

Multicritério e Reconhecimento de imagens em avaliação de embarcações

Francisco Heider Willy dos Santos

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Campus Bambuí
Rodovia Bambuí/Medeiros, Km 05 - Faz. Varginha, Bambuí - MG, 38900-000
francisco.santos@ifmg.edu.br

Bruno Alberto Soares Oliveira

Universidade Federal de Minas Gerais
Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, Belo Horizonte - MG, 31270-901
brunoalbertobambui@gmail.com

Lucas Mariano Vieira

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Campus Bambuí
Rodovia Bambuí/Medeiros, Km 05 - Faz. Varginha, Bambuí - MG, 38900-000
lucasmarianovieira@gmail.com

Guilherme Magno Moura Cardoso

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Campus Bambuí
Rodovia Bambuí/Medeiros, Km 05 - Faz. Varginha, Bambuí - MG, 38900-000
routmagno@gmail.com

Leonardo Antonio Monteiro Pessoa

Centro de Análises de Sistemas Navais
Ed. 23 do AMRJ - R. da Ponte, s/n - Centro, Rio de Janeiro - RJ, 20091-000
pessoa@marinha.mil.br

RESUMO

Este artigo tem como propósito apresentar uma proposta de utilização conjunta de técnicas de reconhecimento de imagem, aliadas a metodologia multicritério para auxiliar a identificação de contatos marítimos a partir de dados de imagens satelitais. Dados coletados pelo reconhecimento de imagem permitem obter características de embarcações que, conjuntamente a dados de acompanhamento, permitem ordenar os contatos, com base em critérios estabelecidos por uma autoridade marítima.

PALAVRAS CHAVE. Poder Marítimo, Busca e Salvamento, LRIT.

Tópicos D&SP

ABSTRACT

This paper presents a combined approach of multicriteria and image recognition methodologies so as to help to identify maritime vessels based on satellite's images. Data obtained through image recognition techniques define vessels' characteristics, and combined to tracking information, allows a priority ordering, based on criteria established by a maritime authority.

KEYWORDS. Sea Power. Search and Rescue. LRIT.

Paper topics D&SP

1. Introdução

O Brasil possui um litoral extenso, o que lhe dá direitos de soberania, em diversos graus de acordo com o distanciamento da costa, sobre uma grande área marítima, que vem sendo definida como a Amazônia Azul.

Lima Filho [2011] relata que esta área tem 4.411.000 km², compreendendo o mar territorial, a Zona Econômica Exclusiva (ZEE) e a plataforma continental, e "engloba o acesso ao Rio Amazonas e a todos os 30 portos marítimos do país (Anexo A), incluindo inúmeras ilhas oceânicas de caráter estratégico como a Ilha de Trindade, Arquipélago de Fernando de Noronha, Penedo de São Pedro e São Paulo e o Atol das Rocas". Definições mais precisas e um histórico referente ao estabelecimento dos limites da Amazônia Azul são discutidos também em Pessoa et al. [2009].

Entretanto, as responsabilidades brasileiras não se limitam às águas compreendidas na Amazônia Azul. O Brasil tem responsabilidades transcendem esta área, por força da Convenção Internacional para a Salvaguarda da Vida Humana no Mar (SOLAS), da Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar e da Convenção Internacional de Busca e Salvamento Marítimo, compromissos internacionais [Marinha do Brasil, 2018b].

A área de responsabilidade de salvamento marítimo do Brasil está representada na figura 2, apresentando suas divisões marítimas e das águas interiores.

Segundo Marinha do Brasil [2018b] as obrigações do SALVAMAR BRASIL incluem: o atendimento ao Sistema Marítimo Global de Socorro e Segurança (GMDSS); a divulgação de Informações de Segurança Marítima (MSI); o estabelecimento de uma Região de Busca e Salvamento (SRR); a existência de Centros de Coordenação SAR (MRCC/RCC), conforme necessário; meios adequados para atender as emergências SAR; e a organização de um Sistema de Informações de Navios. Sendo executadas pelo Comando do Controle Naval do Tráfego Marítimo (COMCONTRAM através do Sistema de Informações sobre o Tráfego Marítimo (SISTRAM).

A existência desta estrutura permite que, quando em situação de perigo ou urgência, os navegantes em trânsito por essas áreas poderão solicitar auxílio através dos recursos de GMDSS disponíveis a bordo, ou então diretamente ao SALVAMAR BRASIL ou ainda, conforme a sua posição, aos seguintes Centros de Coordenação SAR (SALVAMAR regional) [Marinha do Brasil, 2018b].

