, HV, VH e VV e realçadas com diferentes filtros morfológicos.....	47
Tabela 10 - Valores digitais médios e os correspondentes desvios-padrões das imagens SAR da região de Porto de Tubarão obtidas nas bandas L e X e polarizações HH, HV, VH e VV e realçadas com diferentes filtros morfológicos.....	48
Tabela 11 - Valores digitais médios e os correspondentes desvios-padrões das imagens SAR da região da Ilha da Cobra obtidas na banda L e polarização HH e realçadas com diferentes filtros morfológicos.....	49
Tabela 12 – Coeficientes de correlação de Pearson para as imagens SAR de Porto de Santos obtidas na banda L e polarizações HH, HV, VH e VV.....	50
Tabela 13 – Coeficientes de correlação de Pearson para as imagens SAR de Porto	

de Tubarão obtidas na banda L e polarizações HH, HV, VH e VV.....	50
Tabela 14 – Resultados da ANOVA para as imagens SAR na banda L e polarizações HH, HV, VH e VV da região de Porto de Santos.....	51
Tabela 15 – Resultados da ANOVA para as imagens SAR na banda L e polarizações HH, HV, VH e VV da região de Porto de Tubarão.....	51
Tabela 16 - Coeficiente Kappa. Porto de Santos.....	69
Tabela 17 - Coeficiente Kappa. Porto de Tubarão.....	69
Tabela 18 – Matriz de autovetores para as imagens SAR da região de Porto de Santos obtidas na banda L e nas polarizações HH, HV, VH e VV.....	71
Tabela 19 – Matriz de autovetores para as imagens SAR da região de Porto de Tubarão obtidas na banda L e nas polarizações HH, HV, VH e VV.....	72
Tabela 20 – Médias e desvios-padrões das imagens SAR da região de Porto de Santos obtidas na banda L e polarizações HH, HV e VV e realçadas por três técnicas distintas.....	77
Tabela 21 – Médias e desvios-padrões das imagens SAR da região de Porto de Tubarão obtidas na banda L e polarizações HH, VH e VV e realçadas por três técnicas distintas.....	77
Tabela 22 – Elementos de interpretação.....	86
Tabela 23 – Fases da interpretação.....	87
Tabela 24 – Tamanho de um pixel em metros.....	99
Tabela 25 – Níveis digitais em uma matrix 5x5.....	100
Tabela 26 – Limites de corte e tamanhos obtidos.....	101
Tabela 27 – Níveis digitais em uma matrix 5x5, com valores 0 e 1.....	102
Tabela 28 – Níveis digitais em uma matrix 5x5, com valores 0 e 1. Reduzindo as somas maiores e iguais a 1 ao valor 1 e somas menores que 1 ao valor 0.....	103
Tabela 29 – Tamanho real e tamanho calculado automaticamente das embarcações.....	106
Tabela 30 – Tamanho real e tamanho calculado automaticamente das embarcações mercantes com redução de 7 m.....	107
Tabela 31 – Tamanho real e tamanho calculado automaticamente das embarcações militares.....	117

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRA-PAT - Associação Brasileira de Equipagens da Aviação de Patrulha  
AMRJ - Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro  
ANOVA – Analysis of Variance  
ASCII – American Standard Code for Information Interchange  
CAP - Carta Aeronáutica de Pilotagem  
CEPSRM – Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia  
CNUDM - Convenção das Nações Unidas sobre os Direitos do Mar  
COMGAR – Comando Geral de Operações Aéreas  
DCA – Doutrina do Comando da Aeronáutica  
ENVI – Environment for Visualizing Images  
FAB – Força Aérea Brasileira  
FOV - Field of View  
HH – Polarização horizontal-horizontal  
HSV – Hue, Saturation, Value  
HV – Polarização horizontal-vertical  
IDL - Interactive Data Language  
IEAv - Instituto de Estudos Avançados  
IFOV - Instantaneous Field of View  
IKONOS – Satélite Comercial de Observação da Terra  
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
LANDSAT – Land Remote Sensing Satellite  
Lat – Latitude  
Long – Longitude  
MATLAB - Matrix Laboratory  
MCA – Manual do Comando da Aeronáutica  
MSS – MultiSpectral Scanner  
OM - Organização Militar  
ONU – Organização das Nações Unidas  
P-3 - Aeronave de Patrulha Marítima

PMN - Política Marítima Nacional  
RADAR – Radio Detection And Ranging  
RADARSAT-1 – Satélite de observação da Terra, cujo sensor é um radar (canadense);  
RGB – Red, Green, Blue  
ROI – Region of interest  
SAR – Synthetic Aperture Radar  
SPSS – Statistical Package for Social Sciences  
SAM - Spectral Angle Mapper  
SCI - Synthetic Color Image  
SID - Spectral Information Divergence  
SVM - Support Vector Machine  
TIF – Tagged Image File  
TM - Thematic Mapper  
UNODC - Escritório das Nações Unidas para a luta contra a droga e crime organizado  
VV – Polarização vertical-vertical  
VH – Polarização vertical-horizontal  
WGS 84 – World Geodetic System de 1984  
ZEE - Zona Econômica Exclusiva  
1/6 GAv - Primeiro do Sexto Grupo de Aviação  
1/7 GAv - Primeiro do Sétimo Grupo de Aviação  
1/10 GAv - Primeiro do Décimo Grupo de Aviação  
2/6 GAv – Segundo do Sexto Grupo de Aviação  
2/7 GAv - Segundo do Sétimo Grupo de Aviação  
3/7 GAv – Terceiro do Sétimo Grupo de Aviação  
4/7 GAv – Quarto do Sétimo Grupo de Aviação

## SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO .....	01
1.1 Justificativas .....	01
1.2 Problema e Tema.....	03
1.3 Objetivos .....	04
1.4 Áreas de Estudo.....	04
1.5 Metodologia.....	06
CAPÍTULO 2 - A ÁREA MARÍTIMA DO BRASIL .....	09
2.1 Importância.....	09
2.2 Divisão e Legislação.....	13
2.3 Necessidades de Monitoramento.....	18
CAPÍTULO 3 - PROCESSAMENTO DAS IMAGENS SAR .....	24
3.1 Características das Imagens SAR.....	24
3.2 Análise das Áreas de Estudo .....	26
3.3 Realce de Contraste.....	31
3.4 Filtros.....	36
3.5 Classificadores.....	49
3.6 Transformadores .....	70
CAPÍTULO 4 - ELEMENTOS E FASES DA INTERPRETAÇÃO .....	78
4.1 Elementos da Interpretação .....	78
4.2 Fases da Interpretação .....	82
4.3 Análises com Elementos, Fases e Metodologia de Processamento SAR.....	85
CAPÍTULO 5 -ALGORÍTIMO PARA MEDIÇÃO AUTOMÁTICA.....	94
5.1 Generalidades.....	94
5.2 Algoritmo para Medir Automaticamente o Comprimento da Embarcação.....	100

CONCLUSÃO.....	131
REFERÊNCIAS.....	133
APÊNDICE A.....	138
APÊNDICE B.....	139
APÊNDICE C.....	140
APÊNDICE D.....	141
APÊNDICE E.....	142
APÊNDICE F.....	143
APÊNDICE G.....	144
APÊNDICE H.....	145
APÊNDICE I.....	146
APÊNDICE J.....	147
APÊNDICE K.....	148
APÊNDICE L.....	149
APÊNDICE M.....	150
APÊNDICE N.....	151
APÊNDICE O.....	152
APÊNDICE P.....	153
APÊNDICE Q.....	154



## CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 Justificativas

Hoje, a nação brasileira tem dois grandes desafios na questão de soberania: a Amazônia Legal (Amazônia Verde) e a Área Marítima (Amazônia Azul, expressão usada pelo Comandante da Marinha em “Tendências/Debates: A outra Amazônia”, publicada no jornal *Folha de São Paulo* de 26 de fevereiro de 2004).

A Amazônia Verde tem sido monitorada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), por pelotões do Exército e por aeronaves da Força Aérea Brasileira (FAB). Contudo, a Área Marítima, com cerca de 8,5 mil km de litoral e que se estende mar adentro por distâncias que, às vezes, ultrapassam as 200 milhas marítimas (MARINHA, 2010), também necessita ser monitorada, principalmente devido ao seu potencial econômico. A vigilância deste patrimônio cabe à Marinha e à Aeronáutica.

Desde épocas mais remotas, mares e oceanos são usados como via de transporte e como fonte de recursos biológicos. O desenvolvimento da tecnologia marinha permitiu a descoberta, nas águas, nos solos e nos subsolos marinhos, de recursos naturais de importância capital para a humanidade (BRASIL, 2006). No caso do Brasil, esses interesses são históricos e amplos. O mar foi via de descobrimento, de colonização, de invasões, de consolidação da independência, de comércio e de agressões. Entretanto, devido a fatores conjunturais, ocorreu uma migração do interesse econômico nacional para o interior do país. Dessa forma, houve uma degradação da mentalidade marítima, a ponto dos brasileiros enxergarem o mar apenas do ponto de vista de turismo e de entretenimento (BRASIL, 2006).

A costa norte leva ao Caribe e à parte norte do Atlântico. Nela, situa-se a foz do rio Amazonas, cuja bacia permite a penetração, pelo mar, em todo o território amazônico. A costa nordeste projeta-se em direção à África, estreitando o oceano e reduzindo a distância entre os dois continentes para cerca de 2,8 mil quilômetros. As costas leste e sul levam ao rio da Prata, à Antártica e às passagens de Drake e do



Cabo da Boa Esperança, únicas alternativas para a navegação em caso de interrupção, por qualquer motivo, do tráfego nos canais do Panamá e de Suez (BRASIL, 2006).

O transporte marítimo representa mais de 95% do comércio exterior brasileiro. Em tempos de globalização, os produtos nacionais dependem de insumos importados, de tal sorte que interferências sobre livre trânsito nos mares podem levar a nação ao colapso. Enfim, para o país, é importante que as suas linhas de comunicações marítimas estejam permanentemente abertas (BRASIL, 2006). Como exemplo marcante, em 2002, houve um atentado contra o superpetroleiro francês Limburg, no Golfo de Éden, que fez parte de uma ação do novo terrorismo internacional (VIDIGAL et al., 2006). Este fato reforça a idéia da necessidade de um constante monitoramento da Área Marítima.

É importante para a nação brasileira conhecer melhor os detalhes do que representa a Área Marítima para seus interesses. Na Área Marítima, há a presença constante de embarcações que realizam principalmente a navegação de cabotagem (propósitos comerciais entre portos de um mesmo país) e de longo curso (propósitos comerciais entre portos de um país e portos estrangeiros). Existe também a possibilidade de presença de navios militares estrangeiros que necessitam serem monitorados (VIDIGAL et al., 2006). Atualmente, a fiscalização destes alvos marítimos é realizada pela Marinha e pela FAB. A aviação de patrulha desempenha papel relevante na vigilância do mar. A aviação de reconhecimento complementa as missões da patrulha. Contudo, o reconhecimento visual e fotográfico de navios feito por estas duas aviações não atentam ao acompanhamento da Área Marítima em sua totalidade.

A Área Marítima, por ocupar uma região de 4,5 milhões de km<sup>2</sup>, isto é, uma área equivalente a mais de 50% de sua extensão territorial (VIDIGAL et al., 2006), necessita de mais uma forma de vigilância que complemente as já existentes. O imageamento por *Radio Detection And Ranging* (radar) permite a aquisição de imagens sob condições meteorológicas desfavoráveis (presença de nuvens e chuva), além de recobrir grandes áreas e possibilitar monitoramento à noite.

A nova tecnologia de imageamento pelo sensor de radar de abertura sintética (SAR – *synthetic aperture radar*) a bordo da aeronave R-99 do Segundo do



Sexto Grupo de Aviação (2/6 GAv) da FAB, permite a obtenção de informações valiosas sobre os alvos. Os estudos atuais sobre interpretação de imagens por microondas estão voltadas para o solo, a vegetação e a água. Pouco há de significativo sobre objetivos militares, como aeródromos, pontes, indústrias, hidrelétricas, portos e embarcações militares e mercantes.

A importância para os dias atuais está no fato das imagens SAR também serem geradas pelo sensor a bordo da aeronave P-3, Orion, destinada a missões de patrulha marítima. Em breve, o P-3 será incorporado à aviação de patrulha da FAB.

## 1.2 Problema e Tema

Os métodos tradicionais de interpretação de embarcações estão voltados para imagens ópticas (por exemplo, fotografias aéreas, Landsat, Ikonos). Os objetivos (alvos) são analisados levando-se em conta os elementos (forma, tamanho, sombra, tonalidade ou cor) e as fases de interpretação (detecção, reconhecimento, análise, dedução e classificação) (DAMIÃO et al., 2001). As questões que podem ser colocadas neste ponto são: Estes métodos, consagrados para o imageamento óptico, se aplicariam às imagens SAR? Todos os elementos e as fases de interpretação são úteis para identificar uma embarcação em imagens SAR na Área Marítima? Como consequência desta necessidade de identificar embarcações, surge o problema: Quais os elementos de interpretação que permitem discriminar embarcações militares e mercantes nas imagens SAR, dentro do contexto da Área Marítima?

Esta dissertação tem como tema a interpretação de embarcações em imagens SAR (bandas X e L, com polarizações HH, VV, HV e VH) na Área Marítima do Brasil. As bandas em imagens de radar correspondem aos comprimentos de onda centimétricos do espectro eletromagnético e são representadas por letras maiúsculas. Os sensores SAR a bordo da aeronave R-99 da FAB operam nas bandas X e L. As polarizações indicam como os campos elétricos das ondas se propagam, no plano horizontal ou no plano vertical. Por exemplo, imagem  $L_{HV}$  significa que a imagem foi obtida na banda L, com comprimento de onda, por



exemplo, de 30 cm, e o pulso de radiação foi emitido com polarização horizontal e recebido com polarização vertical (LOPES e LIMA, 2009).

### 1.3 Objetivos

O objetivo geral desta dissertação é identificar embarcações em imagens SAR na Área Marítima do Brasil. Os objetivos específicos são:

- identificar os métodos de geoprocessamento, o tipo de realce de contraste, os filtros morfológicos, os classificadores e os transformadores que permitem melhor identificação de embarcações em imagens SAR da Área Marítima do Brasil;
- relacionar os elementos de interpretação com as fases da interpretação, bandas, polarizações, filtros morfológicos, classificador e transformador; e
- diferenciar embarcações presentes em imagens SAR, utilizando-se dos elementos de interpretação e análises estatísticas.

### 1.4 Áreas de Estudo

Neste estudo, foram selecionadas três regiões com comprovada concentração de embarcações mercantes e militares: Porto de Santos, Porto de Tubarão e Baía de Guanabara. Os limites das áreas estão definidos abaixo:

Porto de Santos:

- ponto superior esquerdo:  $23^{\circ} 54' 17''$  S –  $46^{\circ} 24' 09''$  W;
- ponto inferior direito:  $24^{\circ} 01' 34''$  S –  $46^{\circ} 14' 26''$  W;

Porto de Tubarão:

- ponto superior esquerdo:  $20^{\circ} 14' 53''$  S –  $40^{\circ} 22' 44''$  W;
- ponto inferior direito:  $20^{\circ} 21' 57''$  S –  $40^{\circ} 11' 44''$  W;



Baía de Guanabara:

- ponto superior esquerdo: 22° 53' 20" S – 43° 10' 55" W;e

- ponto inferior direito: 22° 54' 20" S – 43° 09' 43" W.

As áreas dos Portos de Santos e de Tubarão e da Baía de Guanabara estão representadas na Figura 1.1, por imagens ópticas do Google Earth de 13/10/2009, e nos apêndice O, P e Q, por imagens SAR da aeronave R 99 de 19/03/2008 e de 24/09/2010.



Figura 1.1: Áreas de estudo. Da direita para a esquerda, Porto de Santos, Porto de Tubarão e Baía da Guanabara.



## 1.5 Metodologia

Esta pesquisa será de natureza exploratória, bibliográfica e experimental, com uso de fontes primárias e secundárias. A utilização dos sensores SAR do R-99, por se tratar de um sensor ativo, isto é, possui fonte própria de energia, oferece possibilidades de imageamento na presença de nuvens e chuvas, bem como imageamento à noite. A faixa de imageamento é de aproximadamente 11 km x 65 km.

O sensor SAR da aeronave R-99 possibilita o mapeamento de alvos com as resoluções espaciais de 18m, de 6m e de 3m, operando nas bandas L com polarização: HH, VV e HV e, banda X, com somente uma polarização: HH. Já para o modo de operação SPOT, a resolução pode atingir 1,8 m e os comprimentos de ondas variam de 23 cm a 3 cm nas bandas L e X, respectivamente. As principais aplicações do sensor SAR são: cartografia, mapeamento do relevo, vigilância da superfície e da aérea, estudo de biomassa, uso da terra, geologia e determinação de áreas.

Dentro deste contexto, coletaram-se imagens SAR da aeronave R-99, em 19 de março de 2008 e em 24 de setembro 2010, em cinco bandas/polarizações ( $X_{HH}$ ,  $L_{HH}$ ,  $L_{HV}$ ,  $L_{VV}$  e  $L_{VH}$ ) para cada porto (Portos de Santos e de Tubarão) e para Baía de Guanabara, com o estado do mar calmo, totalizando 15 imagens amplitude sem redução de speckle. Após aplicar filtros de redução de speckle, chegou-se a conclusão que a redução do speckle dificulta a interpretação visual. As imagens foram obtidas com espaçamento de pixel estimado de 2,46 e de 1,16 metros, em formato TIF, e georreferenciadas em sistema de coordenadas geográficas (latitude e longitude) e *datum* WGS-84.

As imagens serão processadas no aplicativo *Environment for Visualizing Images* (ENVI) por meio de realce de contraste, filtros, classificadores e transformadores, inicialmente com tamanho de aproximadamente 11 km x 65 km para então serão recortadas no tamanho aproximado de 1,8 km x 3 km (Porto de Santos), 8 km x 12 km (Porto de Tubarão) e 1,6 km x 1,6 km (Baía de Guanabara), sendo salvas no formato TIF. Nas etapas de classificação e transformação, serão selecionadas três imagens (bandas/polarizações) de cada porto que apresentarem



menor ruído e menor correlação, para possibilitar a composição de imagens com três bandas.

Na primeira fase, os 255 níveis digitais das cinco imagens das três áreas de estudo serão exportadas do ENVI 4.5 para o Excel, Statistical Package for Social Sciences (SPSS) e MINITAB para serem analisadas estatisticamente (análise de médias, desvio-padrão, correlação de Pearson (F e P), correlação múltipla, Análise de Variância (ANOVA), coeficiente Kappa e matriz de autovetores) (MECOCCI et al, 1995). Nesta fase, as imagens serão processadas em diferentes realces (linear 2%, gaussiano, equalização, raiz quadrada e contraste de 50 a 200), filtros morfológicos (dilatação, erosão, abertura e fechamento), classificadores não-supervisionados (isodata e K-médias), classificadores supervisionados (paralelepípedo, distância mínima, distância Mahalanobis, máxima verossimilhança, *Spectral Angle Mapper* (SAM), *Spectral Information Divergence* (SID), codificação binária e *Support Vector Machine* (SVM)) e transformadores (realce por decorrelação, de saturação e *Synthetic Color Image* (SCI)) fornecendo resultados que serão comparados e analisados neste trabalho.

Na segunda fase, os resultados da primeira fase servirão de base para confrontar elementos e fases da interpretação com bandas/polarizações, definindo os principais elementos de interpretação a serem analisados. Neste contexto, serão atingidos os dois objetivos iniciais desta dissertação. Os elementos de interpretação são: forma, tamanho, sombra, tonalidade ou cor e fatores associados (textura, padrão, densidade, declividade e posição). As fases da interpretação são: detecção, reconhecimento, análise, dedução e classificação.

Após a escolha dos principais elementos de interpretação, serão aplicados, nas imagens SAR um algoritmo na linguagem MATLAB, com base em dados estatísticos, banco de dados com 14 tipos de tabelas de embarcações militares e mercantes, contendo 31 tipos de embarcações para cada tabela, com suas respectivas larguras e comprimentos (Apêndices A a N) (VILLELA & MATTOS, 1975). Este algoritmo irá medir de forma automática a imagem SAR recortada, contendo uma embarcação, após a aplicação da metodologia da primeira fase. Nesta última fase, as embarcações serão diferenciadas entre si, atingindo-se o último objetivo. A primeira e a segunda fase se propõem a definir uma metodologia



de interpretação de alvos em imagens SAR e a terceira visa criar um algoritmo capaz de medir os alvos, permitindo discriminar embarcações militares de mercantes.

As imagens SAR para esta dissertação possuem um espaçamento de pixel de aproximadamente 2,46 metros e 1,16 metros (DAMIÃO, 2000), pois o imageamento lateral, geometria de alcance inclinado, é representado na posição vertical, geometria no alcance no terreno (JENSEN, 2009). A resolução radiométrica é de 8 bits, a fim de permitir análises estatísticas mais resumidas nos aplicativos SPSS e MINITAB (NOVO, 2008). A resolução espectral é baixa, pois o sensor SAR do R-99 possui apenas duas bandas, X e L (DAMIÃO, 2000). Como as imagens foram pré-processadas no 2/6 GAv, admitiu-se que não há necessidade de correções atmosférica, radiométrica e geométrica (RICHARDS & JIA, 2006).

Também serão utilizadas imagens *MultiSpectral Scanner* (MSS), banda 8, para validar as medições (embarcações mercantes) nas imagens SAR, ambos sensores da aeronave R 99, na área de alto mar próximo ao Porto de Tubarão.

Após o entendimento sobre as justificativas, o problema, o tema, os objetivos, as áreas de estudo e a metodologia a ser adotada, este trabalho inicia-se com uma visão geral da Área Marítima do Brasil, salientando questões como a importância, a divisão, a legislação e a necessidade de monitoramento da faixa marítima.



## CAPÍTULO 2

### A ÁREA MARÍTIMA DO BRASIL

#### 2.1 Importância

O litoral brasileiro tem 8.500 km de extensão e é banhado pelo Oceano Atlântico, com inúmeras reentrâncias contendo praias, falésias, mangues, dunas, recifes, baías e restingas. Possui condições favoráveis à navegação durante o ano todo (CONSERVAÇÃO, 2010) e apresenta salinas, principalmente no Nordeste e no Rio de Janeiro, que garantem a auto-suficiência do país na produção de sal. O Brasil exportou, em 2005, dentre os compostos químicos, cerca de 14% de sal (DEPARTAMENTO, 2010).

Sob o ponto de vista turístico, o litoral possui um grande potencial. As marés são em geral baixas, com amplitudes que oscilam de 2 m a 4 m. O grande número de cidades litorâneas com belas praias contribui para o desenvolvimento do turismo. Houve um crescimento da ordem de 16% em 2004 e 11,8% em 2005 (ORGANIZAÇÃO, 2010). Como resultado da colonização que veio pelo mar, verificase que 80% da população brasileira, 93% da produção industrial, 78% da receita e 85% do consumo de energia elétrica das principais cidades concentram-se a menos de 200 km do litoral (BRASIL, 2006).

Além do litoral propriamente dito, há uma área que se estende ao longo do Oceano Atlântico, conhecida como Área Marítima. Apesar de 80% da população viver a menos de 200 km do litoral, pouco se sabe sobre os direitos que o país tem sobre a Área Marítima que o circunda e seu significado estratégico e econômico. A Figura 2.1 mostra a localização da Área Marítima no Brasil (BRASIL, 2006).



Figura 2.1: Área Marítima. Fonte: Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (2007).

O transporte marítimo representa mais de 95% do comércio exterior brasileiro. Este mercado internacional, soma das importações e das exportações, totalizou, em 2005, um montante da ordem de US\$ 120 bilhões. O Brasil é também dependente do tráfego marítimo em relação aos fretes. Anualmente, é gasto cerca de US\$ 7 bilhões, sendo que apenas 3% desse total são transportados por navios de bandeira brasileira. Todo este comércio se dá por 75 portos marítimos existentes ao longo do litoral brasileiro. Como exemplo, a Figura 2.2 mostra a localização dos portos brasileiros (BRASIL, 2006).



Figura 2.2: Portos fluviais e marítimos no Brasil. Fonte: Ministério dos Transportes (2006).

Petróleo é outra grande riqueza. O país é auto-suficiente nesse produto. Conforme dados de 2005, o Brasil prospecta no mar 90% do seu petróleo, o que significa a extração de algo na ordem de 1,6 milhões de barris por dia, de um total de 1,8 milhões de barris por dia, o que proporcionou à Petrobras um lucro recorde, em 2005, de R\$ 23,7 bilhões (BRASIL, 2006). Como exemplo, a Figura 2.3 representa a produção de petróleo por bacia sedimentar. Cerca de 50% do subsolo brasileiro é composto por bacias sedimentares terrestres. Soma-se a isso, uma área conjunta de aproximadamente 1,36 milhões de km<sup>2</sup> de bacias marítimas (PETRÓLEO, 2000).

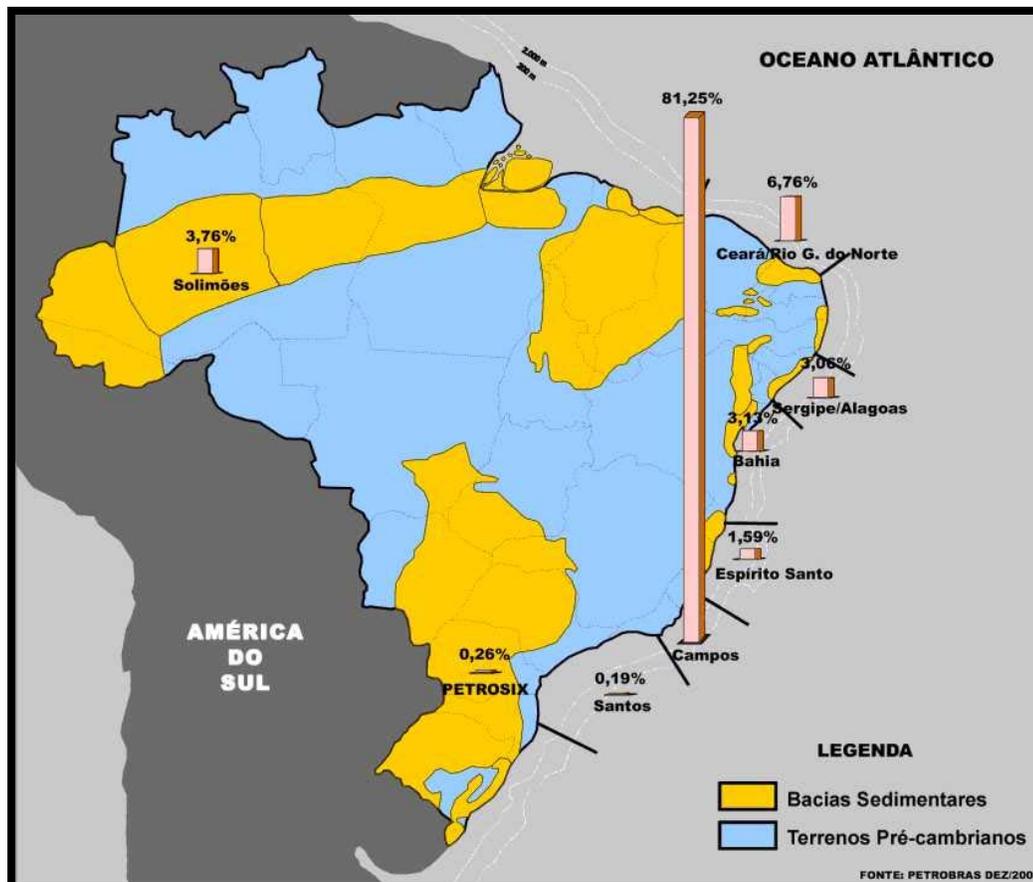


Figura 2.3: Produção relativa de petróleo por bacia sedimentar brasileira. Fonte: O petróleo e o poder naval brasileiro (2000).

Hoje, a participação do gás natural responde por 7,5% da matriz energética brasileira e o país está fazendo um grande esforço para que a mesma atinja 15% até 2015. Isto significa uma oferta de gás natural, ao mercado, de 100 milhões de metros cúbicos por dia, três vezes mais do que a oferta atual. A Figura 2.4 revela as descobertas relevantes de gás e de óleo na bacia de Campos (BRASIL, 2006).

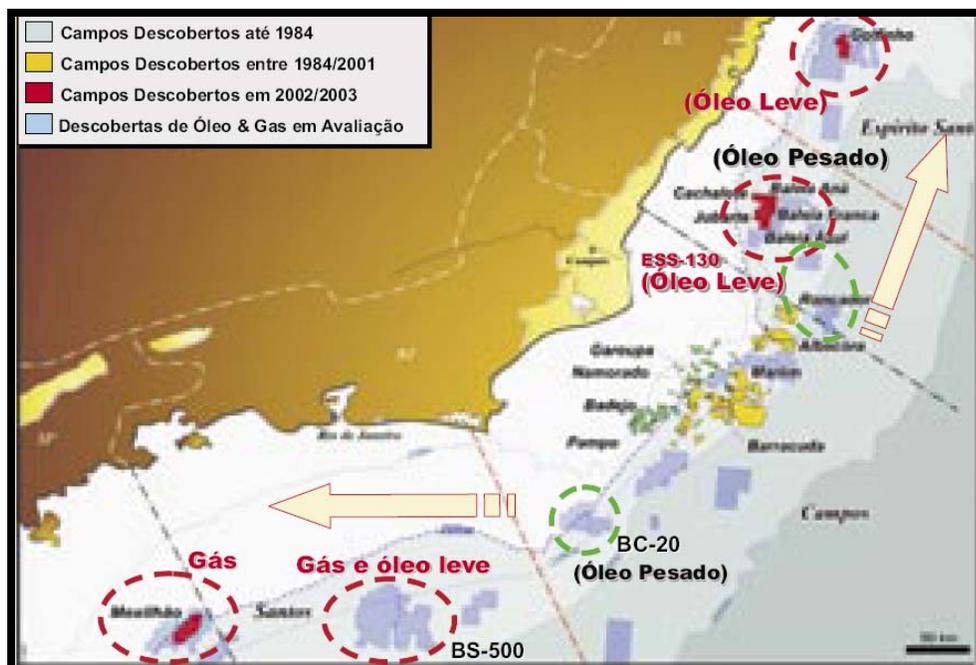


Figura 2.4: Sequência de descobertas de petróleo na bacia de Campos. Fonte: Brasil (2006).

Além do tráfego marítimo e do petróleo, existe o potencial da pesca. Ela possibilita uma valiosa fonte para a geração de empregos (BRASIL, 2006). Em relação às exportações, o Brasil fechou o ano de 2002 com taxa de crescimento de 36,5%. Os principais produtos exportados foram os camarões congelados, as lagostas e os filés de peixes diversos. As importações tiveram taxa de crescimento negativo de 12,16%. O saldo da balança comercial foi de US\$ 139 milhões em 2002 (GESISKY, 2010).

## 2.2 Divisão e Legislação

Na Amazônia Verde, as fronteiras que o Brasil faz com seus vizinhos são fisicamente demarcáveis e estão sendo efetivamente ocupadas por pelotões de fronteira e obras de infra-estrutura. Na Área Marítima, entretanto, os limites das nossas águas jurisdicionais são linhas sobre o mar. Elas não existem fisicamente. O que as garante é a existência de navios e aeronaves patrulhando-as ou realizando ações de presença (BRASIL, 2006).



Os limites marítimos do Brasil passaram por um processo histórico, desde a descoberta do Brasil em 1500. Os estados costeiros sempre aceitaram a existência do denominado mar territorial com 3 milhas marítimas (1 milha marítima = 1.852 metros) de largura a contar da linha da costa. Essa distância correspondia ao alcance dos canhões que existiam nas fortificações erguidas no litoral. No final de 1950, a Organização das Nações Unidas (ONU) passou a discutir a elaboração do que viria a ser a Convenção das Nações Unidas sobre os Direitos do Mar (CNUDM). A necessidade dessa Convenção tornou-se evidente a partir do instante em que os países passaram a ter consciência sobre o potencial das riquezas do mar, o que poderia gerar crises. Por exemplo, em 1963, houve uma disputa pelos direitos de pesca na Área Marítima do Brasil por pescadores franceses, episódio que ficou conhecido como a Guerra da Lagosta (CENTRO, 2010).

Como consequência, as principais conquistas do Brasil junto à ONU foram: ampliação do mar territorial para 12 milhas marítimas; criação da denominada zona contígua, com mais 12 milhas marítimas de largura, a contar do limite externo do mar territorial; e estabelecimento da Zona Econômica Exclusiva (ZEE), situada além do mar territorial e adjacente a este, com 188 milhas marítimas de largura (CENTRO, 2004). O resultado de todas estas conquistas internacionais foi a compreensão de que a Área Marítima é formada pelas seguintes áreas: mar territorial, ZEE e plataforma continental. A CNUDM (CONVENÇÃO, 2010), assinada pelo Brasil em 10 de dezembro de 1982 e ratificada em julho de 1994, esclarece esses três conceitos (VIDIGAL et al., 2006).

Nos termos da CNUDM, a soberania do Estado costeiro sobre o seu território e suas águas interiores (situadas no interior das linhas de base do mar territorial, fazem parte das águas interiores de um Estado) estende-se a uma faixa de mar adjacente, mar territorial, com dimensão de até 12 milhas marítimas a partir das linhas de base. As linhas de base são utilizadas como origem do mar territorial de 12 milhas marítimas, da zona contígua de 24 milhas marítimas, da zona econômica exclusiva de 200 milhas marítimas e, em alguns casos, da própria plataforma continental jurídica. As linhas de base podem ser normais ou retas. Quando normais, elas acompanham a linha de baixa-mar, conforme indicada nas cartas náuticas produzidas pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) do Ministério da Marinha. Nos locais onde a linha de costa apresenta recortes profundos ou uma



franja de ilhas na sua proximidade imediata, é permitido o uso das linhas de base retas, mediante a união de pontos apropriados, que, no caso do litoral brasileiro, constam do Decreto nº 1.290, de 21 de outubro de 1994.

Nesta faixa, o Estado costeiro exerce soberania ou controle pleno sobre a massa líquida e o espaço aéreo sobrejacente, bem como sobre leito e o subsolo deste mar. O mar territorial brasileiro de 200 milhas marítimas, instituído pelo Decreto-Lei nº 1.098, de 25 de março de 1970, passou a ser de 12 milhas marítimas com a vigência da Lei nº 8.617, de 4 de janeiro de 1993 (VIDIGAL et al., 2006).

“A zona econômica exclusiva é uma zona situada além do mar territorial e a este adjacente [...]” e “[...] não se estenderá além de 200 milhas marítimas das linhas de base a partir das quais se mede a largura do mar territorial” (CONVENÇÃO, 2010). A Convenção garante ao Estado costeiro “[...] direitos de soberania para fins de exploração e aproveitamento, conservação e gestão dos recursos naturais, vivos ou não vivos das águas sobrejacentes ao leito do mar, do leito do mar e seu subsolo [...]” (CONVENÇÃO, 2010). Dentro da ZEE, existe a zona contígua, que se estende das doze às vinte e quatro milhas marítimas.

A plataforma continental é também definida na CNUDM (1996):

A plataforma continental de um Estado costeiro compreende o leito e o subsolo das áreas submarinas que se estendem além do seu mar territorial, em toda a extensão do prolongamento natural do seu território terrestre, até ao bordo exterior da margem continental, ou até uma distância de 200 milhas marítimas das linhas de base a partir das quais se mede a largura do mar territorial, nos casos em que o bordo exterior da margem continental não atinja essa distância.

Nos casos das áreas marítimas dos Estados do Amapá, Pará e Espírito Santo ao Rio Grande do Sul, a plataforma continental ultrapassa essa distância, podendo estender a propriedade econômica do Estado em até 350 milhas marítimas (BRASIL, 2006). Como ilustração, as Figuras 2.5 e 2.6 reúnem estes três conceitos.

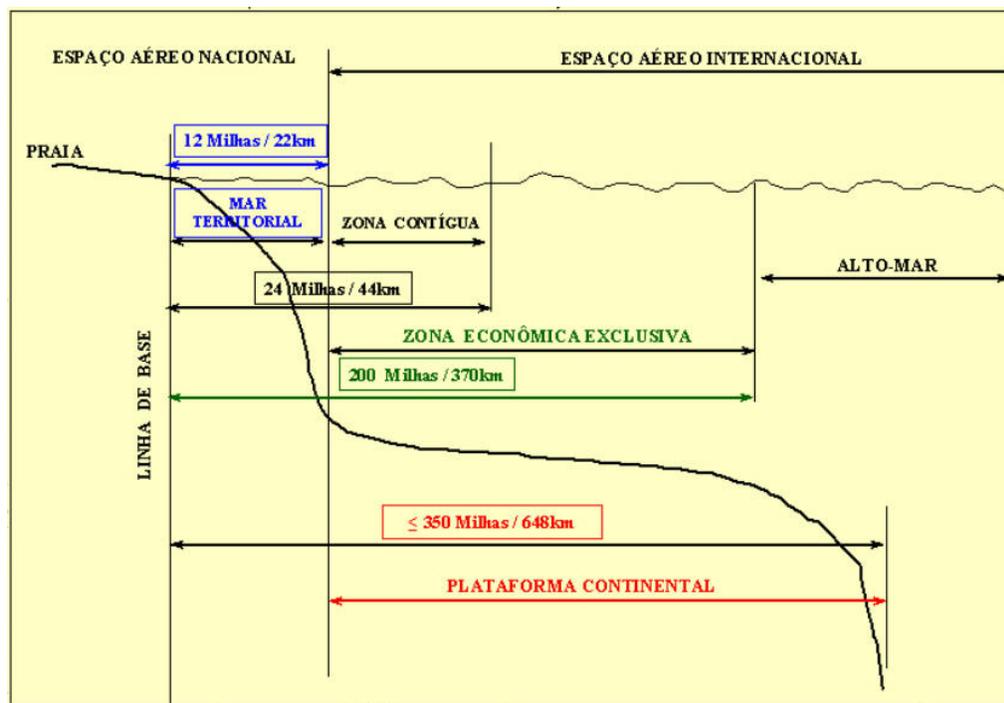


Figura 2.5: Definição de limites marítimos em milhas e em quilômetros. Fonte: Geologia Marinha e Costeira (2009).

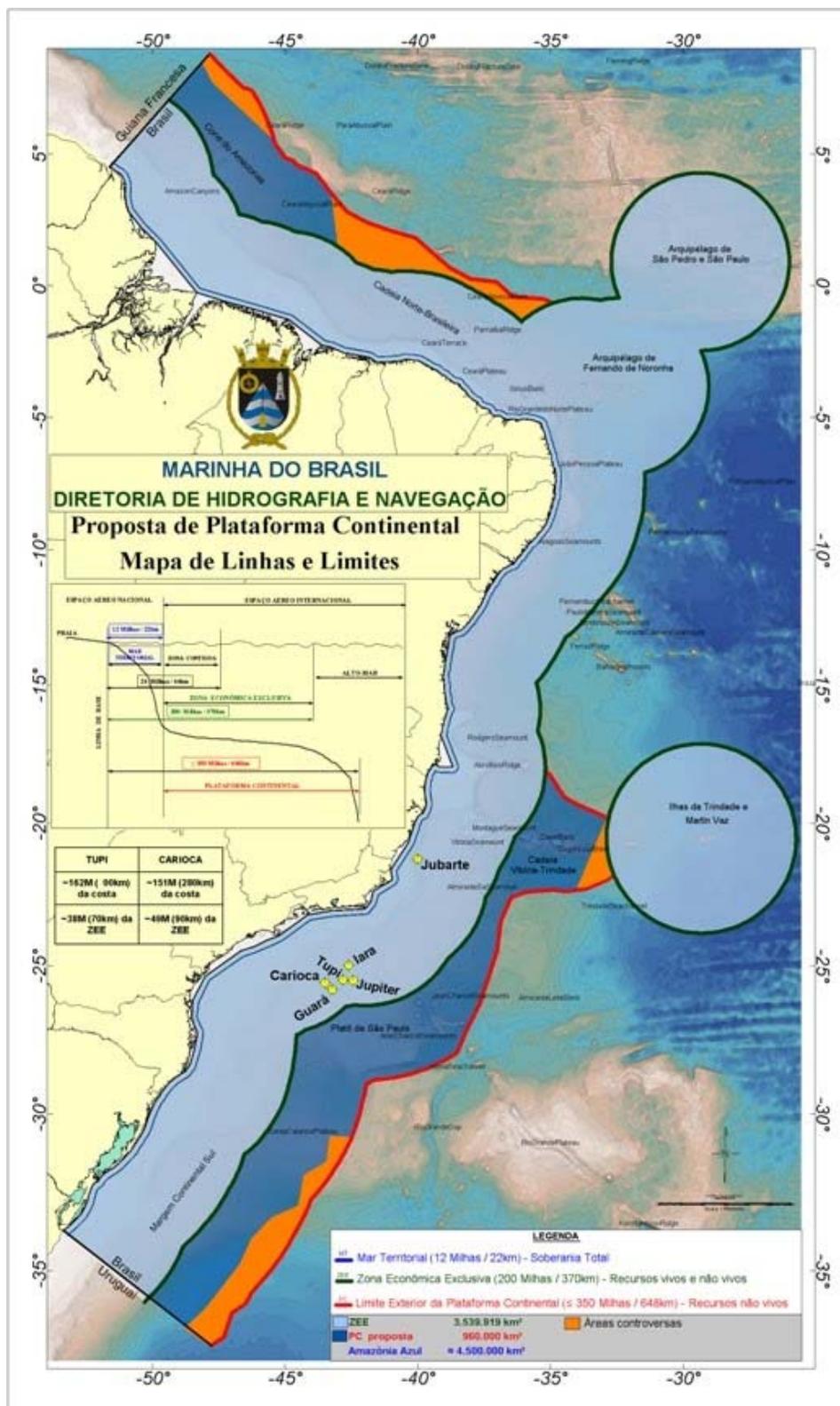


Figura 2.6: Localização da Amazônia Azul. Fonte: Marinha do Brasil (2009).



### 2.3 Necessidades de Monitoramento

Chega-se à conclusão que o potencial do mar brasileiro é imenso e vital para o desenvolvimento e a sobrevivência da nação. São 4,5 milhões de quilômetros quadrados de área a ser vigiada. Ações de patrulha naval e aérea realizadas pela Marinha do Brasil e pela FAB visam a evitar os ilícitos e combater infratores nas águas jurisdicionais brasileiras. A história nos ensina que toda riqueza desperta a cobiça, cabendo ao seu detentor o ônus da proteção. Pelo mar, o Brasil foi descoberto; pelo mar, chegaram os primeiros invasores. Como exemplo, o apresamento do navio Marquês de Olinda foi o estopim do maior conflito no Império do Brasil, a Guerra do Paraguai (BRASIL, 2006).

A Política Marítima Nacional (PMN), aprovada em 1994, tem por finalidade: “orientar o desenvolvimento das atividades marítimas no país, visando à utilização efetiva, nacional e plena do mar e das hidrovias, de acordo com os interesses nacionais”. Assim, o Comando da Marinha é o principal articulador para o desenvolvimento de uma mentalidade marítima nacional, além da missão de orientar o preparo e a aplicação do Poder Marítimo e do Poder Naval (ASSOCIAÇÃO, 2010). A definição mais adequada para o Poder Marítimo seria a capacidade de integração dos recursos de que dispõe a nação para a utilização do mar e águas interiores, quer como ação política e militar, quer como desenvolvimento econômico e social, visando conquistar e manter os objetivos nacionais. O Poder Naval compreende as forças navais, as suas bases e as posições de apoio. O Poder Naval é um componente do Poder Marítimo, é o seu braço armado (BRASIL, 1994).

A Aviação de Patrulha é um importante meio do Poder Naval. A FAB e a Marinha do Brasil são responsáveis, em conjunto, pelas operações de vigilância do mar. A missão da patrulha marítima, desempenhada pela Aviação de Patrulha, Primeiro do Sétimo Grupo de Aviação (1/7 GAv), Segundo do Sétimo Grupo de Aviação (2/7 GAv), Terceiro do Sétimo Grupo de Aviação (3/7 GAv) e Quarto do Sétimo Grupo de Aviação (4/7 GAv), como tarefa de interdição, é assim enunciada: “Missão aérea destinada à investigação sistemática ou não de Área Marítima de interesse, a fim de detectar, localizar, identificar, acompanhar, neutralizar ou destruir objetivos marítimos de superfície” (BRASIL, 2005).



O principal ponto a ser considerado é a vigilância de embarcações militares e mercantes na Área Marítima feita pela FAB. As atuais aeronaves P-95 da Aviação de Patrulha da FAB são capazes de realizar reduzidas missões de patrulha. Atualmente a FAB está em processo de aquisição de aeronaves P-3. Isto elevará o nível de capacidade operacional compatível com as características geográficas do país, com o teatro marítimo no Atlântico Sul e com a posição que o Brasil desfruta entre as demais nações (ASSOCIAÇÃO, 2010).

A vigilância militar da FAB não se limita apenas à Aviação de Patrulha. Ela é vista pela Associação Brasileira de Equipagens da Aviação de Patrulha (ABRA-PAT, 2006) como: “[...] resultado da gestão integrada das informações, dos recursos humanos envolvidos [...] aglutinando em um único produto todas as atividades que ainda hoje caracterizam as missões de Patrulha Marítima, Reconhecimento Aéreo, [...]”. Considerar a gestão integrada é levar em conta também a missão de Reconhecimento Aéreo, realizada, por exemplo, pelo Primeiro do Décimo Grupo de Aviação (1/10 GAv), Primeiro do Sexto Grupo de Aviação (1/6 GAv) e 2/6 GAv. A gestão integrada envolve as análises, interpretações, definição e distribuição das informações, visando atender as necessidades de objetivos específicos (BRASIL, 2006).

