



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

AUDREY AMORIM CORRÊA

USO DE IMAGENS DE SATÉLITE PARA LOCALIZAR BALEIAS-FRANCA-AUSTRAL (*Eubalaena australis*) EM ÁREA REPRODUTIVA NO ATLÂNTICO SUL OCIDENTAL



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIAS AMBIENTAIS
UNISUL/PPGCA

Palhoça, 2019

AUDREY AMORIM CORRÊA

USO DE IMAGENS DE SATÉLITE PARA LOCALIZAR BALEIAS-FRANCA-AUSTRAL (*Eubalaena australis*) EM ÁREA REPRODUTIVA NO ATLÂNTICO SUL OCIDENTAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, como quesito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais

Orientadora: Dra. Patricia P. B. Eichler
Co-orientador: Dr. André S. Barreto

Palhoça, 2019

C84 Corrêa, Audrey Amorim, 1984-
 Uso de imagens de satélite para localizar baleias-franca-austral
 (*Eubalaena australis*) em área reprodutiva no Atlântico Sul Ocidental /
 Audrey Amorim Corrêa. – 2019.
 73 f. : il. color. ; 30 cm.

 Dissertação (Mestrado) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Pós-
 graduação em Ciências Ambientais, Palhoça, 2019.
 Orientação: Profa. Dra. Patricia P. B. Eichler.
 Coorientação: Prof. Dr. André S. Barreto

 1. Baleia franca austral. 2. Vida selvagem - Conservação - Brasil. 3.
 Satélites artificiais em sensoriamento remoto. I. Eichler, Patricia Pinheiro
 Beck. II. Barreto, A. S. (André S.). III. Universidade do Sul de Santa
 Catarina. IV. Título.

CDD (21. ed.) 599.5

Ficha catalográfica elaborada por Carolini da Rocha CRB 14/1215



UNISUL

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS –
MESTRADO



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIAS AMBIENTAIS
UNISUL/PPGCA

ATA Nº13/2019 DE DEFESA PÚBLICA DE DISSERTAÇÃO

Aos onze dias do mês de novembro de dois mil de dezenove, às catorze horas, na sala de videoconferência do Campus Unisul Virtual da Universidade do Sul de Santa Catarina, foi realizada a sessão pública de apresentação e defesa de Dissertação de Mestrado de **Audrey Amorim Corrêa**, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais, de acordo com o Regimento Interno do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais - PPGCA. A comissão avaliadora foi composta pelos seguintes professores: - Dra. Patricia Pinheiro Beck Eichler, orientadora e presidente da banca; - Dr. André Silva Barreto, co-orientador, da Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI); - Dra. Liliane Ferreira Lodi, avaliadora externa, do Instituto Mar Adentro, presente por videoconferência; - Dr. Rogério Santos da Costa, avaliador interno, da Universidade do Sul de Santa Catarina (UNISUL). A dissertação tem como título: **“USO DE IMAGENS DE SATÉLITE PARA LOCALIZAR E QUANTIFICAR BALEIAS FRANCA (*Eubalaena australis*) NA ÁREA REPRODUTIVA DO BRASIL”**. Área de concentração: Tecnologia, Ambiente e Sociedade e linha de pesquisa: Tecnologia & Ambiente. Após a apresentação, a mestranda foi arguida pelos professores da banca. Feitos os questionamentos e ouvidas as explicações, a banca avaliadora emitiu o seguinte parecer:

- ☒ Aprovado
☐ Aprovado condicionado
☐ Reprovado

Obs: _____

Nada mais havendo a tratar, foram encerrados os trabalhos e, após lida, foi a presente ata assinada pela Mestranda, pelos membros da Comissão Avaliadora presentes e pela presidente da sessão em nome da avaliadora presente por videoconferência.