Através de técnicas de processamento digital de imagem é possível extrair informações valiosas para o monitoramento de embarcações em imagens de satélites, tais como, posição, comprimento, boca, direção, assim como a classificação da embarcação.

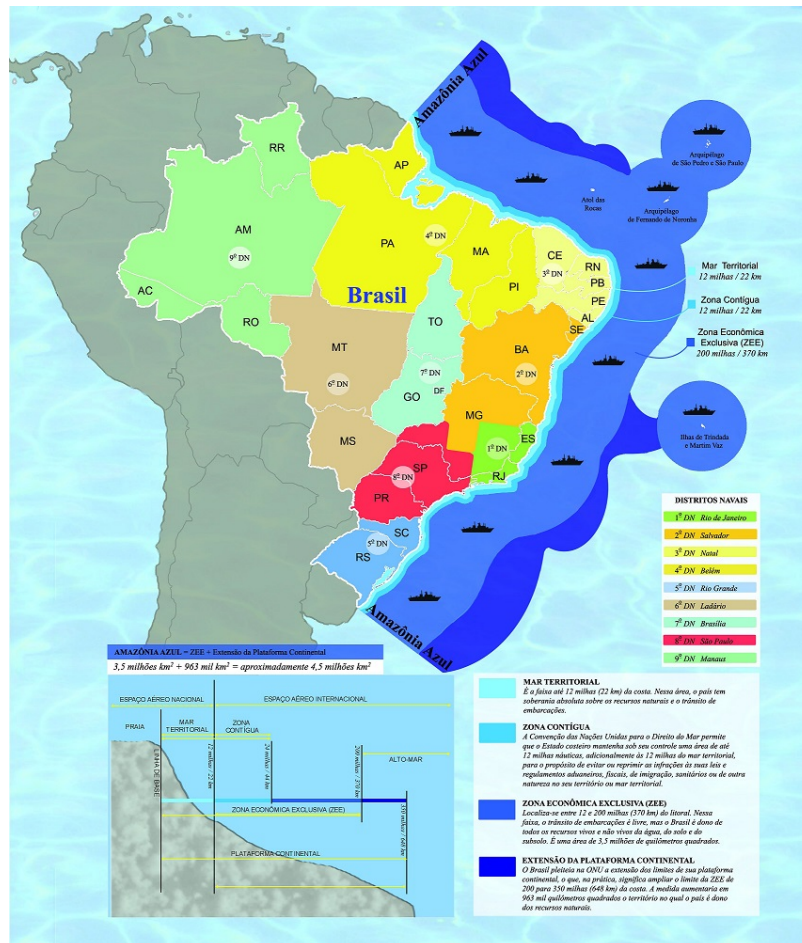


Figura 1: Representação Amazônia Azul fonte: Marinha do Brasil [2018a]

Vários trabalhos tratam de problemas relacionados à segmentação de imagens de embarcações em imagens de satélites. De acordo com Yang X. [2018], os maiores desafios na detecção de navios em imagens de satélites estão relacionadas a complexidade dos cenários, a detecção intensiva de objetos e redundância de detecção.

Em seu trabalho é explorada a detecção de navios em diferentes cenários com imagens provenientes do Google Earth, utilizando Redes Neurais Convolucionais (CNN) através de uma técnica de Redes de Pirâmides Densas de Características que permite detectar um navio ancorado ou não, e medir o comprimento e boca deste navio. Seu método obteve 91 % de precisão e 89,6% de falsos positivos.

Em Zhang et al. [2016], é realizada a detecção de embarcações de diferentes tipos em imagens de alta resolução através de CNN combinada com a detecção de saliência, de forma a identificar a frente da embarcação e melhor enquadrá-la no menor retângulo de borda, obtendo uma precisão em torno de 90%, chegando a 99% para embarcações não atracadas.

