



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PESCA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PESCA

CAIO SILVIO BRAZ PEIXOTO DA SILVA

**UTILIZAÇÃO DE IMAGENS SPOT 5 NA DETECÇÃO DE EMBARCAÇÕES
MARÍTIMAS BRASILEIRAS COMO SUPORTE AO PROGRAMA DE
RASTREAMENTO DE EMBARCAÇÕES POR SATÉLITES.**

FORTALEZA
SETEMBRO/2009

CAIO SILVIO BRAZ PEIXOTO DA SILVA

**UTILIZAÇÃO DE IMAGENS SPOT 5 NA DETECÇÃO DE EMBARCAÇÕES
MARÍTIMAS BRASILEIRAS COMO SUPORTE AO PROGRAMA DE
RASTREAMENTO DE EMBARCAÇÕES POR SATÉLITES.**

Dissertação de Mestrado submetida à
Coordenação do Programa de Pós-
Graduação em Engenharia de Pesca da
Universidade Federal do Ceará como
requisito parcial para obtenção do grau de
mestre em Engenharia de Pesca.

Orientador: Prof. Dr. Luis Parente Maia

**FORTALEZA
SETEMBRO/2009**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S579u Silva, Caio Sílvio Braz Peixoto.
Utilização de imagens Spot 5 na detecção de embarcações marítimas brasileiras como suporte ao Programa de Rastreamento de Embarcações por Satélites / Caio Sílvio Braz Peixoto Silva. – 2009.
204 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Pesca, Fortaleza, 2009.
Orientação: Prof. Dr. Luis Parente Maia.
Coorientação: Profa. Dra. Cristina Corbane .
1. Navios -detecção de embarcações. 2. Pesca - monitoramento. 3. Sensoriamento remoto. I. Título.
CDD 639.2
-

CAIO SILVIO BRAZ PEIXOTO DA SILVA

**UTILIZAÇÃO DE IMAGENS SPOT 5 NA DETECÇÃO DE EMBARCAÇÕES
MARÍTIMAS BRASILEIRAS COMO SUPORTE AO PROGRAMA DE
RASTREAMENTO DE EMBARCAÇÕES POR SATÉLITES.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Pesca da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Engenharia de Pesca. Área de concentração: Recursos Pesqueiros e Meio Ambiente.

Aprovada em: 03 / 9 / 2009

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Luis Parente Maia (Orientador)
Laboratório de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Raimundo Nonato
Departamento de Engenharia de Pesca da Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Fábio Perdigão Vasconcelos
Departamento de Geografia da Universidade Estadual do Ceará (UECE)

Dedico este trabalho aos meus pais, Sílvio e Rita, com amor e gratidão.

Aos meus filhos queridos, Lourenço e Lara.

À Ana Lúcia, esposa, pelo apoio e suporte afetivo constantes.

E ainda, aos valorosos colegas Engenheiros de Pesca do Brasil que abraçam com humildade a gigantesca tarefa de estudar e explorar nossos mares e águas continentais no limite da sustentabilidade ambiental.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Ceará, através do Departamento de Engenharia de Pesca, e a todos que trabalharam pela concretização dos cursos de Pós-Graduação em Engenharia de Pesca pela acolhida e oportunidade de desenvolvimento deste trabalho.

Ao Professor Dr. Luís Parente Maia pela confiante insistência em tornar-me Mestre em Engenharia de Pesca, pelo incentivo primeiro e orientação decisiva deste trabalho.

À Dra. Christina Corbane pela co-orientação deste trabalho, pela indicação, disponibilização e discussão objetiva dos trabalhos mais relevantes na área de detecção de embarcações bem como pela sua gestão junto ao IRD - Institute pour Le development para viabilizar nosso acesso e utilização do algoritmo de detecção de embarcações “ShipDetection” na execução deste trabalho.

Aos estimados colegas Engenheiros de Pesca, Doutores Fábio Vasconcelos Perdigão e Raimundo Nonato de Lima, que nos honraram com suas presenças compondo nossa banca examinadora e pelas valiosas e pertinentes sugestões na conclusão deste trabalho.

Ao Ministério da Aquicultura e Pesca, na pessoa do Ministro Dr. Altemir Gregolim que acreditou neste trabalho e permitiu o acesso aos dados das embarcações rastreadas pelo Programa de Rastreamento de Embarcações por Satélites – PREPS. À Engenheira de Pesca Msc. Cláudia Ramos Zagaglia que colaborou conosco na identificação e acesso aos dados das embarcações rastreadas pelo PREPS na nossa área de trabalho, pela competência e disponibilidade, obrigado!

Ao IRD - Institute pour Le development pela cessão acadêmica do algoritmo de detecção de embarcações “ShipDetection”.

Ao Joint Research Center – JRC na pessoa do seu Presidente Dr. Guido Lemoine por concordar em ceder parcialmente a sua pesquisadora Dra. Christina Corbane para orientação deste trabalho.

À SPOT IMAGE e a seu representante para a América Latina e Caribe, meu amigo Pierre Duquesne, pelo seu empenho e entusiasmo na realização deste trabalho, agradeço a imprescindível colaboração na disponibilização das imagens pancromáticas do satélite SPOT 5 utilizadas neste trabalho.

Ao Governo do Estado e especialmente à Fundação Cearense de Recursos Hídricos e Meteorológicos – FUNCEME, através do seu Presidente Eduardo Sávio Passos Martins Rodrigues pela minha liberação e apoio para a realização deste trabalho.

Ao Departamento de Engenharia de Pesca, professores, colegas militantes entusiastas das pescas e aqüiculturas brasileiras e a nossa “protetora”, Rogéria, pela presença constante durante todo o curso de mestrado, sempre colaborando para que tudo desse certo, meu muito obrigado!

Aos amigos e parceiros Paulo Márcio, Marconi, Fabiano e Ilan, da GAIA Engenharia Ambiental Ltda e GAIASAT Soluções em Tecnologias Espaciais, representante da SPOT IMAGE para o Nordeste do Brasil, pela intermediação e viabilização das imagens do satélite SPOT 5 utilizadas neste trabalho.

Aos estimados amigos Valdenor Nilo de Carvalho e Albeniza Cavalcante pela colaboração nos assuntos relacionados a sistemas de informação geográfica e geoprocessamento.

À minha estimada esposa, Ana Lúcia Goes D’Assumpção, presente em todos os momentos, pelo companheirismo, sugestões e apoio.

RESUMO

Os sistemas de sensoriamento remoto por satélites orbitais têm despertado grande interesse quanto às suas aplicações tanto nas áreas da oceanografia física e biológica quanto naquelas direcionadas à vigilância marítima onde se destacam a vigilância do tráfego, a segurança marítima, o monitoramento do derrame de óleo e poluição marítima e a pesca ilegal. No Brasil, desde 2006, o governo implantou o Programa de Rastreamento de Embarcações – PREPS que é um sistema de monitoramento de embarcações (Vessel Monitoring System – VLS) para rastrear e monitorar as embarcações pesqueiras. O PREPS consiste em um componente embarcado que informa continuamente às autoridades a localização dos barcos e suas movimentações em tempo real. Contudo, muitos barcos não aderiram ao sistema, de fato apenas 10% das embarcações ativas estão equipadas com o sinalizador do PREPS, resultando que 90% das embarcações atuantes nas pescas do país são invisíveis ao Sistema. Nesse contexto o sensoriamento remoto amparado em satélites de Observação da Terra é reconhecido como importante ferramenta para obter informações sobre esses barcos não cooperados, dando suporte ao sistema ativo VLS do PREPS. No âmbito do programa franco – europeu GMES – Segurança/LIMES (Land and Sea Integrated Monitoring for European Security, financiado pela União Européia), um algoritmo para detecção automática de navios foi desenvolvido para complementar medidas de controle de pesca existentes, em particular os Sistemas de Monitoramento de Embarcações. O algoritmo está encapsulado no aplicativo “ShipDetection”. Baseado em detecção de feições através de algoritmo genético (GA) e rede neural (NN) este algoritmo foi utilizado primeiramente pelo grupo liderado pela Dra. Christine Corbane à frente de pesquisadores do Institute pour La Recherche pour Development – IRD, na Guiana Francesa. O protótipo foi concebido para detectar e classificar pequenos alvos, tais como barcos de pesca de camarão, e testados em imagens pancromáticas do satélite SPOT-5 com 5m de resolução espacial levando-se em conta o ambiente e o contexto da pescaria na região. (CORBANE, 2008). Neste trabalho o algoritmo *ShipDetection* foi testado em duas áreas piloto no Brasil, uma na região Norte e a outra na região Sul com resultados satisfatórios confirmando a sua robustez. Contudo a taxa de alarmes falsos, notadamente em imagens com alta porcentagem

de nuvens e “ruídos” da superfície do mar, precisa ser otimizada para melhorar o desempenho do algoritmo.

Palavras-chave: 1 Navio – detecção de embarcações; 2. Pesca – monitoramento; 3. Sensoriamento Remoto.

ABSTRACT

Brazil, since 2006, has set up its “Programa de Rastreamento de Embarcações – PREPS” which is a system based on a Vessel Monitoring System - VLS to monitor its fishing vessels. The PREPS program relies on a ship-born component that provides the authorities with a continuous monitoring of vessels location and movements in real time. However, many ships are not equipped with this system, in fact only 10% of the active fishing vessels are equipped with it, the others 90% are not “visible” to the system. In this case remote sensing using Earth Observation satellites is recognized as an important tool to obtain information about these vessels and support the active system (VMS) with passive measurements for non-cooperating ships. Dra. Christine Corbane, 2008, has developed and tested within the framework of the LIMES project (Land and Sea Integrated Monitoring for European Security), an algorithm for automatic ship detection using SPOT-5 HRG data to complement existing fishery control measures, in particular the Vessel Monitoring System. The algorithm focused on feature-based analysis of satellite imagery. Genetic algorithms and Neural Networks were used to deal with the feature-borne information. This algorithm was designed to classify small targets such as shrimp boats and was successfully tested under French Guyana fishing conditions using panchromatic SPOT-5, 5-m resolution product. In this work we tested the “ShipDetection” in two regions of Brazil: the first one in North area quite similar to the conditions at French Guyana where the shrimp fishery takes place and the second one at the South of Brazil taking into account the environmental and fishing context of its regions. The results showed that the algorithm works pretty well to detect small boats as the ones used in shrimp fishery at the North of Brazil and the longer ones used in the fisheries in the South of Brazil. Although some problems related to increased false alarm rates has to be solved particularly with images with a high percentage of cloud cover and sea cluttered background. Some more research is needed to turn the “ShipDetection” algorithm into an operational tool to monitor “Illegal and Unreported Fisheries” as detailed in this work.

Keywords: Vessel- vessel detection; Fishing – monitoring; Remote sensing

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Estado das populações marinhas mundiais a partir de 1974	25
Figura 2 -	Diferentes sensores atuantes no Mar Báltico na costa Suíça extraído de “Satellite ship detection for fishery control - H. Greidanus, G. Lemoine, N. Kourti”.	32
Figura 3 -	Distribuição espacial da ocupação da área de pesca das embarcações arrendadas de pesca de emalhe de fundo no sudeste e sul do Brasil entre janeiro e março e entre abril e junho de 2001 a partir dos registros de rastreamento satelital.....	40
Figura 4 -	Representação esquemática do sistema de rastreamento por satélite do PREPS	41
Figura 5 -	Equipamentos de rastreamento	41
Figura 6 -	Representação dos fluxos de informação dentro do PREPS	42
Figura 7 -	Visão Geral de Cruzeiro de pesca a partir da Plataforma RASTRO	43
Figura 8 -	Tela principal do sistema de informação da Central de Rastreamento do PREPS.	46
Figura 9 -	Embarcações ativas rastreadas pelo PREPS.....	46
Figura 10 -	Proporção de embarcações ativas rastreadas nos Estados do Brasil.....	47
Figura 11 -	Correntes marítimas da costa brasileira	49
Figura 12 -	Montaria do Estado do Amapá.....	52
Figura 13 -	Canoa enorme levando garimpeiros e barco ao fundo no Amapá.	52
Figura 14 -	Canoa costeira à vela do Estado do Amapá	53
Figura 15 -	Canoa Motorizada do Estado do Amapá	54
Figura 16 -	Barco de pequeno porte do estado do Amapá.....	54
Figura 17 -	Barco Industrial de médio porte do Estado do Amapá.....	55
Figura 18 -	Barco Industrial do Estado do Amapá	56
Figura 19 -	Canoa a vela do Estado do Pará.....	59
Figura 20 -	Canoa Motorizada do Estado do Pará.....	60
Figura 21 -	Barco de Pequeno Porte do Estado do Pará.....	60
Figura 22 -	Barco de médio porte do Estado do Pará	61
Figura 23 -	Barco pesqueiro com vela e motor no Rio Pará.	61
Figura 24 -	Chegada dos barcos de pesca ao Mercado Ver-o-peso no Pará	62

Figura 25 - Barco Industrial camaroeiro do Estado do Pará	62
Figura 26 - Canoa tradicional em atividade em Laguna – SC.....	64
Figura 27 - Caícos e as “redes aviãozinho” utilizadas na pesca do camarão-rosa em Laguna – SC.....	65
Figura 28 - Bote com cabine utilizado na captura de peixe no litoral de Santa Catarina.	65
Figura 29 - Barco de arrasto na Lagoa dos Patos – RG.....	66
Figura 30 - Barco de pesca de arrasto em plena atividade no litoral de São Paulo	67
Figura 31 - Arrasto de parelha em Ilhéus na Bahia, pesca altamente impactante ao ambiente marinho	67
Figura 32 - Pesqueiro com rede de emalhe em Camburiú - SC.....	68
Figura 33 - Barco pesqueiro de médio porte utilizado para captura de camarão, empregando arrasto duplo com portas.....	69
Figura 34 - Pesqueiros da frota de Itajaí – SC.....	70
Figura 35 - Pesqueiro de madeira no estaleiro – Frota de Itajaí – SC.....	70
Figura 36 - Frota atuneira no desembarque em Itaipava município de Itapemirim- ES	71
Figura 37 - Barco de pesca do Rio de Janeiro em atividade na pesca da manjuba que servirá de isca viva para a pesca do atum.	72
Figura 38 - A janela de detecção do SUMO. A parte central da matriz (azul-escuro) corresponde ao limite mais alto, o azul ao segundo e o azul-claro o terceiro.	80
Figura 39 - O Projeto IMPAST provou que uma potencial pesca ilegal pode ser sinalizada com sensoriamento remoto satelital e que posições suspeitas podem ser entregues às autoridades dentro de 30 – 60 minutos.....	82
Figura 40 - Preview do MaST (Relatório do Declims)	84
Figura 41 - Tela de resultados do MaST (DECLIMS).....	84
Figura 42 - Interface WEB do servidor do Projeto. Detecções plotadas como círculos posições VMS como quadrados para uma aquisição de 1 de novembro de 2004 sobre o Mar da Irlanda. O VMS são coloridas de acordo com as bandeiras dos estados.....	85

Figura 43 - Imagem RADARSAT ScanSAR Narrow B da região do Atlântico Norte, com indicação de alvos detectados. A escala de cores está em unidades de valores de entrada do pixel da imagem.	90
Figura 44 - Média da imagem de fundo. A escala de cores em unidades de valores de entrada do pixel da imagem a ser rastreada.	91
Figura 45 - Navios detectados sobrepostos à imagem normalizada. A escala de cores está em unidades de desvio padrão acima da média.	91
Figura 46 - Imagem do navio detectado e seu entorno visto em 2D	92
Figura 47 - Imagem de navio detectado e seu entorno visto em 3D. A escala de cor está em unidades de desvio padrão acima da média.	93
Figura 48- Imagens SAR de cenas heterogênicas e seus histogramas correspondentes	96
Figura 49 - Dois fragmentos de imagens SAR com barcos em baixo contraste.	96
Figura 50 - “Sea Clutter” provocando excessivos falsos alarmes. Os círculos verdes, amarelos e vermelhos correspondem a alta, média e baixa confiabilidade.	97
Figura 51 - “Split-look imagens geradas por cada antena do radar com uma defasagem temporal: sem a presença de navio, não há correlação entre elas já que a espectro da superfície do mar muda constantemente.	99
Figura 52 – Correlação cruzada entre imagens “split-look”: quando não há correlação o resultado é plano, quando há correlação aparece um pico no resultado indicando a região. A altura do pico indica o navio em movimento.	100
Figura 53 a - Resposta espectral de uma embarcação no mar	106
Figura 53 b - Distribuição da resposta espectral de uma embarcação no mar ressaltando os valores relativos à embarcação	107
Figura 54 - Resposta espectral do “Sea Clutter”	107
Figura 55 - Imagem Radarsat com detecção de diferentes sistemas.	108
Figura 56 - Estratégia para detecção de navios	109
Figura 57 - Inconsistência na definição da máscara do continente provocando falso alarmes Fonte: Greidanus, JRC,2002.	109
Figura 58 - Geometria básica para a janela móvel do CFAR (DECLIMS, 2006)..	111
Figura 59 - Método de detecção do CFAR a partir da definição do “Limite”	112

Figura 60 -	No exemplo extraído do Projeto IMPAST, o “Limite” é igual a media mais seis vezes o desvio padrão.....	112
Figura 61 -	Imagem Original	115
Figura 62 -	Imagem processada pela distribuição K.....	116
Figura 63 -	Imagem processada pela distribuição Rayleigh.....	116
Figura 64 -	Imagem processada pela distribuição Weibull	117
Figura 65 -	Imagem processada pela distribuição Gama	118
Figura 66 -	Imagem processada pela distribuição Raiz de Gama.....	
Figura 67 -	Imagem processada utilizando metodologia descrita por Eldhuset....	118
Figura 68 -	Zoom da composição RGB usando distribuições K-Gama-Weiull.....	119
Figura 69 -	Zoom da composição RGB usando distribuições Rayleigh-Gama-Weibull. Imagem sem ruído.....	120
Figura 70 -	Alvos detectados por 5 diferentes sistemas em imagem RADARSAT. Um sistema declara 3 alvo (diamante) outro (triângulo) apenas 1 Greidanus, JRC, 2002).....	123
Figura 71 -	O círculo representa o “ruído” do mar, o quadrado a presença de um navio próximo à ilha.	124
Figura 72 -	Barcos de pesca alinhados no Atlântico Norte.....	124
Figura 73 -	Detalhe de imagem IKONOS perto de Istambul: dois cargueiros e alguns barcos pequenos podem ser reconhecidos	126
Figura 74 -	O mesmo navio de 220m imageado pelo SPOT-5 (2.5 m resolução, acima) e RADARSAT Fine (8 m resolução, abaixo).....	127
Figura 75 -	Imagens SPOT 5 x RADARSATx EROS (DECLIMS, 2006).....	128
Figura 76 -	Fluxo do processo de detecção de navios orientado a objeto em imagens de muito alta resolução VHR.	131
Figura 77 -	Barco patrulha, à esquerda e barco de pesca, à direita	133
Figura 78 a e b -	Exemplo de um barco camaroeiro na área da Guiana Francesa (Variando de 20m a 25m de comprimento) e sua assinatura espectral na imagem SPOT-5.	133
Figura 79 -	Fluxograma do algoritmo para detecção de navios proposto para ser implementado em duas fases: uma fase de aprendizado e uma fase operacional	135
Figura 80 -	À esquerda: imagem pancromática SPOT-5 (5m) representando um barco de camarão em pseudo-cor. A imagem do meio mostra	

	duas regiões de um mesmo barco detectado separadamente durante a operação “limiteing”. A imagem à direita representa a imagem do objeto obtida pelo operador “region – growing”.....	137
Figure 81 -	Seis imagens - objetos obtidas através da segmentação ‘region-growing’ da imagem.....	138
Figura 82 -	Quadro de trabalho da evolução de uma rede neural com o GA (Modificado de VanCoillie et al., 2007 por Corbane et al, 2008).....	142
Figura 83 -	O melhor ajuste correspondente a cada geração durante o treinamento evolutivo do NN.	143
Figura 84 -	Cena SPOT-5, pancromática com 5m de resolução da Área 1 – Região Norte – Amapá.....	145
Figura 85 -	Cena SPOT-5, pancromática com 5m de resolução da Área 2 – Região Sul - Rio Grande do Sul.	146
Figura 86 -	Imagens SPOT-5 sobre as duas áreas de estudo no AP e RG	149
Figura 87 -	Cobertura espacial das imagens SPOT-5 cedidas pela SPOT IMAGE BRASIL para a validação do algoritmo para a Área 1 – Região Norte – AP.	150
Figura 88 -	Imagem do SPOT-5 com registro de embarcações rastreadas pelo PREPS no dia da aquisição da cena na Área 1- Região Norte - AP (Tela do Programa Rastro do PREPS).....	153
Figura 89 -	Projeto GIS com imagem SPOT-5 ao fundo e dados de embarcações rastreadas do PREPS para a data de aquisição da cena na Área 1- Região Norte – AP.....	154
Figura 90 -	Projeto GIS com imagem SPOT 5 pancromática e embarcações rastreadas no momento da aquisição da imagem na Área 1 – Região Norte – AP.	155
Figura 91-	Imagem processada pelo “ShipDetection” com as prováveis embarcações detectadas para a Área 1 – Região Norte (Amapá).....	156
Figura 92 -	Embarcações rastreadas com confiabilidade igual ou maior que 70%.....	158
Figura 93 -	Mapa da detecção: Navios detectados no horário de aquisição da imagem em verde e embarcações rastreadas em vermelho	158

Figura 94 - Cobertura espacial das imagens SPOT-5 cedidas pela SPOT IMAGE BRASIL para a validação do algoritmo para a Área 2 – Região Sul – RG.....	160
Figura 95 - Imagem do SPOT-5 com registro das embarcações rastreadas pelo PREPS durante a aquisição da cena na Área 2 – Região Sul – RG (Programa Rastro do PREPS).....	162
Figura 96 - Projeto GIS com imagem SPOT-5 ao fundo e embarcações rastreadas no dia da aquisição na Área 2 – Região Sul – RG.	163
Figura 97 - Embarcações pescando na Área 2 no instante de aquisição da imagem com intervalo de 15 min: 12 embarcações.	164
Figura 98 - Embarcações pescando na Área 2 no instante de aquisição da imagem subtraindo-se as embarcações que estão fora da área de cobertura da imagem resultando em 9 embarcações.	164
Figura 99 - Imagem processada pelo “ShipDetection” com as prováveis embarcações detectadas para a Área 2 – Região Sul – RG.	165
Figura 100 - Pontos rastreados dentro da área de cobertura da cena e todos os possíveis barcos detectados	166
Figura 101 - Embarcações rastreadas pelo PREPS (triângulos vermelhos) e os possíveis alvos detectados em (hexágonos amarelos)	167

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Frota pesqueira marinha do Estado do Amapá, por tipo de embarcação, comprimento e material do casco	51
Tabela 2 - Tipos de embarcação por Aparelhos de pesca e comprimento	57
Tabela 3 - Frota pesqueira marinha do Estado do Pará, por tipo de embarcação, comprimento e material do casco.....	58
Tabela 4 - Síntese das características das embarcações atuantes nas pescas do Pará.....	63
Tabela 5 - Frota pesqueira marinha do Estado de Santa Catarina permissionada, por tipo de embarcação, classe de comprimento e tipo de permissionamento de pesca.....	72
Tabela 6 - Material do Casco da Frota pesqueira marinha de Santa Catarina	74
Tabela 7 - Lista de feições de espectros, forma e textura calculados para a imagem objeto 5 da Figura 80.....	139
Tabela 8 - Características da Cena 1	145
Tabela 9 - Características da Cena 2	146
Tabela 10 - Dados do PREPS para a área 1 – Região Norte	151
Tabela 11 - Dados do PREPS para a área 2 – Região Sul	152
Tabela 12 - Relatório de detecção da Área 1 – Região Norte (AP).....	157
Tabela 13 - Embarcações rastreadas pelo PREPS	159
Tabela 14 - Relatório de detecção da Área 2 – Região Sul (RG).....	166

LISTA DE ABREVIações

AMRS	Alliance for Marine Remote Sensing
ADSS	Analysts' Detection Support System
AIS	Automatic Identification System
AKDEMO	Alaska SAR Demonstration
CCAMLR	Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources
COMCONTRAM	Comando do Controle do Tráfego Marítimo
CTTMar/UNIVALI	Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar da Universidade do Vale do Itajaí
CNUDM	A Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar
CFAR	Constant False Alarm Rate
CIM	Carta Internacional do Mundo ao milionésimo
CRISP	Centre for Remote Imaging, Sensing and Processing
DECLIMS	Detection, Classification and Identification of Marine Traffic from Space
DERA	Defence Evaluation Research Agency
DFO	Canadian Department of Fisheries and Oceans
DSTO	Defence Science & Technology Organisation
DXGI	Doxiades Geoimaging
EMSA	European Maritime Safety Agency
ESA	European Space Agency
EU	European Union
FAO	Food and Agricultural Organization of the United Nations
FAR	False Alarm Rate
FFA	Agência do Foro de Pescarias
GA	Algoritmos genéticos
GIS	Geographic Information System
GPS	Global Positioning System
GSHHS	Global Self-consistent Hierarchical High-resolution Shoreline
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGARSS	International Geoscience and Remote Sensing Symposium

IMPAST	Improving Fisheries Monitoring Through Integrating Passive and Active Satellite Based Technologies.
IMO	International Maritime Organization
InSAR	Interferometric SAR
IRD	Institut de Recherche pour le Développement, Maison de la télédétection
IUU	Illegal, Unreported and Unregulated fishing.
JRC	European Community Joint Research Centre
LIMES	Land and Sea Integrated Monitoring for European Security
LRIT	Long Range Identification and Tracking
MaST	Maritime Surveillance Tool
MHI	Mitsubishi Heavy Industries Limited
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MAP	Ministério da Aquicultura e Pesca
NAFO	Northwest Atlantic Fisheries Organization
NN	Neural Network
NOASR	Netherlands Organization for Applied Scientific Research
NDRE	Norwegian Defense Research Establishment
OMW	Ocean Monitoring Workstation
PD	Probability of Detection
PDF	Probability Density Function
PFA	Probability of False Alarm
PREA	Programa de Rastreamento de Embarcações Arrendadas
PREPS	Programa Nacional de Rastreamento de Embarcações Pesqueiras por Satélites
PROFROTA	Programa Nacional de Financiamento da Ampliação e Modernização da Frota Pesqueira Nacional
REVIZEE	Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva
RCS	Radar Cross Section
RSI	Radarsat Internacional
SAR	Synthetic Aperture Radar
SBSR	Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto
SEAP	Secretaria Especial de Aquicultura e Pesca
SUMO	Search for Unidentified Maritime Objects

SLC	Single Look Complex
TD	Taxa de Detecção (TD)
TAF	Taxa de Alarme Falso
UPC	Universidade Politécnicada Catalúnia
VMS	Vessel Monitoring System
ZEE	Zona Económica Exclusiva

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
2.1	A exploração dos recursos pesqueiros marinhos no cenário mundial....	24
2.2	Ordenação pesqueira: necessidade de regulamentação	26
2.3	A Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar-CONVEMAR ..	27
2.4	Aplicações do VMS no ordenamento pesqueiro	30
2.4.1	<i>Aplicações do VMS no ordenamento pesqueiro.....</i>	36
2.5	Programa nacional de rastreamento de embarcações pesqueiras por satélite PREPS	37
2.6	Ambiente marítimo da Zona Econômica Exclusiva do Brasil	47
2.7	Características das embarcações pesqueiras da região Norte	49
2.7.1	<i>Características das embarcações pesqueiras no Sudeste - Sul com ênfase nas embarcações de Santa Catarina.....</i>	49
2.7.2	<i>Características das embarcações pesqueiras no Sudeste - Sul com ênfase nas embarcações de Santa Catarina.....</i>	63
2.8	Sensoriamento remoto aplicado à detecção de embarcações marítimas	76
2.8.1	<i>Sistemas de detecção de navios e algoritmos utilizados</i>	76
3	MATERIAL E MÉTODO	95
3.1	A detecção de navios através de sensores óticos	95
3.2	Necessidades operacionais do monitoramento de embarcações pesqueiras.....	102
3.3	Imagens óticas x radar na detecção de navios – a experiência do DECLIMS.....	124
3.3.1	<i>Programa de monitoramento marítimo da Doxiades Geoimaging DXGI130</i>	
3.4	O algoritmo de detecção “ShipDetection”	134
3.4.1	<i>Segmentação (Pre-detecção de padrões de navios)</i>	136
3.4.2	<i>Extração de Feições</i>	137
3.4.3	<i>Classificação de imagem na Rede Neural (NN).....</i>	141
3.4.4	<i>Calibração do Algoritmo.....</i>	142
3.5	Validação do algoritmo ShipDetection em condições de pesca no Brasil	144
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	149
4.1	Discussão.....	168
5	CONCLUSÃO	171
	REFERÊNCIAS	172

INTRODUÇÃO

O Brasil conta, desde setembro de 2006, com o Programa Nacional de Rastreamento de Embarcações Pesqueiras por Satélite, o PREPS, operando através do sistema VMS, do inglês (Vessel Monitoring System – Sistema de Monitoramento de Embarcações), com um componente embarcado, que provê às autoridades de um monitoramento contínuo das localizações e movimentações das embarcações em tempo real. Contudo somente 10% da frota pesqueira está sendo monitorada, os outros 90% não estão equipados com esses sistemas, ou porque se encontram na ilegalidade ou não se enquadram às normas definidas nas instruções normativas do PREPS no Brasil.

A contradição do VMS é que este só monitora e, portanto pune, os barcos que estão legalizados, enquanto que aqueles que não o estão não são passíveis de serem rastreados consequentemente têm suas atividades ilícitas não detectadas. (FAO, 2003).

Neste cenário o uso dos satélites de Observação da Terra se apresenta como uma solução para se obter informação sobre essas embarcações não monitoradas, dando suporte aos sistemas ativos operantes (PREPS via VMS) com medições passivas para os barcos não cooperativos, cujas procedências não são identificadas, objetivando o monitoramento de suas atividades (FAO, 2003).

Corbane (2008) registra que a detecção de navios e o monitoramento marítimo baseados no imageamento por satélites têm frequentemente sido parte de um grande esforço nos campos da detecção automática e reconhecimento. A detecção de navios por satélite baseado no Radar de Abertura Sintética foi primeiramente testada com o experimento SEASAT em 1978. Com os antigos satélites de primeiras gerações tais como ERS-1, JERS-1, ERS-2 essa área de pesquisa ganhou certa maturidade (PETIT, M. 1992). Com o advento da segunda geração de satélites radar tais como o ENVISAT e o RADARSAR-1, a capacidade de detecção foi de uma vez por todas estabelecida graças aos avanços específicos dos processamentos tomando partido da grande quantidade de informações que podem ser extraídas desses produtos. (HAJDUCH, G, ET AL 2006). A terceira geração de satélites radar TerraSAR-X, Cosmo-Skymed (CSK), RADARSAT-2, ALOS atendem aos requerimentos voltados ao imageamento de alta resolução da terra e deverão melhorar as funcionalidades de detecção e classificação de alvos de

navios (CORBANE, 2008). Greidamus *et al.* (2008) observa que de uma maneira geral o aumento dessas informações corresponde lado a lado com a diminuição da largura da visada introduzindo algumas limitações com relação ao uso marítimo.

O uso e aplicações de imagens do radar de abertura sintética – SAR (Synthetic Apperture Radar) têm sido estudados extensivamente e muito recentemente revisado em CRISP (2004). Apesar das imagens SAR serem vantajosas em função da sua habilidade para varrer grandes áreas e sua independência com relação a nuvens e condições de luminosidade, a identificação e classificação individual de embarcações a um nível alto de detalhe permanece uma difícil tarefa. Além disso, em função da presença do reflexo (*speckle*) e das dimensões reduzidas dos alvos comparados com a resolução espacial do sensor, a interpretação automática das imagens SAR é geralmente complexa, apesar de navios não detectados serem algumas vezes visíveis ao olhar (TELLO, *et al.*, 2004). Comparada a grande quantidade de pesquisa sobre a viabilidade das aplicações em detecção de navios baseadas no satélite SAR, muito menos pesquisa e atividade de desenvolvimento tem sido realizadas na detecção e classificação automática de barcos usando imagens óticas do que com imagens SAR (DECLIMS, 2005). Isto é atribuído ao fato dos satélites óticos de alta resolução serem recentes, ao problema de nuvens e ao fato das visadas dos satélites de alta resolução serem relativamente pequenas, tornando-as menos apropriadas para a vigilância dos oceanos (CORBANE, 2008). Contudo, alta resolução espacial pode complementar o SAR na medida em que é muito mais apropriado para classificação de navios e permite a detecção de barcos de madeira e fibra de vidro os quais são difíceis de serem detectados com radar (GREIDANUS, *et al.*, 2004). Neste contexto, há uma necessidade imperativa de um sistema que detecte automaticamente padrões de barcos a partir de imagens de alta resolução num ambiente de trabalho operacional.

No âmbito do programa franco – europeu GMES – Segurança/LIMES (*Land and Sea Integrated Monitoring for European Security*, financiado pela União Européia), um algoritmo para detecção automática de navios foi desenvolvido para complementar medidas de controle de pescas existentes, em particular os Sistemas de Monitoramento de Embarcações. Baseado em detecção de feições através de algoritmo genético (GA) e rede neural (NN) este algoritmo foi utilizado primeiramente pelo grupo liderado pela Dra. Christine Corbane à frente de pesquisadores do *Institute pour La Recheuse pour Development* – IRD, na Guiana Francesa.

O protótipo foi concebido para detectar e classificar pequenos alvos, tais como barcos de pesca de camarão, e testados em imagens pancromáticas do satélite SPOT-5 com 5 metros de resolução espacial levando-se em conta o ambiente e o contexto da pescaria. O aplicativo foi testado com sucesso e sua capacidade de detectar barcos camaroeiros a taxas satisfatórias foi considerada um indicador da robustez do algoritmo. (CORBANE, 2008).

Este trabalho se propõe a testar e avaliar o algoritmo acima referido em condições de pescas brasileiras, (tamanho dos barcos, materiais constituintes, condições de mar, etc), em duas áreas piloto: a primeira na região Norte do Brasil com barcos camaroeiros e a segunda na região Sul onde predominam os barcos ligados à pesca da sardinha.

Apesar da constatação da adequabilidade e eficiência do algoritmo em condições de pescas no Brasil, o *benchmark* revelou problemas relacionados ao grande número de taxas de falsos alarmes particularmente em imagens com alta porcentagem de nuvens e ruídos do mar.

A operacionalização de um sistema automático de detecção de barcos pesqueiros através do algoritmo *ShipDetection* e imagens de sensores óticos de alta resolução deve contemplar pesquisas e melhorias para adequação às condições de pesca brasileiras, imagens com resoluções mais altas, teste de algoritmo em diversas condições de mar dentre outras.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A exploração dos recursos pesqueiros marinhos no cenário mundial

A natureza global dos oceanos leva à complementaridade e competição entre as nações. Para regular as atividades marítimas no interesse do desenvolvimento sustentável a nível mundial é necessário o desenvolvimento de regras universalmente aplicáveis. Políticas multissetoriais surgiram em todos os níveis de governos: transnacionais, nacionais, regionais e locais, sendo os organismos internacionais os agentes mais apropriados para propor ações globais que contribuam para as atividades dos demais.

Tendo como uma de suas características a quase que geral condição de propriedade comum dos recursos pesqueiros, a exploração pesqueira se faz por meio do livre acesso, levando a desperdícios biológicos e econômicos que resultam na baixa eficiência das pescarias (PAIVA, 1986).

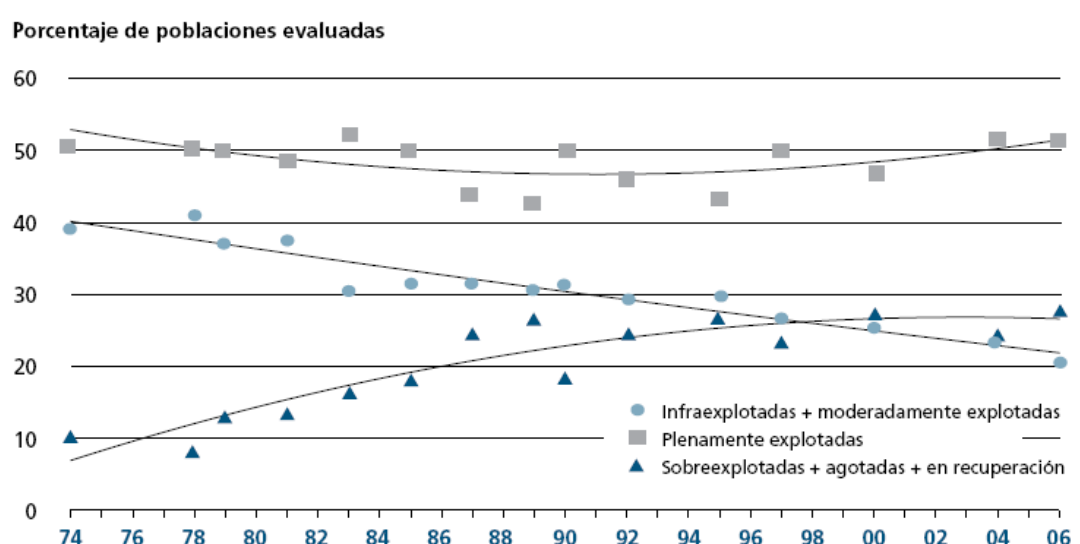
Apenas 10% de toda a área dos oceanos é produtiva. Dessa área produtiva 9,9% correspondem às plataformas continentais e 0,1% às zonas de ressurgências, também contíguas à costa. Os 90% restantes são quase absolutamente desérticos (SILVA, 1970).

A situação mundial quanto à exploração dos recursos pesqueiros marinhos têm variado com diferentes tendências nas categorias exploradas. Enquanto a proporção de populações infra-exploradas ou exploradas de maneira moderada diminuiu de modo linear em 40% dos meados da década de 1970, até 20% em 2007, a proporção de populações plenamente exploradas se manteve estável em torno de 50%. A proporção de populações sobre-exploradas, esgotadas ou em recuperação parece haver-se estabilizado entre 25% a 30% desde meados da década de 1990, Figura 1 (FAO, 2009).

Dentre as várias causas apontadas como responsáveis pelo agravamento da situação dos principais recursos, citam-se o excesso de esforço de pesca, o desenvolvimento tecnológico e os subsídios. Dados da literatura demonstram que a capacidade excessiva de pesca é a causa mais visível e ameaçadora da viabilidade da exploração dos recursos pesqueiros. Mace (1997) constatou que, entre 1970 e

1992, o número de embarcações com convés passou de 580.980 para 1.178.160, enquanto o número de barcos de pequeno porte, sem convés, passou de 1,5 milhões para 2,3 milhões.

Figura 1 – Estado das populações marinhas mundiais a partir de 1974.



Fonte: FAO (2009).

O crescimento quantitativo que contribuiu para o excesso de capacidade de pesca também foi fortemente influenciado pelo avanço tecnológico. Um estudo, que tomou por base o ano de 1980, estimou coeficientes de impactos tecnológicos de 0,54 para 1965; 1,0 para 1980, e 2,0 para 1995, o que permite concluir que o poder de pesca advindo do desenvolvimento tecnológico dos apetrechos e técnicas de pesca, equipamentos de navegação por satélite e localização de cardumes e demais equipamentos auxiliares à captura, quase que quadruplicou entre 1965 e 1995 (MACE, 1997).

A comunidade internacional reconhece agora que o excesso de capacidade de pesca e de investimentos afeta negativamente os esforços de conservação e ordenamento da pesca e ameaçam no longo prazo, a sustentabilidade das pescarias, impedindo por sua vez uma contribuição maior da pesca para a segurança alimentar (FAO, 1995).

O controle da mortalidade causada pela pesca é o único mecanismo existente para manter a população no nível desejado. Regulando o esforço de pesca, mediante o controle das capturas e do esforço de pesca e regulando as artes e métodos utilizados, bem como o momento e lugar onde se permitem pescar. É o

organismo responsável pela ordenação pesqueira que pode controlar a massa e o tamanho dos peixes capturados dentro dos limites de variabilidade e incertezas naturais (FAO, 2009).

2.2 A Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar - CONVEMAR

A Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar - CONVEMAR, 1982, resultante das reuniões da III Conferência das Nações Unidas sobre o Direito do Mar é considerada uma das maiores conquistas no campo do Direito Internacional do século XX. Seu texto final levou mais de 10 anos para ser formatado, em contrapartida teve no dia da sua aprovação, em caráter global do texto, sem reservas, a subscrição de 119 países em 10 de dezembro de 1982, em Montego Bay, na Jamaica.

Um dos aspectos mais relevantes desta convenção para a atividade pesqueira foi a delimitação de zonas como segue:

1. Mar Territorial: até 12 milhas desde as linhas de base² (Águas Interiores: situadas no interior das linhas de base do mar territorial);
2. Zona Contígua: entre as 12 e 24 milhas a partir das linhas de base;
3. Zona Econômica Exclusiva: entre as 12 e as 200 milhas a partir das linhas de base;
4. Alto Mar: todas as partes do mar não incluídas nas outras áreas definidas;
5. Plataforma Continental (dos estados costeiros): solo e subsolo das águas marinhas, estabelecendo uma definição do seu alcance geográfico.

A CONVEMAR estabeleceu diferentes regimes jurídicos com relação aos espaços delimitados. Na ZEE, o Estado tem direito de soberania para fins de exploração, exploração e administração dos recursos naturais vivos e não vivos, das águas acima do solo, do solo e subsolo marinhos com relação a outras atividades com vistas à exploração e exploração econômica da ZEE, (energia derivada da água, as correntes e ventos).

Na plataforma continental, o estado costeiro exerce direito de soberania exclusiva para a exploração e exploração dos recursos naturais (minerais e outros não vivos e vivos pertencentes a espécies sedentárias), independentemente de sua ocupação real ou fictícia ou de toda declaração expressa.

O Alto mar está aberto a todos os estados, quer sejam costeiros ou sem litoral. Reconhece-se a liberdade de pesca, as nações dos diferentes estados podem realizá-la, sujeitos a suas obrigações convencionais, aos direitos, deveres e interesses estabelecidos para os estados costeiros.

As consequências da Convenção para a pesca em âmbito mundial são da maior importância, reconhecendo e valorizando os direitos dos estados costeiros com abundância de recursos, nacionalizando-os em detrimento dos países que possuem grandes frotas de largo alcance e insuficiência de recursos exploráveis da sua ZEE, senão vejamos:

- Restrição da propriedade comum;
- Nacionalização de praticamente 90% dos recursos exploráveis;
- Benefício para os países costeiros com abundância de recursos;
- Perda para os países com grandes frotas de largo alcance e insuficiência de recursos exploráveis da sua ZEE.

A Convenção estabeleceu direitos e deveres aos países signatários dentre os quais o de diagnosticar e proteger o potencial pesqueiro explorável dentro das suas Zonas Econômicas Exclusivas. O Programa REVISEE cumpriu parte dessas responsabilidades realizando o diagnóstico e mapeamento dos recursos vivos da nossa ZEE.

Quanto à segurança marítima, os satélites de observação da Terra podem desempenhar um papel importante tanto no diagnóstico e caracterização do ambiente marinho quanto nas atividades de segurança da navegação, fiscalização, controle e vigilância marítima e das pescas.

2.3 Ordenação pesqueira: necessidade de regulamentação

As Zonas Econômicas Exclusivas (ZEE) concentram 90% das capturas pesqueiras mundiais, em função de apresentarem uma maior produtividade pela proximidade das zonas costeiras e da plataforma. Dessa maneira, a maioria dos problemas de ordenação pesqueira se registra nas zonas submetidas aos controles dos governos nacionais, os quais são responsáveis pelas situações das pescarias cabendo a eles programarem medidas e políticas eficazes para evitar o esgotamento dos recursos e desmantelamento dos insumos, possibilitando a recuperação dos estoques e a manutenção da atividade pesqueira sustentável.

É preciso ter em mente que as pescarias estão em constante evolução tecnológica aumentando assim a mortalidade efetiva provocada pela exploração pesqueira e isto demanda constante adequação quanto aos limites estabelecidos quer de frotas permissionadas, localização geográfica de áreas de conservação ou épocas do ano (PAIVA, 1985).

Como observa Paiva, a propriedade dos recursos pesqueiros se estabelece em função das águas onde vivem ou são coletados ou capturados, se em águas de domínio público são de propriedade daqueles que os capturam, se em águas de domínio privado constituem propriedade daqueles que têm domínio dos respectivos ambientes aquáticos.

E continua: “O principal objetivo da administração pesqueira é a conservação dos recursos pesqueiros de forma continuada e sustentável. Nesse sentido a exploração desses recursos nos limites da captura máxima sustentável, apesar de o conceito ser claro a sua aplicação é dificultada por diversas razões dentre as quais ressaltamos o pequeno poder de controle dos organismos nacionais e internacionais diante das pressões sociais, econômicas e políticas, favorecendo distorções na maioria das vezes de evidente sobrepesca apesar de em casos mais raros a atividade ser exercida sob o controle da produção abaixo da captura máxima sustentável”.

Dentre as diversas funções da administração pesqueira aquelas que estão mais diretamente relacionadas ao objeto deste trabalho são as referentes à proteção dos ambientes aquáticos, regulamentação das pescas e assegurar o cumprimento das disposições legais.

A regulamentação das pescas se dá com base nos resultados de pesquisas e dados estatísticos diversos que comprovam a necessidade de imposição de medidas para a proteção dos recursos pesqueiros e controle das pescarias resultando em disposições legais que afetam todo o sistema desde a conservação dos recursos até a proteção conjunta dos interesses envolvidos na captura e comercialização do pescado, bem como daqueles que correspondem aos consumidores constituindo a moldura legal das atividades de produção do setor pesqueiro.

Essas medidas são classificadas em dois grupos, segundo Paiva (1985): as que se destinam à proteção de partes selecionadas dos estoques, e as que

objetivam limitar os volumes das capturas, sempre fundamentadas nas pesquisas científicas e nos indicadores da biologia pesqueira.

As medidas para proteção de partes selecionadas dos estoques são: restrições sobre aparelhos de pesca, limites de tamanho e peso, fechamento de áreas de pesca, fechamento de estações à pesca, proteção de reprodutores e proibição da pesca de animais em determinadas condições biológicas, o defeso por exemplo. Com relação ao segundo grupo, enquadram-se as medidas de limitação por quota global, limitação por quotas individuais, limitação do esforço de pesca, limitação da eficiência dos aparelhos de pesca, limitação da eficiência dos aparelhos de pesca e controle do acesso à pesca (PAMA, 1985).

O referido autor ressalta que essas medidas objetivam controlar a biomassa dos recursos explorados cuidando para que estas não ultrapassem a captura máxima sustentável dos estoques alvos das pescarias, e chama atenção para alguns aspectos a serem considerados quando da imposição das medidas de regulamentação das pescas dentre os quais se destacam:

- A viabilidade de execução de tais medidas;
- A capacitação legal e operacional do poder público no sentido de fazer cumprir as novas medidas por meio de eficiente fiscalização e atribuição de penalidades.

O fechamento de áreas de pesca busca proteger os jovens em seus criadouros naturais; proteção de reprodutores em suas áreas de acasalamento e ou desova ou quando estes ficam muito expostos à pesca; em locais de passagem forçadas durante suas migrações genéticas; proteção da saúde dos consumidores pela proibição da pesca em áreas excessivamente poluídas, para proteção dos pescadores ou em áreas em que a pesca compete com outras atividades como rotas de navegação.

O controle desse tipo de medida pode ser muito onerosa e difícil por causa da manutenção de fiscais, barcos de patrulha em contínua presença nas áreas fechadas à pesca tentando evitar a pesca ilícita, especialmente em áreas de permanente proibição da pesca como no caso dos parques nacionais ou reservas marinhas destinadas à preservação da natureza.

O fechamento de estações à pesca geralmente objetiva impedir pescarias em épocas de reprodução dos recursos explorados com o propósito de assegurar a renovação dos estoques. Esta é uma medida que requer uma forte fiscalização

sendo ilegais quaisquer capturas dos recursos protegidos nas respectivas épocas de interdição das pescas.

O autor ressalta a necessidade de se dispor de meios para assegurar o cumprimento das medidas legais relativas à regulamentação das pescas sendo melhor, em caso contrário, não estabelecer nenhuma regulamentação. Por isso, “se justifica os procedimentos de fiscalização, com o objetivo de identificar infrações, aplicando as correspondentes punições aos seus responsáveis. Lembrando também a obrigação de respeitar os acordos internacionais por parte dos países que deles participam”.