Dra. Patricia Pinheiro Beck Eichler: _____,

Dr. André Silva Barreto: _____,

Dra. Liliane Ferreira Lodi: _____,

Dr. Rogério Santos da Costa: _____,

Discente Audrey Amorim Corrêa: Audrey Amorim Corrêa.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da UNISUL e ao Programa de Suporte à Pós-Graduação de Instituições Comunitárias de Ensino Superior (PROSUC) da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida. À minha orientadora Dra. Patricia P. B. Eichler por aceitar o desafio de me orientar, por todos os ensinamentos, conselhos, trocas e amizade. Ao meu co-orientador Dr. André S. Barreto por aceitar me co-orientar a distância, por todos os ensinamentos, contribuições e conselhos. Ao Dr. Sergio A. Netto por suas orientações acertivas e sugestão de professor orientador. Ao prof. João H. Quoos, meus sinceros agradecimentos por todos os ensinamentos sobre geoprocessamento e por mergulhar comigo nas imagens de satélite para localizar as baleias franca, por todas as discussões, descobertas, contribuições e amizade. A empresa *Planet Labs Inc.* pelas imagens de satélite cedidas. A Dra. Karina R. Groch por disponibilizar os dados de sobrevoo do Instituto Australis. Ao Dr. Felipe Rego pelo auxílio com a análise das matrizes de distância no R. Aos membros da banca Dra. Liliane F. Lodi e Dr. Rogério S. da Costa por aceitarem o convite e contribuírem com este trabalho. À turma da carona (André, Cíntia, Renata, Thábata e Tuane) pela parceria. Um agradecimento especial à minha mãe Luizete, sogra Nadir e companheiro Luiz Antonio que deram assistência a meus filhos durante minha ausência. Dedico este trabalho a meus filhos Noah e Gael, e meu companheiro Luiz Antonio, que foram meu combustível e meus amigos em todos os momentos. Amo vocês! Este trabalho também é dedicado às baleias franca, esta espécie que me encanta há 17 anos. Desejo profundamente que este trabalho contribua para a pesquisa e conservação destes animais. À todos que contribuíram direta ou indiretamente para este trabalho, muito obrigada!

INTRODUÇÃO GERAL

Esta dissertação foi estruturada em duas seções, composta por uma versão em português e outra em inglês da mesma pesquisa. A versão em português de o título “Uso de imagens de satélite para localizar baleias-franca-austral (*Eubalaena australis*) em área reprodutiva no Atlântico Sul Ocidental” deverá ser submetida de forma reduzida à Revista Brasileira de Biologia com o intuito de atingir um público da área de biologia e também de disciplinas afins, possibilitando o conhecimento para grande parcela da sociedade que ainda não tem conhecimento de uma segunda língua. Já a versão em inglês com o título “Use of satellite imagery to identify southern right whales (*Eubalaena australis*) at a breeding area of Southwest Atlantic Ocean” será submetida à Marine Mammal Science, visando atingir um público mais especializado na área de mamíferos marinhos.

Uso de imagens de satélite para localizar baleias-franca-austral (*Eubalaena australis*) em área reprodutiva no Atlântico Sul Ocidental

AUDREY A. CORRÊA¹

JOÃO H. QUOOS²

ANDRÉ S. BARRETO³

KARINA R. GROCH⁴

PATRICIA P. B. EICHLER¹

1 - Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, UNISUL. Palhoça/SC, Brazil.
audreyamorimcorrea@gmail.com

2 - Lab. de Meio Ambiente e Geomática, IFSC. Campus Garopaba/SC, Brazil.

3 - Lab. de Informática da Biodiversidade e Geoprocessamento, UNIVALI, R. Uruguai
458, CEP 88302-901, Itajaí/SC, Brazil.

4 - Instituto Australis de Pesquisa e Monitoramento Ambiental, Imbituba/SC, Brazil.

RESUMO

Imagens de satélite vem sendo utilizadas para aprimorar a pesquisa científica em todo o mundo. A população de baleias-franca-austral que ocorre na região sul do Brasil durante o período reprodutivo foi selecionada para testar o uso de imagens de satélite de baixa, média e alta resolução para localizar baleias comparando com dados de sobrevoo coletados *in situ* pelo Instituto Australis. Uma imagem de alta resolução do satélite SPOT 7 disponível através do *Google Earth* apresentou os melhores resultados, possibilitando observação do formato e partes do corpo dos animais. O teste U de Mann-Whitney entre o número de pontos registrados nas imagens de satélite de anos distintos não apresentou diferença significativa dos registros de baleias realizados através dos sobrevoos,

considerando o número de grupos (p -level = 0.8412) e o número total de animais (p -level = 0.2222). Além disso, as posições geográficas registradas nos sobrevoos e nos pontos registrados como definitivas, prováveis e possíveis baleias foram similares. O resultado do teste de Mantel foi estatisticamente significativo ($r = 0.52$; $p = 0.001$; $n = 13$). Esta é a primeira vez que imagens de satélite foram usadas para localizar baleias franca na área reprodutiva do Brasil. A técnica utilizada se mostrou viável para localizar as baleias, assim o uso de imagens de satélite trata-se de uma importante ferramenta especialmente em países cujas verbas para pesquisa são escassas.