Para o sucesso do Poder Naval e a manutenção da superioridade marítima na Área Marítima, é necessário o desenvolvimento de duas atividades no nível de Comando. A primeira é a inteligência, que busca informações processadas, produto da vigilância. A segunda é o comando e controle, que reduz a incerteza e dirige adequadamente as operações militares (BRASIL, 2006). Nesta gestão integrada, a missão de Reconhecimento Aéreo desempenha papel fundamental, relativa à inteligência. A missão de reconhecimento aéreo, desempenhada pela Aviação de Reconhecimento, como tarefa de sustentação ao combate, é assim enunciada: “Missão aérea destinada a obter conhecimentos a partir de plataformas aéreas” e “Importante característica do Reconhecimento Aéreo é a velocidade na obtenção, interpretação e divulgação de dados aos interessados” (BRASIL, 2005).

Os dados que serão transformados em informações, como por exemplo, embarcações militares e mercantes, podem ser obtidas de três formas: o reconhecimento por foto, o reconhecimento por sistemas ópticos digitais e o reconhecimento por radar. O reconhecimento por foto é a “ação do reconhecimento



aéreo que se destina a obter o conhecimento de uma área ou objetivo, utilizando-se de sensores fotográficos”; o reconhecimento por sistemas ópticos digitais é a “ação do reconhecimento aéreo que se destina a obter o conhecimento de uma área ou objetivo, utilizando sensores imageadores ópticos digitais”; e o reconhecimento por radar é “ação do reconhecimento aéreo que se destina a obter o conhecimento de uma área ou objetivo, utilizando radares imageadores”. Todos os reconhecimentos são complementares, contudo, na impossibilidade de aplicação de um sensor, há a possibilidade da utilização do outro (BRASIL, 2005).

O sensor SAR é indicado em condições noturnas e na ausência de condições meteorológicas favoráveis (chuva e nuvens) (DAMIÃO e MÁXIMO, 2001). O sensor fotográfico e o óptico apresentam, como grande vantagem, a espaçamento de pixel e/ou resolução espectral. Isto facilita a interpretação dos alvos em função dos elementos e das fases de interpretação (DAMIÃO et al., 2001).

Atualmente, imagens de embarcações são obtidas por sensores fotográficos, ópticos e SAR, pela Aviação de Reconhecimento e pela Aviação de Patrulha. As embarcações podem ser de dois tipos: militares (Figura 2.7) e mercantes (Figura 2.8) (BRASIL, 2000).



Figura 2.7: Fotografia de uma Fragata União (F-45), classe Niterói, da Marinha do Brasil. Fonte: Poder Naval Online (1997).



Figura 2.8: Fotografia de um navio mercante petroleiro. Fonte: Poder Naval Online (1997).

As imagens SAR, atualmente, são obtidas pela Aviação de Reconhecimento, através da aeronave de sensoriamento remoto R-99. Futuramente, também serão obtidas pela aviação de patrulha (aeronave P-3). A Figura 2.9 apresenta a aeronave R-99. Estas imagens (Apêndice P) são pré-processadas de forma digital no 2/6 GAv.



O Grupo de Inteligência Aérea (GIA) do Comando de Operações Aéreas (COMGAR) e o 2/6 GAv realizam a interpretação dos alvos nas imagens SAR.

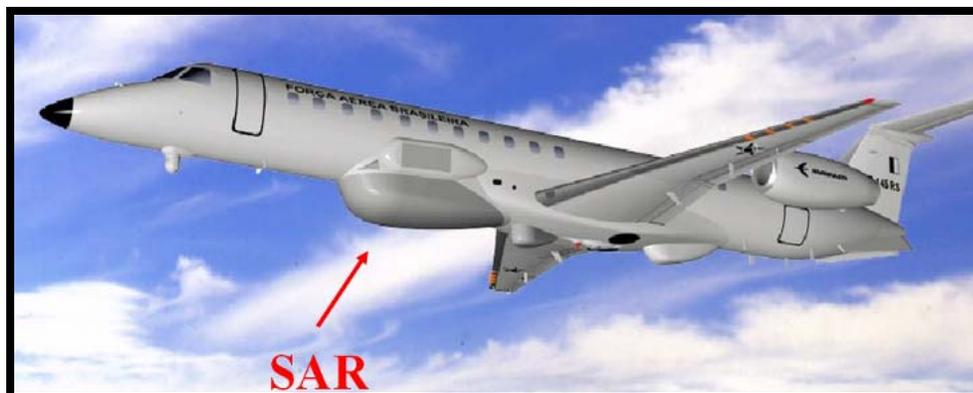


Figura 2.9: Fotografia de uma aeronave R-99 transportando sensor de radar de abertura sintética (SAR). Fonte 2/6 GAv (2009).

Há muitos anos, imagens de satélites e de sensores aerotransportados têm sido utilizadas para a vigilância da Área Marítima, principalmente na detecção e reconhecimento de embarcações mercantes. A Aviação de Patrulha da FAB realiza missões de patrulha marítima e de reconhecimento visual e fotográfico. Utiliza equipamentos fotográficos como a Agiflite, câmera que opera com filme 70 mm e com objetivas de 110 mm, 150 mm, 250 mm e 350 mm. Estes equipamentos dependem de boas condições meteorológicas, como presença de luz, ausência de nuvens, chuva, penumbra, sombra e bruma. Entretanto, estes sensores não possibilitam a cobertura de grandes áreas da Área Marítima.

O sensor SAR apresenta algumas vantagens em relação aos sensores fotográficos e ópticos, destacando-se a capacidade de imageamento de grandes áreas e coberturas em quaisquer condições meteorológicas (DAMIÃO e MÁXIMO, 2001). A utilização do imageamento por radar favorece, por exemplo, o combate à pesca ilegal, inibe o narcotráfico e contribui para a fiscalização do derramamento de óleo. A pesca ilegal constitui uma séria ameaça à sustentabilidade dos recursos e à biodiversidade marinha. Tem conseqüências econômicas muito nefastas para os pescadores que exercem a sua atividade de forma legal e que estão sujeitos à concorrência desleal (CONSERVAÇÃO, 2010).



Brasil é o país mais citado como rota marítima da cocaína que sai da América do Sul e chega, via África, ao continente europeu. Responde por mais de 50% da cocaína que transita por Guiné-Bissau, segundo o Relatório Mundial sobre Drogas de 2007, do Escritório das Nações Unidas para a luta contra a droga e crime organizado (UNODC) (ESCRITÓRIO, 2010). Em agosto de 1997, o nordeste brasileiro foi contaminado com uma mancha de óleo de 160 quilômetros de extensão, sem que tenha sido possível determinar a sua origem. Porém, é bem provável que a causa tenha sido o derramamento de óleo de um navio mercante petroleiro (REVISTA, 2010).

Além da vigilância, faz-se necessária a interpretação das embarcações (detecção, reconhecimento, análise, dedução e classificação) em imagens SAR, utilizando os elementos de interpretação (forma, tamanho, tonalidade ou cor, sombra e fatores associados). A interpretação tradicional é prevista e aceita no Manual do Comando da Aeronáutica (MCA) 200-2 (BRASIL, 1999) e no MCA 200-9 (BRASIL, 2000), para imagens ópticas e fotografias aéreas.

Por fim, cabe salientar que compete à União, de acordo com a Constituição, isoladamente ou em conjunto com os estados e municípios, cuidar dos bens nacionais, legislar e proteger o meio ambiente, bem como fiscalizar, no mar sob nossa jurisdição, o cumprimento da legislação nacional (VIDIGAL et al., 2006).

No capítulo seguinte, inicialmente, serão detalhadas as vantagens das imagens SAR e, na seqüência, tais imagens das três áreas de estudo (Porto de Santos e de Tubarão e Baía de Guanabara) serão processadas por diferentes algoritmos de realce de contraste, filtros, classificadores e transformadores com o objetivo de definir os elementos de interpretação nas fases de interpretação. O Capítulo 3 é fundamental, pois irá determinar uma metodologia de interpretação de alvos em imagens SAR.



## CAPÍTULO 3

### PROCESSAMENTO DAS IMAGENS SAR

#### 3.1 Características das Imagens SAR

Os sensores SAR operam na faixa das microondas do espectro eletromagnético, nos comprimentos de onda ( $\lambda$ ) de aproximadamente 1 mm a 1 m (Figura 3.1) (JENSEN, 2009). Os comprimentos de onda da faixa das microondas são representados por letras maiúsculas (Figura 3.1) (LOPES e LIMA, 2009). A característica marcante destes comprimentos de onda é a capacidade de penetração em determinados tipos de materiais, como nuvens e chuva. Esta transparência atmosférica é demonstrada nas Figuras 3.2 e 3.3. Observa-se que as nuvens de chuva têm efeito relevante somente a partir de  $\lambda$  inferiores a 2 cm. Para a chuva, o efeito é evidente a partir de  $\lambda$  inferiores a 4 cm (DAMIÃO e MÁXIMO, 2001).

No apêndice O, há uma imagem óptica do satélite Landsat-5, sensor Thematic Mapper (TM), composição colorida RGB/543, do Porto de Santos. Nesta imagem, existe a presença de nuvens, o que dificulta a interpretação de embarcações mercantes. As imagens ópticas são geradas pelas radiações do visível. Estas radiações não penetram nuvens (LOPES e LIMA, 2009).

BANDA	P	L	S	C	X	K <sub>u</sub>	K	K <sub>a</sub>	
FREQ. (GHz)	0,3	1.0	2	4	8	12,5	18	26	40
$\lambda$ (cm)	100	30.0	10	3	1				

Figura 3.1: Faixa espectral das microondas. Fonte: DAMIÃO e MÁXIMO (2001).

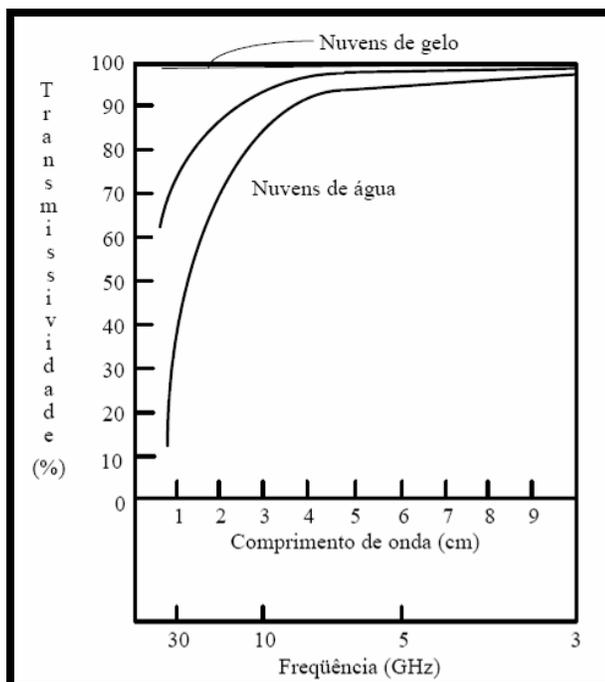


Figura 3.2: Transparência atmosférica e efeito das nuvens na faixa espectral das microondas. Fonte: DAMIÃO e MÁXIMO (2001).

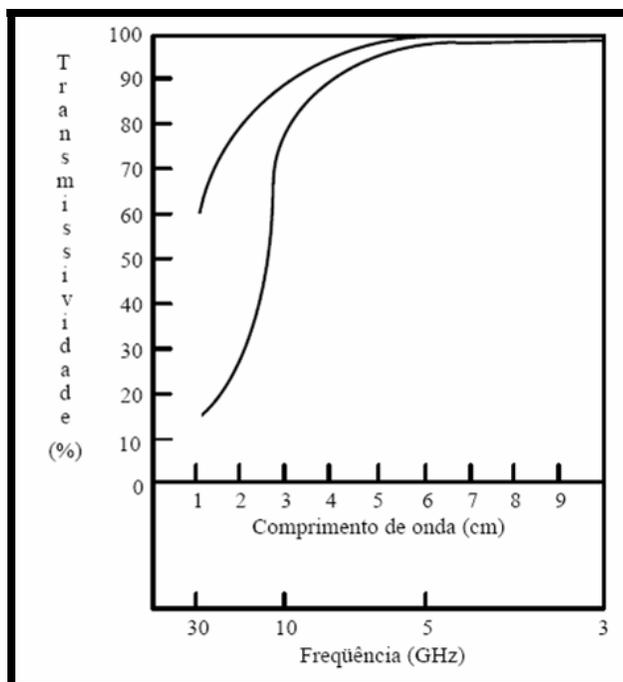


Figura 3.3: Transparência atmosférica e efeito da chuva na faixa espectral das microondas. Fonte: DAMIÃO e MÁXIMO (2001).



A banda L ( $\lambda = 23$  cm) pode ser usada no imageamento com a presença de nuvens e de chuva na Área Marítima. A banda X ( $\lambda = 3$  cm) pode ser usada na presença de nuvens. As imagens SAR permitem uma visão sinóptica de grandes áreas para mapeamento nas escalas de 1:100.000 a 1:400.000. O sensor SAR é ativo (fonte própria de energia), o que favorece o imageamento sem a presença da luz (JENSEN, 2009).

### 3.2 Análise das Áreas de Estudo

Antes da realização das análises das embarcações nas imagens SAR, serão apresentados os Portos de Santos e de Tubarão, bem como a Baía de Guanabara. A ênfase é o tráfego marítimo na Área Marítima. O Porto de Santos está localizado no litoral do estado de São Paulo, de acordo com a carta aeronáutica de pilotagem (CAP), escala 1:250.000 (Figura 3.4).

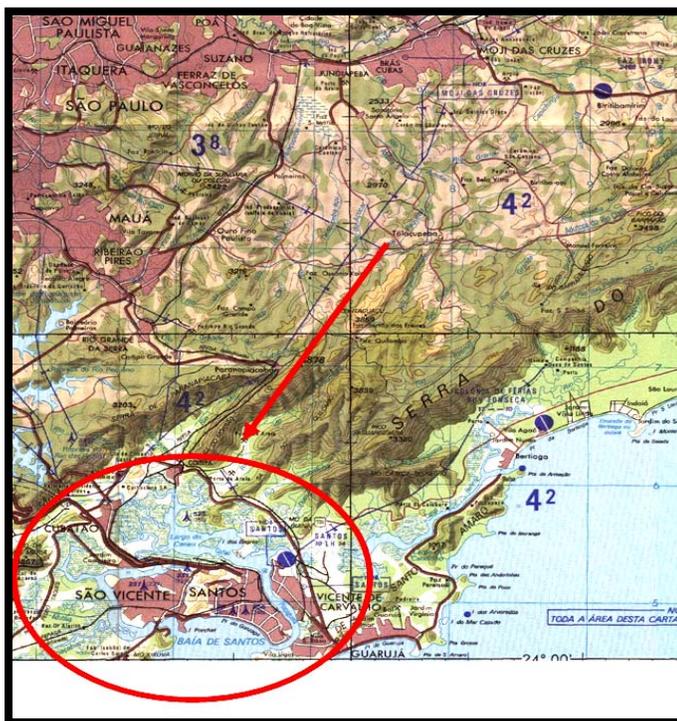


Figura 3.4: Carta Aeronáutica de Pilotagem na escala de 1:250.000 da região de Porto de Santos. Fonte: COMGAR (2010).



O Porto de Santos é o principal porto brasileiro. Movimenta, por ano, mais de 60 milhões de toneladas de cargas diversas. Apresenta terminais de cargas, como grãos sólidos e líquidos e carga geral: soja em farelo, cítricos, soja, carvão, açúcar, óleo combustível, óleo diesel, álcool, gasolina, sucos cítricos, óleo vegetal, café em grão, café solúvel, carne, frutas, madeira, papel, peças para veículos, produtos siderúrgicos, produtos têxteis, pneus, veículos e couro. É o porto líder brasileiro no transporte de contêineres (COMPANHIA, 2010). A Tabela 1 revela dados sobre exportação, importação, navios e contêineres no Porto de Santos de 2003 a 2007. Observa-se um crescimento no movimento de exportações, importações, navios mercantes e contêineres, o que ressalta a importância de se realizar uma análise das embarcações neste porto.

Tabela 1 - Movimento anual de exportação e importação, de navios e de contêineres no período de 2003 a 2007 no Porto de Santos.

	2003	2004	2005	2006	2007
Movimento Anual (toneladas)					
Total	60.077.073	67.609.753	71.902.494	76.297.193	80.775.867
Exportação	39.126.666	45.809.828	50.399.621	52.243.709	53.843.434
Importação	20.950.407	21.799.925	21.502.873	24.053.484	26.932.433
Movimento de Navios (em unidades)					
Total	4.703	4.995	5.535	5.614	5.741
Movimento de Contêineres (em unidades)					
Total	1.037.371	1.2247.130	1.478.428	1.603.868	1.654.713



O Porto de Tubarão está localizado no litoral do estado do Espírito Santo, de acordo com a CAP, escala 1:250.000 (Figura 3.5). Movimenta atualmente 65 milhões de toneladas de ferro e pellets (combustível sólido de resíduos de madeira prensado, proveniente de desperdícios de madeira) e 1,5 milhão de toneladas de grãos por ano. Para atender com mais eficiência, o porto expandiu-se, originando o Terminal de Produtos Diversos. Uma extensão do Porto de Tubarão, constitui-se de três berços (áreas de carga e descarga), que, juntos, têm capacidade para 6 milhões de toneladas. São eles: um berço de granéis líquidos, com capacidade de 2 milhões de metros cúbicos, utilizado pela Petrobras; um berço exclusivo para grãos, com capacidade para 3 milhões de toneladas/ano; e um de cargas gerais, que, tendo como prioridade a movimentação de contêineres e fertilizantes, com capacidade de movimentar até 40 contêineres por hora (COMPANHIA, 2010).



Figura 3.5: Carta Aeronáutica de Pilotagem na escala de 1:250.000 da região de Porto de Tubarão. Fonte: COMGAR (2010).



A Tabela 2 reflete a importância dos portos brasileiros na movimentação de cargas. O Porto de Vitória e de Tubarão, por pertencerem ao mesmo complexo portuário, segundo dados coletados em 2002, são locais de elevado tráfego marítimo. Assim como o Porto de Santos, o Porto de Tubarão desperta a necessidade de uma análise das embarcações mercantes (COMPANHIA, 2010).

Tabela 2 – Movimentação de cargas nos principais portos do Brasil.

Portos	Carga (toneladas)
Vitória/Tubarão	74.519.677
Santos	58.904.772
São Luís/Itaqui	58.858.421
Itaguaí/Sepetiba	41.755.663
Paranaguá	25.596.004
Serra/Praia Mole	17.987.268
Anchieta/Ponta Ubu	15.008.507
Rio Grande	12.009.280
São Sebastião	10.261.908
Rio de Janeiro	7.879.984
São Francisco do Sul	7.836.630

A Baía de Guanabara está localizada no estado do Rio Janeiro, de acordo com a CAP, escala 1:250.000 (Figura 3.6).



Figura 3.6: Carta Aeronáutica de Pilotagem na escala de 1:250.000 da região da Baía de Guanabara. Fonte: COMGAR (2010).

O Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro (AMRJ) é uma Organização Militar (OM) da Marinha do Brasil. Esta OM está sediada na Baía de Guanabara. Tem como característica marcante o fato de ser o principal centro de manutenção da Marinha do Brasil. No AMRJ, são desenvolvidos projetos, construções e manutenções dos meios navais, não apenas da Armada Brasileira, mas também de embarcações de nações amigas. Conforme a Figura 3.7, há neste local a possibilidade de embarcações militares estarem atracadas, como fragatas (navio de combate, maior e mais bem armado que a corveta, empregado para patrulha anti-submarino e escolta de comboio e de forças-tarefas), contratorpedeiros (navio de combate, de alta velocidade, grande mobilidade, tamanho moderado, pequena autonomia, proteção estrutural nula, e cujo armamento é constituído por torpedos, canhões de pequeno ou médio calibre, armas anti-submarino ou pequenos mísseis) e navios-aeródromos (base aérea flutuante, com propulsão própria, capaz de reabastecer,



municar, alojar, reparar e operar aeronaves e suas equipagens aéreas, e defender-se, dentro de certos limites, de ataques aéreos e de superfície) (MARINHA, 2010).



Figura 3.7: Imagem de alta resolução espacial disponível no programa Google Earth da região da Baía de Guanabara. Fonte: COMGAR (2010).

Após definida as áreas de estudo, inicia-se o processamento em si das imagens SAR, ou seja, realce de contraste, filtros, classificadores e transformadores.

### 3.3 Realce de Contraste

A manipulação de contraste é uma transformação radiométrica pixel-a-pixel, realizada para aumentar a discriminação visual das feições de baixo contraste presentes na imagem. Cada nível de cinza do pixel é modificado por uma transformação específica, sem levar em consideração os níveis de cinza dos pixels vizinhos. Esta operação é realizada através da manipulação do histograma da imagem. O histograma de uma imagem descreve a distribuição estatística dos níveis



de cinza da imagem em termos de número de pixels para cada nível de cinza (RICHARDS e JIA, 2006). A Figura 3.8 representa histogramas de imagens.

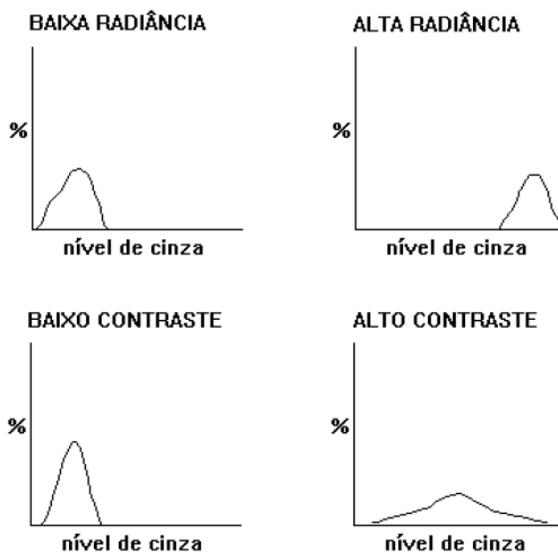


Figura 3.8: Exemplos típicos de histogramas de imagens com baixa e alta radiancia e com baixo e alto contraste. Fonte: RECHIUTI (1997).

Aplicando os realces de contrastes disponíveis do aplicativo ENVI 4.5 (linear 2%, gaussiano, equalização, raiz quadrada e contraste de 50 a 200), verificaram-se os seguintes resultados sobre as imagens  $L_{HH}$ , tomando como referência as imagens originais do apêndice Q, com os filtros morfológicos abertura, nas três áreas de estudo (Figuras 3.9, 3.10 e 3.11):

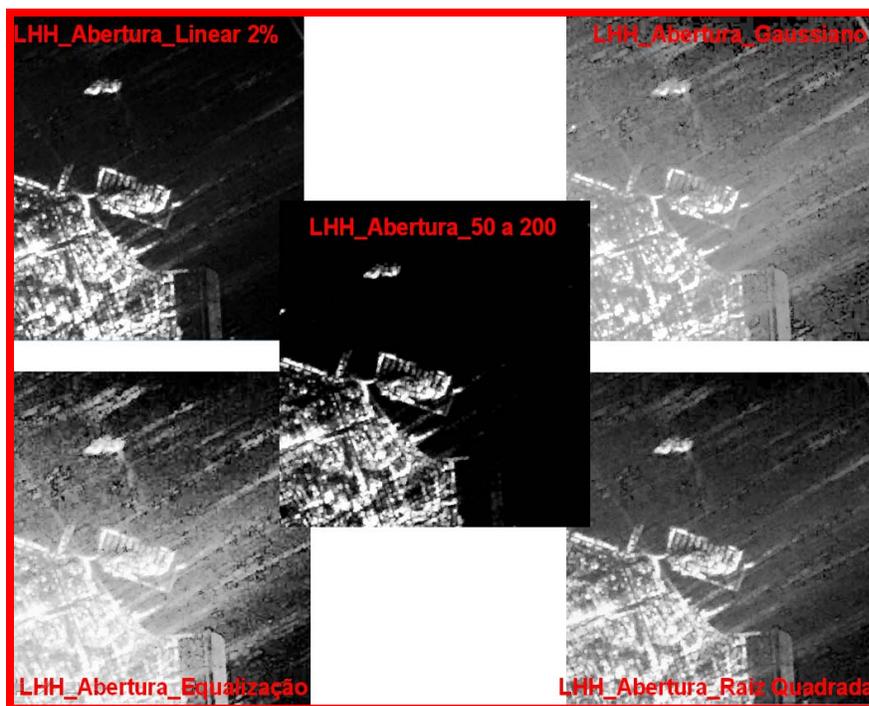


Figura 3.9: Imagens SAR na banda L e polarização HH da região da Baía de Guanabara, realçadas com filtro abertura.

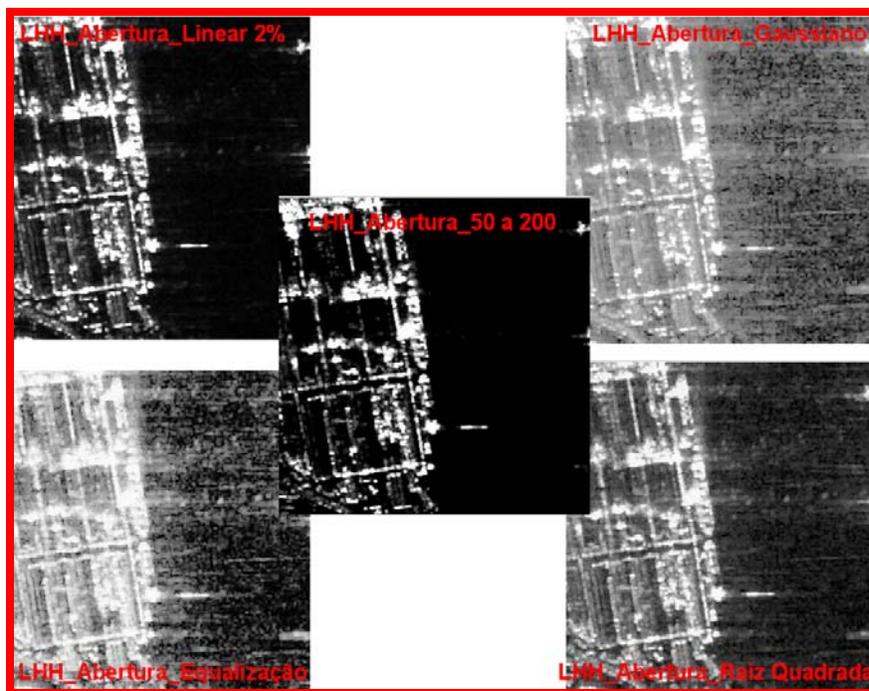


Figura 3.10: Imagens SAR na banda L e polarização HH da região de Porto de Santos, realçadas com filtro abertura.

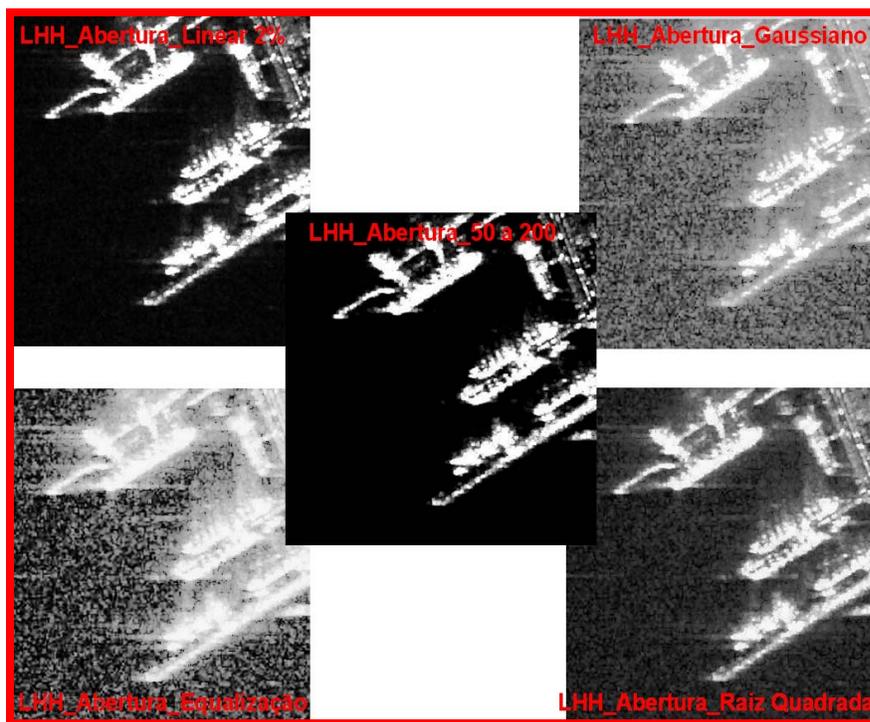


Figura 3.11: Imagens SAR na banda L e polarização HH da região de Porto de Tubarão, realçadas com filtro abertura.

Após a aplicação dos contrastes, verificaram-se as estatísticas no aplicativo ENVI 4.5 de cada área de estudo. Na Figura 3.12, são mostrados os resultados estatísticos obtidos sobre a imagem  $L_{HH}$ , realçada pelo filtro abertura. Como resultado final (Tabelas 3, 4 e 5), observou-se que as menores médias e os maiores desvios-padrões (FREUND e SIMON, 2000) representam o melhor contraste, o de 50 a 200. Este contraste servirá de base para as análises seguintes, os elementos e as fases de interpretação. Contudo, se fazem necessárias análises em filtros, classificadores e transformações.

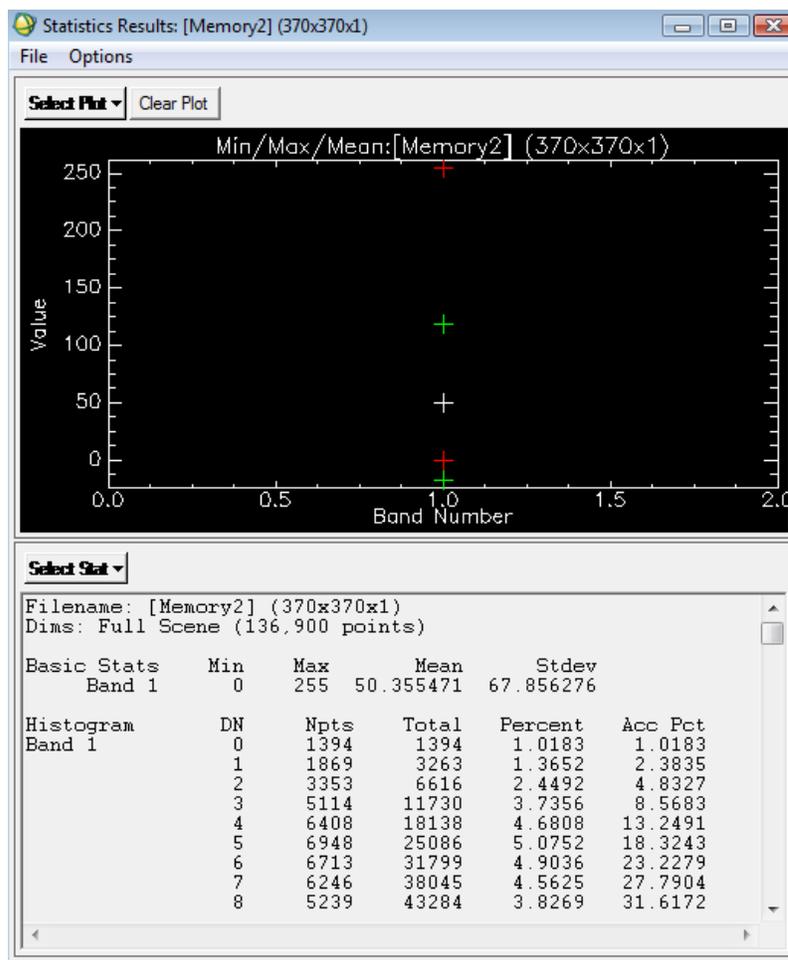


Figura 3.12: Dados estatísticos da imagem SAR na banda L e polarização HH da região de Porto de Santos, realçadas com filtro abertura e sem contraste espectral.

Tabela 3 – Médias e correspondentes desvios-padrões de imagens na banda L, polarização HH e filtro abertura da Baía de Guanabara, realçadas por cinco técnicas de aumento de contraste.

Tipos de Contrastes	Médias	Desvios-Padrões
Linear 2%	50,35	67,85
Gaussiano	131,52	50,82
Equalização	130,58	78,90
Raiz Quadrada	88,34	67,97
Contraste de 50 a 200	37,65	77,16



Tabela 4 – Médias e correspondentes desvios-padrões de imagens na banda L, polarização HH e filtro abertura de Porto de Santos, realçadas por cinco técnicas de aumento de contraste.

Tipos de Contrastes	Médias	Desvios-Padrões
Linear 2%	48,03	74,20
Gaussiano	132,23	52,42
Equalização	130,37	80,27
Raiz Quadrada	80,44	70,23
Contraste de 50 a 200	38,31	82,50

Tabela 5 – Médias e correspondentes desvios-padrões de imagens na banda L, polarização HH e filtro abertura de Porto de Tubarão, realçadas por cinco técnicas de aumento de contraste.

Tipos de Contrastes	Médias	Desvios-Padrões
Linear 2%	49,74	67,29
Gaussiano	125,88	44,22
Equalização	129,68	77,62
Raiz Quadrada	88,83	68,29
Contraste de 50 a 200	39,50	79,78

Após a análise e a escolha do tipo de realce de contraste, o passo seguinte foi a escolha dos filtros morfológicos mais adequados para a identificação dos elementos de interpretação.

### 3.4 Filtros

Uma das características das imagens é o parâmetro frequência espacial (número de mudanças nos valores de nível de cinza por unidade de distância, em relação a qualquer parte da imagem). Existindo poucas variações nos níveis de cinza ao longo de uma área, esta recebe a denominação de área de baixa frequência. Se os valores dos níveis de cinza variam abruptamente ao longo de distâncias muito



curtas, então temos uma área de alta frequência (RECHIUTI, 1996) (MECOCCI et al, 1995).

As imagens SAR possuem fronteiras (representam mudanças de um intervalo de níveis de cinza para outro e são conhecidas como bordas) entre áreas com diferentes respostas em relação à energia eletromagnética retroespalhada (TEIXEIRA et al, 2006), como por exemplo, entre diferentes coberturas do terreno (solos, vegetação, rochas, etc.) ou podem representar áreas com diferentes condições de iluminação, devido ao sombreamento topográfico (RECHIUTI, 1996).

As filtragens espaciais são úteis em processamento de imagens SAR para destacar as bordas, feições lineares em determinadas direções e padrões de textura, através do realce ou da supressão de determinadas frequências espaciais (RICHARDS e JIA, 2006). A filtragem espacial, assim como realce de contraste, é uma transformação radiométrica pixel-a-pixel. Contudo, a transformação não depende somente do nível de cinza do pixel que está sendo processado, mas também dos níveis dos pixels vizinhos. A diferença conceitual entre o realce de contraste e a filtragem espacial é representada na Figura 3.13 (RECHIUTI, 1996).

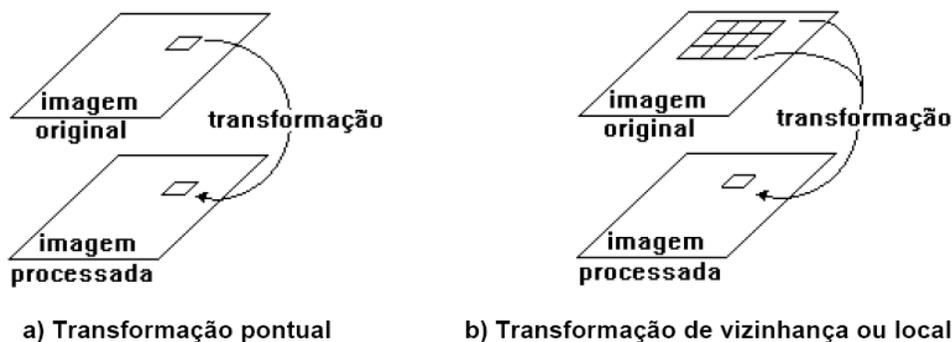


Figura 3.13: Diferença conceitual entre realce de contraste e filtragem espacial.  
Fonte: RECHIUTI (1997).

Após aplicar os filtros de convolução, de textura, *Fast Fourier Transform* (FFT) e morfológicos nas imagens  $X_{HH}$ ,  $L_{HH}$ ,  $L_{VV}$ ,  $L_{VH}$  e  $L_{HV}$ , nas três áreas de estudo, adotaram-se os últimos filtros, por apresentarem melhores resultados para a análise qualitativa. A filtragem morfológica é um método não-linear baseado em uma forma.



São utilizados para quantificar as estruturas geométricas. Existem quatro tipos de filtros morfológicos: dilatação, erosão, abertura e fechamento (SCHOWENGERDT, 2007). A filtragem dilatação fecha buracos, que são menores que a máscara definida numa imagem binária ou em tons de cinza. Gera um aumento da área clara sobre a área escura, ou seja, cada ponto escuro que estiver em uma fronteira claro/escuro é substituído por um ponto claro. Causa o aumento das áreas claras (GAMBARDELLA et al, 2008). A filtragem erosão afasta grupos de pixel menores que a máscara definida numa imagem binária ou em tons de cinza. Gera um aumento da área escura sobre a área clara, ou seja, cada ponto claro que estiver em uma fronteira claro/escuro é substituído por um ponto escuro. Causa o aumento das áreas escuras (ENVI, 2010).

A filtragem abertura corresponde à uma erosão seguida por uma dilatação. O efeito prático é a eliminação de pequenas estruturas pontuais ou lineares escuras, tornando os contornos mais suaves e eliminando ruídos (ENVI, 2010). A filtragem fechamento corresponde a uma dilatação seguida por uma erosão. O efeito prático é a eliminação de pequenas estruturas pontuais ou lineares claras, tornando os contornos mais suaves e eliminando ruídos (ENVI, 2010).

Os resultados das filtrações são mostrados nas Figuras 3.14 a 3.26 e nas Tabelas 6, 7 e 8. Selecionaram-se as imagens que permitiram visualização nítida das embarcações. Os resultados “ótimo” e “bom” foram encontrados para os filtros abertura e erosão, os quais apresentaram menores valores de média e de desvio-padrão, representando imagens com menos borrões e não desfocadas (Tabelas 9, 10 e 11, dados estatísticos obtidos no ENVI).

Dentro das células das Tabelas 6, 7 e 8, foram atribuídas as nomenclaturas “I” para insuficiente, “B” para bom e “O” para ótimo, conforme observação visual das imagens no aplicativo ENVI 4.5 feita pelo analista de imagens Sérgio R. Horst G.:

I → visualização insuficiente; borrões na imagem; imagem desfocada.

B → visualização boa; borrões na imagem; imagem não desfocada.

O → visualização ótima; sem borrões na imagem; imagem não desfocada.

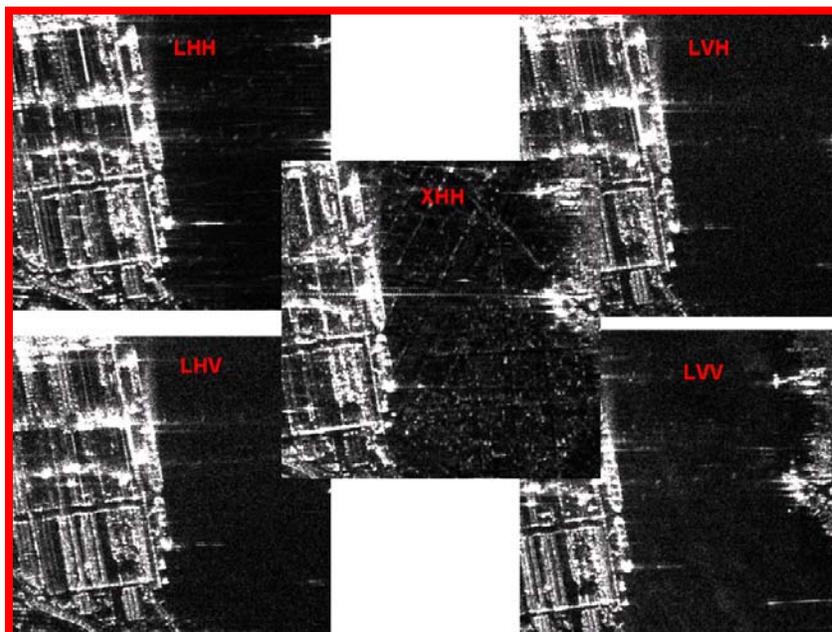


Figura 3.14: Imagens SAR da região de Porto de Santos, obtidas nas bandas X e L e polarizações HH, HV, VH e VV.

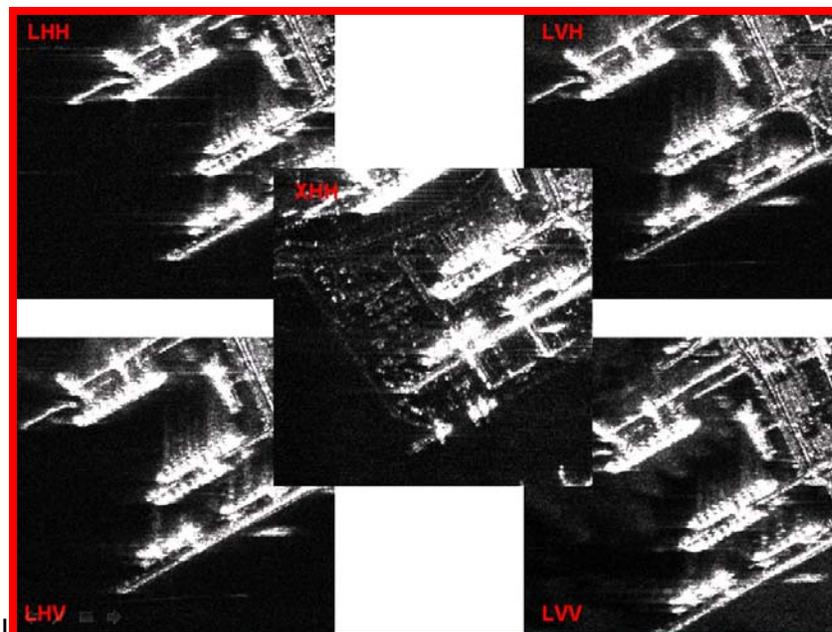


Figura 3.15: Imagens SAR da região do Porto de Tubarão, obtidas nas bandas X e L e polarizações HH, HV, VH e VV.

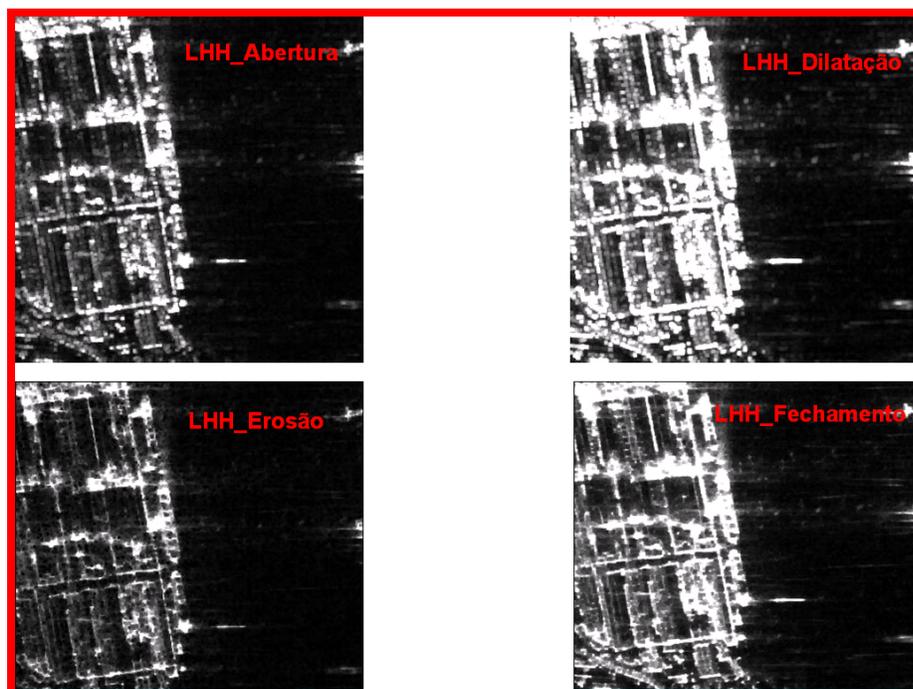


Figura 3.16: Imagens SAR da região de Porto de Santos, obtidas na banda L e polarização HH e realçadas com quatro filtros morfológicos distintos.

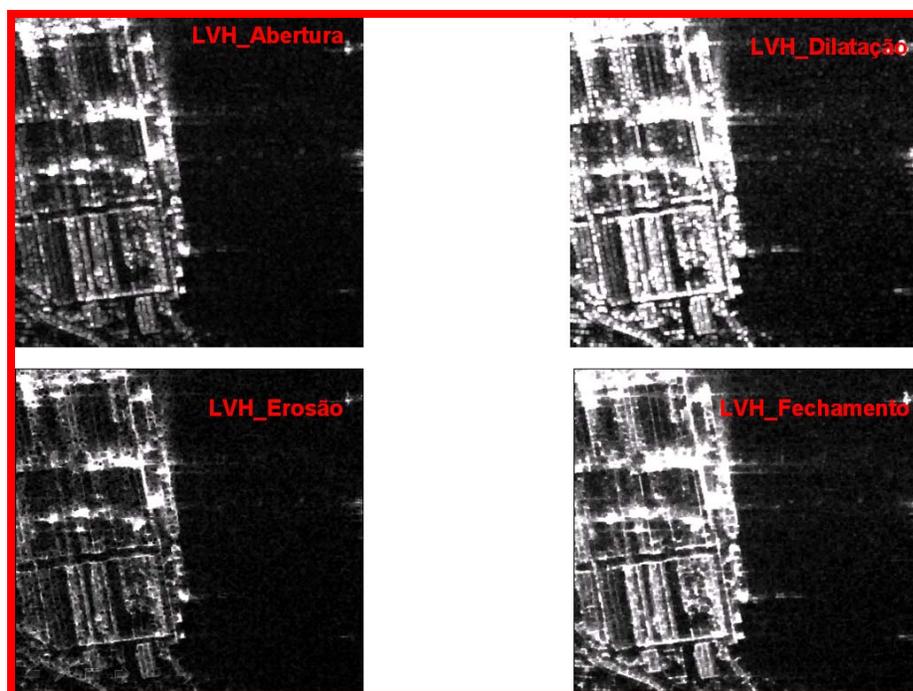


Figura 3.17: Imagens SAR da região de Porto de Santos, obtidas na banda L e polarização VH e realçadas com quatro filtros morfológicos distintos.