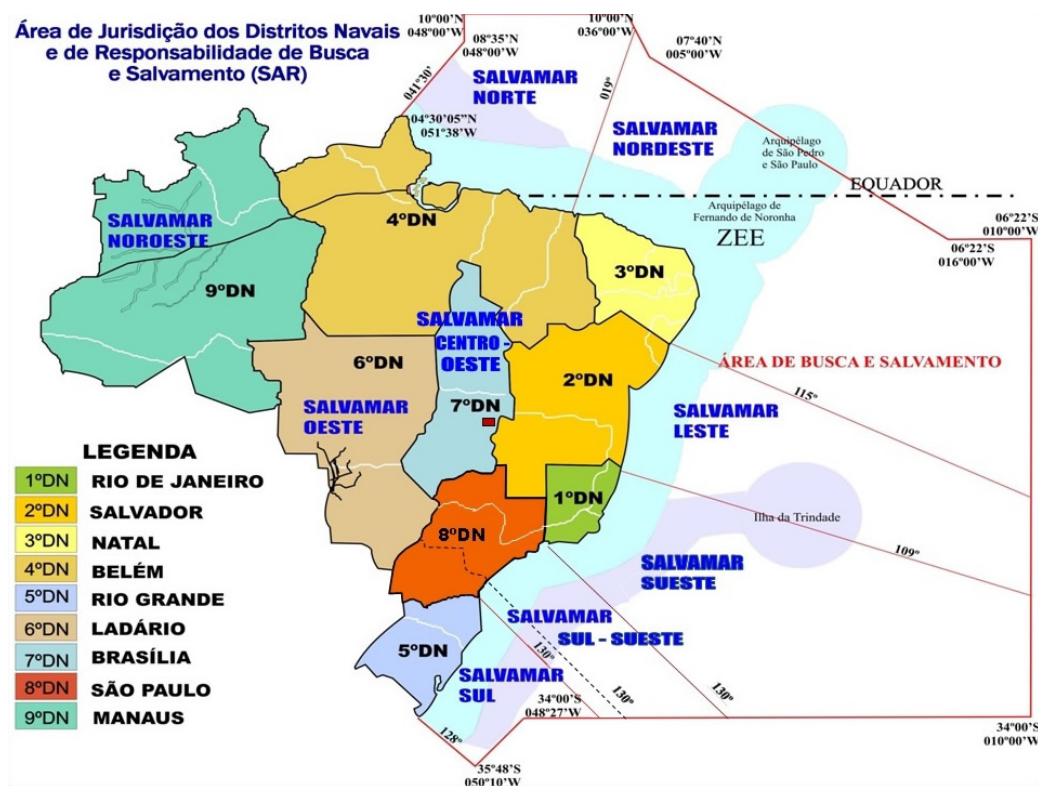


Figura 2: Representação área SAR fonte: Marinha do Brasil [2018c]

Este trabalho baseia-se na aplicação sequencial de técnicas tradicionais de Processamento Digital de Imagens, tais como: Detecção de Contornos Por Aproximação de Polígonos e Redes Neurais Convolucionais, visando a segmentação, detecção e validação dos objetos encontrados.

Posteriormente, apresenta um protótipo simplificado, de modo a estabelecer um conceito de viabilidade de aplicação com os seguintes objetivos:

- identificar elementos de imagens os quais possam ser embarcações;
- extrair elementos destas possíveis embarcações que permitam caracterização;
- definir, com base em elementos geográficos e das características, grupo de embarcações de interesse para monitoramento.

De forma a conferir uma estrutura metodológica, na seção seguinte são discutidos referências teóricas relacionadas às técnicas utilizadas. Na seção 3 apresenta-se um estudos de caso e, na seção 4, são apresentadas a discussão e uma breve conclusão.

2. Metodologia

2.1. Reconhecimento de Imagens

Para o desenvolvimento do software de processamento digital de imagens, utilizou-se a biblioteca OpenCV 4.0 programado em linguagem C++. Foram utilizados imagens da banda 1,

provenientes da câmera pancromática e multiespectral (PAN) do satélite CBERS-4 , com resolução de 5m e 300dpi. A figura 3 representa uma imagem de entrada.