Palavras-chave: *Eubalaena australis*, sensoriamento remoto, Área de Proteção Ambiental da Baleia Franca, Sul do Brasil.

INTRODUÇÃO

As águas do oceano Atlântico Sul no Brasil são uma importante área reprodutiva de baleias-franca-austral (*Eubalaena australis*). A espécie ocorre especialmente nas regiões sul e sudeste (Lodi e Bergallo, 1984; Santos *et al.*, 2001) todos os anos no período de inverno e primavera, sendo o sul do Brasil a região que utilizam para acasalamento, dar à luz e amamentar seus filhotes (Groch *et al.*, 2005; Seyboth *et al.*, 2015.). Após serem extensamente caçadas por quase 400 anos (Palazzo and Carter, 1983), esta população vem sendo estudada e monitorada desde 1982 e apresenta sinais de recuperação (Groch *et al.*, 2005; IWC, 2012). Estimativas recentes para as principais áreas de reprodução no Hemisfério Sul apresentam crescimento populacional de 12% ao ano (IWC, 2012) e atualmente o Catálogo Brasileiro de Baleias Franca possui 1009 indivíduos foto-identificados (*dados não publicados, Instituto Australis*). A espécie é listada na *International Union for Conservation of Nature - IUCN* na categoria de “menor

preocupação” (IUCN, 2019). Entretanto, a espécie consta na Lista de Espécies de Fauna Ameaçada de Extinção do Brasil (MMA, 2014), no Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção (ICMBio, 2018) e na Lista de Espécies da Fauna Ameaçadas de Extinção do Estado de Santa Catarina (FATMA, 2014).

Uma unidade de conservação federal criada por Decreto Federal sem nº em 14 de setembro de 2000, denominada Área de Proteção Ambiental da Baleia Franca, foi estabelecida visando proteger a principal área de ocorrência desta população no litoral brasileiro, com atributos para gestão e manejo dos recursos naturais, ocupação costeira, atividades turísticas e esportivas, pesquisa e o trânsito de embarcações e aeronaves durante o período de ocorrência dos animais (ICMBio, 2019). Esta região é caracterizada por águas rasas e enseadas abrigadas onde especialmente os pares de fêmeas com filhotes permanecem muito próximos à superfície e podem ser observados por vários dias na mesma enseada ou ao longo de alguns quilômetros da costa durante semanas, movendo-se lentamente de uma enseada para outra (Groch, 2000; Groch, 2005).

Atualmente, os estudos de distribuição, uso de habitat e estimativa populacional de cetáceos são realizados a partir de plataformas como helicópteros (Kaschner *et al.*, 2012), embarcações (Moura *et al.*, 2012) ou pontos estratégicos em terra (Seyboth *et al.*, 2015). Recentemente, o uso de drones também foi incorporado como um método para estes estudos (Hodgson *et al.*, 2013). Sabemos que alguns destes métodos possuem custo elevado e a maioria deles envolve uma grande logística. A possibilidade de inserir novas técnicas, especialmente de baixo custo, com boa área de cobertura e disponibilidade quase que diária, amplia os horizontes da pesquisa.

O recente aprimoramento da tecnologia de satélites amplia o uso do sensoriamento remoto para monitoramentos ambientais, incluindo a localização e contagem de populações animais, podendo atuar como ferramenta para ações de pesquisa e

conservação (Turner *et al.* 2003; Leimgruber *et al.* 2005; LaRue *et al.*, 2016). Imagens de satélite vêm sendo utilizadas como ferramenta para o monitoramento de grandes baleias e pesquisas através de imagens comerciais foram recentemente realizadas em países como Austrália com baleias jubarte (*Megaptera novaeangliae*) (Cubaynes *et al.*, 2019), Argentina com baleias franca (*Eubalaena australis*) (Fretwell *et al.*, 2014; Cubaynes *et al.*, 2019), México com baleias cinzenta (*Eschrichtius robustus*) e no mar Mediterrâneo com baleias fin (*Balaenoptera physalus*) (Digital Globe, 2017).

As populações de grandes cetáceos são elementos essenciais para a conservação da biodiversidade e a gestão ambiental dos ecossistemas pois são indicadores de saúde e produtividade destes ambientes (Katona e Whitehead, 1988). O uso de imagens de satélite para localizar baleias-franca-austral na área reprodutiva do Brasil surge como mais uma ferramenta de pesquisa e monitoramento.