Neste cenário, o uso de imagens de satélites pode representar uma importante ferramenta para viabilizar uma eficiente fiscalização das medidas restritivas à pesca, notadamente as que dizem respeito à proteção de áreas específicas e ao fechamento de estações à pesca.

2.4 Os Sistemas de Monitoramento de Embarcações - VMS nos programas de fiscalização, controle e vigilância do mar e das pescas

A Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar - CNUDM estabeleceu as regras para a utilização internacional dos recursos dos mares e oceanos sendo possível a partir daí a criação das Zonas Econômicas Exclusivas que se estendem até 200 milhas da linha de costa das nações.

Controlar e fiscalizar a ZEE representa uma questão importante para as nações costeiras interessadas em assegurar a sua soberania e desfrutar dos benefícios da exploração dos seus recursos costeiros.

O Sistema de Monitoramento de Embarcações do inglês, *Vessel Monitoring System – VMS*, referenciado em vários capítulos da convenção vem contribuir para o cumprimento dos acordos internacionais de pesca colaborando a um só tempo com os programas de fiscalização, controle e vigilância e na segurança das atividades pesqueiras.

A Comissão Europeia no documento “Em Direção a Uma Futura Política Marítima para a União: Uma visão da Europa para os Oceanos e Mares” (*Towards a Future Maritime Policy for the Union: A European Vision for the Oceans and Seas*, 2006) formula uma visão Europeia para os Oceanos e Mares em que alguns princípios e questionamentos relacionados à segurança, vigilância e monitoramento

marítimo são abordados. O referido documento ressalta, com relação à vigilância marítima, a necessidade de melhor monitorar as atividades humanas tanto para segurança da navegação como para detecção de comportamentos ilegais, tráfico, contrabando, atividades terroristas e descargas ilegais dos navios. Nesse sentido vale destacar a experiência do “Sistema 88” na integração dos sistemas de rastreamentos existentes para portos, monitoramento costeiro, segurança, salvamento e pesca.

O Centro de Monitoramento da Pesca Nacional envia rotineiramente a informação de posição dos seus próprios barcos para os centros de países em cujas águas esses barcos estão pescando. O Sistema 88 desenvolvido pela Comissão Europeia é operado pela *European Maritime Safety Agency* - EMSA através do programa *Safe Sea Net*, uma plataforma da União Europeia, baseada na rede internet para troca de informações marítimas entre os estados-membros visando à segurança e o controle da poluição marítima por navios. A Coordenação entre os estados-membros é realizada a partir do estabelecimento da Agência de Controle das Pescas da Comunidade Europeia, em Vigo, desde 2006. O *Safe Sea Net* representa a integração dos sistemas locais já existentes através da internet, o Galileu, sistema de posicionamento global por satélites da Europa, e os satélites de observação da Terra a partir do espaço.

O Governo do Canadá, em 1993, realizou uma das primeiras experiências na utilização do VMS, quando a pescaria de vieiras (*Placopecten magellanicus*) foi fortemente limitada pela insuficiência de informações pesqueiras provenientes dos mapas de bordo, o que acarretou em estimativas errôneas sobre a biomassa do recurso. Essa limitação implicou em prejuízos da ordem de 40 milhões de dólares o que evidenciou a importância da geração de informações adequadas para a avaliação do estoque e definição da captura total permissível (*Total Allowable Catch* – TAC). A solução encontrada entre a indústria pesqueira, em parceria com o *Canadian Department of Fisheries and Oceans* (DFO), foi o investimento na melhora da qualidade da informação (RODRIGO, 2008).

O rastreamento via satélite passou a ser visto como uma ferramenta de garantia à fidelidade da informação. O sistema escolhido inicialmente havia sido desenvolvido para transporte terrestre, permitindo a troca de informações de forma instantânea entre o veículo e sua empresa. A este sistema foram adicionadas cartas

Canadá (MATTHEWS, 1999), a pesca de arrasto duplo direcionada a camarões do Golfo do México (MEJIAS, 1999) e a pesca de arrasto demersal multi-específica direcionada a peixes em Pilbara, noroeste da Austrália (JOLL *et al.*, 1999).

Além disso, registros de VMS também têm sido úteis na calibração de imagens de satélite para identificar a movimentação de embarcações (KOURTI *et al.*, 2005) e na avaliação da micro-distribuição do esforço de pesca de arrasto no Mar do Norte e seu impacto sobre os organismos bentônicos (RIJNSDORP *et al.*, 1998).

Estimativas da abundância do estoque também têm se beneficiado do uso de dados provenientes de VMS, como constatado no caso da avaliação do estoque de vieiras do Georges Banks em que modelos de depleção utilizaram VMS para estimativas confiáveis de esforço (GEDANKE *et al.*, 2004). Taxas de remoção, intensidade de pesca e processos de depleção populacional também foram avaliados com o auxílio de VMS nessa pescaria e na pesca de camarões no leste da Austrália (DENG, *et al.*, 2005; GEDANKE *et al.*, 2005).

A tecnologia VMS tornou-se essencial no processo de controle de pescarias. Várias organizações internacionais que visam o ordenamento e controle pesqueiro (e.g. *North west Atlantic Fisheries Organization* – NAFO e *Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources* – CCAMLR), têm o rastreamento via satélite como uma das principais plataformas para o cumprimento das medidas de manejo adotadas (NOLAN, 1999; WAND, 2005).

Muitas medidas de ordenamento pesqueiro são de ordem geo - espacial, podendo ser citadas como exemplo as áreas de exclusão de pesca, as áreas jurisdicionais (e.g. Zona Econômica Exclusiva – ZEE), medidas de rotatividade de áreas de pesca, entre outras. No Brasil, faz parte da gestão pesqueira uma série de instrumentos de natureza geoespacial, com destaque para os limites geográficos dos permissionamentos de pesca (BRASIL, 1993; 1998; 2003) e as zonas de exclusão de pesca industrial (SEAP/IBAMA, 2005 e SEAP, 2005 a e b) normalmente em áreas próximas à costa, no entorno de reservas marinhas (BRASIL, 1990), de plataformas de petróleo entre outras.

O cumprimento destes instrumentos tem sido dificultado pelas limitações do processo de fiscalização, dependentes da avistagem dos infratores (caracterização de flagrante), apenas possíveis em áreas costeiras, ou com vigilância a partir de embarcações o que normalmente é oneroso e pouco eficaz.

Esse quadro, no entanto, começou a mudar a partir do início das atividades de pesca demersal profunda no Brasil, no final da década de 1990, que trouxe consigo inovações nos sistemas de permissionamento e gestão, entre elas o uso inédito do rastreamento satelital (BRASIL, 2000).

Como anteriormente comentado as principais ferramentas a serviço dos gestores da pesca em seu esforço para se contrapor à sobrepesca e proteger as populações são a utilização de cotas, a limitação do esforço de pesca e a utilização do período de defeso, como no caso da lagosta.

Contudo, apesar dessas ferramentas serem teoricamente poderosas a capacidade dos gestores para impor essas limitações na captura e esforço depende de recursos tais como pessoal, barcos, aeronaves de vigilância e outros, geralmente escassos.

“Como proteger um recurso como as populações pesqueiras mundiais que não obedecem às fronteiras nacionais ou regionais se não pelo esforço coordenado?” pergunta e responde a Comissão Europeia no seu estudo em busca de uma política para a gestão dos oceanos e mares da Europa.

O referido estudo afirma que somente quando um gestor de pesca da América do Sul, por exemplo, acordar com um gestor de pesca da Europa as funções, os formatos de dados e a segurança do VMS poderão operar um barco sob o controle de ambos, movendo-se de uma pescaria para outra com legalidade e total transparência para melhorar as operações em escala internacional ou regional.

E continua, “[...] é possível que o único modo de promover esta compatibilidade seja estabelecer uma consulta internacional ao nível mais amplo possível de modo que os encarregados da proteção pesqueira possam manifestar suas necessidades, preferência e interesses sobre a aplicação do VMS. Por razões logísticas, políticas e econômicas ainda não foi possível conseguir este objetivo ainda que reconhecemos ações como as que estão em curso na União Europeia no combate às chamadas pescas IUU (*Illegal, Unreported Fishing*) e outras no âmbito de seguimento, controle e vigilância dos barcos pesqueiros”.

Alguns países como a Austrália, Nova Zelândia, Nova Caledônia, Polinésia Francesa e os Estados Unidos da América utilizaram ensaios em pequenas e médias escalas entre 30 a 150 barcos com resultados positivos no controle pesqueiro. Muitos outros países têm realizado testes e a maioria tem introduzido o sistema VMS como requisito legalmente obrigatório para, pelo menos

algum tipo de pescaria, como a Austrália, Nova Zelândia e Estados Unidos da América.

A UE realizou testes durante os anos de 1996 e 1997, e introduziu o uso obrigatório do VMS com caráter geral normatizando-o com relação ao tamanho dos barcos e modalidades de pesca.

O bom resultado na utilização do VMS no Pacífico em 1997 levou ao Foro Del Pacífico a desenvolver um sistema sub-regional por meio da Agência do Foro de Pescarias (FFA) para servir aos interesses dos 16 estados-membros atingindo cerca de 1000 barcos.

A América do Sul, Chile, Peru, Argentina, e Uruguai já têm seus programas de rastreamento implantados há mais de uma década.

Outros países como a África do Sul, Marrocos, China e Japão estão, em diferentes níveis, implementando sistemas VMS para rastreamento de embarcações pesqueiras.

A disponibilidade dos sistemas de comunicação global como o Immarsat e Argos assim como os sistemas Euteltracs e Boatracs na Europa e Estados Unidos da América respectivamente, tem criado um mercado competitivo para o seguimento de rastreamento de veículos de diferentes tipos. Conseqüentemente se tem produzido melhorias nos serviços, nos softwares e hardwares e redução de custos (FAO, 2006).

A disponibilidade do Sistema de Posicionamento Global (GPS) acrescentou uma nova dimensão à exatidão do posicionamento tendo esta tecnologia um uso a cada dia mais generalizado inclusive com equipamentos GPS de bolso ao alcance da capacidade econômica de muitas pessoas.

Contudo a verdadeira motivação para aplicar o VMS esta relacionada às vantagens que esta tecnologia oferece para a ordenação pesqueira. As variações mundiais nas capturas de pescado desde 1988 evidenciaram um incremento no esforço de pesca e uma diminuição das populações de peixe, e que este aumento no esforço de pesca se deveu não somente ao emprego de tecnologias pesqueiras, mas também ao emprego de tecnologias eletrônica, informática e satelitais. Estas mesmas tecnologias podem agora servir como ferramenta para os administradores pesqueiros conseguirem uma exploração sustentável para a pesca (FAO, 2006).

2.4.1 Aplicações do VMS no ordenamento pesqueiro

As aplicações de VMS no ordenamento pesqueiro referem-se ao monitoramento e vigilância das áreas geográficas com restrições tais como:

- Zonas de pesca proibidas;
- Zonas de pesca proibidas por períodos determinados;
- Zonas proibidas para a pesca ou outra atividade a determinados barcos em função da nacionalidade, modalidade, tamanho, tipo de licença, etc;
- Zonas sujeitas a cotas de pesca ou restrições de capturas;
- Áreas especiais de proteção;
- Períodos de defesos em determinadas regiões geográficas;
- Etc.

Outra função do VMS é a dissuasão, uma embarcação com um sistema VMS implantado é uma embarcação vigiada. Isto tem um efeito dissuasivo na tripulação, pois alguma atitude ilícita poderá ser identificada e punida. Nesse ponto os barcos que não estão legalizados sentir-se-ão mais à vontade para alguma transgressão do que os legalizados. É aqui que o sensoriamento remoto, com imagens óticas ou sistemas ativos, pode contribuir efetivamente para melhorar as aplicações dos VMS, reforçando e aumentando o efeito dissuasivo comprovado em experiências na Austrália e Nova Zelândia, EUA e nas Ilhas Kerguelen com a pescaria do peixe-sapo.

As infrações mais evidenciadas pelos sistemas VMS são:

- Pesca em zona proibida;
- Pesca em uma área para a qual o barco não está licenciado;
- Pesca em uma área sujeita a restrições de cotas por um barco que não dispõe de cota suficiente.

O VMS ao identificar os barcos que estão respeitando as normas e os infratores, facilita e otimiza o trabalho de fiscalização reduzindo inclusive os custos, pois se perderá menos tempos perseguindo-se pistas falsas e operadores de barcos que estão cumprindo suas normas. O VMS informa aos fiscais da pesca onde e quando um determinado barco estará atracando ou pescando em áreas proibidas para que a abordagem seja realizada. Este recurso é válido também para o desencadeamento de ações de patrulhas marítimas e aéreas para abordagem de barcos, direcionando-as para aqueles que estão em atuação ilícitas, inclusive,

elegendo os que podem ser mais efetivos para abordagem, e ainda, informando quais embarcações se encontram posicionadas fora da área sob jurisdição de determinado governo evitando desperdício de combustível e tempo na perseguição desses barcos.

Determinar a localização de um barco no mar era tarefa difícil antes da utilização do VMS, trata-se realmente de uma grande conquista. A contradição do VMS é que este só monitora e, portanto, pune os barcos que estão legalizados enquanto que aqueles que não o estão não são passíveis de serem rastreados consequentemente tem a sua atividade ilícita não detectada.

Outra possível utilização dos sistemas VMS é o controle de cotas de captura para determinadas espécies em áreas específicas, pode-se ao monitorar a atividade pesqueira se utilizar do Sistema para declaração de captura no momento em que está sendo realizada, dificultando o falseamento de declarações de cotas. Sistemas de monitoramento com câmeras localizadas na própria embarcação dão suporte a esse tipo de monitoramento.

2.5 Programa nacional de rastreamento de embarcações pesqueiras por satélite - PREPS

Como vimos o monitoramento de embarcações pesqueiras por satélite hoje é considerado fundamental em qualquer programa de gestão da pesca, tendo sido implantado em todos os países com tradição pesqueira no mundo.

No Brasil podemos localizar como o embrião do que viria a ser o sistema de monitoramento de embarcações por satélites o Programa de Rastreamento de Embarcações Arrendadas (PREA), iniciado em 2000 com a implementação da Meta nº 7 do Convênio MA/SARC/Nº03/2000, entre o Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar da Universidade do Vale do Itajaí (CTTMar/UNIVALI) e o Departamento de Pesca e Aqüicultura do Ministério da Agricultura e do Abastecimento (DPA/MA), cujo objetivo era desenvolver um sistema para monitorar as embarcações estrangeiras arrendadas para pesca oceânica e de profundidade atuando na ZEE do Brasil (PEREZ *et al.*, 2003).

O Sistema de recepção desenvolvido para o Programa de Rastreamento de Embarcações Arrendadas – PREA consistia numa estação de recepção dos

dados de rastreamento e monitoramento das frotas pesqueiras estrangeiras atuando na costa brasileira a partir do sistema Argos.

No início das atividades, o PREA acompanhava apenas três embarcações, mas a quantidade de navios pesqueiros e a diversidade das frotas aumentaram, exigindo uma evolução da Central de Operações de tal forma que hoje, com parceria do Laboratório de Computação Aplicada (LCA) do CTTMar/UNIVALI, foi desenvolvido um programa de computador que funciona com tecnologia *open source*. Este programa tem a capacidade de monitorar em tempo real todas as embarcações rastreadas, podendo visualizar as embarcações e frotas, agilizando e auxiliando o processo de tomada de decisões dos órgãos governamentais em relação aos recursos marinhos não renováveis, além do levantamento de dados biológico-pesqueiros na Zona Econômica Exclusiva (ZEE) brasileira (CTTMar - Univali, 2009).

A Central de Operações do PREA reportou que até o final daquele ano de 2002, um total de 35 embarcações havia sido monitorada. Entre outubro de 2000 a dezembro de 2002 foram acompanhadas 241 viagens de pesca abrangendo todo o litoral brasileiro (Figura 3). No mesmo período, o PREA emitiria 218 relatórios com o detalhamento das viagens, incluindo áreas de pescas, profundidade de operação, atividades desenvolvidas (pesca ou navegação) e eventuais infrações cometidas (RODRIGO, 2008).

A experiência brasileira no rastreamento da frota de embarcações estrangeiras arrendadas desencadeada pelas Portarias de Autorização de Arrendamento da SEAP/PR, e o Decreto nº 4.810 de 19 de agosto de 2003, criou os alicerces para a formulação de um Programa Nacional de Rastreamento de Embarcações Pesqueira por Satélite, estendido para a maior parte da frota nacional, limitada a princípio às embarcações com escala industrial de produção.

O Grupo de Trabalho Técnico Interministerial (GTTI *Ad Hoc* de Rastreamento), coordenado pela SEAP/PR e integrado pela Marinha do Brasil e IBAMA-MMA deu início à formulação do programa de rastreamento de embarcações brasileiro tomando como base a experiência acumulada pelo DPA/MAPA e SEAP, e os excelentes resultados alcançados por esses programas-piloto.

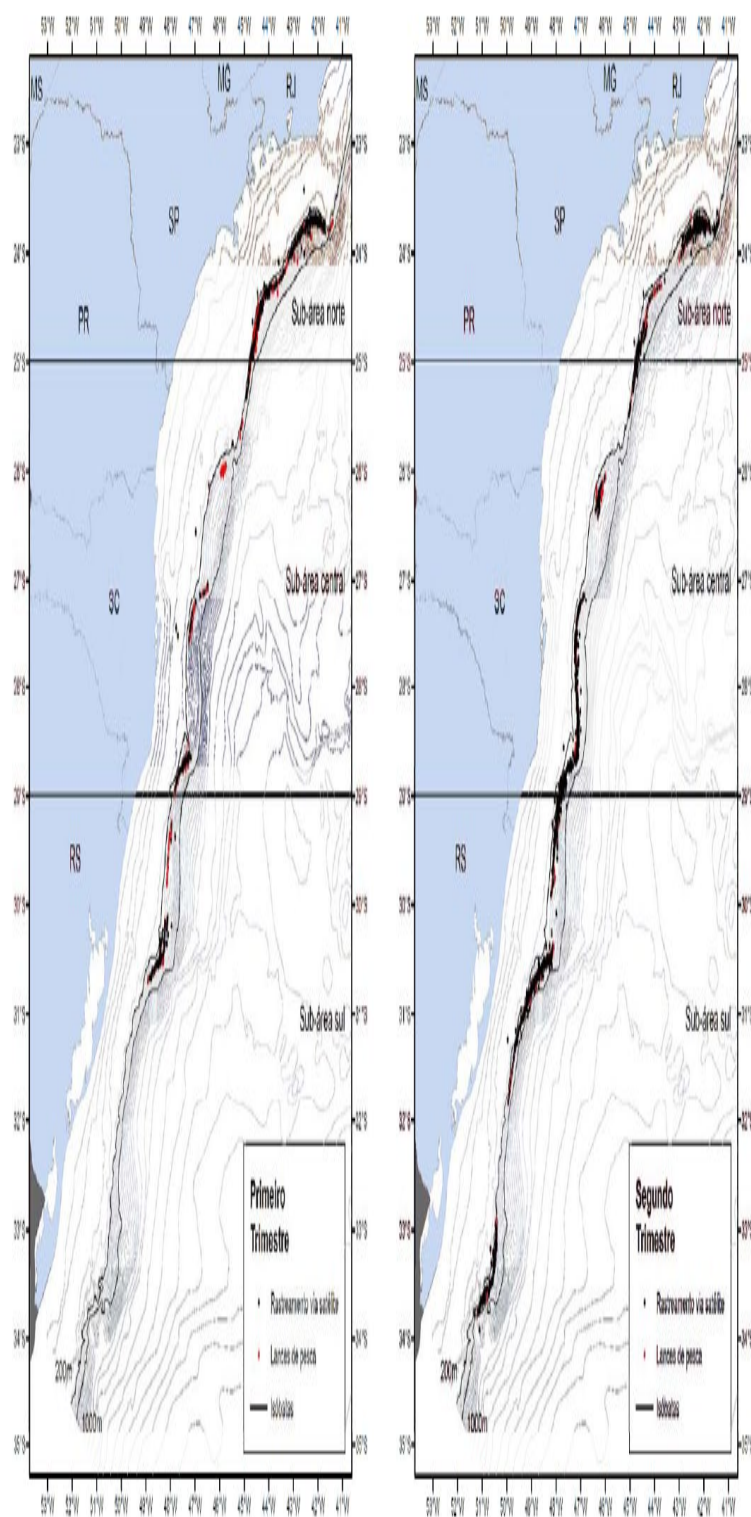
Em 2005, o Governo Federal consolidou o Programa Nacional de Observadores de Bordo (SEAP/IBAMA, 2006b) e o Programa Nacional de Rastreamento de Embarcações Pesqueiras por Satélite (SEAP/IBAMA, 2006a) como

políticas de Estado a serem adotadas para a gestão pesqueira nacional através de publicação da Instrução Normativa Conjunta SEAP PR/MB/MMA n.º 2 no D.O.U. em 15 de setembro de 2006, e da Instrução Normativa SEAP/PR n.º 20 de 15 de setembro de 2006, publicada no D.O.U. no dia 18 de setembro de 2006. (SEAP/IBAMA, 2006).

O PREPS é um dos programas de rastreamento de embarcações por satélites mais abrangentes e complexos da atualidade, tendo em vista o número de embarcações envolvidas, a dimensão de nossa enorme ZEE (quase 3,5 milhões de km²), e a complexidade da interação entre os três Ministérios envolvidos no PREPS (SEAP/PR, Marinha do Brasil e Ministério do Meio Ambiente - MMA), com competências complementares.

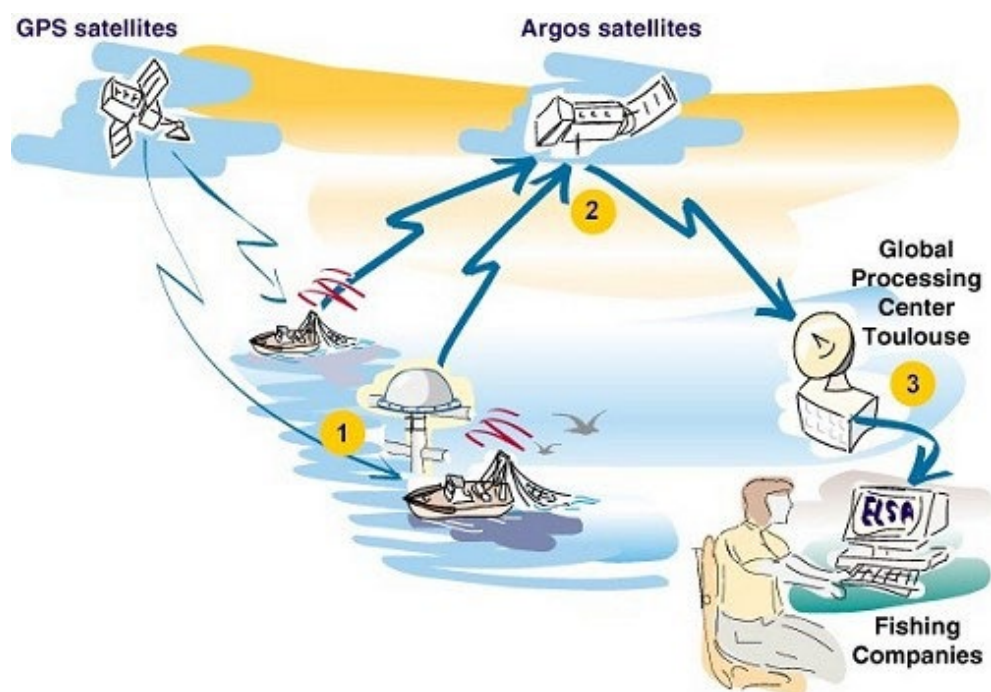
A instrução normativa SEAP/PR n.º 20 de 15 de setembro de 2006 que cria o PREPS, estabelece alguns componentes do sistema de rastreamento, o qual define no seu artigo 3º como um procedimento que consiste no acompanhamento remoto das posições das embarcações de pesca, por meio da instalação de equipamentos na superestrutura das embarcações (balizas). O equipamento consiste basicamente de um sistema de emissão de sinais, composto de uma antena integrada a um sistema de GPS (*Global Positioning System*), lacrados de forma inviolável, os quais são alimentados continuamente pela energia da embarcação (Figura 4).

Figura 3 – Distribuição espacial da ocupação da área de pesca das embarcações arrendadas de pesca de emalhe de fundo no sudeste e sul do Brasil entre janeiro e março e entre abril e junho de 2001 a partir dos registros de rastreamento satelital.



Fonte: DPA/MA (2001)

Figura 4 – Representação esquemática do sistema de rastreamento por satélite PREPS



Fonte: SEAP (2006).

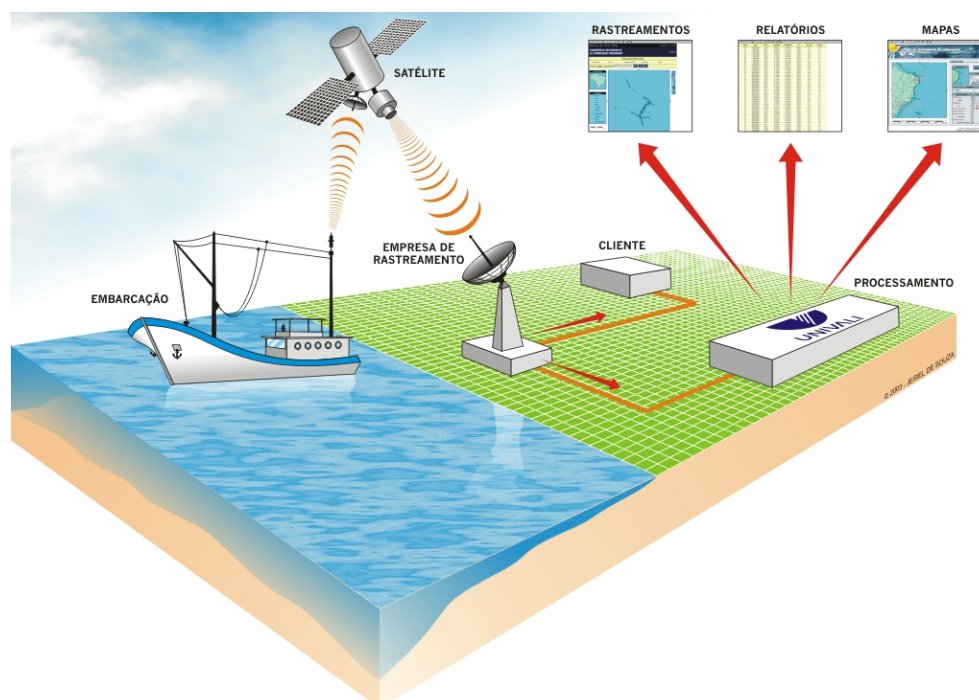
Figura 5 – Equipamentos de rastreamento



Fonte: SEAP (2006).

O equipamento emite os sinais de posição para os satélites, no caso do PREPS a cada hora. Os sinais são captados por satélites utilizados pelas empresas prestadoras de serviço de rastreamento e enviados até a Central de Rastreamento (Figura 6). A Central interpreta as informações através de um Sistema Informatizado e disponibiliza de forma *on line* e simultânea para todos os órgãos gestores do Programa Nacional, e para os armadores e proprietários de embarcações, que poderão acompanhar pela rede mundial de computadores os cruzeiros de pesca de suas embarcações, por meio do sítio: <http://www.preps.gov.br>.

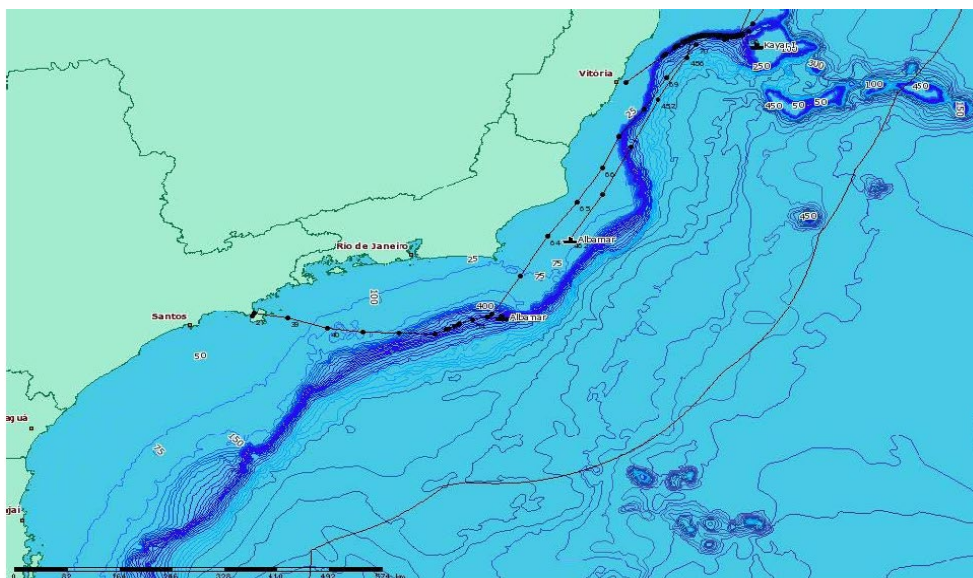
Figura 6 – Representação dos fluxos de informação dentro do PREPS



Fonte: SEAP (2006).

A Central de Rastreamento de embarcações Pesqueiras está localizada no Comando do Controle do Tráfego Marítimo - COMCONTRAM, no Comando de Operações Navais da Marinha do Brasil (RJ). A Central é dotada de um Sistema Informatizado para controle do PREPS (RASTRO) que recebe todas as informações originadas das embarcações, e repassadas pelas empresas prestadoras de serviço, a partir da adoção de um padrão único de emissão de informações, (Figura 7). Os dados que são enviados pelas empresas de rastreamento à Central são criptografados (codificados), garantindo sigilo absoluto no tráfego das informações.

Figura 7 – Visão Geral de Cruzeiro de pesca na Plataforma RASTRO.



Fonte: SEAP (2006)

A Central de informações do PREPS na Marinha do Brasil disponibiliza para as demais instituições gestoras do Programa, SEAP/PR e IBAMA-MMA, as informações rastreadas pelo PREPS e também para os Responsáveis Legais das embarcações pesqueiras, que terão senha de acesso restrito, viam rede mundial de computadores (<http://www.preps.gov.br>).

O Sistema da Central de rastreamento tem a capacidade de identificar individualmente cada embarcação; localizar e pesquisar as embarcações por filtros (tamanho da embarcação, frota, espécie alvo, entre outros); arquivar histórico de ocorrências com as embarcações; gerar alarmes de ocorrências que incluam situações de socorro, alerta de áreas sob proteção especial (legislação de ordenamento pesqueiro) entre outros; geração de relatório de rastreamento de cada cruzeiro de pesca, identificando situação de navegação e de atividade pesqueira; entre outras potencialidades (SEAP, 2006).

Os dados produzidos pelo PREPS se referem à:

- Autenticação: chave de conexão ao Web Service fornecida pelo Sistema da Central de Rastreamento à empresa prestadora de serviço de rastreamento;
- Código-Embarcação: identificação da embarcação, formada pelo número de inscrição na Marinha do Brasil, sem máscara, sem zeros à esquerda, concatenados à direita com a unidade federativa (UF) em que a embarcação encontra-se registrada;

- Latitude, longitude: identificação das coordenadas em notação grau decimal, projeção geográfica e datum WGS84. Deve possuir a precisão de um ponto flutuante de 64 bits.
- *DateTime*: tipo de dado padrão do SOAP, considerando ano, mês, dia, hora, minuto e segundo em horário universal (UTC);
- *UnsignedInt*: tipo de dado padrão do SOAP, representando inteiro sem sinal;
- *String*: tipo de dado padrão do SOAP, representando texto, considerando a codificação XML utilizada;
- Valor (LeituraSensor): representação textual da leitura do sensor, na unidade estabelecida para cada tipo de sensor. Para valores numéricos, separação de casa decimal por pontos, sem utilização de vírgulas para quaisquer separações, sem espaços entre números ou sinais, sem espaços no começo e fim do texto, sem sinal positivo para números maiores de zero e em representação decimal. (SEAP, 2006).

Aplicações potenciais referenciadas pelo PREPS conforme documentação no sítio da SEAP de julho de 2009:

- Identificar individualmente cada embarcação;
- Localizar e pesquisar as embarcações por tamanho, frota, espécie-alvo, petrecho de pesca e área de atuação;
- Consultar e inserir ocorrências envolvendo as embarcações (vistorias, manutenção dos equipamentos...);
- Visualizar alarmes relacionados a situações de socorro, operação em áreas sob proteção (legislação de ordenamento pesqueiro), falha de emissão de sinal pelos equipamentos de rastreamento;
- Gerar relatórios referentes a cada cruzeiro de pesca, identificando comportamento de navegação e de atividade pesqueira;
- Outras potencialidades.

É obrigatória a participação das seguintes embarcações:

- Estrangeiras de pesca, sem exceção;
- Atuantes na pesca de arrasto que operam em águas mais profundas do que 100 metros, sem exceção;
- Atuantes na pesca de cerco que capturam o bonito listrado, sem exceção;
- Atuantes na pesca com rede de emalhe que capturam o peixe-sapo, sem exceção;

- Atuantes na pesca com armadilhas/covos que capturam caranguejos de profundidade, sem exceção;
- Atuantes na pesca com armadilhas/covos/potes que capturam polvo, sem exceção;
- Todas as embarcações de pesca com comprimento igual ou superior a 15 metros ou arqueação bruta igual ou superior a 50 (espinhel, linha, vara e isca-viva, arrasto de peixes e camarões, espinhel de fundo, linha pargueira, emalhe de deriva, emalhe de fundo, arrasto de piramutaba, armadilha/covos, cerco, entre outras);
- Todas as embarcações da pesca da lagosta com armadilha/covos com comprimento igual ou superior a 10 metros;
- Outras embarcações que venham a ser obrigatórias, por atos normativos da SEAP/PR ou IBAMA/MMA.

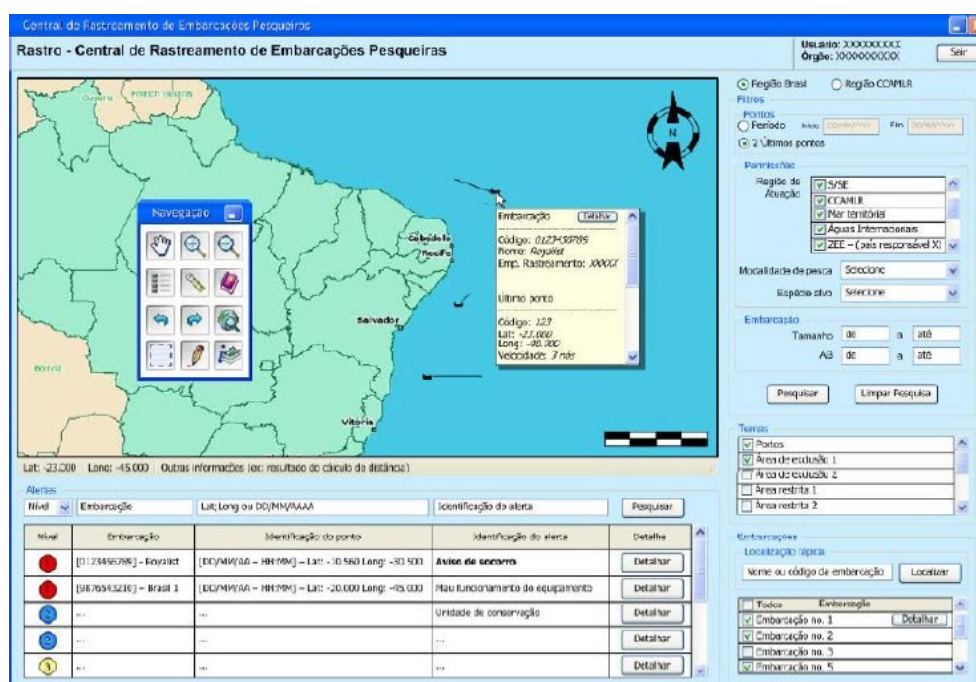
A participação no Programa também pode ser voluntária para aquelas embarcações não prevista neste primeiro momento. No entanto, as condições do PREPS deverão ser cumpridas integralmente. (SÍTIO DO PREPS, 2009).

Responsabilidades das empresas participantes do PREPS:

- Registrar a cada 1 hora as informações de posição geográfica e/ou profundidade local e enviar essas informações em até 5 horas, contadas a partir da última informação recebida pela Central de Rastreamento;
- Manter em permanente funcionamento o equipamento de rastreamento, incluindo o período em que a embarcação não esteja em cruzeiro de pesca, exceto nas situações previstas e devidamente informadas à Central de Rastreamento;
- Nos casos de falha de envio das informações pelos equipamentos de rastreamento, os Observadores de Bordo embarcados poderão registrar as informações de posição geográfica e de profundidade por um período máximo de 30 dias. Caso a embarcação não tenha Observadores de Bordo embarcado, deverá retornar ao porto brasileiro e efetuar a reparação dos equipamentos de rastreamento.

A SEAP estima que cerca de 3.000 embarcações serão monitoradas pelo PREPS representando quase que a totalidades das embarcações de médio e grande porte operando na pesca marítima e oceânica. A figura 8 abaixo representa a tela principal do sistema de informação da Central de Rastreamento do PREPS.

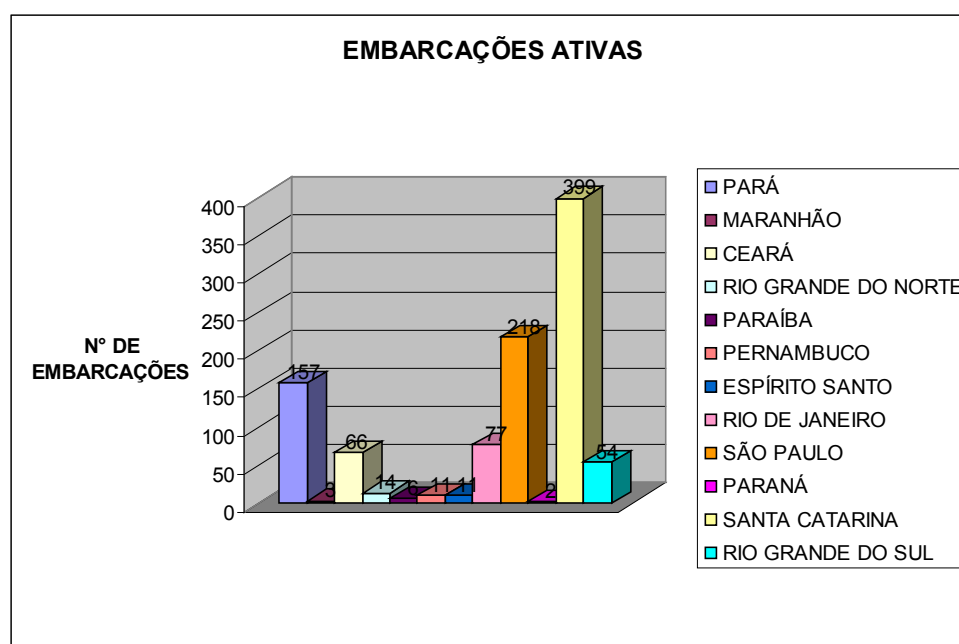
Figura 8 – Tela principal do sistema de informação da Central de Rastreamento do PREPS.



Fonte: SEAP (2006).

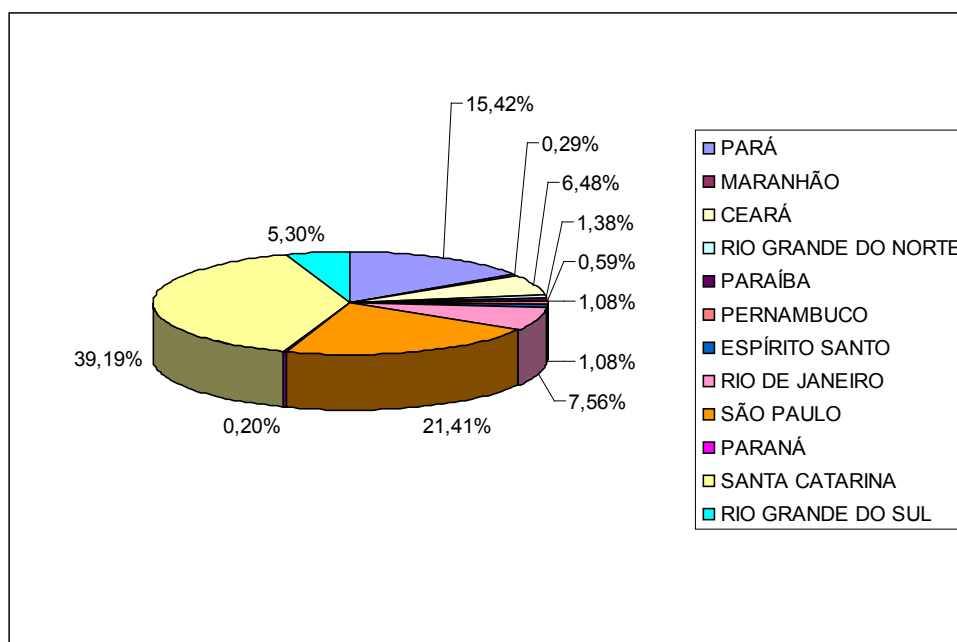
Atualmente o sistema tem cadastradas 1018 embarcações distribuídas entre os estados da federação conforme gráfico abaixo:

Figura 9 – Embarcações ativas rastreadas pelo PREPS.



Fonte: SEAP (2006).

Figura 10 – Proporção de embarcações ativas rastreadas nos Estados do Brasil.



Fonte: SEAP (2006).

Apesar da eficiência e funcionalidades dos sistemas VMS, estes não conseguem rastrear os barcos não cooperados. Nossa abordagem propõe a complementaridade da utilização de satélites espaciais aos sistemas VMS na detecção dessas embarcações invisíveis aos Centros de Monitoramento dos sistemas VMS, mas detectáveis através do imageamento orbital ou varreduras com os radares.

O cenário relacionado à detecção de barcos por satélites será abordado no próximo tópico e consiste na caracterização dos diversos tipos de embarcações considerando o tamanho, forma, constituição, modalidade de pescas, e ambiente aonde estas se acontecem.

2.6 Ambiente marítimo da Zona Econômica Exclusiva do Brasil

Nossa região marítima de interesse ao monitoramento da pesca corresponde às 12 milhas do Mar territorial, às 12 milhas da Zona Contígua e a Zona Econômica Exclusiva de 200 milhas incluindo as nossas ilhas oceânicas. Apesar de que o monitoramento possa ser praticado além da ZEE, o satélite pode ser

direcionado para qualquer região de cobertura, mas como vimos anteriormente, a maior parte da atividade pesqueira se dá dentro desses limites.

O Brasil possui cerca de 8.500 km de linha de litoral que somadas às ilhas totaliza uma área de 3,5 milhões de km² de Zona Econômica Exclusiva (ZEE), que se estende desde o Cabo Orange (5 °N) até o Chuí (34 °S).

A caracterização das condições ambientais das águas marinhas sob jurisdição nacional reconhece domínio das águas de temperatura e salinidade elevadas além de baixas concentrações de nutrientes, características típicas de regiões tropicais e subtropicais.

O mar que banha a costa brasileira está sob a influência de três correntes: (1) a Corrente da Costa Norte do Brasil, que flui para Noroeste; (2) a Corrente do Brasil, que flui em direção ao Sul; ambas resultantes da Corrente Sul-Equatorial que vem da costa da África e, ao se encontrar com o continente brasileiro na altura de João Pessoa, bifurca-se nas duas direções mencionadas; e (3) a Corrente das Malvinas (Figura 11). As duas primeiras apresentam características comuns, uma vez que são de temperatura e salinidade altas e pobres em sais nutrientes. Estes parâmetros, associados à alta profundidade da termoclina nas áreas percorridas por essas correntes, não permitem que os sais nutrientes alcancem a zona trófica para favorecer a produção primária, tornando a produtividade do mar baixa nestas regiões. A Corrente das Malvinas, com baixa temperatura e salinidade, penetra a região costeira do Rio Grande do Sul e, atingindo a altura do paralelo 34° - 36° S, encontra-se com a Corrente do Brasil, formando a Convergência Subtropical. Esta corrente possui alta concentração de sais nutrientes (DIAS NETO; MARRUL FILHO, 2003).

Com relação à produtividade das águas marinhas brasileiras parece haver uma correlação entre o ambiente terrestre e marítimo (FONTELLES, 1989).

A produtividade da região Norte é influenciada pelos despejos de grande volume de água doce do rio Amazonas carreando elevada quantidade de material de origem terrestre em suspensão, que ao se depositar sobre a plataforma continental da foz daquele rio, faz com que a costa dos estados do Pará e Amapá apresentem alta produtividade, especialmente de comunidades bentônicas.

Nas regiões Sudeste e Sul, a influência da massa de água da Corrente das Malvinas, a ocorrência de ressurgências ou a penetração da Água Central do Atlântico Sul – ACAS possibilitam uma maior abundância de pescado,

especialmente até a altura de Cabo Frio. As ressurgências ocorrem em decorrência da combinação de fatores como: mudanças na direção da Corrente do Brasil, topografia de fundo e efeito dos ventos predominantes na área.

Figura 11 – Correntes marítimas da costa brasileira (modificado por DIAS NETO, 2002 *apud* – MATSUURA, 1995).



Fonte: Dias Neto (2002)

2.7 Caracterização da frota pesqueira nacional atuante nas regiões norte e sul do Brasil

2.7.1 Características da frota pesqueira da região Norte

Estatisticamente, a frota pesqueira marinha e estuarina que opera no litoral brasileiro, tanto na zona costeira quanto na pesca oceânica, está estimada em

torno de 30.000 embarcações, 10% das quais, consideradas de médio e grande porte, e conhecidas como frota industrial objeto do nosso estudo.

De acordo com a literatura a frota pesqueira industrial, ou empresarial, é composta de sub-frotas especializadas que atuam na exploração de determinados grupos de recursos pesqueiros formados por uma ou mais espécies afins. Essa frota atua tanto sobre os recursos costeiros (camarões, lagostas, piramutaba, sardinha, etc.), quanto sobre os recursos considerados oceânicos, tais como os atuns e afins, peixe-sapo, além de outras.

A classificação da frota pesqueira nacional, esta caracterizada no relatório Programa Nacional de Financiamento da Ampliação e Modernização da Frota Pesqueira Nacional - Profrota Pesqueira (2003) e nos relatórios técnicos dos Projetos de Cadastramento das embarcações pesqueiras no litoral das regiões Norte e Nordeste e Sul e Sudeste do Brasil realizado no âmbito dos convênios SEAP/IBAMA/PROZEE nº 111/2004 de 2005 e SEAP/IBAMA/PROZEE nº 110/2003.

Apesar de o relatório se referir à região Norte e Nordeste, nosso foco é as embarcações atuantes nas pescas industriais dos estados do Amapá e Pará na região Norte e em Santa Catarina na região Sul já que os barcos de pesca rastreados pelo PREPS cedidos para este trabalho têm a procedência desses estados.

Para efeito da detecção de barcos baseados nas feições dos mesmos, os principais parâmetros estão relacionados ao comprimento e constituição dos barcos. Esses atributos são de grande importância na definição do sensor que irá detectá-los a partir do espaço. A constituição por influir na sua resposta espectral no caso do sensor ótico e a relação comprimento-largura porque no nosso caso o algoritmo utilizado para detecção avalia estes parâmetros para caracterizar o objeto embarcação de pesca. O comprimento do barco é também um fator limitante já que os sensores ativos têm uma limitada capacidade para detectarem pequenos barcos de madeira ou fibra de vidro.

A análise das embarcações cadastradas revela que 99,7% das embarcações têm casco de madeira e apenas uma única embarcação, à época do cadastramento, apresentava casco de ferro.

A Tabela 1, extraída do referido documento, mostra que 63,1% das embarcações do Estado do Amapá medem mais de 8m de comprimento, estando a

maioria (73,0%) entre 8m e 12m, o que caracteriza a frota do Amapá como uma frota de médio porte.

Essa frota é movida a remo, vela e motor, destacando-se a expressiva participação das embarcações motorizadas, que representam 96,3% do total, enquanto que as embarcações movidas à vela e a remo correspondem, respectivamente, a apenas 2,8% e 0,9%.