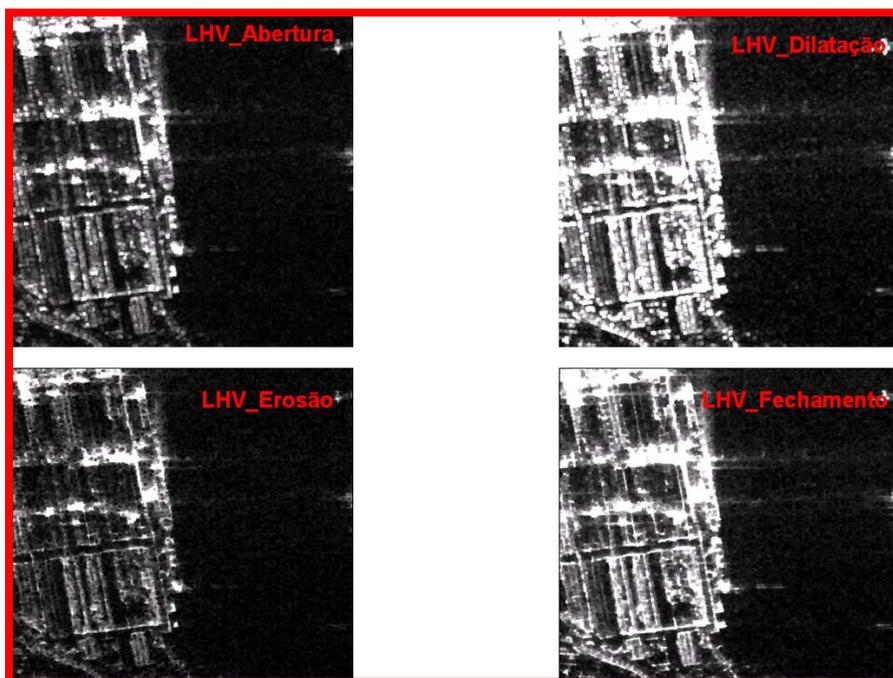


Figura 3.18: Imagens SAR da região de Porto de Santos, obtidas na banda L e polarização HV e realçadas com quatro filtros morfológicos distintos.

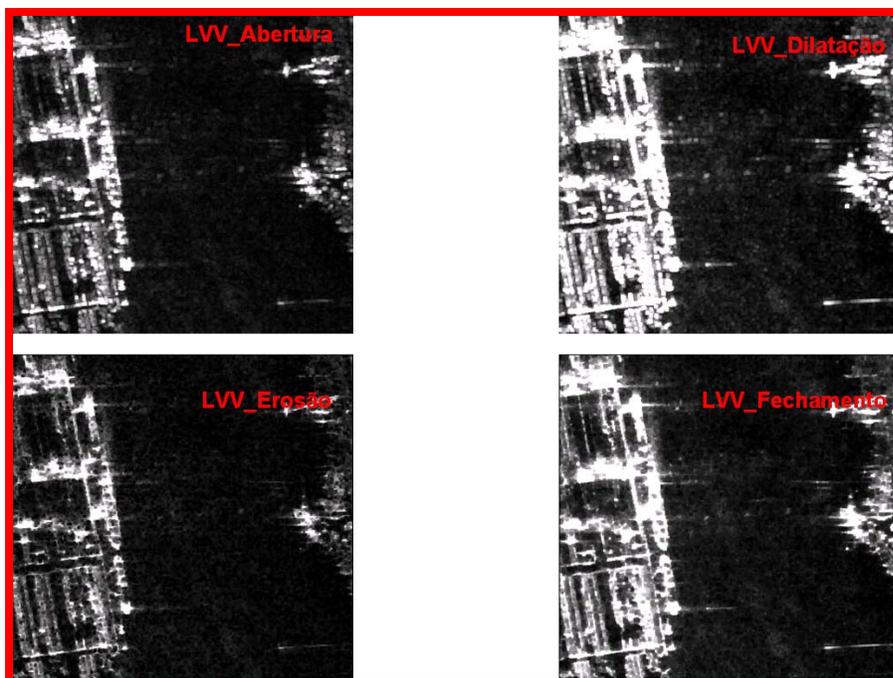


Figura 3.19: Imagens SAR da região de Porto de Santos, obtidas na banda L e polarização VV e realçadas com quatro filtros morfológicos distintos.

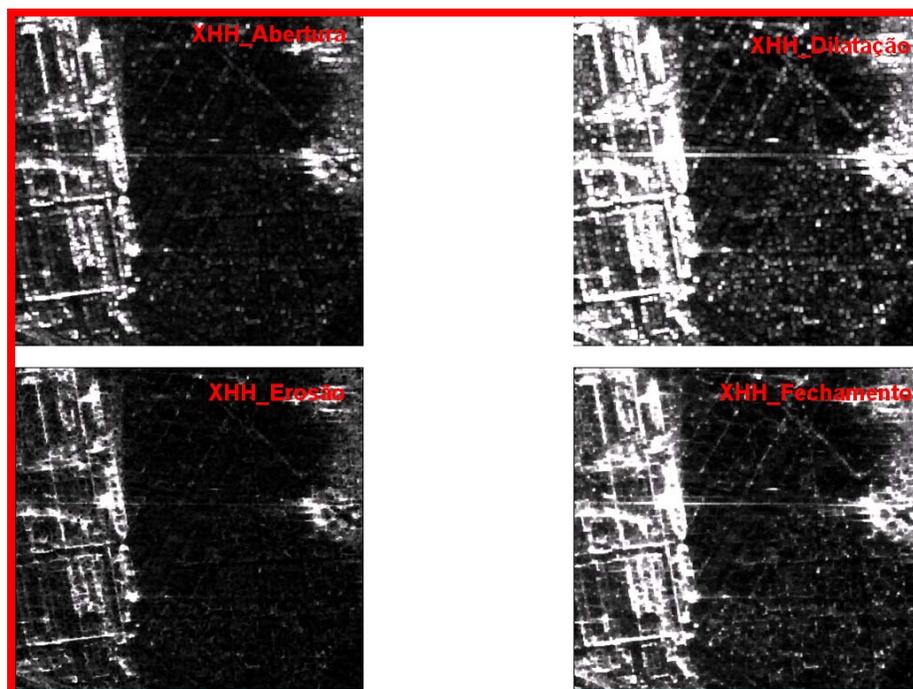


Figura 3.20: Imagens SAR da região de Porto de Santos, obtidas na banda X e polarização HH e realçadas com quatro filtros morfológicos distintos.

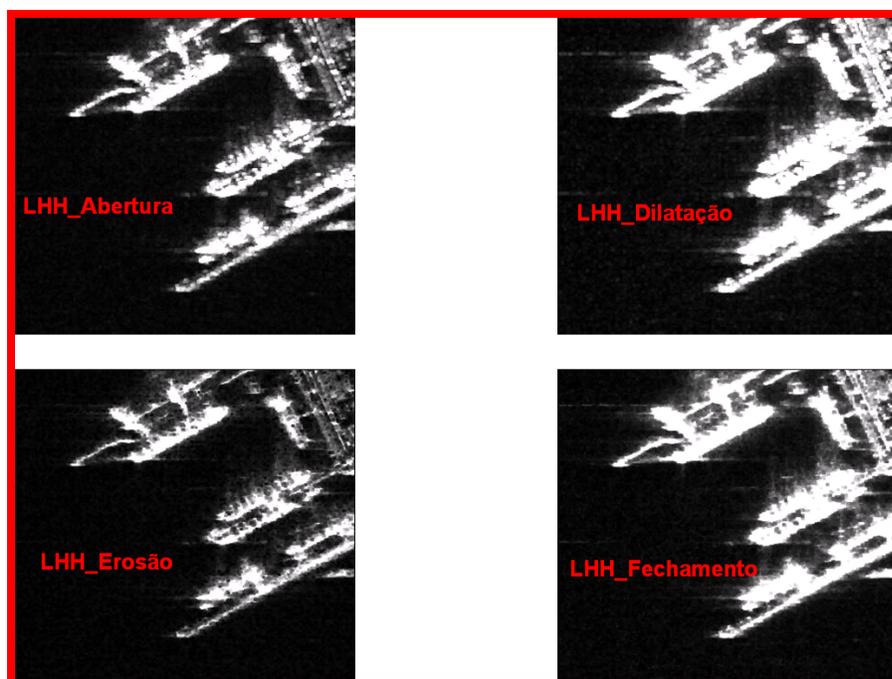


Figura 3.21: Imagens SAR da região de Porto de Tubarão, obtidas na banda L e polarização HH e realçadas com quatro filtros morfológicos distintos.

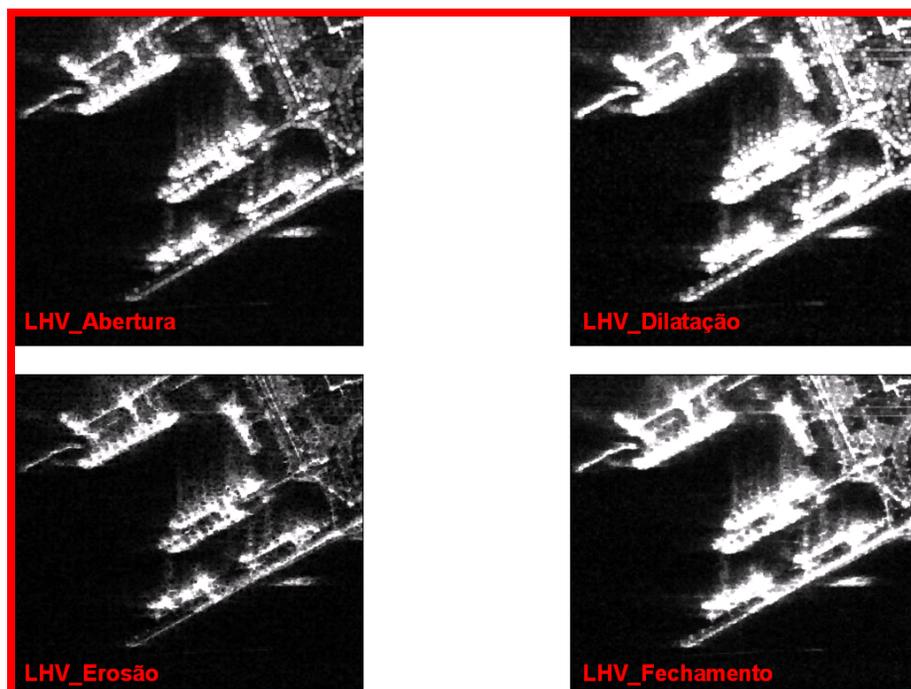


Figura 3.22: Imagens SAR da região de Porto de Tubarão, obtidas na banda L e polarização HV e realçadas com quatro filtros morfológicos distintos.

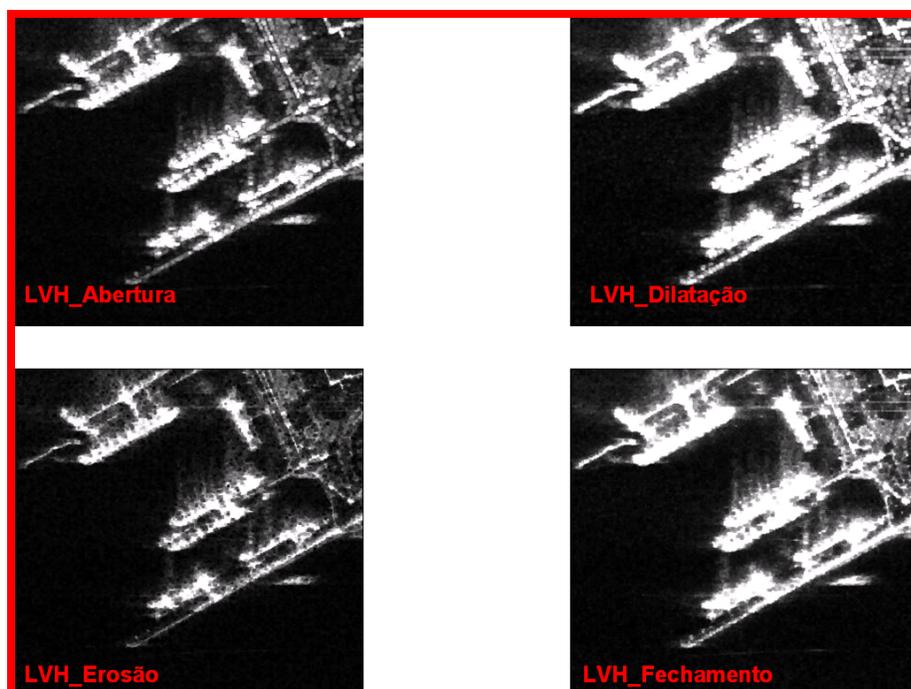


Figura 3.23: Imagens SAR da região de Porto de Tubarão, obtidas na banda L e polarização VH e realçadas com quatro filtros morfológicos distintos.

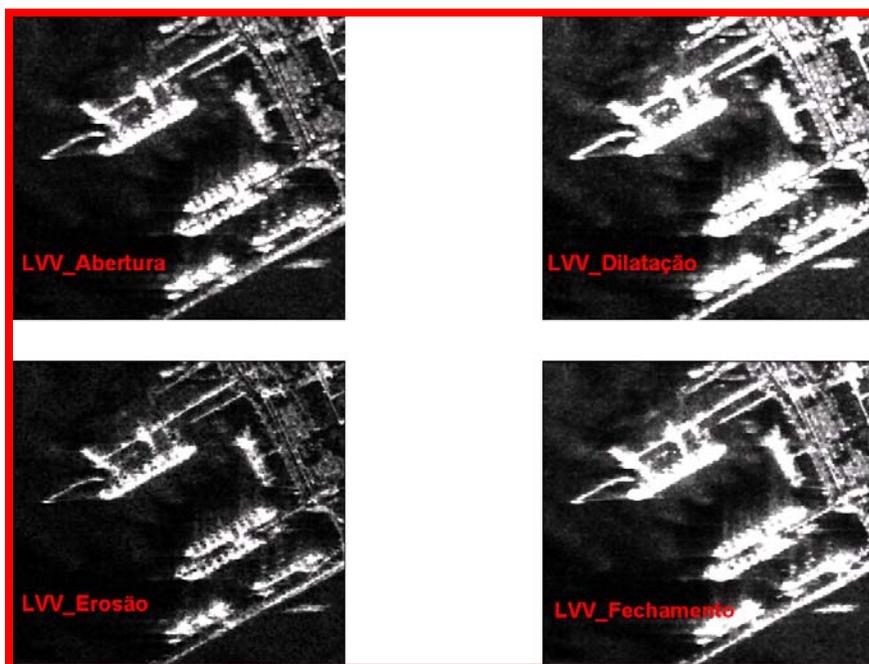


Figura 3.24: Imagens SAR da região de Porto de Tubarão, obtidas na banda L e polarização VV e realçadas com quatro filtros morfológicos distintos.

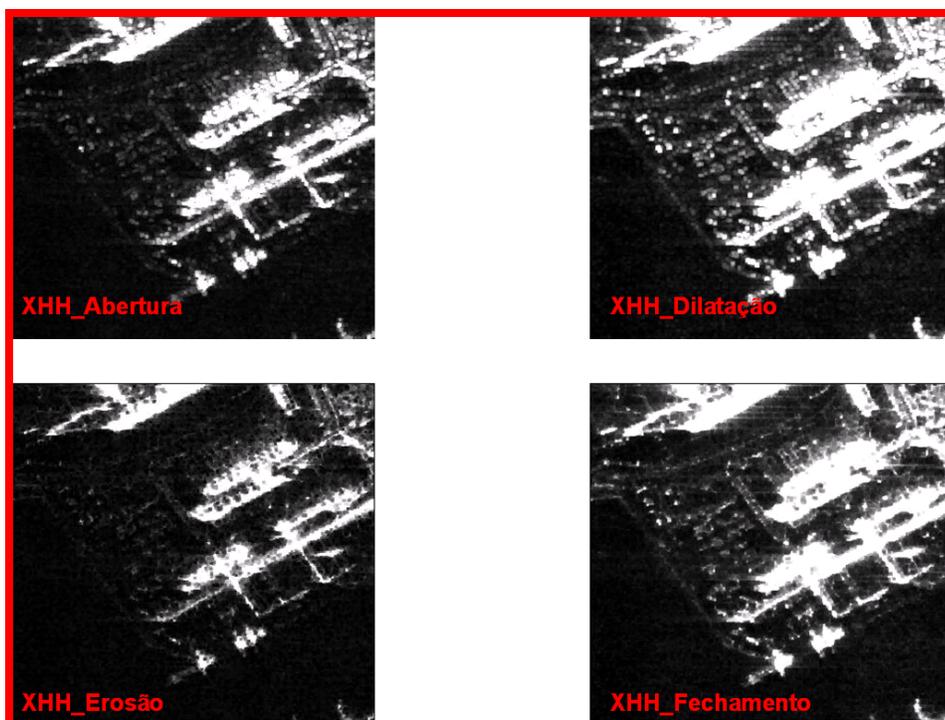


Figura 3.25: Imagens SAR da região de Porto de Tubarão, obtidas na banda X e polarização HH e realçadas com quatro filtros morfológicos distintos.

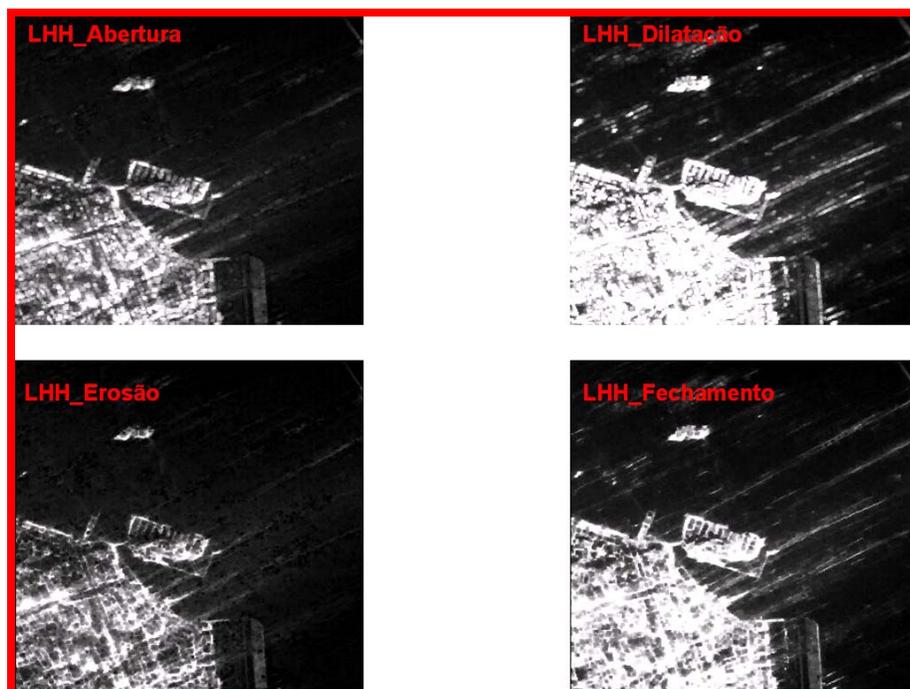


Figura 3.26: Imagens SAR da região da Baía de Guanabara, obtidas na banda L e polarização HH e realçadas com quatro filtros morfológicos distintos.

Tabela 6 – Desempenho de filtros morfológicos para as imagens SAR da região de Porto de Santos, obtidas nas bandas X e L e polarizações HH, HV, VH e VV.

Parâmetros de Imageamento	Filtros Morfológicos			
	Abertura	Dilatação	Erosão	Fechamento
X <sub>HH</sub>	O	I	B	I
L <sub>HH</sub>	O	I	B	I
L <sub>HV</sub>	O	I	B	I
L <sub>VV</sub>	O	I	B	I
L <sub>VH</sub>	O	I	B	I

O = ótimo; I = insuficiente; B = bom.



Tabela 7 - Desempenho de filtros morfológicos para as imagens SAR da região de Porto de Tubarão, obtidas nas bandas X e L e polarizações HH, HV, VH e VV.

Parâmetros de Imageamento	Filtros Morfológicos			
	Abertura	Dilatação	Erosão	Fechamento
$X_{HH}$	O	I	B	I
$L_{HH}$	O	I	B	I
$L_{HV}$	O	I	B	I
$L_{VV}$	O	I	B	I
$L_{VH}$	O	I	B	I

O = ótimo; I = insuficiente; B = bom

Tabela 8 – Desempenho de filtros morfológicos para as imagens SAR da região da Baía de Guanabara, obtidas nas bandas X e L e polarizações HH, HV, VH e VV.

Parâmetros de Imageamento	Filtros Morfológicos			
	Abertura	Dilatação	Erosão	Fechamento
$L_{HH}$	O	I	B	I

O = ótimo; I = insuficiente; B = bom



Tabela 9 – Valores digitais médios e os correspondentes desvios-padrões das imagens SAR da região de Porto dos Santos obtidas nas bandas L e X e polarizações HH, HV, VH e VV e realçadas com diferentes filtros morfológicos.

Parâmetros de Imageamento	Filtros Morfológicos	Médias	Desvios-Padrões
L <sub>HH</sub>	Sem filtro	59,89	74,16
	Abertura	50,35	67,85
	Dilatação	83,67	91,88
	Erosão	36,01	54,05
	Fechamento	66,35	79,78
L <sub>HV</sub>	Sem filtro	61,45	69,26
	Abertura	48,18	62,03
	Dilatação	83,37	88,42
	Erosão	36,32	52,06
	Fechamento	66,63	77,13
L <sub>VH</sub>	Sem filtro	59,24	68,10
	Abertura	47,16	60,78
	Dilatação	81,76	87,39
	Erosão	35,66	52,00
	Fechamento	65,03	75,85
L <sub>VV</sub>	Sem filtro	54,29	65,86
	Abertura	43,43	59,71
	Dilatação	73,90	84,20
	Erosão	34,63	52,50
	Fechamento	59,56	73,12
X <sub>HH</sub>	Sem filtro	60,82	69,82
	Abertura	48,94	63,67
	Dilatação	88,35	85,95
	Erosão	34,66	51,63
	Fechamento	67,62	75,64



Tabela 10 - Valores digitais médios e os correspondentes desvios-padrões das imagens SAR da região de Porto de Tubarão obtidas nas bandas L e X e polarizações HH, HV, VH e VV e realçadas com diferentes filtros morfológicos.

Parâmetros de Imageamento	Filtros Morfológicos	Médias	Desvios-Padrões
L <sub>HH</sub>	Sem filtro	55,45	77,57
	Abertura	48,03	74,20
	Dilatação	70,48	91,88
	Erosão	36,71	63,46
	Fechamento	59,52	83,96
L <sub>HV</sub>	Sem filtro	57,60	75,69
	Abertura	49,24	70,60
	Dilatação	75,28	91,72
	Erosão	37,69	59,98
	Fechamento	63,20	82,55
L <sub>VH</sub>	Sem filtro	57,81	75,13
	Abertura	49,35	70,09
	Dilatação	75,50	91,01
	Erosão	37,79	59,53
	Fechamento	63,34	81,82
L <sub>VV</sub>	Sem filtro	64,50	76,29
	Abertura	54,98	71,46
	Dilatação	87,77	89,95
	Erosão	40,90	60,14
	Fechamento	72,64	81,01
X <sub>HH</sub>	Sem filtro	64,256	78,89
	Abertura	53,991	75,58
	Dilatação	84,29	91,20
	Erosão	40,40	66,09
	Fechamento	69,59	83,73



Tabela 11 - Valores digitais médios e os correspondentes desvios-padrões das imagens SAR da região da Ilha da Cobra obtidas na banda L e polarização HH e realçadas com diferentes filtros morfológicos.

Parâmetro de Imageamento	Filtros Morfológicos	Médias	Desvios-Padrões
$L_{HH}$	Sem filtro	57,91	75,09
	Abertura	49,74	67,29
	Dilatação	81,46	93,34
	Erosão	43,06	60,94
	Fechamento	67,76	83,95

Tomando como referência o realce de contraste entre 50 e 200, em conjunto com a filtragem morfológica abertura ou erosão, o passo seguinte no processamento das imagens foi a classificação envolvendo três imagens SAR. A imagem  $X_{HH}$  não será combinada com as demais bandas L, pois apresentou a maior quantidade de ruído.

### 3.5 Classificadores

A classificação de imagens SAR consiste em associar cada pixel da imagem a um rótulo, descrevendo um objeto real. Os níveis de cinza associados a cada pixel, definidos pela radiância das matérias que compõe esse pixel, são identificados em termos de um tipo de cobertura da superfície terrestre imageada (água, vegetação, solo, rocha, etc.), denominados temas (SCHOWENGERDT, 2007). Uma imagem SAR classificada permite a produção de um mapa temático, o que facilita a identificação dos elementos de interpretação.

Em uma análise da variação conjunta entre as bandas/polarizações ( $L_{HH}$ ,  $L_{VV}$ ,  $L_{HV}$  e  $L_{VH}$ ), necessita-se aplicar os métodos de análise multivariada (correlação). Podem-se eliminar as bandas que tem alto coeficiente de correlação, pois uma baixa correlação entre bandas sugere que as mesmas contêm algum tipo de informação que não é encontrada nas demais bandas (ROSA, 1995).



Os dados das Tabelas 12 e 13 foram obtidos através do aplicativo SPSS 16.0. Estes dados representam 256 níveis digitais com nível de significância de 1%. As bandas/polarizações que apresentaram baixa correlação entre si foram  $L_{HH}$ ,  $L_{VV}$  e  $L_{HV}$  para o Porto de Santos e  $L_{HH}$ ,  $L_{VV}$  e  $L_{VH}$  para o Porto de Tubarão. Para a região da Baía de Guanabara, não foi possível correlacionar e classificar, devido a problemas de geração das bandas/polarizações no sensor SAR do R-99, sendo disponibilizada apenas uma imagem  $L_{HH}$ .

Tabela 12 – Coeficientes de correlação de Pearson para as imagens SAR de Porto de Santos obtidas na banda L e polarizações HH, HV, VH e VV.

	$L_{VH}$	$L_{HV}$	$L_{VV}$	$L_{HH}$
$L_{VH}$	1,000	0,972	0,864	0,723
$L_{HV}$	0,972	1,000	0,924	0,672
$L_{VV}$	0,864	0,924	1,000	0,562
$L_{HH}$	0,723	0,672	0,562	1,000

Tabela 13 – Coeficientes de correlação de Pearson para as imagens SAR de Porto de Tubarão obtidas na banda L e polarizações HH, HV, VH e VV.

	$L_{VH}$	$L_{HV}$	$L_{VV}$	$L_{HH}$
$L_{VH}$	1,000	0,992	0,746	0,490
$L_{HV}$	0,992	1,000	0,707	0,552
$L_{VV}$	0,746	0,707	1,000	0,378
$L_{HH}$	0,490	0,552	0,378	1,000



A correlação múltipla aplicada nos mesmos dados no aplicativo MINITAB 14 resultou nas seguintes equações, onde a configuração  $L_{HH}$  foi definida como a variável independente e as demais configurações como dependentes (SPIEGEL, 1972):

$$L_{HH} = 47324 + 1,55 L_{VH} - 0,492 L_{HV} - 0,164 L_{VV} \text{ (Porto de Santos); e}$$

$$L_{HH} = 57081 - 6,1 L_{VH} + 6,27 L_{HV} + 0,616 L_{VV} \text{ (Porto de Tubarão).}$$

Nas Tabelas 14 e 15, são mostrados os resultados da ANOVA. Novamente, para o Porto de Santos, as configurações com as correlações mais baixas foram o  $L_{VV}$  e  $L_{HV}$  em relação à  $L_{HH}$  e, para o Porto Tubarão, foram o  $L_{VV}$  e  $L_{VH}$  em relação à  $L_{HH}$  (menor F e/ou maior P).

Tabela 14 – Resultados da ANOVA para as imagens SAR na banda L e polarizações HH, HV, VH e VV da região de Porto de Santos.

Origem	SS	MS	DF	F	P
Regressão	1,00444E+14	3,34812E+13	3	99,2	0
Residual	8,50501E+13	3,37500E+11	252		
$L_{VV}$	4,00366E+11	4,00366E+11	1	1,18	0,277
$L_{VH}$	9,68956E+13	9,68956E+13	1	287,52	0
$L_{HV}$	3,4762E+12	3,14762E+12	1	9,33	0,168
Total	1,85494E+14		255		

Tabela 15 – Resultados da ANOVA para as imagens SAR na banda L e polarizações HH, HV, VH e VV da região de Tubarão.

Origem	SS	MS	DF	F	P
Regressão	2,23430E+14	7,44768E+13	3	124,28	0
Residual	1,51010E+14	5,99245E+11	252		
$L_{VV}$	2,48390E+13	2,48390E+13	1	41,46	0
$L_{VH}$	8,99591E+13	8,99591E+13	1	150,18	0
$L_{HV}$	1,08632E+14	1,08632E+14	1	181,35	0
Total	3,74440E+14		255		



Para as Tabelas 14 e 15, devem-se considerar os seguintes significados: SS, soma dos quadrados; MS, quadrados médios; DF, graus de liberdade; F, teste F; e P, significância.

Com base nas conclusões das Tabelas 14 e 15, as melhores combinações de imagens do Porto de Santos e do Porto de Tubarão foram  $L_{HH\_L_{VV\_L_{HV}}$  e  $L_{HH\_L_{VV\_L_{VH}}$ , respectivamente, para a aplicação dos seguintes classificadores:

- Não supervisionados: Isodata e K-médias; e
- Supervisionados: paralelepípedo, distância mínima, distância Mahalanobis, máxima verossimilhança, SAM, SID, *binary encoding* e SVM (RICHARDS e JIA, 2006).

As Figuras 3.27 e 3.28 representam os ROIs (regiões de interesses), respectivamente, do Porto de Santos e do Porto de Tubarão, conforme originais do apêndice Q. As regiões vermelha (instalações do cais), verde (embarcações), ciano (área urbana), amarelo (área urbana com vegetação) e azul (água) são as mais relevantes, pois suas distinções facilitam a interpretação das embarcações no Porto de Santos. As regiões vermelha (embarcações), amarela (instalações do cais), azul (água), solo (marrom) e vegetação (verde) são as mais relevantes, pois suas distinções facilitam a interpretação das embarcações no Porto de Tubarão. Para a opção de classificação por três classes, adotaram-se as regiões instalações do cais, embarcações e água.

A combinação de bandas/polarizações terá realce de contraste 50 a 200, com filtro morfológico abertura, para as duas regiões de estudo. O classificador isodata identifica padrões típicos nos níveis de cinza. Esses padrões são classificados efetuando-se visitas de reconhecimento a alguns poucos exemplos escolhidos para determinar sua interpretação. Em razão da técnica usada nesse processo, os padrões são geralmente referidos como *clusters* (agrupamentos ou nuvens) (MATHER, 2006). As Figuras 3.29 e 3.30 representam, respectivamente, a classificação não-supervisionada isodata no Porto de Santos ( $L_{HH\_L_{VV\_L_{HV}}$ ) e no Porto de Tubarão ( $L_{HH\_L_{VV\_L_{VH}}$ ). Os melhores resultados foram obtidos com números mínimo e máximo de três classes, cinco interações e limiar 10.

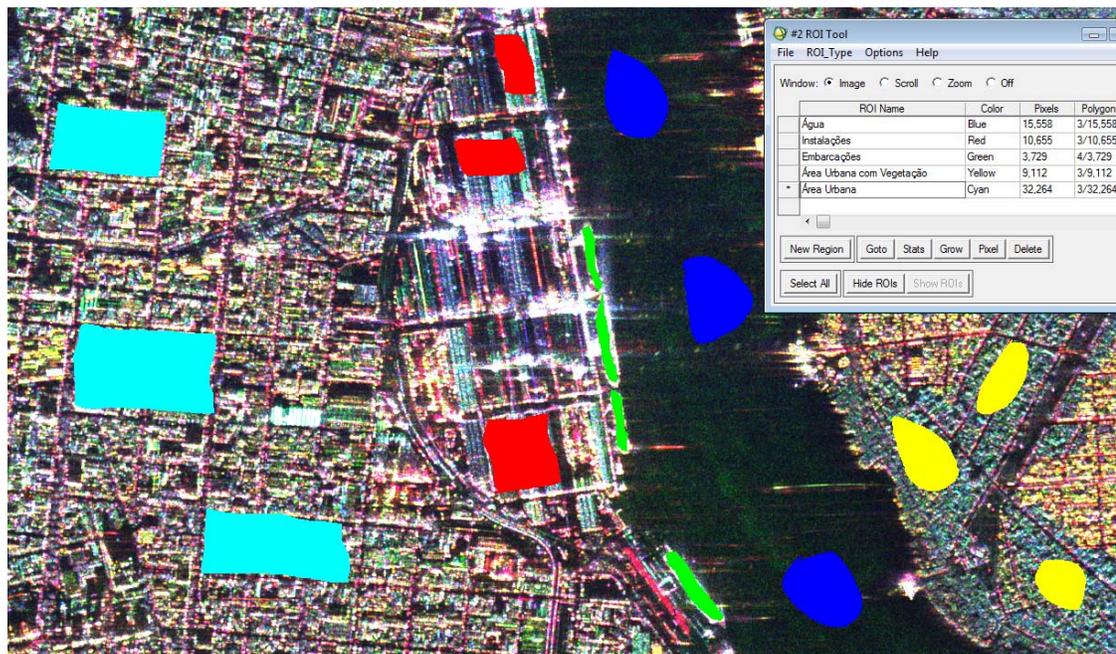


Figura 3.27: Regiões de interesse (ROI) extraídas na região do Porto de Santos.

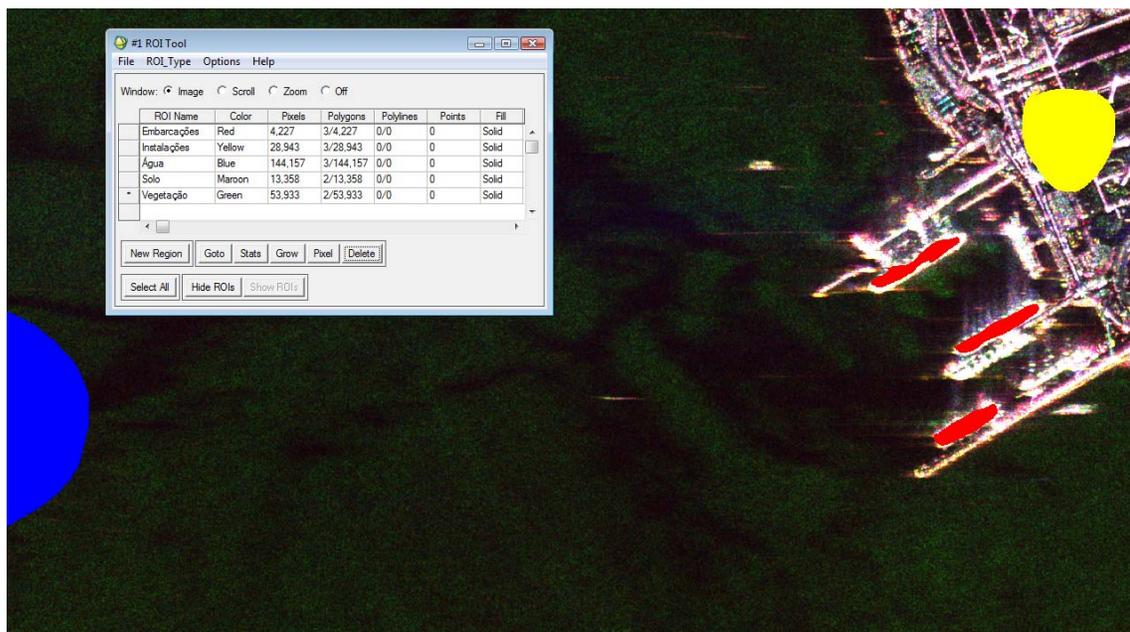


Figura 3.28: Regiões de interesse (ROI) extraídas na região do Porto de Tubarão.

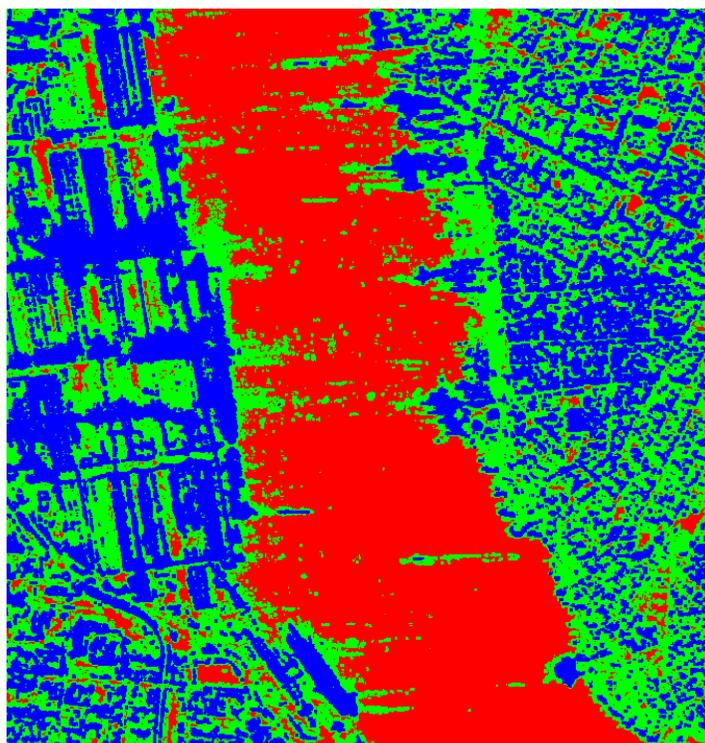


Figura 3.29: Resultado da classificação isodata envolvendo as imagens SAR da região do Porto de Santos, obtidas na banda L e polarizações HH, HV e VV.

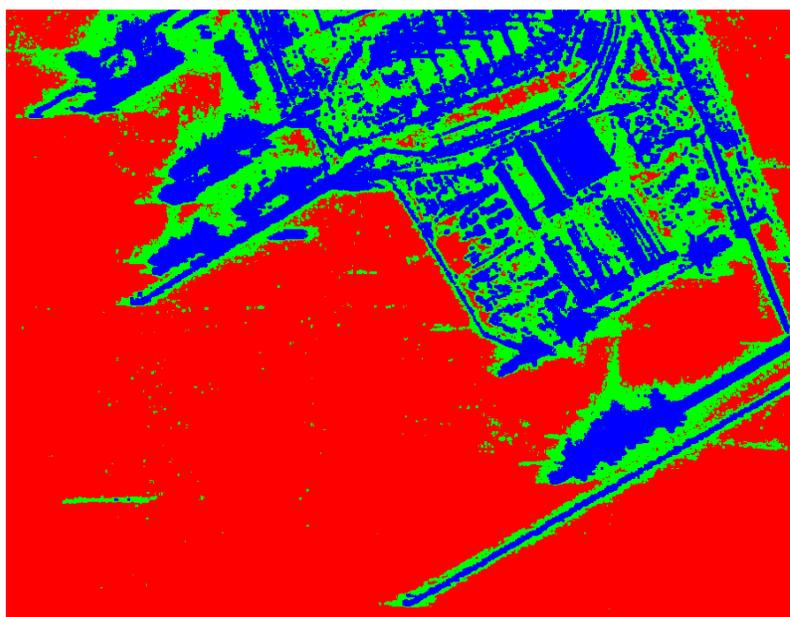


Figura 3.30: Resultado da classificação isodata envolvendo as imagens SAR da região do Porto de Tubarão, obtidas na banda L e polarizações HH, VH e VV.



O classificador K-Médias calcula inicialmente as classes distribuindo em uma classe uniformemente no espaço e então aglomera classe por classe em um processo iterativo usando a técnica de distância mínima. Melhor será a classificação quanto melhor for agrupada a nuvem de pixels. A classificação estará pronta quando o número de iterações definido pelo usuário for concluído, ou quando for alcançado o critério de número de pixels que mudam de classe (SCHOWENGERDT, 2007). As Figuras 3.31 e 3.32 representam, respectivamente, a classificação não-supervisionada K-médias no Porto de Santos ( $L_{HH\_L_{VV\_L_{HV}}$ ) e no Porto de Tubarão ( $L_{HH\_L_{VV\_L_{VH}}$ ). Os melhores resultados foram obtidos com três classes, cinco iterações e limiar 10.

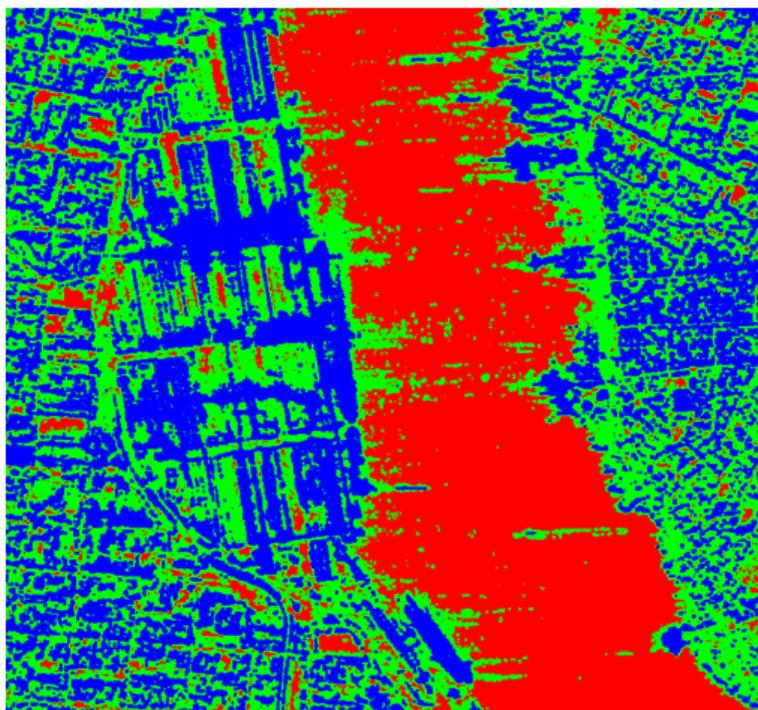


Figura 3.31: Resultado da classificação K-médias envolvendo as imagens SAR da região do Porto de Santos, obtidas na banda L e polarizações HH, HV e VV.

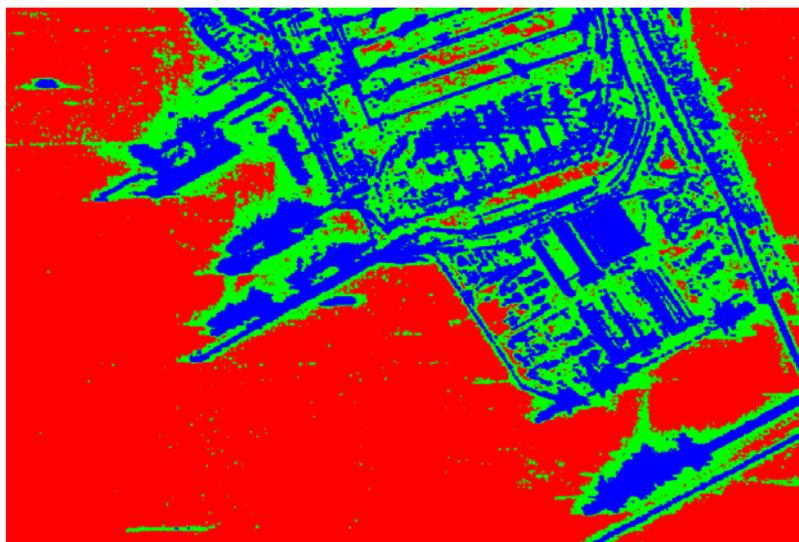


Figura 3.32: Resultado da classificação K-médias envolvendo as imagens SAR da região do Porto de Tubarão, obtidas na banda L e polarizações HH, VH e VV.

No classificador paralelepípedo, considera-se uma área no espaço de atributos ao redor do conjunto de treinamento (RICHARDS e JIA, 2006):

Essa área tem a forma de um retângulo, definindo os níveis de cinza máximo e mínimo do conjunto de treinamento. Os lados desse retângulo, que inclui uma classe própria, chamam-se os limites de decisão dessa classe. Os pixels que excedem os limites de decisão, como os pixels nas áreas de inseparabilidade, apresentam problemas na sua distribuição em uma classe. A correlação normalmente existente entre bandas vai causar uma distribuição ao longo da reta de 45° no espaço de atributos e os limites de decisão vão sempre abranger alguns pixels não pertencentes à classe.

As Figuras 3.33 e 3.34 representam, respectivamente, a classificação supervisionada paralelepípedo no Porto de Santos ( $L_{HH\_L_{VV\_L_{HV}}$ ) e no Porto de Tubarão ( $L_{HH\_L_{VV\_L_{VH}}$ ). Os melhores resultados foram obtidos com cinco classes.