Este trabalho testou o uso de imagens de satélite de baixa, média e alta resolução para localizar baleias franca na enseada de Ribanceira/Ibiraquera, uma área preferencial e a enseada com maior densidade de baleias franca no Brasil (Seyboth *et al.*, 2015; Renault-Braga *et al.*, 2018), e comparar com dados de sobrevoo *in situ* coletados pelo Instituto Australis para verificar a eficiência da metodologia aplicada.

MÉTODOS

Área de Estudo

A área de estudo abrange a enseada de Ribanceira/Ibiraquera (28°10'S - 48°39'W), com extensão de aproximadamente 5,15km, situada em Imbituba no litoral centro-sul do estado de Santa Catarina, Brasil (Fig. 1). Esta área é localizada na parte central da Área de Proteção Ambiental da Baleia Franca (*material suplementar*). A praia é classificada como dissipativa (Silveira *et al.*, 2011) e a declividade da face praial varia entre 3 e 5

graus (Berlloito and Sarolli, 2008). A distância entre os promontórios e o comprimento do arco praial é de ~4,50 e ~6,30 km, respectivamente, com grau de embaçamento de 0,71 e orientação da praia em relação ao norte de 110 graus. A distância entre a linha de costa e a isóbata de 20 metros é em média de 4,5 km. Na porção norte da enseada, a distância entre a linha de costa e a isóbata de 20m é maior, evidenciando aumento da declividade da face praial. Os ventos predominantes na região são o Nordeste e os do quadrante Sul (INMET, 2019).

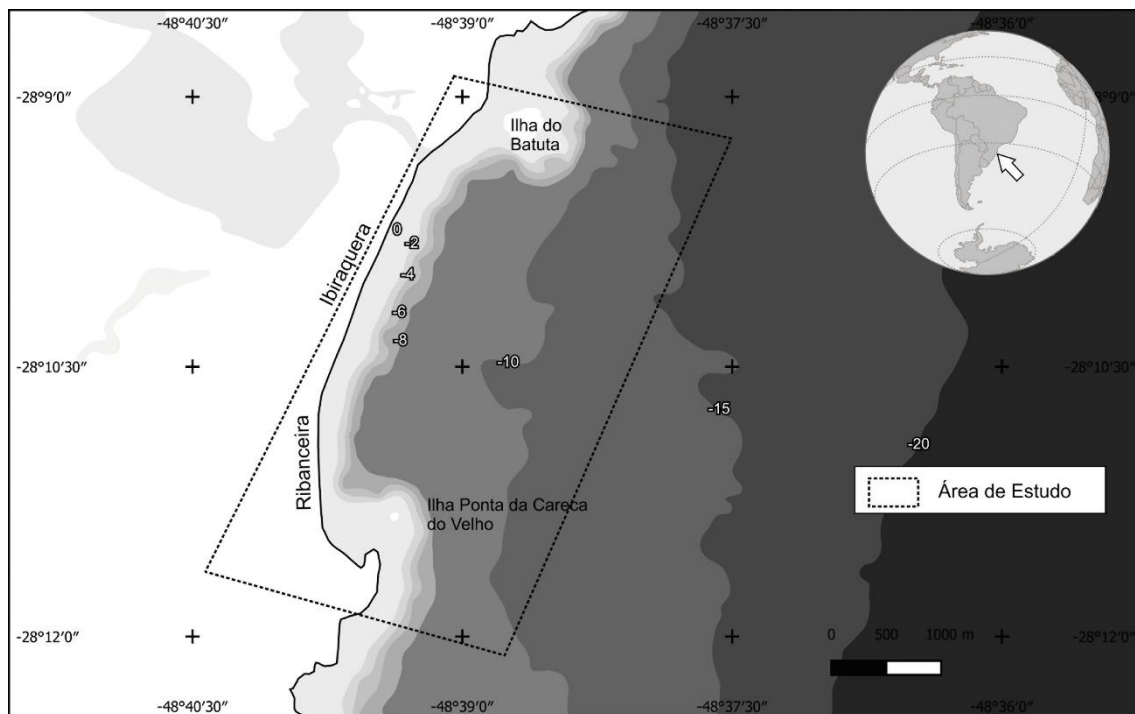


Figura 1. Localização da área de estudo, enseada de Ribanceira/Ibiraquera (Imbituba-Santa Catarina, Brasil). O contorno apresenta o recorte utilizado para análise das imagens.