Tabela 1 – Frota pesqueira marinha do Estado do Amapá, por tipo de embarcação, comprimento e material do casco.

Tipos de embarcação	Material do casco	Faixas de comprimento										Total	%
		<=4m	4..	6m	6..	8m	8..	12m	12..	18m	>18m		
Barco	Madeira	25		3		25		147		46	13	259	73,6
Barco Total		25		3		25		147		46	13	259	73,6
Barco industrial	Ferro							1				1	0,3
	Madeira									1		1	0,3
Barco industrial Total								1		1		2	0,6
Canoa a vela	Madeira	21										21	6,0
Canoa a vela Total		21										21	6,0
Canoa motorizada	Madeira	23		4		25		14				65	
Canoa motorizada Total		23		4		25		14				65	18,8
Montaria	Madeira	3				1						4	18,8
Montaria Total		3				1						4	1,1
TOTAL		72		7		51		162		47	13	352	100,0

Fonte: (PROZEE nº 111/2004).

De acordo com relatório do trabalho acima referido as embarcações do Estado do Amapá são classificadas em:

(1) montaria – MON embarcação de pequeno porte, com capacidade para até 0,5 tonelada, casco de madeira, movida a remo, tripulação de 1 a 4 pescadores, sem conservação do pescado a bordo ou conservado em pequenas caixas isotérmicas com gelo (Figura 12). A Figura 13 mostra uma enorme canoa

conduzindo garimpeiros na região do Oiapoque à Macapá no Amapá. Os garimpeiros da região possuem uma pequena frota de montarias, algumas enormes como a que se apresenta na citada figura. Registramos a singularidade desta embarcação estreita e bastante longa cuja identidade espectral nas imagens de satélites deverá ser bem caracterizada.

Figura 12 – Montaria do Estado do Amapá



Fonte: Projeto Mar sem fim (MESQUITA, 2007).

Figura 13 – Canoa enorme levando garimpeiros e barco ao fundo no Amapá.



Fonte: Projeto Mar sem fim (MESQUITA, 2007).

(2) canoa a vela – CAN embarcação com capacidade para até 3 toneladas, casco de madeira, sem convés ou com convés semifechado, com ou sem casaria, com quilha, movida a vela ou a remo e a vela, tripulação de 1 a 6 pescadores, sem conservação do pescado a bordo ou conservação em pequenas caixas isotérmicas com gelo (Figura 14).

Figura 14 – Canoa costeira a vela do Estado do Amapá



Fonte: Projeto Mar sem fim (MESQUITA, 2007).

(3) canoa motorizada - CAM embarcação com capacidade para até 5 toneladas, casco de madeira, com ou sem convés, com ou sem casaria, comprimento menor que 8,0 metros, movida a motor, com potência de 11 Hp a 22 Hp, ou a motor e a vela, tripulação de 2 a 6 pescadores (Figura 15).

Figura 15 – Canoa Motorizada do Estado do Amapá



Fonte: Projeto Mar sem fim (MESQUITA, 2007).

(4) barco de pequeno porte – BPP embarcação com capacidade para até 8 toneladas, casco de madeira, convés 25 fechado ou semi-fechado, com ou sem casaria, comprimento entre 8,0m e 11,9m, movida a motor, com potência de 11 Hp a 69 Hp, ou a motor e a vela, tripulação de 3 a 8 pescadores, conservação do pescado em urnas isotérmicas com gelo, autonomia de até 10 dias de mar (Figura 16).

Figura 16 - Barco de pequeno porte do estado do Amapá



Fonte: Projeto Mar sem fim (MESQUITA, 2007).

(5) barco de médio porte – BMP embarcação com capacidade de até 18 toneladas, casco de madeira, convés fechado, com casaria, comprimento entre 12,0 metros e 16,9 metros, movida a motor, com potência de 36Hp a 114Hp, ou a motor e a vela, tripulação de 5 a 17 pescadores dependendo do tipo de pescaria, conservação do pescado em urnas isotérmicas com gelo, autonomia de até 25 dias de mar (Figura 17).

Figura 17 - Barco Industrial de médio porte do Estado do Amapá



Fonte: Projeto Mar sem fim (MESQUITA, 2007).

(6) barco industrial – BIN embarcação com capacidade de até 80 toneladas, casco de aço com comprimento entre 12,0m e 26,0m ou com casco de madeira com cujo comprimento varia de 17,0m a 26,0m, convés fechado, com casaria, movida a motor, com potência de 236 Hp a 425 Hp; dotada de equipamentos de apoio à navegação, tripulação de 5 a 22 pescadores, dependendo do tipo de pescaria, conservação do pescado em urnas isotérmicas com gelo ou em frigorífico, autonomia de mar de até 70 dias (Figura 18).

Figura 18 - Barco Industrial do Estado do Amapá



Fonte: Projeto Mar sem fim (MESQUITA, 2007).

As embarcações com maior participação no estado são os barcos motorizados (BPP e BMP), que totalizam 73,6% da frota, seguidas pelas canoas motorizadas (CAM) que representam 18,8%, enquanto que os barcos industriais (BIN) apresentam a menor participação com apenas 0,6%.

Com relação às artes de pesca utilizadas pela frota pesqueira do Estado do Amapá, destaca-se a rede de espera, observada como aparelho de pesca principal de 51,4% das embarcações, enquanto que o espinhel é o aparelho de pesca mais utilizado nas canoas à vela, representando cerca de 95,2% dessas embarcações (Tabela 2).

Tabela 2 – Tipos de embarcação por Aparelhos de pesca e comprimento

Tipos de embarcação	Aparelhos de pesca	Faixas de comprimento									Total	%	
		<=4m	4..	6m	6..	8m	8..	12m	12..	18m			>18m
Barco	Arrasto					1		18		1		20	5,7
	Espinhel	21				13		38		9	2	83	23,6
	Outras							2				2	0,6
	Rede de espera	4		3		11		89		36	11	154	43,8
Barco Total		25		3		25		147		46	13	259	73,6
Barco industrial	Espinhel							1				1	0,3
	Rede de espera									1		1	0,3
Barco industrial Total								1		1		2	0,6
Canoa a vela	Espinhel	20										20	5,7
	Rede de espera	1										1	0,3
Canoa a vela Total		21										21	6,0
Canoa motorizada	Arrasto			1		10		3				14	4,0
	Espinhel	21		2		2		1				26	7,4
	Outras			1		1						2	0,6
	Rede de espera	2				12		10				24	6,8
Canoa motorizada Total		23		4		25		14				65	18,8
Montaria	Espinhel	3										3	0,9
	Rede de espera					1						1	0,3
Montaria Total		3				1						4	1,1
TOTAL		72		7		51		162		47	13	352	100,0

Fonte: (PROZEE nº 111/2004).

- **Características das embarcações pesqueiras no estado do Pará**

O Pará com uma extensão geográfica 1.253.164,5 km², representando cerca de 15,0% do território nacional possui 70.000 km² de plataforma continental, sendo 67.972 km² de área oceânica e 562 km de costa (BRASIL, 1973).

No Pará, as redes de espera são responsáveis por mais da metade das capturas dos peixes. As redes de arrasto são utilizadas na pesca industrial do camarão e da piramutaba.

O relatório de cadastramento das embarcações apresenta uma análise bastante detalhada das mesmas.

A Tabela 3 abaixo foi extraída do relatório mencionado quantificando a frota atuante pelas características da embarcação, tamanho, material do casco e modalidade de pesca.

Tabela 3 –Frota pesqueira marinha do Estado do Pará, por tipo de embarcação, comprimento e material do casco.

Tipos de embarcação	Material do casco	Faixas de comprimento										Total	%
		<=4m	4..	6m	6..	8m	8..	12m	12..	18m	>18m		
Barco a motor	Ferro-cimento							1		2		3	0,0
	Madeira	355		10		607		1540		286	33	2831	38,1
	NI	7						1		2		10	0,1
Barco a motor Total		362		10		607		1542		290	33	2844	38,3
Barco industrial	Ferro-cimento	75								1	86	162	2,2
	Madeira	13						1		11	42	67	0,9
Barco industrial Total		88						1		12	128	229	3,1
Canoa a vela	Madeira	466		743		143		8		1	9	1370	18,4
	NI	5				1						6	0,1
Canoa a vela Total		471		743		144		8		1	9	1376	18,5
Canoa motorizada	Alumínio					1						1	0,0
	Madeira	123		236		851		41			3	1254	16,9
	NI	5				1						6	0,1
Canoa motorizada Total		128		236		853		41			3	1261	17,0
Montaria	Madeira	817		835		41		4			24	1721	23,2
	NI	3										3	0,0
Montaria Total		820		835		41		4			24	1724	23,2
TOTAL		1869		1824		1645		1596		303	197	7434	100,0

Fonte: (PROZEE nº 111/2004).

A madeira ainda é o material preferido na confecção do casco das embarcações nas regiões Norte e Nordeste. Em alguns estados como a Paraíba e Sergipe correspondem a 100% da frota. Nos demais estados também são encontradas embarcações com casco em fibra de vidro, alumínio, ferro-cimento e em aço, porém sem maior significância, uma vez que representam apenas 2,2% da frota pesqueira das regiões (Tabela 4).

As figuras 19 a 25 representam exemplares de tipos de embarcações utilizadas nas diferentes modalidades de pesca no Estado do Pará. Essas embarcações têm uma resposta espectral diferenciada no sensor ótico. Um programa de detecção de embarcações envolve a estruturação de um banco de dados de imagens e suas correspondentes respostas espectrais nos diversos sensores e resoluções espaciais. O objetivo seria ir além da detecção, objeto do nosso trabalho, passando às fases de classificação e até identificação das embarcações. A seguir são apresentadas fotografias extraídas do relatório de cadastro de embarcações onde se caracterizam os diferentes tipos de embarcações:

Figura 19 – Canoa a vela do Estado do Pará



Fonte: Projeto Mar sem fim (MESQUITA, 2007).

Figura 20 – Canoa Motorizada do Estado do Pará



Fonte: Projeto Mar sem fim. (MESQUITA, 2007)

Figura 21 - Barco de Pequeno Porte do Estado do Pará



Fonte: Projeto Mar sem fim. (MESQUITA, 2007)

Figura 22 - Barco de Médio porte do Estado do Pará



Fonte: Projeto Mar sem fim (MESQUITA, 2007).

Figura 23 - Barco pesqueiro com vela e motor no Rio Pará.



Fonte: Projeto Mar sem fim (MESQUITA, 2007).

Figura 24 - Chegada dos barcos de pesca ao Mercado Ver-o-peso no Pará.



Fonte: Projeto Mar sem fim. (MESQUITA, 2007)

Figura 25 - Barco Industrial camaroeiro do Estado do Pará



Fonte: Projeto Mar sem fim (MESQUITA, 2007).

Na pesca industrial a empresa é proprietária tanto das embarcações como dos apetrechos de pesca. As embarcações são mecanizadas para a execução

das tarefas da pescaria e em alguns casos além da captura são capazes de executar o beneficiamento e comercialização do pescado. As embarcações apresentam maior porte, são motorizadas e com maior raio de ação que aquelas utilizadas pela de pequena escala.

A Tabela 4 abaixo apresenta uma síntese das embarcações do Pará correlacionando os diversos tipos a suas características principais.

Tabela 4 – Síntese das características das embarcações atuantes nas pescas do Pará.

	MONTARIA (MONT)	CANOA A VELA (CAN)	CANOA MOTORIZADA (CAM)	BARCO DE PEQUENO PORTE (BPP)	BARCO DE PEQUENO MÉDIO (BMP)	BARCO INDUST (BIN)
CAPACIDADE:	até 0,5 ton	até 3 ton	até 5 ton	até 8 ton	até 18 ton	até 80 ton
MATERIAL DO CASCO:	madeira	madeira	madeira	madeira	madeira	aço
PROPULSÃO:	remo	vela, remo ou a remo e vela	motor ou motor e vela de 11 a 22 hp	motor de 11 a 69 hp	motor com potência de 36 a 114 hp	motor de 236 a 425 hp, com equip. de navegação
COMPRIMENTO:	até 10m	até 12m	menor que 8 m	entre 8 e 11,99m	igual ou maior que 12m	de 17 a 26 metros
TRIPULAÇÃO:	1 a 4 pescadores	1 a 6 pescadores	de 2 a 6 pescadores	de 3 a 8 pescadores	de 5 a 17 pescadores	de 5 a 22 pescadores
AUTONOMIA:	1 dia de mar	até 2 dias de mar	até 5 dias de mar	para até 10 dias de mar	até 25 dias de mar	até 70 dias de mar
CONSERVAÇÃO DO PESCADO:	“in natura” ou caixas isotérmicas	“in natura” ou em caixas isotérmicas com gelo	em caixas ou urnas isotérmicas com gelo	em urnas isotérmicas com gelo	em urnas isotérmicas com gelo	em urnas isotérmicas ou frigorífico
DENOMINAÇÕES:	bote, casquinho ou reboque	canoa ou bote a vela	bote motorizado, bastardo ou lancha	iate motorizado, barco ou lancha	barco ou lancha	como barca ou barco de ferro

Fonte: (PROZEE nº 111/2004)

2.7.2 Características das embarcações pesqueiras no Sudeste - Sul com ênfase nas embarcações de Santa Catarina

Nosso trabalho se propõe a detectar embarcações pesqueiras na região Norte e Sul do Brasil. Os dados apresentados pelo Programa de Rastreamento de

Embarcações Pesqueiras relativas ao dia e hora de aquisição da imagem do satélite SPOT 5, utilizada para a detecção automática com o algoritmo *ShipDetection*, reportam apenas embarcações de Santa Catarina.

No entanto sabe-se que barcos de pesca de todo o Sudeste se deslocam sazonalmente para a região Sul em função das oscilações naturais dos estoques pesqueiros, alvos das pescarias localmente praticadas, tendo em vista também, o poder de pesca desses barcos e sua autonomia de mar.

Justifica-se então a consideração da possibilidade de embarcações pesqueiras do Sudeste e Sul estarem pescando também nesta área o que nos leva a considerar nesta abordagem os barcos e tipos de pesca praticados em outros estados do Sudeste e Sul, ainda que com mais ênfase no Estado de Santa Catarina.

O Censo estrutural da pesca realizado pelo Convênio SEAP/IBAMA/PROZEE N° 110/2004 registra 5.313 embarcações atuando na costa de Santa Catarina, que com uma extensão de 531 km, tem na atividade da pesca um dos pilares da economia do Estado.

As Figuras 26 e 27 representam uma canoa tradicional e o caíco, pequena embarcação utilizada na pesca artesanal de peixes no litoral de Santa Catarina.

Laguna é o município com o maior número de embarcações, com 1.306 unidades, prevalecendo as bateiras e botes sem cabine, em número superior a 1.000. A grande maioria das embarcações tem casco de madeira (97,3%), (Figura 28), sendo registrada apenas uma embarcação artesanal de aço (bote c/ cabine), observando-se ainda pesqueiros de alumínio, fibra e mistos de fibra/madeira.

Figura 26 - Canoa tradicional em atividade em Laguna – SC



Fonte: Projeto Mar sem fim (MESQUITA, 2007).

Figura 27 - Caícos e as “redes aviãozinho” utilizadas na pesca do camarão-rosa em Laguna – SC.



Fonte: Projeto Mar sem fim (MESQUITA, 2007).

Figura 28 - Bote com cabine utilizado na captura de peixe no litoral de Santa Catarina.



Fonte: Projeto Mar sem fim (MESQUITA, 2007).

Em Florianópolis, a pesca de linha com zangarilho para captura de lulas (*Loligo sp*) é tradicional, assim como o é a pescaria de tainhas (*Mugil platanus*), através dos arrastões-de-praia, no período compreendido entre os meses de maio e julho.

A pescaria por arrasto-de-praia é praticada em todo o litoral brasileiro, apesar de altamente predatória este tipo de pesca é permitida por lei quer próxima a costa ou em águas mais profundas.

Figura 29 - Barco de arrasto na Lagoa dos Patos – RG



Fonte: Projeto Mar sem fim (MESQUITA, 2007).

A Figura 30 mostra um barco navegando na crista da onda em águas costeiras do litoral de São Paulo enquanto pratica o arrasto-de-praia.

O arrastão-de-praia com parrelha de barcos de pesca é tão devastadora que alguns países pregam uma moratória desta modalidade de pesca na ONU. Permitida no Brasil inclusive próximo a costa (MESQUITA, 2007).

Figura 30 - Barco de pesca de arrasto em plena atividade no litoral de São Paulo.



Fonte: Projeto Mar sem fim (MESQUITA, 2007).

A Figura 31 a seguir apresenta barcos com armação de parelha para a prática da pesca de arrastão-de-praia, neste caso em Ilhéus no litoral da Bahia.

Figura 31 - Arrasto de parelha em Ilhéus na Bahia, pesca altamente impactante ao ambiente marinho.



Fonte: Projeto Mar sem fim (MESQUITA, 2007).

A pesca com a armadilha de cerco-flutuante é utilizada em várias comunidades e as espécies mais capturadas são a tainha, espada, enchova, sardinhas (*Sardinella brasiliensis*) e lulas. O município conta com empresas de pesca e fábrica de gelo.

Próximo à costa a pesca é caracterizada por embarcações tipo bote sem cabine e com cabine, voltadas para o arrasto de camarões branco e rosa e de peixes enquanto que na área oceânica prevalecem as redes de emalhe para enchova, corvina, tainha, abrótea e outras.

Abaixo a figura 32 apresenta um pesqueiro com rede de emalhe em Camboriú, litoral de Santa Catarina.

Figura 32 - Pesqueiro com rede de emalhe em Camboriú - SC



Fonte: Projeto Mar sem fim (MESQUITA, 2007).

Nas baías Norte e Sul da Ilha de Santa Catarina as principais pescarias são as de cerco para o camarão-legítimo e de emalhe para peixes. A Figura 33 mostra um barco típico da frota camaroeira do sudeste, no caso o barco paranaense emprega o arrasto duplo com portas.

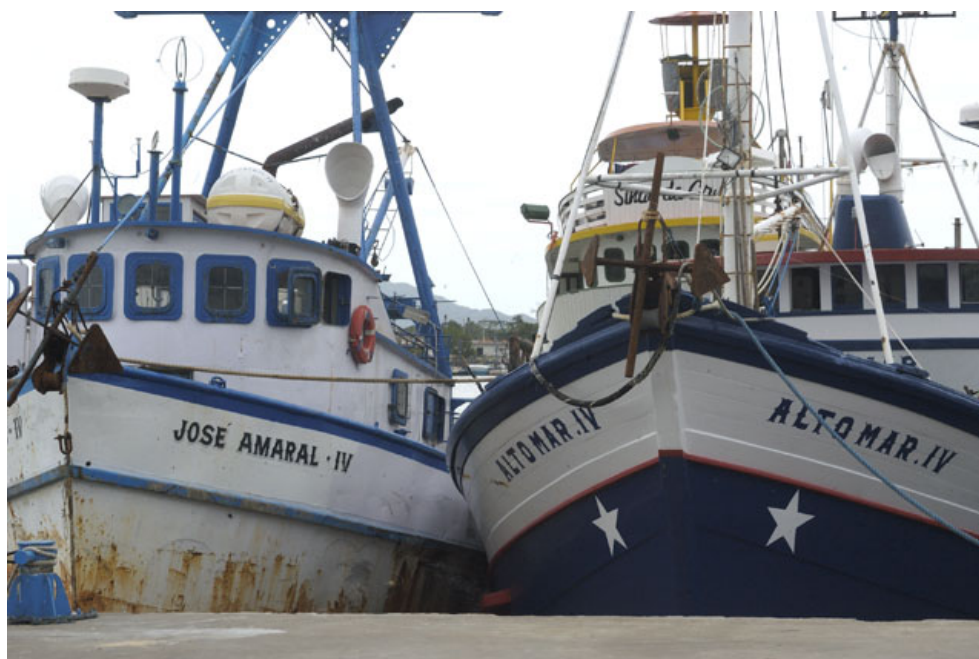
Figura 33 - Barco pesqueiro de médio porte utilizado para captura de camarão, empregando o arrasto duplo com portas.



Fonte: Projeto Mar sem fim (MESQUITA, 2007).

O principal porto pesqueiro de Santa Catarina está localizado em Itajaí voltado para a pesca industrial (Figuras 34 e 35) que atua em todo o Sudeste e Sul do Brasil em função da variação sazonal e espacial dos recursos pesqueiros. A frota pesqueira de Itajaí compreende ao todo 700 barcos de pesca, de 250 armadores e respondem por 40% do pescado produzido no país.

Figura 34 - Pesqueiros da frota de Itajaí – SC.



Fonte: Projeto Mar sem fim (MESQUITA, 2007).

Figura 35 - Pesqueiro de madeira no estaleiro – Frota de Itajaí – SC



Fonte: Projeto Mar sem fim (MESQUITA, 2007).

O Censo estrutural da pesca, 2004, registra que a frota pesqueira artesanal apresenta 90% dos barcos com comprimento entre 4 metros e 12 metros.

Os arrasteiros e as baleeiras apresentam os maiores comprimentos totais, atingindo 11 metros e 10,25 metros, em média.

Com relação à pesca industrial as embarcações são maiores, apresentando um comprimento que varia de 17 metros a 20 metros sendo, na sua maioria, constituídos de madeira (PREPS, 2009).

Abaixo a Figura 36 retrata a chegada para desembarque da frota atuneira do Espírito Santo no porto de Itaipava. Esta frota atua em todo o litoral Sudeste – Sul.

Figura 36 - Frota atuneira no desembarque em Itaipava município de Itapemirim – ES.



Fonte: Projeto Mar sem fim (MESQUITA, 2007)

A pesca da enchova é realizada no Sul do Brasil desde a década de 1960, através de embarcações equipadas com redes de cerco (Figura 37), provenientes do Rio de Janeiro, São Paulo e Santa Catarina que, na entresafra da sardinha, se deslocam para Rio Grande do Sul. (Censo estrutural da pesca, 2004). Essa pescaria concentra uma grande frota pesqueira no Rio Grande do Sul objeto de investigação do nosso trabalho.

Figura 37 – Barco de pesca do Rio de Janeiro em atividade na pesca da manjuba que servirá de isca viva para a pesca do atum.



Fonte: Projeto Mar sem fim (MESQUITA, 2007).

Apresentamos abaixo na Tabela 5 uma síntese das embarcações pesqueiras marinhas no Estado de Santa Catarina com tipo de embarcação, tamanho e tipo de permissionamento, e na Tabela 6, material do casco por tipo de embarcação e comprimento extraído do referido Censo.

Tabela 5 - Frota pesqueira marinha do Estado de Santa Catarina permissionada, por tipo de embarcação, classe de comprimento e tipo de permissionamento de pesca.

Tipos de embarcação	Tipo de permissão	Classes de comprimento das embarcações									Total geral
		<=4m	4..	6m	6..	8m	8..	12m	>12	NI	
Arrasto parellha	Não informou									1	1
Arrasto parellha Total										1	1
Arrasto simples	Não informou									1	1
Arrasto simples Total										1	1
Baleeira	Camarão						5		7		12
	Camarão e peixe				1		4		8		13
	Peixe	1			4		8		36	2	51
	Siri e camarão						1				1
	Não informou				9		20		59	45	3
Baleeira Total		1		14		38		110	45	5	213
Bateira	Camarão	1			4		26		10		49
	Camarão e peixe	11			221		31		5	7	275
	Peixe	14			54		8		10	3	89

	Siri e camarão	4	29	1				34
	Não informou	81	926	186	174	1	64	1432
Bateira Total		111	1234	252	207	1	74	1879
Bote com cabine	Camarão			9	41			50
	Camarão e peixe		2	7	29	1		39
	Peixe	1	2	4	19	2		28
	Siri e camarão			4				4
	Não informou		4	66	269	4	15	360
	Camarão				1			1
Bote com cabine Total		1	8	92	359	7	15	482
Bote sem cabine	Camarão		11	24	18		1	54
	Camarão e peixe	1	89	59	15		3	167
	Peixe	3	32	39	54			128
	Siri e camarão		22	19				41
	Não informou	8	220	283	205	1	15	732
	Peixe		1					1
Bote sem cabine Total		12	375	424	292	1	19	1123
Caico	Camarão e peixe	1	1	1				3
	Peixe	17	16	1	1			35
	Siri e camarão		7					7
	Não informou	58	182	10	1		1	252
	Peixe	1	1					2
Caico Total		77	207	12	2		1	299
Canoa	Camarão	1	12	9				22
	Camarão e peixe	18	148	178	5	1		350
	Peixe	3	59	67	37		1	167
	Siri e camarão	2	3	11				16
	Não informou	58	283	230	19	3	13	614
Canoa Total		82	505	503	61	4	14	1169
Chalupa	Camarão				1			1
	Peixe				1	1		2
	Não informou		1			1		2
Chalupa Total			1		2	2		5
Lancha	Camarão				1			1
	Peixe			1	1			2
	Não informou		6					6
Lancha Total			6	1	2			9
Trainieras	Não informou		1	1	2	18		22
Trainieras Total			1	1	2	18		22
Barco emalhe oceânico	Não informou				4			4
Barco emalhe oceânico Total					4			4
Pranca ou chata	Camarão	1	6					7
	Camarão e peixe		25	1				26
	Peixe	1	1					2
	Não informou	5	12	5	1			23
Pranca ou chata Total		7	44	6	1			58
Barco emalhe costeiro	Peixe				7	21	1	29
	Não informou				3	7		10
Barco emalhe costeiro Total					10	28	1	39
Arrateiro de camarão	Não informou				4	5		9
Arrateiro de camarão Total					4	5		9
TOTAL GERAL		291	2395	1329	1057	112	129	5313

Fonte: Censo Estrutural da Pesca (2004).

Tabela 6 - Material do Casco da Frota pesqueira marinha de Santa Catarina.

Tipos de embarcação	Material do casco	Classes de comprimento									Total geral	%
		<=4m	4..	6m	6..	8m	8..	12m	>12	NI		
Arrasto parellha	Não informou									1	1	0,02
Arrasto parellha Total										1	1	0,02
Arrasto simples	Não informou									1	1	0,02
Arrasto simples Total										1	1	0,02
Baleeira	Alumínio			2							2	0,04
	Madeira	1		12		35		107	44	3	202	3,80
	Outros					2					2	0,04
	Não informado					1		3	1	2	7	0,13
Baleeira Total		1		14		38		110	45	5	213	4,01
Bateira	Alumínio	2		11							13	0,24
	Fibra	4		3		1				1	9	0,17
	Madeira	98		1170		235		201	1	66	1771	33,33
	Madeira c/ Fibra	3		6		4		1			14	0,26
	Outros			5		6					11	0,21
	Não informado	4		39		6		5		7	61	1,15
Bateira Total		111		1234		252		207	1	74	1879	35,37
Bote com cabine	Aço			1							1	0,02
	Madeira	1		7		87		348	7	13	463	8,71
	Madeira c/ Fibra					1					1	0,02
	Outros					1					1	0,02
	Não informado					3		11		2	16	0,30
Bote com cabine Total		1		8		92		359	7	15	482	9,07
Bote sem cabine	Alumínio	1		16							17	0,32
	Fibra			6		2					8	0,15
	Madeira	7		338		400		276	1	16	1036	19,50
	Madeira c/ Fibra	3		6		5		3		1	18	0,34
	Outros	1		1							2	0,04
	Não informado			10		17		13		2	42	0,79
Bote sem cabine Total		12		375		424		292	1	19	1123	21,14
Caico	Alumínio	2									2	0,04
	Fibra	2		4							6	0,11
	Madeira	69		193		9		2		1	274	5,16
	Madeira c/ Fibra	1		2		3					6	0,11

	Não informado	3	8					11	0,21
Caico Total		77	207	12	2	1		299	5,63
Canoa	Alumínio		1					1	0,02
	Fibra		4	15	2			21	0,40
	Madeira	76	484	473	57	4	13	1107	20,84
	Madeira c/ Fibra	1	5	2				8	0,15
	Outros			1				1	0,02
	Não informado	5	11	12	2		1	31	0,58
Canoa Total		82	505	503	61	4	14	1169	22,00
Chalupa	Fibra		1					1	0,02
	Madeira				2	2		4	0,08
Chalupa Total			1		2	2		5	0,09
Lancha	Alumínio		1					1	0,02
	Fibra		5					5	0,09
	Madeira c/ Fibra			1				1	0,02
	Não informado				2			2	0,04
Lancha Total			6	1	2			9	0,17
Traineiras	Alumínio		1					1	0,02
	Madeira			1	2	18		21	0,40
Traineiras Total			1	1	2	18		22	0,41
Barco emalhe oceânico	Madeira				4			4	0,08
Barco emalhe oceânico Total					4			4	0,08
Pranca ou chata	Alumínio		1					1	0,02
	Madeira	6	42	3	1			52	0,98
	Madeira c/ Fibra		1	3				4	0,08
	Não informado	1						1	0,02
Pranca ou chata Total		7	44	6	1			58	1,09
Barco emalhe costeiro	Madeira				8	26	1	35	0,66
	Madeira c/ Fibra					1		1	0,02
	Não informado				2	1		3	0,06
Barco emalhe costeiro Total					10	28	1	39	0,73
Arrateiro de camarão	Madeira				4	4		8	0,15
	Outros					1		1	0,02
Arrateiro de camarão Total					4	5		9	0,17
TOTAL GERAL		291	2395	1329	1057	112	129	5313	100,00

Fonte: Censo Estrutural da Pesca (2004).

2.8 Sensoriamento remoto aplicado à detecção de embarcações marítimas

2.8.1 Sistemas de detecção de navios e algoritmos utilizados

Os sistemas de detecção de embarcações foram revisados nos seguintes documentos: “Estado da Arte em Detecção por Satélite” de Crisp, D. H., 2006, para o Departamento de Defesa e Organização Tecnológica do Governo da Austrália e no relatório do Projeto Detecção, Classificação e Identificação de Tráfego Marinho a partir do Espaço – DECLIMS, 2005, *State of the Art and User Needs* (Estado da Arte e necessidades dos clientes) realizado pelo Joint Research Center – JRC do Instituto para Proteção e Segurança dos Cidadãos da União Europeia, em cujos relatórios são destacados os seguintes grupos de pesquisas:

- *Ocean Monitoring Workstation – OMW*
- *Alaska SAR Demonstration – AKDEMO*
- *European Community Joint Research Center – JRC*
- *QinetiQ’s MaST System*
- *Norwegian Defense Research Establishment – NDRE*
- *AMRS – Alliance for Marine Remote Sensing*
- *Alenia Aerosapazio*
- *Centre for Remote Imaging, Sensing and Processing (CRISP) in the National University of Singapore.*
- *Radarsat International*
- *Netherlands Organization for Applied Scientific Research TNO*
- *Veridian Systems Division*

A seguir breve descrição dos processos de detecção dos sistemas desenvolvidos por essas instituições antes de passarmos ao teste do algoritmo de detecção desenvolvido pelo IRD para a detecção de barcos camaroeiros na Guiana Francesa, nas condições da pesca brasileira, especificamente para a pesca do camarão no Norte e a pesca da sardinha no Sul.

- *Ocean Monitoring Workstation – OMW*

O sistema OMW foi desenvolvido pela Satlantic Inc. com financiamento e suporte técnico das seguintes organizações: Canadian Centre for Remote Sensing (CCRS), Canadian Department of Fisheries and Oceans, Canadian Coast Guard, Canadian Department of National Defence and Canadian Space Agency, (M. BRIZI *et al.*, 1999) e (D. BLACKNELL. IEE Proceedings, 1994).

Este sistema foi concebido para prover análise quase em tempo real usando imagens do Radarsat, apesar de poder ser utilizado com imagens ERS e outras imagens SAR. Além da detecção de embarcações o OMW pode extrair vetores de ventos, calcular ondas em 2-D (*wave spectra*), detectar derramamento de óleo e classificar outras feições oceanográficas. O Departamento de Pesca do Canadá e o Departamento de Defesa Canadense estão avaliando a utilização do OMW para monitoramento da pesca e vigilância marítima, respectivamente. (VACHON *et al.*, 2000).

A detecção de navios no OMW tem início com o georreferenciamento e criação de uma máscara de terra. A base de dados do “The World Vector Shoreline Database” (Base de dados vetorial da linha de costa do mundo) é utilizada na máscara da terra e na fase seguinte – *prescreening* (predetecção) – é utilizado o detector padrão *Constant False Alarm Rate* - CFAR baseado no ajuste da distribuição da resposta espectral do oceano através de uma função de densidade de probabilidade *L-look K-distribution*. Ao invés de usar uma janela em movimento o CFAR “limite” é calculado subdividindo-se a imagem em vários recortes assumindo que o oceano é padrão para todos os recortes da imagem. Após a definição do “limite” o algoritmo é aplicado para toda a imagem de uma vez.

A fase subsequente é de discriminação, consistindo em duas etapas. A primeira é automática e é baseada na simples medida dos alvos como tamanho, proximidade para outros alvos e do território. A segunda parte é manual e envolve a análise para confirmação, das detecções feitas a um operador humano. O resultado final do OMW é um relatório sobre a provável posição dos navios e estimativas dos seus tamanhos. Vachon *et al.* (2000) acrescenta que se um rastro estiver registrado na imagem o relatório incluirá também a direção e velocidade baseada em análises do rastro.

- NOAA/NESDIS- *Alaska SAR Demonstration* – AKDEMO

O objetivo deste projeto desenvolvido em parceria com o centro americano NOAA/NESDIS, (*National Oceanic and Atmospheric Administration / National Environmental Satellite, Data and Information Service*) foi demonstrar a aplicabilidade próximo ao tempo real do imageamento com o satélite RADARSAT-1, banda – C, no Alaska que, possuindo uma plataforma continental larga e uma extensa costa, onde a competição pelos recursos pesqueiros em um ambiente marinho hostil coexiste com as ações de proteção aos mamíferos aquáticos, criou a necessidade de promover o monitoramento das pescarias tanto para proteção aos barcos e pescadores, quanto para a vigilância e cumprimento das medidas de proteção ambiental configurando-se como uma aplicação muito importante. Pichel e Clemente-Colon descrevem a experiência do AKDEMO com mais detalhes. (W.G., 2000).

O AKDIMO durou dois anos. A área de interesse cobre o Golfo do Alaska, o mar de Bering e outros mares do Alaska na região 42 ° N a 76° N e 155° E a 122° W.

O sistema de detecção do AKDEMO inicia-se com uma máscara de terra que inclui uma zona marginal (*buffer*) de uns dois quilômetros paralela ao continente para garantir algum erro da máscara de terra. A zona de *buffer* requer um processamento especial para evitar uma alta taxa de alarme falso.

A detecção de navios é realizada através da implementação de uma janela móvel dos dois parâmetros do detector *Constant False Alarm Rate* - CFAR, que estabelece um limite a partir do qual a taxa de alarmes falsos é constante, o que quer dizer que a partir do limite estabelecido o que for menor é mar e o que estiver acima deste limite é barco. O CFAR será descrito com mais detalhe no Capítulo 3 (Material e Método).

Nenhum alarme falso é subestimado, contudo dois casos especiais são tratados: o primeiro ocorre em regiões com uma alta proporção de ruídos nas amostras de fundo (*floor sample*) no sistema SAR e o segundo ocorre na zona de *buffer* da máscara de terra. Este assunto é tratado com mais detalhes em Chisp, D.H. (2006). A validação é discutida em K.S. Freedman *et al.* (2001) bem como em C.C. Wacherman (2001), onde é demonstrada a boa performance do sistema. O uso de imagens do satélite *Envisat* é acenado por Pichel and Clemente-Colon (2000) como desenvolvimento futuro do AKDEMO.

- *Joint Research Centre (JRC) - IMPAST*

O grupo de controle marítimo e da pesca do *Joint Research Centre -JRC*, da Comunidade Europeia, está desenvolvendo um sistema de detecção de navios para monitoramento das atividades de barcos de pesca. Este sistema chamado de SUMO tem sido descrito em diversos documentos acadêmicos (G. Schwartz *et al.*, 2002; N. Kourti *et al.*, 2001). Mais informações podem ser encontradas no sítio do JRC e nos trabalhos de M.J. Wagner (2003) e no artigo de Kourti e Shepard no sítio do RSI: <<http://intelligence.jrc.cec.eu.int/marine/fish/index.htm>>.

O algoritmo SUMO consiste numa matriz de 4x4 pixels, com 3 (três) limites estabelecidos que procuram caracterizar a presença de um navio nas imagens SAR. OS valores dos limites são regionalizados e estabelecidos empiricamente considerando a média de intensidade dos pixels nas imagens recortadas e o desvio padrão para cada sub-cena conforme a equação abaixo:

$$T1 = 3.0 \times (\mu + \sigma) \quad T2 = 1.9 \times (\mu + \sigma) \quad T3 = 1.4 \times (\mu + \sigma),$$

Os valores 3.0; 1.9 e 1.4 são calculados empiricamente e dependem das condições regionais do mar e da resposta espectral da área de cobertura na imagem.

O processo de detecção com o SUMO inicia-se também com uma máscara de terra, no início este procedimento era feito manualmente, mas atualmente é utilizada a base de dados *Global Self-consistent Hierarchical High-Resolution Shoreline (GSHHS)*, disponível publicamente. A máscara de terra não é sempre precisa então se recomenda a criação de uma zona de *buffer*. Após a criação da máscara do continente a imagem é particionada em telhas e em cada telha é aplicado o algoritmo detector do CFAR, baseado em dois parâmetros, a média e desvio padrão dos pixels dos recortes das imagens processadas, em seguida é calculado o limite do CFAR para ser utilizado em toda a cena.

Os pixels detectados são agrupados em *clusters* e as detecções que são muito grandes para serem navios de pesca são removidas. A etapa final consiste em aplicar o algoritmo de discriminação do SUMO para a detecção das embarcações.

Figura 38 – A janela de detecção do SUMO. A parte central da matriz (azul-escuro) corresponde ao limite mais alto, o azul ao segundo e o azul-claro o terceiro.

$(i-1,j-1)$	$(i-1,j)$	$(i-1,j+1)$	$(i-1,j+2)$
$(i,j-1)$	(i,j)	$(i,j+1)$	$(i,j+2)$
$(i+1,j-1)$	$(i+1,j)$	$(i+1,j+1)$	$(i+1,j+2)$
$(i+2,j-1)$	$(i+2,j)$	$(i+2,j+1)$	$(i+2,j+2)$

Fonte: (JRC, DECLIMS, 2005)

De acordo com o relatório DECLIMS, um barco é detectado pelo SUMO no pixel (i,j) quando as seguintes condições e critérios são atendidos:

- O brilho dos pixels (i,j) , $(i+1,j)$, $(i,j+1)$ e $(i+1,j+1)$ é maior que o limite1;
- O brilho dos pixels vizinhos $(i-1,j)$, $(i-1,j+1)$, $(i+2,j)$, $(i+2,j+1)$, $(i,j+2)$, $(i,j-1)$, $(i+1,j-1)$, $(i+1,j+2)$ é maior que o limite2;
- O brilho dos pixels dos cantos $(i-1,j-1)$, $(i-1,j+2)$, $(i+2,j-1)$, $(i+2,j+2)$ é maior que o limite3.

Este sistema tem sido usado em muitas campanhas de pesca, e informações sobre seu desempenho estão disponíveis no sítio do JRC.

Crisp (2006) comenta que um dos aspectos menos convincentes do sistema de detecção de navios do SUMO é o “fator limite” estabelecidos por tentativa e erro. Kourti *et al.*, identificou que a melhor escolha deste parâmetro varia de região para região. Então, um dos objetivos futuros do SUMO é desenvolver uma metodologia de selecionar automaticamente a melhor combinação dos fatores “limite”. Outra direção para futuras pesquisas é a melhora da discriminação – classificação dos detectores. O JRC esta estruturando um banco de dados de todos os alvos identificados com este propósito. O banco de dados conta com 20 navios com mais de 50 RCS (*radar cross sections* que expressa a reflectividade do radar da cena imageada), 20 navios petroleiros com mais de 60 RSC. O objetivo é discriminar os barcos de pesca dos petroleiros e outros navios e no futuro discernir diferentes classes de embarcações pesqueiras. Outra melhoria planejada do sistema é a habilidade de processar imagens *Envisat*.

Ressaltamos aqui a experiência do JRC que desenvolveu um projeto que integra tecnologias baseadas em satélites ativos e passivos para melhorar o monitoramento da pesca no IMPAST, acrônimo para *Improving Fisheries Monitoring Through Integrating Passive and Active Satellite Based Technologies*. O objetivo principal do IMPAST, retirado do seu sítio oficial, é explorar as possibilidades das atuais capacidades de monitoramento e controle das pescarias integrando sistemas passivos baseados em imagens de satélite em um pacote completo para monitoramento. Em particular, o projeto desenvolverá, melhorará e viabilizará metodologias e ferramentas que permitirão acesso próximo ao tempo real a imagens SAR (*Synthetic Aperture Radar*) e sua integração e comparação das informações nelas contidas com as posições reportadas pelos sistemas de monitoramento de embarcações (VMS) para dar suporte e melhorar as atividades de controle.

O projeto contém os seguintes grupos de trabalho: Compreendendo a necessidade dos usuários; compreensão dos limites das capacidades dos satélites e das estações de campo; desenvolvimento de serviços de detecção e identificação de navios; desenvolvimento de banco de dados de imagens; uso de assinaturas para identificação de navios (análise de arquivos, melhorias de simulador de SAR, aplicação de simulação SAR); integração de sistemas ativos e passivos estendendo o *software* FMCd para incluir, elaborar e visualizar posições detectadas SAR; desenvolvimento de Sistema de Suporte a Decisão), compreendendo e melhorando a comunicação; análise de desempenho (escolha de áreas, desempenho das estações terrestres, desempenho de software de detecção e classificação; desempenho de software de integração e desempenho do sistema completo); especificação de futuros sistemas de satélites; disseminação de resultados.

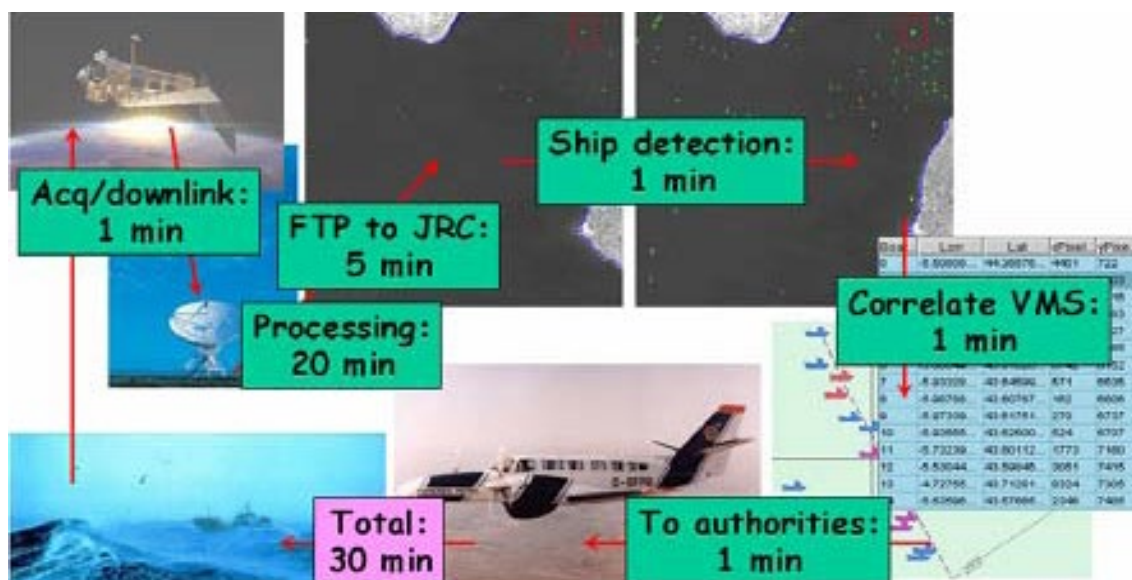
O projeto se desenvolveu em três fases: no primeiro ano desenvolvimento dos componentes individuais do sistema; no segundo ano esses componentes foram testados individualmente e no terceiro ano foram testados juntos.

IMPAST pretende melhorar o monitoramento da pesca através da combinação da detecção de navios em imagens do satélite SAR com posições dos navios reportadas a partir de *Vessel Monitoring System* (VMS) ou Sistemas de Localização de Barcos (VMS). A ideia é que os barcos com VMS reportem sua localização e outras informações quando solicitados. A participação no sistema VMS é compulsória para algumas pescarias. Através da correlação dos relatórios de posição dos barcos regulamentados com o sistema VMS de uma determinada

pescaria com a imagem dos barcos detectados nas imagens SAR é possível identificar embarcações não associadas aos relatórios de posição do sistema VMS possivelmente numa atividade de pesca ilícita.

Um dos objetivos específicos do IMPAST foi o desenvolvimento de um sistema operacional automatizado para fazer a identificação dos prováveis barcos não regularizados quase em tempo real. Tendo como desafio discretizar os barcos de pesca dos que não o são. O VMS pode de fato prover o sistema de detecção de uma verdade terrestre parcial e pode realmente colaborar no desenvolvimento de ferramentas para melhorar a detecção de barcos. As posições não reportadas pelo sistema VMS ou extraviadas, são obviamente problemas como também a sincronização de relatórios de posições dos sistemas VMS com as coleções de dados SAR (Figura 39).

Figura 39 - O Projeto IMPAST provou que uma potencial pesca ilegal pode ser sinalizada com sensoriamento remoto satelital e que posições suspeitas podem ser entregues as autoridades dentro de 30 – 60 minutos. (IMPAST, 2005)



Fonte: (IMPAST, 2005)

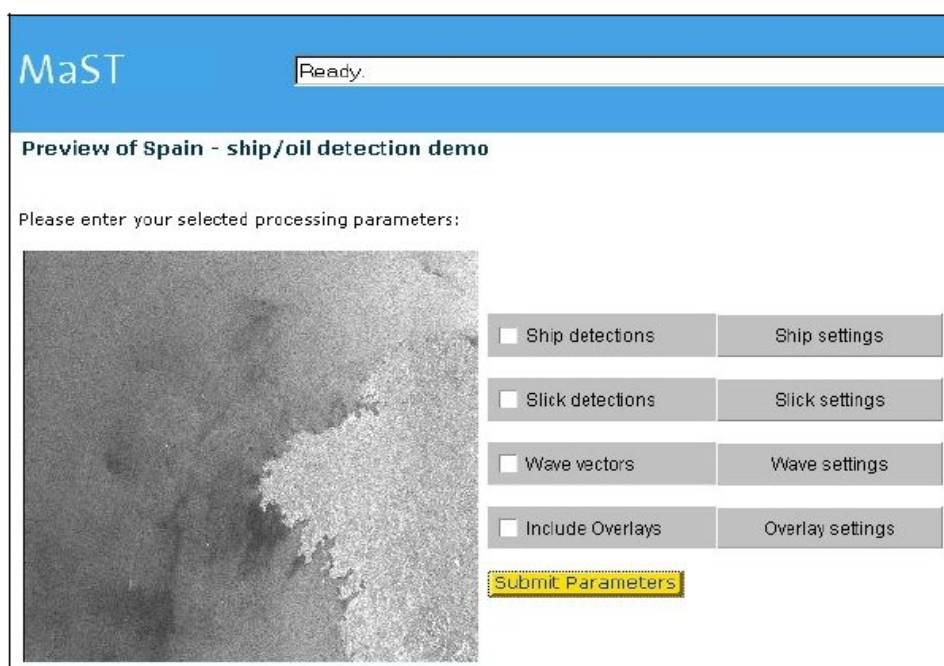
O IMPAST (2005) foi um projeto de três anos começando em janeiro de 2002, e envolveu 14 pesquisadores e parceiros comerciais. Seis deles foram centros de monitoramento de pesca europeus sendo representantes dos usuários finais. O desenvolvimento das ferramentas de análises das imagens SAR foi conduzido pelos três parceiros científicos: JRC, Qinetiq e UPC. O JRC desenvolveu o sistema de

detecção de navios chamado SUMO enquanto a Qinetiq desenvolveu outro chamado MaST o qual passaremos a comentar a seguir.