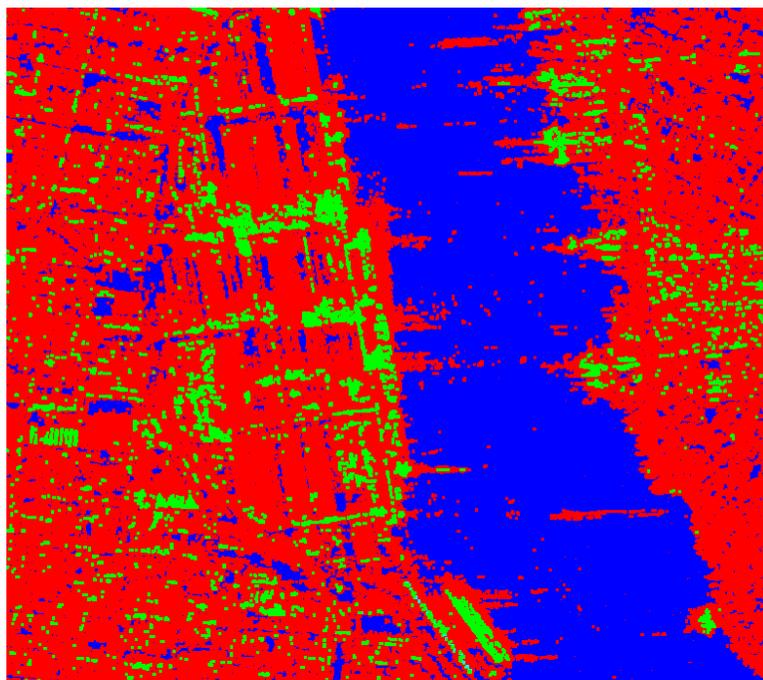


Figura 3.33: Resultado da classificação pelo método do paralelepípedo envolvendo as imagens SAR da região do Porto de Santos, obtidas na banda L e polarizações HH, HV e VV.

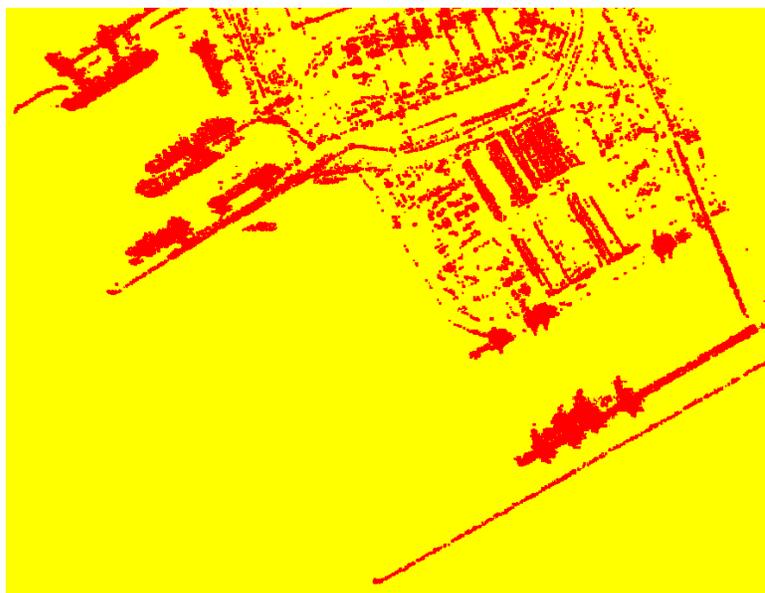


Figura 3.34: Resultado da classificação pelo método do paralelepípedo envolvendo as imagens SAR da região do Porto de Tubarão, obtidas na banda L e polarizações HH, VH e VV.



No classificador distância mínima, as classes podem ser definidas com base em dados estatísticos, calculando-se a média de cada classe, em cada banda espectral (MAXIMO e FERNANDES, 2005). Este método atribui cada pixel desconhecido à classe cuja média seja mais próxima a ele (RICHARDS e JIA, 2006).

As Figuras 3.35 e 3.36 representam, respectivamente, a classificação supervisionada distância mínima no Porto de Santos ( $L_{HH\_L_{VV\_L_{HV}}$ ) e no Porto de Tubarão ( $L_{HH\_L_{VV\_L_{VH}}$ ). Os melhores resultados foram obtidos com cinco classes.

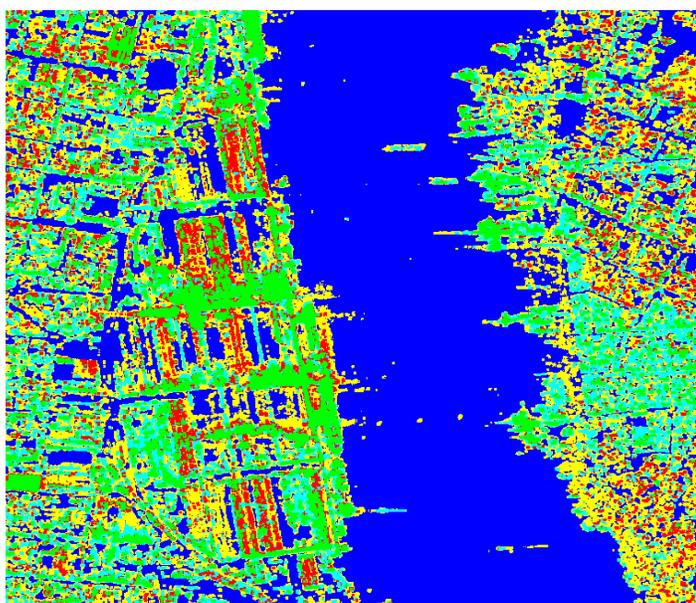


Figura 3.35: Resultado da classificação pelo método da distância mínima envolvendo as imagens SAR da região do Porto de Santos, obtidas na banda L e polarizações HH, HV e VV.

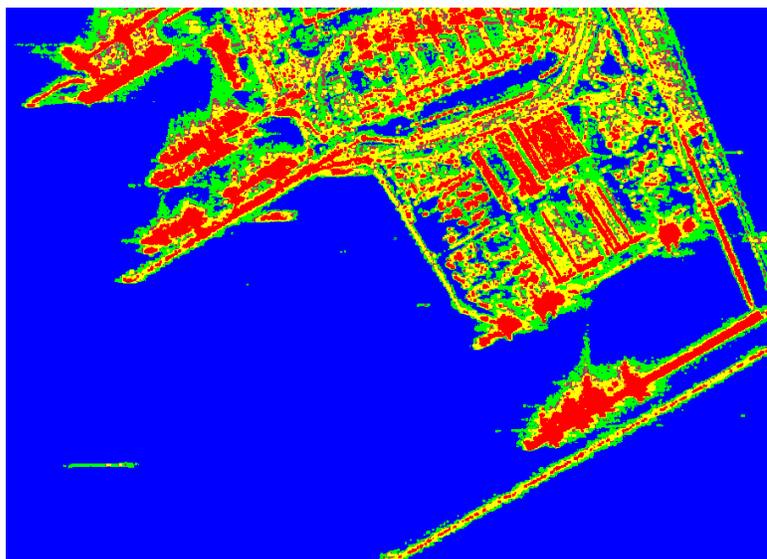


Figura 3.36: Resultado da classificação pelo método da distância mínima envolvendo as imagens SAR da região do Porto de Tubarão, obtidas na banda L e polarizações HH, VH e VV.

O classificador distância Mahalanobis supõe que a covariância das amostras são iguais (MAXIMO e FERNANDES, 2005). Este classificador é similar ao da distância mínima, porém, é mais rápido (RICHARDS e JIA, 2006). As Figuras 3.37 e 3.38 representam, respectivamente, a classificação supervisionada distância Mahalanobis no Porto de Santos ( $L_{HH\_L_{VV\_L_{HV}}$ ) e no Porto de Tubarão ( $L_{HH\_L_{VV\_L_{VH}}$ ). Os melhores resultados foram obtidos com cinco classes.

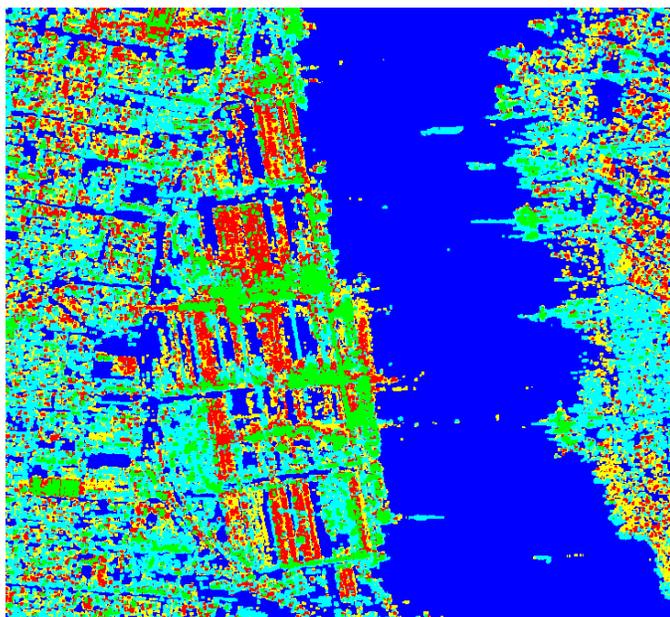


Figura 3.37: Resultado da classificação pelo método da distância Mahalanobis envolvendo as imagens SAR da região do Porto de Santos, obtidas na banda L e polarizações HH, HV e VV.

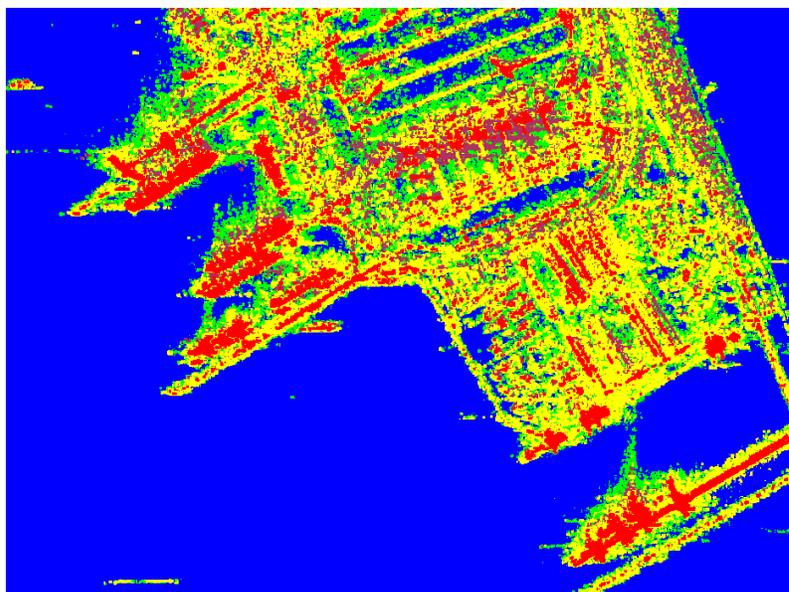


Figura 3.38: Resultado da classificação pelo método da distância Mahalanobis envolvendo as imagens SAR da região do Porto de Tubarão, obtidas na banda L e polarizações HH, VH e VV.



O método de máxima verossimilhança é baseado na probabilidade de um pixel pertencer a uma determinada classe (MAXIMO e FERNANDES, 2005). O usuário determina a significância nos erros de atributos especificados para uma classe em comparação a outras (RICHARDS e JIA, 2006). As Figuras 3.39 e 3.40 representam, respectivamente, a classificação supervisionada por máxima verossimilhança no Porto de Santos ( $L_{HH\_L_{VV\_L_{HV}}$ ) e no Porto de Tubarão ( $L_{HH\_L_{VV\_L_{VH}}$ ). Os melhores resultados foram obtidos com cinco classes.

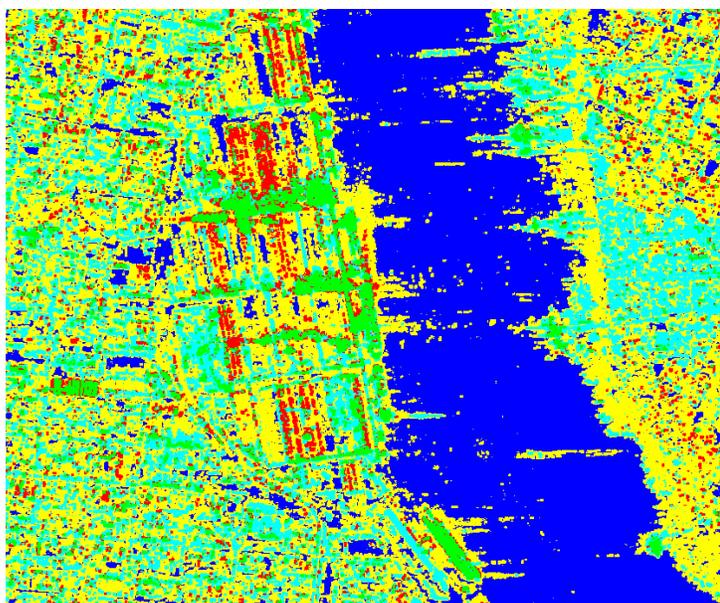


Figura 3.39: Resultado da classificação pelo método da máxima verossimilhança envolvendo as imagens SAR da região do Porto de Santos, obtidas na banda L e polarizações HH, HV e VV.

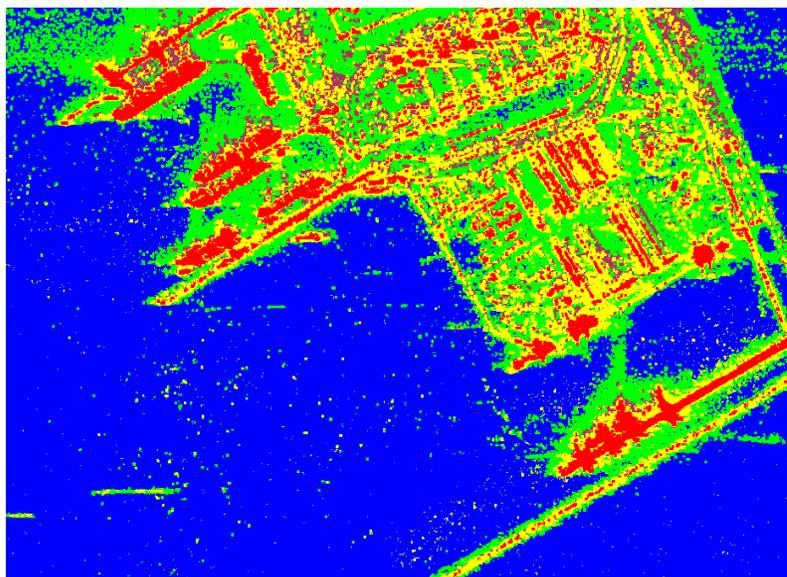


Figura 3.40: Resultado da classificação pelo método da máxima verossimilhança envolvendo as imagens SAR da região do Porto de Tubarão, obtidas na banda L e polarizações HH, VH e VV.

No classificador SAM, é usado o ângulo entre as amostras de treinamento no espaço de  $n$ -dimensões para determinar os pixels para uma determinada classe. O algoritmo determina a similaridade espectral entre dois espectros e calcula o ângulo entre eles (MATHER, 2006). As Figuras 3.41 e 3.42 representam, respectivamente, a classificação SAM no Porto de Santos ( $L_{HH\_L_{VV\_L_{HV}}$ ) e no Porto de Tubarão ( $L_{HH\_L_{VV\_L_{VH}}$ ). Os melhores resultados foram obtidos com cinco classes.

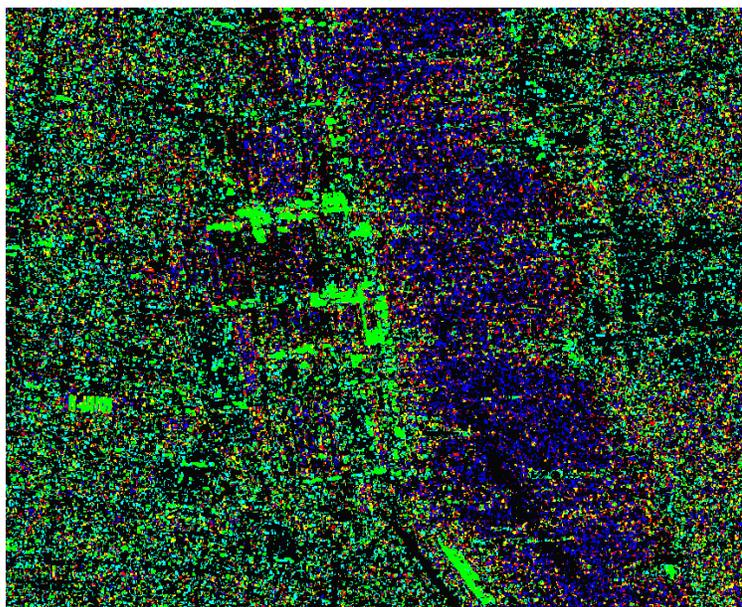


Figura 3.41: Resultado da classificação pelo método SAM envolvendo as imagens SAR da região do Porto de Santos, obtidas na banda L e polarizações HH, HV e VV.

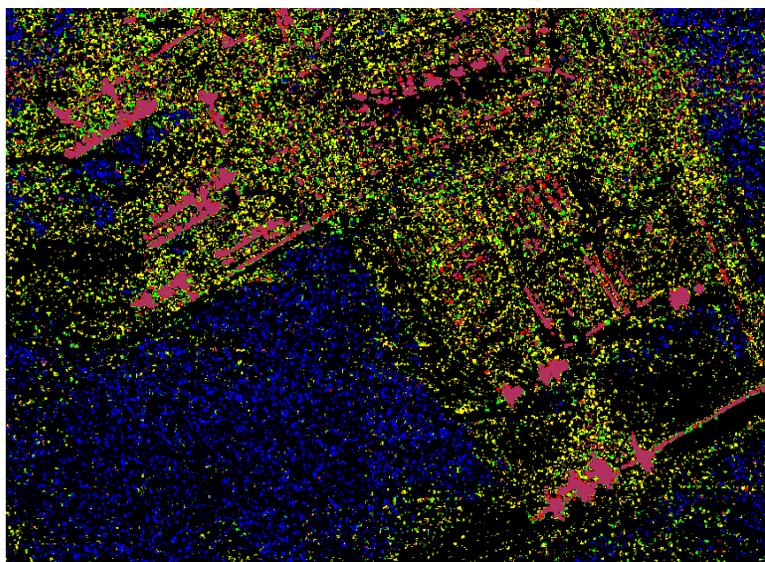


Figura 3.42: Resultado da classificação pelo método SAM envolvendo as imagens SAR da região do Porto de Tubarão, obtidas na banda L e polarizações HH, VH e VV.



O classificador SID utiliza uma medida de divergência para coincidir com pixels de espectros de referência. Quanto menor a divergência, mais provável dos pixels serem semelhantes (ENVI, 2010). As Figuras 3.43 e 3.44 representam, respectivamente, a classificação supervisionada SID no Porto de Santos ( $L_{HH\_L_{VV\_L_{HV}}$ ) e no Porto de Tubarão ( $L_{HH\_L_{VV\_L_{VH}}$ ). Os melhores resultados foram obtidos com cinco classes.

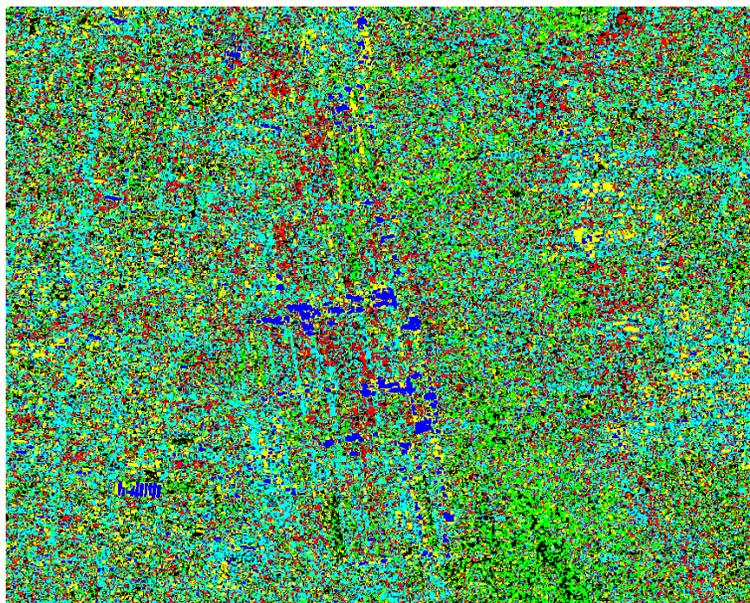


Figura 3.43: Resultado da classificação pelo método SID envolvendo as imagens SAR da região do Porto de Santos, obtidas na banda L e polarizações HH, HV e VV.

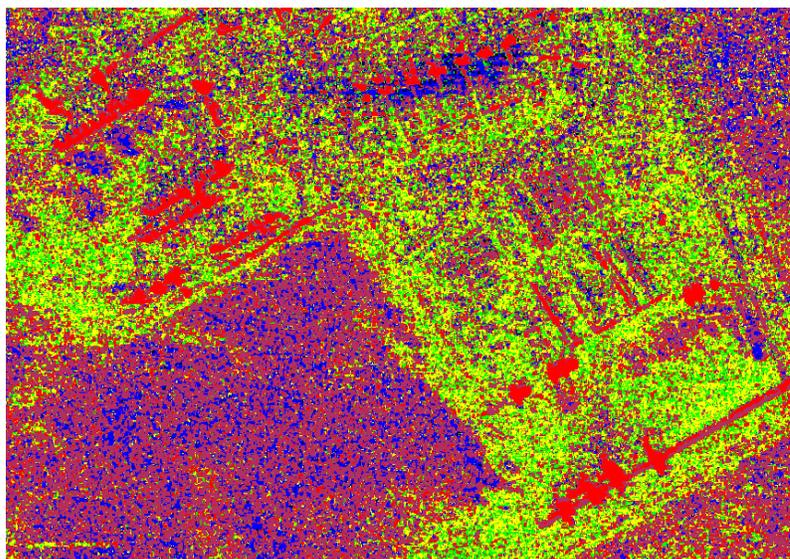


Figura 3.44: Resultado da classificação pelo método SID envolvendo as imagens SAR da região do Porto de Tubarão, obtidas na banda L e polarizações HH, VH e VV.

O classificador codificação binária utiliza a técnica de codificação de dados e espectros de membros finais em zeros e uns, com base no fato de que uma banda cai abaixo ou acima do espectro médio. Uma função exclusiva compara cada espectro de referência codificado com os espectros de dados codificados e produz uma imagem de classificação (SCHOWENGERDT, 2007). As Figuras 3.45 e 3.46 representam, respectivamente, a classificação supervisionada codificação binária no Porto de Santos ( $L_{HH\_L_{VV\_L_{HV}}$ ) e no Porto de Tubarão ( $L_{HH\_L_{VV\_L_{VH}}$ ). Os melhores resultados foram obtidos com cinco classes.

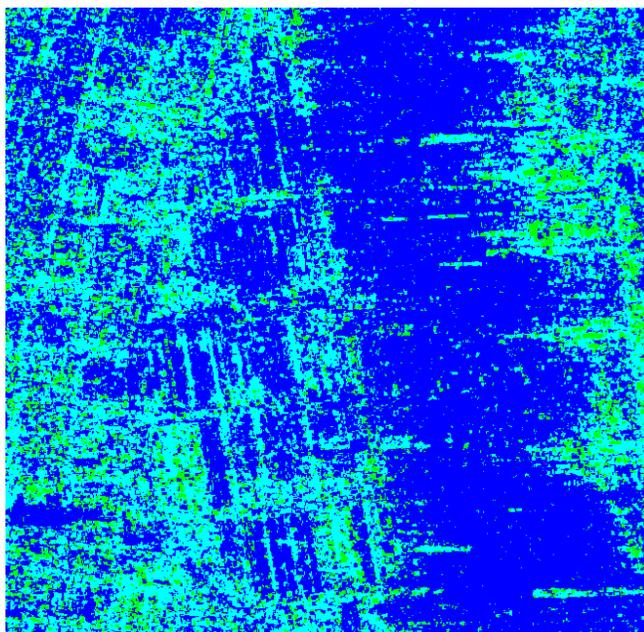


Figura 3.45: Resultado da classificação pelo método da codificação binária envolvendo as imagens SAR da região do Porto de Santos, obtidas na banda L e polarizações HH, HV e VV.

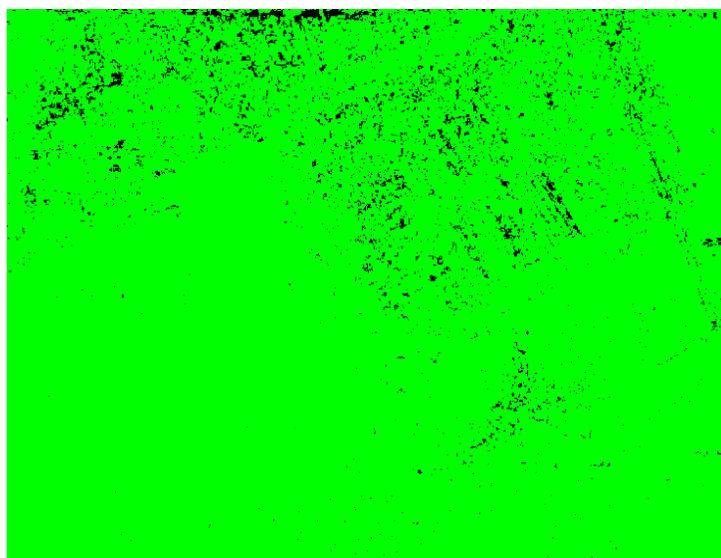


Figura 3.46: Resultado da classificação pelo método da codificação binária envolvendo as imagens SAR da região do Porto de Tubarão, obtidas na banda L e polarizações HH, VH e VV.



O último classificador testado foi o SVM. Este método apresentou os melhores resultados de rotulação, onde foi possível verificar com mais precisão os elementos de interpretação. O SVM proporciona bons resultados de classificação de dados complexos e ruidosos. É um sistema de classificação estatística derivada de uma teoria de aprendizagem. Ele separa as classes com uma superfície de decisão que maximiza a margem entre as classes. A superfície é muitas vezes chamada de hiperplano ótimo e os dados pontos do hiperplano são chamados vetores de suporte. Os vetores de suporte são os elementos críticos do conjunto de treinamento. No ENVI, o SVM usa a estratégia de classificação de pares para a classificação multiclasse (ENVI, 2010). As Figuras 3.47 e 3.48 representam, respectivamente, a classificação supervisionada máquina de vetor suporte linear no Porto de Santos ( $L_{HH\_L_{VV\_L_{HV}}$ ) e no Porto de Tubarão ( $L_{HH\_L_{VV\_L_{VH}}$ ). Consideraram-se três classes, com tipo de Kernel linear, gama 0,333, parâmetro de penalidade 100, nível da pirâmide 0 e limite de probabilidade de classificação 0.

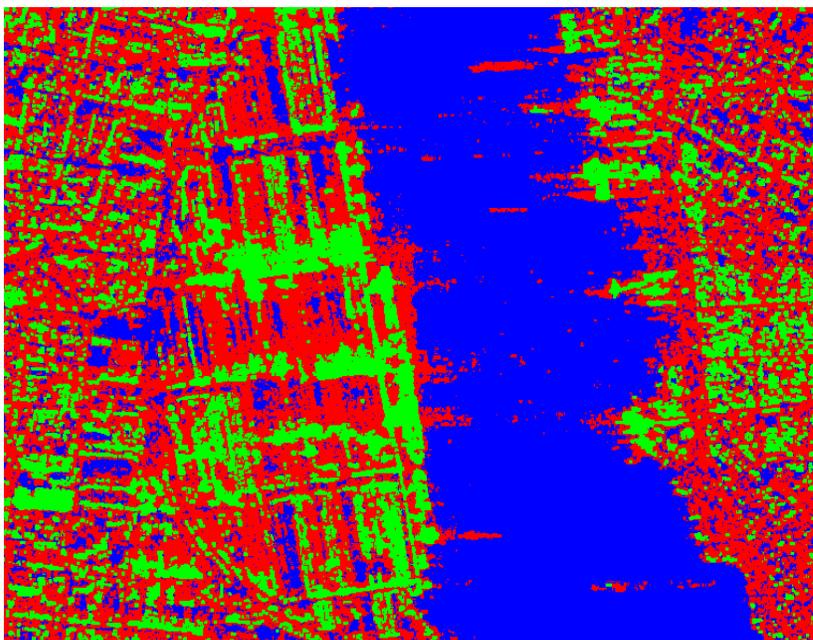


Figura 3.47: Resultado da classificação pelo método SVM envolvendo as imagens SAR da região do Porto de Santos, obtidas na banda L e polarizações HH, HV e VV.

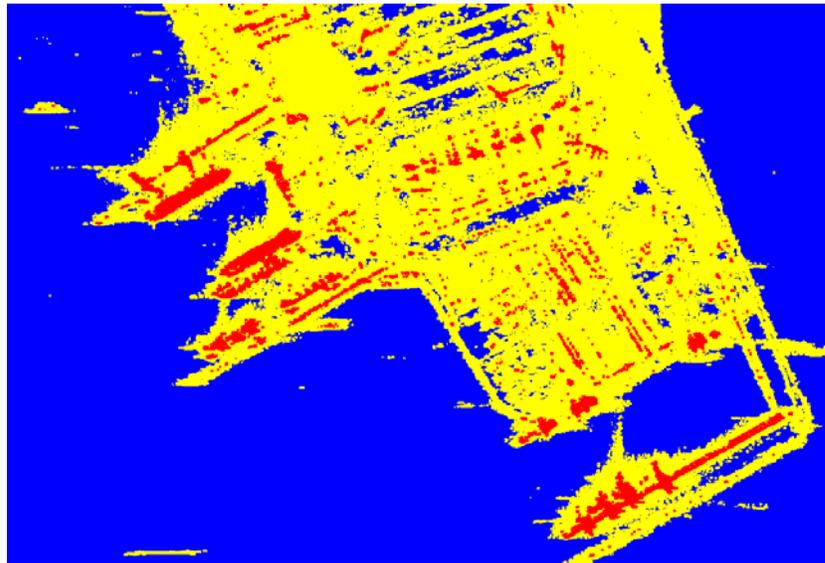


Figura 3.48: Resultado da classificação pelo método SVM envolvendo as imagens SAR da região do Porto de Tubarão, obtidas na banda L e polarizações HH, VH e VV.

Um subproduto da matriz de confusão que auxilia na avaliação do classificador é o coeficiente Kappa (K) (GOTTARDO e VIEIRA, 2009) . Uma das vantagens alegadas para uso do K é que ele incorpora a informação dos pixels mal classificados e os bem classificados (MATHER, 2006). A equação que fornece o valor de K é:

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^N X_{ii} - \sum_{i=1}^N X_{i+} X_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^N X_{i+} X_{+i}}$$

Onde,

$\Sigma$  representa o somatório em cada linha e coluna;

$N$  é o número de linhas e de colunas;

$N$  é o número total de pontos, o somatório de toda a matriz;



As Tabelas 16 e 17 representam, respectivamente, o resultado das classificações no Porto de Santos (L<sub>HH</sub>\_L<sub>VV</sub>\_L<sub>HV</sub>) e no Porto de Tubarão (L<sub>HH</sub>\_L<sub>VV</sub>\_L<sub>VH</sub>). Observa-se que os classificadores distância mínima e SVM apresentaram melhores resultados, ou seja, os pixels foram mais bem classificados.

Tabela 16 – Coeficiente Kappa. Porto de Santos.

Método de Classificação	Índice Kappa	Acurácia Geral (%)
Isodata*	0,608	74,92
K Médias*	0,608	74,92
Paralelepípedo**	0,271	38,69
Distância Mínima**	0,690	82,09
Distância Mahalanobis**	0,437	56,98
Máxima Likelihood**	0,435	55,14
Mapeador de Ângulo Espectral**	0,077	14,52
Divergência de Informação Espectral**	0,0098	19,00
Codificação Binária**	0,2047	41,01
Máquina de Vetor Suporte Linear*	0,8975	96,18

\* três classes \*\* cinco classes.

Tabela 17 – Coeficiente Kappa. Porto de Tubarão.

Método de Classificação	Índice Kappa	Acurácia Geral (%)
Isodata*	-0,040	8,02
K Médias*	-0,040	8,02
Paralelepípedo**	-0,014	14,13
Distância Mínima**	0,690	82,09
Distância Mahalanobis**	0,679	81,17
Máxima Likelihood**	0,753	85,50
Mapeador de Ângulo Espectral**	0,048	8,96
Divergência de Informação Espectral**	0,160	36,81
Codificação Binária**	0,000	0,00
Máquina de Vetor Suporte Linear*	0,905	95,43

\* três classes \*\* cinco classes.



### 3.6 Transformadores

A presença da correlação entre as bandas/polarizações implica que há redundância nos dados. Nas Tabelas 12 a 13 são representados os níveis de correlação entre as polarizações da banda L. As imagens que apresentaram menor correlação foram as combinações  $L_{HH\_L_{VV\_L_{HV}}$  e  $L_{HH\_L_{VV\_L_{VH}}$  para o Porto de Santos e para o Porto de Tubarão, respectivamente (FERNANDEZ, 2007)

Todavia, há a possibilidade de reduzir a correlação através de transformadores. Deve-se considerar que as correlações positivas são prejudiciais, enquanto correlações negativas (descorrelação) não são. Uma transformação linear, por exemplo, aos dados da imagem irá transladá-los e rotacioná-los em um novo sistema de coordenadas de modo a maximizar a sua variância (FREUND e SIMON, 2000). Esta técnica é útil para aumentar o conteúdo de informação, isolar componentes de ruído e reduzir a dimensionalidade de ruído de dados. A Figura 3.49 representa uma transformação de bandas (MATHER, 2006).

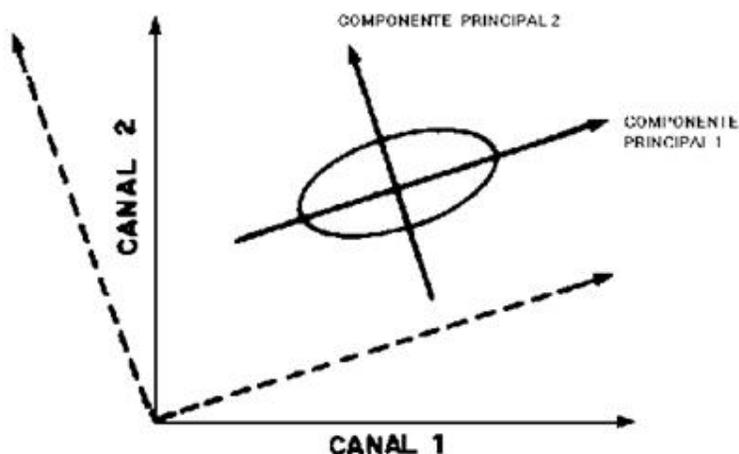


Figura 3.49: Ilustração de rotação de dois eixos envolvida na transformação por componentes principais. Fonte: CEPSRM (2010).



A transformação por componentes principais tem como objetivo criar novas imagens sem redundância de informações, gerando eixos ortogonais ou independentes. O realce por componente principal deve ser entendido como uma ferramenta mais para distinguir alvos do que para identificar seus tipos. A matriz de coeficientes de autovetores (DAVIS, 1973) descreve qual das bandas originais mais contribui na formação de cada componente principal (MATHER, 2006). As Tabelas 18 e 19 representam as matrizes de autovetores dos Portos de Santos e de Tubarão, respectivamente. Os dados das Tabelas 18 e 19 foram obtidos através do aplicativo MINITAB. Estes dados representam 256 níveis digitais. Observa-se que na matriz de autovetores do Porto de Santos, a banda/polarização  $L_{HH}$  contribui de forma significativa na componente CP2. A banda/polarização  $L_{VV}$  contribui na componente CP3. As bandas/polaridades  $L_{HH}$  e  $L_{VV}$  irão fornecer a maior parte das informações da imagem SAR.

Tabela 18 – Matriz de autovetores para as imagens SAR da região de Porto de Santos obtidas na banda L e nas polarizações HH, HV, VH e VV.

Parâmetros de Imageamento	Componentes Principais		
	CP1	CP2	CP3
$L_{VH}$	0,487	-0,189	-0,632
$L_{HV}$	0,461	-0,292	-0,274
$L_{VV}$	0,474	-0,487	0,703
$L_{HH}$	0,571	0,801	0,178



Observa-se que na matriz de autovetores do Porto de Tubarão, a banda/polarização  $L_{HV}$  contribui mais na componente CP1. A banda/polarização  $L_{HH}$  contribui de forma significativa na componente CP2. As bandas/polarizações  $L_{HV}$  e  $L_{HH}$  irão fornecer a maior parte das informações da imagem SAR. Em ambas as tabelas, a banda/polarização  $L_{HH}$  representa maior contribuição em CP2.

Tabela 19 – Matriz de autovetores para as imagens SAR da região de Porto de Tubarão obtidas na banda L e nas polarizações HH, HV, VH e VV.

Parâmetros de Imageamento	Componentes Principais		
	CP1	CP2	CP3
$L_{VH}$	0,547	-0,348	0,279
$L_{HV}$	0,554	-0,260	0,368
$L_{VV}$	0,360	-0,288	-0,884
$L_{HH}$	0,514	0,853	-0,073

Com base nas conclusões das Tabelas 18 e 19, as combinações de imagens do Porto de Santos e do Porto de Tubarão serão  $L_{HH\_L_{VV\_L_{HV}}$  e  $L_{HH\_L_{VV\_L_{VH}}$  para a aplicação dos transformadores realce por decorrelação, realce de saturação e SCI. Tomando como base as imagens originais do apêndice Q, a combinação de bandas/polarizações terá realce de contraste 50 a 200, com filtro morfológico abertura, para as duas regiões de estudo.

A transformação realce por decorrelação possibilitou o aumento do contraste. Um resultado semelhante poderia ser obtido por uma transformação por componentes principais, seguida de um aumento de contraste e de uma transformação inversa (MATHER, 2006). As Figuras 3.50 e 3.51 representam, respectivamente, a transformação realce por decorrelação no Porto de Santos ( $L_{HH\_L_{VV\_L_{HV}}$ ) e no Porto de Tubarão ( $L_{HH\_L_{HV\_L_{VH}}$ ).

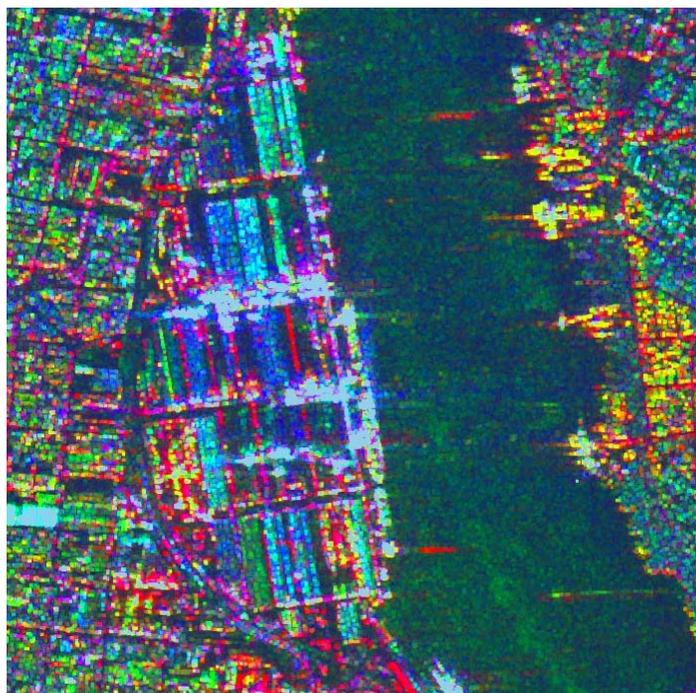


Figura 3.50: Imagens SAR da região do Porto de Santos obtidas na banda L e polarizações HH, HV e VV, realçadas pelo método da decorrelação.

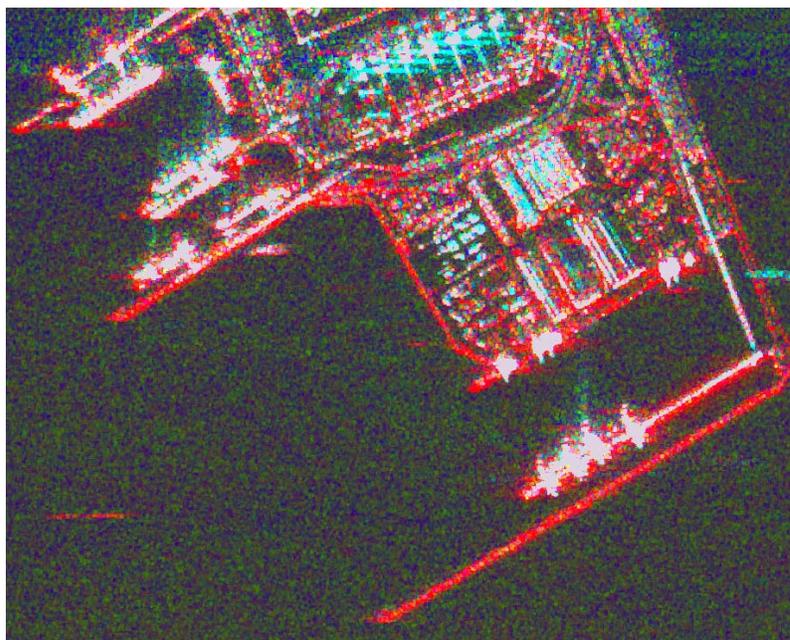


Figura 3.51: Imagens SAR da região do Porto de Tubarão obtidas na banda L e polarizações HH, VH e VV, realçadas pelo método da decorrelação.



A transformação realce de saturação amplia a faixa de saturação para realçar composições RGB. Converte-se a composição para o sistema *Hue, Saturation, Value* (HSV), amplia-se a faixa de saturação e reverte-se para o sistema RGB. As Figuras 3.52 e 3.53 representam, respectivamente, a transformação realce de saturação no Porto de Santos ( $L_{HH\_L_{VV\_L_{HV}}$ ) e no Porto de Tubarão ( $L_{HH\_L_{VV\_L_{VH}}$ ).

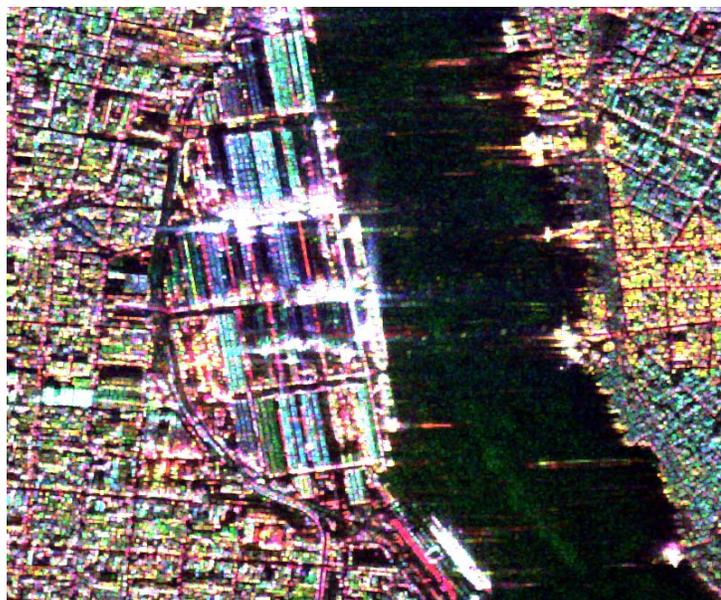


Figura 3.52: Imagens SAR da região do Porto de Santos obtidas na banda L e polarizações HH, HV e VV, realçadas pelo método da saturação.

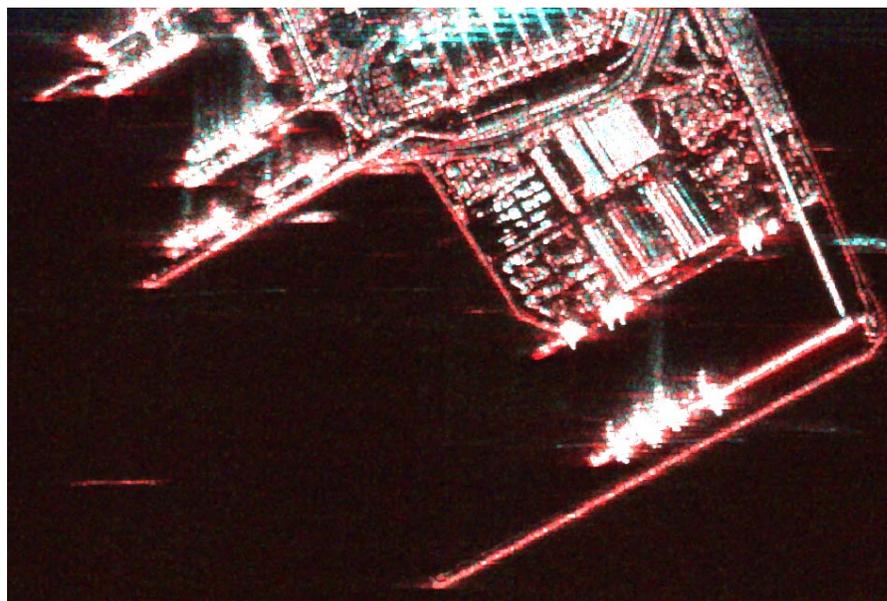


Figura 3.53: Imagens SAR da região do Porto de Tubarão, obtidas na banda L e polarizações HH, VH e VV, realçadas pelo método da saturação.