Seleção das Imagens

Imagens de satélites de uma área preferencial de baleia franca durante o período reprodutivo no sul do Brasil foram selecionadas para esta pesquisa. O trabalho teve início

com a busca por imagens com boa frequência temporal e de fácil acesso. Entre as imagens de fácil acesso e processamento estão as da empresa americana *Planet Labs Inc.*, que disponibilizou a pesquisa ao acervo de imagens de média resolução espacial de um conjunto de satélites que operam sob seu domínio. Estas imagens são disponibilizadas completas em formato TIFF, ou seja, formatos de arquivos de imagens digitais que contém a totalidade dos dados da imagem tal como captada pelo sensor do satélite.

O conjunto de satélites *RapidEye* apresenta imagens com resolução espacial de 5 metros o pixel para as bandas da faixa espectral do visível, e o conjunto de satélites *PlanetScope* apresenta imagens com resolução espacial de 3 metros o pixel para a mesma faixa espectral (*Planet Labs Inc.*, 2019), as quais classificamos como de média resolução. Para o uso de imagens de satélites multiespectrais e de baixa resolução espacial, as pesquisas em ciências naturais também podem utilizar o serviço gratuito de imagens como as oferecidas pela NASA (satélite *Landsat 8*) e ESA (satélite *Sentinel 2*).

Outra possibilidade para acesso às imagens que permitem a detecção supervisionada ocorre por meio do software *Google Earth* que apresenta em geral imagens de alta resolução, porém compactadas em formato JPEG, ou seja, com perda do detalhamento do pixel, mas com percepção de formas preservada, e de baixa resolução temporal. No presente trabalho foi utilizada uma imagem capturada no *Google Earth* da área de estudo em data com ocorrência de baleias franca. A imagem selecionada é do satélite *SPOT 7* de domínio da *French Space Agency (CNES/Airbus)*, e apresenta resolução espacial de 50 centímetros o pixel, considerada como de alta resolução.

Dados de sobrevoos realizados pelo *Instituto Australis* para contagem e foto-identificação de baleias franca foram disponibilizados para comparar e testar a eficiência do uso das imagens de satélite para localizar baleias-franca-austral. Estes sobrevoos são realizados utilizando helicópteros modelo Bell Jet Ranger, e a data de vôo é definida com

base em critérios de condições ambientais estabelecidas como favoráveis. São avaliados principalmente velocidade do vento e estado do mar (escala *Beaufort* 1 a 3), visibilidade (boa a ótima) e cobertura de nuvens (maior disponibilidade de sol possível), que também são condições que influenciam na detecção de baleias a partir de imagens de satélite descritos de maneira similar em pesquisas anteriores (Cubaynes *et al.*, 2019; Fretwell *et al.*, 2014; Abileah, 2002). Os dados dos sobrevoos são compostos pelas seguintes informações: data, horário de início e fim da aproximação, coordenadas geográficas, local e composição do grupo de baleias franca avistado. Os animais são classificados em três categorias: fêmeas e filhotes (grupos contendo mães e seus filhotes), adultos (grupos contendo somente adultos, não acompanhados de filhotes) e subadultos (indivíduos juvenis) (Taber and Thomas, 1982).

A seleção das imagens para análise nesta pesquisa foi realizada a partir de uma série de dados de sobrevoos realizados entre 2009 e 2018 nos meses de setembro, período considerado pico da ocorrência da espécie na área reprodutiva do Brasil (Groch *et al.*, 2005; Seyboth *et al.*, 2015). A partir da comparação das datas dos sobrevoos e das imagens de satélite disponíveis, foram selecionadas imagens dos anos 2010, 2013, 2016, 2017 e 2018. Para 2018, selecionamos imagens de baixa, média e alta resolução espacial para análise, período em que uma grande quantidade de baleias foi registrada (*dados não publicados, Instituto Australis*). Para os demais anos, foram selecionadas para análise 5 imagens de satélite de média resolução espacial. Todas possuem diferença de no máximo dois dias entre a data do sobrevoo e da imagem de satélite (Tab. 1).

Tabela 1. Informações das imagens de satélite selecionadas dos anos de 2010, 2013, 2016-2018, datas de sobrevôo e imagens, nome dos satélites, e resolução e classificação destes.