- *QinetiQ's MaST System.*

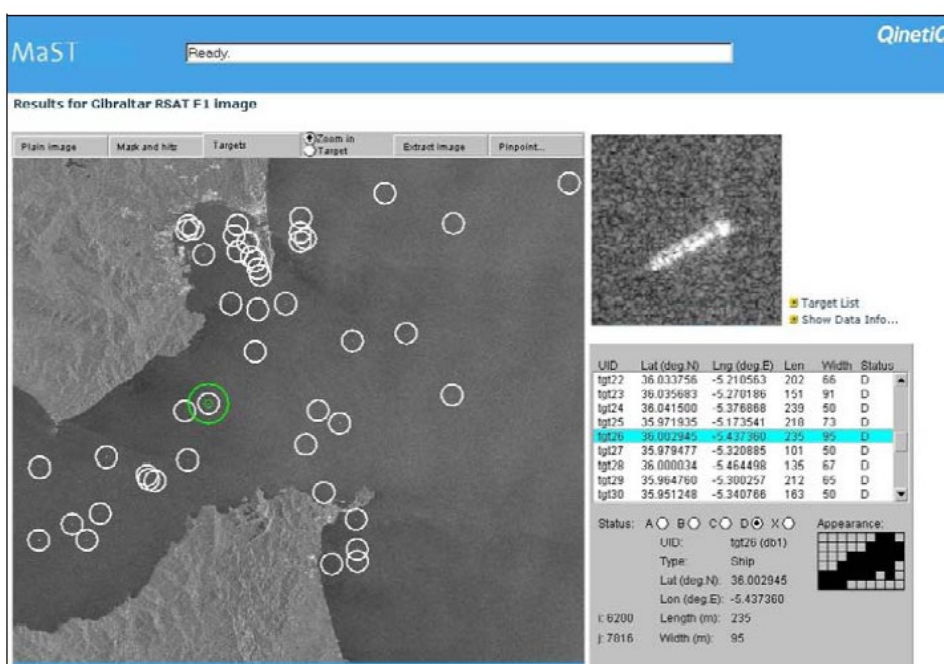
O sistema MaST é pouco documentado talvez por se tratar de um sistema maduro configurando-se como um produto comercial portanto com reservas proprietárias não reveladas (CRISP, 2006). A página Web do MaST descreve o algoritmo sucintamente nas seguintes etapas: máscara do continente; detecção dos pixels de barcos individualmente; *clustering* (agrupamento) para remover alarmes falsos e cálculo das medidas dos barcos tais como localização, área, perímetro, largura, comprimento e direção. Uma interface gráfica permite que o usuário selecione alvos, modifique e classifique-os. Em função do envolvimento do *QinetiQ's* com o IMPAST (2005) e a natureza comercial do produto é presumido que o desempenho do sistema de detecção seja satisfatório se não melhor. Em janeiro de 2003 é reportada uma probabilidade de detecção de 73% sem, no entanto mencionar a taxa de falso alarme. O MaST pode ainda extrair informações sobre gelo, onda e derramamento de óleo e projetos futuros contemplam a detecção e análise de outras feições oceanográficas. (Figuras 40 e 41).

Figura 40 -Preview do MaST



Fonte: Relatório do DECLIMS (2005).

Figura 41 - Tela de resultados do MaST (DECLIMS)



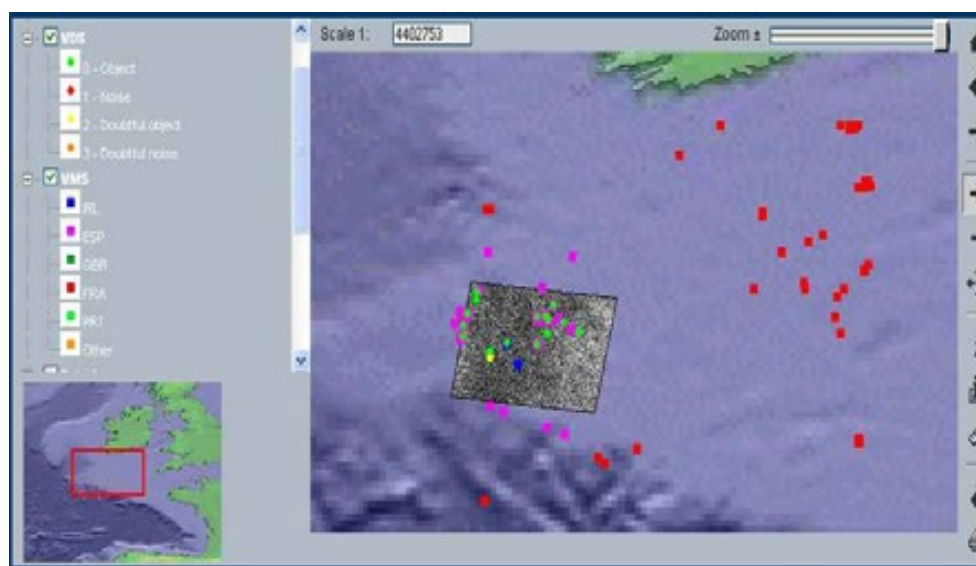
Fonte: Relatório do DECLIMS (2005)

A Universidade Politécnic da Catalúnia - UPC trabalhou na simulação de navios em imagens SAR gerando dados para treinamento de algoritmos para classificação de barcos e desenvolvimento de algoritmos em si mesmos. As imagens

do Radarsat são a principal fonte de imagens para o IMPAST, mas as imagens Envisat também foram consideradas.

Em fevereiro de 2004 foi apresentado o relatório do monitoramento de três pescarias e outras etapas do desenvolvimento do sistema como a estruturação e teste de todo o sistema; a adição das imagens Envisat, e apresentação dos resultados; a melhoria da fusão dos relatórios VMS com a detecção de barcos; melhoria no algoritmo de discriminação e classificação; o envolvimento de mais estados-membros e teste completo operacional e análise custo-benefício do projeto (Figura 42).

Figura 42 - Interface WEB do servidor do Projeto. Detecções plotadas como círculos posições VMS como quadrados para uma aquisição de 1 de novembro de 2004 sobre o Mar da Irlanda. As detecções VMS são coloridas de acordo com as bandeiras dos estados.



Fonte: (IMPAST, 2004)

- *Norwegian Defense Research Establishment – NDRE*

O Estabelecimento de pesquisa em defesa da Noruega – NDRE há muito tem se interessado pela detecção de navios conforme registrado nos trabalhos de *Eldhuset, Aksnes, Wahl*, (Monitoramento do tráfego de navios usando o ERS-1 SAR)(WAHL *et al.* 1986; 1993). Eldhuset em “Sistema de detecção automática de

navios e rastros de navios através de imagens SAR em regiões costeiras, 1998” (*An automatic ship and ship wake detection system for spaceborne SAR images in coastal regions*) e no trabalho “Detecções – SAR de navios e rastros de navios, 1998” (*SAR-Detection of Ships and Ship Wakes*, 1998) onde reporta o desenvolvimento e comercialização de um sistema de detecção usando imagens SAR comercializado para a Mitsubishi no Japão. Olsen e Wahl (2003) relatam o interesse da Noruega em estabelecer um sistema operacional para monitoramento das pescarias usando imagens SAR e ENVISAT conforme documenta no trabalho “Detecção de navios com ENVISAT usando polarização alternada”. Olsen (2000), FFI, Noruega, no *Alliance for Marine Remote Sensing - AMRS Workshop* em junho de 2000, descreve as atividades da Noruega em vigilância de embarcações dizendo que estes atingiram um estágio operacional já naquela época e mais recentemente Olsen e Wahl (2003) avaliaram a capacidade de detecção dos dados ENVISAT SAR em “Detecção de navios com ENVISAT usando polarização alternada”.

O Sistema descrito por Eldhuset’s é composto por cinco módulos. Nos primeiros dois módulos uma imagem SAR é georreferenciada e as áreas do continente são excluídas por uma máscara. No terceiro módulo os navios são detectados com detector CFAR e então são removidos os falsos alarmes com um teste “navio-condição do mar” (*ship-to-sea condition*). Este teste é muito importante na medida em que o “limite” do detector CFAR é ajustado para um valor baixo. A detecção e análise de rastro estão no quarto módulo. O módulo final contempla tanto os resultados da detecção de barcos quanto dos rastros e objetiva a redução de falsos alarmes. Eldhuset tem testado extensivamente este sistema e reporta bons resultados para dados Seasat e ERS. Este sistema foi um dos primeiros consistentes e bem documentados sistemas e é citado com frequência na literatura e o NDRE é um dos participantes do DECLIMS.

- *AMRS – Alliance for Marine Remote Sensing*

Robertson do Defence Evaluation Research Agency - DERA Space, Ministério da Defesa do Reino Unido apresentou no workshop “*Ship Detection in Coastal Waters*”, organizado pela *Alliance for Marine Remote Sensing - AMRS* em junho de 2000, um sistema para detecção de navios onde o primeiro passo é o georreferenciamento e a separação do oceano-continente através da máscara da terra. O sistema aplica o detector padrão CFAR baseado na modelagem do

clutter oceânico com uma distribuição – K. Contudo diferente do detector OMW, este detector também usa janelas moventes.

Um “limite” baixo é usado para evitar falsos alarmes nas áreas escuras da imagem. A taxa de falso alarme é então reduzida aplicando-se um classificador de rede neural *Kohonen*. O sistema tem uma interface gráfica que permite a especificação de parâmetros de imageamento e detecção, daí apresenta um resultado para a detecção.

O sistema foi validado usando o imageamento com *Radarsat ScanSAR Narrow Far* do canal inglês. Vários estudos têm sido publicados por pesquisadores do Departamento de INFOCOM – Universidade de Roma *La Sapienza* (CUSANO *et al.*, 2000; LOMBARDO; SCIOTTI, 2001).

Composto por quatro módulos: máscara de terreno, detecção de navios, detecção de rastro de navios, classificação de navios e *display* de resultados.

Os dois primeiros módulos são aplicados para toda a imagem enquanto que os últimos dois módulos são aplicados somente para alvos selecionados pelo operador. O detector de navios é baseado em um pixel multi-target, detector CFAR modificado para se ajustar a alta variabilidade do *scattering* do mar. Áreas de alto contraste são automaticamente detectadas e retiradas.

A velocidade do navio é estimada de maneira usual pelo espaçamento entre o navio e seu rastro. A classificação de navios usa apenas o tamanho e a velocidade. Os resultados mostram que o detector trabalha bem e não é confundido por navios próximos ou presença de rastros. Este trabalho aponta para as seguintes direções futuras: 1) melhorar a detecção de navios usando análise baseada em contexto para ajudar o esquema do CFAR; 2) melhorar o módulo de detecção de rastro e análise e 3) comparar a técnica atual com uma abordagem baseada em segmentação.

Lombardo e Sciotti (2001) seguindo o direcionamento apontado por Cusano *et al.* (2000) propuseram tornar a identificação de navios mais baseadas no contexto incluindo um estágio de segmentação preliminar. A idéia é particionar a imagem em diferentes regiões com respostas espectrais (*backscattering*) de comportamentos semelhantes e aplicar diferentes detectores para cada região. Dessa maneira a alta taxa de alarmes falsos produzidos pelo detector CFAR numa imagem não homogênea pode ser superada. Esta metodologia foi revista por Crisp,

confirmando os bons resultados do processo reputando-a como uma abordagem importante nas pesquisas relacionadas à detecção de navios.

Crisp (2004) ressalta que Lombardo e Sciotti (2001) registraram e estão pesquisando nessa direção, que a segmentação da imagem à priori deve ser uma boa base para desenvolvimento de algoritmos de extração de informações tais como detecção de rastro, poluição e vento. Eles também indicaram sua intenção de investigar a segmentação polarimétrica em imagens SAR e se isto poderia ajudar a melhorar o desempenho na detecção de barcos. Sciotti, Pastina e Lombardo (2002) em *International Geoscience and Remote Sensing Symposium - IGARSS'02*, trabalharam nesse sentido e novamente comprovaram que a segmentação realmente melhora o desempenho da detecção de navios.

- *Alenia Aerospazio*

Ferrara *et al.* (1996) descreveram o sistema de detecção de navios desenvolvido pela companhia italiana *Alenia Aerospazio* no escopo de um programa de análise de imagem SAR e reconhecimento automático direcionado a navios em movimento sendo a detecção do rastro uma etapa essencial. A etapa inicial consiste em filtrar o *speckle*, a delimitação da linha de costa e aplicação da máscara do continente. Os pixels potenciais de navios são detectados através do método CFAR limite. Os pixels parecidos com navios são reunidos e seus comprimentos e larguras são calculados. As detecções são computadas em tamanho, largura e proximidade de outras detecções. As detecções restantes são então passadas ao módulo de detecção de rastro. A detecção de rastro é baseada em *Transformações Hough* onde as ondas devem satisfazer um comprimento mínimo e as detecções sem rastro são rejeitadas. Na etapa final, a direção dos navios e suas velocidades são estimadas.

- *Centre for Remote Imaging, Sensing and Processing (CRISP) in the National University of Singapore.*

Singapura é um dos portos mais movimentados do mundo. Com o objetivo de monitorar o tráfego e as rotas dos navios a Universidade Nacional de Singapura desenvolveu o sistema CRISP de detecção de barcos a partir de imagens ESA, ERS. O sistema consiste de quatro estágios diferentes: a pré-detecção onde

se faz a calibração e normalização do RCS e a máscara do continente; um estágio de detecção de navios onde um *limiting* global é aplicado seguido pelo filtro morfológico e identificação de *clustering*; um estágio de detecção de rastro usando transformações Radon e a etapa final onde são estimadas a direção e velocidade dos navios. Crisp (2004), citado anteriormente, observou que não há publicação sobre a validação deste sistema e que Lin *et al.*, (1997) (IGARSS'97), indicou a necessidade de novos desenvolvimentos para tornar o sistema mais robusto para ser usado em condições severas de mar e vento.

- *Radarsat International*

A *Radarsat Internacional* – RSI desenvolveu um algoritmo baseado na distribuição K (*Multi-look Intensity*) para modelar RCS (*Radar Cross Section*) da refletividade superficial do mar superfície. O objetivo do algoritmo é identificar uma região onde a estatística do *background* é estática e usar esta estimativa para calcular o limite (*threshold*) para aquela região. O algoritmo opera em um conjunto de pixels classificados como pertencentes a uma região homogênea da imagem.

Inicialmente, uma técnica de segmentação para determinar a homogeneidade das regiões da imagem antecede a implementação do algoritmo que apresenta o seguinte fluxo de processo:

1. Divide a imagem em retângulos de 1km^2 (40×40 pixels);
2. Para cada 1km^2 , estima a média de reflectância do recorte;
3. Divide a imagem em recortes de 10km^2 (400×400 pixels);
4. Para cada 10km^2 estima um parâmetro de modulação de intensidade (função do número de visadas = 1 para imageamento com 1 única visada);
5. Para cada 1km^2 é usado um “limite” para um padrão de 7' para todos os pixels dentro do recorte é calculado;

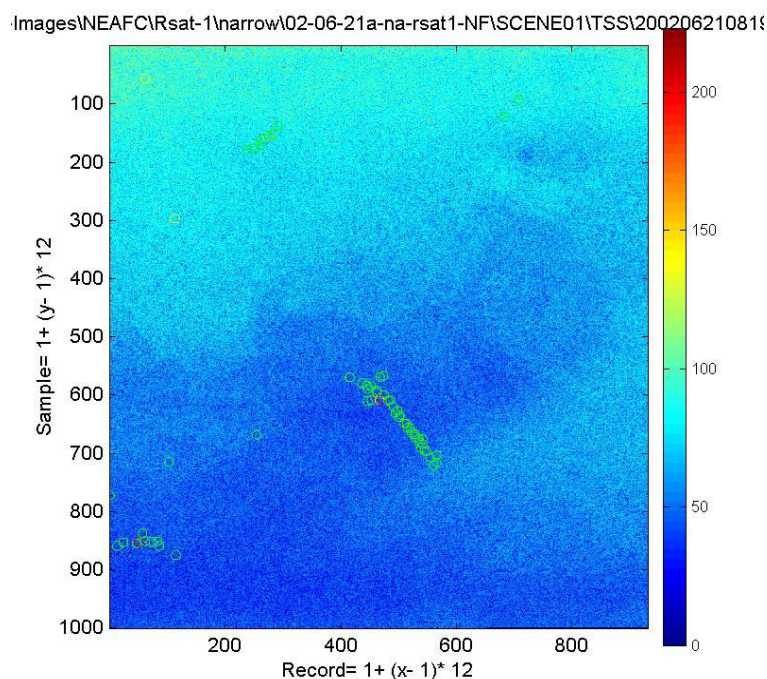
O algoritmo foi concebido para excluir os pixels contendo alvos, aqueles que claramente não pertencem à distribuição local do mar.

- *Netherlands Organization for Applied Scientific Research* – Algoritmo TNO

O Algoritmo de detecção TNO foi parcialmente desenvolvido no *Joint Research Center* – JRC e compreende as seguintes fases:

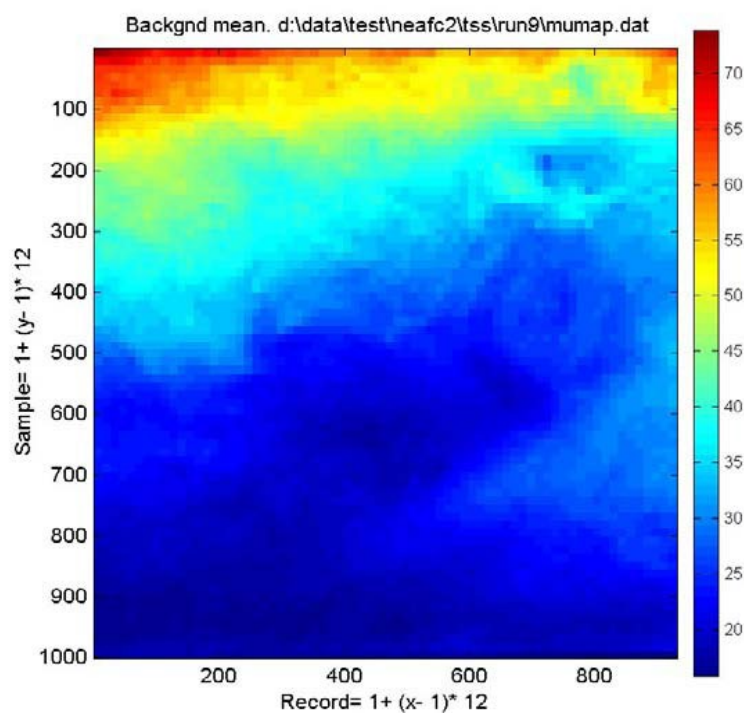
1. Estimação do *Background*: a imagem é dividida em telhas retangulares cujas larguras podem ser especificadas por parâmetros (4x4km trabalha bem segundo o relatório do DECLIMS, 2005). (Figura 43). Para cada telha a média m e a largura w da distribuição dos pixels do *background* é determinada de maneira a excluir do background os alvos. (Figura 44)
2. Normalização: é gerada uma imagem subtraindo-se para cada pixel a média do valor do pixel e dividindo pela largura do background. A imagem normalizada é composta por unidades de desvio padrão acima da média do *background*. (Figura 45)
3. *Limiteing*: um valor para o limite é aplicado à imagem normalizada e submetida para detecção pixel a pixel. Experimentalmente é reportado que valores entre 5 e 6 para o limite, correspondentes a 5 e 6 vezes o desvio padrão tem funcionado bem. Sendo que para um valor de 5 começam a aparecer muitos alarmes falsos.

Figura 43 - Imagem RADARSAT ScanSAR Narrow B da região do Atlântico Norte, com indicação de alvos detectados. A escala de cores está em unidades de valores de entrada do pixel da imagem.



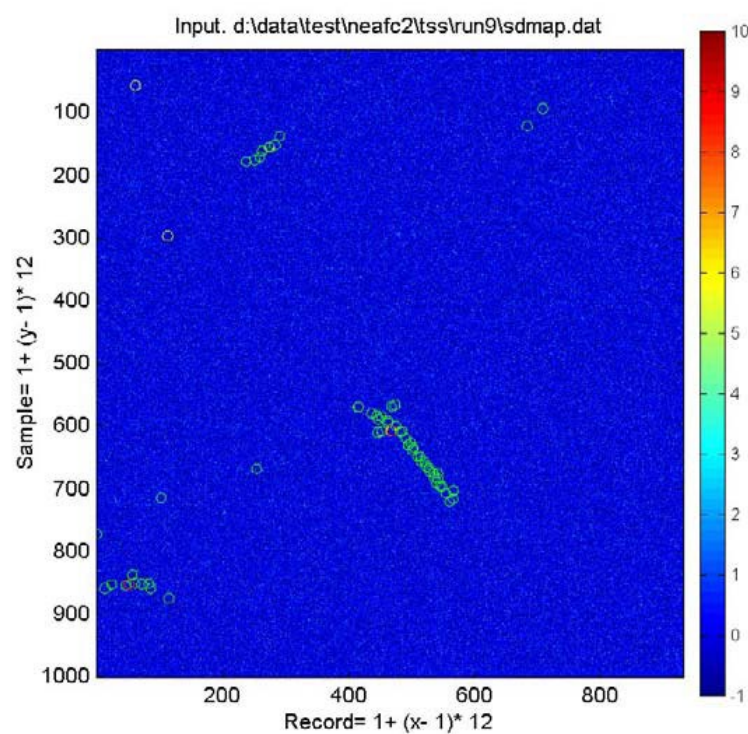
Fonte: (DECLIMS, 2005).

Figura 44 - Média da imagem de fundo. A escala de cores em unidades de valores de entrada do pixel da imagem a ser rastreada



Fonte: (DECLIMS, 2005).

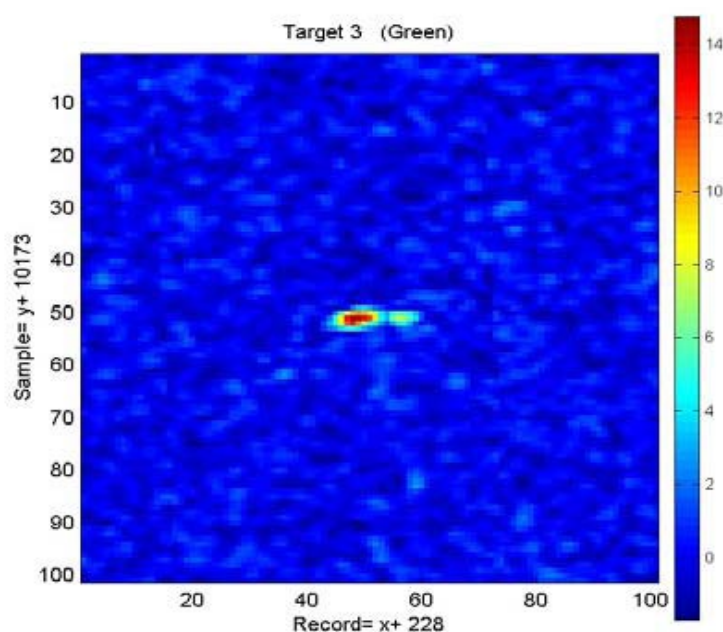
Figura 45 - Navios detectados sobrepostos à imagem normalizada. A escala de cores está em unidades de desvio padrão acima da média



Fonte: (DECLIMS, 2005).

4. *Clustering*: cada pixel detectado é a semente de um *cluster*. Os 8 pixels na vizinhança são investigados para ver se eles estão acima de um segundo limite; o fator é um parâmetro que pode ser ajustado. Até o momento do relatório o fator usado era 0.6 em combinação com um “limite” de 5, isto corresponde a uma vizinhança de 3. Cada pixel vizinho acima do limite é novamente investigado até que não mais apareçam vizinhos acima do limite de vizinhança estabelecido. Este *cluster* é assumido como sendo um objeto completo e é armazenado. Há um número máximo de memória reservada para um *cluster*. Se o *cluster* se torna muito grande a busca é interrompida e o *cluster* descartado – é muito grande para ser um navio. O limite vizinho é menor que o primário para incluir pixels no limite do objeto. Um alvo consiste numa coleção de centros de pontos brilhantes conectados a partes menos intensas. O uso de um limite de vizinhança menor conectará esses centros brilhantes em um único objeto.
5. *Análise dos clusters*: para cada *cluster* são calculados os parâmetros: centro em x e y, comprimento, largura, orientação do eixo w.r.t.x (direção, maior valor dos pixels, soma dos pixels). Isto corresponde respectivamente a posição do navio, comprimento, largura, direção e intensidade do rastreamento do alvo pelo radar.

Figura 46 - Imagem do navio detectado e seu entorno visto em 2D.

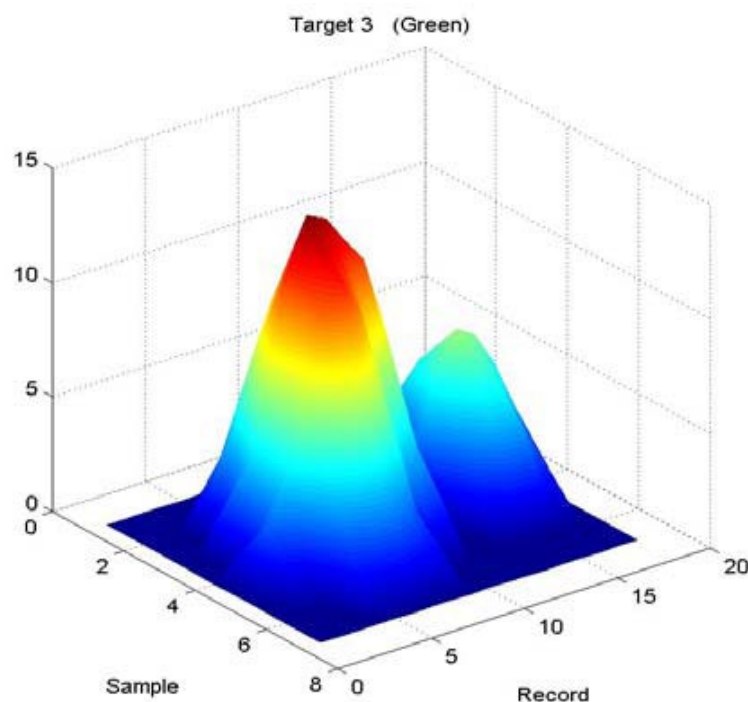


Fonte: (DECLIMS, 2005).

6. *Display* e saída dos resultados: um arquivo ASC II é produzido com uma linha para cada *cluster* informando os parâmetros indicando se o *cluster* é retido como uma detecção de navio ou descartado como falso alarme. A nitidez do alvo (máximo valor do pixel no *cluster*, em unidades de desvio padrão acima da média) é indicativo da possibilidade de ser um alvo. Valores menores que 6 são menos possíveis, acima de 7 ou 8 são definitivamente considerados alvos.

As opções de visualizações consistem em uma imagem (Figura 45) normalizada na tela com os alvos posicionados indicados em pequenos círculos. Círculos verdes são usados para possíveis alvos (>6), amarelos para não-prováveis ($5 < 6$) e vermelhos para clusters descartados. Clicando no círculo tem-se o zoom da área. Os alvos podem ser mostrados em ordem de detecção, ou especificando seu número de seqüência. Pode-se visualizar também o alvo em 2D (Figura 46) e o cluster em 3-D (Figura 47).

Figura 47: Imagem de navio detectado e seu entorno visto em 3D. A escala de cor está em unidades de desvio padrão acima da média.



Fonte: (DECLIMS, 2005).

Com relação a este algoritmo os problemas mais comuns acontecem quando:

- O *backscatter* da superfície oceânica é pouco homogênea provocando um grande número de alarmes falsos;
- Alvos que são muito fortes criam *sidelobes* acima do limite de detecção e pode gerar múltiplas detecções;
- Objetos longos rastreados como vários *clusters* conectados são separados em vários alvos. De fato se dois *peaks* vizinhos são vistos numa imagem de radar fica difícil discernir se são dois alvos ou no caso um navio com dois centros *scatter*.

3 MATERIAL E MÉTODO

3.1 A detecção de navios através de sensores óticos

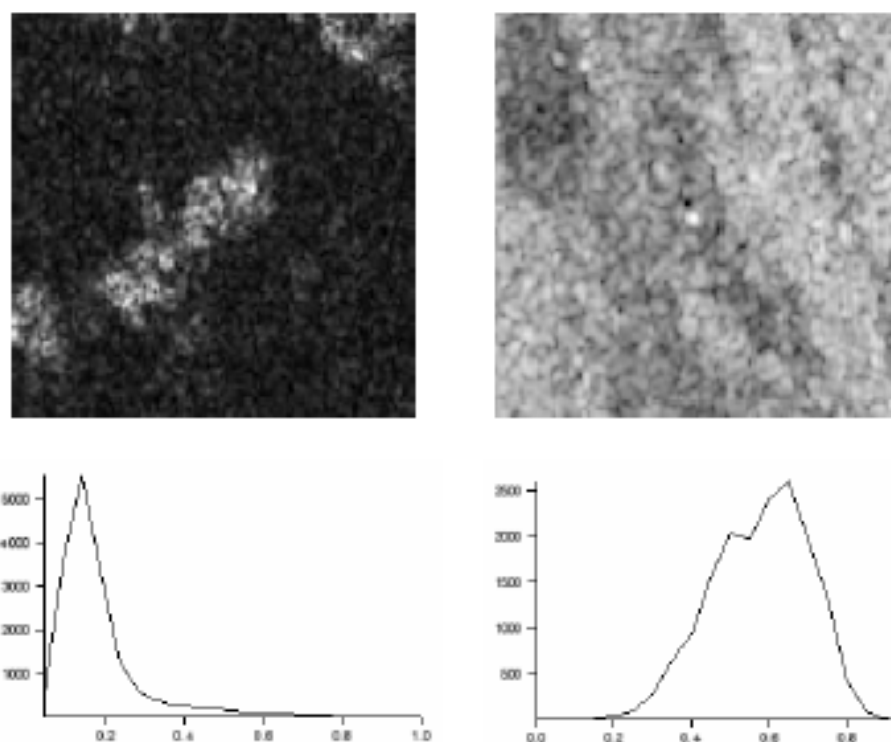
Atualmente diversos sistemas de detecção atingiram status operacional, sendo que a grande maioria deles utilizando o algoritmo *Constant False Alarm Rate* - CFAR (Constante Taxa de Falso Alarme) em imagens de radar.

Experiências têm demonstrado que o CFAR funciona muito bem em imagens homogêneas onde os resultados são bastante convincentes quanto ao desempenho do algoritmo em discernir entre mar-embarcação. Isto é feito através do ajuste do histograma da resposta espectral da imagem a uma função de distribuição estatística (a mais utilizada é a distribuição K) onde se estabelece um limite a partir do qual as embarcações são detectadas no mar.

Tello *et al.* (2006) observa que muitas vezes a imagem não apresenta os requerimentos convenientes à detecção pelo CFAR, tais como considerável contraste entre o mar e o barco, ao contrário, se apresenta com vários tipos de ruídos (nuvens, movimento do mar, ondas, etc). Nestes casos a distribuição do histograma não se ajusta propriamente a uma distribuição estatística esperada. As Figuras 48 e 49, extraídas do trabalho do autor referido, exemplificam esta situação.

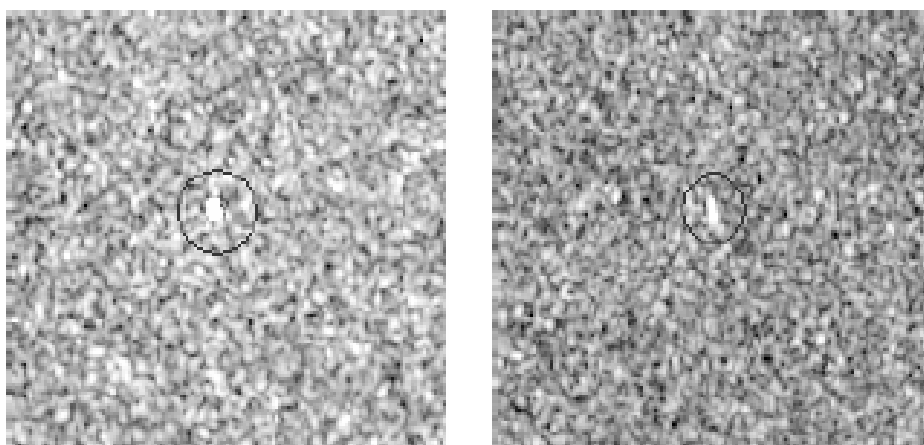
O *Sea Clutter*, resposta espectral do mar, é reconhecidamente um dos principais problemas na detecção de barcos por satélites radar. Como referido anteriormente, as abordagens tradicionais procuram diferenciar os alvos do chamado ruído do mar utilizando propriedades estatísticas desse *clutter* com algum sucesso dependendo do tamanho do navio e das condições do mar. Se o mar estiver muito instável este método tem se mostrado ineficiente, quando o barco está em movimento a intensidade do ruído marinho no pixel aumenta se aproximando da resposta espectral do navio, dificultando a separação dos mesmos no estabelecimento do limite.

Figura 48 - Imagens SAR de cenas heterogênicas e seus histogramas correspondentes



Fonte: Tello, M et al (2006).

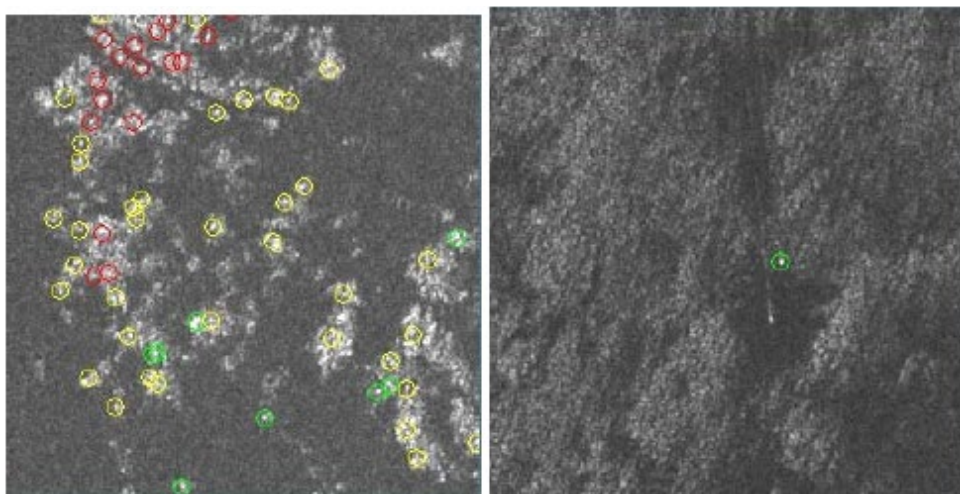
Figura 49 - Dois fragmentos de imagens SAR com barcos em baixo contraste.



Fonte: Tello, M et al (2006).

Há dificuldades também em situações em que a imagem é adquirida com o navio em movimento diminuindo a intensidade do pixel tornando muito difícil o estabelecimento do limite de separação mar-navio (CRISP, 2006), (Figura 50).

Figura 50 -Sea Clutter provocando excessivos falsos alarmes. Os círculos verdes, amarelos e vermelhos correspondem a alta, média e baixa confiabilidade.



Fonte: Greidanus, H.; JRC (2002).

A *Mitsubishi Heavy Industries Limited* - MHI propõe uma nova técnica de detecção baseada em correlacionamento-cruzado de imagens SAR (*split-look*). Se as imagens internas (*inter-look*) consistem em imagens correlacionadas com navio e *clutter* do mar, o grau de correlação mútua das imagens aumenta e pela diferença de correlação o navio pode ser detectado. Em imagens RADARSAT, o menor navio que pode ser detectado por este método é de 62.6m de comprimento. Este resultado foi alcançado em imagem adquirida sob condições de mar muito calmas onde o alvo era visível a olho nu e o método ainda não havia sido testado em condições limites quando o relatório do DECLIMS foi escrito em 2005.

No método *Split look Images* (“Imagens com visadas separadas”), as imagens são adquiridas com uma pequena diferença temporal entre uma e outra. A superfície do mar apresenta muitas “ranhuras” que são menores que a resolução das células. Cada ranhura muda constantemente de forma. Contudo a intensidade do pixel é tratada como se o ruído do mar não tivesse variação temporal e espacial. Como a *split-look* imagem é adquirida com uma defasagem de tempo e não há

superposição entre elas, o padrão da imagem do ruído do mar (*sea clutter*) não apresenta correlação entre elas. Por outro lado a maioria dos navios são maiores que o pixel da imagem e o corpo do navio é rígido implicando em regiões da imagem onde há grande correlação entre elas apesar de terem sido capturadas em momentos diferentes *split-look* imagens. (Figura 51).

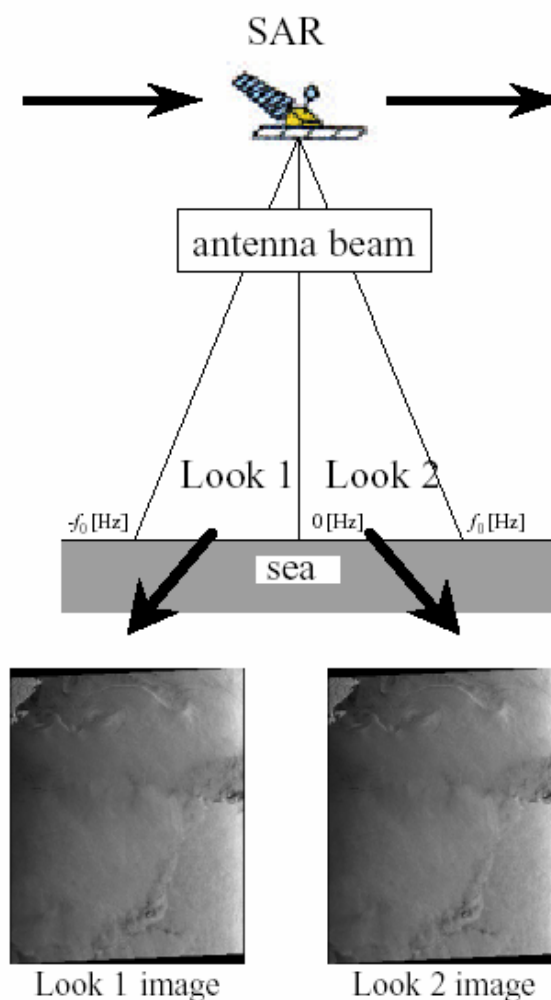
Quando um navio está em movimento apesar das imagens se apresentarem com pouca nitidez há uma grande correlação entre as imagens *split-look*.

O método desenvolvido pela Mitsubishi utiliza uma função de correlação cruzada bidimensional (2D – CCF) para medir a correlação entre as imagens.

Quando não há correlação a imagem resultante se apresenta plana. Quando há correlação a imagem resultante apresenta um pico. A existência do navio será indicada pela altura do pico na imagem resultante da função 2D-CCF e a velocidade do navio pode ser inferida (Figura 52).

Quando o navio está em movimento o pico da função 2D-CCF está na posição (Δx e Δy) que indica a distância percorrida pelo navio entre as duas imagens.

Figura 51 - “Split-look imagens geradas por cada antena do radar com uma defasagem temporal: sem a presença de navio, não há correlação entre elas já que a espectro da superfície do mar muda constantemente.



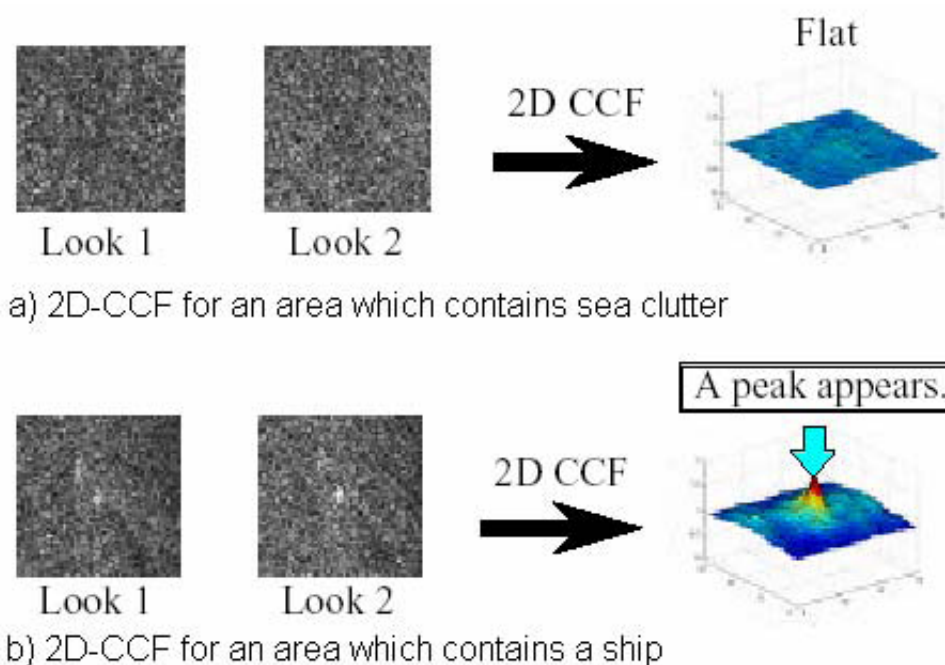
Fonte: Crisp. D.J. (2006).

O método pode ser empregado para várias imagens gerando 2D-CCFs para vários pares de imagens.

O fluxo do processo nessa metodologia é o que segue:

- Geração das imagens “split-look” com SAR;
- Extração de pequenas sub-cenas para cada “split-look” imagens;
- Computar o 2D-CCF entre as sub-cenas das split-look imagens;
- Se a função 2D-CCF tem um pico, a sub-cena é tida como contendo um navio;
- Processar a cena inteira movendo a sub-cena para a próxima área.

Figura 52 – Correlação cruzada entre imagens *split-look*: quando não há correlação o resultado é plano, quando há correlação aparece um pico no resultado indicando a região. A altura do pico indica o navio em movimento.



Fonte: Crisp, D. J. (2006).

O algoritmo desenvolvido pelo grupo do IRD propõe uma alternativa à abordagem assumida pelos sistemas que se utilizam do CFAR ao utilizar algoritmos genéticos e rede neural para detectar embarcações a partir das suas feições em imagens óticas.

Apesar de nos últimos anos muito esforço ter sido envidado no sentido de dominar a tecnologia de detecção de embarcações através dos chamados Radar de Apertura Sintética – SAR, as primeiras tentativas de utilizar imagens de satélites para o monitoramento e a detecção de alvos oceânicos e embarcações teve início com um sensor ótico.

Recorremos à experiência de McDonnell & Lewis (1978), para contextualizar e reforçar o papel dos sensores óticos na detecção de embarcações. Os trabalhos dos referidos cientistas com impressões da câmera CCT do Landsat 7 demonstraram que a detecção de navios de grande porte era possível na faixa do visível com imagens multi-espectrais do LANDSAT. A experiência revelou que a banda 7 do sensor *Multi Spectral Scanner* - MSS produzia o melhor resultado em

função da baixa radiância da água e alta relação “sinal-ruído” (*signal-to-noise*) resultante dos alvos. Informações acerca do tamanho, orientação, estado do movimento, e direção do movimento puderam ser extraídas através de outras bandas espectrais do MSS para cada alvo detectado através do número de pixels ocupados na imagem pelo alvo em cada banda multiespectral, sua orientação e o valor máximo e total da radiância dos pixels. O trabalho investigou e discutiu as potencialidades e limitações da tecnologia com relação à extração dos parâmetros dos navios, estado do mar e turbidez, sobreposição de pixel, relativa fidelidade geométrica entre os pixels e questões relacionadas à angulação.

Entretanto, devido a problemas de cobertura de nuvens e baixa repetitividade temporal, esta metodologia não foi viabilizada operacionalmente naquele momento (ROCHA; LORENZETI, 2001).

A detecção de navios através do reconhecimento de feições conforme relatado no trabalho da Dra. Christina Corban, à época liderando um grupo de pesquisadores do Instituto de Pesquisa para o Desenvolvimento – IRD representa uma retomada e um avanço nas metodologias de detecção costumeiramente utilizadas que privilegiam o radar fundamentado somente na diferença de resposta espectral do navio em relação ao oceano.

Voltaremos de forma mais detalhada à metodologia desenvolvida pela Dra. Corban e seu grupo adiante, mas vale recordar alguns alcances e lições extraídas das aplicações dos radares para detecção de embarcações.

O lançamento do sistema de satélite Seasat SAR em 1978 possibilitou, além de muitas outras informações oceanográficas, a detecção de navios. Outros satélites tipo SAR se seguiram dentre eles o SRS1, ERS2, Radarsat e SIR-C/XSAR. Esses sistemas viabilizaram imagens SAR de alta qualidade dos oceanos em tempo compatível com o monitoramento de navios de maneira operacional.

O surgimento da tecnologia do radar de abertura sintética (SAR) e os satélites lançados com esta tecnologia fizeram com que fossem desenvolvidas inúmeras técnicas para o tratamento de imagens SAR, de modo a permitir uma conveniente extração de informações, conforme a área de interesse.

É sabido que o grande trunfo das imagens de radar reside no fato destas poderem ser adquiridas independentes da cobertura de nuvens e das condições de iluminação, isto é tanto de dia como a noite. Por outro lado o tempo de recorrência dos satélites, em baixas latitudes principalmente, representa uma limitação, se a

necessidade for o monitoramento mais sistemático de embarcações como é o caso de algumas aplicações relativas à pesca.

Staples *et al.* (1997) demonstraram a viabilidade do uso de imagens RADARSAT para detecção de navios. O resultado deste estudo indicou que a detecção de navios com imagens SAR depende de uma série de fatores, tais como: direção e intensidade do vento, tamanho do navio, rumo do navio em relação à direção de visada do radar e a direção de visada do radar em relação à direção do vento (ROCHA; LORENZETTI, 2001).

Outros constrangimentos atingem as aplicações de imagens de radar para detecção de embarcações, se por um lado estes adquirem imageamentos de maneira independente da meteorologia, não é a mesma coisa com relação ao estado mar. Rocha *et al.* (2001) observaram em “Uso de distribuição estatística para segmentação de imagens SAR de áreas do oceano”, (*Use of statistical distribution for segmentation of SAR images of oceanic areas*), Anais do X SBSR, 2001, que em função das características inerentes a formação das imagens SAR, estas apresentam um fator complicador para a sua interpretação, que é o ruído na imagem provocado pelo reflexo do mar, o chamado *speckle*, cuja redução, seja total ou parcial, além de difícil, pode acarretar a perda de algumas informações. Os autores reportam o uso de distribuições estatísticas para permitir o processamento digital das imagens SAR de modo a minimizar a influência do *speckle*, sem com isso causar a perda de informações.

3.2 Necessidades operacionais do monitoramento de embarcações pesqueiras

O Projeto DECLIMS – *Detection, Classification and Identification of Marine Traffic from Space* (Detecção, Classificação e Identificação de Tráfego Marinho do Espaço) realizou um *benchmark* objetivando avaliar o uso de imagens de satélites para detecção, classificação e identificação de embarcações marítimas de maneira a promover um melhor entendimento das potencialidades e limitações das diferentes abordagens tecnológicas e possibilitar aos pesquisadores condições e infra-estrutura para atender às demandas dos usuários e ajudar no direcionamento do desenvolvimento de novos sensores e plataformas diante das necessidades operacionais do monitoramento de embarcações.