A transformação imagem colorida sintética permite que uma imagem em escala de cinza seja apresentada como uma imagem colorida sintética. São aplicados filtros passa-alta e passa-baixa na imagem. Informações de frequência baixa são atribuídas à cor, informações de alta frequência são atribuídas ao valor e um nível de saturação fixa é utilizada. A matiz, saturação e valor (HSV) são transformados em vermelho, verde e azul (RGB), produzindo uma imagem colorida. Esta transformação é muitas vezes usada com imagens SAR para melhorar a exibição de grandes características sutis, mantendo o detalhe fino. Funciona melhor em áreas com baixo e moderado relevo topográfico (ENVI, 2010). As Figuras 3.54 e 3.55 representam, respectivamente, a transformação imagem colorida sintética no Porto de Santos ( $L_{HH\_L_{VV\_L_{HV}}$ ) e no Porto de Tubarão ( $L_{HH\_L_{VV\_L_{VH}}$ ).

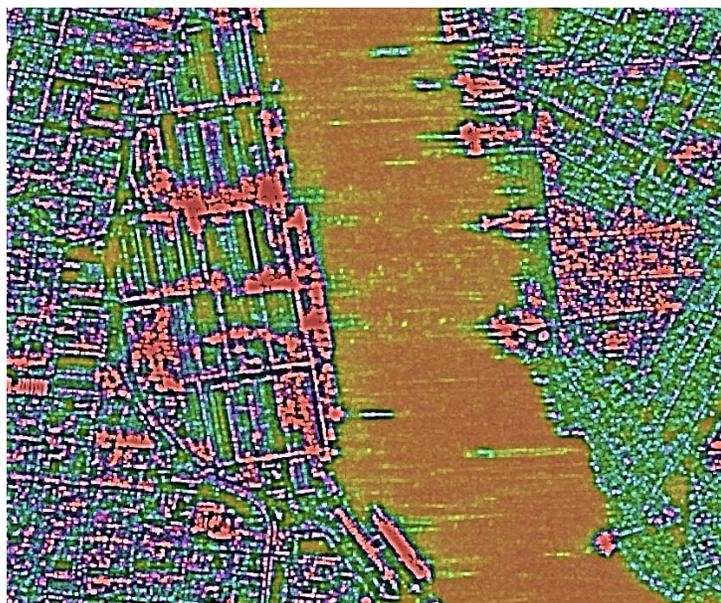


Figura 3.54: Imagens SAR da região do Porto de Santos obtidas na banda L e polarizações HH, HV e VV, realçadas pelo método SCI.

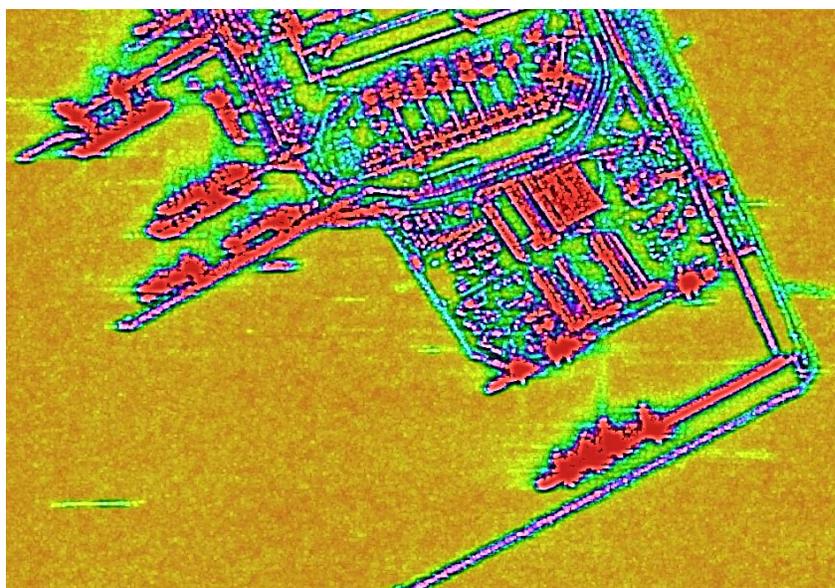


Figura 3.55: Imagens SAR da região do Porto de Tubarão, obtidas na banda L e polarizações HH, VH e VV, realçadas pelo método SCI.



Considerando as três transformações processadas, verifica-se através das Tabelas 20 e 21, que a maior média é a representação das imagens que permitem uma melhor identificação dos elementos de interpretação. Estes resultados demonstram que o transformador SCI foi o mais apropriado para interpretação de imagens SAR.

Tabela 20 – Médias e desvios-padrões das imagens SAR da região de Porto de Santos obtidas na banda L e polarizações HH, HV e VV e realçadas por três técnicas distintas.

Transformadores Espectrais	Médias	Desvios Padrões
Realce por Decorrelação	45,12	1,000
Realce de Saturação	56,66	67,917
Imagem Colorida Sintética	106,67	32,227

Tabela 21 – Médias e desvios-padrões das imagens SAR da região de Porto de Tubarão obtidas na banda L e polarizações HH, VH e VV e realçadas por três técnicas distintas.

Transformadores Espectrais	Médias	Desvios Padrões
Realce por Decorrelação	52,32	1.000
Realce de Saturação	69,78	66.781
Imagem Colorida Sintética	109,34	27.374

Finalizando este capítulo, verificou-se no processamento das imagens SAR que o realce de contraste de 50 a 200, os filtros abertura e erosão, os classificadores distância mínima e SVM, bem como o transformador SCI seriam a seqüência a ser adotada para definir os elementos de interpretação, a fim de permitir a interpretação de imagens SAR. No capítulo seguinte, serão inicialmente definidos os elementos e fases de interpretação de imagens. Na seqüência, o filtro abertura, o classificador SVM e o transformador SCI irão facilitar a identificação dos elementos e das fases da interpretação de imagens.



## CAPÍTULO 4

### ELEMENTOS E FASES DA INTERPRETAÇÃO

#### 4.1 Elementos da Interpretação

No trabalho de DAMIÃO et al. (2001), sobre elementos de interpretação, é declarado: “os cinco elementos descritos no Capítulo *Fundamentos de Interpretação* podem ser adaptados e aplicados na análise de imagens obtidas com sistemas sensores operando na faixa das microondas”. Estes elementos são: forma, tamanho, sombra, tonalidade ou cor e fatores associados (JENSEN, 2009). O elemento forma é dependente da geometria do imageamento SAR. Os principais fatores da geometria de imageamento SAR são a resolução espacial, a distorção de escala na linha de visada, o deslocamento devido ao relevo e as distorções causadas por movimento da plataforma do sensor SAR (JENSEN, 2009). O deslocamento devido ao relevo, por exemplo, é mais evidente em áreas geográficas com topografia acidentada. Na Figura 4.1, o píer e as embarcações têm formas distintas.

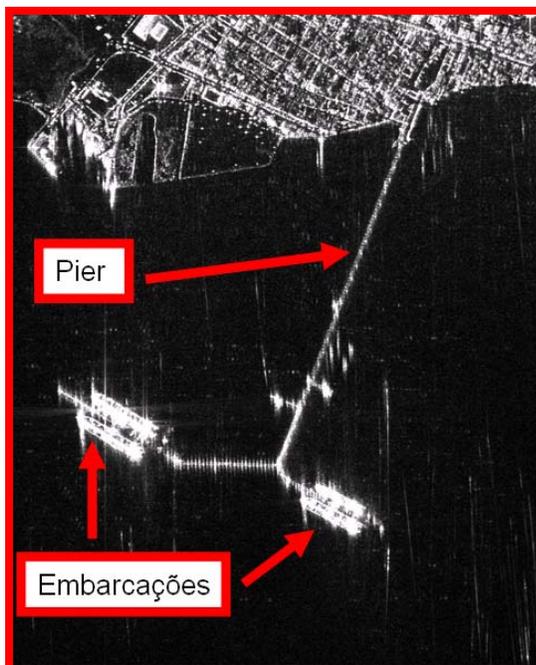


Figura 4.1: Imagem SAR na banda L, polarização HH e resolução espacial de 3 metros do Porto de São Sebastião, SP, mostrando formas distintas entre píer e embarcação. Fonte: COMGAR (2010).



O elemento tamanho é dependente da escala das imagens. A escala está associada às variações no tamanho da célula de resolução espacial e a distorção de escala na linha de visada. A resolução espacial é o principal fator que facilita a determinação do tamanho em imagens SAR (DAMIÃO et al., 2001). Na Figura 4.2, observam-se embarcações militares com tamanhos diferentes.



Figura 4.2: Imagem SAR do satélite canadense RADARSAT-1 mostrando embarcações com diferentes dimensões. Fonte: COMGAR (2010).

O elemento sombra é dependente da visada lateral do imageamento SAR. A correta interpretação é fruto da orientação certa da imagem a ser estudada. A orientação das imagens SAR é feita em função das sombras. As sombras devem estar voltadas para o observador (JENSEN, 2009). É preciso descobrir, nas imagens SAR, a direção de iluminação do feixe ou a direção da visada lateral, a fim de saber a direção das sombras. Na Figura 4.3, a embarcação mercante apresenta sombras no convés.

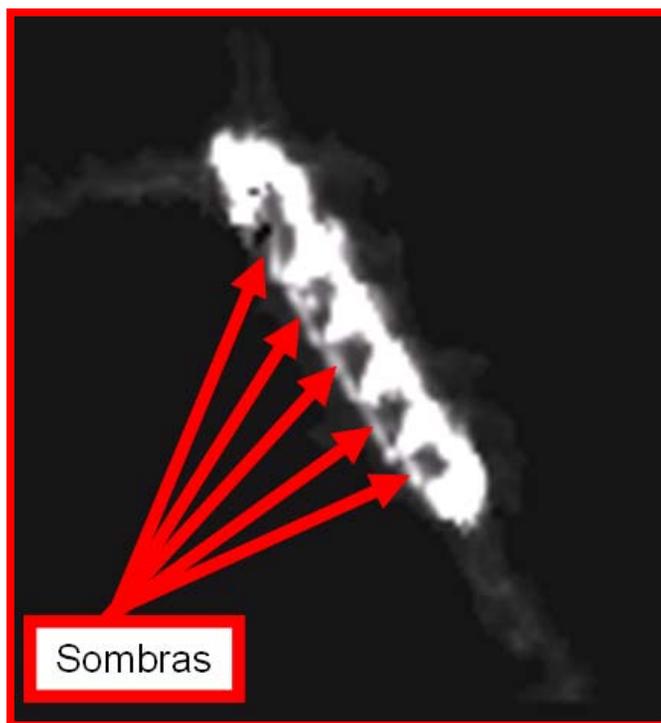


Figura 4.3: Imagem SAR do satélite canadense RADARSAT-1 mostrando uma embarcação com sombras no convés. Fonte: COMGAR (2010).

O elemento tonalidade ou cor (intensidade) é dependente da seção transversal do radar ou do coeficiente de retroespalhamento para alvos extensos. Os parâmetros ligados ao sensor que influenciam o coeficiente de retroespalhamento são o ângulo de incidência, a frequência e a polarização (DAMIÃO et al., 2001). Por exemplo, qual seria a banda espectral mais apropriada para interpretar embarcações em imagens SAR? Seria a X e/ou a L? Somente um exame comparativo de duas imagens SAR, com comprimentos de onda distintos (X e L) mostrando a mesma embarcação, poderá fornecer o resultado correto, considerando contrastes, filtros, classificadores e transformadores. Outro exemplo seria a polarização. Qual seria a polarização adequada para interpretar embarcações em imagens SAR? Na Figura 4.4, o mar e a embarcação militar apresentam tonalidades distintas.

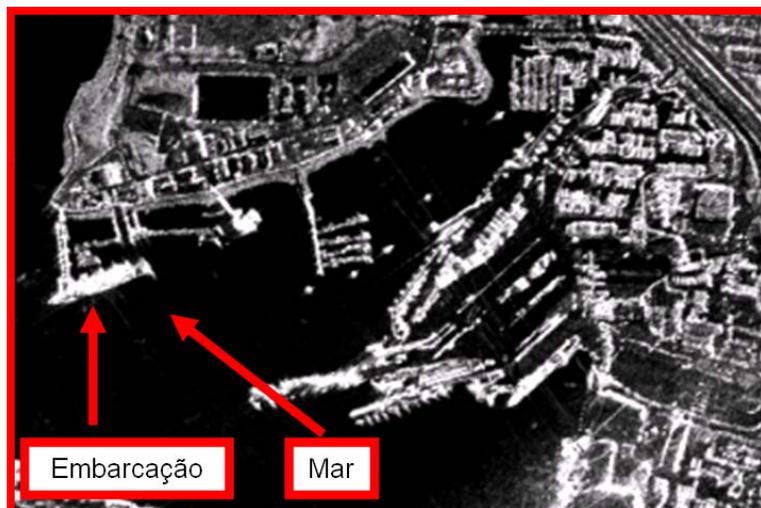


Figura 4.4: Imagem SAR do satélite canadense RADARSAT-1 mostrando tonalidades diferentes para o mar e para uma embarcação. Fonte: COMGAR (2010).

Por fim, os fatores associados ou o contexto em que o objeto se encontra complementam a interpretação do alvo embarcações nas imagens SAR (JENSEN, 2009). Estes fatores são a textura, o padrão, a densidade, a declividade e a posição (DAMIÃO et al., 2001). Por exemplo, a declividade seria um parâmetro a ser aplicado no mar? No nível do mar, não há variações de altura. Contudo, a diferença de altura entre a ponta de um mastro e o nível do mar seria útil em uma interpretação de embarcações na imagem SAR? Um exame das imagens SAR mostrando a mesma embarcação e com a metodologia de processamento SAR, com a mesma embarcação, poderá tirar esta dúvida. Na Figura 4.5, observa-se diferença de altura entre o nível do mar e o nível do morro.

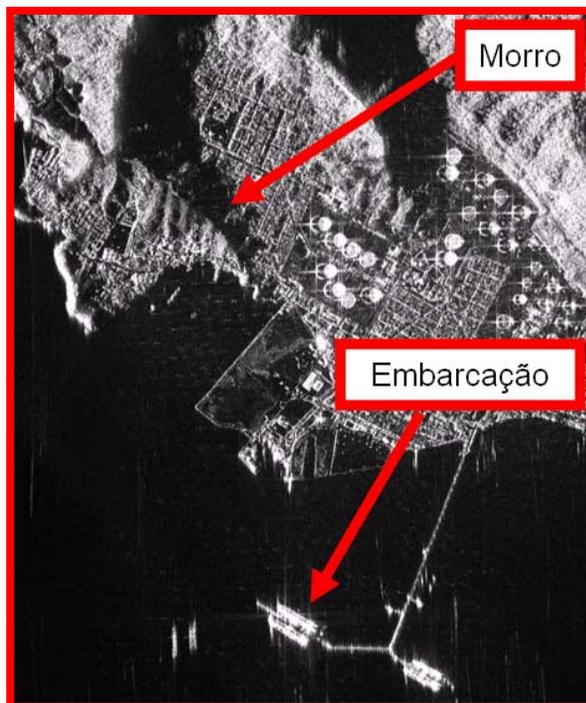


Figura 4.5: Imagem SAR na banda L, polarização HH e resolução espacial de 3 metros sobre o Porto de São Sebastião, SP, mostrando diferença de altura entre o nível do mar e o do morro. Fonte: COMGAR (2010).

#### 4.2 Fases da Interpretação

Em relação às fases da Interpretação, os autores relacionam as fases ou os estágios com as imagens ópticas (fotografias aéreas). Não há uma relação dos elementos com as fases da interpretação em imagens SAR. As fases são detecção, reconhecimento, análise, dedução e classificação. Cada fase é dependente da fase anterior. A detecção tem relação direta com a visibilidade dos alvos (MECOCCI et al, 1995) (ELDHUSET, 1996). As embarcações não podem ser visualizadas na imagem SAR em virtude de fatores como pequena escala, baixa qualidade das imagens, baixa resolução espacial do sensor e falta de contraste entre o alvo e o meio (DAMIÃO et al., 2001). A visibilidade pode ser facilitada pela melhoria do contraste entre o alvo e o meio. Como as embarcações apresentam-se em tons claros e o mar em tons escuros, é possível a detecção (ELDHUSET, 1996), mediante a aplicação de contraste seletivo entre 50 a 200 do aplicativo ENVI 4.5. A Figura 4.6 representa a detecção em uma imagem.

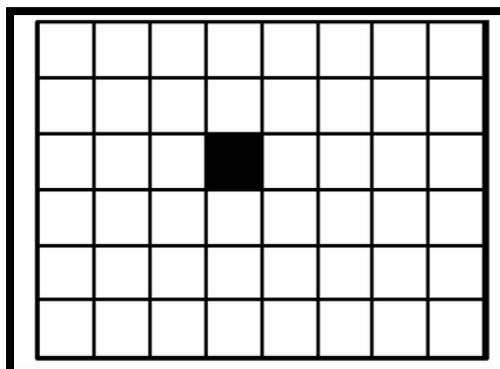


Figura 4.6: Fase de detecção na interpretação de imagens. O alvo escuro encontra-se em contraste com o terreno claro. Fonte: DAMIÃO (2001).

O reconhecimento estabelece “o que é o alvo” (DAMIÃO et al., 2001). É uma aeronave, ponte, embarcação ou antena? O reconhecimento é possível em imagens SAR principalmente através da observação da forma e da tonalidade. A Figura 4.7 demonstra um exemplo de reconhecimento.

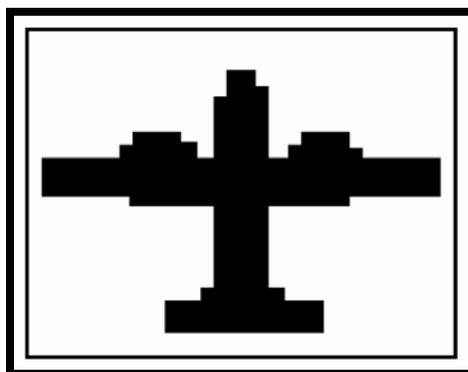


Figura 4.7: Fase de reconhecimento na interpretação de imagens. O alvo escuro que se encontra em contraste com o terreno claro possui forma de uma aeronave. Fonte: DAMIÃO (2001).

A análise ou delimitação (delimitação) é o estágio onde o alvo embarcação deve ser observado em detalhes. Verificação dos detalhes é dependente da resolução espacial. As imagens SAR da aeronave R 99 podem oferecer resolução espacial da ordem de 3 m, contudo, existe o problema do espalhamento do sinal de retorno no convés das embarcações (DAMIÃO et al., 2001). O espalhamento criado



pelos diedros e triedros dificulta diferenciar, por exemplo, um mastro de um pau-de-carga em uma embarcação mercante petroleiro. O sinal, ao incidir em superfícies das embarcações, sofre espalhamento, retornando ao sensor. Os diedros e triedros, estruturas físicas de duas e três faces no convés, provocam em conjunto um espalhamento incoerente. Isto gera sobre a superfície das embarcações na imagem SAR um borrão, dificultando diferenciar os componentes do convés. Este problema torna-se acentuado em embarcações militares, pela presença de armamentos, equipamentos eletrônicos e estruturas físicas de vários formatos. A Figura 4.8 representa o mesmo alvo das Figuras 4.6 e 4.7, porém, agora na fase de análise.

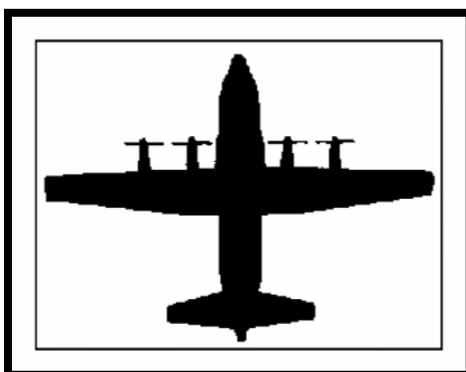


Figura 4.8: Fase de análise na interpretação de imagens. O alvo aeronave opera com quatro motores. Fonte: DAMIÃO (2001).

A dedução é o estágio mais complexo, pois se fundamenta nos fatores associados ou convergência de evidências. O alvo é observado não isoladamente, mas como parte de todo um contexto (DAMIÃO et al., 2001). Nas imagens SAR, basta verificar os alvos próximos às embarcações. Uma embarcação deve estar no mar, próxima a um porto ou dentro do complexo do porto. Tomando como referência a Figura 4.8, o alvo aeronave deve estar próximo de uma pista, hangares ou de outras aeronaves.

Classificação é o estágio das conclusões, onde se chega à compreensão da identidade e do verdadeiro significado do alvo (DAMIÃO et al., 2001). Por exemplo, existe probabilidade de ser uma embarcação mercante do tipo graneleiro. Nas imagens SAR, este estágio é difícil, pois dependerá de imagens ópticas de alta



resolução espacial para a efetiva interpretação. A Figura 4.9 representa a classificação em uma imagem.

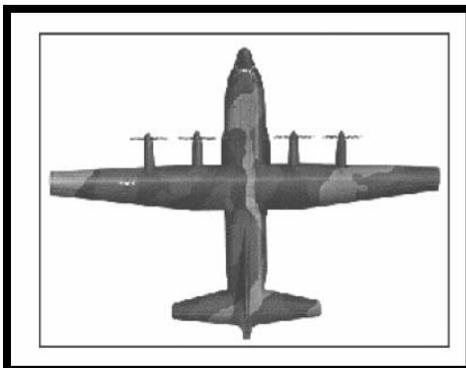


Figura 4.9: Classificação do alvo como sendo uma aeronave do tipo C-130. Fonte: DAMIÃO (2001).

#### **4.3 Análises com Elementos, Fases e Metodologia de Processamento SAR**

Para diferenciar embarcações mercantes de militares, primeiramente deve ser aplicada a metodologia proposta no Capítulo 3. Conforme a Figura 1.1, foram escolhidos portos, respectivamente, no Porto de Santos, no Porto de Tubarão e na Baía de Guanabara, onde se encontram embarcações a serem estudadas.

A fim de identificar os elementos e as fases da interpretação nas Tabelas 22 e 23, serão adotadas as seguintes siglas, conforme observação visual:

I → insuficiente. Não atende as definições: forma, tamanho, sombra, tonalidade ou cor e fatores associados.

S → satisfatória. Atende as definições: forma, tamanho, sombra, tonalidade ou cor e fatores associados.



Tabela 22 – Elementos de interpretação.

Elementos de Interpretação	Filtro/Classificação/Transformador, Parâmetros de Imageamento e Área de Estudo								
	Filtro abertura L <sub>HH</sub>	Ilha das Cobras	Classificação SVM L <sub>HH</sub> _L <sub>VV</sub> _L <sub>HV</sub>	Porto de Santos	Classificação SVM L <sub>HH</sub> _L <sub>VV</sub> _L <sub>VH</sub>	Porto de Tubarão	Transformador SCI L <sub>HH</sub> _L <sub>VV</sub> _L <sub>HV</sub>	Porto de Santos	Transformador SCI L <sub>HH</sub> _L <sub>HV</sub> _L <sub>VH</sub>
Forma	S		S		S		S		S
Tamanho	S		S		S		S		S
Sombra	I		I		I		I		I
Tonalidade ou Cor	S		S		S		S		S
Textura	I		I		I		I		I
Padrão	I		I		I		I		I
Densidade	I		I		I		I		I
Declividade	I		I		I		I		I
Posição	I		I		I		I		I

Observa-se pela Tabela 22 que os elementos forma, tamanho e tonalidade são perceptíveis visualmente nas imagens SAR. A forma e o tamanho serão os principais parâmetros para diferenciar embarcações militares de mercantes.



Tabela 23 – Fases da interpretação.

Elementos de Interpretação/Bandas & Polarizações/ Filtros/Classificador/Transformador/Área de Estudo	Fases da Interpretação				
	Detecção	Reconhecimento	Análise	Dedução	Classificação
Forma_L <sub>HH</sub> _abertura_Baia de Guanabara	S	S	S	S	I
Tamanho_L <sub>HH</sub> _abertura_Baia de Guanabara	S	S	S	S	I
Tonalidade_L <sub>HH</sub> _abertura_Baia de Guanabara	S	S	I	S	I
Forma_Classificação_SVM_L <sub>HH</sub> _L <sub>VV</sub> _L <sub>HV</sub> _Porto de Santos	S	S	S	S	I
Tamanho_Classificação_SVM_L <sub>HH</sub> _L <sub>VV</sub> _L <sub>HV</sub> _Porto de Santos	S	S	S	S	I
Tonalidade_Classificação_SVM_L <sub>HH</sub> _L <sub>VV</sub> _L <sub>HV</sub> _Porto de Santos	S	S	I	S	I
Forma_Transformador_SCI_L <sub>HH</sub> _L <sub>VV</sub> _L <sub>HV</sub> _Porto de Santos	S	S	S	S	I
Tamanho_Transformador_SCI_L <sub>HH</sub> _L <sub>VV</sub> _L <sub>HV</sub> _Porto de Santos	S	S	S	S	I
Tonalidade_Transformador_SCI_L <sub>HH</sub> _L <sub>VV</sub> _L <sub>HV</sub> _Porto de Santos	S	S	I	S	I
Forma_Classificação_SVM_L <sub>HH</sub> _L <sub>HV</sub> _L <sub>VH</sub> _Porto de Tubarão	S	S	S	S	I
Tamanho_Classificação_SVM_L <sub>HH</sub> _L <sub>HV</sub> _L <sub>VH</sub> _Porto de Tubarão	S	S	S	S	I
Tonalidade_Classificação_SVM_L <sub>HH</sub> _L <sub>HV</sub> _L <sub>VH</sub> _Porto de Tubarão	S	S	I	S	I
Forma_Transformador_SCI_L <sub>HH</sub> _L <sub>HV</sub> _L <sub>VH</sub> _Porto de Tubarão	S	S	S	S	I
Tamanho_Transformador_SCI_L <sub>HH</sub> _L <sub>HV</sub> _L <sub>VH</sub> _Porto de Tubarão	S	S	S	S	I
Tonalidade_Transformador_SCI_L <sub>HH</sub> _L <sub>HV</sub> _L <sub>VH</sub> _Porto de Tubarão	S	S	I	S	I

Observa-se pela Tabela 23 que as fases de detecção, reconhecimento e dedução são atingidas pelos elementos forma, tamanho e tonalidade. A forma e o tamanho permitem chegar na fase de análise. Contudo, a fase de classificação não é possível de ser atingida. Esta última fase exige discriminação de detalhes no alvo, o que não é verificado nas imagens SAR.



A forma é dependente da geometria do imageamento por radar: resolução espacial, distorção de escala na linha de visada, deslocamento devido ao relevo e distorções causadas por movimento da plataforma do sensor radar (DAMIÃO et al., 2001). As imagens SAR do R-99 possuem resoluções de 3 m, 6 m e 18 m. Estas imagens estão com a resolução espacial de 3 m. A distorção de escala na linha de visada é mínima para alvos mais próximos do sensor e máxima para os mais afastados (Figura 4.10). Como as faixas imageadas são de aproximadamente 11 km x 65 km e os pontos a serem estudados são de 2 km x 3 km, estas distorções não são perceptíveis.

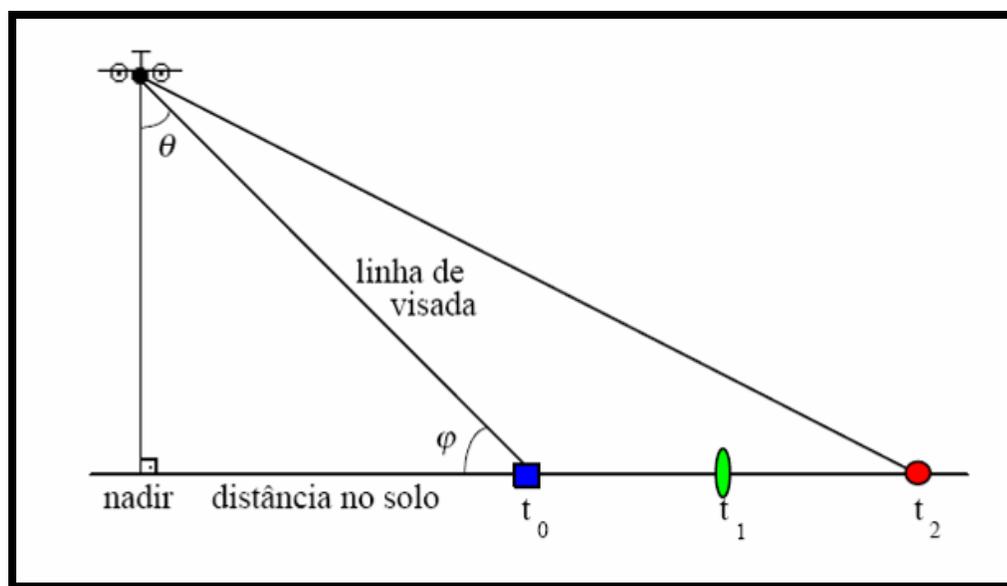


Figura 4.10: Imagem SAR com visada lateral. A distorção geométrica é menor para posições mais próximas do nadir. Fonte: DAMIÃO e MÁXIMO (2001).

O deslocamento devido ao relevo é evidente em regiões de topografia acidentada. Os portos e a ilha pesquisados estão ao nível do mar, não sendo influenciados pelo relevo. O movimento da plataforma do sensor de radar é uma característica de equipamentos aerotransportados, pois os orbitais tendem a serem estáveis. Devido à altura de 33.000 pés da aeronave R-99, este efeito não é observado.

A resolução espacial é o principal fator que facilita a determinação do tamanho em imagens SAR (DAMIÃO et al., 2001). A resolução espacial nesta



dissertação foi aprimorada com a utilização de filtros abertura e contraste de 50 a 200.

A tonalidade é dependente do coeficiente de retroespalhamento para alvos extensos (MECOCCI et al, 1995). Os parâmetros ligados ao sensor que influenciam o coeficiente de retroespalhamento são o ângulo de incidência, a frequência e a polarização (DAMIÃO et al., 2001). A Figura 4.11 mostra o retroespalhamento no mar e no convés das embarcações. O mar é visto com tonalidade escura (TEIXEIRA et al, 2006). Por ser uma superfície lisa, o sinal não retorna ao radar. O convés das embarcações terá áreas com tonalidade clara. Pela presença de objetos de várias planas (diedros e triedros) no convés, haverá retorno do sinal na direção do sensor SAR.

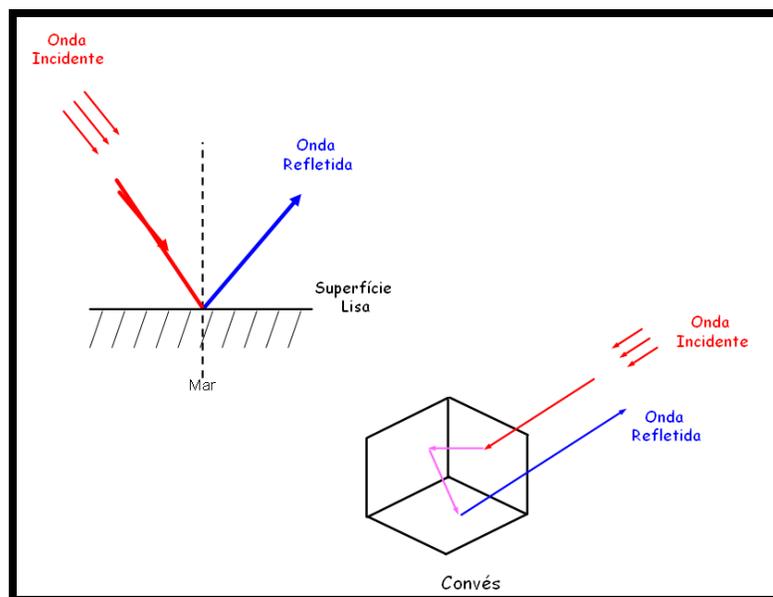


Figura 4.11: Tipos mais comuns de retroespalhamento no mar (reflexão especular) e em embarcações (reflexão de canto). Fonte: INPE (2008).

O ângulo de incidência permanece constante para regiões de tamanho 2 km x 3 km. Para áreas extensas, conforme a Figura 4.10,  $t_0$  e  $t_2$  terão ângulos de incidência diferentes. As bandas representam a frequência ou o comprimento de onda do radar. As bandas X e L são apropriadas para imageamento com nuvens e chuva, conforme discussão realizada no Capítulo 3. Porém, a banda L, por ter comprimento de onda de 23 cm, tem um poder de penetração maior. Isto garante



menor influência atmosférica na imagem. As polarizações cruzadas, HV ou VH, fornecem menor retorno (retroespalhamento) do sinal e maior ruído em relação às co-polarizadas HH e VV. A polarização HH responde com maior intensidade às estruturas horizontais. Conseqüentemente, para os próximos passos, esta dissertação irá considerar somente as imagens  $L_{HH}$ . A Figura 4.12 ilustra a diferença entre polarizações cruzada HV e as co-polarizadas HH e VV.

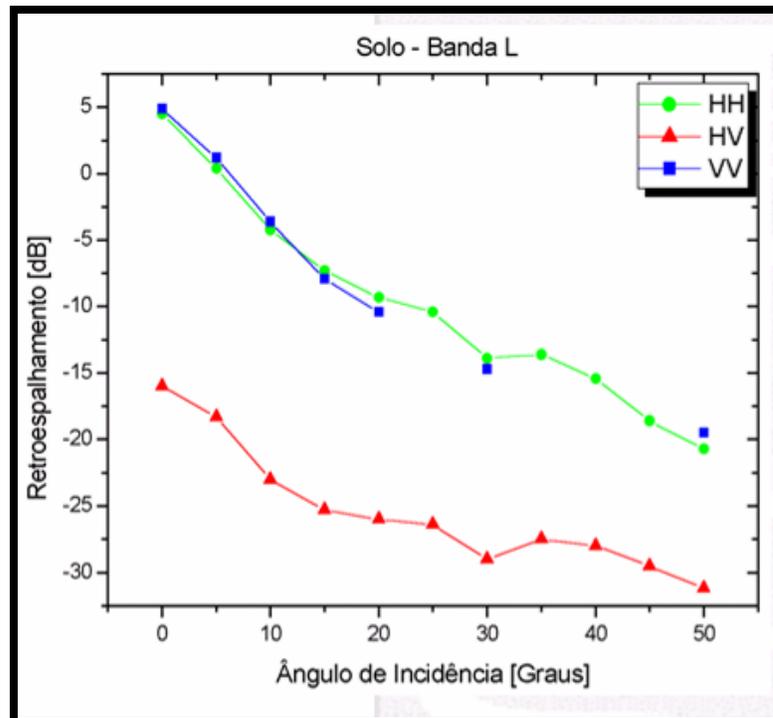


Figura 4.12: Efeito da polarização no retroespalhamento de um solo para diferentes ângulos de incidência. Fonte: INPE (2008).

Os elementos de interpretação sombra e fatores associados ficaram no nível insuficiente de acordo com a Tabela 22. As sombras não foram visualizadas nas amostras, pois as imagens não possuem alvos elevados, como morros e edifícios. Nestes casos, o elemento sombra não auxiliou na interpretação.

Os fatores associados ou o contexto em que o objeto se encontra complementam a interpretação do alvo embarcações nas imagens SAR. Estes fatores são a textura, o padrão, a densidade, a declividade e a posição (DAMIÃO et al., 2001). A textura depende da comparação entre os tipos de superfície (grossa, média e fina) em uma mesma imagem. Como os exemplos estudados são



basicamente cobertos por água (superfície fina), torna este fator inviável. O padrão necessita de modelos. É caracterizado pela disposição ou arranjo espacial dos objetos. Um exemplo de padrão seria a disposição de várias embarcações idênticas lado a lado na imagem. As imagens pesquisadas possuem modelos diferenciados, não sendo aplicável o padrão. A densidade é a quantidade de alvos em uma mesma área. Os pontos escolhidos para as análises possuem baixa densidade de embarcações, não sendo fator a considerar. Por fim, a declividade e a posição não são fatores de relevância, pois os alvos estão no nível do mar (sem variação de altura) e em locais conhecidos (portos).

As embarcações militares têm como característica marcante o seu formato hidrodinâmico, que é necessário para que desenvolvam maiores velocidades. No convés, há armamentos, equipamentos eletrônicos e superestruturas no centro (construção feita sobre o convés principal de uma embarcação). Os navios mercantes apresentam o casco com o formato retangular, sendo a proa arredondada. No convés, existem mastros, paus-de-carga, contêineres e superestrutura à ré (metade traseira da embarcação) (BRASIL, 2000). A Figura 4.13 apresenta a diferença entre embarcações mercantes e militares.

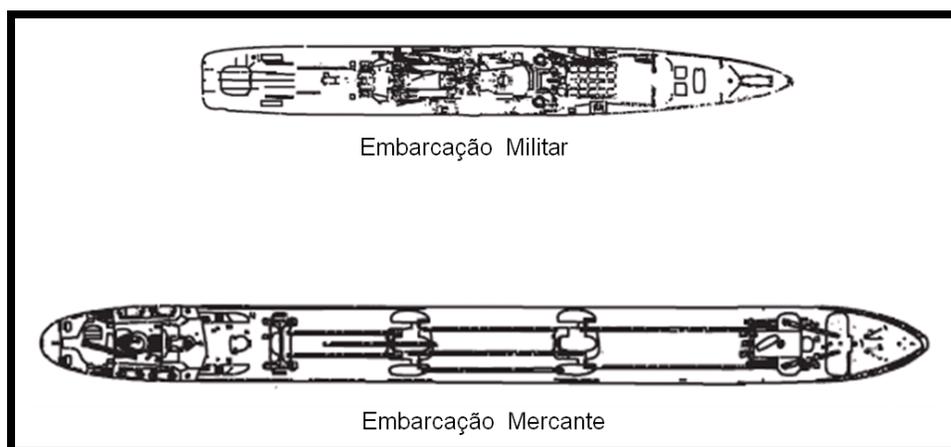


Figura 4.13: Vista de cima de embarcações militares e mercantes típicas. Fonte: COMGAR (2010).

Como as embarcações apresentam-se em tons claros e o mar em tons escuros acentuados, é possível a detecção nas imagens pesquisadas. Um simples



sinal com tonalidade diferente da água torna válida a detecção (MECOCCI et al,1995) (ELDHUSET, 1996).

O reconhecimento estabelece “o que é o alvo” (DAMIÃO et al., 2001). O reconhecimento é validado principalmente pela forma dos alvos. A forma retangular das embarcações mercantes é visível nas imagens SAR dos portos. Na Baía de Guanabara, observa-se uma forma hidrodinâmica que define a presença de embarcação militar.

A análise ou delineação (delimitação) é o estágio onde o alvo embarcação deve ser observado em detalhes (DAMIÃO et al., 2001). O espalhamento criado pelos diedros e triedros dificulta observar os detalhes no convés das embarcações. Entretanto, nas embarcações mercantes, através da forma e do tamanho, é possível verificar detalhes como a superestrutura à ré, o posicionamento dos mastros na proa (extremidade dianteira da embarcação), objetos regulares no convés e estruturas à meia-nau (meio da embarcação).

A dedução é o estágio mais complexo, pois se fundamenta nos fatores associados ou convergência de evidências. O alvo é observado não isoladamente, mas como parte de todo um contexto (DAMIÃO et al., 2001). Como os alvos analisados estão atracados, próximos a cais (estruturas lineares onde as embarcações permanecem paralelamente encostadas) e a piers (são estruturas lineares estreitas perpendiculares ao cais), no mar, em portos civis, chega-se a dedução de que são embarcações mercantes. Como a Baía de Guanabara é o arsenal da Marinha, a dedução é de que os alvos detectados são embarcações militares. Principalmente o tamanho dos alvos auxilia na dedução. As embarcações mercantes são normalmente maiores que as militares, exceção aos navios-aeródromos.

A classificação é a estágio das conclusões, onde se chega à compreensão da identidade e do verdadeiro significado do alvo (DAMIÃO et al., 2001). Nas imagens SAR, este estágio é difícil, pois dependerá de imagens ópticas de alta resolução espacial para a efetiva interpretação. Não é possível dizer com precisão o tipo de embarcação mercante: petroleiro, carga-geral ou graneleiro. Também, não se pode dizer se é uma fragata, um contratorpedeiro ou navio-aeródromo.

A Figura 4.14 mostra as imagens finais selecionadas.

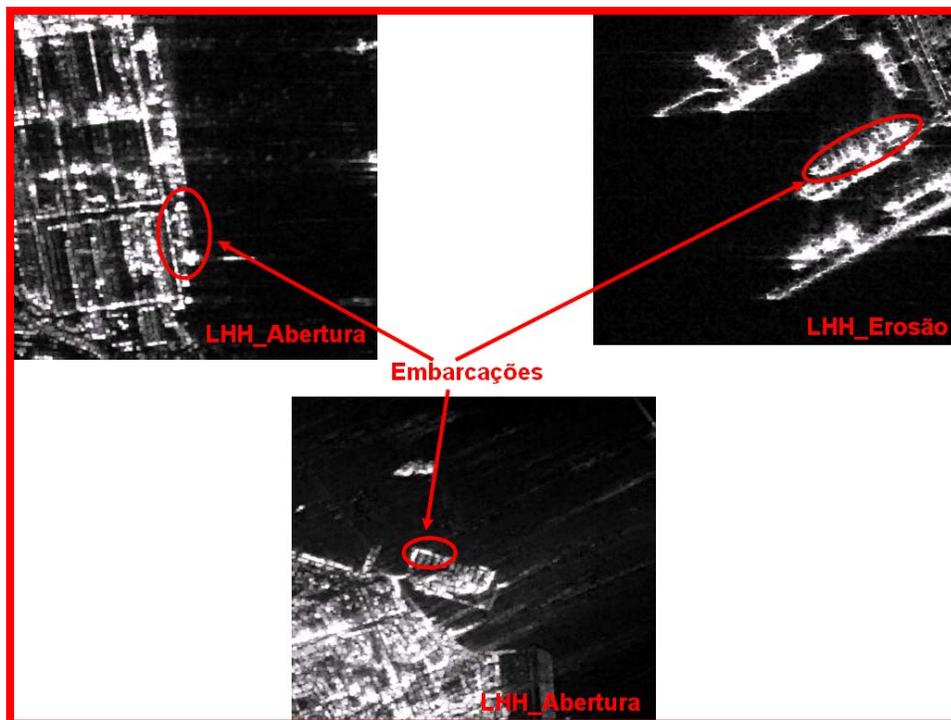


Figura 4.14: Embarcações militares e mercantes em imagens SAR. Fonte: COMGAR (2010).

De forma resumida, pode-se concluir que no nível da detecção, é cabível visualizar uma embarcação com o auxílio da forma, tamanho e tonalidade. Porém, não se pode diferenciar uma embarcação militar de uma mercante. Na fase do reconhecimento, é possível conhecer se é uma embarcação com ajuda da forma, tamanho e tonalidade. Também, não se pode diferenciar uma embarcação militar de uma mercante. Na fase de análise, é possível conhecer se é uma embarcação militar ou mercante com ajuda da forma e do tamanho. Na etapa da dedução, é cabível distinguir as embarcações militares das mercantes com a ajuda da forma, do tamanho e da tonalidade. No nível da classificação, nenhum elemento de interpretação é aceitável para diferenciar embarcações. As fases de reconhecimento, análise e dedução serão validadas no Capítulo 5 através de um programa que possa medir automaticamente o tamanho dos alvos nas imagens SAR e comparar com os tamanhos presentes nos apêndices de B até O.



## CAPÍTULO 5

### ALGORITMO PARA MEDIÇÃO AUTOMÁTICA

#### 5.1 Generalidades

No Capítulo 3, foi estabelecida uma metodologia para interpretação de alvos em imagens SAR. Inicialmente, foi obtida uma composição de imagens  $L_{HH}$ ,  $L_{VV}$  e  $L_{HV}$  ou  $L_{HH}$ ,  $L_{VV}$  e  $L_{VH}$  para minimizar correlação. Na seqüência, recortou-se a imagem para reduzir o tempo de processamento. A metodologia consistiu em aplicar o realce de contraste de 50 a 200, o filtro morfológico abertura ou erosão, o classificador distância mínima ou SVM. Se a opção fosse para não utilizar a classificação de imagens, o transformador SCI seria o mais indicado. No fluxograma da Figura 5.1, é apresentado o processo que foi utilizado nesta dissertação. No primeiro módulo, está representada a seqüência de processamento que foi aplicada nas imagens SAR.

No Capítulo 4, os elementos de interpretação que foram destacados como possíveis de serem observados nas imagens SAR foram a tonalidade, a forma e o tamanho. Na fase avançada de interpretação, que é baseada na dedução, pode-se ter uma idéia inicial se a embarcação é do tipo militar ou mercante. A comprovação de que se trata do tipo militar ou mercante ou até mesmo a identificação do tipo de embarcação militar ou mercante podem ser obtidas por meio de um algoritmo de medição automática. A Figura 5.1, no segundo módulo, representa a seqüência lógica que foi aplicada nas imagens SAR para medir automaticamente o comprimento da embarcação e comparar o valor calculado com um banco de dados contendo o comprimento de 434 embarcações.

Neste estudo, foram selecionadas 12 embarcações identificadas em imagens SAR e MSS da região do porto de Tubarão (Figuras 5.2 e 5.3). Essas imagens foram obtidas pela aeronave R99 da FAB em 19 de março de 2008.