Ano	Data Sobrevôo	Data Imagem	Satélite	Resolução	Classificação
2010	15-set	17-set	Rapid Eye	5m	Média resol.
2013	13-set	14-set	Rapid Eye	5m	Média resol.
2016	15-set	16-set	Planet Scope	3m	Média resol.
2017	19-set	20-set	Planet Scope	3m	Média resol.
2018	8-set	7-set	Planet Scope	3m	Média resol.
2018	8-set	7-set	CNES/Airbus	50cm	Alta resol.
2018	8-set	7-set	Landsat 8	15-30m	Baixa resol.
2018	8-set	7-set	Sentinel 2	10m	Baixa resol.

Método de Interpretação das Imagens

Inicialmente, todas as imagens de satélite selecionadas foram inseridas no programa *QGIS 3.2.3-Bonn* e recortadas numa área de 15,8 km² para análise na enseada de Ribanceira/Ibiraquera. Em seguida, foi realizada a composição das imagens onde foram efetuados ajustes de equilíbrio de histograma e realce. A imagem obtida através do *Google Earth* precisou ser georreferenciada no *QGIS*.

A partir das imagens e através do conhecimento de aspectos da biologia, comportamento e uso de habitat da espécie na região, um observador com experiência em observação de baleias, especialmente de baleias franca, identificou e contou visualmente todos os pontos de possíveis registros de baleias franca. Cada imagem (15,8 km²) levou aproximadamente 2 horas para ser examinada, e foi novamente revisada pelo mesmo

observador e por um geógrafo com experiência em análise de imagens de satélite, auxiliando na identificação de elementos nas imagens.

Sabendo que as fêmeas com filhotes apresentam deslocamentos mais lentos ao longo da costa do que adultos sem filhotes (Bannister, 1990; Burnell e Bryden, 1997; Rowntree *et al.*, 2001), que o tempo de mergulho observado na região costuma ser inferior a 10 minutos (Palazzo *et al.*, 2007) e que a velocidade média de deslocamento durante a permanência dos animais na região é estimada em 2 km/hr (Bopp, 2014), buscamos verificar se havia alguma semelhança entre os dados de sobrevoo e os pontos registrados na análise das imagens. Estes pontos foram classificados em: definitivo (quando foi possível visualizar uma baleia na superfície (no caso da imagem do *SPOT 7*)), provável (quando foi possível visualizar movimentação na água similar a de uma baleia e apresentou semelhança aos dados aéreos) e possível baleia (quando o pontos de registro apresentou similaridade aos dos classificados como prováveis). Esta classificação foi baseada na metodologia de Cubaynes e colaboradores (2019). Outros objetos como embarcações, afloramentos rochosos e interferências (resultado do processamento das imagens ou ruídos causados por elementos na atmosfera) também foram observados nas imagens de satélite, porém não apresentaram similaridade aos pontos de definitivo, provável e possível baleia com relação a tamanho, formato, coloração e localização do objeto.

Conforme descrito em trabalhos anteriores com uso de imagens de satélite de alta resolução (Fretwell *et al.*, 2014; Cubaynes *et al.*, 2019), neste trabalho a imagem de alta resolução serviu também para analisar o comportamento e a movimentação das baleias franca (Fig. 2a), que causam distúrbios na superfície da água (Cubaynes *et al.*, 2019), para posteriormente auxiliar na busca por padrões semelhantes nas imagens de média

resolução dos satélites *Planet Scope* e *RapidEye* (Fig. 2b), levando também em consideração a geomorfologia da área de estudo.