O relatório do Projeto DECLIMS – *Detection, Classification and Identification of Marine Traffic from Space* (Detecção, Classificação e Identificação de Tráfego Marinho do Espaço) de novembro de 2005 reporta as seguintes potencialidades dos sensores radar na detecção e classificação de navios:

- Resolução: atualmente com resoluções que variam de 25m a 8m no Radarsat-1. Com os novos sensores como o Radarsat-2 e o TerraSAR-X essas resoluções atingem 5m ou melhor; Os sensores óticos atualmente chegam a uma resolução espacial de 0,50cm operacionalmente compatível com trabalhos de identificação das embarcações. No entanto, a definição do sensor com relação à resolução espacial irá depender da relação visada, que é a área de cobertura da imagem, e resolução espacial. Compreendendo sempre que uma maior resolução espacial será atingida em detrimento da visada do satélite;
- Polarização: A polarização é definida como a capacidade de mandar e receber dados em quatro canais co-polarizados (HH ou VV) e com polarização cruzada (HV+VH). A maioria dos satélites SAR é configurada para receber dados em um canal co-polarizado (HH ou VV). O RADARSAT-2 pode emitir e receber dados em quatro canais com polarização cruzada (HH+ VV+ HV + VH), e reter a informação da interfase entre os canais. No entanto, a visada de apenas 20 km irá impactar a sua utilização restringindo o seu uso operacional para áreas bem definidas. Neste ambiente as imagens SPOT 5 por exemplo com resolução espacial de até 2,5m e temporal de 3 dias, ou o FORMOSAT-2 com resolução de 2m e resolução diária pode ser uma solução mais vantajosa. Isto será discutido com mais detalhes adiante;
- Tempo de programação: é o tempo requerido entre o recebimento do pedido de programação e a aquisição da imagem. Este é um importante requisito quando o objetivo é o monitoramento marítimo da pesca ou derrame de óleo no mar;
- Processamento: é o tempo decorrido entre a entrada dos dados e saída do produto gerado em forma de imagem, que deve ser compatível com a necessidade dos usuários. Em uma programação NRT (*Near Real Time*) a entrega está implícita nesta necessidade, pode ser requerida no caso de operações de combate à pesca ilícita;
- Revisita: O tempo de revisita nos satélites SAR varia com relação à região de interesse. Dependendo da latitude, para latitudes maiores a revisita é melhor, para latitudes menores o tempo de revisita aumenta. Para o RADARSAT-1 este

tempo é de 24 dias representando no nosso ponto de vista uma debilidade marcante quanto a sua utilização para o monitoramento marítimo. Comparada à capacidade de revisita dos sensores óticos que em alguns casos (Formosat - 2) apresentam revisita diária, os sensores SAR apresentam desvantagens quando a aplicação requer um tempo de revisita menor;

- Georreferenciamento: refere-se à localização de uma informação na imagem processada, quão acurada é esta precisão. Nas imagens SPOT 5, a precisão é compatível com mapeamentos em escala 1:50.000 sem pontos de controle. Esse tipo de informação é importante no caso da pesca em águas fronteiriças, onde uma diferença de 750m pode colocar o barco em águas territoriais pertencentes a outro país, quando de fato o barco pode estar a 500m dentro das águas territoriais de seu país.

Comentaremos a seguir os requerimentos dos usuários para as atividades civis estabelecidos no projeto DECLIMS, compreendendo a pesca, monitoramento de portos, monitoramento da poluição marinha, derrame ilegal de óleo, lavagem de navios, imigração ilegal, vigilância e defesa territorial.

Abordaremos para efeito do nosso objetivo apenas as demandas relacionadas às atividades de pesca assim discriminadas:

- Programação: As áreas a serem vigiadas são conhecidas com antecedência e por isto não seria um item tão crucial a não ser no caso de operações especiais de combate à pesca ilícita, por exemplo, na proteção ao defeso da lagosta, proteção de áreas específicas, etc. Ainda assim sabe-se que a programação comercial de um satélite deve ser feita com bastante antecedência influenciando o custo de obtenção da imagem no caso de programação prioritária. Os satélites óticos, em função de seu tempo de revisita ser menor, são mais apropriados para o monitoramento e vigilância da pesca ou de áreas protegidas quando estas requerem um tempo de recorrência menor;
- Processamento: A natureza do trabalho de detecção de navios é muito dinâmica geralmente a necessidade se aproxima do tempo real (*Near Real Time* - NRT) requerendo uma entrega de, pelo menos, 12 horas da aquisição da imagem como um objetivo a ser atingido. Com relação ao sensor SPOT, com uma antena de recepção na Guiana Francesa, seria possível numa estação de recepção no Brasil, conectada à antena da Guiana Francesa, receber esta imagem com 1 hora depois da aquisição;

- Revisita: O tempo de revisita em temporadas de pesca é crucial. Durante a abertura de temporadas de pesca que devem durar algumas semanas, por exemplo, seria necessário o imageamento intensivo da área por um curto período de tempo. O mesmo se dá para ações de proteção de defeso, em determinadas áreas pré-estabelecidas, em um período de tempo também estabelecido anteriormente. A utilização de sensores óticos neste caso pode ser uma boa solução considerando o tempo de revisita, que variam de 1 a 3 dias, considerando Kompsat 2, Formosat 2 e SPOT 5;
- Resolução: O relatório do DECLIMS considera que a resolução é de interesse quando a área a ser vigiada é localizada. No caso da pesca, por exemplo, cujas áreas são definidas por parâmetros oceanográficos como ressurgências, temperatura da água, produção primária etc, ou medidas de controle e gerenciamento pesqueiro, como áreas especiais de proteção, reservas marinhas, fechamento de áreas para determinadas pescas, etc, uma alta resolução pode ser a solução mesmo considerando o campo de visada do satélite. Além disso, os recursos de alta resolução do sensor podem permitir a classificação do navio, o que seria importante tratando-se da atividade pesqueira. No entanto, a consideração da resolução contra a visada da imagem é pertinente, e deve ser analisada caso a caso. A visada da imagem nos modernos sensores óticos variam de 15 km a 60 km, no caso do SPOT, e suas resoluções espaciais de 0,50m no caso do Quick BIRD, 1m do KOMPSAT-2, 2m no FORMOSAT 2 e 2,5m a 20m do SPOT 5 (2,5m; 5m; 10m e 20m);
- Polarização: Em se tratando de imagens SAR estudos tem revelado que HV é melhor para a detecção de navios em ângulos de incidência menores e HH é melhor para ângulos de incidência maiores. Essa questão não se aplica aos sensores óticos;
- Georreferenciamento: Uma alta acurácia pode ser requerida no caso da pesca que apresenta disputas em águas territoriais. Tanto os sensores óticos quanto os modernos sistemas-radar como TerraSar-X, Cosmo Skimed, propiciam um georreferenciamento compatível com as atividades de pesca e monitoramento marítimo.

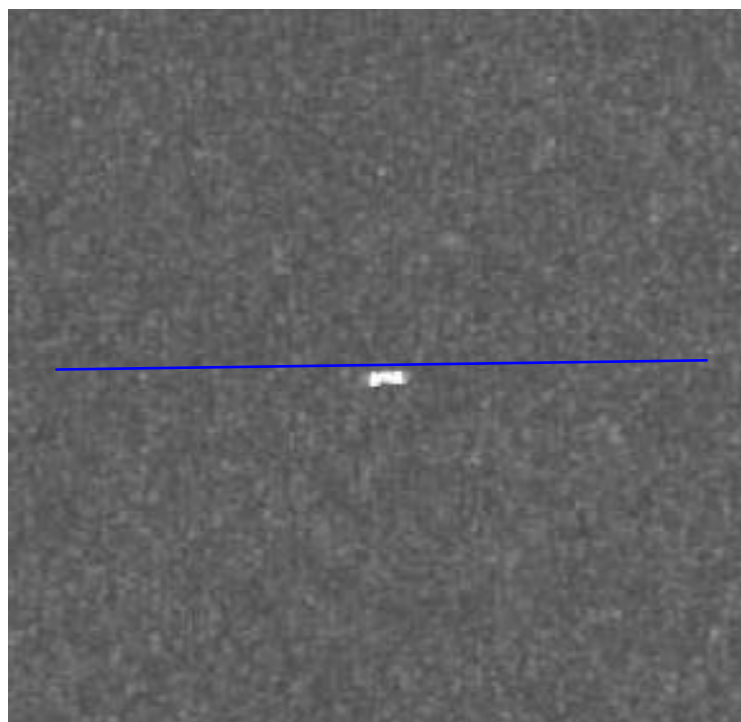
O relatório do DECLIMS sintetiza as demandas e os produtos potenciais para aplicações civis ressaltando que, conforme admite o referido relatório, “uma solução completa requer a utilização de imagens SAR e fontes de dados

provenientes de imagens multiespectrais como IKONOS, Landsat e acrescentamos os satélites mais modernos como os radares Cosmo – Skymed, TerraSAR-X, e os satélites óticos SPOT 5, KOMPSAT-2, FORMOSAT-2, QUICK BIRB entre outros.

Segundo observa Crisp (2004), no seu trabalho, “Estado da Arte em Detecção de Navios, há duas maneiras de detectar um navio na imagem SAR: detecção do navio em si e detecção do rastro do navio. A maioria dos trabalhos se reporta à detecção do navio em si por vários motivos. A detecção do navio é mais viável em função da resposta espectral dos alvos serem mais forte do que o de seu rastro e depender menos do estado do mar, barcos atracados não tem rastro e os rastros são frequentemente não visíveis nas imagens de radar especialmente quando estas são adquiridas com ângulos de incidência maiores, outra razão é o custo computacional para processamento de detecção dos rastros ser bem maior.

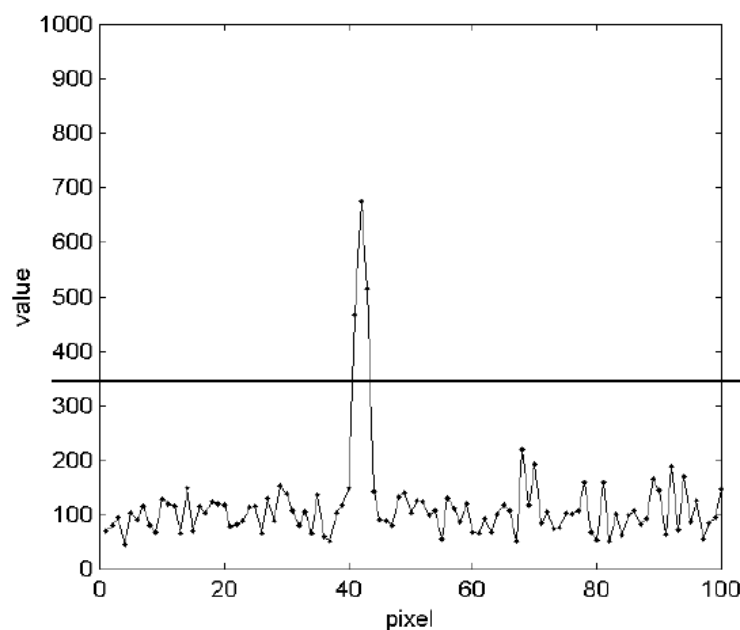
Uma das observações conclusivas do trabalho de Crisp (2004) é que nas imagens de radar os navios são mais brilhantes quando são maiores, têm mais estruturas em cima e são vistos de lado (Figura 53 a e b).

Figura 53 a - Resposta espectral de uma embarcação no mar



Fonte: Crisp, D. J. (2004)

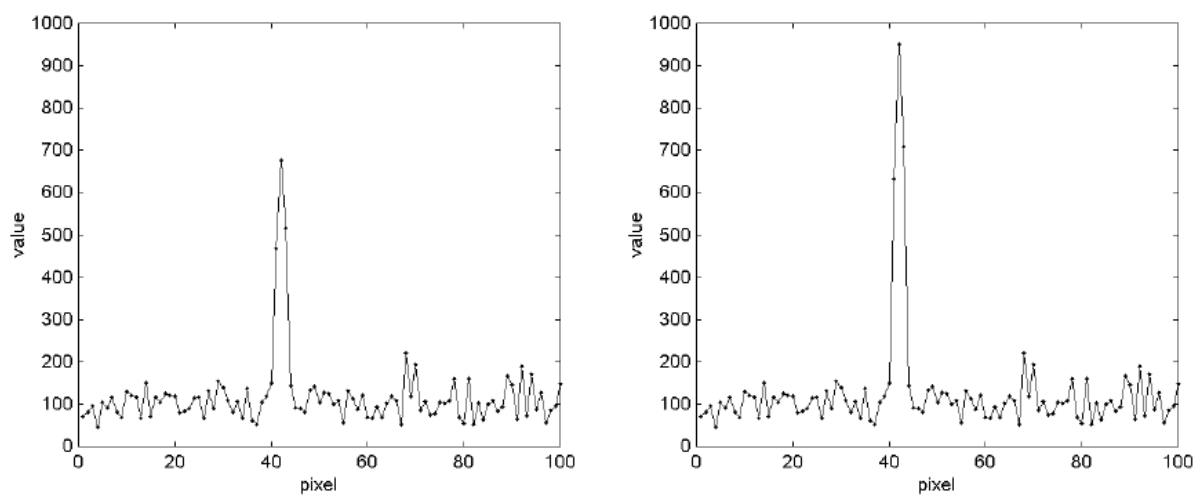
Figura 53 b - Distribuição da resposta espectral de uma embarcação no mar ressaltando os valores relativos à embarcação



Fonte: Crisp, H. J. (2004)

Com relação ao efeito produzido pelo mar conhecido como *Sea clutter* responsáveis pelos alarmes falsos por produzir respostas espectrais semelhantes aos navios, é maior quando há mais vento, mais ondas e o ângulo de incidência é mais agudo (Figura 54).

Figura 54 - Resposta espectral do “Sea Clutter”

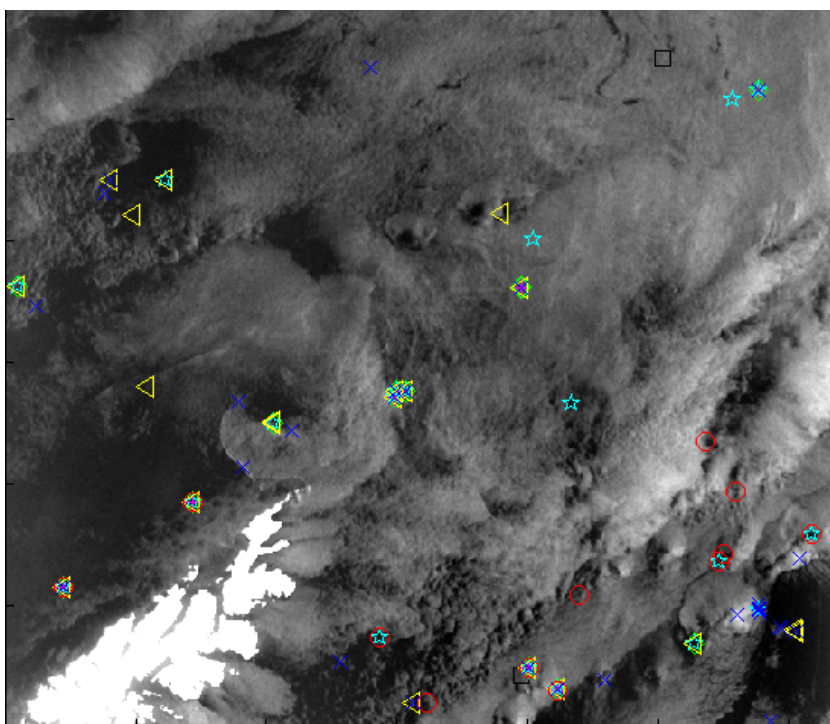


Fonte: Crisp, H. J. (2004).

Crisp (2004) registra no referido trabalho que a metodologia de detecção de maneira geral consiste em diferentes estágios: criação da máscara do continente; pré-processamento; pré-identificação e discriminação. Analisa os diversos algoritmos utilizados nessas diferentes fases e observa que a maioria deles foi desenvolvida para imagens SAR de baixa resolução e um só canal onde se procura pontos brilhantes nessas imagens. Aponta para a evolução com as imagens polarimétricas e as pesquisas para uma melhor discriminação dos falsos alarmes como caminho para melhorar o processo de detecção de barcos baseados nos novos satélites Envisat ASAR e Radarsat-2.

Guillaume *et al.*(2002) no seu estudo “Detecção de Navios em dados ENVISAT ASAR” afirma que nenhum algoritmo isolado pode produzir satisfatoriamente resultados com suficiente sensibilidade de detecção e pequena taxa de falso alarme (Figura 55), no entanto observamos que este é o objetivo e considerando que há sistemas comerciais funcionando satisfatoriamente acreditamos que este problema esteja solucionado por alguns desses sistemas operativos.

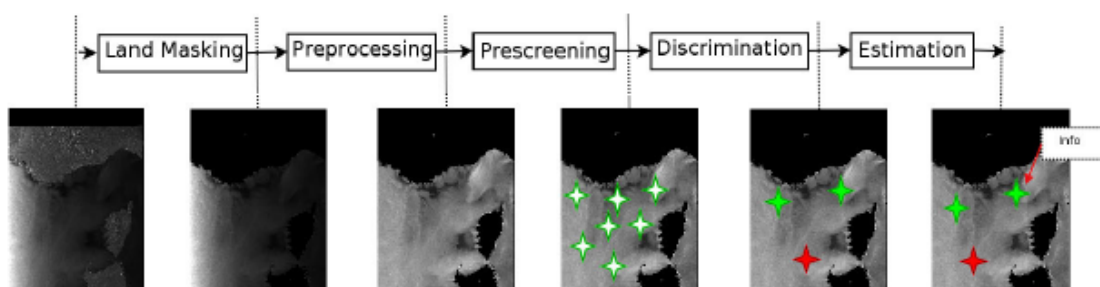
Figura 55 - Imagem Radarsat com detecção de diferentes sistemas (GREIDAMUS, 2002)



Fonte: Greidanus, H.; JRC (2002).

A seguir comentaremos as principais fases (Figura 56) dos sistemas de detecção de navios em imagens SAR traçando um paralelo com a metodologia aplicada no caso das imagens óticas.

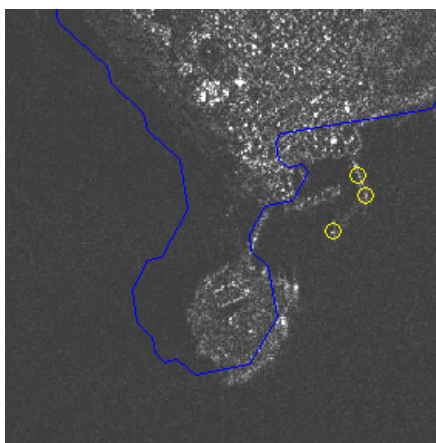
Figura 56 – Estratégia para detecção de navios



Fonte: (DECLIMS, 2005)

1. *Máscara da terra*: é definida sobre uma base de dados da linha de costa com uma faixa marginal (zona de “buffer”) incluída para limitar o processamento da detecção de navios a área do mar. A máscara do continente é importante não só pela razão óbvia de que somente navios no oceano são de interesse, mas porque os algoritmos de detecção de navios podem produzir um grande número de falsos alarmes quando aplicados nas áreas do continente. Máscaras de continente são geralmente difíceis de serem traçadas em função da imprecisão dos registros de linhas de costa e do registro também impreciso da própria imagem SAR, (Figura 57).

Figura 57 - Inconsistência na definição da máscara do continente provocando falsos alarmes.



Fonte: Greidanus, H.; JRC (2002).

A máscara do continente é utilizada também na detecção de navios com sensores óticos pelos mesmos motivos, no entanto a imagem ótica apresenta geralmente maior resolução espacial e mais precisão no posicionamento, portanto a questão da imprecisão dos registros de linhas de costa não configura nenhuma dificuldade.

2. *Pré-processamento*: Aplicam-se fatores de calibração e realiza-se um aumento de realce *enhancement* da imagem para facilitar e dar maior precisão a fase posterior de *prescreening*. A calibração da imagem SAR é também necessária para estimação dos *Radar Cross Section* - RCS dos navios;

- No caso do algoritmo utilizado nesse trabalho a fase de calibração consiste na aprendizagem do algoritmo genético – GA discernir o que é barco e do que é mar. Isto será detalhado adiante. Não há necessidade de calibração da imagem para rodar o algoritmo, contudo isto poderia ser objeto de pesquisa. Qual seria o desempenho do algoritmo se antes de ser ativado procedêssemos a uma normalização ou utilização de outro processo de distribuição estatística dos pixels da imagem a ser submetida para análise e detecção.

3. *Prescreening*: geralmente aplica-se “limite” do algoritmo através de uma janela adaptativa móvel para detectar pontos brilhantes. A detecção dos rastros geralmente não é considerada como indicador primário de navios já que estes não são visíveis em 37% de todos os navios alvos. O clássico *Constant False Alarm Rate* (CFAR) é o algoritmo mais utilizado em função da sua robustez e simplicidade e os pixels detectados são agrupados (*clustered*) para prosseguimento da detecção dos navios alvos. Uma geometria básica para a janela móvel do CFAR é apresentado na Figura 58 onde a área a ser testada é cercada por uma área de guarda e então uma área de fundo. O propósito dessa área de segurança é garantir que nenhuma parte do alvo seja incluída na área de fundo e daí que a área de fundo é representativa da estatística de fundo. Dessa forma a dimensão do alvo, guarda (área de segurança) e áreas de fundo no domínio dos pixels têm de ser adaptada a resolução das imagens no tamanho e direção do azimute para uma dimensão mínima e máxima do navio em consideração.

- No caso do *ShipDetection*, o algoritmo é ensinado a reconhecer embarcações de pequeno porte. O algoritmo é otimizado através de testes de

eficiência para os 24 parâmetros escolhidos. Esses parâmetros definem o que é um barco sendo a combinação mais eficiente usada para a fase de detecção. Este assunto será abordado adiante, mas ressaltamos a grande diferença no processo de detecção. Na maioria das aplicações com imagens de radar é usado o CFAR para discernir entre barco – mar através da intensidade dos pixels nas imagens. No caso do *ShipDetection* a discretização se dá baseada nas feições do barco na imagem do sensor ótico com bons resultados na detecção de pequenas embarcações.

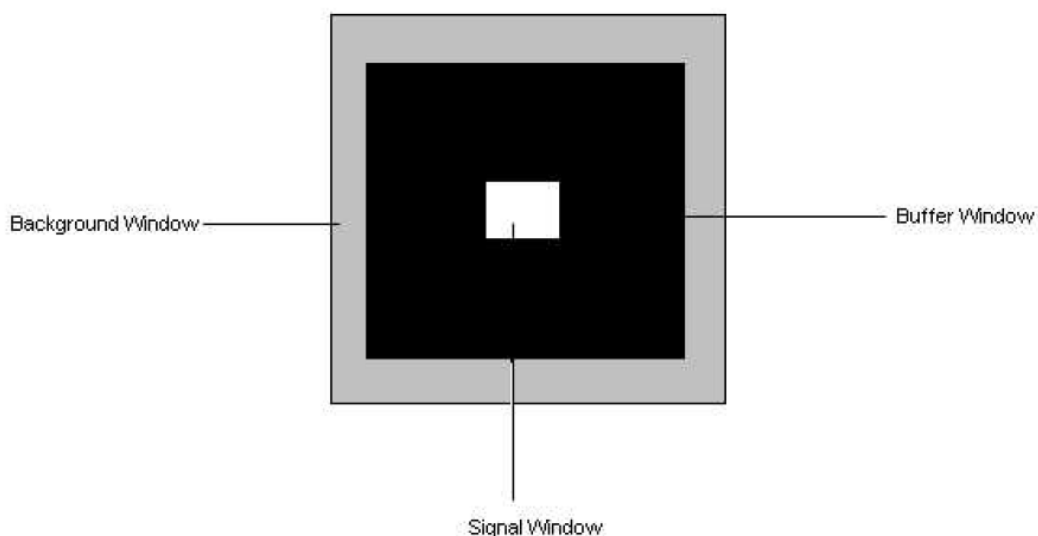
4. *Discriminação*: esta fase consiste na rejeição de alarmes falsos usando medidas do alvo ou caracterização de fenômenos oceanográficos ou meteorológicos;

- No *ShipDetection*, esta etapa é cumprida pela retroalimentação do algoritmo genético trabalhando para “entregar” à rede neural que irá processar a imagem a melhor combinação do que é barco como veremos adiante.

5. *Estimação*: realização da estimação de parâmetros dos navios detectados com o objetivo de classificá-los posteriormente.

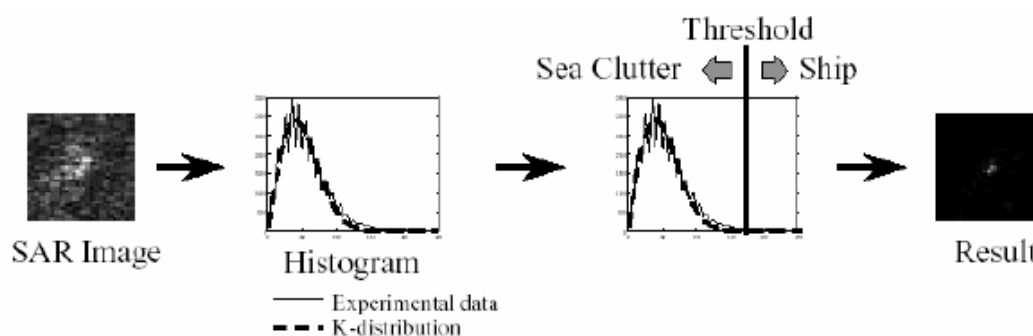
A figura 59 a seguir mostra esquematicamente a definição de um “limite” que representa um ponto na resposta espectral a partir do qual há uma probabilidade constante específica de que correspondam a navios. No exemplo abaixo este limite corresponde à soma da média mais 6 (seis) desvios padrões (Figura 60). (DECLIMS, 2006).

Figura 58 - Geometria básica para a janela móvel do CFAR



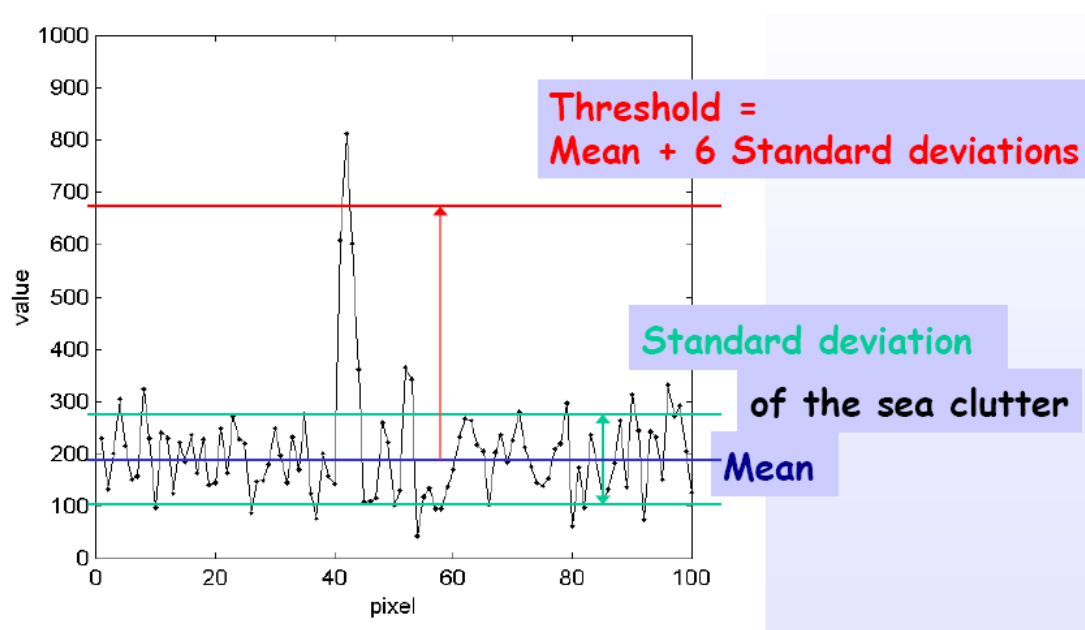
Fonte: (DECLIMS, 2006).

Figura 59 - Método de detecção do CFAR a partir da definição do “Limite”



Fonte: (DECLIMS, 2006)

Figura 60 - No exemplo extraído do Projeto IMPAST, o “Limite” é igual a media mais seis vezes o desvio padrão



Fonte: (DECLIMS, 2006).

Diversas metodologias foram estudadas para o estabelecimento deste “limite” do algoritmo CFAR nas imagens de radar conforme descritas por Eldhuset (1996), Vachon *et al.* (1997), Oliver e Quegan (1998), Zaart *et al.* (1999), Ferreira *et al.* (2000), Fernandes (1998) e Macedo *et al.* (2001).

Esses autores baseiam seus trabalhos na utilização de distribuições estatísticas para segmentação de imagens SAR. Dentre estas diversas distribuições estatísticas, a distribuição K tem sido utilizada como uma ferramenta flexível para modelagem de dados oriundos de uma imagem SAR, conforme descrito por Yanasse *et al.* (1994). No caso de imagens SAR de áreas oceânicas em especial, Vachon *et al.* (1997) trabalhou especificamente com os modos de imageamento do RADARSAT e desenvolveu modelos para função de densidade de probabilidade do *clutter* do oceano o qual poderia ser usado para predizer o “limite” que irá separar o oceano do alvo detectando-o. O método corrobora a afirmação de Yanasse *et al.* (1994) e utiliza a distribuição K para fins de representação da distribuição da resposta espectral do oceano para detecção de navios.

Entretanto, conforme descrito em Oliver e Quegan (1998), outras distribuições estatísticas também podem ser utilizadas no processamento de imagens SAR. Segundo este autor, as distribuições Rayleigh, Weibull e Gama também podem ser empregadas para o processamento de imagens SAR, com resultados satisfatórios dependendo da área de estudo.

A distribuição Gama também é empregada para a segmentação de imagens SAR por Zaart *et al.* (1999).

Ferreira *et al.* (2000), Fernandes (1998) e Macedo *et al.* (2001) demonstraram a utilização da distribuição Weibull na segmentação de imagens SAR.

A detecção de possíveis alvos em imagens SAR é realizada por meio da grande diferença de valores de níveis de cinzas apresentados por navios em contraste com a água. De maneira geral, numa imagem SAR os navios se apresentam como pontos com altos valores de nível de cinza, enquanto a água apresenta-se como pontos com baixos valores de nível de cinza com exceção dos pixels de água fortemente contaminados por *speckle*. Entretanto estas características básicas podem ser alteradas, pois dependem de uma série de fatores, tais como: estado do mar, presença de óleo na água, posição do navio em relação à visada do satélite, ângulo de incidência da imagem, dentre outros. Além destas características, no caso de navios em movimento, os prováveis alvos podem ser identificados também pela existência de sua esteira, ou seja, as ondas superficiais causadas pelo seu movimento (ROCHA, 2001).

Renato Rocha *et al.* (2001) realizaram estudos com as diversas distribuições estatísticas referidas anteriormente com o propósito de detecção de

navios implementando rotinas baseadas nestas metodologias através do *software* PCI da *Geomatics*.

A metodologia descrita pelos autores contempla as seguintes etapas:

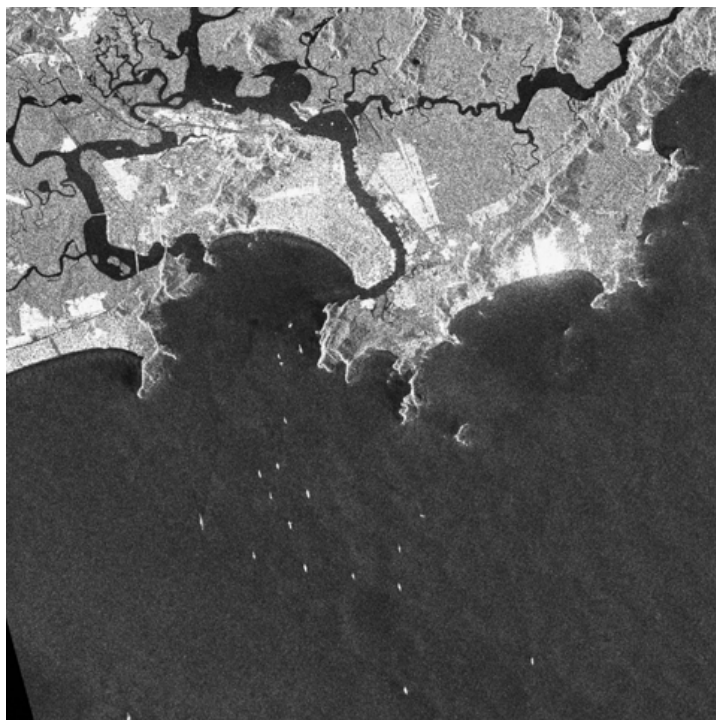
- Conversão da imagem de 16 bits para 8 bits
- Registro da imagem com os dados de efemérides da imagem;
- Exportação da imagem em formato “raw”;
- Redução da imagem para um *subset* de 2500 por 2500 pixels com a finalidade de reduzir o esforço computacional;
- Processamento da imagem para descobrir qual o valor de nível de cinza corresponde a uma probabilidade de 99,5% de o pixel ser um alvo;
- Comparação do valor de “limite” com o valor do nível de cinza de cada pixel da imagem;
- Associação na imagem de saída a um pixel com valor 255, ou seja, branco para os pixels encontrados superior ao limite “limite” encontrado e, caso contrário, associação a um pixel com valor 0, gerando pixels pretos na imagem de saída.

Desta forma, a imagem gerada mostrará os pixels com uma probabilidade mínima de 99,5% de ser alvo com a cor branca e os demais com a cor preta.

Eldhuset (1996) desenvolveu uma abordagem onde primeiramente detecta a resposta espectral do navio comparando à média local, calculada para uma janela de 2x2 pixels, com a estatística do *background* local (média e desvio padrão) para determinar se a média local é maior que o esperado e daí buscar uma assinatura para o rastro. Uma nova imagem é gerada após a normalização da imagem através de alguns parâmetros estatísticos, como média e variância ressaltando a diferença entre o alvo e o oceano.

No caso da utilização da metodologia descrita por Eldhuset (1996), os autores trabalharam com uma máscara de 2x2 percorrendo a imagem original e gerando uma imagem intermediária, que foi comparada com um fator de comparação descrito pelo autor.

Renato Rocha *et al.* (2001) citados anteriormente, encontraram os seguintes resultados que apresentamos como ilustração do processo: A Figura 61 representa a imagem original da região de Santos (SP), nas figuras 61 a 66 são apresentados os resultados das diversas metodologias com as variações inerentes às características das distribuições estatísticas utilizadas.

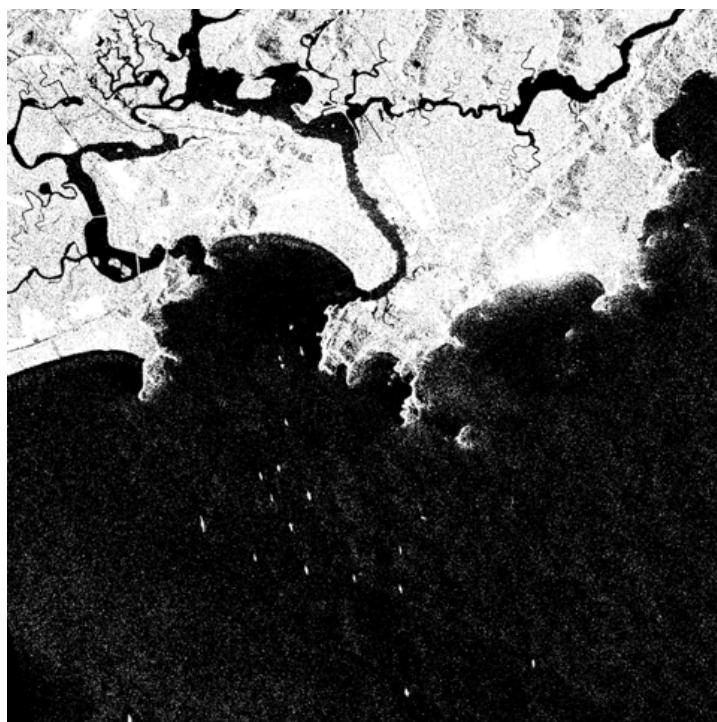
Figura 61 – Imagem Original

Fonte: ROCHA et al., (2001).

A Figura 62 mostra o resultado gerado pela distribuição K com o maior número de ruído na região oceânica, diversos pontos brancos na área, que segundo os autores foi atribuído ao valor não muito alto estabelecido para o “limite” podendo ser confundido, na interpretação, por falsos alarmes.

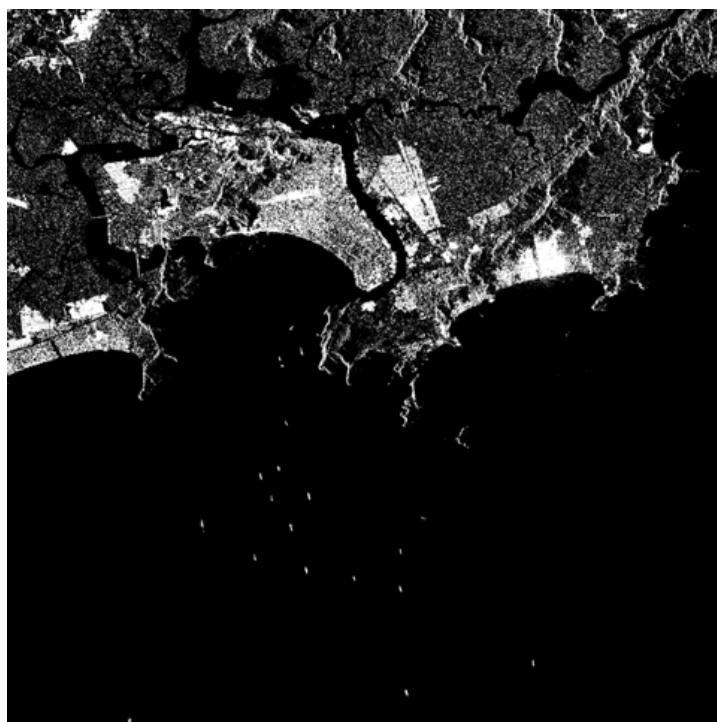
As Figuras 63 e 64 foram geradas pelo processamento utilizando as distribuições Rayleigh e Weibull, respectivamente, apresentando bons resultados sem a presença de ruídos na região oceânica, como ocorreu com a distribuição K. A imagem gerada pela distribuição Weibull apresentou ainda uma boa resposta na área de terra (ROCHA, 2001).

Figura 62 - Imagem processada pela distribuição K



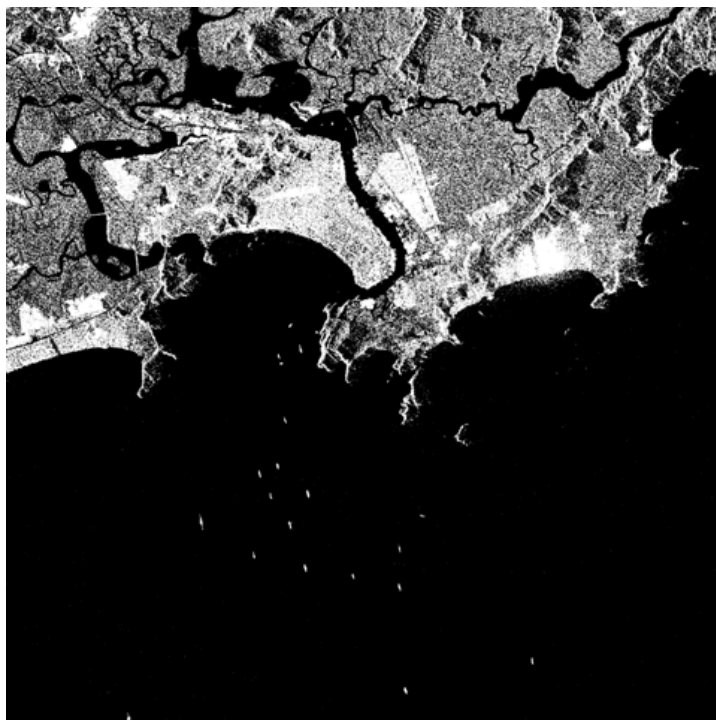
Fonte: ROCHA *et al.* (2001)

Figura 63 - Imagem processada pela distribuição Rayleigh



Fonte: ROCHA *et al.* (2001).

Figura 64 - Imagem processada pela distribuição Weibull

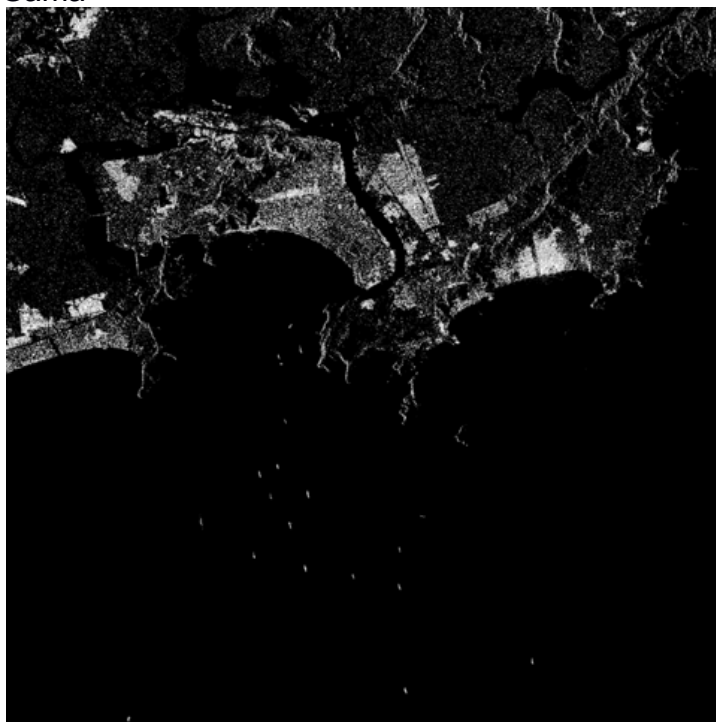


Fonte: ROCHA *et al.* (2001)

Nas Figuras 65 e 66 são apresentados os resultados obtidos pelo processamento na utilização das distribuições Gama e Raiz da Gama. Onde se observa que estas distribuições foram as que apresentaram uma menor resposta tanto para a área oceânica como para área terrestre, principalmente a distribuição Raiz da Gama.

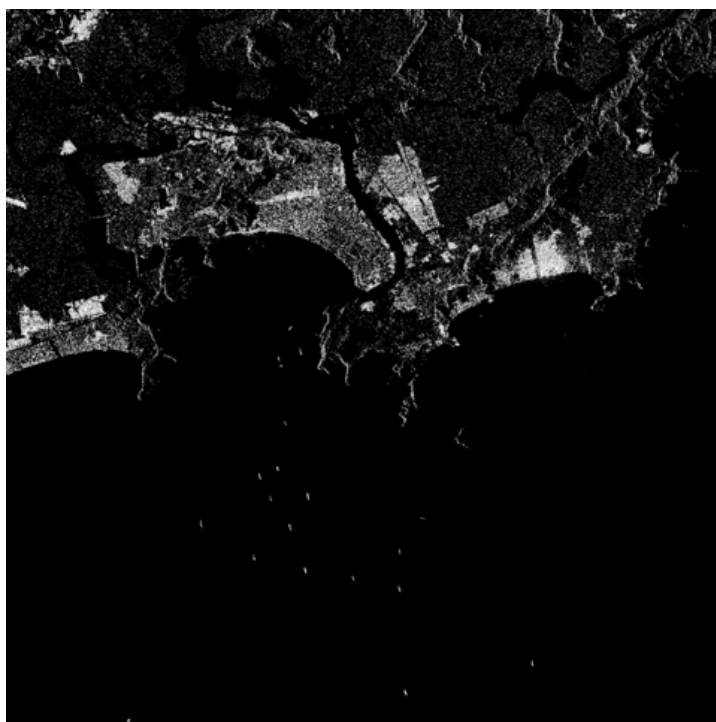
A Figura 67 mostra o resultado obtido pelo processamento utilizando a metodologia descrita por Eldhuset (1996). Esta metodologia apresentou resultado também muito bom, conseguindo detectar os alvos existentes, sem uma resposta elevada da região terrestre, apresentando, entretanto, alguns ruídos próximos aos alvos detectados.

Figura 65 - Imagem processada pela distribuição Gama



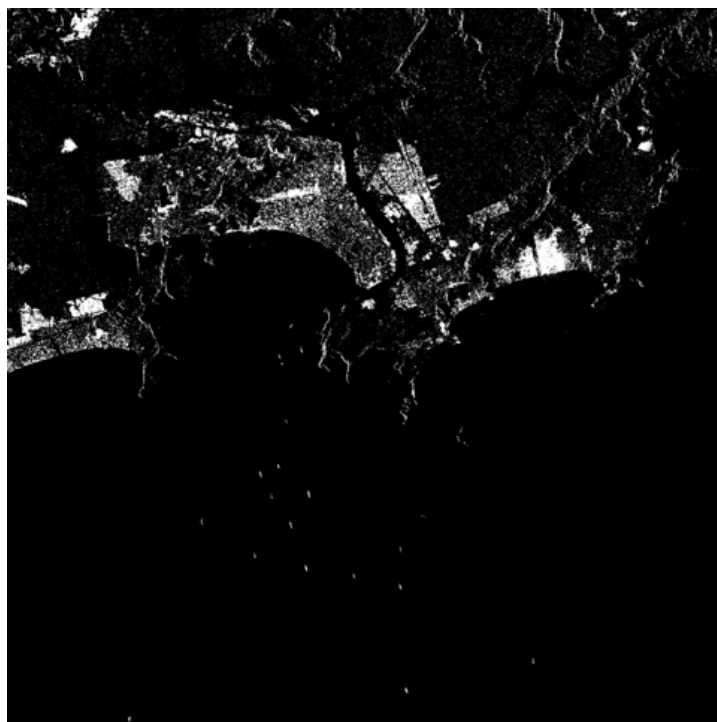
Fonte: ROCHA *et al.* (2001)

Figura 66 - Imagem processada pela distribuição Raiz de Gama



Fonte: ROCHA *et al.* (2001)

Figura 67 - Imagem processada utilizando metodologia descrita por Eldhuset

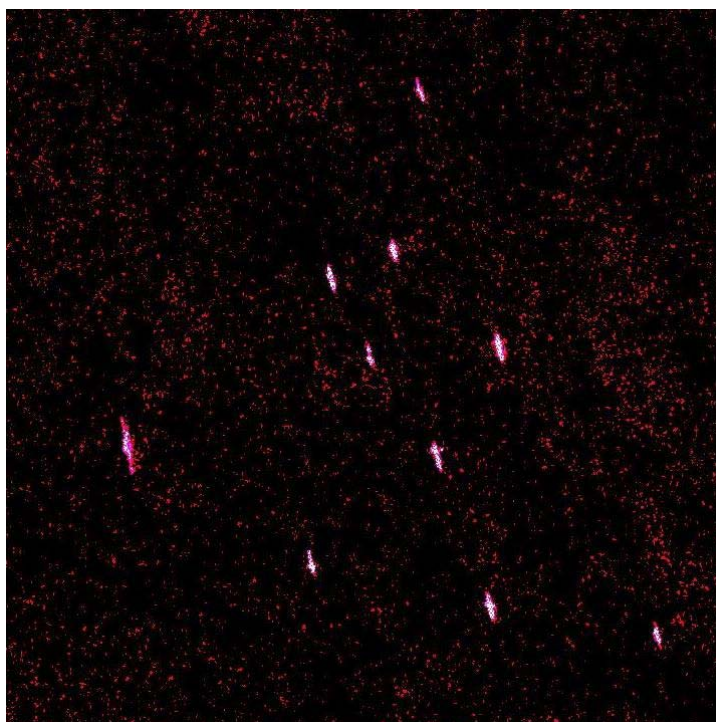


Fonte: ROCHA *et al.* (2001).

Nas Figuras 68 e 69, vemos zoom de composições coloridas RGB. Na Figura 68 temos a composição entre as imagens geradas pela utilização das distribuições K, Gama e Weibull. Os pontos vermelhos correspondem aos ruídos existentes na imagem gerada pela distribuição K. Na Figura 69, vemos a composição entre as imagens geradas pela utilização das distribuições Rayleigh, Gama e Weibull onde se observa a inexistência de ruído.

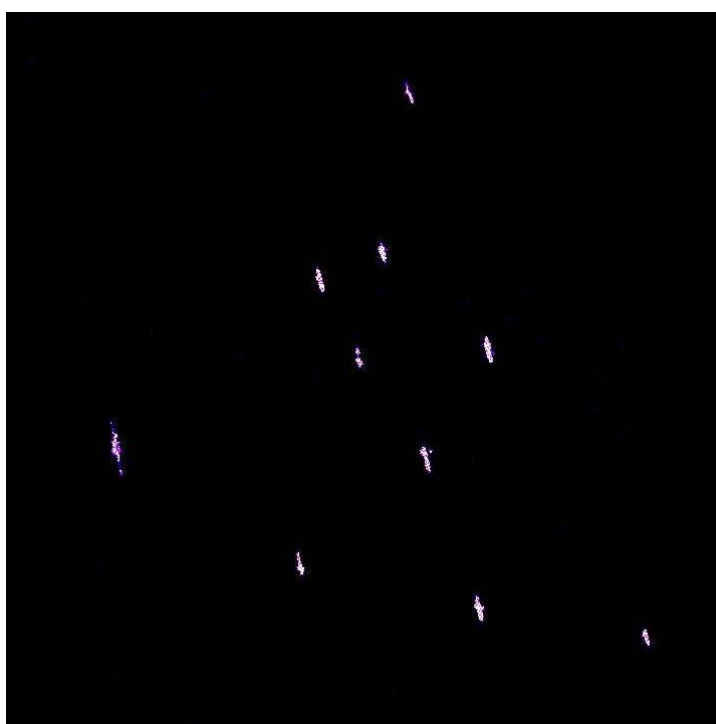
Em ambas imagens podemos observar a diferença de proporção do tamanho que os alvos foram detectados de acordo com cada distribuição utilizada.