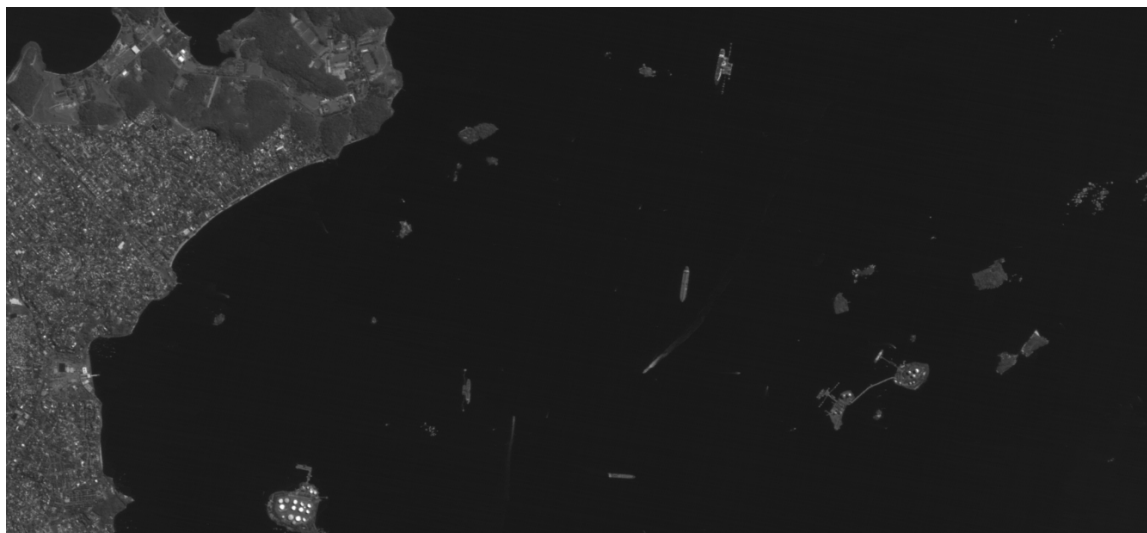


Figura 3: Imagem do satélite CBERS-4 fonte: INPE

Primeiramente, foram feitos recortes de tamanho 1300x600 pixels da imagem original, selecionando imagens contendo diferentes tipos de embarcações. As imagens foram apresentadas ao software, contendo as etapas descritas na figura 4.

Posteriormente a imagem de entrada é tratada com um filtro de Gaussiana para suavização, em seguida é aplicado a técnica de "Threshold Otsu" para a separação dos objetos mais claros na imagem.

Na etapa seguinte é realizada uma operação morfológica de abertura, visando eliminar da imagem objetos menores que embarcações encontradas, de forma que só reste áreas continentais. A imagem resultante é chamada de Imagem de Fundo. Esta imagem é subtraída da imagem que não sofreu abertura, chamada de Imagem Completa.

Os objetos restantes são pequenos conjuntos de pixels contendo possíveis embarcações, encontrados através do método de detecção de contornos ativos por aproximação de polígonos utilizando a função "findContours()" da biblioteca OpenCV. Por fim, foi aplicado um filtro de área selecionando objetos com medidas menores que 380x56 m e objetos com medidas entre 70x15 m e 380x56 m.

A segunda técnica empregada foi a Rede Neural Convolutiva (CNN), utilizando-se o ambiente de programação Python. Esta técnica permite o reconhecimento da embarcação na imagem através de aprendizado profundo na busca de um exemplo conhecido, previamente apresentado à rede, por meio de treinamento.

Para este teste foi construído um *dataset* a partir de 272 imagens de 80x80 pixels, contendo embarcações ou outros objetos como parte de continente, rastros da passagem de embarcações, trechos contendo apenas mar ou nuvens.

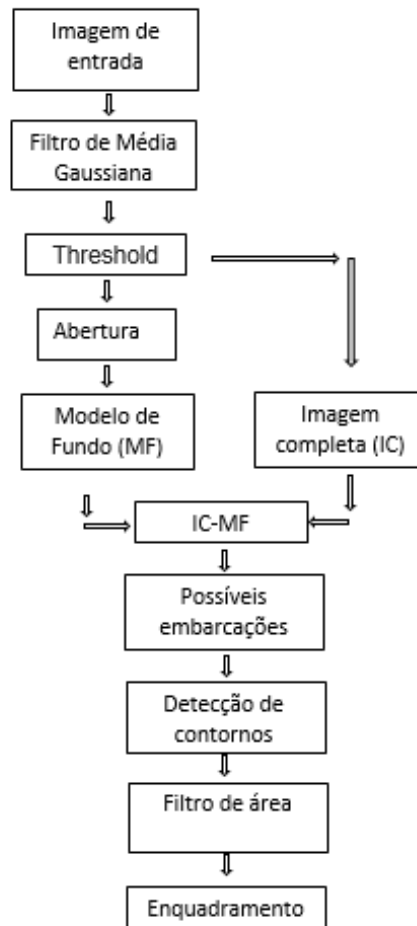


Figura 4: Sequência de funcionamento do software de processamento de imagens fonte: autores

2.2. Modelo Coppe-Cosenza

A aplicação de metodologia multicritério tem por finalidade, com base em elementos obtidos tanto pelo reconhecimento de imagens, quanto de elementos coletados por sistemas de acompanhamento, efetuar uma ordenação da prioridade de análise das embarcações.