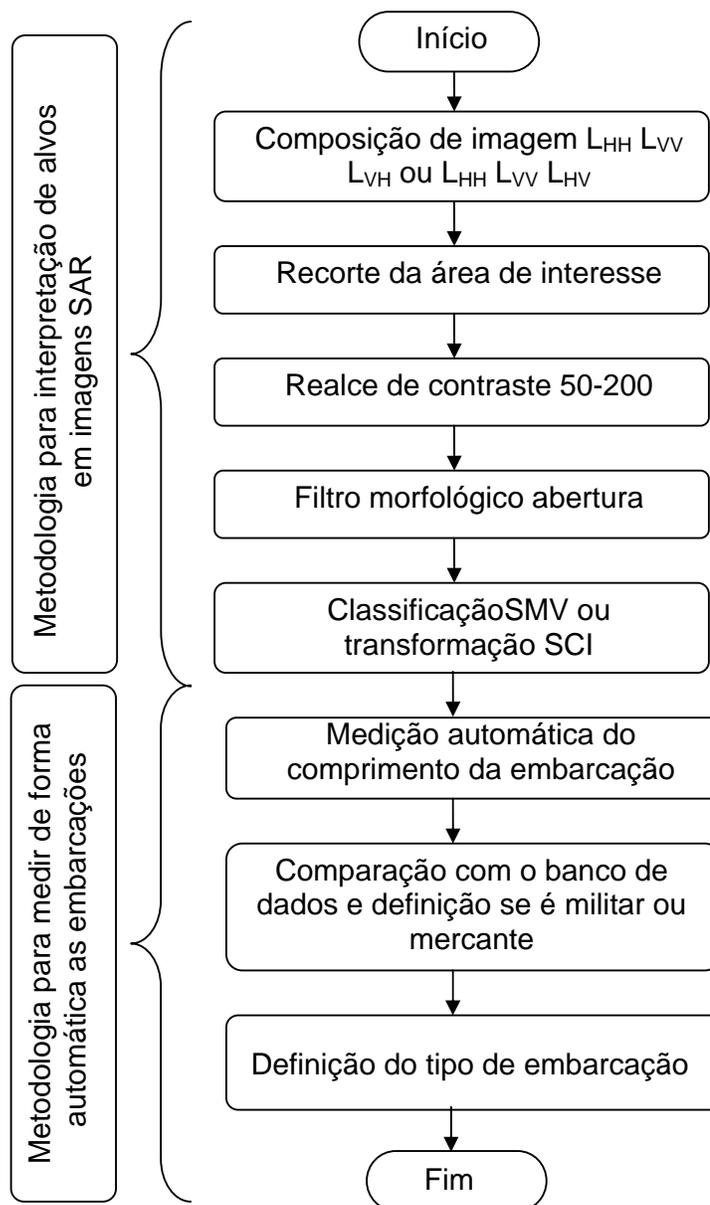


Figura 5.1: Fluxograma que representa o processo para identificar e medir, de forma automática, embarcações em imagens SAR.



Figura 5.2: Imagem SAR da região do Porto de Tubarão, obtida na banda L e polarizações HH, HV e VV, contendo embarcações mercantes. Fonte: COMGAR (2010).



Figura 5.3: Imagem MSS da região do Porto de Tubarão, obtida nas bandas 842, contendo embarcações mercantes. Fonte: COMGAR (2010).



O sensor MSS da aeronave R99 é um sensor multiespectral de varredura lateral em linha. O sistema óptico capta a radiação refletida com um campo de visão instantâneo mínimo de 1,23 mrad, abrangendo um campo de visão de 90°. O sinal é quantizado em 16 bits (MOREIRA, 2002). A Figura 5.4 representa as posições dos sensores SAR e MSS na aeronave R99.



Figura 5.4: Aeronave R99 com os sensores SAR e MSS. Fonte: COMGAR (2010).

Do sensor MSS, com 31 canais, espaçamento de pixel de 2,45 metros e imagens registradas no sistema de coordenadas geográfica (latitude e longitude) e datum WGS 84, foi utilizada a imagem obtida na banda 8, confrontada com a composição colorida SAR  $L_{HH}$ ,  $L_{VV}$  e  $L_{VH}$ , para localizar a posição (latitude/longitude) e obter o comprimento das embarcações mercantes presentes na área marítima próxima ao Porto de Tubarão (Figuras 5.2 e 5.3). Utilizaram-se as ferramentas de localização e de medição manual do aplicativo ENVI 4.5. Por se tratar de um sensor óptico (MSS), foi possível visualmente definir que tipo de embarcação estava sendo analisada (por exemplo, embarcação mercante graneleiro com 225 metros de comprimento). A Figura 5.5 demonstra as bandas disponíveis no sensor MSS do R99 e a Figura 5.6 confronta a embarcação mercante graneleiro de 225 metros em duas imagens, MSS e SAR.



BANDA	CENTRO DA BANDA ( $\mu\text{m}$ )	LARGURA DA BANDA ( $\mu\text{m}$ )	BANDA	CENTRO DA BANDA ( $\mu\text{m}$ )	LARGURA DA BANDA ( $\mu\text{m}$ )
1	0.435	0.030	16	0.788	0.015
2	0.465	0.030	17	0.805	0.020
3	0.500	0.020	18	0.823	0.015
4	0.535	0.030	19	0.840	0.020
5	0.563	0.025	20	0.858	0.015
6	0.588	0.025	21	0.875	0.020
7	0.615	0.030	22	0.893	0.015
8	0.645	0.030	23	0.920	0.020
9	0.668	0.015	24	0.943	0.025
10	0.683	0.015	25	0.968	0.025
11	0.700	0.020	26	0.995	0.025
12	0.718	0.015	27	1.023	0.025
13	0.735	0.020	28	1.043	0.015
14	0.748	0.025	29	1.650	0.200
15	0.770	0.020	30	2.215	0.270
-	-	-	31	10.50	4.000

Figura 5.5: Bandas espectrais do sensor MSS a bordo da aeronave R99 da Força Aérea Brasileira. Fonte: COMGAR (2010).

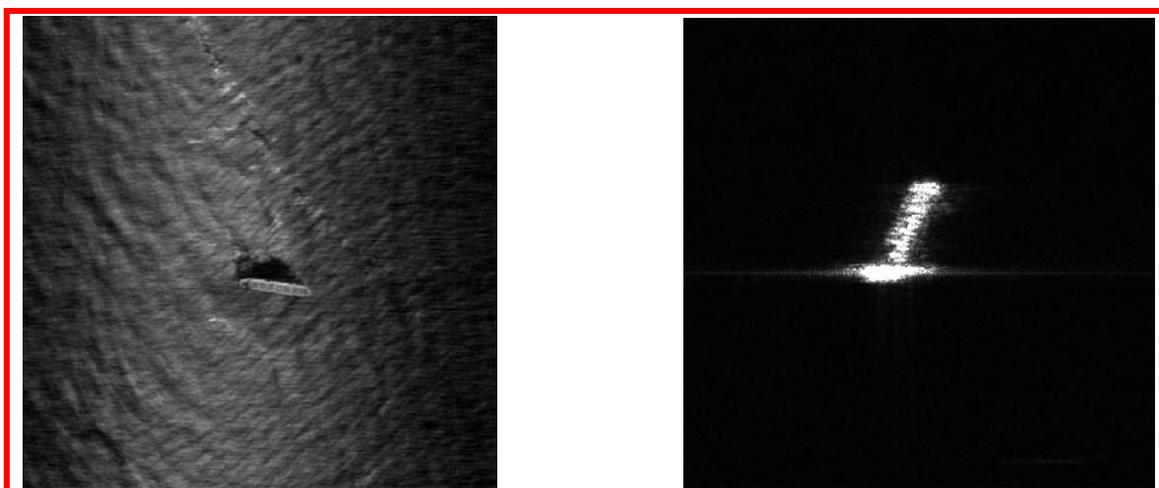


Figura 5.6: Imagens MSS (esquerda) e SAR (direita) de uma embarcação mercante graneleiro com comprimento de 225 metros. Fonte: COMGAR (2010).



Após medições feitas nas 12 embarcações mercantes, verificou-se que um pixel nas imagens SAR equivale em média a 2,46 metros (espaçamento de pixel). Aplicando uma simples regra de três, dividindo o tamanho real pelo número de pixels correspondente e utilizando a ferramenta de medição do aplicativo ENVI 4.5, chegou-se aos resultados mostrados na Tabela 24.

Tabela 24 – Tamanho de um pixel em metros.

<b>Imagem SAR</b>	<b>Tamanho Real</b>	<b>Número de Pixels</b>	<b>Tamanho de um Pixel</b>
1-Graneleiro	225 m	91,67	2,45 m
2-Contentor	200 m	80,65	2,47 m
3-Contentor	170 m	68,48	2,48 m
4-Graneleiro	150 m	60,87	2,46 m
5-Graneleiro	220 m	89,10	2,46 m
6-Graneleiro	270 m	109,65	2,46 m
7-Graneleiro	260 m	106,00	2,46 m
8-Graneleiro	220 m	90,00	2,45 m
9-Graneleiro	210 m	84,29	2,49 m
10-Graneleiro	215 m	86,46	2,48 m
11-Petroleiro	200 m	82,97	2,41 m
12-Graneleiro	215 m	86,57	2,49 m

Calculando a média aritmética dos 12 valores de tamanho de um pixel, chega-se ao valor de 2,46 metros. Este valor será uma das constantes a ser utilizada no algoritmo de medição automática. O próximo passo foi criar um programa que possibilitasse medir a imagem bruta, não processada, em uma banda e em uma polarização, agilizando a seqüência de identificação dos alvos. Deve-se frisar a necessidade de medição semi-automática devido à grande extensão da área marítima do Brasil (Capítulo 2).



## 5.2 Algoritmo para Medir Automaticamente o Comprimento da Embarcação

Seguindo a metodologia proposta no Capítulo 1, adotou-se a linguagem de programação científica MATLAB. Esta pode ser definida como um sistema interativo e uma linguagem de programação para computação técnica e científica em geral, integrando a capacidade de fazer cálculos, visualização gráfica e programação (TONINI, SCHETTINO, 2002).

Inicialmente, a imagem SAR deve ser salva no formato *American Standard Code for Information Interchange* (ASCII) no aplicativo ENVI. O algoritmo de medição executa os comandos em seqüência (Figura 5.19). Após limpar todos os dados da memória (*clear all*), o programa carrega o arquivo ASCII (*load imagem*) (TONINI, SCHETTINO, 2002). O arquivo é identificado como file (*file = imagem*). É estabelecido um limite de corte, permitindo ao algoritmo localizar os níveis digitais mais presentes na embarcação. São 256 níveis digitais (intensidades) possíveis, contudo, vale ressaltar que a área de análise é o alto mar, que normalmente é representado por intensidades baixas. A embarcação é detectada, em sua maioria, por intensidades altas (*limite=255*). A Tabela 25 ilustra, como exemplo, os níveis digitais de uma embarcação em alto mar em uma matriz de 5 pixels x 5 pixels. O comprimento da embarcação é reconhecido pelo programa como sendo a diagonal com valor de intensidade igual a 255. Neste contexto, o elemento de interpretação tonalidade é evidente.

Tabela 25 – Níveis digitais em uma matriz de 5 pixels x 5 pixels. Os valores digitais 4 e 255 correspondem ao oceano e à embarcação, respectivamente.

4	4	4	4	255
4	4	4	255	4
4	4	255	4	4
4	255	4	4	4
255	4	4	4	4



O limite de corte foi estabelecido após vários testes no programa. Foram atribuídos valores de 150 a 255, até conseguir obter comprimentos próximos do comprimento real da embarcação analisada, de acordo com a Tabela 26. Nessa tabela, observa-se que, conforme se aproxima do valor 255, o tamanho obtido tende a se aproximar do tamanho real.

Tabela 26 – Limites de corte e tamanhos obtidos.

<b>Imagem SAR</b>	<b>Tamanho Real</b>	<b>Limite de Corte</b>	<b>Tamanho Obtido</b>
Graneleiro	225 m	150	278 m
Graneleiro	225 m	160	278 m
Graneleiro	225 m	170	273 m
Graneleiro	225 m	180	268 m
Graneleiro	225 m	190	266 m
Graneleiro	225 m	200	263 m
Graneleiro	225 m	210	259 m
Graneleiro	225 m	220	254 m
Graneleiro	225 m	230	251 m
Graneleiro	225 m	240	245 m
Graneleiro	225 m	250	238 m
Graneleiro	225 m	255	234 m

Em seguida, identificou-se o tamanho da matriz analisada ( $matrix\_size = size(file)$ ). O termo  $y\_size$  corresponde ao tamanho vertical e o  $x\_size$  ao tamanho horizontal ( $y\_size = matrix\_size(1,2)$  e  $x\_size = matrix\_size(1,1)$ ). A fim de facilitar a identificação e conseqüente medição do alvo, atribuiu-se o valor 0 aos níveis digitais da água e 1 aos níveis digitais da embarcação. Para gerar a nova matriz com valores 0 e 1, aplicou-se a estrutura de fluxo *if-else-end*, bem como a estrutura de repetição *for-end*, nas dimensões  $x$  e  $y$  (TONINI, SCHETTINO, 2002). A seguinte estrutura cria a matriz com valores 0 e 1 e a Tabela 27 demonstra a nova matriz da Tabela 25:



```
for i =1:xsize
  for j=1:ysize
    if (file(i,j)<limite)
      b(i,j)=0;
    else
      b(i,j)=1;
    end;
  end;
end;
end;
```

Tabela 27 – Níveis digitais de uma matriz de 5 pixels x 5 pixels, com valores 0 e 1.

0	0	0	0	1
0	0	0	1	0
0	0	1	0	0
0	1	0	0	0
1	0	0	0	0

O próximo passo foi criar uma seqüência de somas que contenha uma linha com a soma de todos os valores de cada coluna e uma coluna com a soma de todos os valores de cada linha ( $y_{sum} = \text{sum}(b)$  e  $x_{sum} = \text{sum}(b')$ ). Os novos dados da Tabela 27 (coluna e linha) têm os seguintes valores: 1 1 1 1 1. Embora neste exemplo as somas tenham dado 1, convém salientar que nem sempre ocorre dessa forma. Faz-se necessário criar outra estrutura de fluxo *if-else-end*, além de uma estrutura de repetição *for-end*, nas dimensões  $x$  e  $y$  (TONINI, SCHETTINO, 2002). A seguinte estrutura cria a matriz com valores 0 e 1 e a Tabela 28 demonstra como ficaria a matriz da Tabela 27:

```
i=1;
for j=1:ysize
  if(ysum(i,j)>=1)
    ysum1(i,j)=1;
  else
    ysum1(i,j)=0;
  end;
end;
end;
```



```
i=1;  
for j=1:xsize  
    if(xsum(i,j)>=1)  
        xsum1(i,j)=1;  
    else  
        xsum1(i,j)=0;  
    end;  
end;  
end;
```

Tabela 28 – Níveis digitais em uma matriz de 5 pixels x 5 pixels, com valores 0 e 1. As somas maiores e iguais a 1 foram reduzidas ao valor 1 e as somas menores que 1, ao valor 0.

0	0	0	0	1
0	0	0	0	1
0	0	0	0	1
0	0	0	0	1
1	1	1	1	1

De acordo com a Tabela 24, o pixel tem valor igual a 2,46 metros. Aplicou-se novamente a soma na linha e na coluna restantes e multiplicaram-se os resultados pelo valor do pixel. A seguinte estrutura gera a soma de x e de y.

```
pixel=2.46;  
x=pixel*(sum(xsum1)-1);  
y=pixel*(sum(ysum1)-1);
```

O comprimento é calculado a partir do Teorema de Pitágoras ( $comprimento\_calculado = \sqrt{(y^2) + (x^2)}$ ). Após o cálculo do comprimento, foi feita a representação gráfica, onde se definiu inicialmente os limites da grade ( $[K,M] = meshgrid(0:pixel:(ysize-1)*pixel), 0:pixel:(xsize-1)*pixel)$ ).

Optou-se em representar uma figura contendo quatro resultados: imagem, gráfico linear, contorno e gráfico em três dimensões. A seguinte estrutura cria uma figura contendo as quatro opções mencionadas:



```
figure
subplot(2,2,1)
image(file)
subplot(2,2,2)
plot(file)
subplot(2,2,3)
contour(file)
subplot(2,2,4)
mesh(file)
```

Todas as fases descritas, as quais descrevem a primeira parte do segundo módulo da Figura 5.1, podem ser agrupadas no seguinte código fonte:

```
clear all

%----- IMAGEM 01 -----%

%load IMAGEM01.txt
%file=IMAGEM01 (1:400,1:400);
%limite=255;

load IMAGEM01.txt
file= IMAGEM01;
limite=255;

matrix_size=size(file)
ysize=matrix_size(1,2);
%ysize1=ysize-1
xsize=matrix_size(1,1);
%xsize1=xsize-1

for i=1:xsize
    for j=1:ysize
        if (file(i,j)<limite)
            b(i,j)=0;
        else
            b(i,j)=1;
        end;
    end;
end;

ysum=sum(b);

i=1;
for j=1:ysize
    if(ysum(i,j)>=1)
        ysum1(i,j)=1;
    else
```



```
        ysum1(i,j)=0;
    end;
end;

xsum=sum(b');

i=1;
for j=1:xsize
    if(xsum(i,j)>=1)
        xsum1(i,j)=1;
    else
        xsum1(i,j)=0;
    end;
end;

pixel=2.46;

x=pixel*(sum(xsum1)-1);
y=pixel*(sum(ysum1)-1);
limite_corte=limite
max_element=max(max(file))
comprimento_calculado=sqrt((y^2)+(x^2))

%disp(limite_corte)
%sprintf('Limite de Corte %9.4f',limite_corte)
%sprintf('Maior Elemento= %9.4f',max_element)
%sprintf('Comprimento= %9.4f',comprimento)
%sprintf('Comprimento Calculado= %9.4f',comprimento_calculado)

[K,M]=meshgrid(0:pixel:((ysize-1)*pixel),0:pixel:((xsize-1)*pixel));
%mesh(K,M,file)
%figure
%mesh(K,M,b)
%figure
%contour(K,M,file)
%figure
%contour(K,M,b)

figure
subplot(2,2,1)
image(file)
subplot(2,2,2)
plot(file)
subplot(2,2,3)
contour(file)
subplot(2,2,4)
mesh(file)
%-----%
```



Este programa foi utilizado para medir de forma automática o comprimento de 12 embarcações mercantes. Os resultados estão descritos na Tabela 29. Calculando-se a estatística dos dados da variação no aplicativo SPSS 16.0, obtiveram-se média = 7, desvio-padrão = 16, valor mínimo = -27 e valor máximo = +27 metros. Nestes resultados, desconsideraram-se os valores extremos de -55 e de +55, que representam 16% de todas as variações. Com o objetivo de aproximar os valores estimados do valor real, definiu-se o valor de 7 metros como fator de ajuste na fórmula  $\text{comprimento\_calculado} = \sqrt{(y^2) + (x^2)}$ . A Tabela 30 mostra os resultados em que foi utilizado o fator de ajuste. Deve-se considerar uma nova variação de até -16 ou de até +16 m no comprimento calculado pelo algoritmo (desvio-padrão).

Tabela 29 – Tamanho real e tamanho calculado automaticamente das embarcações.

<b>Imagem SAR</b>	<b>Tamanho Real (A)</b>	<b>Tamanho Calculado (B)</b>	<b>Varição (A-B)</b>
1-Graneleiro	225 m	235 m	+10
2-Contentor	200 m	214 m	+14
3-Contentor	170 m	143 m	-27
4-Graneleiro	150 m	158 m	+08
5-Graneleiro	220 m	210 m	+10
6-Graneleiro	270 m	286 m	+16
7-Graneleiro	260 m	286 m	+26
8-Graneleiro	220 m	247 m	+27
9-Graneleiro	210 m	205 m	-05
10-Graneleiro	215 m	165 m	-50
11-Petroleiro	200 m	255 m	+55
12-Graneleiro	215 m	210 m	-05



Tabela 30 – Tamanho real e tamanho calculado automaticamente das embarcações mercantes com redução de 7 m.

<b>Imagem SAR</b>	<b>Tamanho Real (A)</b>	<b>Tamanho Calculado (B)</b>	<b>Varição (A-B)</b>
1-Graneleiro	225 m	227 m	+2
2-Contentor	200 m	207 m	+7
3-Contentor	170 m	136 m	-34
4-Graneleiro	150 m	150 m	0
5-Graneleiro	220 m	205 m	-15
6-Graneleiro	270 m	279 m	+9
7-Graneleiro	260 m	279 m	+19
8-Graneleiro	220 m	240 m	+20
9-Graneleiro	210 m	200 m	-10
10-Graneleiro	215 m	160 m	-55
11-Petroleiro	200 m	250 m	+50
12-Graneleiro	215 m	203 m	-12

Nas próximas figuras, serão apresentadas as imagens da Tabela 30 com as seguintes representações: imagem (imagem 1), gráfico linear (imagem 2), contorno (imagem 3) e gráfico em três dimensões (imagem 4). A Figura 5.19 mostra o fluxograma que detalha o processo para calcular de forma automática o comprimento de embarcações mercantes em imagens SAR. Este fluxo é o esquema de montagem da estrutura lógica da página 104 a 105.

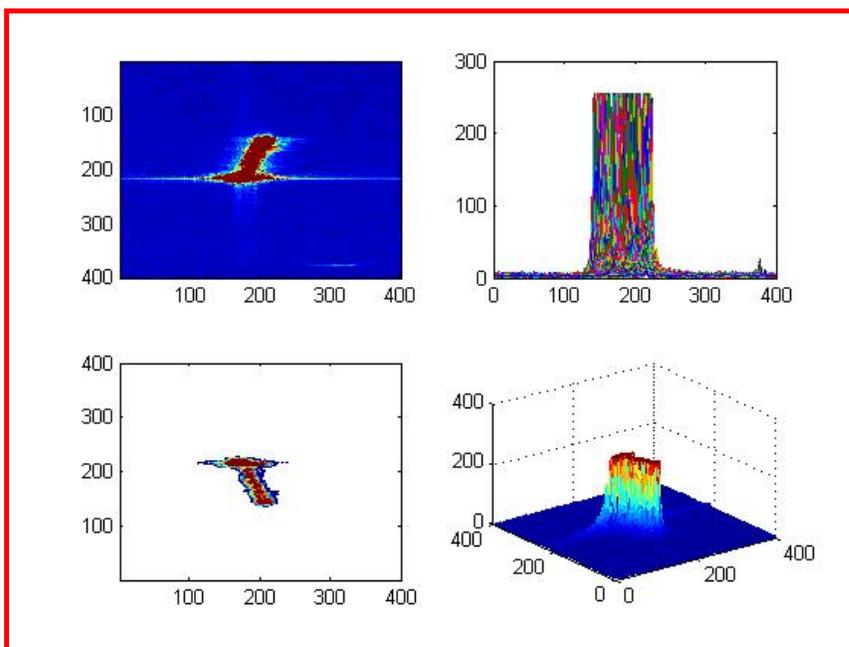


Figura 5.7: Imagem (imagem 1), gráfico linear (imagem 2), contorno (imagem 3) e gráfico em três dimensões (imagem 4) da imagem 1.

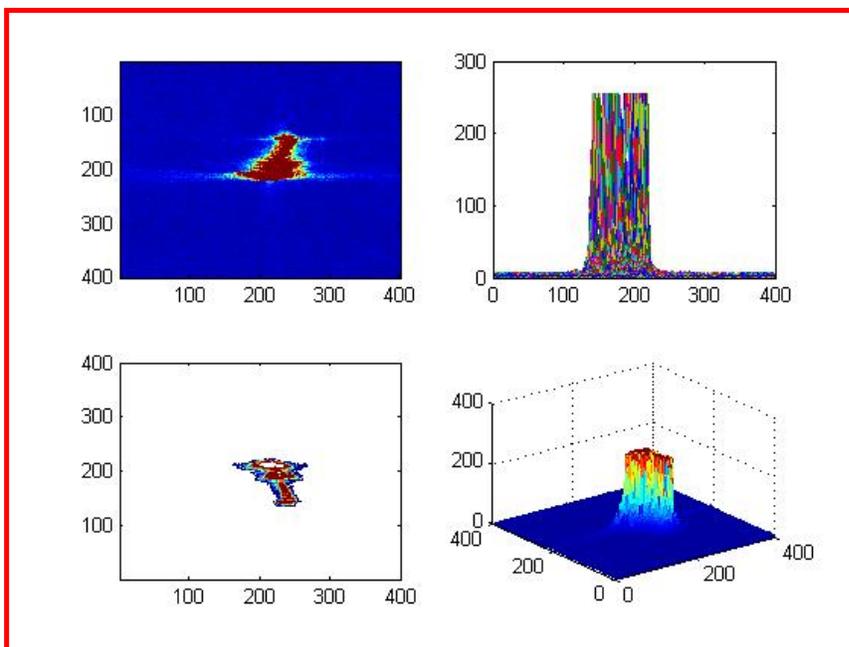


Figura 5.8: Imagem (imagem 1), gráfico linear (imagem 2), contorno (imagem 3) e gráfico em três dimensões (imagem 4) da imagem 2.

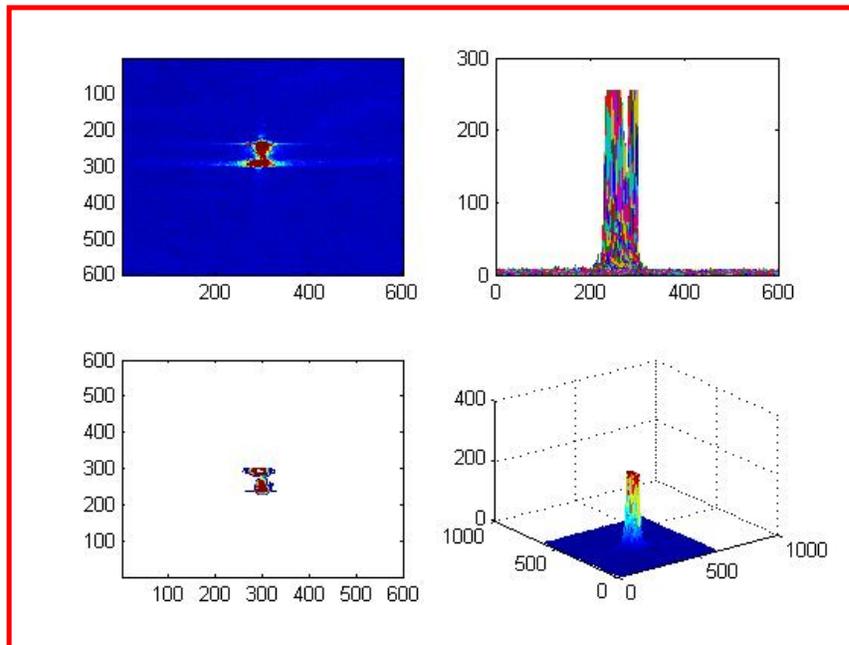


Figura 5.9: Imagem (imagem 1), gráfico linear (imagem 2), contorno (imagem 3) e gráfico em três dimensões (imagem 4) da imagem 3.

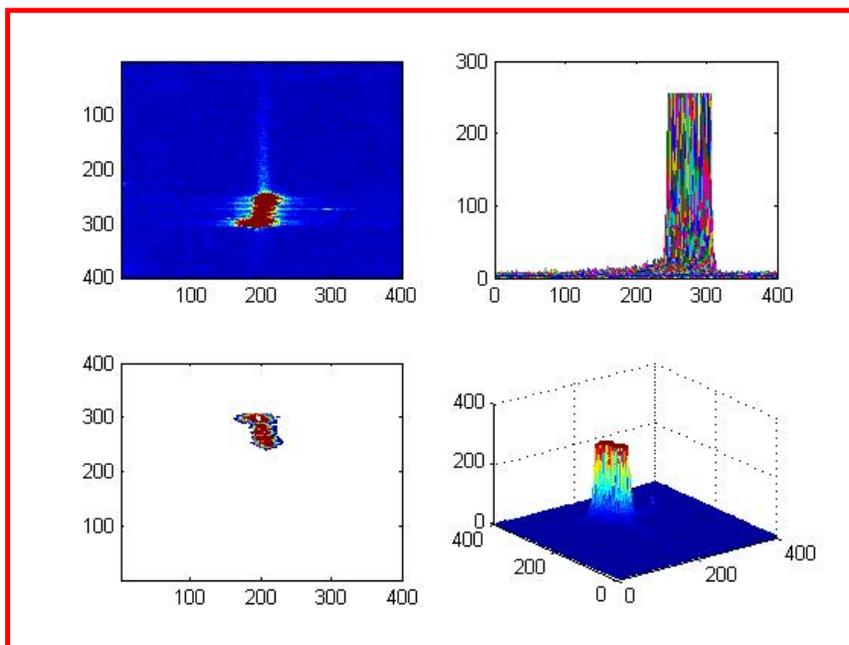


Figura 5.10: Imagem (imagem 1), gráfico linear (imagem 2), contorno (imagem 3) e gráfico em três dimensões (imagem 4) da imagem 4.

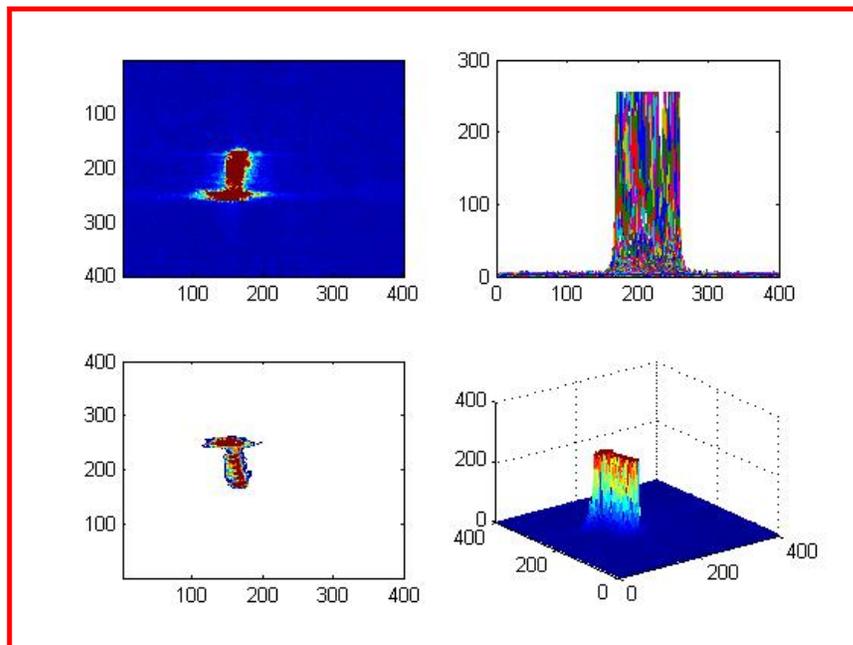


Figura 5.11: Imagem (imagem 1), gráfico linear (imagem 2), contorno (imagem 3) e gráfico em três dimensões (imagem 4) da imagem 5.

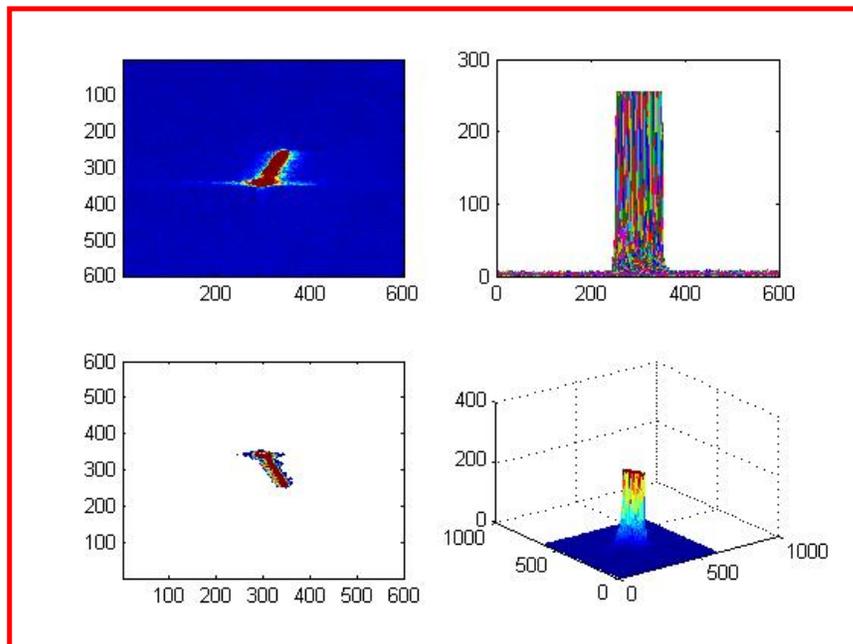


Figura 5.12: Imagem (imagem 1), gráfico linear (imagem 2), contorno (imagem 3) e gráfico em três dimensões (imagem 4) da imagem 6.

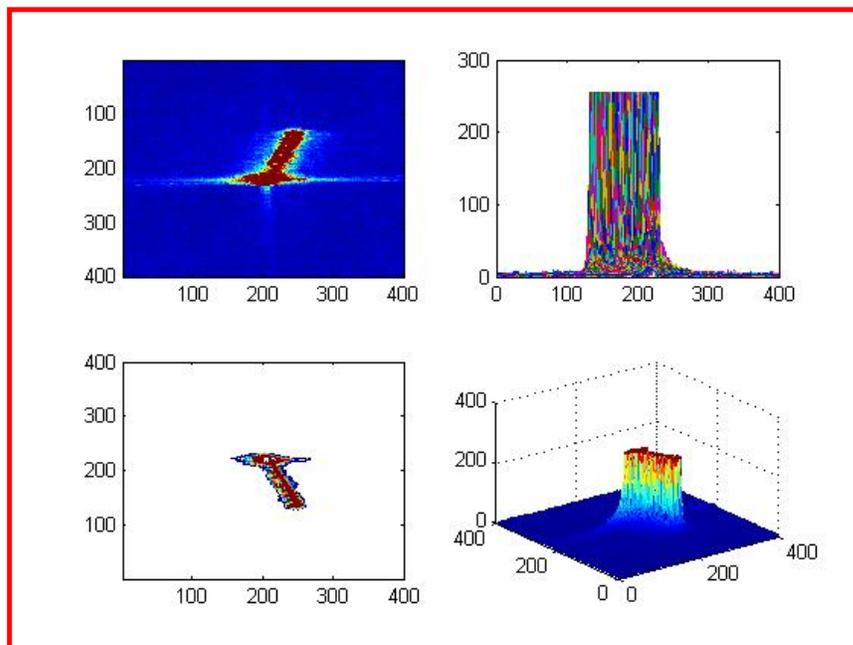


Figura 5.13: Imagem (imagem 1), gráfico linear (imagem 2), contorno (imagem 3) e gráfico em três dimensões (imagem 4) da imagem 7.

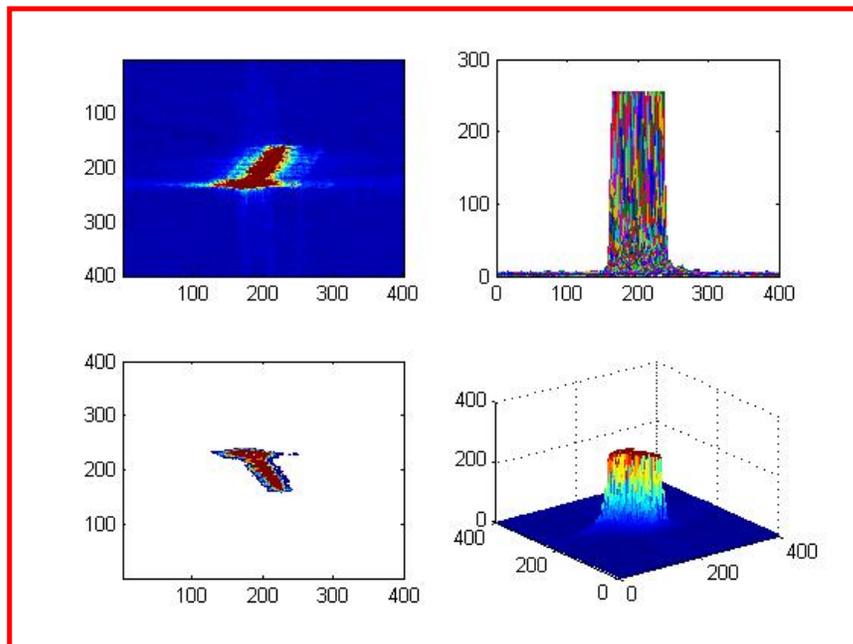


Figura 5.14: Imagem (imagem 1), gráfico linear (imagem 2), contorno (imagem 3) e gráfico em três dimensões (imagem 4) da imagem 8.

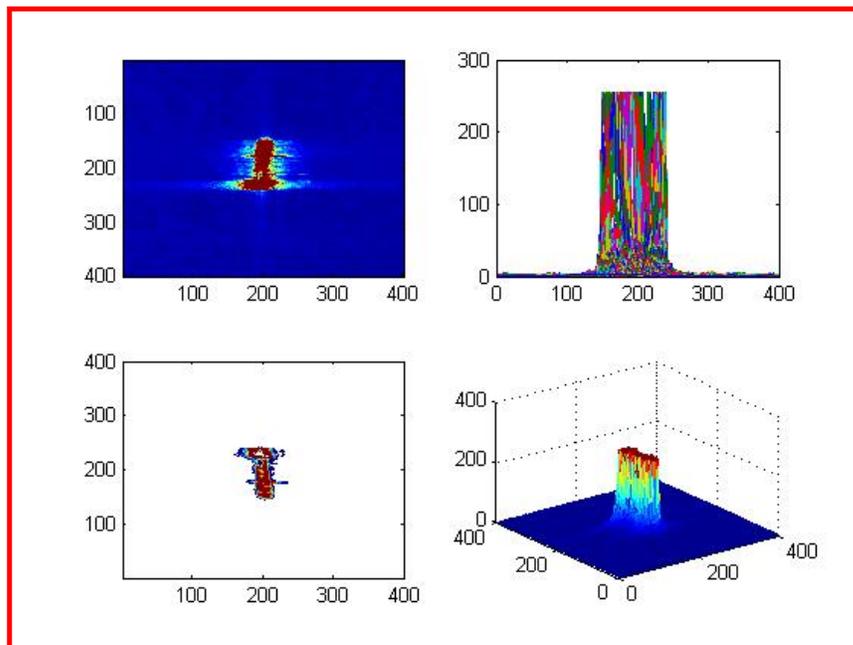


Figura 5.15: Imagem (imagem 1), gráfico linear (imagem 2), contorno (imagem 3) e gráfico em três dimensões (imagem 4) da imagem 9.

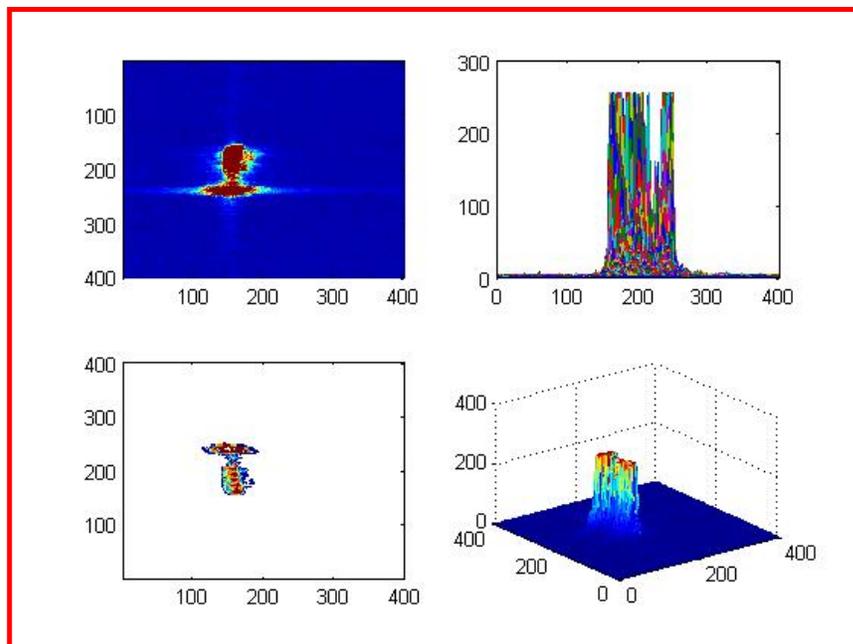


Figura 5.16: Imagem (imagem 1), gráfico linear (imagem 2), contorno (imagem 3) e gráfico em três dimensões (imagem 4) da imagem 10.

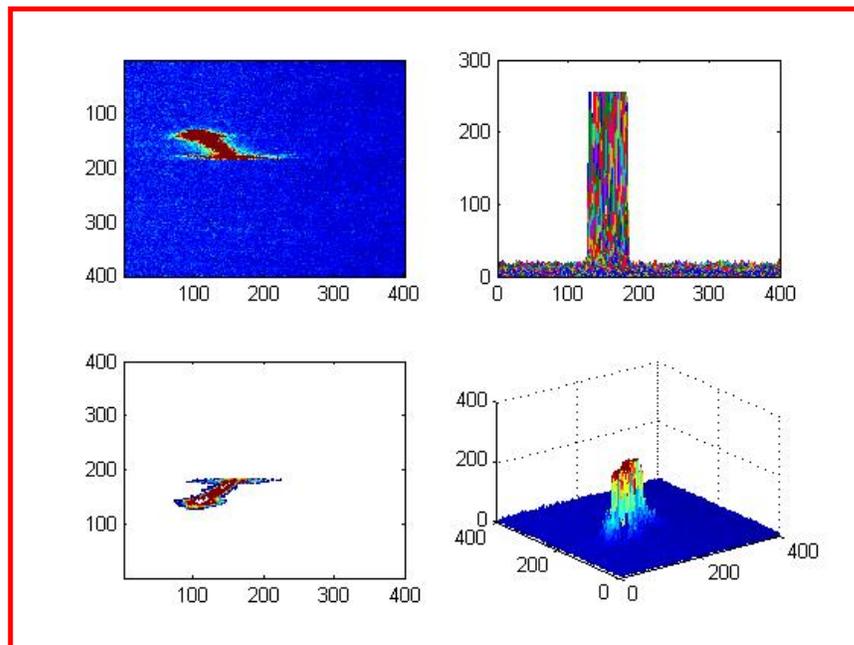


Figura 5.17: Imagem (imagem 1), gráfico linear (imagem 2), contorno (imagem 3) e gráfico em três dimensões (imagem 4) da imagem 11.