Figura 68 - Zoom da composição RGB usando distribuições K-Gama-Weibull



Fonte: ROCHA *et al.*, (2001).

Figura 69 - Zoom da composição RGB usando distribuições Rayleigh-Gama-Weibull. Imagem sem ruído.



Fonte: ROCHA *et al.*, (2001).

O trabalho, que utilizou as distribuições estatísticas mais citadas na literatura concluiu que a utilização de distribuições estatísticas para segmentação de imagens SAR que abranjam áreas oceânicas com o propósito de detectar navios é muito eficiente.

Os autores concluíram também que a utilização das distribuições Weibull, Rayleigh e Gama foram as que apresentaram os melhores resultados em relação às demais. A metodologia descrita por Eldhuset (1996) também apresentou resultado com a presença de alguns ruídos próximos aos alvos detectados.

Os autores concluíram também que os alvos foram detectados com tamanhos diferentes de acordo com cada metodologia, o que é possível observar nas composições RGB mostradas acima e atribuíram a este fato os diferentes valores do “limite” para cada distribuição.

Como anteriormente comentado, embora as imagens de sistemas SAR sejam mais pesquisadas e utilizadas na detecção de navios do que os sensores ópticos, muito provavelmente pela relação resolução x área imageada, favorável às imagens SAR para utilização no monitoramento marítimo e na pesca, e ainda, possibilitarem o imageamento independente das condições meteorológicas. Em contrapartida a detecção de navios em imagens SAR é amplamente afetada pelo estado do mar. O tempo de recorrência é também outro fator a ser considerado no caso dos sensores disponíveis Radarsat e Envisat são muito longos, 24 e 31 dias respectivamente sendo desfavorável ao monitoramento e vigilância marítima. Uma combinação dos sensores ativos (radar) e passivos (satélites ópticos) parece configurar uma solução desejável no caso de detecção de pequenos barcos utilizados, por exemplo, nas pescas da lagosta no nordeste brasileiro, do camarão na região Norte do Brasil ou da sardinha no sudeste-sul do Brasil.

Considerando que o nosso objetivo seja estudar a viabilidade de utilização de sensores ópticos para detecção de pequenos barcos potencialmente ilícitos em atividade de pesca ou porque estão fora dos padrões de regulamentação do sistema PREPS ou não aderiram ao sistema e gozam do privilégio de não terem rastreadas suas atividades, a experiência relatada pelo grupo de pesquisa da Dra Corbane constitui um referencial. De fato escolhemos testar a detecção de barcos na pesca do Brasil no Norte e Sul do país fazendo uso do algoritmo desenvolvido no âmbito do projeto LIMES pelo IRD, o *ShipDetection*

A vigilância marítima envolve uma troca entre a resolução espacial e cobertura da cena como nos referimos anteriormente, Vachon e Olsen (1995) em seu artigo sobre seleção de modos para aplicações marítimas com o Radarsat SAR comenta que altas resoluções permitem uma probabilidade maior de detecção especialmente para barcos menores ao custo de uma menor cobertura e maior tempo de revisita.

A detecção de navios nas imagens SAR, sendo essencialmente localizar os pixels mais brilhantes num ruído de fundo (*background noisy*), é um processo randômico caracterizado pela probabilidade de detecção e uma taxa de alarme falso.

Experiências conduzidas pelo *Joint Research Center-JRC*, (Centro de Pesquisa da União Europeia, cujos trabalhos na área de detecção de embarcações é referência mundial), na detecção de barcos de pesca, analisando quase 900 barcos com posições conhecidas em 100 imagens, indicaram uma capacidade de detecção de 80% para os barcos maiores, (45m em média), em *RADARSAT ScanSAR Narrow B* images (50m de resolução) (HAJDUCH; SEASAR, 2006). Menos trabalhos têm sido feitos com ENVISAT ASAR, mas as experiências disponíveis indicam um desempenho similar no seu modo Image (25 metros de resolução) para o *RADARSAT Standart*. O ENVISAT no modo *Wide swath* com resolução espacial de 150 metros, contudo não é apropriado para detecção de barcos de pesca conclui o relatório do JRC.

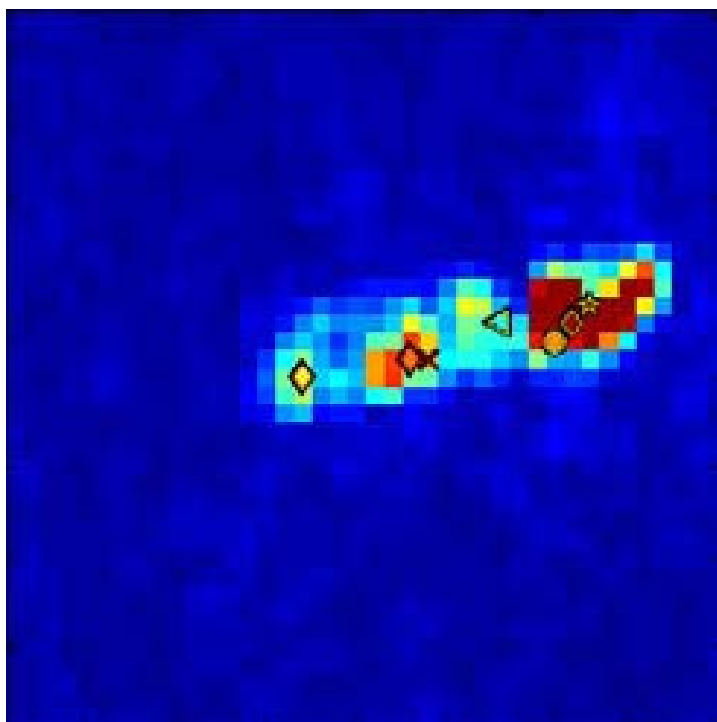
O Benchmark de detecção de barcos com imagens SAR de 2004 realizado no âmbito do Projeto DECLIMS indicou um número de problemas específicos comuns para todos os sistemas.

Ambigüidades do azimute, freqüentemente em função do forte espalhamento (“scatterers”) na terra, mas também dos alvos marítimos, e interferências indesejáveis (“side lobes”) especialmente em imagens no modo refinado (“Fine beam images”), onde o espalhamento de fundo (“backscatter”) de um elemento de resolução pode ser extremamente alto resultando em falsos alarmes. O “deslocamento” do azimute pode não ser tão grande obstáculo para a detecção, mas obscurece o real tamanho de uma embarcação e a direção do mesmo.

Múltiplos picos (*peaks*) próximos são regularmente encontrados nas imagens SAR para um único pequeno barco cuja posição é conhecida. Nesses casos é difícil saber se esses *peaks* indicam dois distintos alvos ou resultam de *scatterers* separados do mesmo alvo, possivelmente separados no azimute em

função do efeito de locomoção. Isto é um problema porque frequentemente as imagens de radar são utilizadas para, em primeiro lugar, contar os navios e estabelecer a presença de navios desconhecidos (Figura 70).

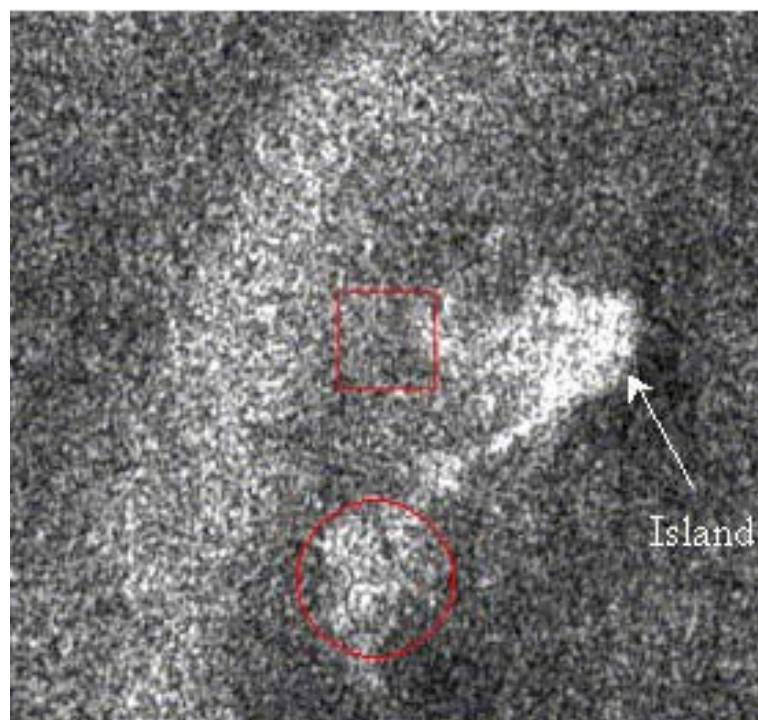
Figura 70 - Alvos detectados por 5 diferentes sistemas em imagem RADARSAT. Um sistema declara 3 alvos (diamante) outro (triângulo) apenas 1



Fonte: Greidanus, H. (2002).

Finalmente afora o *clutter* distribuído, a superfície do mar pode mostrar feições com aumento do brilho em função de uma variedade de causas geofísicas. Algumas delas são difíceis de distinguir dos alvos reais (Figura 71).

Figura 71 – O círculo representa o “ruído” do mar, o quadrado a presença de um navio próximo à ilha.

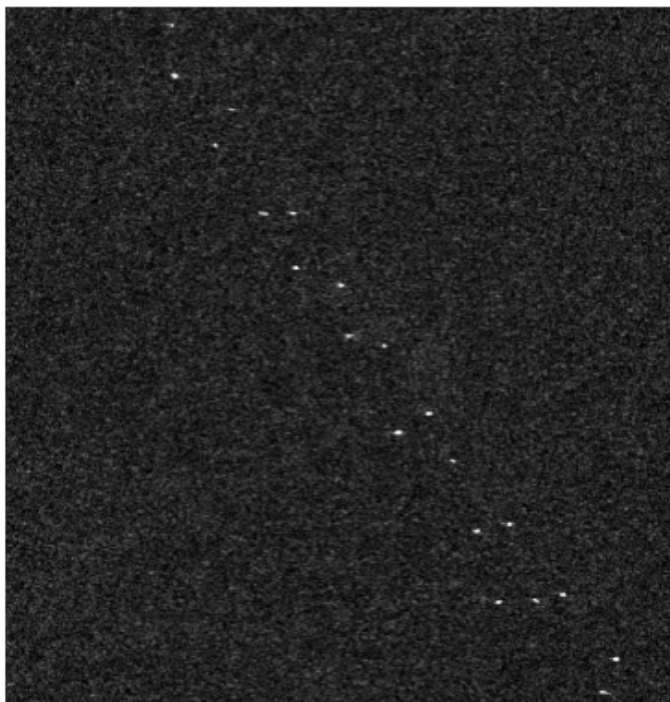


Fonte: (DECLIMS, 2005).

3.3 Imagens óticas x radar na detecção de navios – a experiência do DECLIMS

Uma comparação entre a automação da detecção e classificação de navios entre os sensores óticos e radar revela que o processo com relação aos sensores óticos ainda está em fase de maturação e acrescenta que o aumento da complexidade da detecção de navios nas imagens óticas onde formas, segmentos e contrastes têm que ser levados em conta ao contrário das imagens de radar que é baseada simplesmente na detecção de pixels mais brilhantes (DECLIMS, 2005).

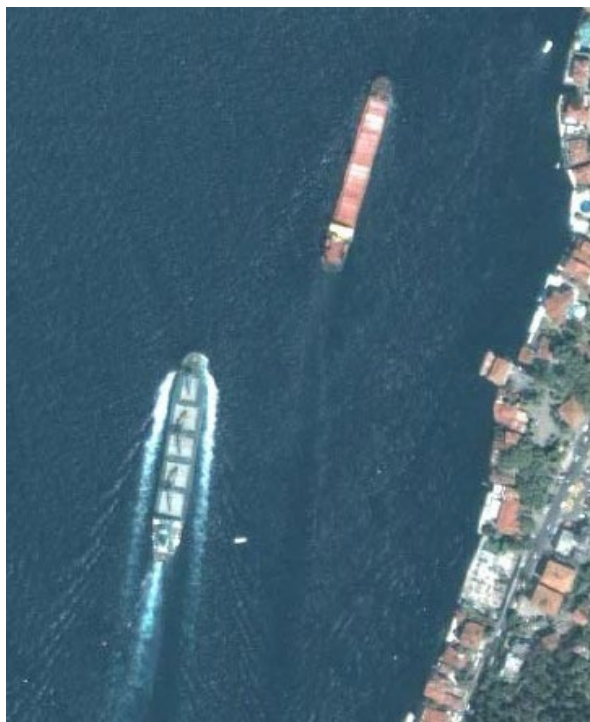
Figura 72 - Barcos de pesca alinhados no Atlântico Norte.



Fonte: (RADARSAT, 2006).

Acima, detalhe de uma imagem RADARSAT sobre o Atlântico Norte (21x23 km) (DECLIMS, 2006), Figura 72. Cada ponto luminoso é um barco de pesca com 50 metros de comprimento; estão alinhados numa típica formação de pesca. Abaixo, Figura 73, imagem ótica do satélite IKONOS, onde pequenos barcos podem ser reconhecidos.

Figura 73 - Detalhe de imagem IKONOS perto de Istambul: dois cargueiros e alguns barcos pequenos podem ser reconhecidos



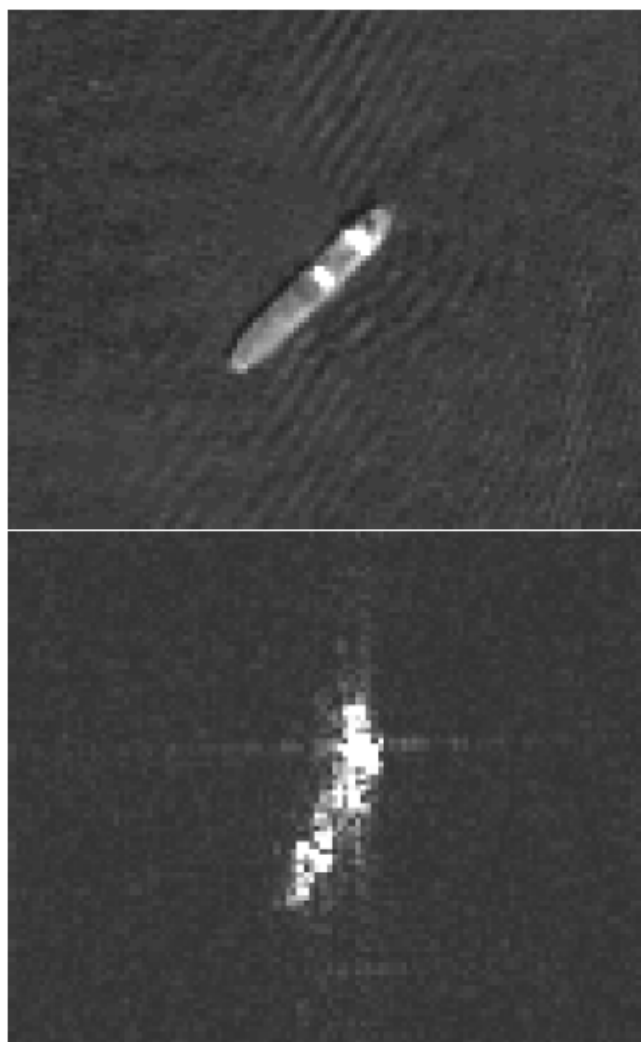
Fonte: (DECLIMS, 2006)

O relatório do DECLIMS registra com relação à utilização das imagens óticas, a preferência pelas imagens pancromáticas com relação às imagens multiespectrais – é melhor usar mais bytes (largura da banda) de informação no aumento de resolução do que em cores adicionais (DECLIMS, 2006).

Segundo o relatório referido, para se fazer uma comparação justa entre a capacidade de detecção do radar e da imagem ótica dever-se-ia comparar na mesma resolução (Figura 74).

Para a detecção de navios com radar, a resolução usada varia de 150 metros, (ENVISAT ASAR grande visada, somente para grandes navios mercantis), a 50 metros (RADARSAT ScanSAR) e 25 metros, (Imagem ENVISAT ASAR e modo de polarização Alternada, RADARSAT Padrão) à 8 m, (RADARSAT Modo Fine).

Figura 74 - O mesmo navio de 220m imageado pelo SPOT-5 (2.5 m resolução, acima) e RADARSAT Fine (8 m resolução, abaixo).



Fonte: (DECLIMS, 2006).

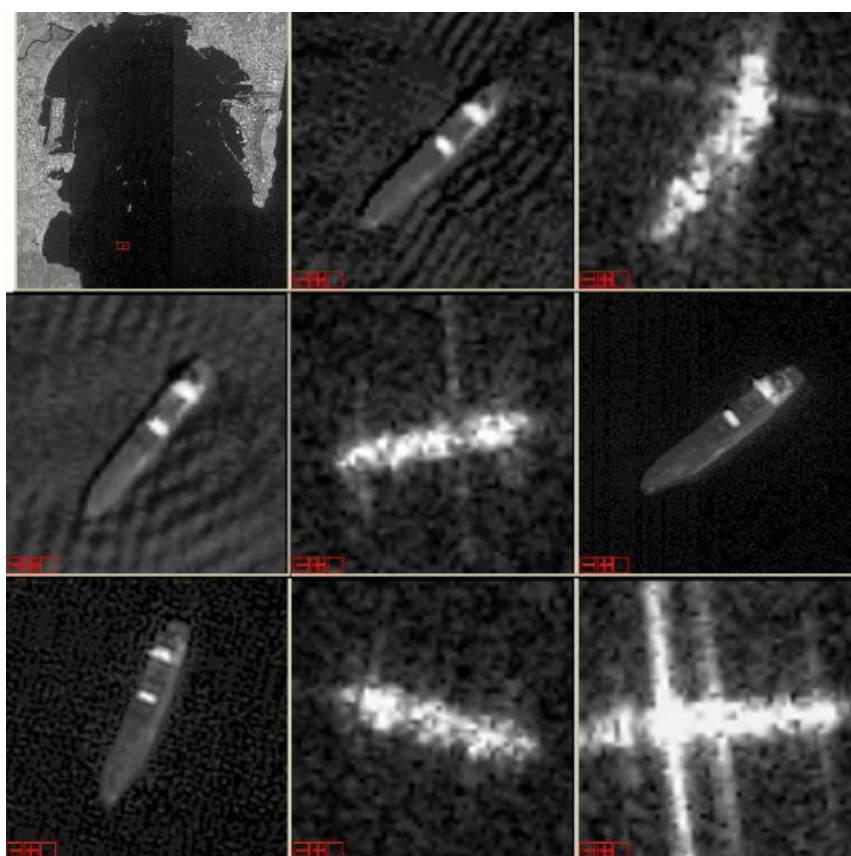
Os sensores óticos apresentam resoluções mais altas com área de abrangência menor o que representa uma desvantagem com relação às aplicações relacionadas à vigilância marítima, se bem que por outro lado, imagens do satélite SPOT 5 com resoluções de até 2,5 metros possuem uma visada de 60km x 60km o que é bastante razoável dependendo da aplicação.

Greidanus e Kourti (2005) estabeleceram uma comparação detalhada entre assinaturas de embarcações por radar e sensores óticos. Abaixo a Figura 75,

extraída do referido trabalho, exemplifica algumas imagens com diferentes resoluções para sensores ativos (radar) e passivos (óticos).

Figura 75 – Imagens SPOT 5 x RADARSATx EROS

Overview	SPOT 5 m	RSAT 8 m
SPOT 5 m	RSAT 8 m	EROS 1.8m
SPOT 2.5 m	RSAT 8 m	RSAT 8 m



Fonte: N. Kourti, et al., (DECLIMS, 2006)

De acordo com os trabalhos publicados pelo DECLIMS (2006), enquanto as imagens de radar com resolução de 50m e 25m são usadas extensivamente para detecção de navios, essas resoluções não têm sido usadas para detecção de navios na imagem óptica e presume-se que essas resoluções sejam inadequadas para o

sensor ótico. Por outro lado, continua, a classificação em imagens de radar é muito mais difícil do que em imagens óticas e demonstra esta afirmativa usando imagens de radar SAR com 25m e 8m de resolução e até imagens métricas de radar onde demonstra que a classificação e reconhecimento de alvos são mais difíceis do que nas imagens óticas. O trabalho conclui que imagens de radar (em média resolução) são mais adequadas para detecção de navios, enquanto que imagens óticas de muito alta resolução são mais adequadas para classificação de navios, e faz uma ressalva com relação aos pequenos barcos de madeira e plástico, que podem ser difíceis de serem detectados com radar, mas dependendo da cor, podem ser encontrados na imagem ótica.

As aplicações de sensoriamento remoto ao monitoramento marítimo colocam diferentes requisitos conforme a especificidade das aplicações que variam, em ordem decrescente de importância, desde controle de pesca, defesa, controle da poluição, segurança marítima ao controle de tráfego. (DECLIMS, *Proceedings of SEASAR 2006, 23-26 January 2006, Frascati, Italy*, (ESA SP-613, April 2006).

Algumas considerações e recomendações do DECLIMS são ressaltadas em função da sua atualidade. Com relação aos sensores óticos o relatório comenta que apesar das imagens de alta e muito alta resolução mostrarem os navios e revelar, de imediato, muitas informações sobre eles, a detecção dos navios e sua classificação a partir destes sensores estão muito menos desenvolvida em comparação a imagens de radar. Isto é uma consequência da recente disponibilidade das imagens de muito alta resolução. O problema da interferência das nuvens e o fato da visada dessas imagens de alta resolução serem relativamente pequenas as tornam menos apropriadas para vigilância dos oceanos. Por outro lado nas imagens de 2,5m de resolução, ou melhor, tais como SPOT-5, FORMOSAT- 2, KOMPSAT- 2, EROS, IKONOS, QUICKBIRD, os navios são detectados facilmente com o olho humano, seus tamanhos são imediatamente estimados e detalhes na superestrutura podem facilmente ser discernido.

Alguns tipos de navios maiores como cargueiros ou petroleiros, são reconhecidos imediatamente. Navios intermediários ainda mostram detalhes, mas a sua interpretação não é tão imediata, é difícil para um intérprete não treinado discernir, por exemplo, entre um barco de pesca e um barco patrulha. Barcos menores que 10m são detectáveis, mas ainda não é possível sua classificação. Através das informações contextuais pode-se ter um bom palpite, por exemplo,

proximidade de marina indica que um barco pequeno é um barco de recreação, mas essa abordagem é pouco útil se o propósito for detectar ameaças ou atividades ilícitas (DECLIMS, 2006).

3.3.1 Programa de monitoramento marítimo da Doxiades Geoimaging – DXGI

Outra experiência que utiliza a análise de feições nas imagens óticas para detecção de embarcações é o programa de monitoramento marítimo da *Doxiades Geoimaging – DXGI* referido anteriormente.

O Programa de monitoramento marítimo da DXGI concentrou foco em três tipos de embarcações: navios pesqueiros, navios militares e embarcações comerciais. Este projeto pretende melhorar o componente espacial integrando as metodologias utilizadas neste domínio, consistindo tradicionalmente em câmeras e radares costeiros assim como patrulhas aéreas, incorporando imagens óticas do satélite IKONOS com resolução métrica. A detecção dos barcos em portos Gregos com intenso tráfego foi a princípio, realizada óticamente combinando com os dados da Marinha e autoridades portuárias.

Após a interpretação visual foi utilizado o *software* “ERDAS” para estudar a refletâncias dos diferentes tipos de barcos através do processamento das imagens (filtragem, criação de máscara, etc), classificação pixel a pixel (supervisionada e não-supervisionada) e integração às informações de verdade terrestre.

Na etapa final foi utilizado o *software eCognition* para, através de uma pós-classificação supervisionada orientada a objeto, melhorar a acurácia dos resultados. Essa classificação é baseada em “lógica *fuzzy*” que permite uma customização transparente e adaptável pacote de regras de classificação.

O *eCognition* disponibiliza diferentes feições do objeto e permite a utilização de informações sobre os tipos de navios definindo classes de relacionamentos combinando informações sobre tipos de barcos e suas respostas espectrais como comprimento de onda, polarização, etc.

O fluxo do processo consiste então em quatro etapas:

- Segmentação multirresolução;
- Extração de feições baseadas no conhecimento (Knowledge-based Modelagem semântica);
- Classificação;

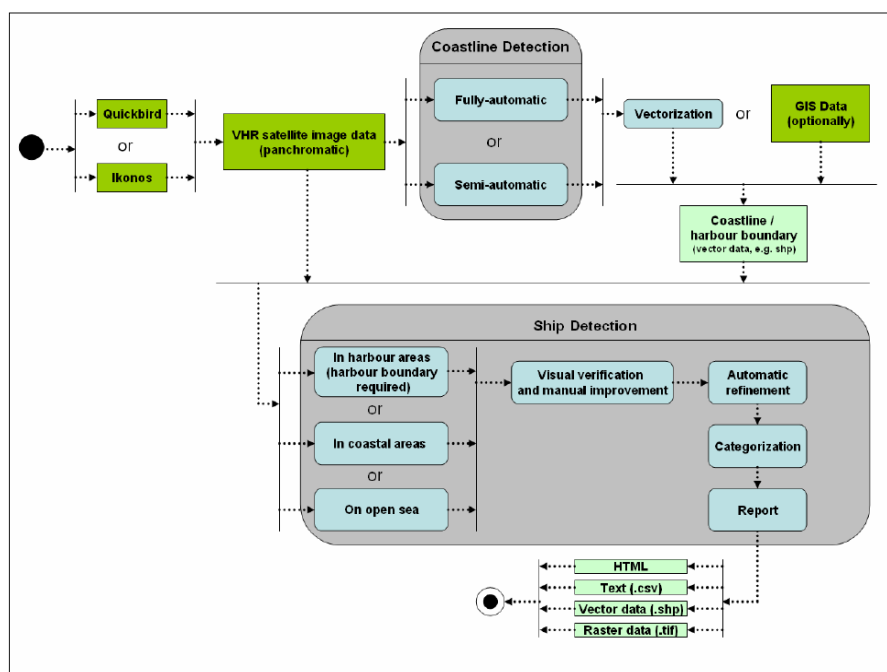
Gregor Willhauck, Juan J. Caliz, Christian Hoffmann, Iris Lingenfelder, Markus Heynen da empresa *Definiens Imaging GmbH* apresentaram em Munique o trabalho, “Detecção de Navios com Imagens de Satélite de alta Resolução”, 2004, fazendo uso do *eCognition* e imagens óticas de alta resolução (IKONOS e QuickBird).

O trabalho descreve a arquitetura de um protótipo para detecção de navios baseados na metodologia orientada a objetos do *eCognition* que disponibiliza aplicativos para detecção automática de linha de costa e de forma semiautomática a detecção de embarcações em mar aberto e nas áreas portuárias.

O sistema de detecção do *eCognition* foi desenvolvido para imagens pancromáticas de muito alta resolução, já testadas em imagens *Ikonos* e *QuickBird*, sobre diferentes condições de tempo e para várias regiões do planeta.

O *eCognition* possibilita ainda a integração de dados em formato raster com dados vetoriais em formato *shapefile* da ESRI, dessa forma o usuário pode trabalhar com informações georreferenciadas disponíveis, que podem ser combinados, anexadas às análises, e exportados os resultados. A Figura 76 apresenta um esquema de processamentos no *eCognition*:

Figura 76 - Fluxo do processo de detecção de navios orientado a objeto em imagens de muito alta resolução VHR.



A eficiência comprovada pelas diversas metodologias de detecção com imagens de radar é inegável. No entanto, nossas embarcações têm um comprimento médio, para a grande maioria, de 17 metros a 20 metros na região Norte e de 20 metros a 30 metros nas pescas da região Sul.

Considerando que a área de visada da imagem SPOT 5 é de 60km x 60 km e sua resolução espacial pode chegar a 2,5 m capaz de detectar pequenos barcos de madeira utilizados nas pescas brasileiras, difíceis, se não impossíveis, de aparecerem nas imagens SAR, mesmo no modo Fine com 8 metros de resolução, tanto pelo tamanho do pixel da imagem, em relação aos barcos, quanto pelo material de que são constituídos, madeira ou fibra de vidro, escolhemos trabalhar com imagens SPOT 5, repetindo os procedimentos da Dra. Corbane (2008) para detectar pequenos barcos de pesca no Brasil.

Escolhemos trabalhar com imagens SPOT-5 em função do balanço entre alta resolução (até 2,5 metros), cobertura de grandes áreas (60x6km) e o tempo de revisita do satélite, 2 (dois) a 3 (três) dias dependendo da latitude. A cobertura oferecida pelo SPOT-5 é uma qualidade chave para vigilância marítima, de zonas costeiras e mar aberto.

Para a detecção de alvos de navios, a imagem pancromática é preferida com relação a multiespectral porque bytes adicionais (*bandwidth*) de informação são melhor gastos em aumento de resolução do que em cores adicionais (CORBANE, 2008).

Nas imagens óticas do SPOT-5 com 5 metros de resolução, navios são fáceis de detectar com o olho humano, seu tamanho é prontamente estimado e detalhes na superestrutura podem facilmente ser discernidos. Alguns dos tipos de barcos mais largos podem ser reconhecidos imediatamente tais como navios cargueiros, petroleiros e outros.

Embarcações intermediárias tais como barcos camaroeiros, que variam de 18 metros a 25 metros no comprimento ainda mostram alguns detalhes, mas sua interpretação não é tão direta: é difícil para um intérprete não-treinado discernir, por exemplo, um barco de pesca de um barco patrulha, (Figura 77) (GREIDAMUS, 2008).

Figura 77 – Barco patrulha, à esquerda e barco de pesca, à direita

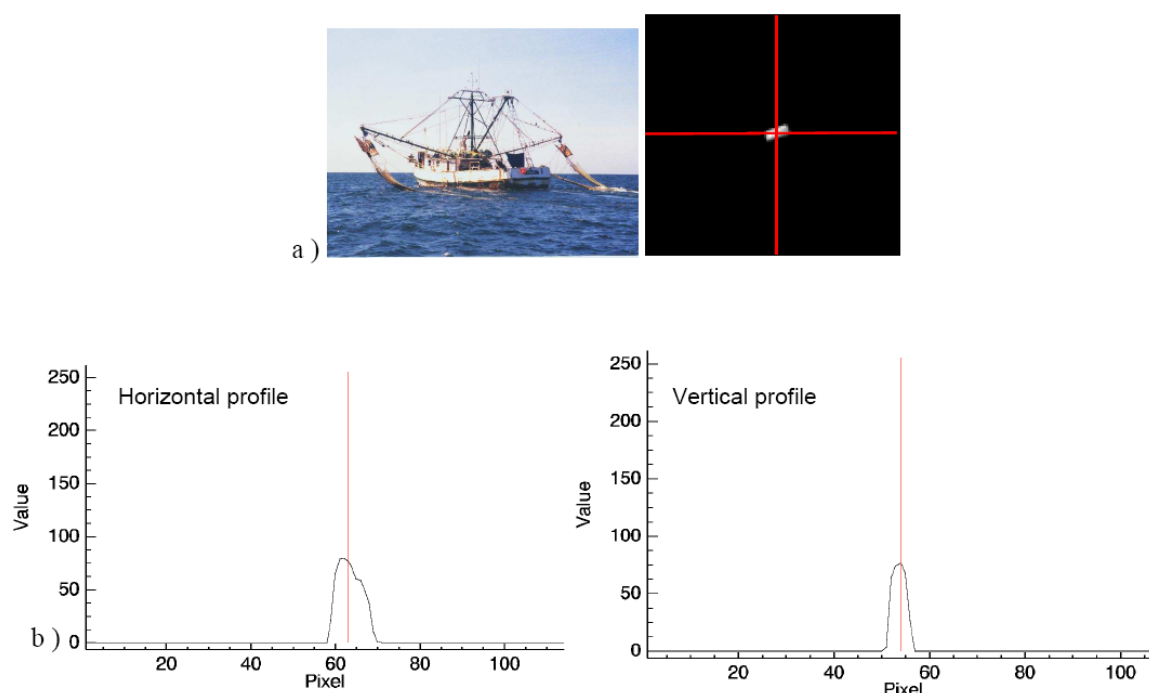


Fonte: Greidamus, (SENSORS, 2008)

A Figura 78-a é um típico exemplo de um barco de pesca do camarão, visado nesta aplicação, e o mesmo barco de 25 metros de comprimento imageado pelo SPOT-5 na banda pan-cromática.

A Figura 78-b mostra os valores de intensidade dos pixels do barco de camarão através de linhas nas direções horizontais e verticais.

Figura 78 a e b - Exemplo de um barco camaroeiro na área da Guiana Francesa (Variando de 20m a 25m de comprimento) e sua assinatura espectral na imagem SPOT-5.



Fonte: Corbane, (2008).

3.4 O algoritmo de detecção *ShipDetection*

O grupo liderado pela Dra. Corbane desenvolveu, no contexto do projeto franco-europeu DECLIMS e LIMES, um algoritmo para detecção e classificação de barcos a partir de imagens óticas de alta resolução. O projeto teve como objetivo complementar medidas de controle de pescas existentes, em particular os sistemas VMS.

O algoritmo baseia-se em análises das “feições” (*feature-based*) dos objetos nas imagens de satélite. Algoritmo genético (GA) e rede neural foram usados para lidar com a informação derivada das feições (*feature-borne information*). Baseado na abordagem descrita a seguir um primeiro protótipo foi concebido para classificar pequenos alvos como barcos de pesca de camarões na Guiana Francesa, e testados em imagens pancromáticas com resolução de 5 metros da banda pancromática do satélite SPOR-5.

De acordo com Corbane (2008), o processo de detecção do algoritmo *ShipDetection* corresponde a três fases:

- Pré-processamento: fase inicial de segmentação ou pré-deteção de padrões de navio;
- Processamento: fase de extração das feições;
- Pós-processamento: fase de classificação.

Na fase de pré-processamento ocorre a segmentação da imagem objetivando a detecção potencial dos navios alvos. Nesta fase ocorre a remoção de ruídos. Então os objetos na imagem correspondentes a potenciais “navios alvos” são gerados através de um algoritmo de expansão regional (*region-growing*). Durante a fase de processamento ocorre a extração das feições onde os objetos alvos são caracterizados pela sua resposta espectral, forma e textura. A fase de extração de feições consiste em encontrar transformações para as feições mapeadas com o objetivo de realçar a separação de classes (mar – embarcação) e otimização do desempenho do algoritmo.

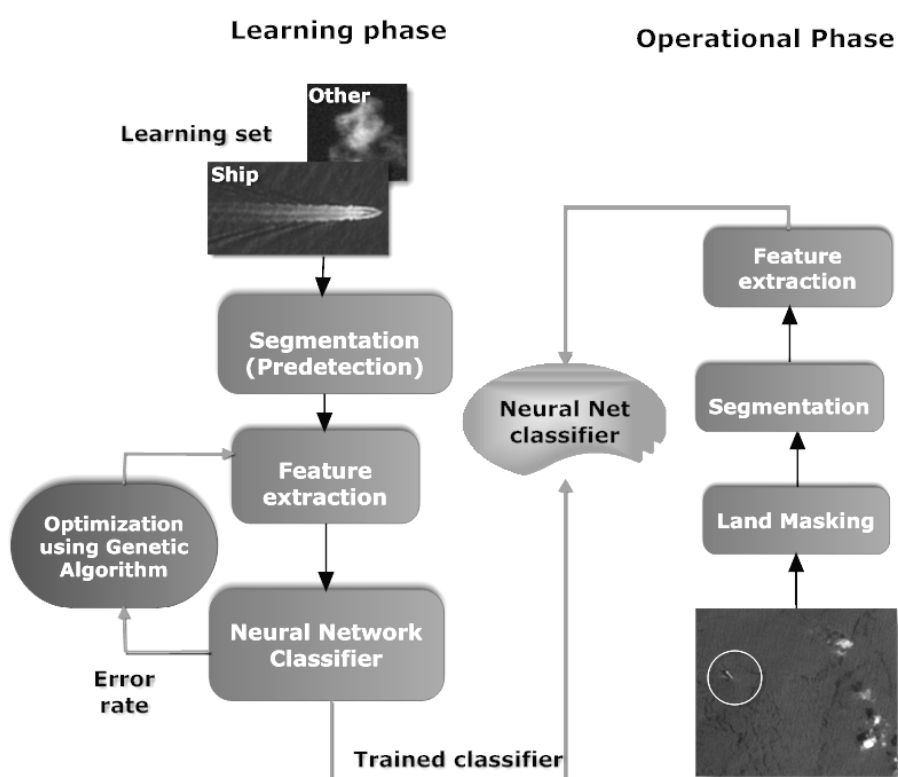
O fluxo do processo de detecção e classificação do *ShipDetection* está representado na Figura 79 abaixo e é descrita, pelos autores anteriormente citados, como sendo constituído por duas fases: a primeira “a fase de aprendizagem” e a segunda a “operacional”.

Na fase de aprendizagem, o algoritmo é “treinado” a reconhecer padrões dos objetos alvos a que se destinam. Trata-se de um processo de otimização e calibração do algoritmo de detecção, nesta fase são escolhidos as melhores combinações dos melhores parâmetros de detecção objetivando a diminuição da produção de “falsos alarmes” no resultado do rastreamento. GA Algoritmos genéticos – GA são usados para treinar uma alimentação antecipada (*feed-forward*) da rede neural baseada em exemplos de referência. Uma função objetiva é usada para calcular o ajuste que é igual ao inverso da taxa de erro da classificação.

Na fase operacional, a melhor arquitetura de combinação de feições é selecionada como um classificador no algoritmo.

Na terceira e última fase, Corbane (2008) descreve a utilização de redes neurais artificiais para a classificação das imagens de objetos como veremos a seguir.

Figura 79 - Fluxograma do algoritmo para detecção de navios proposto para ser implementado em duas fases: uma fase de aprendizado e uma fase operacional.



Fonte: (SENSORS, 2008).

A seguir são descritas as três principais etapas do algoritmo, conforme trabalho publicado no Sensors 2008 por Corbane *et al* (2008)

3.4.1 Segmentação (Pré-deteccção de padrões de navios)

A Pre-identificação (*screening*) de possíveis navios é baseada no contraste entre o mar (ruídos de fundo) e o alvo (um *cluster* de pixels mais brilhantes ou claros). Como vimos anteriormente o contraste depende das condições do mar, a forma detalhada do navio, e sua posição em relação ao satélite. O algoritmo proposto utiliza uma janela móvel de 100 x 100 pixels com “limite” adaptável para o valor do pixel da imagem ($X_{i,j}$) para discriminar pixels brilhantes.

A “janela limite” (limite) usada para deteção da intensidade dos picos (*peaks*) que tem possibilidade de serem navios é baseada na média (μ) desvio padrão (σ) da “paisagem de fundo” (*Background*) do mar na janela móvel.

$$\frac{X_{i,j} - \mu_{oc}}{\sigma_{oc}} \geq Threshold$$

Ruídos resultantes da imagem processada com o filtro do “limite”, onde foram separados navio-mar, são removidos usando operações de abertura morfológica com uma janela de 2 x 2 pixels de estrutura. Realmente pixels isolados não podem pertencer a um objeto navio, o qual é caracterizado por um agrupamento (*cluster*) de vários pixels brilhantes (CORBANE, 2008).

A imagem processada resultante é então segmentada numa imagem objeto coerente através da segmentação *region-growing*. Barcos camaroeiros têm uma forma característica geralmente consistindo de duas regiões de brilho intenso cercada por uma região de baixa intensidade como mostra a Figura 80.

O operador *region-growing* permite o agrupamento de regiões de um barco que pode ter sido detectado separadamente durante a operação de *limiteing*.

Figura 80 - À esquerda: imagem pancromática SPOT-5 (5m) representando um barco de camarão em pseudo-cor. A imagem do meio mostra duas regiões de um mesmo barco detectado separadamente durante a operação *limiteing*. A imagem à direita representa a imagem do objeto obtida pelo operador *region – growing*.



Fonte: (SENSORS, 2008).

3.4.2 Extração de Feições

A calibração do algoritmo para extração das feições é baseada na combinação das características da imagem, tais como forma, textura e características espectrais. Forma e textura são os elementos mais úteis na interpretação visual de imagens de sensores remotos óticos adquiridos numa alta resolução espacial (LILLESAND, 2004).

No entanto, com relação à detecção de barcos, as características espectrais vêm contribuir para um melhor resultado na discriminação dos barcos. Baseado no conhecimento das características dos barcos à priori, foi filtrada a resposta espectral características de forma e textura que melhor identificam o objeto barco de um modo único.

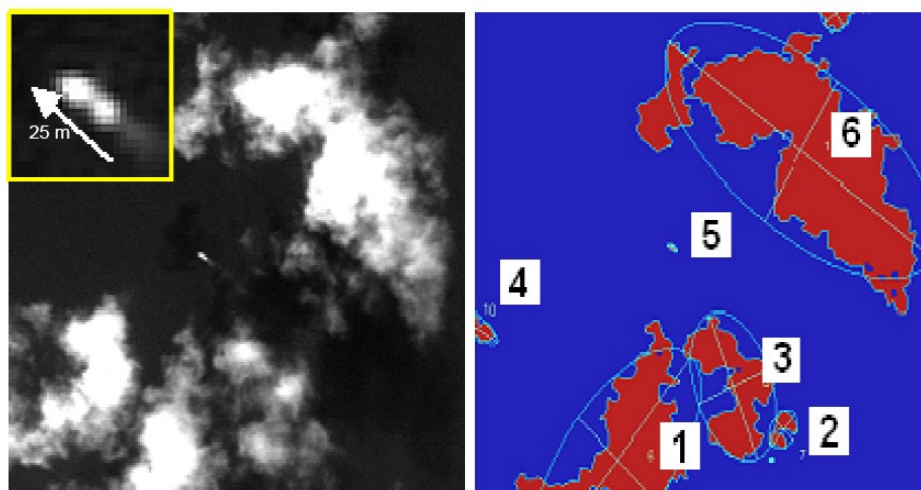
Segundo Corbane (2008), um barco em uma imagem de satélite ótico pode ser descrito de maneira geral com as seguintes características:

- Pixels brilhantes;
- Maior comprimento com relação à largura;
- Simetria entre a popa e proa, como uma elipse longa e estreita;
- Forma regular e compacta;
- Fasto do navio o qual tem uma textura linear.

Para a fase de aprendizagem do *Ship Detection* foram computadas 28 feições com forma, textura e resposta espectral de acordo com as características acima descritas para os objetos da imagem.

A Tabela 7 lista as 28 feições calculadas para uma imagem objeto representando um barco de camarão (imagem objeto 5, no exemplo mostrado na Figura 81).

Figure 81 - Seis imagens - objetos obtidas através da segmentação *region-growing* da imagem.



Fonte: (SENSORS, 2008).

Tabela 7 - Lista de feições de espectros, forma e textura calculados para a imagem objeto 5 da Figura 80.

Spectral	Number of pixels	39
	Mean	189,41
	Standard deviation	57,05
	Sum of squares	1,52E+06
	Min	95
	Max	255
	Variation	3254,30
	Asymmetry coefficient	0,49
	Kurtosis	0,42
Shape	Perimeter	23,90
	Area	39,00
	Compactness	0,86
	Elongation	2,44
	M1 *	0,23
	M2	0,03
	M3	6,59E+14
	M4	7,33E+13
	Major axe	11,14
	Minor axe	4,54
	Ratio Major/Minor	2,46
	Eccentricity	357,84
Texture	GLCM* mean	150,00
	GLCM variance	1,08E+06
	GLCM uniformity	404,00
	GLCM inertia	4,97E+05
	GLCM correlation	5,01E+05
	GLCM entropy	99,55
	GLCM homogeneity	22,00

Fonte: (SENSORS, 2008).

A detecção de navios pode ser considerada como um problema de classificação de 28 dimensões com duas classes: a primeira corresponde a objetos

de navio incluindo em movimento e estacionários e a segunda classe corresponde a todos os objetos “não – navio”, tais como nuvens (CORBANE, 2008).

Van Coillie (2007) afirma que para a classificação de uma base de dados de tão alta-dimensão, é requerida uma amostra bem treinada. No caso da detecção de barcos de camarão por um sensor remoto ótico, uma quantidade limitada de informação da “verdade terrestre” está disponível com relação à posição dos navios. A performance de aprendizagem pode não ser boa em condições de uma pequena amostra, e com dados de “alta-dimensionalidade”. Por esta razão, é desejável reduzir a dimensão de entrada de maneira a melhorar a capacidade de generalização e para obter uma rede que tenha um bom desempenho em termos de treinamento e acurácia nos testes de classificação.

Como forma de lidar com a redução da dimensionalidade, o grupo liderado por Corbane(2008)optou pela utilização do algoritmo genético GA. O GA é inspirado na evolução biológica, e é muito acreditado em ser efetivo como um algoritmo de otimização global. Um algoritmo genético consiste de uma população de “strings” genéticos referidos como cromossomos, que são avaliados usando uma função de ajuste.

De acordo com Scheunders (1997), o cromossomo consiste de variáveis ou genes. Os cromossomos mais ajustados são então regenerados à custa de outros. Além do mais, operações genéticas tais como cruzamentos e mutações são definidas. O operador de mutações muda elementos individuais do cromossomo, as operações de cruzamento trocam partes entre os *strings*. A combinação dessas operações é repetida durante várias gerações. O paralelismo intrínseco de um algoritmo genético, por exemplo, a habilidade de manipular grande número de cromossomos em paralelo, lidar com espaços grandes, complexos, não diferenciáveis e multimodais faz a técnica um método muito eficiente de otimização. (CORBANE, 2008).

A utilidade dos GAS no reconhecimento de padrões e processamento de imagens tem sido demonstrada por Davis, L. em *Handbook of Genetic Algorithm*, 1991. A abordagem do grupo de pesquisa do IRD na implementação do algoritmo consiste na utilização do GA para treinar rede neural através de desenvolvimento de parâmetros de aprendizagem e atributos de entrada conforme descreve Brill, F.; Brown, D.; Martin, M. em “*Fast genetic selection of features for neural network classifiers*” (Seleção rápida de feições para classificadores por redes neurais), 1992.

O problema é codificado em um cromossoma binário com um comprimento de 28 bits (um para cada feição do objeto), onde os genes têm valor de 0 ou 1 (Figura 82).

Começando por uma população inicial de 100 indivíduos, o processo de seleção escolhe os mais saudáveis, direcionados pelo conceito do sistema genético natural da “sobrevivência do mais adaptado”.

Um procedimento de torneio para seleção e cruzamento uniforme é adotado para selecionar a nova população. Todos os parâmetros do GA são escolhidos empiricamente. Dentro de cada geração sucessiva, os indivíduos que obtiverem os maiores valores de adaptação, correspondente às menores taxas de erro de classificação medidas num grupo de validação, são aumentados em número. O processo de desenvolvimento para o refinamento da rede termina quando o número de geração atinge 28. Todos os descendentes finais representam então a combinação das feições de espectro, forma e textura que devem resultar numa alta acurácia na classificação (CORBANE, 2008).

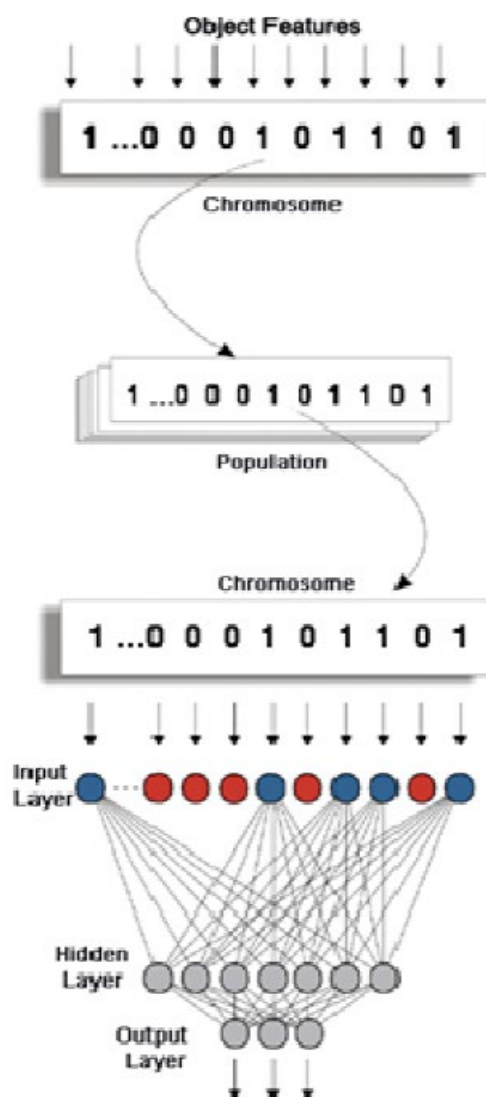
Finalmente, a arquitetura NN de melhor desempenho é selecionada para uma subsequente classificação.