Cosenza et al. [2015] apresentam um modelo multicritério denominado COPPE-COSENZA, baseado em Lógica Fuzzy, que foi originalmente construído para auxílio à decisão na alocação de instalações industriais.

O modelo aplica uma matriz estruturada em dois conjuntos: conjunto A com as necessidades e conjunto B com as potencialidades apresentadas.

O conjunto A representa as necessidades, classificadas em quatro categorias, baseadas em suas importâncias:

- Crítico (Cr);

- Condicionante (C);
- Pouco Condicionante (LC); e
- Irrelevante (Ir)

Por outro lado, as potencialidades apresentadas (Conjunto B) são representadas pelas seguintes variáveis linguísticas: Não-existente; Vazio; 0; Fraco; Regular; Bom e Superior.

O modelo COPPE COSENZA tem uma estruturação que permite utilização de diferentes matrizes de agregação de modo a adaptar-se a problemas diversos.

Para este trabalho, intenciona-se uma estrutura de critérios que seja flexível à adaptação de seleções específicas. Desta forma achou-se conveniente a utilização de matriz de agregação adaptada, tratada em Mandarinino e Pessoa [2017] e Pessoa [2015], a qual possibilita uma configuração "taylor-made", apresentada na Tabela 1.

Tabela 1: Matriz de agregação adaptada. fonte: Mandarinino e Pessoa [2017]

	{0}	Fraco	Regular	Bom	Superior
Ir	1	1	0	-1/2	-1
LC	-1/2	0	1	0	-1/2
C	-1	-1/2	0	1	0
Cr	-1	-1	-1/2	0	1

2.3. Modelo multicritério

O presente trabalho se destina a efetuar um teste de conceito. Portanto, imaginamos um contexto fictício no qual teríamos uma área de interesse, a qual precisa de proteção, e onde são esperadas embarcações, que não estejam fornecendo seus dados aos sistemas de acompanhamento, e que possuam características específicas.

Objetiva-se que as embarcações reconhecidas por satélite sejam classificadas quanto a uma prioridade para esclarecimento por equipes de controle. Este estabelecimento de prioridade direciona para as embarcações mais próximas do perfil esperado, possibilitando que as equipes de controle utilizem seus recursos mais racionalmente, e tenham maior eficiência.

Por outro lado, a adoção da metodologia coppe-cosenza traz proximidade de variáveis linguísticas, as quais podem ser mais facilmente entendidas pelos especialistas de domínio, facilitando a construção do modelo e a interpretação de resultados.

O modelo destina-se a uma ordenação de alternativas, considerando-se os seguintes critérios:

- Proximidade - a proximidade da embarcação ao ponto de interesse a ser protegido, quanto mais próxima a embarcação maior o risco pois há menos tempo para confirmar se a embarcação é ou não uma ameaça. Foi considerada a variável linguística de necessidade Crítica (Cr).

- Comprimento - característica física da embarcação. A ameaça esperada tem característica de comprimento definida. Quanto mais distantes desta característica, menos provável que a embarcação seja a ameaça esperada. Foi considerada a variável linguística de necessidade Pouco Condicionante (LC).
- Boca - característica física da embarcação. A ameaça esperada tem dimensão da boca definida. Quanto mais distante desta característica, menos provável que a embarcação seja a ameaça esperada. Foi considerada a variável linguística de necessidade Pouco Condicionante (LC).
- Discrepância Acompanhamento - os sistemas de tráfego marítimo recebem informações das embarcações, quanto mais díspares das informações fornecidas, ou quanto mais tempo sem informação válida, mais risco que a embarcação represente a ameaça. Foi considerada a variável linguística de necessidade Crítica (Cr).