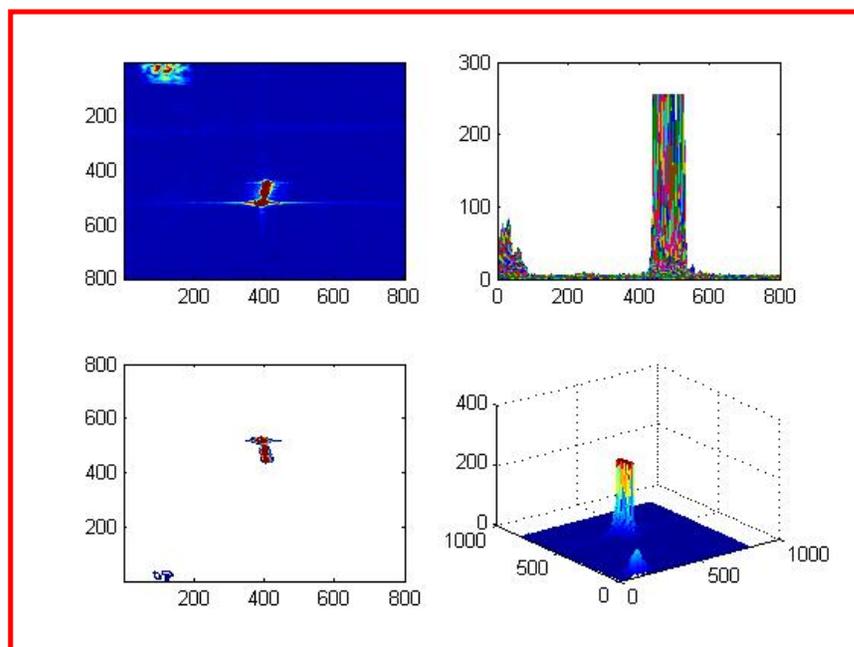
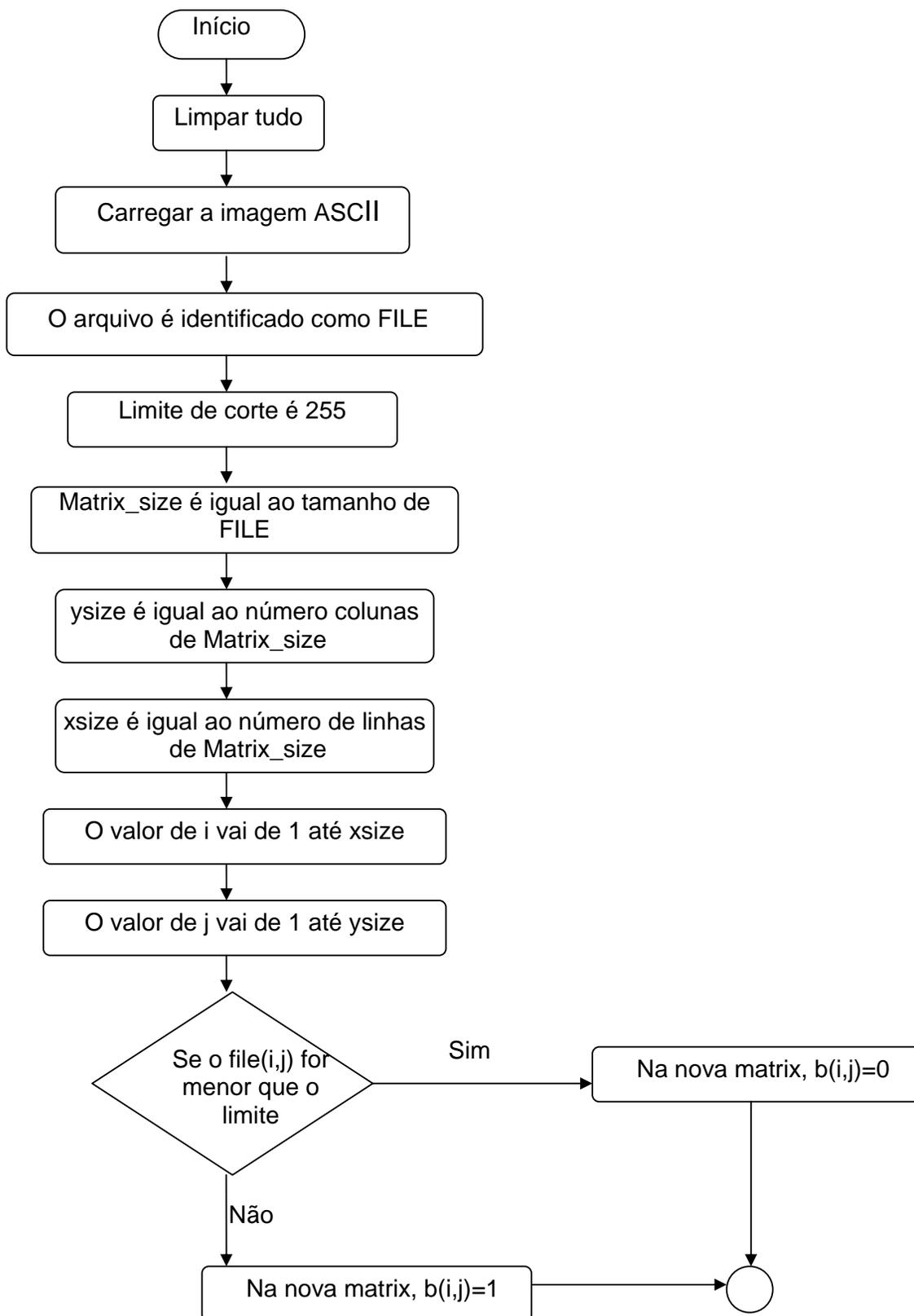
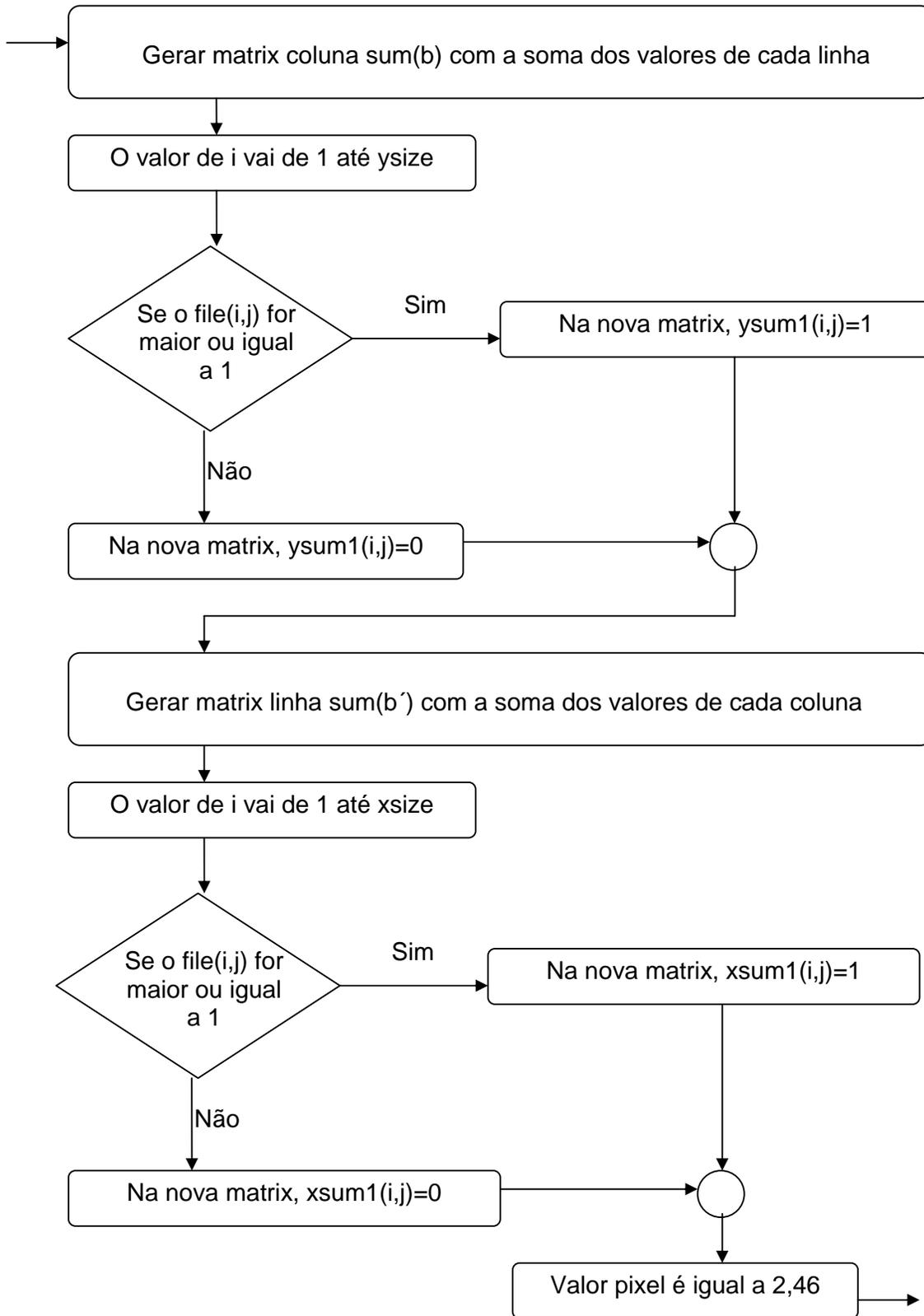


Figura 5.18: Imagem (imagem 1), gráfico linear (imagem 2), contorno (imagem 3) e gráfico em três dimensões (imagem 4) da imagem 12.





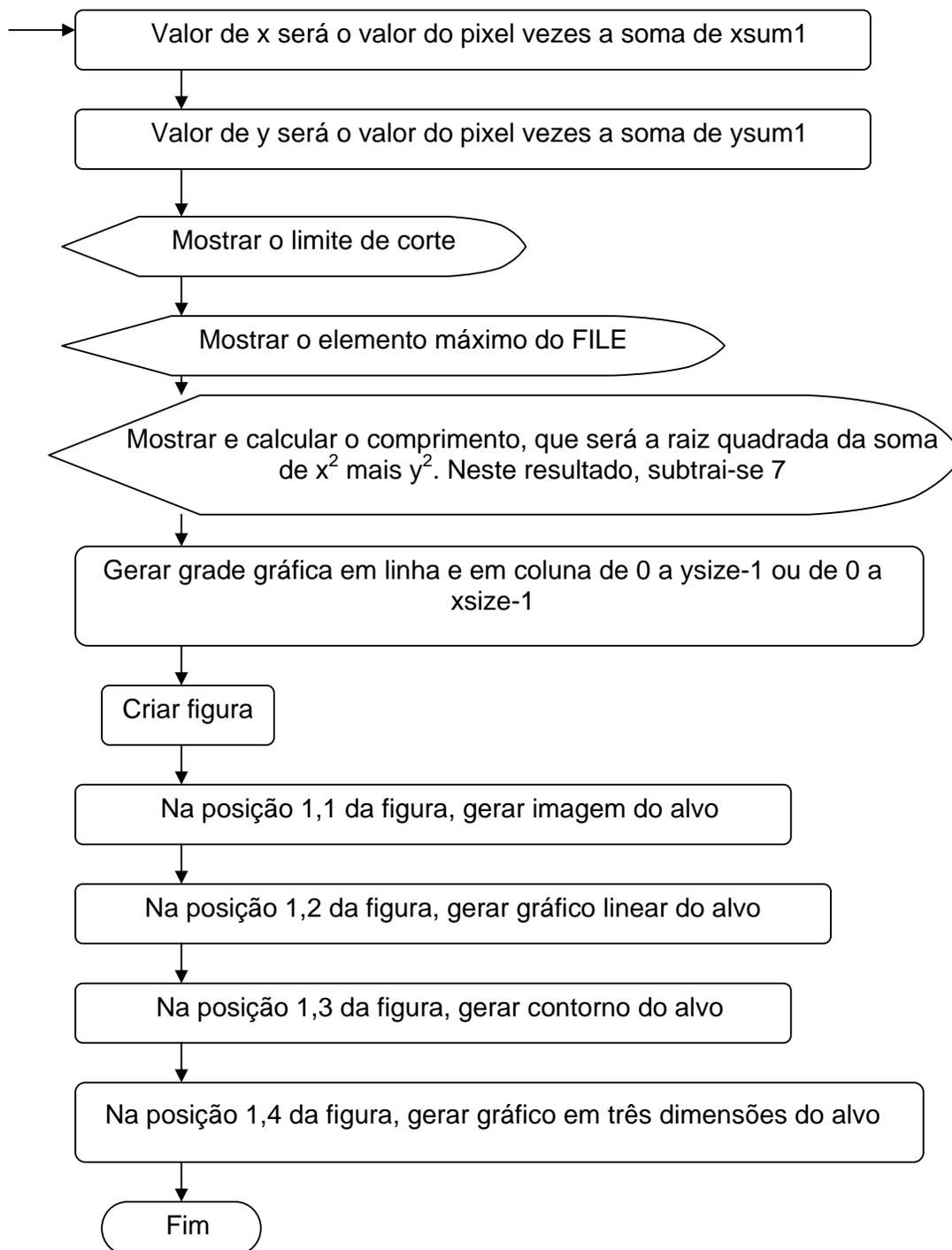


Figura 5.19: Fluxograma que representa o processo para calcular de forma automática o comprimento de embarcações em imagens SAR.



Após medições feitas em seis embarcações militares na Baía de Guanabara, verificou-se que um pixel nas imagens SAR  $L_{HH}$  equivale em média a 1,16 metros (espaçamento de pixel). Como foi feito com as 12 embarcações mercantes, aplicou-se uma simples regra de três, dividindo-se o tamanho real pelo número de pixels correspondente, utilizando-se da ferramenta de medição do aplicativo ENVI 4.5.

O algoritmo permitiu medir o comprimento dessas seis embarcações militares e obter os resultados descritos na Tabela 31. Deve-se considerar uma variação de até -32 ou de até +32 m no comprimento calculado pelo algoritmo (desvio-padrão). Esta variação foi maior que o desvio-padrão das medições nas embarcações mercantes porque as embarcações militares estavam atracadas, sofrendo influência do retroespalhamento do cais. A única mudança significativa no programa foi o valor do parâmetro espaçamento de pixel de 2,46 metros (Porto de Tubarão) para 1,16 metros (Baía de Guanabara).

Tabela 31 – Tamanho real e tamanho calculado automaticamente das embarcações militares.

<b>Imagem SAR</b>	<b>Tamanho Real (A)</b>	<b>Tamanho Calculado (B)</b>	<b>Varição (A-B)</b>
13-Fragata Liberal (F 43)	113 m	89 m	-24
14-Fragata Defensora (F 41)	113 m	144 m	+31
15-Corveta Inhaúma (V 30)	96 m	128 m	+32
16-Fragata União (F 45)	113 m	80 m	-33
17-Corveta Caboclo (V 19)	55 m	84 m	+29
18-Contratorpedeiro Pará (D 27)	128 m	100 m	-28

Considerando que as embarcações mercantes são maiores que as militares em comprimento e em largura, os resultados das Tabelas 30 e 31 revelam, na maioria dos casos, a diferença de comprimento. O algoritmo em questão, no primeiro momento, consegue diferenciar embarcações mercantes de militares.

A localização e a identificação das embarcações militares nas imagens SAR  $L_{HH}$  (Figuras 5.20 e 5.21) foram possíveis através do mapa demonstrativo da posição de navios atracados (Figura 5.22) do dia 24 de setembro de 2010, fornecido pela Marinha do Brasil.

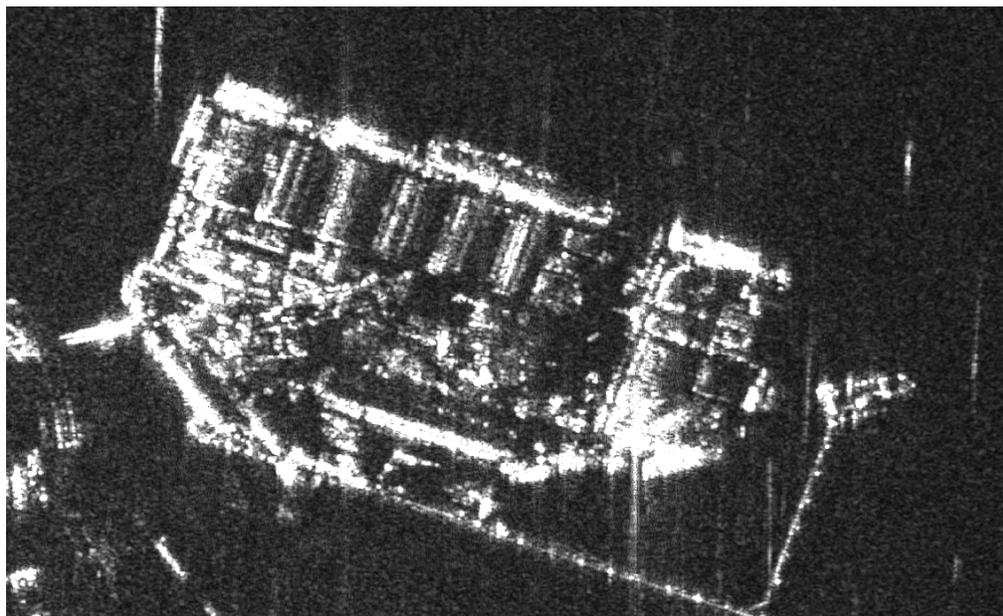


Figura 5.20: Imagem SAR da região da Baía de Guanabara (Ilha das Cobras), obtida na banda L e polarização HH, contendo embarcações militares. Fonte: COMGAR (2010).

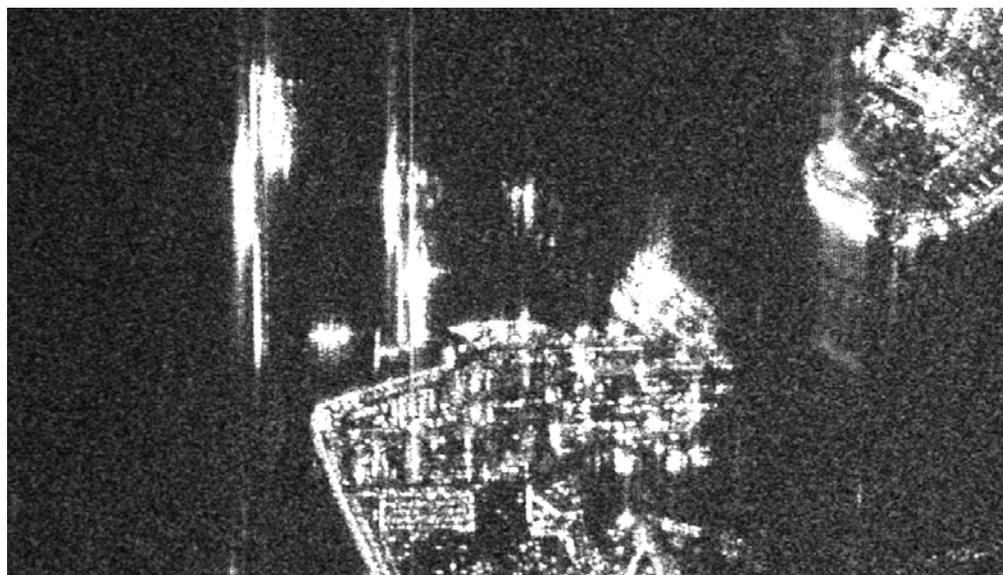


Figura 5.21: Imagem SAR da região da Baía de Guanabara (Complexo Mocangue), obtida na banda L e polarização HH, contendo embarcações militares. Fonte: COMGAR (2010).

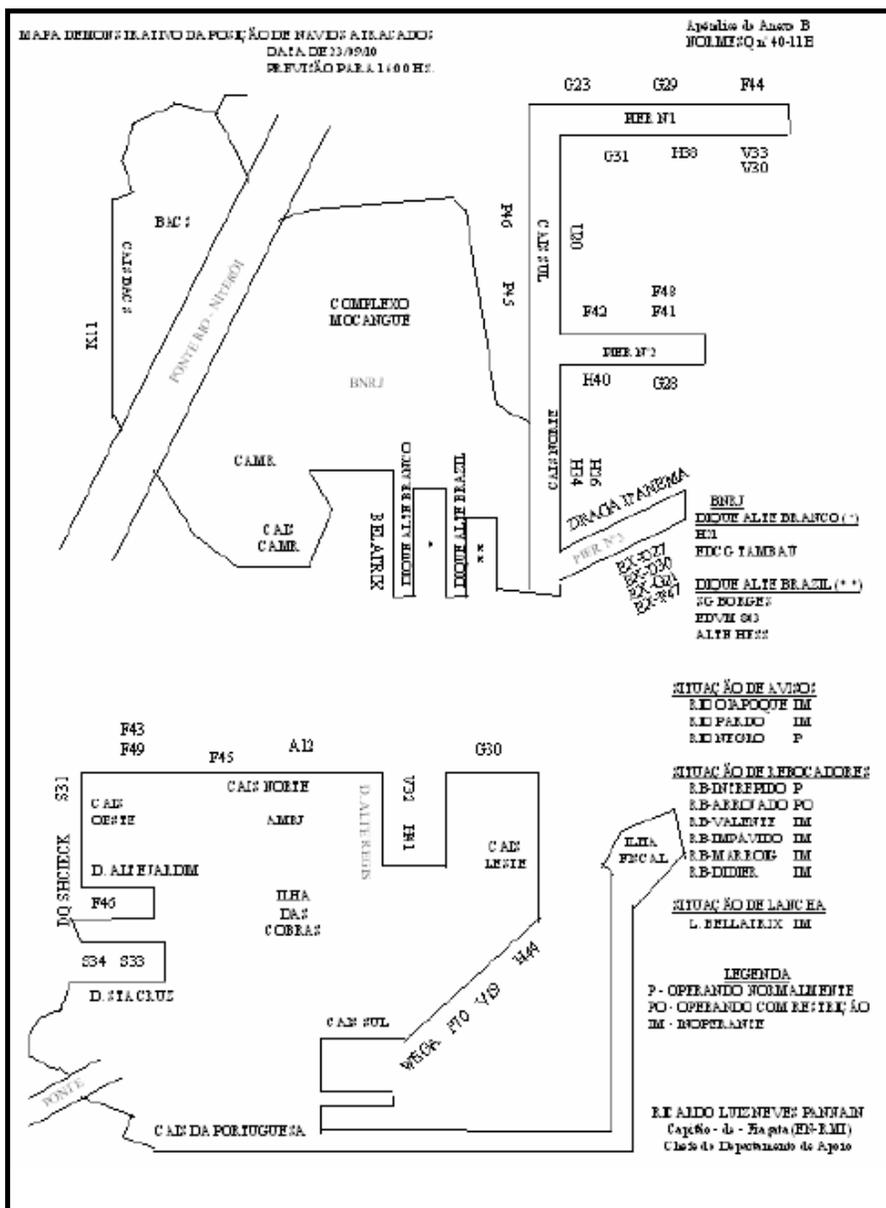


Figura 5.22: Mapa demonstrativo da posição de navios atracados em 24 de setembro de 2010. Fonte: Marinha do Brasil (2010).



Nas próximas figuras, serão apresentadas as imagens da Tabela 31 com as seguintes representações: imagem (imagem 1), gráfico linear (imagem 2), contorno (imagem 3) e gráfico em três dimensões (imagem 4).

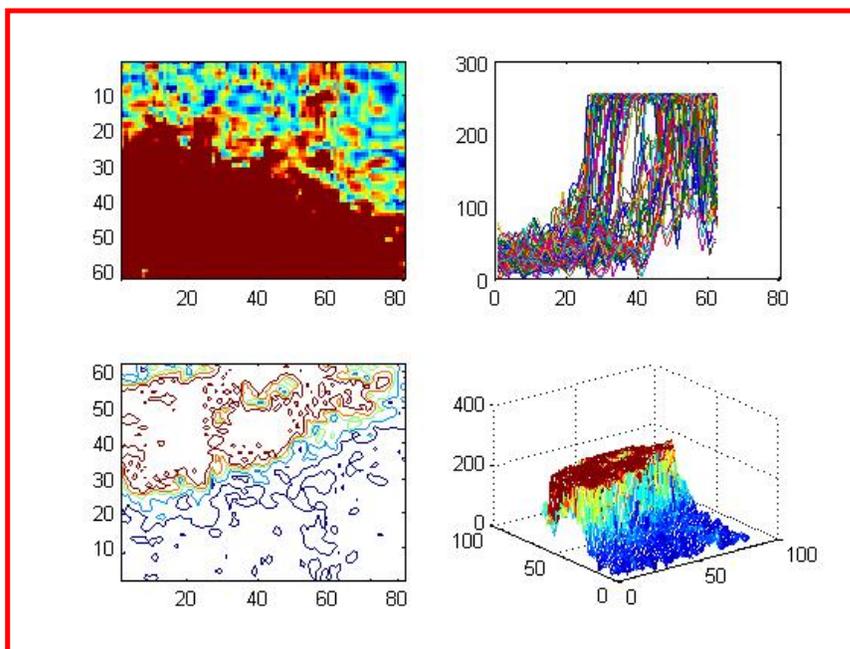


Figura 5.23: Imagem (imagem 1), gráfico linear (imagem 2), contorno (imagem 3) e gráfico em três dimensões (imagem 4) da imagem 13.

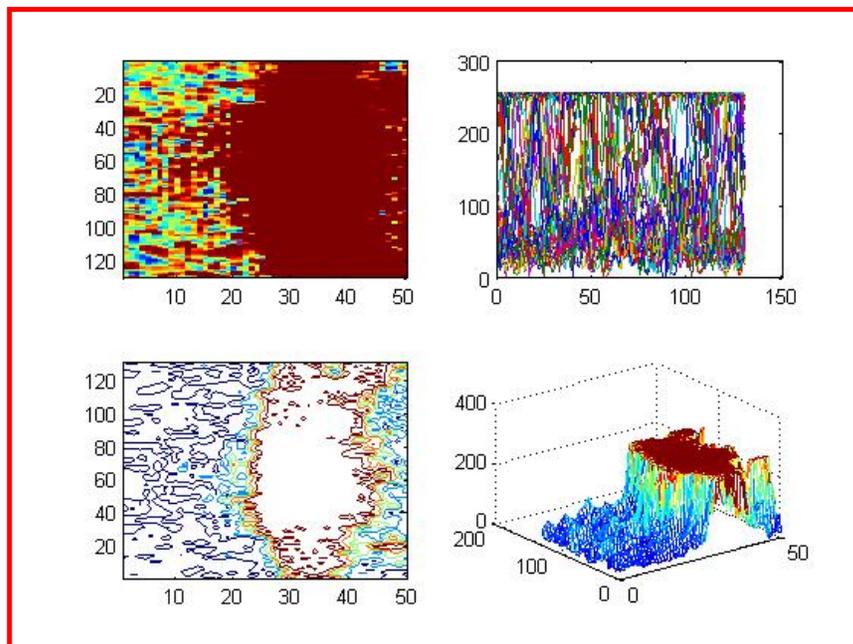


Figura 5.24: Imagem (imagem 1), gráfico linear (imagem 2), contorno (imagem 3) e gráfico em três dimensões (imagem 4) da imagem 14.

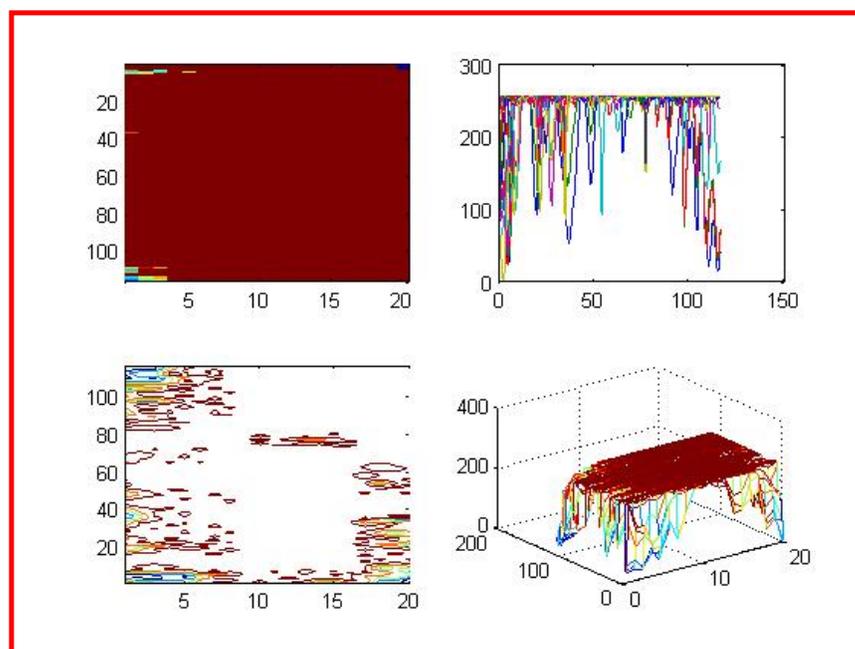


Figura 5.25: Imagem (imagem 1), gráfico linear (imagem 2), contorno (imagem 3) e gráfico em três dimensões (imagem 4) da imagem 15.

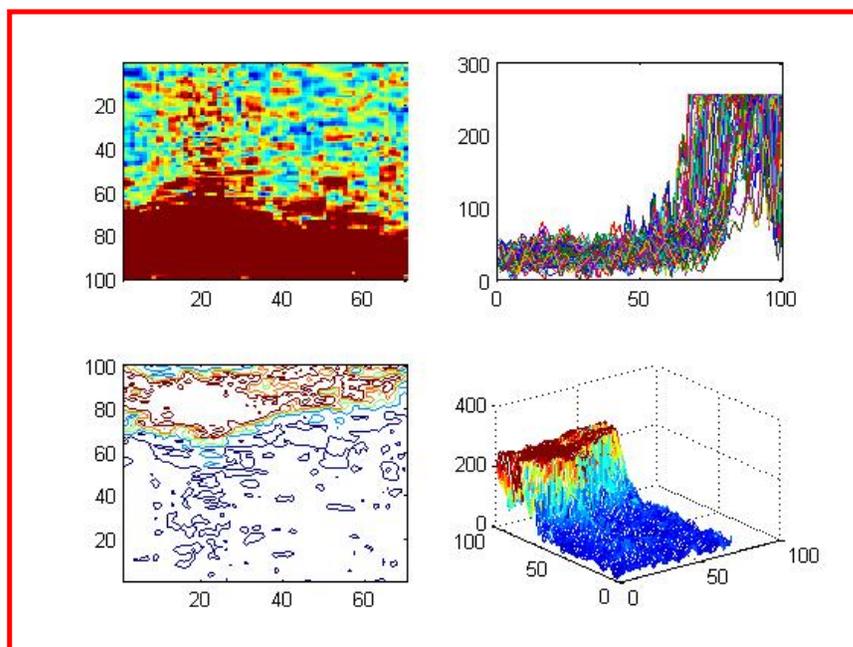


Figura 5.26: Imagem (imagem 1), gráfico linear (imagem 2), contorno (imagem 3) e gráfico em três dimensões (imagem 4) da imagem 16.

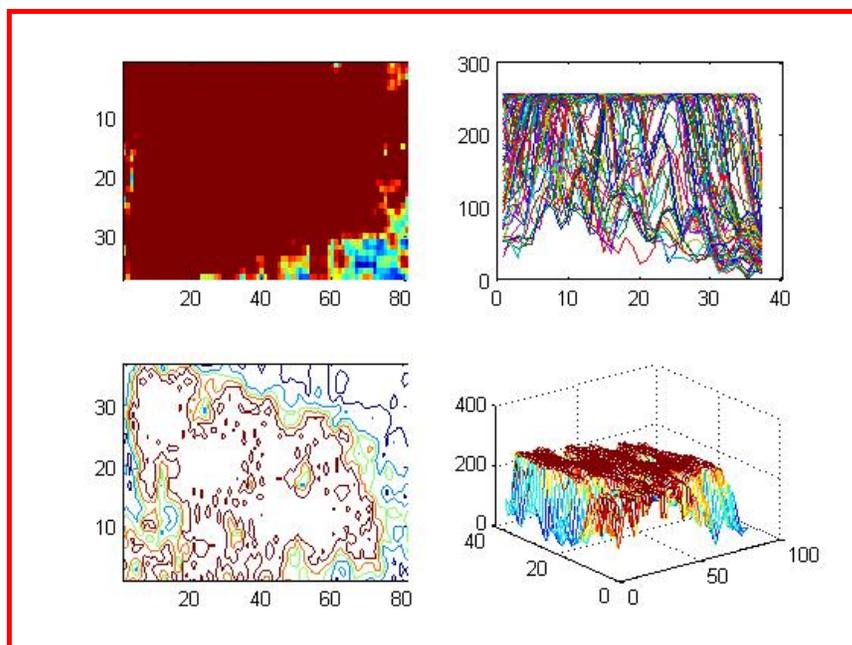


Figura 5.27: Imagem (imagem 1), gráfico linear (imagem 2), contorno (imagem 3) e gráfico em três dimensões (imagem 4) da imagem 17.

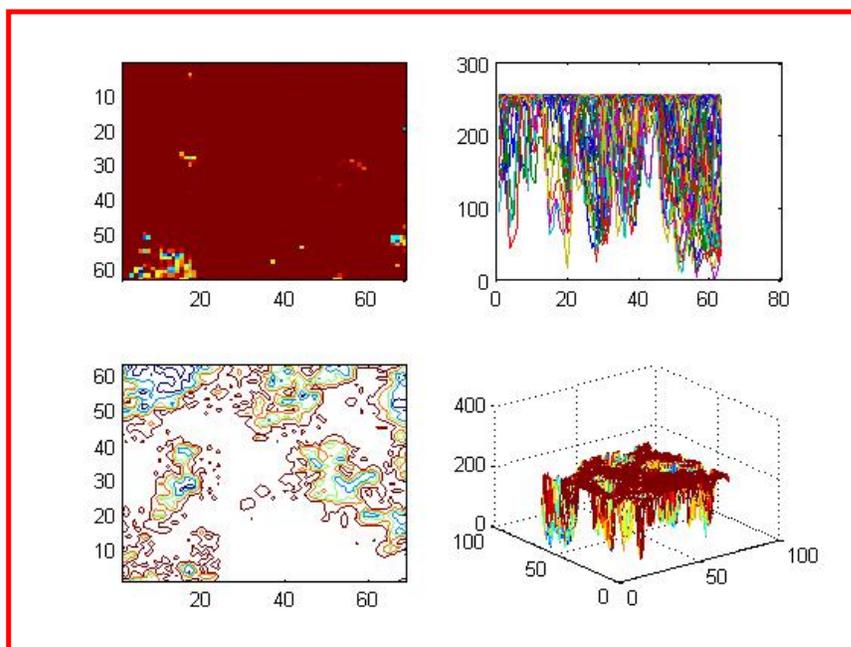


Figura 5.28: Imagem (imagem 1), gráfico linear (imagem 2), contorno (imagem 3) e gráfico em três dimensões (imagem 4) da imagem 18.

A fim de confrontar a embarcação calculada pelo algoritmo com um banco de dados de 434 embarcações, num intervalo de -16 a +16 metros de comprimento (desvio-padrão), criou-se um programa de busca. O banco contém os atributos e dados constantes nos apêndices de A a N. O programa de busca permite dizer o tipo 1 (mercante ou militar), o nome, o tipo 2 (graneleiro, fragata, etc.), o comprimento e a largura dos possíveis alvos reais.

O programa de busca inicialmente realiza uma limpeza de todos os dados da memória (*clear all*). Em seguida lê-se no arquivo ASCII “Tipo de Embarcações” (banco de dados) os cinco atributos que definem as colunas como sendo: nome, tipo1, tipo2, comprimento e largura (*[nome,tipo1,tipo2,comprimento,largura]=textread('Tipos de Embarcacoes.txt','%s %s %s %f %f',5000)*).

O próximo passo foi definir o número de linhas do arquivo Tipo de Embarcações (*maxline=size(comprimento)*). Na seqüência, o programa pede para o usuário entrar com o comprimento obtido no algoritmo para medição automática (*medida=input('Digite o comprimento encontrado:')*). Neste caso, a variável *medida* passa a assumir o valor inserido. Também se define o tamanho do intervalo padrão a ser analisado, como sendo 16 metros (*intervalo=16*).



Considerando o intervalo de  $\pm 16$  metros, estabeleceram-se os limites do intervalo através das variáveis *lim1* e *lim2* ( $lim1=medida+intervalo$  e  $lim2=medida-intervalo$ ). Por fim, o programa lista as possíveis embarcações, apresentando o tipo1, o nome, o tipo2, o comprimento e a largura. Nesta parte, aplicou-se a estrutura de fluxo *if-end*, que procura a medida com o intervalo  $\pm 16$  metros, bem como a estrutura de repetição *for-end*, que vai de um até o número máximo de linhas do banco de dados. A seqüência abaixo representa esta parte final:

```
disp('Possíveis Embarcações:');
disp('-----');
for i=1:maxline
    if ((comprimento(i)<=lim1)&(comprimento(i)>=lim2))
        disp('Tipo1:      '); disp(tipo1(i));
        disp('Nome:       '); disp(nome(i));
        disp('Tipo2:      '); disp(tipo2(i));
        disp('Comprimento: '); disp(comprimento(i));
        disp('Largura:   '); disp(largura(i));
        disp('-----');
    end;
end;
```

Todos os tópicos descritos que descrevem a segunda e a terceira parte do segundo módulo da Figura 5.1 podem ser compilados na seguinte seqüência lógica:

```
clear all

%Lê o banco de dados%
[nome,tipo1,tipo2,comprimento,largura]=textread('Tipos de Embarcacoes.txt','%s %s
%s %f %f',5000);

%Verifica o número de linhas do arquivo Tipo de Embarcações%
maxline=size(comprimento);

%Solicita o valor medido no algoritmo%
medida=input('Digite o comprimento encontrado:');

%Define o intervalo a ser testado (desvio padrão)%
intervalo=16;

%Define os limites do intervalo referentes ao valor medido%
lim1=medida+intervalo;
lim2=medida-intervalo;
```



```
disp('Possíveis Embarcações:');
disp('-----');
for i=1:maxline
    if ((comprimento(i)<=lim1)&(comprimento(i)>=lim2))
        disp('Tipo1:    '); disp(tipo1(i));
        disp('Nome:     '); disp(nome(i));
        disp('Tipo2:     '); disp(tipo2(i));
        disp('Comprimento: '); disp(comprimento(i));
        disp('Largura:   '); disp(largura(i));
        disp('-----');
    end;
end;
```

A título de exemplo, para um valor de 220 metros de comprimento, o programa de busca fornecerá os seguintes resultados:

```
>> busca
Digite o comprimento encontrado: 220
Possíveis Embarcações:
-----
Tipo1:
  'Mercante'

Nome:
  'FLINDERS-BAY'

Tipo2:
  'CONTENTOR'

Comprimento:
  227.3100

Largura:
  30.5600
-----
Tipo1:
  'Mercante'

Nome:
  'FORT-ROYAL'

Tipo2:
  'CONTENTOR'
```



Comprimento:  
210.0100

Largura:  
32.2600

-----  
Tipo1:  
'Mercante'

Nome:  
'NORSUL-RIO'

Tipo2:  
'CONTENTOR'

Comprimento:  
224.9800

Largura:  
32.2600

-----  
Tipo1:  
'Mercante'

Nome:  
'ADEMONTASA'

Tipo2:  
'GRANELEIRO'

Comprimento:  
217.5800

Largura:  
29.6200

-----  
Tipo1:  
'Mercante'

Nome:  
'CASTILHO-DE-OLIVENZA'

Tipo2:  
'GRANELEIRO'



Comprimento:  
218.4500

Largura:  
28.2800

-----  
Tipo1:  
'Mercante'

Nome:  
'FORT-DESAIX'

Tipo2:  
'GRANELEIRO'

Comprimento:  
214.8700

Largura:  
31.0400

-----  
Tipo1:  
'Mercante'

Nome:  
'ORANGE-MELODY'

Tipo2:  
'PASSAGEIRO'

Comprimento:  
220.5200

Largura:  
17.5000

-----  
Tipo1:  
'Mercante'

Nome:  
'STAR-ODYSSEY'

Tipo2:  
'PASSAGEIRO'



Comprimento:  
205.4700

Largura:  
25.2000

-----  
Tipo1:  
'Mercante'

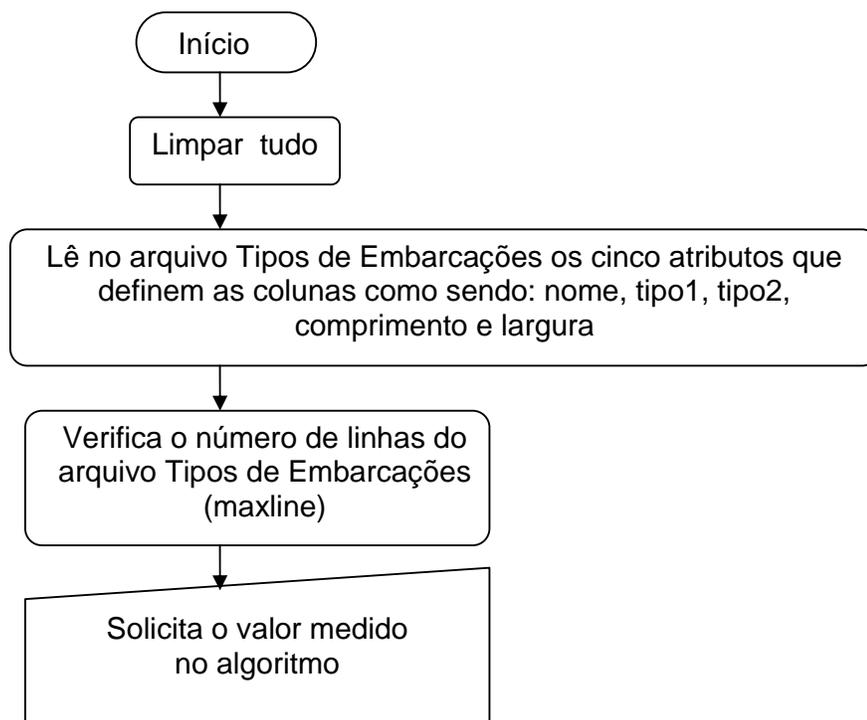
Nome:  
'ERA'

Tipo2:  
'PETROLEIRO'

Comprimento:  
230.0300

Largura:  
46.1800  
-----

A Figura 5.20 demonstra o fluxograma que representa o programa para buscar de forma automática as possíveis embarcações no banco de dados. Este fluxo é o esquema de montagem da estrutura lógica das páginas 124 a 125.



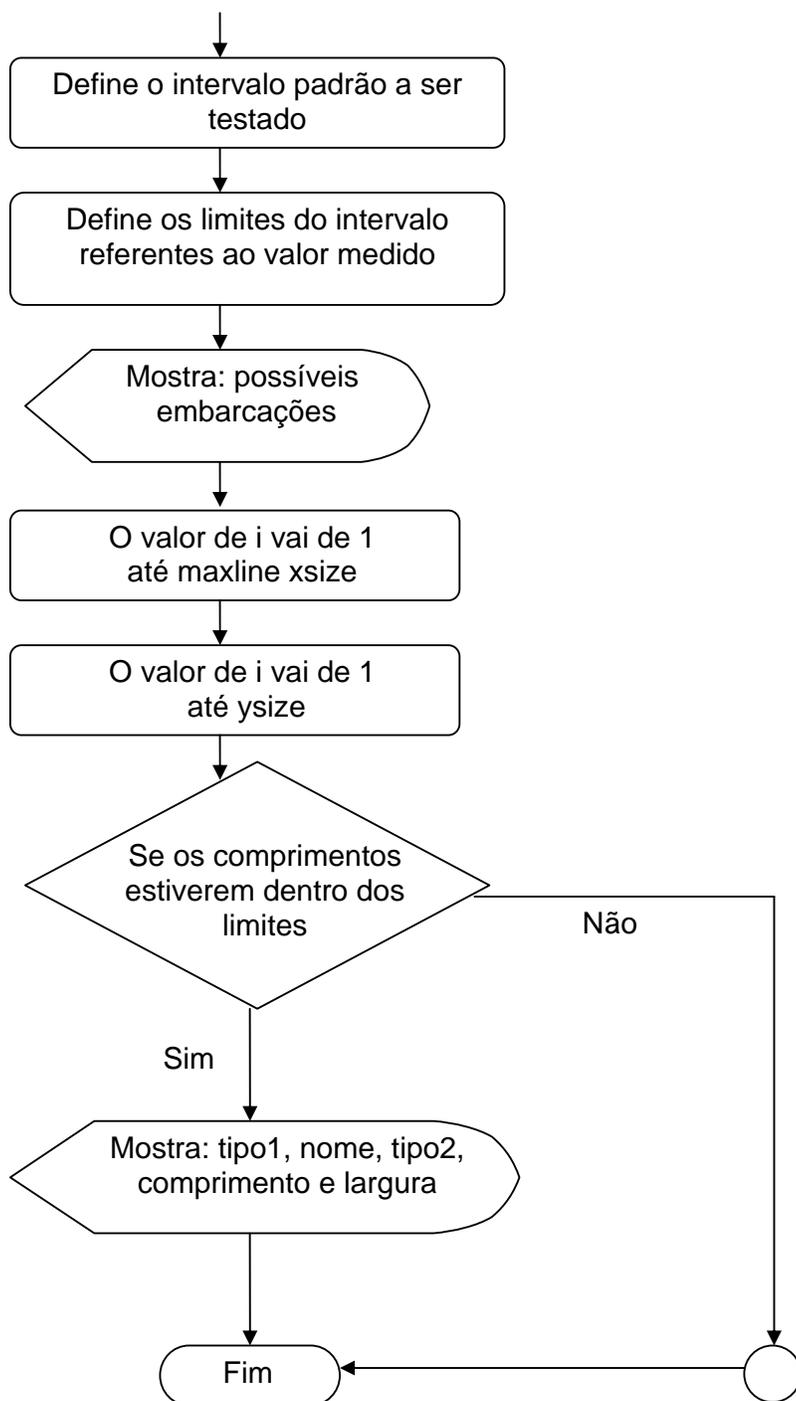


Figura 5.29: Fluxograma do processo para realizar a busca no banco de dados.



Por fim, o algoritmo trabalhou em função da tonalidade e do tamanho, elementos identificados no Capítulo 4. Tendo, como parâmetros, o limite de corte, a espaçamento de pixel e o fator de ajuste, utilizando-se de estruturas de repetição *for-end* e de fluxo *if-else-end*, e aplicação do teorema de Pitágoras, foi possível desenvolver um algoritmo de medição automática de embarcações em imagens SAR. Dentro de um erro de  $\pm 16$  metros, tornou-se possível diferenciar embarcações militares de mercantes, bem como relacionar possíveis tipos de embarcações. Os resultados são mais confiáveis quando as embarcações estão no mar, sem influências do cais.



## CONCLUSÃO

Considerando o primeiro objetivo desta dissertação, que é de identificar os métodos de geoprocessamento, o tipo de realce de contraste, os filtros morfológicos, os classificadores e os transformadores que favorecem a melhor identificação de embarcações em imagens SAR da Área Marítima do Brasil, que permitiram estabelecer uma metodologia de interpretação de alvos em imagens SAR, chegou-se os seguintes resultados:

- após a aplicação dos contrastes linear 2%, gaussiano, equalização, raiz quadrada e contraste de 50 a 200, observou-se que as menores médias e os maiores desvios-padrões representam o melhor contraste, o de 50 a 200;

- após a aplicação dos filtros morfológicos dilatação, erosão, abertura e fechamento, obtiveram-se resultados ótimo e bom, respectivamente, nos filtros abertura e erosão, os quais apresentaram menores valores de média e desvio-padrão;

- na obtenção de uma composição de imagens SAR de baixa correlação, as melhores foram  $L_{HH}$ ,  $L_{VV}$ ,  $L_{HV}$  e  $L_{HH}$ ,  $L_{VV}$  e  $L_{VH}$ ;

- após a aplicação dos classificadores não supervisionados, Isodata e K-médias, e supervisionados, paralelepípedo, distância mínima, distância Mahalanobis, máxima verossimilhança, SAM, SID, *binary encoding* e SVM, observou-se que os classificadores distância mínima e SVM apresentaram os pixels mais bem classificados. O índice Kappa do melhor classificador, o SVM, foi de 0,9; e

- após a aplicação dos transformadores realce por decorrelação, realce de saturação e SCI, verificou-se que a maior média é a representação das imagens que permite uma melhor identificação dos elementos de interpretação. Estes resultados demonstram que o transformador SCI foi o mais apropriado para interpretação de imagens SAR.

Considerando o segundo objetivo desta dissertação, o de relacionar os elementos de interpretação com as fases da interpretação, bandas, polarizações, filtros morfológicos, classificador e transformador, chegou-se aos seguintes resultados:



- os elementos forma, tamanho e tonalidade são perceptíveis visualmente nas imagens SAR; e

- nos níveis de detecção e de reconhecimento é cabível visualizar uma embarcação com o auxílio da forma, tamanho e tonalidade. Porém, não se pode diferenciar uma embarcação militar de uma mercante. Na fase de análise, é possível conhecer se é uma embarcação militar ou mercante com ajuda da forma e do tamanho. Na etapa da dedução, é cabível distinguir as embarcações militares das mercantes com a ajuda da forma, do tamanho e da tonalidade. No nível da classificação, nenhum elemento de interpretação é aceitável para diferenciar embarcações.