3.4.3 Classificação de imagem na Rede Neural (NN)

O único plano oculto NN usado para a classificação é o resultado de um procedimento de seleção com o GA usando mutação, diferentes condições de pesos iniciais e cruzamento uniforme. Este representa o mais adaptado e de melhor desempenho individual, segundo Corbane (2008), a taxa de erro esperada é baixa.

A Figura 82 ilustra o quadro de trabalho decorrente de uma rede neural de três – planos usando o GA. No procedimento de decodificação, todas as feições de objetos com valores de 1 são representados por um neurônio de entrada conectado. Todos os outros neurônios, com valores de 0 correspondem a feições não selecionadas e são portanto desconectados. Há dois nós no *layer* de saída, os quais representam as duas classes nas quais os objetos imagens têm de ser classificados.

Figura 82 – Quadro de trabalho da evolução de uma rede neural com o GA



Fonte: Modificado de Van Coillie *et al.*, (2007) por Corbane *et al.*, (2008).

3.4.4 Calibração do Algoritmo

A calibração do algoritmo foi desenvolvida pela pesquisadora Corbane (2008) e seu grupo e consistiu nos seguintes procedimentos:

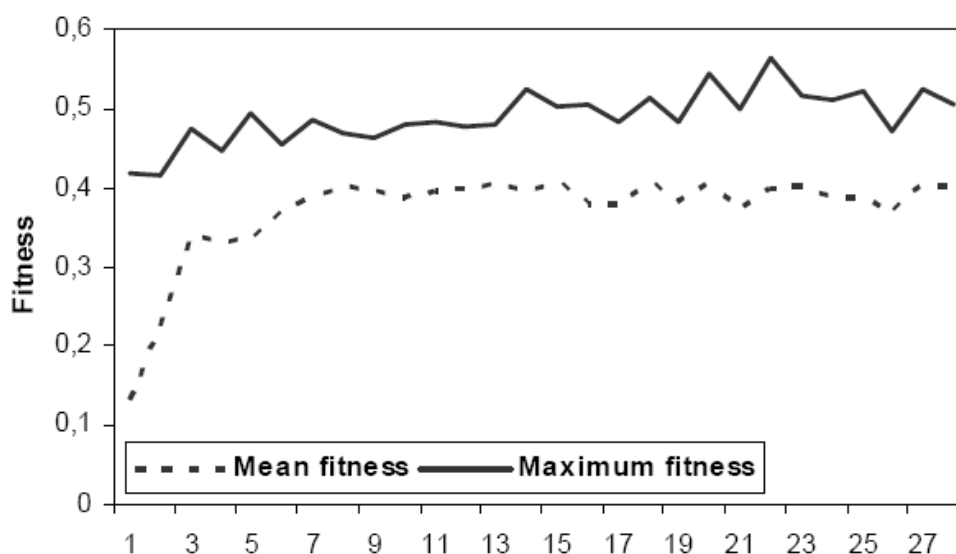
- Fase de aprendizagem

Durante a fase de aprendizagem do algoritmo um pacote de treinamento com 200 objetos – exemplos, dentre os quais 61 representando barcos de camarão foram utilizados. Esse conjunto de imagens-objetos foram obtidos de 5 imagens

SPOT-5. As duas imagens restantes, adquiridas em 13 de agosto de 2003 e 03 de julho de 2007 foram usadas para avaliação do desempenho do algoritmo.

A rede foi treinada por mais de 4.000 períodos com o GA. O resultado do processo de otimização é representado na Figura 83 a seguir:

Figura 83 - O melhor ajuste correspondente a cada geração durante o treinamento evolutivo do NN.



Fonte: Corbane, (SENSORS, 2008)

Como mostra a Figura 83 o melhor resultado do processo de otimização corresponde ao cromossomo da 22ª geração com o ajuste máximo de 0,56. A partir da identificação do melhor resultado obtido pelo cromossomo foi possível determinar qual o atributo com papel significativo para a classificação e quais atributos são inúteis para ou até perturbam o NN classificador. Entre os 28 atributos iniciais calculados para a imagem objeto, apenas 8 deles foram extraídos: Número de pixels, Media, Desvio padrão, Mínimo, Máximo, Variância, Razão Maior/Menor e uniformidade da textura.

O efeito da seleção de atributos do GA - direcionado à detecção de barcos camaroeiros foi avaliada na fase operacional.

3.5 Validação do algoritmo *ShipDetection* em condições de pesca no Brasil

Os animadores resultados obtidos por Corbane (2008) e seu grupo do Instituto de Pesquisa para o Desenvolvimento – IRD nos levou a testar o algoritmo nas condições ambientais e de pescas no Brasil.

As áreas são cobertas pelas cenas SPOT 5 com coordenadas centrais da Área 1 – Região Norte, Latitude N 4°30'33" e Longitude O 50°56'51" e Área 2 – Região Sul, Latitude S 32°25'50" e Longitude O 51°32'03" nas águas marítimas das Zonas Econômicas Exclusivas dos Estados do Amapá e Rio Grande do Sul respectivamente. As atividades pesqueiras compreendem a pesca do camarão do norte e da piramutaba no Amapá e da sardinha e peixes demersais no Rio Grande do Sul. Os barcos submetidos à detecção na área em estudo apresentam um comprimento de 17 metros a 20 metros, na pesca com redes de espera e arrasto de fundo na região norte, e de 20 metros a 30 metros em atividade de pesca com arrasto de fundo, rede de espera ou linha e cerco no Rio Grande do Sul.

Os barcos atuando na pesca do camarão e da piramutaba na região Norte, rastreados pelo PREPS, são de procedência do Pará e os rastreados no Rio Grande do Sul pertencem à frota pesqueira de Santa Catarina. A maioria dos barcos é de madeira sendo alguns poucos de aço.

Como nos referimos anteriormente, a opção pela utilização de imagens SPOT-5 resultou da adequação da “pegada” da imagem (60x60km), do tempo de revisita do satélite, (3 dias) compatível com aplicações operacionais, e a capacidade dos sensores óticos de detectarem embarcações pequenas, e constituídas de madeira, como é o caso da maior parte das embarcações atuantes nas áreas de pesca escolhidas.

Foram utilizadas duas imagens SPOT-5 pancromáticas com 5m de resolução, ID_ 2442A, datadas de 27 de abril de 2008, adquiridas às 13:32:44 hs, da área 1, correspondente a área situada na região Norte e a cena ID_0412A, datada de 22 de maio de 2009, adquirida às 13:32:02 hs, da área 2 correspondendo a área situada na região sul do Brasil (Figuras 84 e 85).

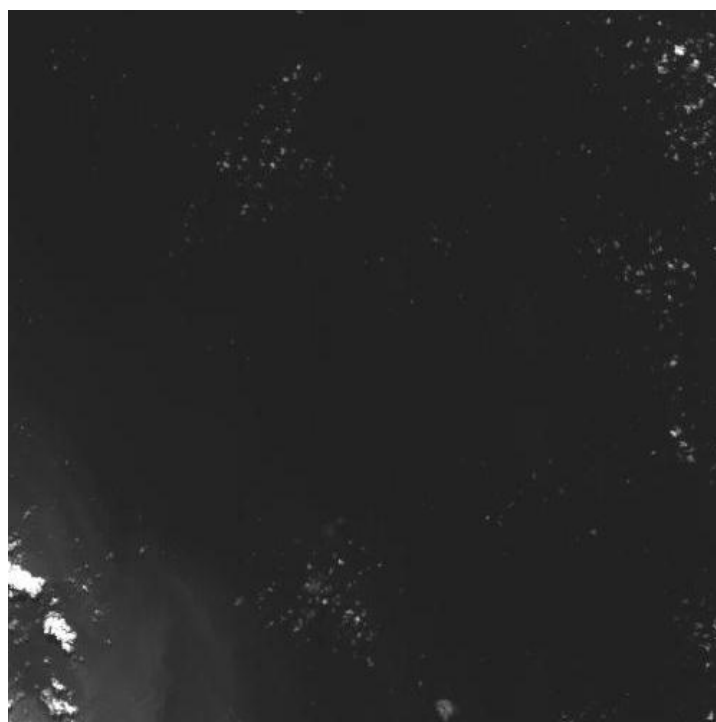
As tabelas 8 e 9 mostram as características técnicas das cenas SPOT-5:

Tabela 8 - Características da Cena 1

Identificador ID: 56943410805271332442A	
Produto	5 m BW
Satélite	Spot5
Data de Aquisição	2008-05-27
Hora de Aquisição	13:32:44
Ganhos	5
Taxa de cobertura de nuvens	ABAAAABA
Ângulo de Incidência	-28.98°

Fonte: (SPOT IMAGE, 2008)

Figura 84 - Cena SPOT-5, pancromática com 5m de resolução da Área 1 – Região Norte – Amapá.



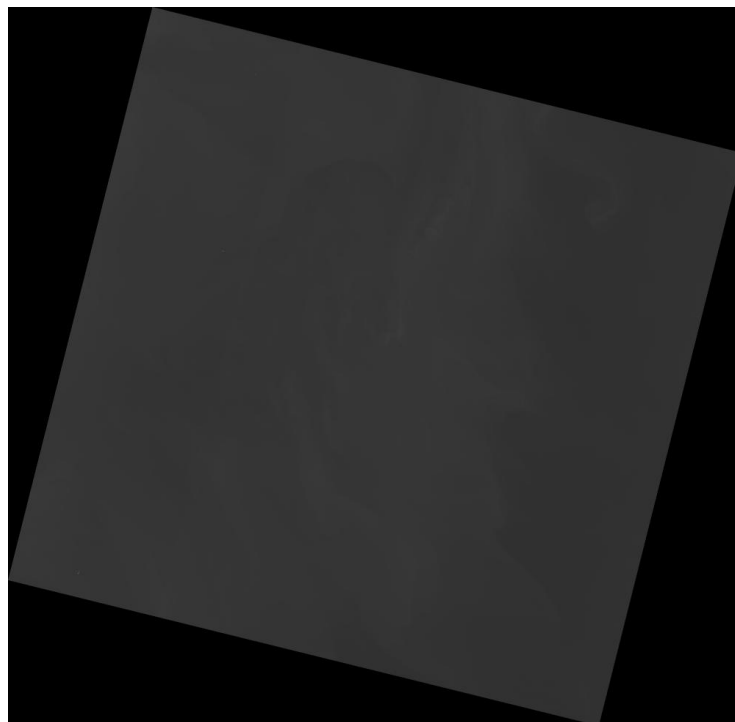
Fonte: (SPOT IMAGE, 2008)

Tabela 9 - Características da Cena 2

Identificador ID : 57114150905221320412A	
Produto	5 m BW
Satélite	Spot5
Data de Aquisição	2009-05-22
Hora de Aquisição	13:20:41
Ganhos	8
Taxa de cobertura de nuvens	AAAAAAAA
Ângulo de Incidência	-8.32°

Fonte: (SPOT IMAGE, 2008)

Figura 85 - Cena SPOT-5, pancromática com 5m de resolução da Área 2 – Região Sul - Rio Grande do Sul.



Fonte: (SPOT IMAGE, 2008)

O Programa de Rastreamento de Embarcações por Satélites do Ministério da Pesca cedeu os dados correspondentes à parte da verdade terrestre, ou seja, os barcos em atividade pesqueira rastreados nas regiões de interesses e nos horários compatíveis com os de captura das imagens pelos sensores SPOT. Apesar de protegidas as identidades das embarcações informações como comprimento, constituição, potência do motor, calado, modalidade de pesca e outras foram disponibilizadas para o trabalho pelo Ministério da Pesca.

Utilizamos para detecção o algoritmo *ShipDetection*, desenvolvido pelo IRD conforme citado anteriormente, que funciona através do software IDL Machine acoplado à plataforma ENVI 4,0.

Através de software de Sistema de Informação Geográfico foi criado um Projeto GIS (*Geographic Information System*) definido no sistema de projeção UTM com referencial geodésico WGS84 para integração e análise dos dados.

Foram utilizados os seguintes “layers” da base cartográfica vetorial contínua em escala 1: 1 000 000 do IBGE: delimitação do continente brasileiro, Mar Territorial, Zona Costeira, limite da Zona Econômica Exclusiva, batimetria e ilhas.

Essa base espacial foi gerada por vetorização das folhas da Carta Internacional do Mundo ao milionésimo - CIM, e é composta por categorias de informação e elementos, no formato vetorial, representando os principais elementos geográficos que cobrem o território nacional. Cada classe de elemento possui atributos geométricos e semânticos associados em um banco de dados permitindo consultas e agregação de novos dados (IBGE, 2006).

O geoprocessamento dos dados foi realizado através do pacote computacional ArcGis da ESRI, onde foram integrados além dos planos de informação referidos anteriormente, as imagens pancromáticas do satélite SPOT 5, com 5m de resolução, correspondentes às duas áreas de interesse, os dados das embarcações rastreadas pelo PREPS no dia da aquisição das imagens, e os dados de localização pontuais das embarcações rastreadas pelo algoritmo *ShipDetection*.

Procedemos a conversão dos dados recebidos do PREPS, em planilha excell, e os dados do relatório de resultado produzidos pelo algoritmo, em formato texto (txt), em dados pontuais em formato *shapefile* do ArcGis para manipulação e integração.

Com o Projeto GIS estruturado, os dados disponibilizados georreferenciados e integrados, submetemos as imagens SPOT 5 à detecção das

prováveis embarcações através do algoritmo anteriormente referido. O algoritmo produz um relatório com coordenadas X, Y em UTM WGS84, que foram convertidos em dados pontuais em formato *shapefile* e integrados ao Projeto GIS para análise através de metodologias de geoprocessamento.

O resultado da detecção foi classificado com relação a sua confiabilidade através do programa. A seguir fizemos um filtro naqueles resultados cuja confiabilidade correspondia a 70% ou melhor, conforme orientação da literatura sobre a metodologia de rastreamento do *ShipDetection*. Nesse procedimento utilizamos recursos do ArcMap para transformar os dados selecionados em um plano de informação no Projeto GIS.

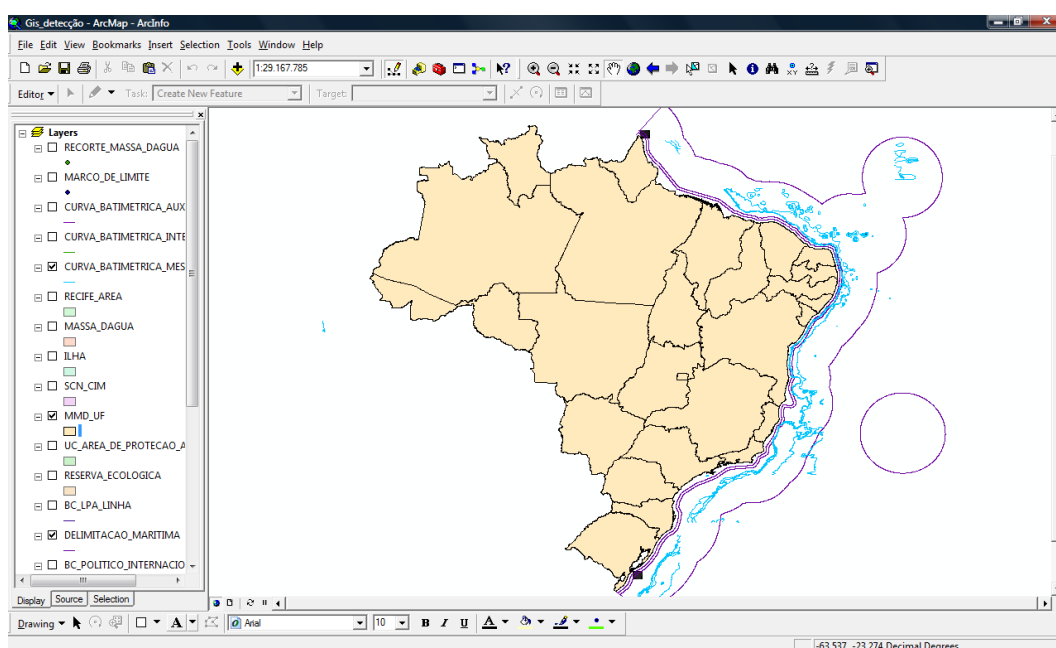
Os dados resultante da classificação e filtragem foram superpostos à imagem SPOT 5 e aos dados do rastreamento disponibilizados pelo PREPS para análise e conclusão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Procuramos explorar condições diferenciadas para avaliação do algoritmo através de duas imagens a primeira na região Norte com certa nebulosidade e a segunda na região Sul com céu límpido (Figura 86).

As duas áreas selecionadas estão situadas na sua maior parte na Zona Contígua das 24 milhas, entre o final do limite do Mar territorial de 12 milhas, entrando algumas milhas no início da Zona Econômica Exclusiva. Como as duas áreas se encontram totalmente na região marítima não houve necessidade de se fazer uma máscara para o continente. Esta máscara é recomendada para separar o continente do oceano evitando que o algoritmo trabalhe improdutivamente.

Figura 86 - Imagens SPOT-5 sobre as duas áreas de estudo no AP e RG

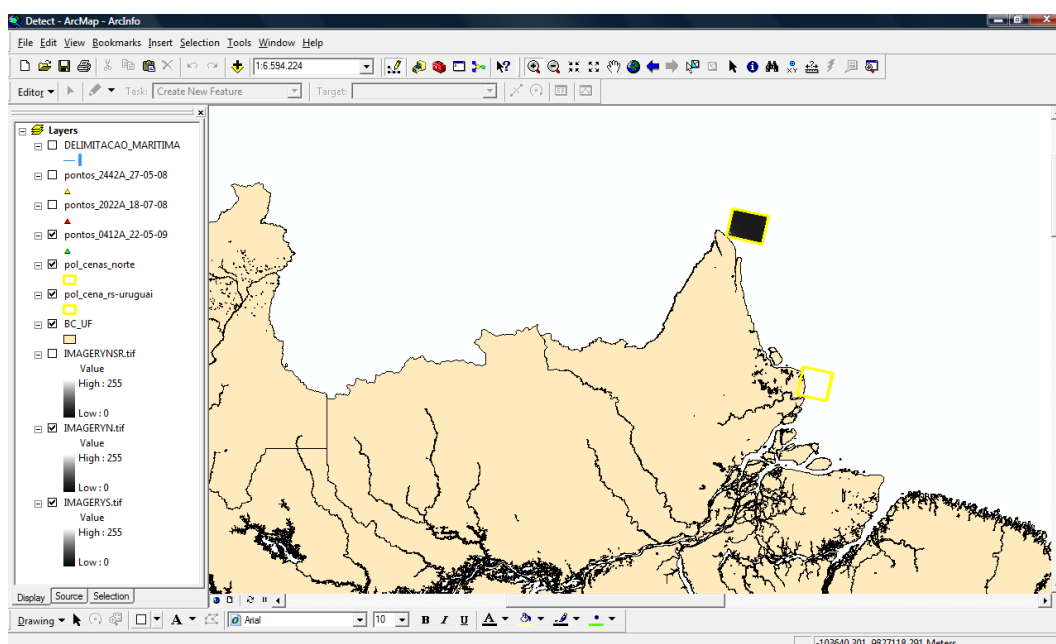


Fonte: Acervo autoral (2009)

- *Área de Teste 1: Região Norte - AP*

A área da região Norte coberta pela imagem SPOT 5 pancromática com 5m de resolução espacial compreende o retângulo envolvente entre as coordenadas para o canto superior NW latitude 4.85° e long -51.25° e para o canto inferior SE lat 4.17° e longitude -50.68° (Figura 87).

Figura 87 - Cobertura espacial das imagens SPOT-5 cedidas pela SPOT IMAGE BRASIL para a validação do algoritmo para a Área 1 – Região Norte – AP.



Fonte: Acervo autoral (2009)

Definida a área de trabalho para os testes solicitamos à Secretaria de Aquicultura e Pesca os dados das embarcações rastreadas correspondentes à data de aquisição das imagens disponíveis no acervo da SPOT IMAGE. Os dados foram fornecidos pelo SEAP através do Programa Nacional de Rastreamento de Embarcações Pesqueiras por Satélites - PREPS.

Os dados do PREPS para a Área 1- região Norte (Tabela 10), relativos às embarcações rastreadas no dia da aquisição da imagem SPOT 5 pancromática com resolução de 5 metros, registram 8 (oito) embarcações de tamanhos variando de 17,75 metros de comprimento a 20 metros, sendo a maioria (75% barcos) de madeira, uma de aço e outra sem definição. Quanto à modalidade de pesca 75% das embarcações pesqueiras se utilizam de rede de espera, e 25% trabalham com arrasto do fundo. O registro momentâneo da pescaria corresponde à estatística esperada quanto ao material e modalidade de pesca.

Para a Área 2 – Região Sul (Tabela 11), foram rastreadas durante o dia, 20 (vinte) embarcações de características maiores que as encontradas na região Norte, variando de 21 metros a 30 metros. Quanto à constituição das embarcações a maioria, 14 barcos, correspondendo a 70% também de madeira, contra 4 barcos, 20% de aço e 2 embarcações não informadas, 10%.

O tamanho das embarcações atuantes nas pescas do Brasil e a constituição das mesmas, a maioria de madeira sendo algumas pequenas também de fibra de vidro, vêm reforçar a adequação do sensor ótico para a detecção já que os radares têm dificuldade de localizar barcos de madeira e fibra de vidro e seu poder de detecção diminui substancialmente para pequenos barcos como os nossos.

Tabela 10 - Dados do PREPS para a área 1 – Região Norte

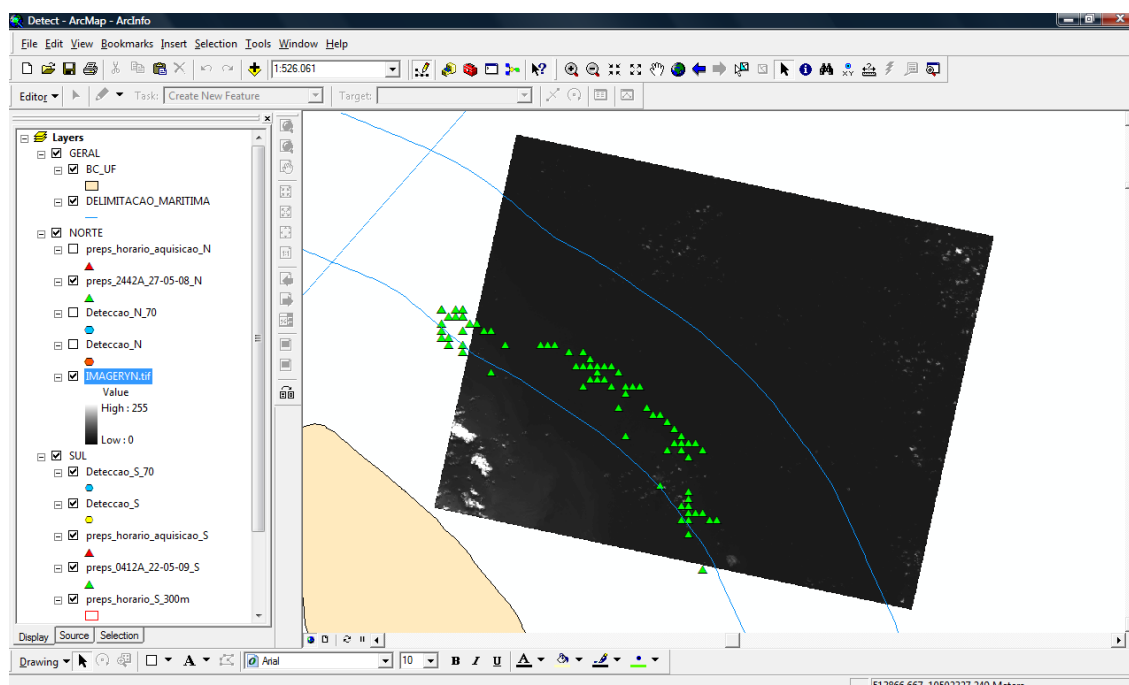
CODIGO	TAMANHO	TAMANHO_BOCA	ARQUEACA	CALADO	POTENCIA_MOTOR	MATERIAL	ANO_CONSTRUCAO	MODALIDADE
1704	20	6,6	74	1,5	158	madeira	2004	rede de espera
1801	19,3	5,4	34,9	1,5	200	madeira	2005	rede de espera
1956	17,75	2,45	14,3		200	madeira	2003	rede de espera
1614	22	6,1	75	2,5	375	aço	1970	arrasto de fundo
1425	19,64	6,6	69	2,6	425		1980	arrasto de fundo
1727	19,1		43		180	madeira	2003	rede de espera
1682	18,6	5,17	42,1	0,9	360	madeira	2003	rede de espera, espinhel ou linha
1681	18,6		42		220	madeira	2002	rede de espera

Fonte: (SEAP/PREPS 2008)

Tabela 11 - Dados do PREPS para a área 2 – Região Sul

CODIGO	TAMANHO	TAMANHO_BOCA	ARQUEACA	CALADO	POTENCIA_MOTOR	MATERIAL	ANO_CONSTRUCAO	MODALIDADE
1524	22,51	6,76	110	3,65	320	aço	1984	cerco
1605	22,7	6,46	93	2,4	370	madeira	1977	arrasto de fundo
1906	22,26		75,3	3	267	madeira	1971	cerco
1345	27,88	6,73	124	3,65	600	aço	2002	cerco
1686	24,8	6,28	75	2,7	350	madeira	1986	cerco
1573	22,68	6,9	97	2,5	300	madeira	2005	arrasto de fundo ou rede de espera
1585	22,68	6,9	97	2,5	300	madeira	2005	arrasto de fundo, rede de espera ou linha
2116	22,7	6	67		325	madeira	1973	cerco
1629	23,6	6,5	84	2,5	350	madeira	1988	arrasto de fundo
1628	23,6	6,5	84	4,2	350	madeira	1988	arrasto de fundo
1371	21,44	6,3	71	2,7	325		1981	cerco
1603	24,1	6	77	2,5	325	madeira	1985	arrasto de fundo, espinhel ou linha
1671	30,4	8,2	212	4,5	380	aço	2004	cerco
1197	24,4	6	113	2,8	345		1986	cerco
1199	20,5	6,26	73		357	madeira	1982	arrasto de fundo
1200	21,02	5,9	72		325	madeira	1982	arrasto de fundo
1999	27	7,8	145		409	madeira	2006	cerco
1377	24,66	7,47	115	2	340	madeira	1967	cerco
1619	28,2	6,7	124	3,2	560	aço	1984	cerco
2084	23,64	6,1	83	2	291	madeira	1989	arrasto de fundo, rede de espera ou linha

Figura 89 - Projeto GIS com imagem SPOT-5 ao fundo e dados de embarcações rastreadas do PREPS para a data de aquisição da cena na Área 1- Região Norte – AP.



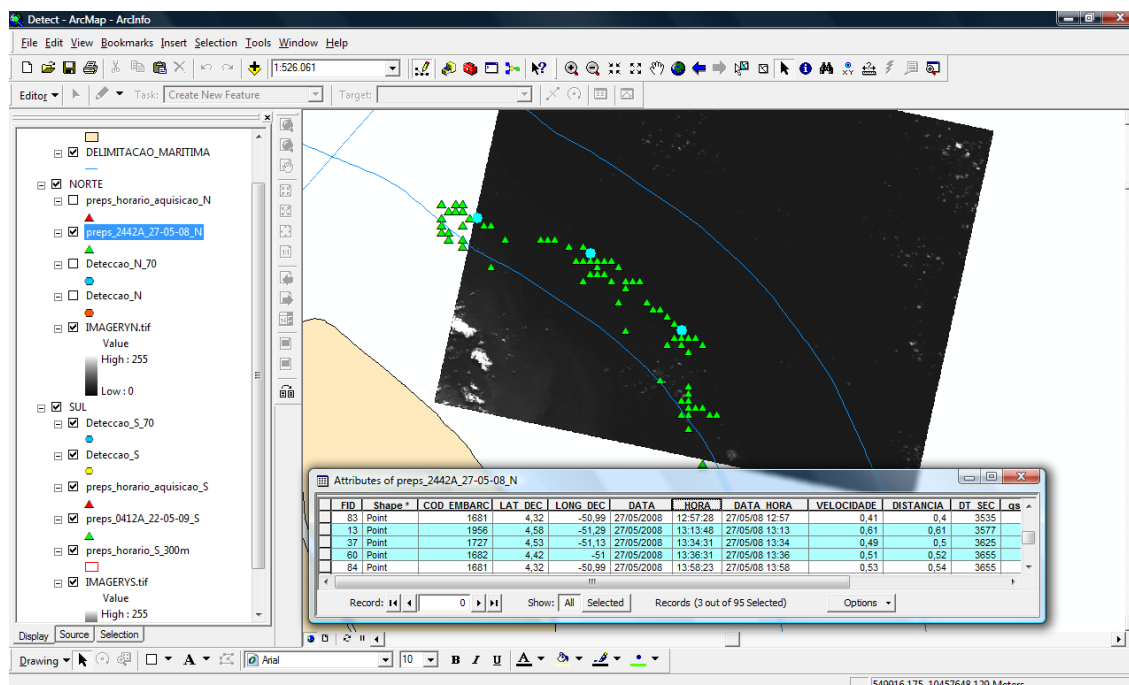
Fonte: Acervo autoral (2009)

Em seguida, selecionamos os dados das embarcações rastreadas pelo PREPS no momento da aquisição da imagem (13:32:44) o resultado é apresentado na figura 90 abaixo. Como se pode observar foram rastreadas 3 (três) embarcações em atividade. Os dados rastreados pelo PREPS serviram de controle para a eficiência do algoritmo. No mínimo o algoritmo de detecção deve identificar os três barcos em atividade.

O PREPS monitora somente as embarcações regularizadas, portanto, as demais embarcações detectadas pelo processamento do algoritmo ou estão fora do padrão estabelecido pela normatização do PREPS ou correspondem às embarcações em situação ilícitas.

Dessa forma o uso de imagens de satélites pode ser eficiente para a detecção dessas embarcações que atuam de forma ilegal, não reportada e não regulamentada IUU (*Illegal, Unreported and Unregulated fishing*).

Figura 90 - Projeto GIS com imagem SPOT 5 pancromática e embarcações rastreadas no momento da aquisição da imagem na Área 1 – Região Norte – AP.

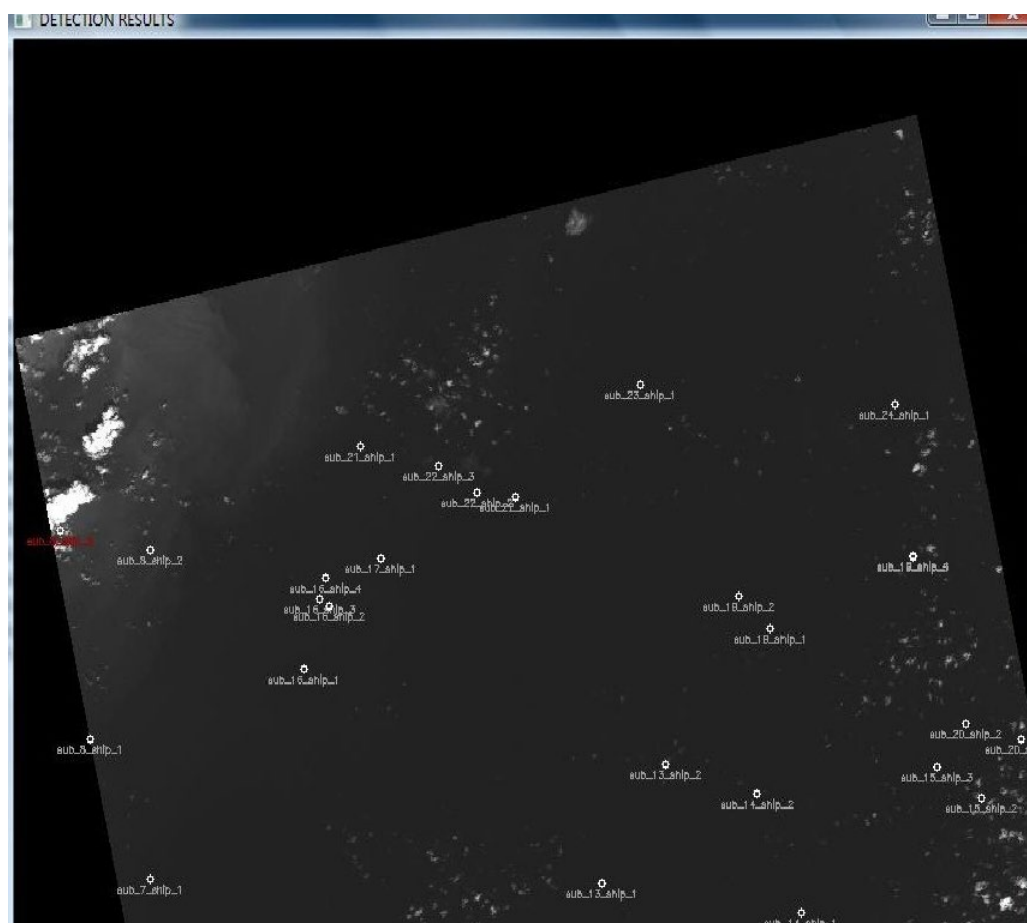


Fonte: Acervo autoral (2009)

Com relação a este aspecto os resultados da detecção com o algoritmo que não apresentaram correspondência com os sinalizados pelo sistema VMS do PREPS são de especial interesse, pois indicam possivelmente uma presença dessas embarcações atuando ilegalmente. Nesse sentido numa operação de fiscalização seria o caso de ativar uma patrulha de campo, através de uma varredura aérea ou do deslocamento ao local de um barco patrulha para, de posse da localização dos possíveis barcos infratores, confirmar a presença dos mesmos em atividade ilícita.

A imagem foi então submetida ao processamento com o algoritmo desenvolvido pelo IRD, o *ShipDetection*, resultando na imagem abaixo (figura 91) onde os pontos indicam o compartimento da imagem onde estão localizados e o número do navio deste compartimento (sub-set).

Figura 91 - Imagem processada pelo *ShipDetection* com as prováveis embarcações detectadas para a Área 1 – Região Norte (Amapá).



Fonte: Acervo autoral (2009)

Como resultado do processamento o programa apresenta um relatório com uma listagem das embarcações detectadas, o subset da imagem onde se encontram (a imagem é particionada em várias seções para otimização do processamento, são os subsets), suas posições no recorte da imagem, na cena inteira e suas coordenadas geográficas no sistema de projeção UTM, datum WGS84, e ainda a confiabilidade de cada detecção (Anexo I).

Para a Área – 1 nas águas costeiras da região Norte – AP, o processamento demorou seis minutos e quarenta e dois segundos (00:06:42), e o número de detecções foi de 34 embarcações sendo que 14 embarcações apresentaram um índice de confiabilidade igual ou maior que 90%. A literatura reconhece que 70% ou mais de confiabilidade representa uma segurança de que a detecção corresponde de fato a um navio.

Uma síntese do relatório de saída é apresentada na Tabela 12.

Tabela 12 - Relatório de detecção da Área 1 – Região Norte (AP)

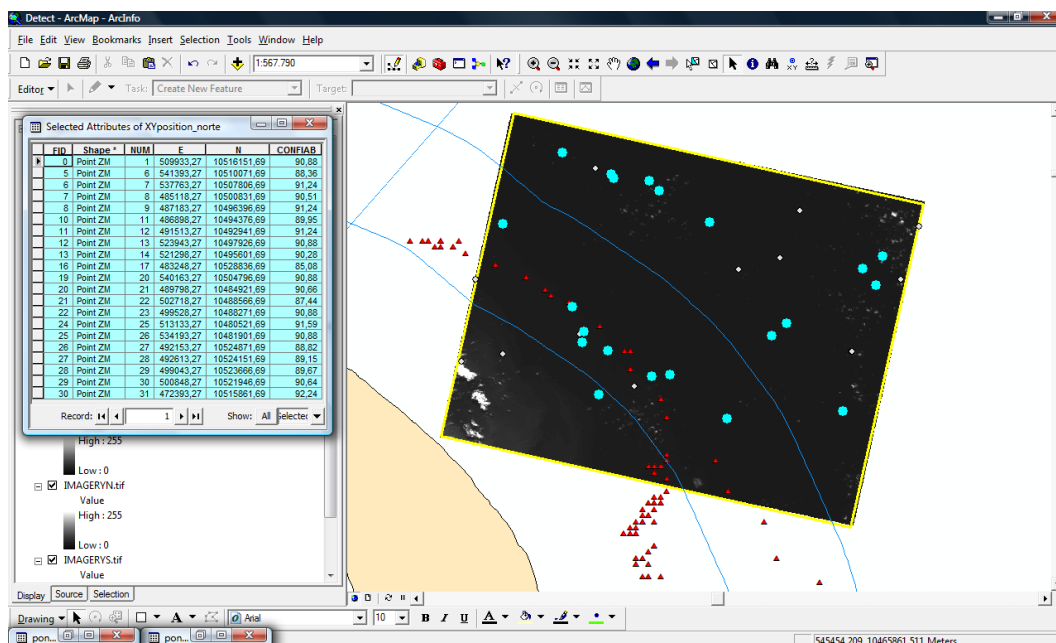
Total de detecções	34 navios
Média de confiabilidade	0.701700
Máximo de confiabilidade	0.922399
Mínimo de confiabilidade	0.000000
Desvio padrão	0.314783
Início da detecção:	Sexta-feira; 21/08/2009 22:38:23
Final da detecção:	Sexta-feira; 21/08/2009 22:44:45

Fonte: Acervo autoral (2009)

Os dados dos navios rastreados pelo PREPS correspondentes à hora de aquisição das imagens foram superpostos às posições aos alvos detectadas que apresentaram uma confiabilidade superior a 70% pelo *ShipDetection* (Figura 92). Os demais alvos foram considerados a princípio “alarmes falsos”. No entanto, uma análise visual por um técnico experiente em interpretação de detecção de embarcações em imagens óticas seria recomendada para avaliação da eficiência do processo.

Contudo, procedemos a uma análise visual no resultado do rastreamento para aferir o desempenho do processo que é medido através da TD (Taxa de detecção) correspondente aos barcos detectados pelo algoritmo e conferidos na imagem, e a TAF (“Taxa de Alarmes Falsos”).

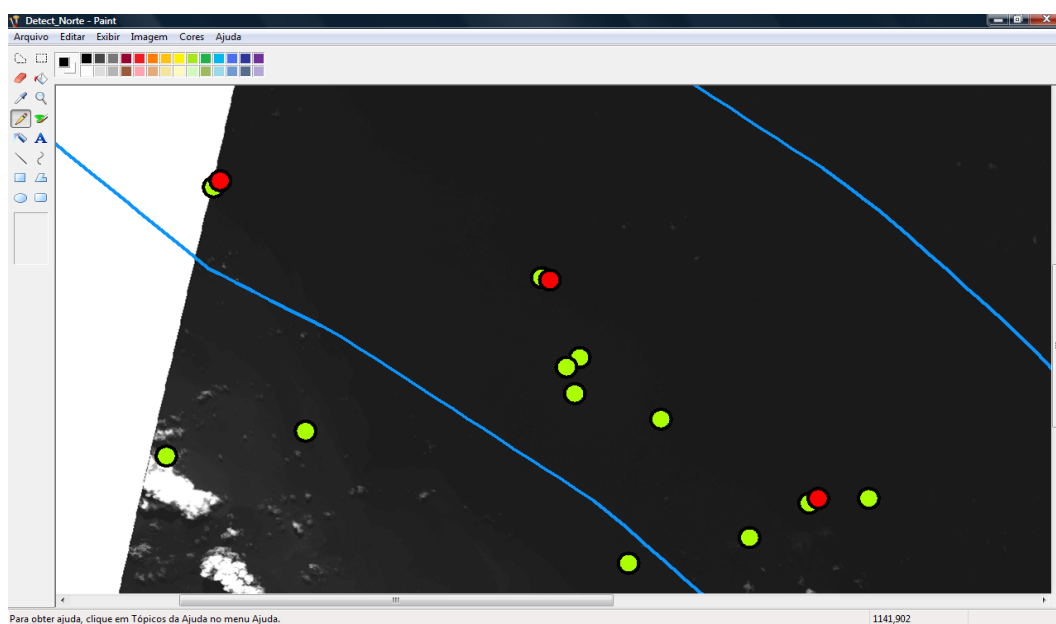
Figura 92 - Embarcações rastreadas com confiabilidade igual ou maior que 70%.



Fonte: Acervo autoral (2009)

O resultado final do rastreamento está apresentado abaixo (Figura 93), é o mapa do rastreamento com as posições rastreadas pelo PREPS em vermelho e os navios detectados na imagem com confiabilidade maior que 70% em verde-claro.

Figura 93 - Mapa da detecção: Navios detectados no horário de aquisição da imagem em verde e embarcações rastreadas em vermelho

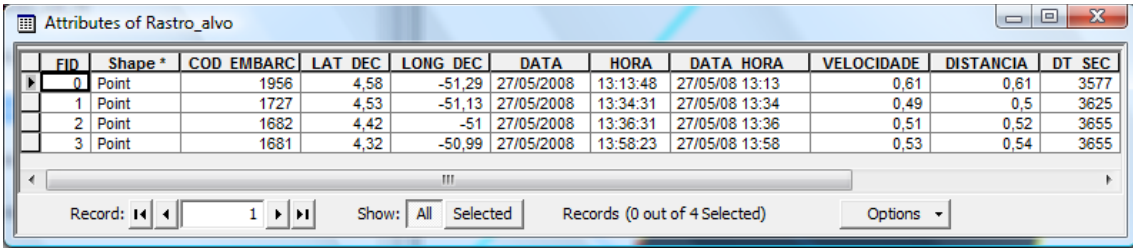


Fonte: Acervo autoral (2009)

Considerando que a imagem foi adquirida às 13:32:44 podemos dizer que todos os barcos rastreados pelo PREPS no horário da aquisição da imagem, 3 embarcações, foram detectados na imagem SPOT 5.

A Tabela 13 abaixo representa as embarcações rastreadas pelo PREPS com seus atributos identificados, da esquerda para a direita, como 0-1-2.

Tabela 13 - Embarcações rastreadas pelo PREPS



FID	Shape *	COD EMBARC	LAT DEC	LONG DEC	DATA	HORA	DATA HORA	VELOCIDADE	DISTANCIA	DT SEC
0	Point	1956	4,58	-51,29	27/05/2008	13:13:48	27/05/08 13:13	0,61	0,61	3577
1	Point	1727	4,53	-51,13	27/05/2008	13:34:31	27/05/08 13:34	0,49	0,5	3625
2	Point	1682	4,42	-51	27/05/2008	13:36:31	27/05/08 13:36	0,51	0,52	3655
3	Point	1681	4,32	-50,99	27/05/2008	13:58:23	27/05/08 13:58	0,53	0,54	3655

Fonte: Acervo autoral (2009)

Podemos observar que o barco 0, que se encontra no limite da cena do lado esquerdo foi rastreado pelo PREPS às 13:13:48 portanto cerca de 19 minutos antes da aquisição da imagem e ainda se encontrava praticamente na mesma posição às 13:32:44 no momento da aquisição da imagem (Figura 93).

Com relação aos barcos 1 e 2 rastreados respectivamente às 13:34 e 13:36 estavam há 2 minutos antes e depois da aquisição da cena praticamente no mesmo lugar como era de se esperar.

Como referido anteriormente o desempenho foi medido pela taxa de detecção (TD) e taxa de alarme falso (TAF). A TD é o número de barcos corretamente identificado, e a taxa de falso alarme (TAF) é o número de barcos incorretamente reportado, como uma porcentagem do total de barcos de pesca reais detectados. Para os 34 barcos possíveis encontramos através da análise visual 52,94% de TD e 47,06 de TAF. Considerando os pontos com 70% ou mais de confiabilidade esta TD sobe para 85% e 96% para os pontos com 90% de credibilidade.

Com relação à detecção a imagem de maio, Área-1 (Figura 93), houve correspondência entre os dados do rastreamento do PREPS e a detecção feita pelo algoritmo, os 3 barcos detectados pelo sistema casaram perfeitamente com as posições dos navios reportadas pelo operador conforme análise anterior. Os navios

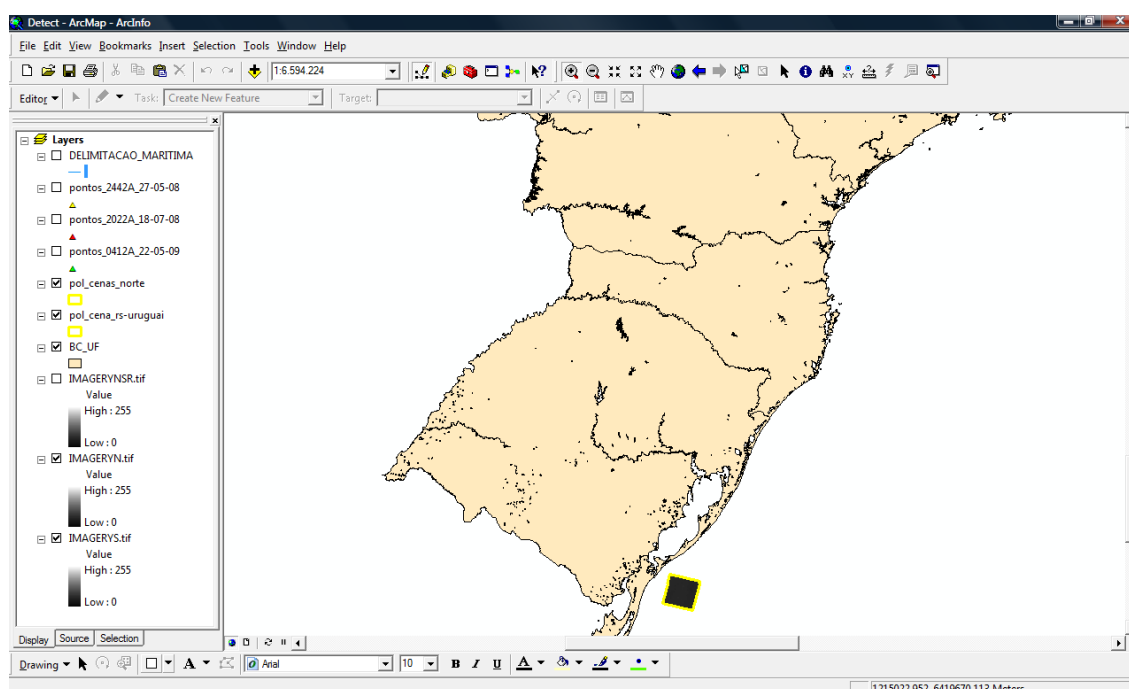
detectados os quais não havia registro correspondente no sistema VMS denotam uma possível atividade de pesca ilícita.

O tempo de processamento e disponibilização da imagem, no caso de uma operação em tempo real, é um requerimento fundamental para o sistema automático de detecção. O atraso total deve ser menos de 1 hora (imageamento, a disponibilização, processamento da detecção e entrega) para viabilizar uma operação subsequente. O tempo de processamento de uma cena SPOT 5 pelo algoritmo *ShipDetection* é em média 5 min compatível com aplicações de monitoramento de atividades pesqueiras próxima do tempo real (CORBANE, 2008).

Área 2 – Rio Grande do Sul

A área da região Sul coberta pela imagem SPOT 5 pancromática com 5m de resolução espacial compreende o retângulo envolvente entre as coordenadas para o canto superior NW latitude -33.10° e long -51.77° e para o canto inferior SE latitude -32.76 e longitude -51.30 (Figura 94).