Para que a aplicação das variáveis linguísticas tenha uma representação adequada, a adaptação apresentada na tabela 2 é apresentada:

Tabela 2: Variáveis linguísticas adaptadas. Fonte: autores

	Proximidade	Comprimento	Boca	Discrepância acompanhamento
Fraco	Muito Distante (MD) (>30km)	Muito pequeno (MP) (<75m)	Muito pequena (MP) (<15m)	Informação Precisa (IP)
Regular	Distante (D) (10-30km)	Adequado (AD) (75-150m)	Adequada (AD) (15-30m)	Informação Atual (IAt)
Bom	Próximo (P) (2-10km)	Grande (G) (150m-200m)	Grande (G) (30-40m)	Informação Antiga (IAn)
Superior	Muito próximo (MP) (<2km)	Muito Grande (MG) (>200m)	Muito Grande (MG) (>40m)	Sem Informação (SI)

Representa-se assim que a ameaça esperada é uma embarcação com comprimento próximo ao intervalo de 75-150m e com boca próxima a faixa de 15-30m. Considerando-se mais relevante a embarcação quanto mais próxima do ponto de interesse (por reduzir o tempo de reação), e quanto maior a discrepância em relação às informações de acompanhamento. Quanto este último critério, sendo este trabalho uma prova de conceito, os valores foram sorteados aleatoriamente para as alternativas.

3. Resultados

3.1. Reconhecimento da Embarcação

Utilizando as técnicas de processamento de imagens descritas na figura 4, em imagens contendo um total de 144 embarcações, considerando o filtro de área com limite superior de 380x76 m, obteve-se 96,5% de verdadeiros positivos, porém, grande quantidade de falsos positivos (FP) 50,7%.

Quando aplicado o filtro de área com limite inferior de 40x15m e limite superior de 380x76m, foi encontrado um percentual menor de embarcações, porém, obteve-se uma melhora em relação ao total de falso positivos.

A tabela 3 sintetiza estes resultados. Em ambos os casos, nuvens, estruturas e ondas foram responsáveis por muitos falsos positivos e falsos negativos, em alguns casos a onda gerada por um navio foi detectada como parte de uma embarcação.

Tabela 3: Verdadeiros Positivos, Falsos Positivos e Falsos Negativos. fonte: Autores

	VP	FP	FN.
LS (380x76m)	96,5%	50,7%	25,7%
LI(40x15m) e LS (380m x 76m)	93,2%	22,0%	6,7%

Exemplos de imagens de saída do software de reconhecimento de imagens são mostrados nas figuras 5 e figura 6. Pode-se observar os objetos enquadrados com seu comprimento e boca calculados. Para isso, foi necessário subtrair 10 m de cada medida devido a linha adicionada no enquadramento.



Figura 5: Imagem 1 de saída do software de reconhecimento de imagens fonte: Autores

A Rede Neural Convolucional implementada conseguiu identificar os objetos apresentados com acurácia de 90%, e desvio padrão de 7,61%, sendo capaz de diferenciar as embarcações em relação a objetos espúrios como nuvens, trechos de continentes e rastros de embarcações, errando apenas pequenos objetos que dificilmente seriam identificados visualmente.

Foram identificadas 97 embarcações, classificadas segundo as variáveis linguísticas apre-