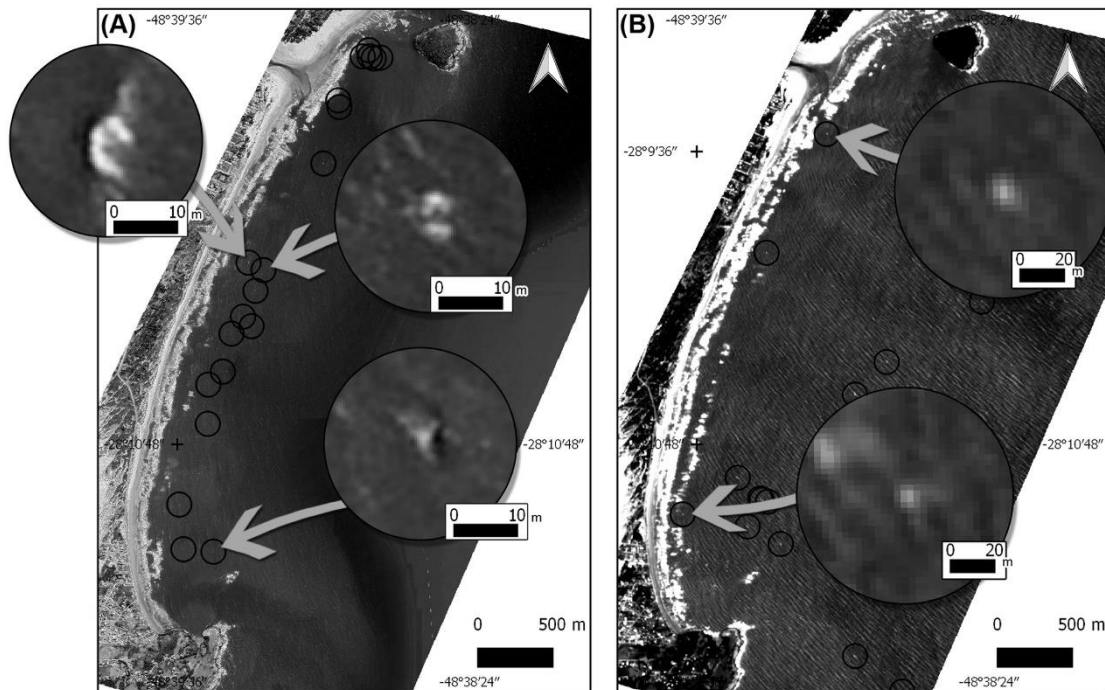


Figura 2. Imagem de alta resolução do satélite *SPOT 7* (A) com registros de definitivas baleias franca e visualização de indivíduos na superfície, e imagem de média resolução do satélite *Planet Scope* (B) com pontos de prováveis baleias franca. Os demais círculos representam outros objetos registrados nas imagens.

Uma escala gráfica personalizada foi criada em formato vetorial SVG para uso no QGIS, na proporção de 20m x 20m para servir de referência escalar na comparação visual dos pontos de registros de baleias em cada imagem. A escala foi utilizada como símbolo nos pontos registrados na imagem juntamente com um círculo de diâmetro 40 metros para indicar a área de visualização de cada ponto.

Nas imagens de satélite de média resolução foram coletadas amostras espectrais de pontos de registros de prováveis e possíveis baleias para aplicação de método de classificação não-supervisionada. As ferramentas utilizadas para a realização dos testes

foram os plug-ins *Semi-automatic Classification (SCP)* e *Dzetsaka*, ambos do programa *QGIS*.

O plug-in *SCP* possibilita a classificação pixel a pixel não-supervisionada de imagens, capturadas por diversos satélites. As ferramentas disponíveis realizaram o pré-processamento das imagens, o pós-processamento de classificações e cálculos para os mapas. Com este plug-in foram criadas áreas amostrais, denominadas de *ROIs (Regions of Interest)*, as quais foram salvas em formato shapefile. Assim, foram calculadas automaticamente as assinaturas espectrais que puderam ser visualizadas graficamente no histograma.

O *Dzetsaka* é um plug-in de resposta rápida que utiliza um modelo de mistura gaussiana para determinar as classes a partir de um arquivo raster, em conjunto com uma imagem de satélite e um arquivo vetorial de polígonos (shapefile) contendo as amostras com as classes previamente definidas. Desta forma, foram executados os algoritmos que resultaram em um outro arquivo raster classificado. Assim, o arquivo raster foi transformado em vetor, calculou-se o tamanho da área e foi gerado um mapa mostrando a distribuição das classes na área de estudo. Em ambos os plug-ins, as áreas foram classificadas em “baleia” e “água”.

Análises

Para avaliar a existência de diferenças significativas nos registros de baleias pelos diferentes métodos, o teste *U* de *Mann-Whitney* foi aplicado através do *software* Statistica v. 8.0 (Statsoft, 2007) comparando a quantidade de grupos e de baleias identificadas através de sobrevôo com os pontos gerados através da classificação supervisionada.

A correlação entre as coordenadas do sobrevoo de 2018 e a classificação supervisionada da imagem de satélite de alta resolução do mesmo ano foi calculada pelo

teste de *Mantel*. Para a classificação supervisionada foram eliminados pontos muito próximos uns dos outros ou cuja probabilidade de serem baleias eram baixas, buscando equilibrar o número de dados da classificação supervisionada com os do sobrevoo.