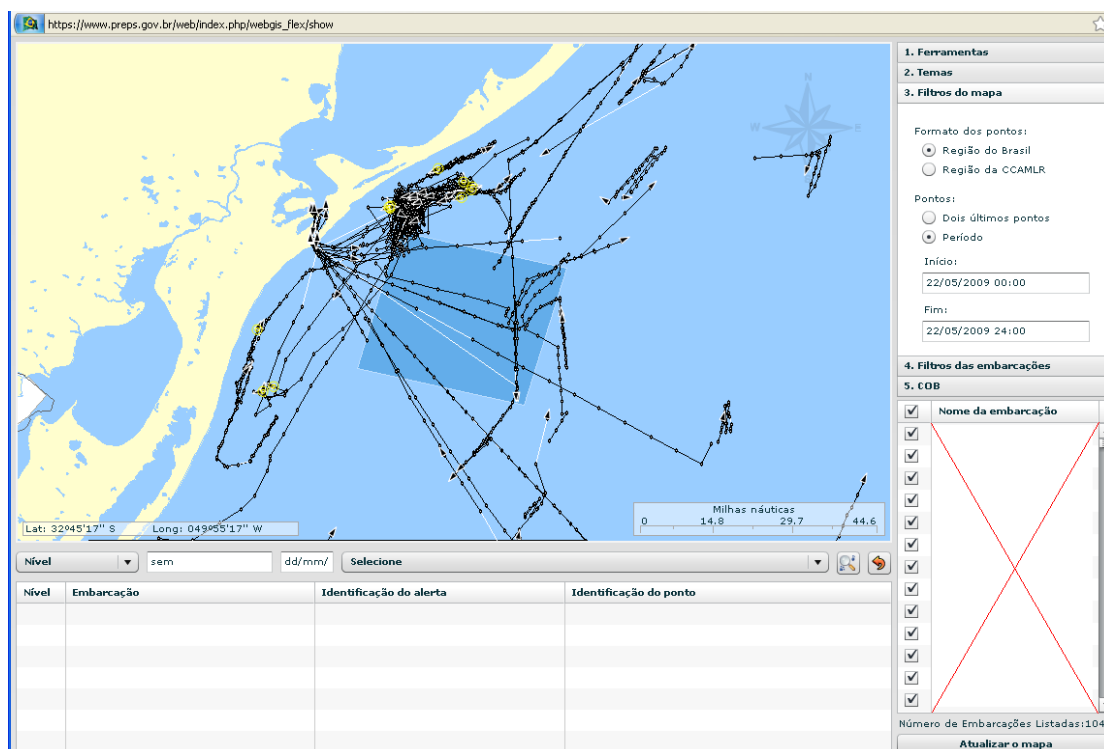
Figura 94 - Cobertura espacial das imagens SPOT-5 cedidas pela SPOT IMAGE BRASIL para a validação do algoritmo para a Área 2 – Região Sul – RG



Fonte: Acervo autoral (2009)

Após a definição da área de trabalho solicitamos à SEAP, atualmente Ministério da Aquicultura e Pesca, os dados das embarcações rastreadas correspondentes à data de aquisição das imagens disponíveis no acervo da SPOT IMAGE. Os dados foram fornecidos pelo SEAP através do Programa Nacional de Rastreamento de Embarcações Pesqueiras por Satélites – PREPS (Figura 95).

Figura 95 - Imagem do SPOT-5 com registro das embarcações rastreadas pelo PREPS durante a aquisição da cena na Área 2 – Região Sul – RG

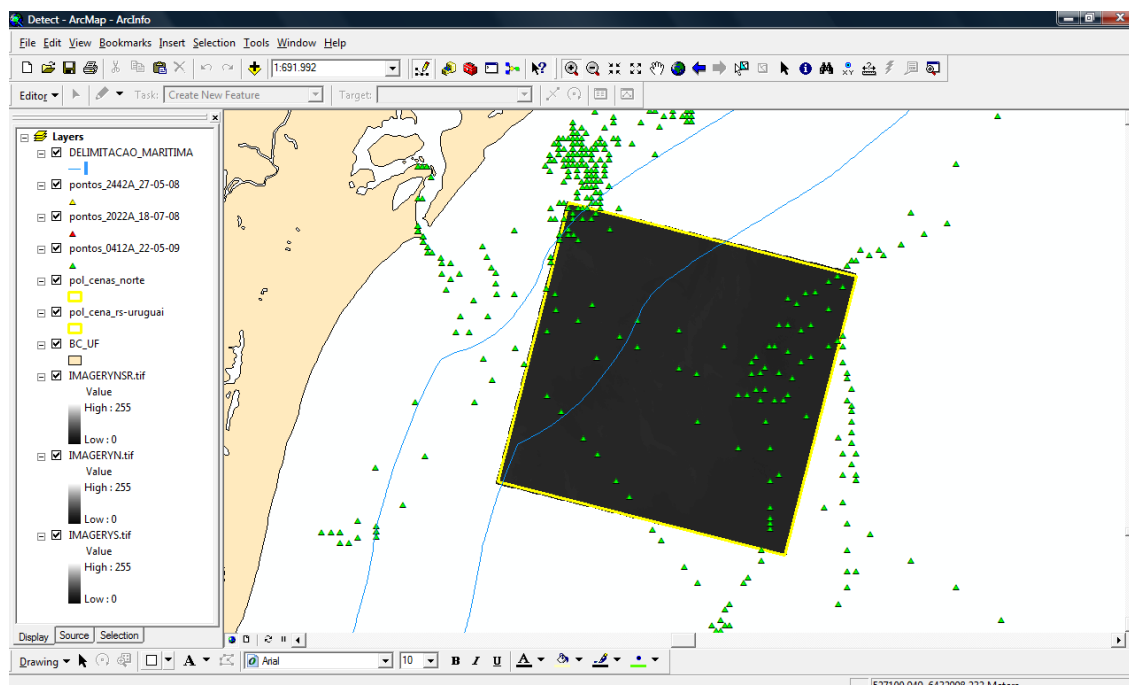


Fonte: Programa Rastro do PREPS (2009)

Como anteriormente descritos os dados foram convertidos e integrados em um Projeto GIS conforme descrito anteriormente, com os seguintes planos de informação (PI): Continente brasileiro, limites do mar territorial, zona contígua e Zona Econômica Exclusiva, dados de rastreamento das embarcações do PREPS, Imagens SPOT 5 pancromáticas com 5 metros de resolução espacial e o PI com as coordenadas X, Y das embarcações detectadas pelo algoritmo do IRD.

A figura 96 abaixo mostra a sobreposição das embarcações rastreadas pelo PREPS à imagem SPOT 5 pancromática com 5 metros de resolução.

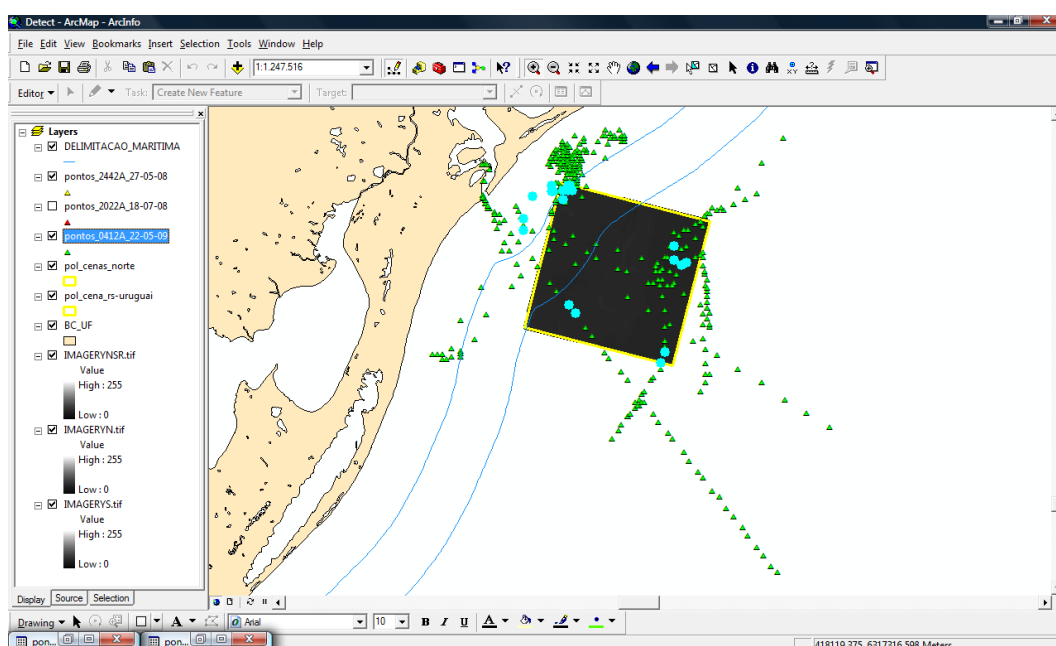
Figura 96 - Projeto GIS com imagem SPOT-5 ao fundo e embarcações rastreadas no dia da aquisição na Área 2 – Região Sul – RG.



Fonte: Acervo autoral (2009)

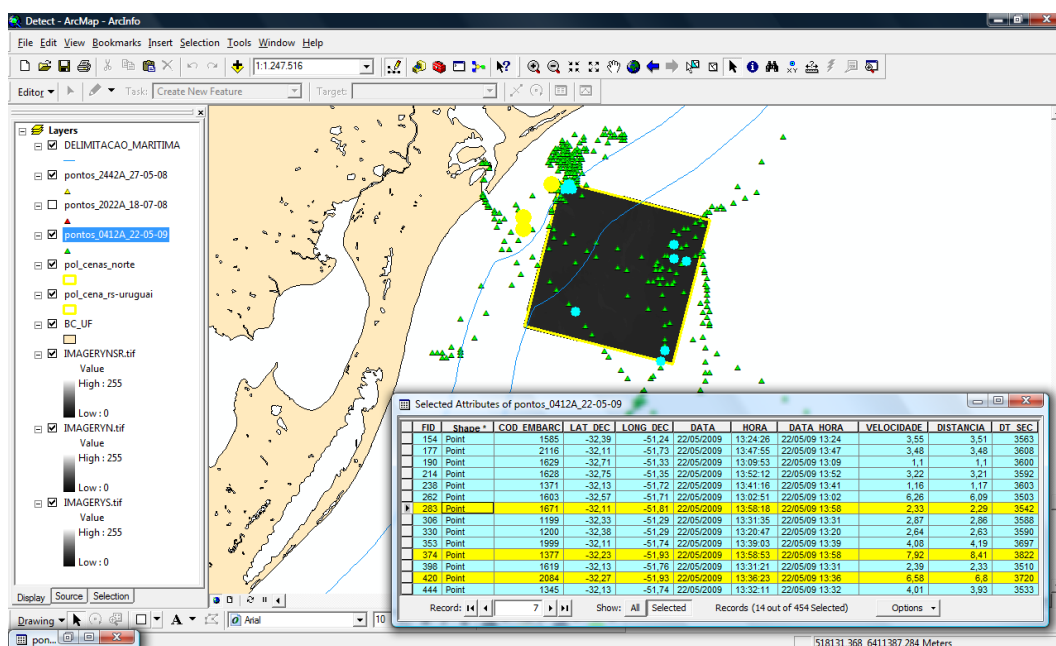
Em seguida selecionamos os dados das embarcações rastreadas pelo PREPS no momento da aquisição da imagem (13:20:41) o resultado é apresentado na Figura 97 a seguir. Como se pode observar foram rastreadas 12 (doze) embarcações em atividade sendo que 3 (três) delas fora da cena imageada. Dessa forma os dados de rastreamento inseridos na área de cobertura da imagem correspondem a 9 (nove) embarcações. (Figura 98).

Figura 97 - Embarcações pescando na Área 2 no instante de aquisição da imagem com intervalo de 15 min: 12 embarcações.



Fonte: Acervo autoral (2009)

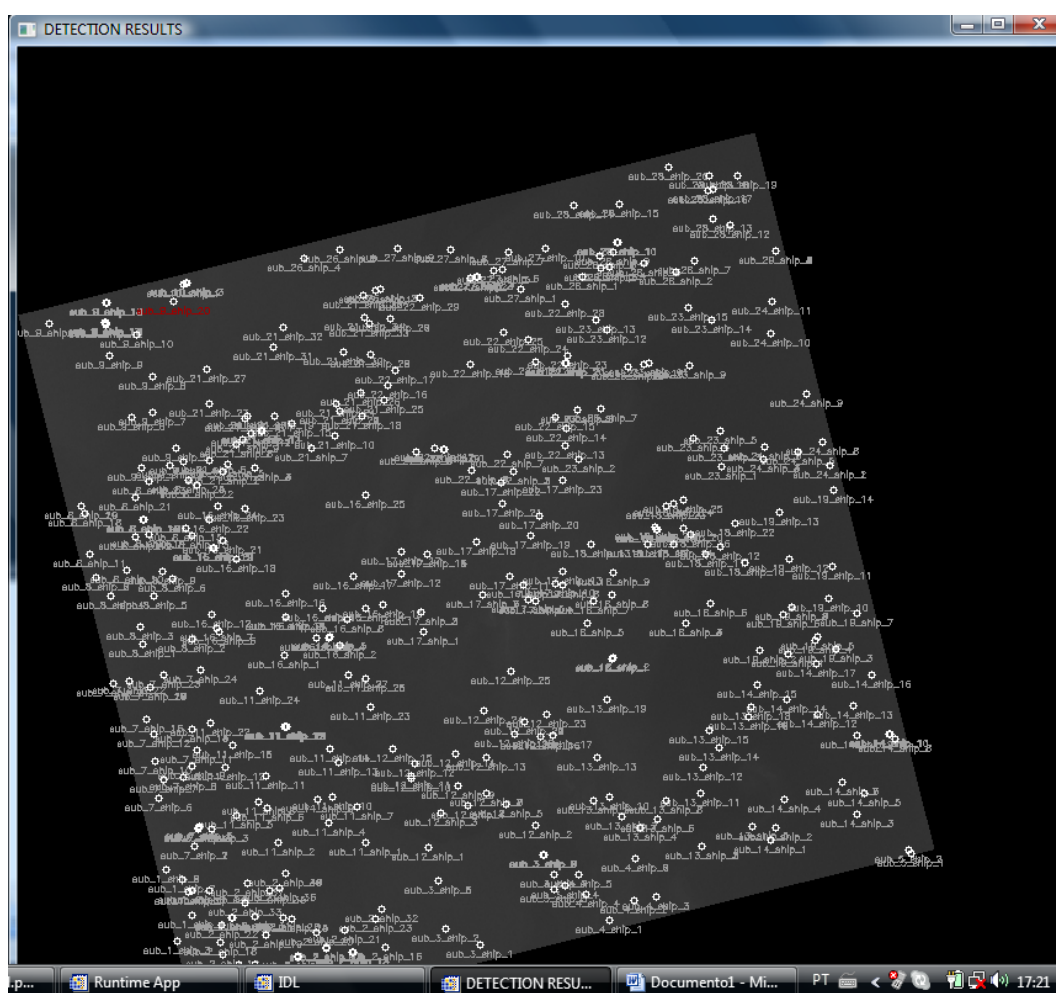
Figura 98 - Embarcações pescando na Área 2 no instante de aquisição da imagem subtraindo-se as embarcações que estão fora da área de cobertura da imagem resultando em 9 embarcações.



Fonte: Acervo autoral (2009)

Para a Área – 2 nas águas costeiras da região Sul – RG, o processamento demorou seis minutos e quarenta e dois segundos (00:08:30), e o número de detecções foi de 446 embarcações sendo que 109 embarcações apresentaram um índice de confiabilidade igual ou maior que 90%. A literatura reconhece que 70% ou mais de confiabilidade representa uma segurança de que a detecção corresponde de fato a um navio. No caso foram detectados 158 barcos com confiabilidade igual ou superior a 70% (Figura 99: Cena SPOT 5 Pan Cromática com 5 metros de resolução da área 1 – Região Sul).

Figura 99 - Imagem processada pelo *ShipDetection* com as prováveis embarcações detectadas para a Área 2 – Região Sul – RG.



Fonte: Acervo autoral (2009)

Uma síntese do relatório de saída é apresentada na Tabela 14.

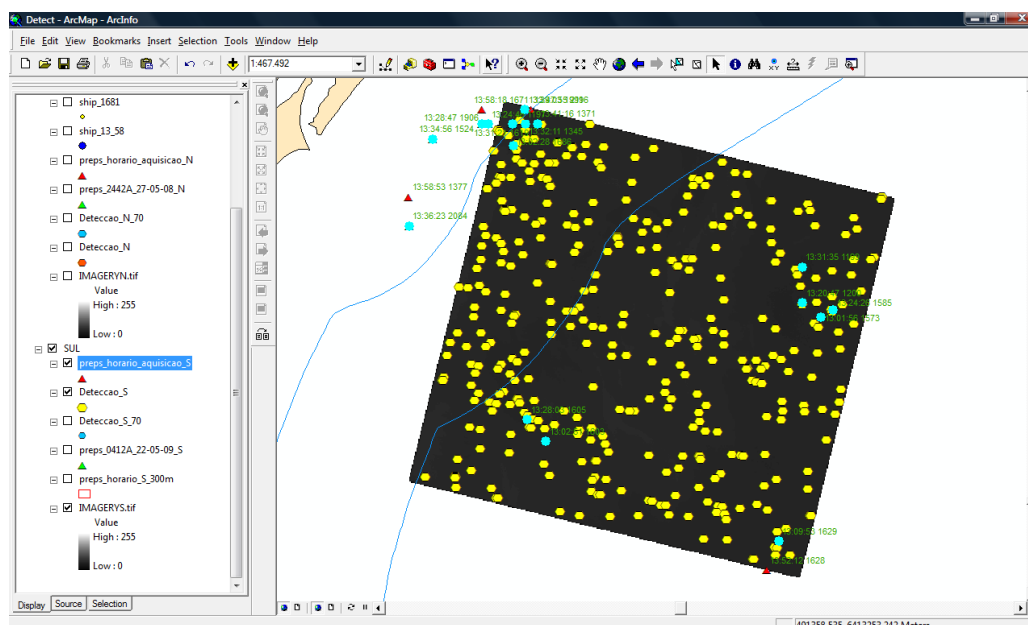
Tabela 14 - Relatório de detecção da Área 2 – Região Sul (RG)

Total de detecções	446 navios
Média de confiabilidade	0.725718
Máximo de confiabilidade	0.921925
Mínimo de confiabilidade	0.000000
Desvio padrão	0.151447
Início da detecção:	Quinta-feira; 20/08/2009 16:56:57
Final da detecção:	Quinta-feira; 20/08/2009 17:04:18

Fonte: Acervo autoral (2009)

Como apenas um barco fora rastreado no horário da aquisição da imagem (13:20:41), ampliamos a faixa de horário do rastreamento com uma margem de 30 minutos antes e depois da aquisição. Nesse caso estaríamos com todos os pontos rastreados dentro da área de cobertura da cena (Figura 100).

Figura 100 - Pontos rastreados dentro da área de cobertura da cena e todos os possíveis barcos detectados.

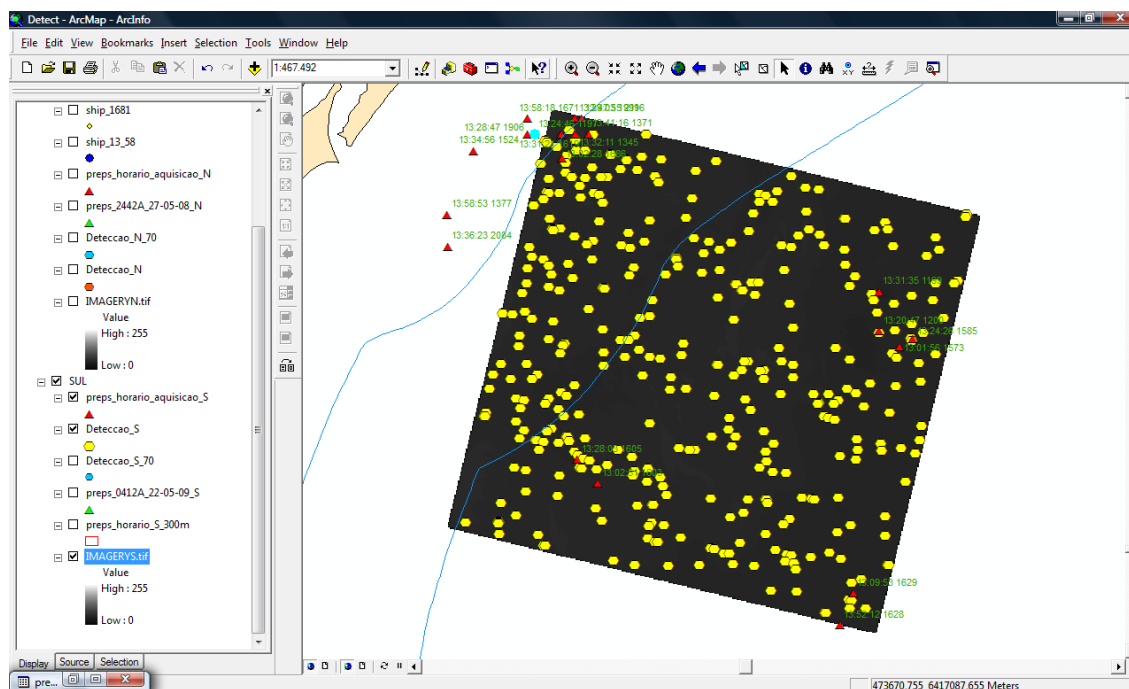


Fonte: Acervo autoral (2009)

Consideramos então todos os pontos detectados pelo *ShipDetection* e o resultado é apresentado na Figura 101 a seguir. Praticamente todos os barcos foram

detectados. A pequena diferença de localização atribuíamos à diferença entre o horário da aquisição da imagem e o horário de rastreamento das embarcações.

Figura 101 - Embarcações rastreadas pelo PREPS (triângulos vermelhos) e os possíveis alvos detectados em (hexágonos amarelos).



Fonte: Acervo autoral (2009)

4.1 Discussão

Como referido anteriormente o desempenho foi medido pela taxa de detecção (TD) e taxa de alarme falso (TAF). A TD é o número de barcos corretamente identificado, e a taxa de falso alarme (TAF) é o número de barcos incorretamente reportado, como uma porcentagem do total de barcos de pesca reais detectados. A interpretação visual estima que dos 446 pontos 288 correspondam a detecções verdadeiras traduzindo-se em uma TD de 64,57% e 35,43 de TAF. Se avaliarmos apenas os pontos com taxa de confiabilidade de 70% ou superior, esta TD cresce para 78%. Os pontos com 90% de confiabilidade apresentaram uma TD de 98%. Fazemos aqui uma ressalva para o caráter empírico dessas análises visuais que dependem exclusivamente da experiência do analista.

Com relação à detecção a imagem na Área-2 (Figura 85), houve correspondência entre os dados do rastreamento do PREPS e a detecção feita pelo

algoritmo. Para o ponto correspondente ao horário da imagem o rastreamento coincide com a detecção. O exercício de considerar uma margem temporal de 30 metros antes e depois da hora da aquisição da imagem fundamenta-se no tempo e tipo de pescaria identificada (arrasto e cerco). O resultado quando consideramos todos os pontos rastreados é a detecção de quase todos os barcos com algum deslocamento e 1 barco com indefinição.

Os navios detectados os quais não havia registro correspondente no sistema VMS denotam uma possível atividade de pesca ilícita. Com relação a este aspecto os resultados da detecção que não apresentaram correspondência com os sinalizados pelo sistema VMS do PREPS são de especial interesse, pois indicam possivelmente, a presença dessas embarcações, em atividades ilícitas. Nesse sentido, numa operação de fiscalização se ativaria uma patrulha de campo com apoio aéreo ou o deslocamento ao local de um barco patrulha para, de posse da localização dos possíveis barcos infratores, confirmarem a presença dos mesmos em atividades ilegais.

O tempo de processamento e disponibilização da imagem, no caso de uma operação em tempo real, é um requerimento fundamental para o sistema automático de detecção. O atraso total deve ser menos de 1 hora (imageamento, a disponibilização, processamento da detecção e entrega) para viabilizar uma operação subsequente. O tempo de processamento de uma cena SPOT 5 pelo algoritmo *ShipDetection* é em média 5 min, compatível com aplicações de monitoramento de atividades pesqueiras próxima do tempo real (CORBANE, 2008).

A implementação do algoritmo proposto numa imagem pancromática de 5 metros de resolução mostrou que, em condições favoráveis, de nebulosidade e estado do mar, o sistema pode prover com confiança a detecção de barcos de pesca com a mínima intervenção do operador.

A detecção de pequenos barcos, alvos menores que 14 metros, apesar de ser possível em imagens com resolução de 5 metros, precisa ser melhor investigada, talvez a utilização de imagens com resoluções maiores tipo 2,5 metros ou maior.

O comprimento das embarcações pode ser extraído visualmente, apesar da dificuldade em separar o barco de seu rastro quando estes se encontram em movimento. Na imagem estes se apresentam conectados e podem ter brilho similar, então a detecção do barco parado e em movimento sempre conta para o mesmo. Dessa forma durante a segmentação, o barco e seu rastro são considerados como

sendo parte da mesma imagem objeto, provocando uma superestimação do seu tamanho.

Em situações meteorológicas desfavoráveis ou quando o mar está muito agitado, pode acontecer que o desempenho do algoritmo se degrade apresentando altas taxas de alarme falso.

Nessas situações, os resultados totalmente automatizados podem ainda serem melhorados pela correção humana, tais como adaptando manualmente o limite de detecção (*threshold*) ou visualmente descartando o falso alarme. Contudo é geralmente assumido que tais situações podem ser evitadas em circunstâncias operacionais (CORBANE, 2008).

No nosso teste é preciso que levemos em consideração que a rede neural artificial – NN Network, “aprendeu” a detectar barcos camaroeiros, atuantes nas Guianas, que obviamente guardam uma relação com os barcos operando nas pescas do Amapá. Talvez isto explique a alta taxa de produção de falsos alarmes na Área 2 onde, nestas pescarias são usados barcos maiores.

Corbane (2008) comenta e nós concordamos, com relação ao *ShipDetection* que apesar dos resultados gerais serem promissores, ainda restam diversas questões que precisam ser melhoradas ou refinadas para realizar a detecção de barcos a partir de imagens ópticas de satélites totalmente operacionais:

- O universo de amostras, composição e tamanho, utilizado para treinar o algoritmo NN artificial para aprender a aparência da classe foi pequeno e pode ser melhorado;

- Mais trabalhos devem ser feitos para melhorar nosso conhecimento quantitativo da capacidade de detecção, testando o desempenho do algoritmo em diferentes condições de tempo. Dependendo da quantidade de alarmes falsos que seriam obtidos nestes testes, seria possível integrar a previsão do tempo e dados oceanográficos relativos à condição de vento e ondas para reduzir as taxas de alarmes falsos.

- O presente trabalho precisa ser ampliado com a criação de um banco de dados de imagens de barcos pesqueiros atuantes no mar do Brasil em diferentes resoluções espaciais principalmente imagens de 2,5 metros ou resoluções ainda maiores para melhorar a detecção automática de pequenas embarcações.

- É preciso que grupos de trabalho se empenhem no desenvolvimento ou melhoria de algoritmos de detecção capazes de detectar, classificar e em último

estágio identificar com segurança as embarcações pesqueiras, inclusive barcos menores atuantes, por exemplo, na pesca da Lagosta;

- Desenvolver pesquisas sobre detecção de rastro para melhorar a classificação do comprimento e estimação da velocidade dos barcos.

- Integração de outros sistemas para monitoramento do mar e da pesca, AIS, VMS, LRIT e demais sensores como o Radar de Abertura Sintética (SAR) para que se tenha uma visão ampla do tráfego marítimo, que tipos de embarcação estão navegando em determinadas áreas objetivando a segurança e proteção dos barcos e de sua tripulação bem como dotando o Estado de mecanismos para combater a pirataria e as embarcações praticantes das pescas ilegais, Não-reportadas, Não-regulamentadas (IUU).

5 CONCLUSÃO

Para concluir reputamos que este trabalho demonstra:

- A adequação de reconhecimento de padrões de barcos através de imagens de satélites óticos de alta resolução;
- A adequação de uma abordagem baseada em feições para detecção de navios;
- A viabilidade da utilização deste algoritmo para detecção de pequenas embarcações pesqueiras brasileiras.

Do ponto de vista da aplicação, o maior benefício a ser destacado é a grande contribuição na detecção de atividades de pesca ilícitas, especialmente nas áreas onde sistemas VMS não estão funcionando.

Adicionalmente, a modesta necessidade em termos de computador e hardware do sistema oferece um potencial para prover, com um sistema operacional de reconhecimento, uma variedade de usuários como guardas costeiros, organizações de busca e resgate e controle portuário. Se essas entidades tiverem acesso a dados oriundos de plataformas espaciais eles poderiam complementar o monitoramento de campo usando imagens óticas e as funcionalidades do *ShipDetection*, para principalmente:

- Melhorar a determinação da posição dos barcos para subsidiar ações de fiscalização;
- Utilização de interpretação visual para o refinamento da classificação dos barcos.

Trabalhos futuros nas técnicas de detecção de navios ainda são necessários. Recomenda-se futuras pesquisas incluindo testes e comparação com o desempenho de outros algoritmos, outros sensores e dados para vários navios e condições ambientais; estudos do efeito do mar, movimento do navio no desempenho da detecção; avaliação do algoritmo *ShipDetection* com imagens óticas com muito altas resoluções.

REFERÊNCIAS

BLACKNELL, D. **Comparison of parameter estimators for K-distribution**. Radar, Sonar and Navigation, IEE Proceedings, 141(1):45–52, 1994.

BRASIL, Decreto Nº 99.142, de 12 de março de 1990. **Cria, no Estado de Santa Catarina, a Reserva Biológica Marinha do Arvoredo, e dá outras providências**, Santa Catarina, 1990.

_____. Lei número 8.617, de 4 de janeiro de 1993. **Limites geográficos do permissionamento de pescas**. 1993.

_____. Decreto número 2.840, de 10 de novembro de 1998. Estabelece normas para operação de embarcações pesqueiras em águas sob a jurisdição brasileira e dá outras providências, 1998.

_____. Instrução Normativa Nº 10, de 9 DE outubro de 2000. Estabelece limites de operação para as embarcações estrangeiras arrendadas por empresas brasileiras, na zona compreendida entre os paralelos 18º 20'S e 34º 40'S. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2000.

_____. Decreto número 4.810, de 19 de agosto de 2003. Estabelece normas para operação de embarcações pesqueiras nas zonas brasileiras de pesca, alto-mar e por meio de acordos internacionais, e dá outras providências, 2009.

BRILL, F.; BROWN, D.; MARTIN, M. **Fast genetic selection of features for neural network classifiers**, IEEE Proceedings, 1992.

BRIZI M.; LOMBARDO, P.; PASTINA, D. **Exploiting the shadow information to increase the target detection performance in SAR images**. In: International Conference on Radar Systems, RADAR'99, 1999.

CORBANE, C.; MARRE, F.; PETIT, M. **Using SPOT-5 HRG data in panchromatic mode for operational detection of small ships in tropical area**, *Sensors*, 8 (5), 2959-2973, 2008.

CRISP, D. J. **The State-of-the-Art in Ship Detection in Synthetic Aperture Radar Imagery**, Australian Government, Department of defence, p 115, 2004.

CUSANO, M. *et al.* A real time operational scheme for ship traffic monitoring using quick look ERS SAR images. In: **IEEE 2000 International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'00)**, v.7, p. 2918–20, 2000.

DAVIS, L. **Handbook of Genetic Algorithm**, Lawrence Davis edition, p 385, 1991.

DECLIMS, **State of the Art and User Needs**, edited by JRC and QinetiQ 2005.

DIAS NETO, J; MARRUL-FILHO, S. **Síntese da situação da pesca extrativa marinha do Brasil**. 2003.

_____. **Gestão do uso dos recursos pesqueiros marinhos do Brasil**. 2002. Dissertação (Mestrado do Centro de Desenvolvimento Sustentável) - Universidade de Brasília (UNB), Brasília, 2002.

ELDHUSET, K. **An automatic ship and ship wake detection system for spaceborn SAR images in coastal regions**. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, v. 34, n. 4, pp. 1010-1018, 1996.

EUROPEAN COUNCIL, COUNCIL REGULATION (EEC) No 3760/92 of 20 December 1992 establishing a Community system for fisheries and aquaculture. **Official Journal L389**, 1-14, 1992.

EUROPEAN UNION. **Towards a Future Maritime Policy for the Union: A European Vision for the Oceans and Seas**, 2006.

FAO, Departamento de Pesca y Acuicultura. **El estado mundial de La pesca y La acuicultura**, 57p. Roma, 1995.

_____. **SERVICIO DE TECNOLOGÍA DE PESCA. Operaciones pesqueras**. 1. Sistemas de localización de buques vía satélite. FAO Orientaciones Técnicas para la Pesca Responsable. No.1, Supl. 1. Roma, FAO, 60p, 2003.

_____. **El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2008**. Roma, FAO, 218p, 2009.

FONTELES FILHO, A. A. **Recursos pesqueiros: Biologia e dinâmica populacional**. Imprensa Oficial do Ceará, Fortaleza, 296p, 1989.

FERNANDES *et al.* Separação entre alvos naturais e construídos em imagens SAR In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10. 2001, Foz do Iguaçu. **Anais São José dos Campos**: INPE, Sessão Pôster. 2001. p. 1305-1307.

FERRARA, M.N.; TORRE A. Alenia Aerospazio activity on SAR data analysis and information extraction. In: **Proceedings of SPIE**, volume 3217, pages 67–75, 1997.

FERREIRA, A.F.C.; FERNANDES, D.; Speckle filter for Weibull-distributed SAR images. In: **International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)**, Honolulu, USA. Proceedings, pp. 12-16, 2000.

FRIEDMAN, K.S. *et al.* Validation of a CFAR vessel detection algorithm using known vessel locations. In: **IEEE 2001 International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'01)**, volume 4, pages 1804–6, 2001.

GEDAMKE, T.; WILLIAM, D.D. & HOENIG J.M. **A spatially open-ocean Delury Analysis to estimate gear efficiency in the dredge fishery for sea scallop *Placopacten magellanicus***, North American Journal of Fisheries Management, volume 24, p335-351.111, 2004.

GEDAMKE, T.; WILLIAM, D.D. & HOENIG, J.M. **Index-removal estimatives of dredge efficiency for sea scallops on Georges Bank**, North American Journal of Fisheries Management, volume 25, p1125-1129, number (1), 2005.

GUILLAUME, H., PATRICK, L., VINCENT, K. **Ship detection on Envisat Asar data: results, limitations and perspectives**. Proceedings of SEASAR. p. 23-26, Frascati, 2006.

GREIDANUS, H. *et al.* Benchmarking operational SAR ship detection. In: **Proc. IGARSS 2004**, Anchorage, Alaska, 20-24, 2004.

GREIDANUS, H.; LEMOINE, G.; KOURTI, N. Satellite ship detection for fishery control; In: **NURC international symposium “Remote Sensing Applications to support NATO Expeditionary Operations”**, Lerici, Italy. Sensors 2008, 8 2973, 2005.

GREGOR, W. *et al.* **Detecção de Navios com Imagens de Satélite de alta Resolução**, Munique, 2004.

GOLDBERG, D.E. **Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning**, p. 412, 1989.

GREIDANUS, H.; KOURTI, N. **Findings of the DECLIMS project - detection and classification of marine traffic from space**, presented at SEASAR, 2006.

GREIDANUS, H.; LEMOINE, G.; KOURTI, N. **Satellite ship detection for fishery control**; In: **NURC international symposium “Remote Sensing Applications to support NATO Expeditionary Operations”**, Lerici, Italy. Sensors 2008, 8 2973, 2005.

HAJDUCH, G.; LEILDE, P.; KERBAOL, V. **Ship detection on Envisat ASAR data: Results, limitations and perspectives**; SEASAR 2006, Frascati, 2006.

JOLL, L.; CASEY, R. & TOWERS, I. VMS as an effort control tool in the Pilbara fish-trawl fishery. In: **Proceedings of the international conference on integrated fishery monitoring**. Sydney. C.P. Nolan (ed), pp. 317-324, 1999.

Joint Research Centre (JRC) of the European Community — IMPAST and DECLIMS. Disponível: <<http://intelligence.jrc.cec.eu.int/marine/fish/index.htm>>. Acesso em: maio, 2009.

KOURTI, N. *et al.* **Integrating Remote Sensing in Fisheries Control**, Fisheries Management and Ecology 12, 295-307, 2005.

KOURTI N.; SHEPARD I. **Marine surveillance case study — integrating active and passive satellite-based technologies to improve European fisheries monitoring and control**. Disponível: <http://www.rsi.ca/rsic/marine/mar_euro_jrc1.asp>. Acesso em: abril, 2009.

_____. *et al.* **Integrating spaceborne SAR imagery into operational systems for fisheries monitoring.** Canadian Journal of Remote Sensing, 27(4):291–305, 2001.

LEMOINE, G. *et al.* Improving Fisheries Monitoring Through Integrating Passive and Active Satellite Based Technologies “Developments in satellite fisheries monitoring and control”. In: **8th International Conference Remote Sensing for Marine and Coastal Environments**, Halifax, Canada, 17-19, 2005.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. **Remote sensing and image interpretation:** New York. p 736, 2004.

LIN Y.C.; LEONG K. K.; KHOO, V. Ship and ship wake detection in the ERS SAR imagery using computer-based algorithm. In: **IEEE 1997 International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'97)**, pages 151–3, 1997.

LOMBARDO, P.; SCIOTII, M. **Segmentation-based technique for ship detection in SAR images.** IEE Proceedings: Radar, Sonar & Navigation, 148(3):147–59, 2001.

MACE, P. M. Developing and sustaining world fisheries resources: The state of science and management. In: HANCORK, D. A. *et al.* (Ed.). **Developing and sustaining world fisheries resources: the state of the science and management.** Collingwood: CSIRO, p. 1-35, 1997.

MARRUL-FILHO, S. **Crise e sustentabilidade no uso dos recursos pesqueiros.** Brasília, DF: IBAMA, 2003.

MCDONNELL, M.J.; LEWIS, A.J. **Ship detection from Landsat imagery.** Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, v. 44, n. 3, p. 297-301, Mar. 1978.

MATHEWS, P. From logbooks to laptops; the benefits that arose from a management crisis in the Canadian East Coast, offshore scallop fishery and the introduction of monitoring to the fleet. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTEGRATED FISHERIES MONITORING**, Sydney, Australia, Proceedings. Sydney, Australia: Nolan, C.P 5, p. 285-290, 1999.

MATSUURA, Y. Exploração pesqueira. In: **Os ecossistemas brasileiros e os principais macrovetores de desenvolvimento: subsídios ao planejamento da gestão ambiental.** Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. Brasília, 1995.

MEJIAS JUNIOR, A. Vessel monitoring system sensor applications in the Gulf of Mexico shrimp fishery. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTEGRATED FISHERIES MONITORING**, 1999, Sydney, Australia. Proceedings. Sydney, Australia: Nolan, C.P 5 february 1999. p. 285-290, 1999.

MESQUITA, J. L. **Embarcações típicas da costa brasileira – 1 ed – São Paulo: Ed. Terceiro nome, 2009.**

NOLAN, C.P. **Proceedings of the international conference on integrated fisheries monitoring.** Sydney, p. 285-290, 1999.

OLIVER, C.; QUEGAN, S. **Understanding Synthetic Aperture Radar Imagery**. Narwood: Artech House, 1998.

OLSEN. **Detecção de navios com ENVISAT usando polarização alternada no Alliance for Marine Remote Sensing - AMRS** Noruega: Workshop, FFI, 2000.

OLSEN, R.B.; Wahl, T. The ship detection capability of ENVISAT's ASAR. In: **IEEE 2003 International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'03)**. Toulouse, France, July 21-25, 2003.

PAVA, M. P. **Fundamentos da Administração Pesqueira**. Ed. Brasília, 159p., 1986.

_____. **Administração Pesqueira no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência, 2004.

PEREZ, J.A.A. *et al.* **Deep-sea fishery off southern Brazil**: recent trends of the brazilian fishing industry. J. Northw. Atl. Fish. Sci. v.31 p.1-18, 2003.

P. Clemente-Colon; W.G. Pichel. **NOAA Coast Watch SAR applications and demonstration**. Johns Hopkins APL Technical Digest, 21(1):49-57, 2000.

PETIT, M. *et al.* Synthetic aperture radar imaging of sea surface life and fishing activities. In: **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 30, 1085-1090, 1992.

PROZEE **Programa Nacional de Financiamento da Ampliação e Modernização da Frota Pesqueira Nacional - Profrota Pesqueira (2003)**

QinetiQ's ship detection system. **Maritime Surveillance Tool (MaST)**. Disponível em: < http://www.qinetiq.com/casestudies/2002/case_study54.html> Acesso em: junho, 2009

REVIZEE. **Prospecção pesqueira de espécies demersais com espinhel-de-fundo da Zona Econômica exclusiva da região Sudeste e sul do Brasil**. Editores HAIMVIC, M., ÁVILA-DA-SILVA, A., ROSSI-WONGTCHOWSKI, C.L.D.B. – São Paulo: Instituto Oceanográfico – USP, 2004.

RODRIGO, 2003. Rocha, R.F.; Stech, J.L. Uso de imagens SAR oriundas do RADARSAT-1 para detecção de navios em água do mar territorial brasileiro. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 11., 2003, Belo Horizonte. Anais. São José dos Campos: INPE, 2003. Sessão Pôster. p. 2257-2262. Repositório da URLib:<ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.14.18.50>. Acesso em: ?

ROCHA, R.F.; STECH, J.L.; LORENZZETTI, J. A. Detecção de alvos Oceânicos por meio de imagens SAR. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 4., 2001, Foz fo Iguaçu. **Anais X SBSR São José dos Campos**: INPE, 2001. Sessão Pôster. P.847-848, 2008.

RIJNSDORP, A.D. *et al.* **Micro-scale distribution of bean trawl effort in the southern North Sea between 1993 and 1996 in relation to the trawling frequency of sea bed and the impact on benthic organisms**. ICES J: Mar. Sci., n.55, p.403-419, 1998.

SANTOS, R. C. **Análise do comportamento dinâmico da pesca profunda de emalhe no Brasil através da aplicação da tecnologia de monitoramento de embarcações via satélite e de modelos de forrageio ótimo**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Universidade do Vale do Itajaí, SC 118p., 2008.

SCHWARTZ, G. *et al.* Validation of an automatic vessel detection algorithm using SAR data and known vessel fleet distributions. In: **IEEE 2000 International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'00)**, v. 5, p. 2071–3, 2000.

SEAP/IBAMA/PROZEE **Relatório técnico sobre o censo estrutural da pesca artesanal marítima e estuarina nos estados do Espírito Santo, Rio de Janeiro, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. Itajaí, 2005.

_____. Monitoramento da Atividade Pesqueira no Litoral do Brasil. **Relatório Técnico Final**. Brasília. SEAP/PR, 2006.

SEAP/IBAMA. **Instrução Normativa Conjunta N° 23, de 4 de julho de 2005**.

Dispõe sobre critérios e procedimentos para o ordenamento da pesca do peixe-sapo nas águas jurisdicionais brasileiras das regiões Sudeste e Sul, entre o paralelo de 21°00'S e limite sul da Zona Econômica Exclusiva brasileira, e dá outras providências. Brasília, DF, 2005.

_____. **Instrução Normativa N° 04, de 4 de maio de 2005**. Estabelece critérios e procedimentos para o ordenamento das operações relacionadas com a pesca do caranguejo-real (*Chaceon ramosae*) nas águas jurisdicionais brasileiras da região compreendida entre os paralelos de 19°00'S e 30°00'S. Brasília, DF, 2005.

_____. **Instrução Normativa N° 05, de 4 de maio de 2005**. Estabelece critérios e procedimentos para o ordenamento das operações relacionadas com a pesca do caranguejo-vermelho (*Chaceon notialis*) nas águas jurisdicionais brasileiras da região compreendida entre os paralelos de 32°00'S e o limite sul da Zona Econômica Exclusiva. Brasília, DF, 2005.

_____. **Instrução Normativa N° 04, de 4 de maio de 2005**. Estabelece critérios e procedimentos para o ordenamento das operações relacionadas com a pesca do caranguejo-real (*Chaceon ramosae*) nas águas jurisdicionais brasileiras da região compreendida entre os paralelos de 19°00'S e 30°00'S. Brasília, DF, 2005.

_____. **Instrução Normativa Conjunta N° 01, de 29 de setembro de 2006**.

Estabelece as diretrizes para a elaboração e condução o Programa Nacional de Observadores de Bordo da Frota Pesqueira – PROBORDO, assim como os

procedimentos para a atuação dos Observadores de Bordo nas embarcações de pesca integrantes do PROBORDO. DF, 2006.

_____. **Instrução Normativa Conjunta Nº 02, de 4 de Setembro de 2006**. Institui o Programa Nacional de Rastreamento de Embarcações Pesqueiras por Satélite – PREPS para fins de monitoramento, gestão pesqueira e controle das operações da frota pesqueira permissionada pela Secretaria Especial de Aquicultura e Pesca da Presidência da República – SEAP/PR. DF, 2006.

SCHEUNDERS, P. **A genetic c-Means clustering algorithm applied to color image quantization**. *Pattern Recognition*, 30, p. 859-866, 1997.

SCIOTTI M.; PASTINA D.; LOMBARDO P. Exploiting the polarimetric information for the detection of ship targets in non-homogeneous SAR images. In: **IEEE 2002 International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'02)**, v. 3, p. 1911–13, 2002.

SILVA, P. C. M. da. **O desafio do mar**. 2.ed. Rio de Janeiro: Sabiá, 119 p., 1970.

STAPLES, G. *et al.* Uso de distribuição estatística para segmentação de imagens SAR de áreas do oceano”, (“Use of statistical distribution for segmentation of SAR images of oceanic areas”). **Anais do X SBSR**, 2001.

STAPLES, G.C. *et al.* Ship detection using RADARSAT SAR imagery. **Geomatics in the Era of RADARSAT**. [online]. Disponível em:<<http://www.rsi.ca/classroom/materials/classroom/marine/ger97.pdf>>. Acesso em: 9 mai. 2000.

TELLO, M. *et al.* **A Novel Algorithm for Automatic Ship and Oil Spill Detection Based on Time-Frequency Methods**. *These Proceedings*, 2006.

VACHON, P. W. *et al.* **Ship Detection by the RADARSAT SAR: Validation of Detection Model Predictions**. *Canadian Journal of Remote Sensing*, v. 23, n.1, p. 48-59, 1997.

VACHON P. W.; OLSEN R.B. **Radarsat SAR mode selection for marine applications**. *Backscatter*, 6(3):3–4 & 18, 1995.

VAN COILLIE, M.B.; VERBEKE, P.C.; DE WULF, R. Feature selection by genetic algorithms in object-based classification of IKONOS imagery for forest mapping in Flanders, Belgium. In: **Remote Sensing of Environment- ForestSAT Special Issue, ForestSAT 2005 Conference "Operational tools in forestry using remote sensing techniques"**, 110, 476-487, 2007.

WACKERMAN C.C. *et al.* **Colon, and X. Li. Automatic detection of ships in RADARSAT-1 SAR imagery**. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 27(5):568–577, 2001.

WAGNER, M.J. **From ships to shores to satellite images**. *Sea Technology*, 44(3):38–41, 2003.

WAHL T.; ELDHUSET K., AKSNES K. SAR detection of ships and ship wakes. In **Proceedings of the SAR Applications Workshop**, Frascati, Italy. (ESA SP-264), pages 61–65, 16–18 September, 1986.

WAHL T.; K. ELDHUSET K.; SKØELV K. Ship traffic monitoring using the ERS-1 SAR. In: **Proceedings First ERS-1 Symposium - Space at the Service of our Environment**, Cannes, France, 4–6 November 1992 (ESA SP-359), p. 823–828, March, 1993.

WAND, L. **Vessel Monitoring Systems. 6th International Conference**. Lima: Carpediem, 2005.

WILLHAUCK, G. *et al.* Ship Detection and Harbour Monitoring from VHR Satellite Imagery. In: **GeoInformatics8**, v. 7, p 6-9, 2004.

YANASSE, C. C. F. *et al.* On the use of Multilook Amplitude K distribution for SAR image analysis. In: **Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)**, Pasadena, California, USA, 1994.

ZAART, A.E. *et al.* SAR images segmentation using mixture using Gamma Distribution. In: **Vision Interface**. Trois-Rivières, Canada. Proceedings .4468, 1999.