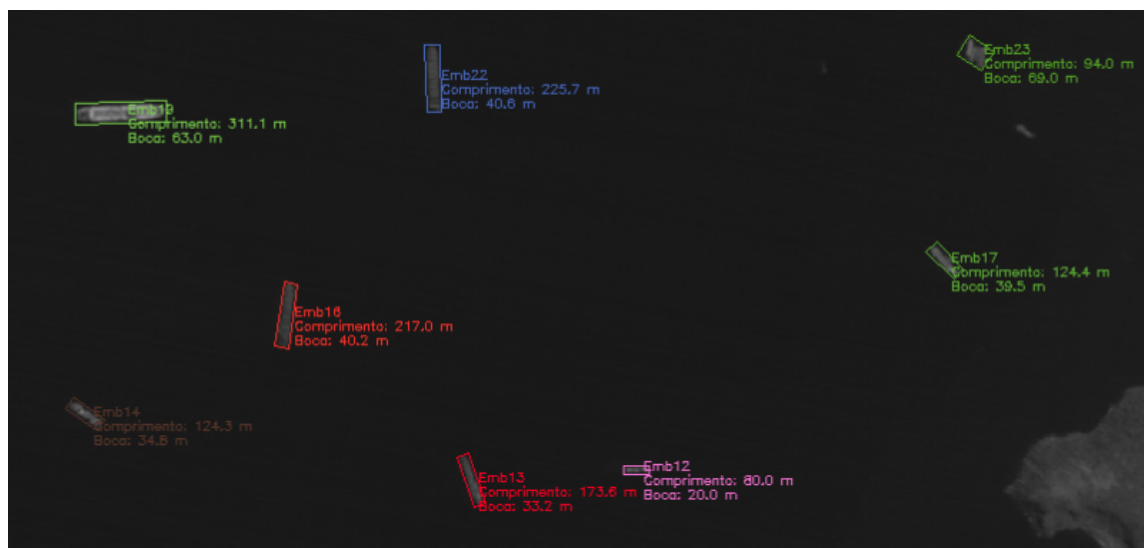


Figura 6: Imagem 2 de saída do software de reconhecimento de imagens fonte: Autores

sentadas, relacionadas no apêndice. Posteriormente as alternativas foram avaliadas de acordo com cada critério e ordenadas.

A tabela 04 apresenta a ordenação das onze primeiras alternativas, as quais teriam prioridade para análise.

Tabela 4: Ordenação das primeiras alternativas

Embarcação	Informação	Proximidade	Comprimento	Boca	Avaliação
32	SI	P	A	A	3
41	SI	P	A	A	3
18	SI	P	G	A	2
28	IP	MP	A	A	2
52	SI	MP	G	G	2
54	SI	MP	G	G	2
85	SI	P	P	A	2
46	SI	MP	MG	G	1,5
49	SI	MP	MG	G	1,5
55	SI	MP	MG	G	1,5
87	SI	P	MG	A	1,5

Não obstante a ocorrência de diversos empates, o modelo é suficiente para estabelecer uma redução considerável no espaço das alternativas, de modo a priorizar os recursos de inspeção, de acordo com os critérios e avaliações do especialista de domínio.

4. Discussão e Conclusões

O trabalho, enquanto prova de conceito da viabilidade, de utilização conjunta de técnicas de reconhecimento de imagens associadas a metodologia multicritério Coppe Cosenza, atingiu os objetivos propostos, conseguindo identificar possíveis embarcações, delas extrair características para identificação e efetuar a ordenação de embarcações a serem verificadas por equipe de controle.

Os resultados de reconhecimento de imagem mostraram melhores desempenho da técnica de rede neural convolucional, neste conjunto de dados. Desta forma seria interessante a expansão da técnica para outros conjuntos de imagens, como por exemplo imagens SAR obtidas por aeronaves de monitoramento, a serem exploradas em trabalhos futuros.

Não obstante os dados de acompanhamento terem sido somente simulados neste trabalho, futuros desenvolvimentos também podem ser dedicados para a correlação de dados de sistema de acompanhamento, tal qual o SISTRAM, a imagens satelitais, esperando-se que este trabalho tenha sido o primeiro passo para esta finalidade.

Finalmente a articulação das técnicas de reconhecimento a metodologias multicritério permite que o especialista de domínio possa manusear os resultados de reconhecimento, de uma maneira mais próxima do seu entendimento, utilizando variáveis linguísticas, e com resultados mais facilmente interpretáveis.

Referências

- Cosenza, C. A. N., Doria, F. A., e Pessôa, L. A. M. (2015). Hierarchy models for the organization of economic spaces. *Procedia Computer Science*, 55:82–91.
- Lima Filho, W. P. (2011). A Amazônia Azul e os desafios para a defesa nacional no século XXI. *Cadernos de Estudos Estratégicos*, 10:69–122.
- Mandarino, F. e Pessôa, L. A. M. (2017). Indicador de capacitação em um setor de produção cartográfica com alta rotatividade de pessoal. In *Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Cartografia*.
- Marinha do Brasil (2018a). Amazônia Azul. URL <https://www.marinha.mil.br/content/amazonia-azul-1>.
- Marinha do Brasil (2018b). Histórico. URL <https://www.marinha.mil.br/salvamarbrasil/Historico/hist\%C3%B3rico>.
- Marinha do Brasil (2018c). Salvamar Brasil. URL <https://www.marinha.mil.br/salvamarbrasil/>.
- Pessôa, L. A. M. (2015). *Multimetodologias Aplicadas para o equilíbrio de oferta e demanda de oficiais da Marinha Mercante*. PhD thesis, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Pessôa, L. A. M., Collazo, R. A., Torres, L. C., e Ferreira Filho, V. J. M. (2009). As Novas Fronteiras do Petróleo Brasileiro. In *ENEGEP*.
- Yang X., F. K. Y. J. S. X. Y. M. G. Z., Sun H. (2018). Automatic ship detection in remote sensing images from Google Earth of complex scenes based on multi scale rotation dense feature pyramid networks. *Remote Sens.*, 10(1):132.