Por fim, para o último objetivo desta dissertação, o de distinguir embarcações entre si em imagens SAR, utilizando-se dos elementos de interpretação e análises estatísticas, chegou-se aos seguintes resultados:

- o algoritmo trabalhou em função da tonalidade e do tamanho. Tendo como parâmetros o limite de corte, a resolução espacial e o fator de ajuste, utilizando-se de estruturas de repetição for-end e de fluxo if-else-end, e aplicação do teorema de Pitágoras foi possível desenvolver um algoritmo de medição automática de embarcações em imagens SAR na linguagem de programação MATLAB. Dentro de um erro de  $\pm 16$  metros, torna-se possível diferenciar embarcações militares de mercantes, bem como relacionar possíveis tipos de embarcações, confrontando os resultados com uma banco de dados de 434 embarcações. Os resultados são mais confiáveis quando as embarcações estão no mar, sem influências do cais.



## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO Brasileira de Equipagens da Aviação de Patrulha. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <<http://www.abrapat.org.br>>. Acesso em 30 jan. 2010.

BISQUERRA, R.; SARRIERA, J. C.; MARTÍNEZ, F. **Introdução à Estatística**. Enfoque Informático com o Pacote Estatístico SPSS. Artmed Editora S. A. São Paulo, SP: [s.n.], 2004.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. **Embarcações**. Brasília, DF: [s.n.], 2000.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. **Doutrina Básica da Aeronáutica**. Brasília, DF: [s.n.], 2005.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. **Reconhecimento e Interpretação de Objetivos**. Brasília, DF: [s.n.], 1999.

BRASIL. Decreto nº 1.265, de 11 de outubro de 1994. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Poder Executivo. Brasília, DF: [s.n.], 1994.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretária de Educação Básica. **A Importância do Mar na História do Brasil**. Brasília, DF: [s.n.], 2006.

CENTRO de Comunicação Social da Marinha. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <<http://www.naval.com.br/biblio/biblio2/PNOnline-Dossies-petroleo.htm>>. Acesso em: 28 jan. 2010.

CENTRO TÉCNICO AEROESPACIAL. Instituto de Estudos Avançados. **Princípios Físicos de Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos, SP: [s.n.], 2000.

COMPANHIA Docas do Estado de São Paulo. São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.portodesantos.com/codesp.php>>. Acesso em: 01 fev. 2010.

COMPANHIA Docas do Espírito Santo. Vitória, Espírito Santo, 2007. Disponível em: <<http://www.portodevitoria.com.br>>. Acesso em: 01 fev. 2010.



CONSERVAÇÃO da Natureza. Brasil, 2010. Disponível em: <<http://www.wwf.org.br>>. Acesso em: 25 jan. 2010.

CONVENÇÃO das Nações Unidas sobre os Direitos do Mar. Nova Iorque, EUA, 1996. Disponível em: <<http://www.gddc.pt/siii/im.asp?id=396>>. Acesso em: 28 jan. 2010.

DAMIÃO, D. P. **Princípios Físicos de Sensoriamento Remoto**. Instituto de Estudos Avançados. Centro Técnico Aeroespacial. São José dos Campos, SP: [s.n.], 2000.

DAMIÃO, D. P.; MÁXIMO, O. V. **Elementos de Imageamento Radar**. Instituto de Estudos Avançados. Centro Técnico Aeroespacial. São José dos Campos, SP: [s.n.], 2001.

DAMIÃO, D. P.; MENDES, V. L.; ROCHA, A.; FERNANDES, F. T.; BARROS, F. M. **Sensoriamento Remoto Fotointerpretação II**, Instituto de Estudos Avançados. São José dos Campos, SP: [s.n.], 2001.

DAVIS, J. C. **Statistics and Data Analysis in Geology**. 2<sup>nd</sup> Ed. Canada: [s.n.], 1973.

DEPARTAMENTO Nacional de Produção Mineral. Brasília, DF, 2010. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br>>. Acesso em: 25 jan. 2010.

ELDHUSET, K. **An Automatic Ship and Ship Wake Detection System for Spaceborne SAR Images in Coastal Regions**. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, v. 34, n. 4, p. 1010-1019, July 1996.

ESCRITÓRIO das Nações Unidas contra Drogas e Crimes. Vienna, Áustria, 2007. Disponível em: <<http://www.unodc.org/brasil>>. Acesso em: 30 jan. 2010.

ENVI, Guia do ENVI em português. Porto Alegre, 2010. Disponível em: <<http://www.envi.com.br>>. Acesso em: 10 jan. 2010.

FERNANDEZ, G. A. V. **Taxa de correlação entre diferentes polarizações das bandas L e X de imagens SAR adquiridas pelo R99-B do SIPAM visando**



**mapeamento de corte seletivo.** Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 7057-7062.

GAMBARDELLA, A; NUNZIATA, F; MIGLIACCIO, M. **A Physical Full-Resolution SAR Ship Detection Filter.** IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, v. 5, n. 4, p. 760-763, October 2008.

GESISKY, J. Brasil, 2008. Disponível em: <<http://www.brasiloste.com.br/noticia/1176/producao-pesqueira>>. Acesso em: 28 jan. 2010.

GOTTARDO, T. V.; VIEIRA, C. A. O. **Comparação entre o uso de filtros e classificadores em uma imagem de radar, em ambiente SPRING.** Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 6919-6926.

JENSEN, J.R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente.** Uma Perspectiva em Recursos Terrestres. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2ª ed., 2009.

FREUND, J. E.; SIMON, G. A. **Estatística Aplicada.** Editora Bookman. Porto Alegre, RS: [s.n.], 2000.

LOPES, G.O.; LIMA, C. A. **Características e aplicações das imagens SAR na identificação de alvos na Região Amazônica.** Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 7323-7330.

MARINHA do Brasil. Rio de Janeiro, 2003. Disponível em: <<http://www.mar.mil.br>>. Acesso em: 03 jan. 2010.

MAXIMO, O. A.; FERNANDES, D. **Classificação supervisionada de imagens SAR do SIVAM pré-filtradas.** Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 4139-4146.

MECOCCI, A.; BENELLI, G.; GARZELLI, A.; BOTTALICO, S. **Radar Image Processing for Ship-Traffic Control.** Elsevier Science B. V. v 13, n 2, p. 119-128, March 1995.



MOREIRA, R. C. **Espectroscopia por Imageamento**. Instituto de Estudos Avançados. Centro Técnico Aeroespacial. São José dos Campos, SP: [s.n.], 2002.

MATHER, M. P. **Computer Processing of Remotely Sensed Images**. England: [s.n.], Wiley, 2006.

NEGRA, C. A. S. **Manual de Trabalhos Monográficos de Graduação, Especialização, Mestrado e Doutorado**. 2ª Edição. Editora Atlas S. A. São Paulo, SP. 2004.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto**. Princípios e Aplicações. 3ª Edição revista e ampliada. Editora Blucher. São Paulo, SP. 2008.

O PETRÓLEO e o Poder Naval Brasileiro. Rio de Janeiro, 2000. Disponível em: <[http://www.mar.mil.br/menu\\_v/ccsm/srpm.htm](http://www.mar.mil.br/menu_v/ccsm/srpm.htm)>. Acesso em: 25 jan. 2010.

ORGANIZAÇÃO Mundial do Turismo. Madri, Espanha, 2010. Disponível em: <<http://www.unwto.org>>. Acesso em: 25 jan. 2010.

REVISTA Veja. São Paulo, SP, 1997. Disponível em: <[http://veja.abril.com.br/130897/p\\_056.html](http://veja.abril.com.br/130897/p_056.html)>. Acesso em: 25 jan. 2010.

RECHIUTI, L. V. **Processamento de Imagens Digitais**. Instituto de Estudos Avançados. São José dos Campos, SP: [s.n.], 1996.

RICHARDS, J. A.; JIA, X. **Remote Sensing Digital Image Analysis**. New York: [s.n.], Springer, 2006.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 3ª ed., 1995.

SCHOWENGERDT, R. A. **Remote Sensing**. Models and Methods for Image Processing. San Diego: Academic Press, 3ª Edição, 2007.

SPIEGEL, M. R. **Estatística**. São Paulo: Editora McGraw-Hill do Brasil, 1972.



TEIXEIRA, S. G.; MARTINS, W. P.; FILHO, S. **Mapeamento de Ambientes Costeiros Tropicais (Golfão Maranhense, Brasil) Utilizando Imagens de Sensores Remotos Orbitais.** Revista Brasileira de Geofísica. p. 69-82, 2006.

TONINI, A. M.; SCHETTINO, D. N. **MATLAB para Engenharia.** Centro Universitário de Belo Horizonte, 1ª Edição. Belo Horizonte, MG. 2002.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada.** São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

VIDIGAL, A. A. F.; CUNHA, M. B.; FERNANDES, L. P. C.; MENDES, I. A.; SILVA, N.; OLIVEIRA, L. L.; JÚNIOR, O. B. C.; ALBUQUERQUE, A. T. M.; RODRIGUES, E. G.; ALMEIDA, J. A. N. **Amazônia Azul.** O Mar que nos Pertence. Rio de Janeiro: Editora Record, 2006, 305 p.



APÊNDICE A – Comprimento e largura de embarcações mercantes carga geral.

1	Nome	Comprimento	Largura
2	ANANGEL VICTORY	145,52	21
3	ALMIRANTE GRAÇA ARANHA	145,5	19,54
4	A. CHENG	91,45	14,25
5	A.J. 1	150,88	21,65
6	A. KING I	42,73	7,52
7	BENIAMR	87,00	13,49
8	BIANCA	140,98	20,48
9	CAPTAIN ADMIRAL	65,31	9,81
10	CAROLINE ISLAND	49,31	10,81
11	CAROLINE S.	119,89	20,55
12	CARROL VICTORY	138,77	18,93
13	DAE YANG NO. 5	36,99	8,31
14	DAESONG	120,61	17,66
15	ENGI ACE	97,00	18,20
16	ENLIVENER	161,02	25,40
17	ENTRE RIOS II	159,01	22,86
18	FLINTERLAND	84,55	13,60
19	FOFI	108,21	15,85
20	FOLKLAND	41,92	10,37
21	FRANINA	149,33	19,26
22	FRIEDJO	30,99	6,05
23	LACONIKOS	160,61	21,14
24	GULF ROSE	82,00	11,94
25	GUN	30,76	6,23
26	HUMBER ARM	135,63	18,60
27	INNOGY SPRITE	159,99	23,70
28	N/M L/L BRASIL	140,98	20,48
29	N/M LLOYD GENOVA	140,98	20,48
30	N/M LOIDE ARGENTINA	135,23	18,04
31	NEIDE	118,01	17,45
32	SUERTE	154,52	25,00

Navios Mercantes TM



APÊNDICE B – Comprimento e largura de embarcações mercantes graneleiro.

1	Nome	Comprimento	Largura
2	A. ALAMDAR	176,74	22,92
3	A. BARDIS	176,88	25,07
4	ADEMONTASA	217,58	29,62
5	ADJARIA	199,06	24,46
6	BOCEMAR	241,87	32,26
7	BENIGNITY	164,34	22,92
8	CASTILHO DE OLIVENZA	218,45	28,28
9	CASTILHO DE SAN JORGE	290,03	46,04
10	CASTILHO DE MONTALBAN	241,87	32,26
11	CAPTAIN B ATAMAN	199,90	27,87
12	DAEWOO SPIRIT	287,00	45,98
13	EPTA	173,16	26,67
14	EQUINOX	266,50	43,03
15	ERIMANTHIA	157,99	23,45
16	ESTHER	33,51	7,85
17	FLORA	160,38	24,64
18	FONNES	105,70	15,42
19	FROTAMERICA	193,81	27,64
20	FORT DESAIX	214,87	31,04
21	FUJISAN MARU	146,69	22,92
22	FUTURO	171,99	25,05
23	FYODOR VARAKSIN	151,75	21,06
24	G. DOST	191,29	22,94
25	GA CHAU	170,01	27,26
26	GAGICH	176,60	22,89
27	HERACLITO DANTAS	146,01	21,24
28	JACY RAMOS	107,57	16,44
29	NORSUL PIACAGUERA	146,01	21,32
30	NORSUL RECIFE	190,58	28,53
31	NORSUL TUBARAO	174,91	26,04
32	TUPI PONTA NEGRA	173,18	26,67

Navigation icons: back, forward, search, and a gear icon.

Navios Mercantes TMB



APÊNDICE C– Comprimento e largura de embarcações mercantes porta contentor.

1	Nome	Comprimento	Largura
2	ACX CANARY	149,00	21,50
3	ACX DAISY	186,00	28,60
4	ACX FRESIA	134,96	23,50
5	ACX JADE	109,00	18,00
6	ACX JASMIN	145,17	25,01
7	ACX LILY	174,00	27,60
8	ACX LOTUS	195,00	30,00
9	ACX SWAN	118,00	21,00
10	ACX VIOLET	181,00	28,00
11	ADABELLE LYKES	201,00	24,74
12	ALIANÇA BRASIL	200,23	32,20
13	ALIANÇA URCA	184,89	28,05
14	ALIANÇA EUROPA	200,05	32,23
15	ADDIRIYAH	183,24	27,49
16	ATLANTICO SUL	188,02	30,71
17	DOCELAGO	169,20	21,42
18	DOCELÍRIO	241,87	32,26
19	ERKA SUN	104,15	16,77
20	ESLA	99,73	15,30
21	FLEMMING SIF	133,70	22,98
22	FLICKERTAIL STATE	185,93	23,83
23	FLINDERS BAY	227,31	30,56
24	FONG YUN	147,50	19,23
25	FORT ROYAL	210,01	32,26
26	FRANCES L.	203,00	27,25
27	FROTA SANTOS	168,30	27,80
28	FROTA BELÉM	133,40	22,81
29	FRANCISCO FRANCO	106,23	18,81
30	LEBLON	184,89	28,40
31	MERCOSUL MANAUS	182,51	30,56
32	NORSUL RIO	224,98	32,26

Navigation icons: back, forward, search, and refresh. Text: **Navios Mercantes TMC**



APÊNDICE D – Comprimento e largura de embarcações mercantes roll-on e roll-off.

1	Nome	Comprimento	Largura
2	AUTOCARRIER	89,52	18,3
3	ALIANÇA IPANEMA	192,2	32,26
4	ADA GORTON	156,24	22,26
5	BENI SAF	76,31	14,36
6	BENIJOFAR	101,50	16,74
7	CARRIGALOE	49,20	12,93
8	CARONTE	76,51	17,00
9	CARRIER PRINCESS	115,83	20,22
10	CICERO	147,12	22,53
11	DAIHATSU MARU NO. 5	67,01	10,04
12	ERETRIA	52,76	10,39
13	ERIK P.	52,08	11,28
14	ERIMA CHIEF	44,18	9,28
15	ERNEST BEVIN	56,57	19,08
16	ETERNAL ACE	199,50	32,29
17	FAUST	199,02	32,09
18	FLEKKEROY	41,46	10,39
19	FLEUR DE LYS	122,81	18,36
20	FLIPPER	115,70	15,60
21	FLOYTIND	33,51	10,22
22	FOREST LINK	127,26	17,73
23	FUKIZURU MARU	76,50	15,22
24	FUKUTSURU MARU	71,58	14,03
25	FUKUYAMA MARU	63,25	14,18
26	GRAND BENELUX	176,50	31,10
27	GLOBAL ÁFRICA	147,7	25,82
28	INTREPIDO	173,42	27,30
29	JI DI	152,40	20,00
30	HUA PU	196,50	22,99
31	HUA FA	109,00	19,00
32	ROLLCARGO	149,84	23,27

◀ ▶ ⏪ ⏩ Navios Mercantes TME



## APÊNDICE E – Comprimento e largura de embarcações mercantes petroleiro.

1	Nome	Comprimento	Largura
2	A.G. FARQUHARSON	122,13	16,82
3	A. K.	85,10	14,03
4	ATAUFO ALVES	272,75	46
5	CARTOLA	272,75	46
6	CANDIOTA	160,92	26,04
7	CARRIER LT	168,76	25,94
8	CARAVELAS	160,92	26,04
9	CARSON	50,81	12,76
10	BICAS	243,7	41,64
11	DAFNI	60,79	9,78
12	DAGMAR MAERSK	236,20	39,93
13	DAHRA	90,20	13,62
14	ENOTRIA	169,65	24,82
15	ENTITY	123,30	20,05
16	EOS	243,97	45,67
17	ERA	230,03	46,18
18	ERIKA JACOB	170,69	25,94
19	ESSO AVON	91,27	13,11
20	ESSO BAYWAY	196,50	36,59
21	FLOTTBEK	91,72	13,64
22	FORMOSA FIVE	174,92	30,00
23	FRANK C.	66,20	11,51
24	FREDERICKSBURG	198,63	31,09
25	FUJIGAWA	149,00	22,80
26	FUJIHIRO MARU	34,70	7,80
27	ITAJUBA	182,2	32,02
28	JURUPEMA	273,52	44,51
29	MARACA	276,59	43,54
30	OCEANIA I	71,81	12,01
31	OWL TRADER	132,01	20,30
32	REBOUCAS	175,46	28,03

Navigation icons: back, forward, search, and a gear icon.

Navios Mercantes TMO



APÊNDICE F – Comprimento e largura de embarcações mercantes passageiro.

1	Nome	Comprimento	Largura
2	ASTORIA	164,35	22,89
3	ASUKA	190	24,7
4	CANBERRA	249,49	31,25
5	DAEDALUS	140,87	22,43
6	EUROPA	185,00	27,70
7	ENRICO COSTA	176,49	22,31
8	ESTONIYA	122,15	16,03
9	FREEWINDS	134,32	21,04
10	FUJI MARU	167,00	27,00
11	FULH AL SALAMAR	136,33	21,04
12	GALAPAGOS EXPLORER	95,71	12,53
13	GALLURA	122,99	17,68
14	GARNATA	151,47	21,09
15	GEN.SIMON B. BUCKNER	174,66	23,02
16	GENNARGENTU	122,08	17,53
17	GEORGIOS K.	60,03	11,41
18	GHAWDEX	88,25	16,24
19	GOLDEN VERGINA	115,02	18,11
20	GOLFO DEI POETI	150,50	19,38
21	GOTALAND	148,01	22,13
22	GRAIP	151,01	21,67
23	GRECIA EXPRESS	108,82	18,95
24	GRUZIYA	156,27	22,05
25	GWAREK	109,00	16,00
26	NORWAY	315,53	33,81
27	ORANGE MELODY	220,52	17,50
28	PACIFIC VENUS	183,40	25,00
29	SILVER WIND	155,00	21,40
30	STAR ODYSSEY	205,47	25,20
31	SEVEN SEAS NAVIGATOR	170,69	24,00
32	THE WORLD	196,35	29,20

◀ ◁ ▷ ▶ Navios Mercantes TMP



APÊNDICE G – Comprimento e largura de embarcações mercantes carga refrigerada.

1	Nome	Comprimento	Largura
2	DAIEI MARU NO. 52	47,83	7,68
3	BALTIC UNIVERSAL	145,50	22,64
4	CHIQUITA JOY	151,00	20,33
5	ENGLISH STAR	150,76	22,13
6	ENYOH MARU	93,88	16,01
7	ERIKSON CRISTAL	109,00	18,00
8	ESKIMO	57,10	10,04
9	FLORIDA REEFER	59,34	10,62
10	FLOWER GARDEN	105,24	15,52
11	FLOWER REEFER	99,17	13,03
12	FONG KUO NO. 807	89,87	15,40
13	FONG LEE NO. 7	46,18	8,80
14	FORTUNE REEFER	144,51	19,84
15	FUJI REEFER	144,96	18,75
16	FUKUSHIO	92,23	16,21
17	FULL MOON	126,08	19,00
18	GALIA CARMEL	148,29	19,54
19	GALANT HARVEST	141,59	21,01
20	GARDSUN	91,01	14,56
21	GEESTBAY	159,04	21,37
22	GENPUKUMARU NO. 75	49,00	8,21
23	GEORGIY AGAFONOV	91,90	13,60
24	LOGAN	138,00	21,20
25	IONIAN	145,57	17,81
26	IVORY GIRL	154,00	24,00
27	MARATHON REEFER	164,60	22,79
28	MAGELLAN PHOENIX	134,02	20,80
29	REEFER DOLPHIN	125,38	17,81
30	ROMAN BAY	150,01	22,80
31	TUNISIAN REEFER	164,65	21,06
32	WINTER SEA	169,22	25,76

Navios Mercantes TMR



APÊNDICE H– Comprimento e largura de embarcações militares tanque oficina.

1	Nome	Comprimento	Largura
2	ACHELOUS CLASS	100,00	15,30
3	ACHELOUS CLASS	100,00	15,20
4	ADITYA CLASS	172,00	23,00
5	AMSTERDAM CLASS	166,00	22,00
6	AMUR (PROJECT 304/304M) CLASS	122,00	17,00
7	BALTYK CLASS	84,80	13,10
8	BAMBUK (PROJECT 12884) CLASS	106,70	16,00
9	BORIS CHILIKIN (PROJECT 1559V) CLASS	162,1	21,4
10	DEEPAK CLASS	168,40	23,00
11	DUBNA CLASS	130,00	20,00
12	DURANCE CLASS	157,20	21,20
13	DURANCE CLASS	157,30	21,20
14	ETNA CLASS	146,5	21
15	KALININGRADNEFT CLASS	116,00	17,00
16	LCT 3 CLASS	58,60	9,50
17	MAINTENANCE and REPAIR SHIP	147,00	21,50
18	MOD ALTAY CLASS (PROJECT 160)	106,20	15,50
19	OIL TANKER	53,10	11,00
20	OLEKMA CLASS (PROJECT 92)	105,10	14,60
21	REPAIR SHIP	44,70	8,00
22	REPLENISHMENT SHIP	171,40	24,60
23	REPLENISHMENT SHIP (AOR)	151,70	22,80
24	REPLENISHMENT TANKER (AORH)	138,10	18,40
25	REPLENISHMENT TANKER (AOTL)	112,00	15,40
26	REPLENISHMENT TANKER (G23)	135,00	19,00
27	REPLENISHMENT TANKER (G27)	134,40	19,30
28	REPLENISHMENT TANKERS (TYPE 704)	130,2	19,3
29	ROVER CLASS	140,6	19,2
30	STROMBOLI CLASS	129,00	18,00
31	SUPE CLASS TANKER	66,80	9,52
32	UDA CLASS (PROJECT 577D)	122,10	15,80

Navios Militares TO



## APÊNDICE I – Comprimento e largura de embarcações militares contratorpedeiros.

1	Nome	Comprimento	Largura
2	ALMIRANTE BROWN (MEKO 360) CLASS (DDGHM)	125,9	14
3	ANDREA DORIA (HORIZON) CLASS (DDGHM)	150,60	17,50
4	ARLEIGH BURKE CLASS: GUIDED MISSILE DESTROYERS	153,80	20,40
5	ASAGIRI CLASS (DDGHM)	137,00	14,60
6	AUDACE CLASS (DDGHM)	136,60	14,20
7	CASSARD CLASS (TYPE F 70 (A/A)) (DDGHM)	139	14
8	DARING CLASS (DDGH)	118,90	13,10
9	DE LA PENNE (ex-ANIMOSO) CLASS (DDGHM)	147,70	16,10
10	DELHI CLASS (PROJECT 15/15A) (DDGHM)	163,00	17,00
11	FORBIN (HORIZON) CLASS (DDGHM)	151,60	20,30
12	GEORGES LEYGUES CLASS (TYPE F 70 (ASW)) (DDGHM)	139,00	14,00
13	HARUNA CLASS (DDHM)	153,00	17,50
14	HERCULES (TYPE 42) CLASS (DDGHM)	125,60	14,30
15	IROQUOIS CLASS (DDGHM)	129,80	15,20
16	KASHIN (PROJECT 61/61M) CLASS (DDGM)	144	15,8
17	KIMON (CHARLES F ADAMS) CLASS (DDGM)	133,20	14,30
18	KONGOU CLASS (DDGHM)	161,00	21,00
19	PARÁ (GARCIA) CLASS (FFHM)	126,30	13,50
20	PRAT (COUNTY) CLASS (DDGHM)	158,70	16,50
21	QUETZALCOATL (GEARING FRAM I) CLASS (DDH)	118,70	12,50
22	RAJPUT (KASHIN II) CLASS (PROJECT 61ME) (DDGHM)	146,50	15,80
23	SHIRANE CLASS (DDHM)	159,00	17,50
24	SOVREMENNY (SARYCH) CLASS (PROJECT 956/956A) (DDGHM)	156,00	17,30
25	SPRUANCE CLASS: DESTROYERS (DDGHM)	171,70	16,80
26	SUFFREN CLASS (DDGM)	157,60	15,50
27	TACHIKAZE CLASS (DDGM)	143,00	14,30
28	TAKANAMI CLASS (DDGHM)	151	17,4
29	TOURVILLE CLASS (TYPE F 67) (DDGHM)	152,80	15,80
30	TYPE 052B CLASS (DDGHM)	154,00	17,00
31	TYPE 052C CLASS (DDGHM)	154,00	17,00
32	YAMAGUMO CLASS (DDM/DDK)	114,90	11,80

Navios Militares CT



## APÊNDICE J – Comprimento e largura de embarcações militares corvetas.

1	Nome	Comprimento	Largura
2	ABHAY (PROJECT 1241 PE) (PAUK II) CLASS (FSM)	57,6	10,2
3	BARROSO CLASS (FSGH)	103,40	11,40
4	EILAT (SAAR 5) CLASS (FSGHM)	85,00	11,90
5	ESMERALDAS CLASS (FSGHM)	62,30	9,30
6	INHAÚMA CLASS (FSGH)	95,80	11,40
7	JOÃO COUTINHO CLASS (FSH)	84,6	10,3
8	K130 CLASS (FSGHM)	88,30	13,20
9	MINERVA CLASS (FSM)	86,60	10,50
10	PAUK II CLASS (PROJECT 1241PE) (FSM)	57,60	10,20
11	PCE 827 CLASS (FS)	56,30	10,10
12	BADR CLASS (FSG)	74,70	9,60
13	BAPTISTA DE ANDRADE CLASS (FSH)	84,60	10,30
14	DERGACH (SIVUCH) (PROJECT 1239) CLASS (PGGJM)	64,50	17,00
15	NIKI (THETIS) (TYPE 420) CLASS (GUNBOATS) (FS)	70,00	8,20
16	ORKAN (SASSNITZ) CLASS (PROJECT 660 (ex-151)) (FSGM)	49,8	8,7
17	DURG (NANUCHKA II) (PROJECT 1234) CLASS (FSGM)	59,30	11,80
18	KHUKRI CLASS (PROJECT 25) (FSGHM)	91,10	10,50
19	ZBORUL (TARANTUL I) CLASS (PROJECT 1241 RE) (FSG)	56,10	11,50
20	SCORPION (PROJECT 12300) CLASS (FSGM)	56,80	10,80
21	AUK CLASS (FS)	67,40	9,80
22	DONG HAE CLASS (FS)	78,10	9,60
23	LETYASHTI (POTI) CLASS (PROJECT 204) (FS)	60,00	8,00
24	NANUCHKA II (BURYA) CLASS (PROJECT 1234)	59,30	11,80
25	TARANTUL (MOLNYA) (PROJECT 1241.1/1241.1M/1241.1MP/1242.1)	56,10	11,50
26	VEER (TARANTUL I) CLASS (PROJECT 1241RE) (FSGM)	56,10	11,50
27	TAPI (PF 103) CLASS (FS)	83,80	10,00
28	TARANTUL CLASS (PROJECT 1241) (FSGM)	56,1	11,5
29	PATROL SHIP (FSH/AXL/AGS)	62,00	10,70
30	NANUCHKA II (PROJECT 1234) CLASS	59,30	11,80
31	GORNIK (TARANTUL I) CLASS (PROJECT 1241RE) (FSGM)	56,10	11,50
32	KORA CLASS (PROJECT 25A) (FSGHM)	91,10	10,50

Navios Militares Cor



## APÊNDICE K – Comprimento e largura de embarcações militares fragata.

1	Nome	Comprimento	Largura
2	ABUKUMA CLASS (FFGM/DE)	99,1	11,3
3	ALLENDE (KNOX) CLASS (FFHM)	131,20	14,80
4	ALMIRANTE PADILLA CLASS (TYPE FS 1500) (FLGHM)	113,20	11,30
5	ALVARO DE BAZÁN CLASS (FFGHM)	102,70	11,70
6	ARTIGLIERE (LUPO) CLASS (FLEET PATROL SHIPS) (FFGHM)	80,00	10,30
7	BALEARES (F 70) CLASS (FFGM)	91,2	11,1
8	BRANDENBURG CLASS (TYPE 123) (FFGHM)	134,70	16,40
9	BRAVO (BRONSTEIN) CLASS (FFH)	92,30	11,30
10	BROADSWORD CLASS (TYPE 22) (FFGHM)	113,40	13,10
11	CARVAJAL (LUPO) CLASS (FFGHM)	113,20	11,30
12	COMANDANTE JOÃO BELO CLASS (FF)	115,90	14,80
13	COMMANDANT RIVIÈRE CLASS (FF)	132,00	15,00
14	DRUMMOND (TYPE A 69) CLASS (FFG)	143,00	16,90
15	ESPORA (MEKO 140) CLASS (FFGH)	135,60	13,70
16	FLORÉAL CLASS (FFGHM)	129,2	13,5
17	GODAVARI CLASS (PROJECT 16) (FFGHM)	113,50	11,00
18	HALIFAX CLASS (FFGHM)	137,70	14,30
19	HYDRA CLASS (MEKO 200HN) (FFGHM)	122,70	12,90
20	JIANGHU I (TYPE 053H) CLASS (FFG)	124,20	15,40
21	LA FAYETTE CLASS (FFGHM)	103,20	10,80
22	LEANDER CLASS (FFGHM)	117,00	14,80
23	MAESTRALE CLASS (FFGHM)	126,50	14,50
24	MANUEL AZUETA (EDSALL) CLASS (FF/AX)	93,50	14,00
25	MODIFIED LUPO CLASS (FFGHM)	113,20	12,30
26	NILGIRI (LEANDER) CLASS (FFH)	133,60	14,30
27	NITERÓI CLASS (FFGHM)	113,20	11,30
28	OLIVER HAZARD PERRY CLASS: GUIDED MISSILE FRIGATES	134	14,3
29	SANTA MARIA CLASS (FFGHM)	109,00	13,40
30	SHIVALIK (PROJECT 17) CLASS (FFGHM)	146,70	18,60
31	TYPE 054 CLASS (FFGHM)	126,90	16,70
32	VASCO DA GAMA (MEKO 200) CLASS (FFGHM)	102,70	11,70

Navios Militares Frg



## APÊNDICE L – Comprimento e largura de embarcações militares hospital / hidrográficos.

1	Nome	Comprimento	Largura
2	ALMEIDA CARVALHO	63,60	12,00
3	AMORIM DO VALLE	47,50	10,50
4	ANDRÔMEDA	31,40	7,70
5	ANTARES	55,00	10,50
6	ARY RONGEL	75,30	13,00
7	BARUNA JAYA I	60,40	12,10
8	CARLOS CHAGAS	47,20	8,50
9	CLASSE SIRIUS	78,00	12,10
10	COMODORO RIVADAVIA	52,20	8,80
11	CRUZEIRO DO SUL	65,70	11,00
12	D. CARLOS I	68,30	13,10
13	DANA	78,43	14,70
14	DENTI	34,70	6,60
15	DOUTOR MONTE NEGRO	47,20	8,50
16	ESPERANZA DEL MAR	98,00	18,00
17	GAGO COUTINHO	68,30	13,10
18	GARNIER SAMPAIO	47,50	10,50
19	HMAS LEEUWIN	71,20	15,20
20	HMAS MELVILLE	71,20	15,20
21	HMAS MERMAID	36,60	12,80
22	HMAS PALUMA	36,60	12,80
23	HNLMS SNELLIUS	75,00	13,10
24	HYDROGRAPHIC LAUNCH (YGS)	65,50	10,20
25	JALANIDHI	53,90	9,50
26	NRP AURIGA	31,40	7,70
27	OSWALDO CRUS	47,20	8,50
28	PLANET	80,4	12,6
29	PYTHEAS	50,20	9,60
30	TAURUS	47,50	10,50
31	TENENTE MAXIMIANO	47,20	8,50
32	VINCENZO MARTELLOTTA	44,60	7,90

Navios Militares HOS HID



## APÊNDICE M – Comprimento e largura de embarcações militares patrulha.

1	Nome	Comprimento	Largura
2	ACUARIO CLASS (COMBATBOAT 90HMN) (PBF)	15,90	3,8
3	ALBATROS CLASS (TYPE 143B)	57,60	7,80
4	ALBATROZ CLASS (RIVER PATROL CRAFT) (PBR)	23,60	5,60
5	ALBORAN CLASS (OFFSHORE PATROL CRAFT) (PSO)	66,5	11
6	ALIYA (SAAR 4.5) CLASS	61,70	7,60
7	ARAUCA CLASS (RIVER GUNBOATS) (PBR)	49,90	8,30
8	ARGOS CLASS (RIVER PATROL CRAFT) (PBR)	27,20	5,90
9	ARRECIFE (ex-OLMECA II) CLASS	16,70	4,40
10	ASHEVILLE CLASS (FAST ATTACK CRAFT-GUN) (PGF)	50,10	7,30
11	BRACUI (RIVER) CLASS (COASTAL PATROL CRAFT) (PBO)	47,5	10,5
12	BOUCHARD CLASS (PATROL SHIPS) (PBR)	60,00	7,30
13	BROADSWORD CLASS (COASTAL PATROL CRAFT) (PB)	32,00	6,20
14	CAPE CLASS (LARGE PATROL CRAFT) (PB)	28,90	6,20
15	CASMA (SAAR 4) CLASS	58,10	7,60
16	CHEROKEE CLASS (PATROL SHIPS) (PSO)	62,5	11,7
17	COAST GUARD PATROL CRAFT (WPB)	22,00	5,00
18	CONSTITUCIÓN CLASS	36,90	7,10
19	CORMORAN CLASS	56,60	7,50
20	DAUNTLESS CLASS (PBR)	12,20	4,30
21	DELFIN CLASS (INSHORE PATROL CRAFT) (PBI)	7,90	2,60
22	GRAJAÚ CLASS (LARGE PATROL CRAFT) (PBO)	46,50	7,50
23	GRUMETE DIAZ (DABUR) CLASS	19,80	5,50
24	GUACOLDA CLASS (COASTAL PATROL CRAFT) (PB)	36,00	5,60
25	INTREPIDA CLASS (TYPE TNC 45)	44,90	7,40
26	ITAIPIÚ CLASS (RIVER DEFENCE VESSEL) (PBR)	46,30	8,50
27	JAIME GÓMEZ (Mk III PB) CLASS	19,80	5,50
28	KING CLASS (PATROL SHIPS) (AX)	77	9
29	PIRATINI CLASS	29,00	5,80
30	RORAIMA CLASS (RIVER PATROL SHIPS) (PBR)	46,30	8,50
31	TOLEDO CLASS (LARGE PATROL CRAFT) (PB)	35,40	7,60
32	TRACKER II (LPPN-2) CLASS (COASTAL PATROL CRAFT) (PB)	20,90	5,20

Navios Militares Pt



## APÊNDICE N – Comprimento e largura de embarcações militares varredor.

1	Nome	Comprimento	Largura
2	ADDRIYAH (MSC 322) CLASS	46,60	8,20
3	ADJUTANT CLASS	44,20	8,50
4	AL JAWF (SANDOWN) CLASS	52,70	10,50
5	ANTARÈS (BRS) CLASS	28,30	7,70
6	ARATÚ (SCHÜTZE) CLASS	47,20	7,20
7	AVENGER CLASS	68,4	11,9
8	CITY CLASS	47,10	8,30
9	DIVER SUPPORT SHIP	63,00	10,60
10	ÉRIDAN (TRIPARTITE) CLASS (MINEHUNTERS) (MHC)	51,50	8,90
11	FRANKENTHAL CLASS (TYPE 332)	54,50	9,20
12	HATSUSHIMA/UWAJIMA CLASS	55,00	9,40
13	HUNT CLASS	60,00	10,40
14	KINGSTON CLASS	55,30	11,30
15	KONDOR II CLASS	56,70	7,50
16	KULMBACH CLASS	54,40	9,20
17	LERICI/GAETA CLASS	50,00	9,90
18	LIDA (SAPFIR) (PROJECT 10750)	31,50	6,50
19	MAHÉ (YEVGENYA) CLASS	24,60	5,50
20	MCM DIVING TENDERS	41,60	7,50
21	MINESWEEPING DRONES	39,80	5,86
22	MSC 268 CLASS (MINESWEEPER-COASTAL)	43,9	8,5
23	NATYA I (AKVAMAREN) (PROJECT 266M) CLASS	61,00	10,20
24	OSPREY CLASS	57,20	11,00
25	PONDICHERRY (NATYA I) CLASS (PROJECT 266M)	61,00	10,20
26	PULAU RENGAT (TRIPARTITE) CLASS	51,5	8,9
27	RIVER CLASS	48,00	8,50
28	SEEHUND	26,9	4,6
29	SEGURA CLASS	51,00	10,70
30	SONYA CLASS	48,00	8,80
31	T 43 CLASS (TYPE 010)	60,00	8,80
32	YEVGENYA CLASS	24,60	5,50

Navios Militares Vr



APÊNDICE O – Imagens óptica (Landsat) e SAR do Porto de Santos.

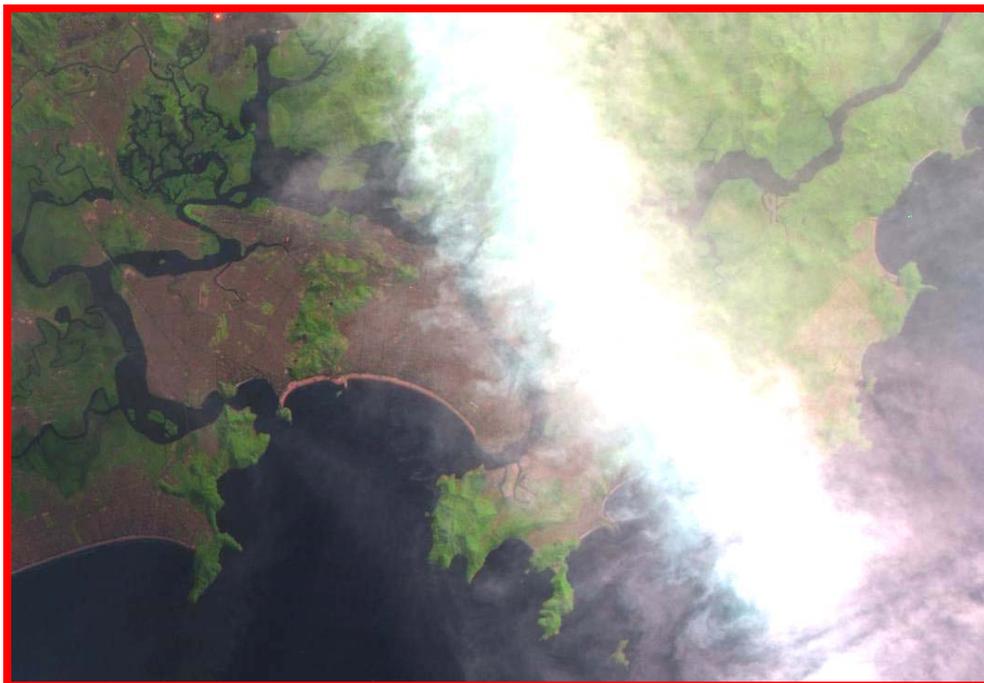


Imagem Landsat-5, RGB 543, Porto de Santos.

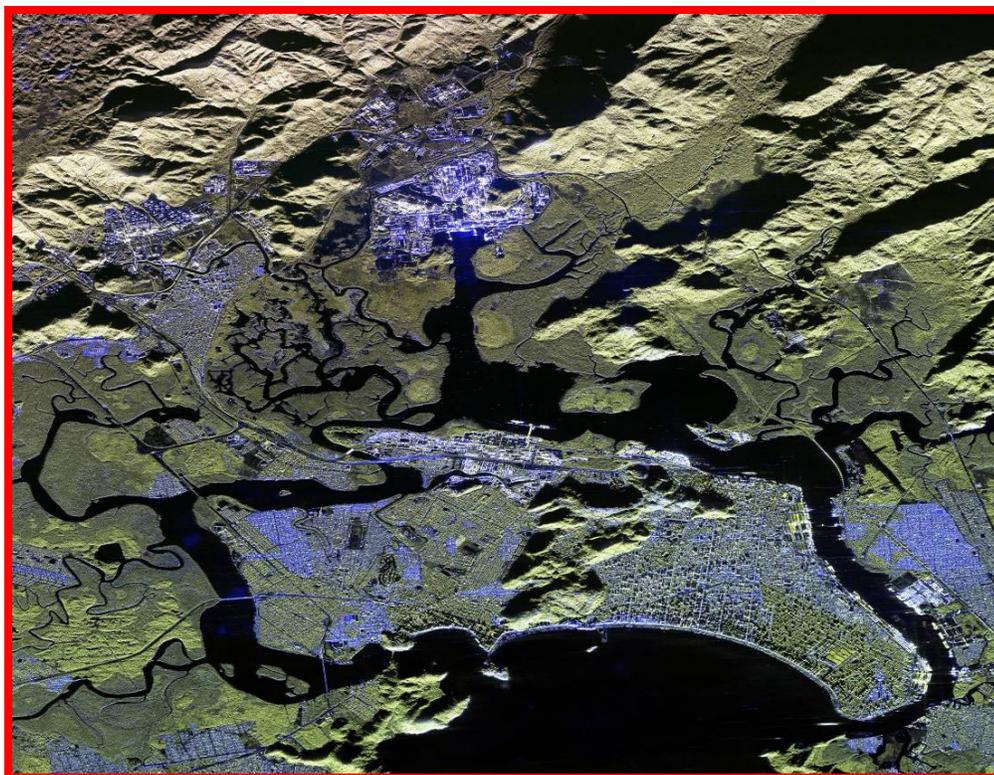


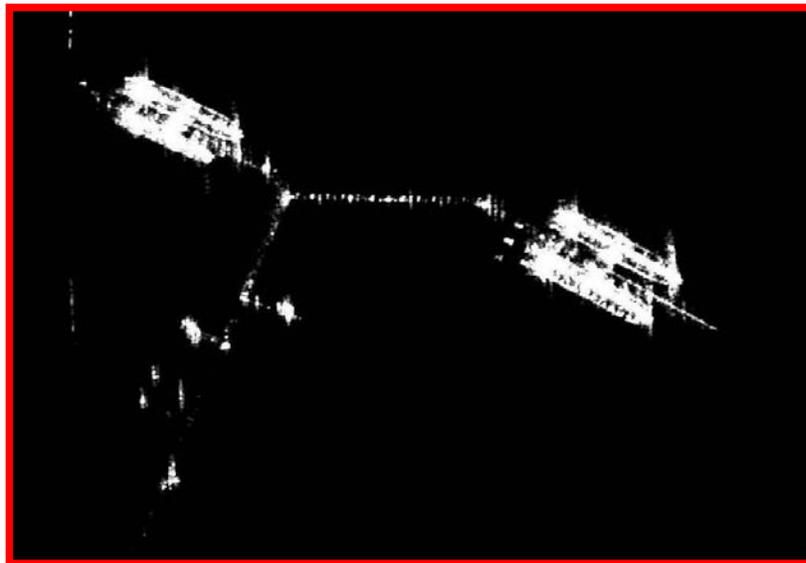
Imagem SAR do R 99 XHH\_LHV\_LHH, Porto de Santos.



APÊNDICE P – Embarcações Mercantes em Imagens SAR.



Imagem SAR do R 99 LVV\_LVH\_LHH – Porto de Santos – SP.



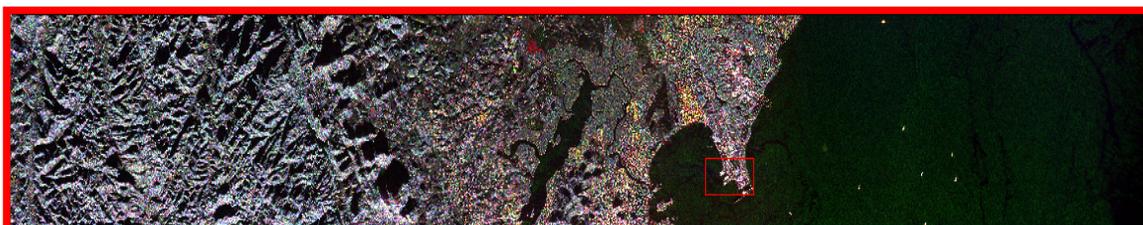
Embarcações Mercantes.



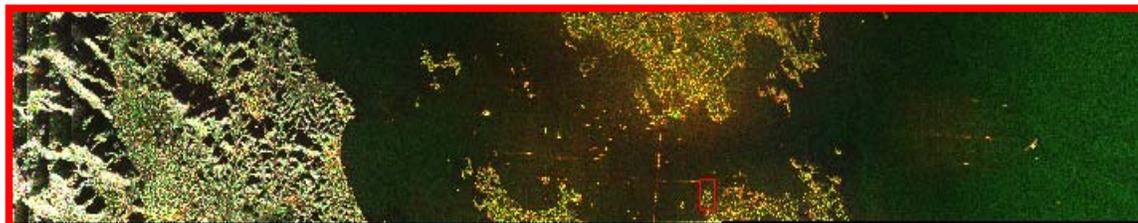
APÊNDICE Q – Imagens SAR da Aeronave R 99 das Áreas de Estudo.



Porto de Santos.



Porto de Tubarão.



Baía de Guanabara.