Zhang, R., Yao, J., Zhang, K., Feng, C., e Zhang, J. (2016). S-cnn-based ship detection from high-resolution remote sensing images. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 41.

A. Embarcações - Características e avaliação

Embarcação	Informação	Proximidade	Comprimento	Boca	Avaliação
1	Ian	MD	G	A	0
2	SI	MD	MG	G	-0,5
3	IP	MD	P	P	-2
4	IP	MD	MG	G	-2,5
5	Iat	MD	G	A	-0,5
6	Ian	D	P	A	0,5
7	Ian	D	G	G	-0,5
8	Ian	D	MG	G	-1
9	SI	D	P	P	0,5
10	IP	D	MG	G	-2
11	Ian	D	MG	MG	-1,5
12	Ian	D	MG	G	-1
13	Iat	P	A	P	0,5
14	IP	P	MG	G	-1,5
15	Ian	P	P	G	0
16	Ian	P	MG	MG	-1
17	SI	P	MG	MG	0
18	SI	P	G	A	2
19	SI	P	MG	G	0,5
20	Ian	P	G	G	0
21	IP	P	MG	MG	-2
22	Ian	P	G	G	0
23	Ian	P	MG	G	-0,5
24	Iat	P	P	P	-0,5
25	Ian	P	MG	MG	-1
26	Ian	P	MG	MG	-1
27	SI	P	G	G	1
28	IP	MP	A	A	2
29	IP	P	MG	MG	-2
30	IP	MP	MG	MG	-1
31	Iat	MP	MG	G	0
32	SI	P	A	A	3
33	IP	MP	G	G	0
34	Ian	MP	MG	G	0,5
35	Ian	P	G	G	0
36	IP	P	G	G	-1

37	Iat	MP	MG	G	0
38	Iat	MP	G	G	0,5
39	IP	P	MG	G	-1,5
40	SI	MP	MG	MG	1
41	SI	P	A	A	3
42	Iat	P	MG	G	-1
43	SI	P	MG	G	0,5
44	IP	P	G	G	-1
45	Ian	MP	G	G	1
46	SI	MP	MG	G	1,5
47	Iat	MP	G	G	0,5
48	Iat	MP	MG	G	0
49	SI	MP	MG	G	1,5
50	Iat	MP	G	G	0,5
51	Iat	MP	G	G	0,5
52	SI	MP	G	G	2
53	Iat	MP	G	G	0,5
54	SI	MP	G	G	2
55	SI	MP	MG	G	1,5
56	Ian	MP	G	G	1
57	IP	P	MG	G	-1,5
58	Iat	P	G	G	-0,5
59	Iat	P	G	G	-0,5
60	IP	P	G	G	-1
61	Ian	P	G	G	0
62	Ian	P	MG	G	-0,5
63	Iat	P	MG	MG	-1,5
64	Iat	P	G	A	0,5
65	Iat	P	MG	G	-1
66	SI	P	MG	G	0,5
67	Iat	P	MG	G	-1
68	Ian	P	A	G	1
69	IP	P	G	G	-1
70	IP	P	A	A	1
71	Ian	P	G	A	1
72	SI	P	MG	G	0,5
73	Ian	P	P	P	0
74	Iat	P	G	G	-0,5
75	Ian	P	P	A	1
76	SI	P	G	P	1
77	IP	P	MG	MG	-2
78	IP	P	A	A	1

79	IP	P	MG	G	-1,5
80	IP	P	P	A	0
81	SI	P	MG	MG	0
82	IP	P	A	G	0
83	Ian	P	MG	MG	-1
84	Iat	P	MG	MG	-1,5
85	SI	P	P	A	2
86	Iat	P	MG	MG	-1,5
87	SI	P	MG	A	1,5
88	Ian	P	MG	MG	-1
89	IP	P	P	P	-1
90	Ian	P	MG	G	-0,5
91	SI	P	MG	MG	0
92	Ian	D	MG	A	0
93	IP	P	MG	MG	-2
94	Iat	P	MG	G	-1
95	IP	P	G	G	-1
96	IP	D	MG	MG	-2,5
97	SI	D	MG	G	0