As matrizes de dissimilaridade foram obtidas por meio da distância euclidiana e a significância da correlação foi calculada após 999 randomizações no pacote *Vegan* (Oksanen *et al.*, 2016) do programa *R*.

RESULTADOS

Um total de 32 grupos de baleias franca contendo 80 indivíduos foram registrados com coordenadas geográficas e composição de grupos durante os sobrevoos de pesquisa do Instituto Australis no mês de setembro dos anos 2010, 2013, e 2016 a 2018. Estes dados foram utilizados como referência para testar o uso de imagens de satélite para localizar baleias franca em datas com até 2 dias de diferença de quando os voos foram realizados.

Foram registrados 43 objetos similares a baleias franca, sendo 19 definitivas, 5 prováveis e 19 possíveis baleias, utilizando o método de varredura manual imagens de satélite de média ($n=5$) e alta ($n=1$) resolução em datas com até 2 dias de diferença dos sobrevoos nos anos de 2010, 2013, 2016-2018, em uma área de 15,8km² (Fig. 3). Pode-se perceber que os pontos marcados nas imagens de satélite de certa forma acompanham a variação dos dados de sobrevoo (exceto em 2016) (Fig. 4).

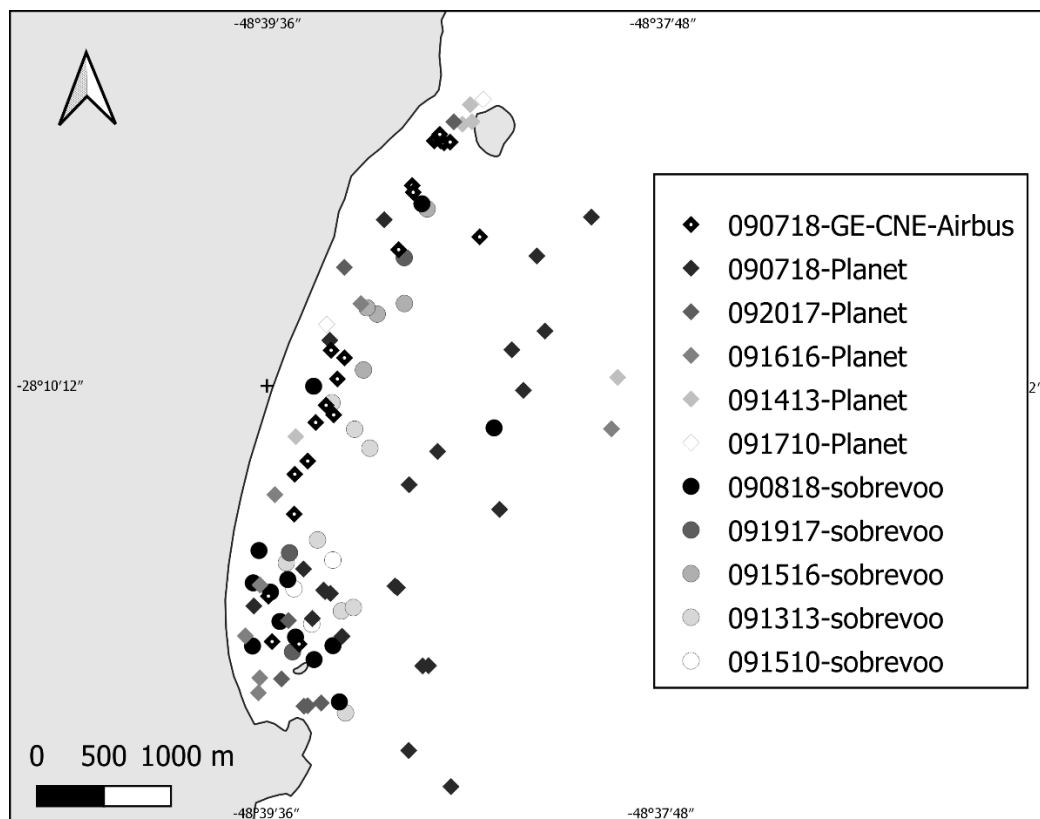


Figura 3. Mapa da área de estudo com todos os pontos de coordenadas marcados nos sobrevoos do Instituto Australis e nas imagens de satélite analisadas nos anos de 2010, 2013, 2016, 2017 e 2018.

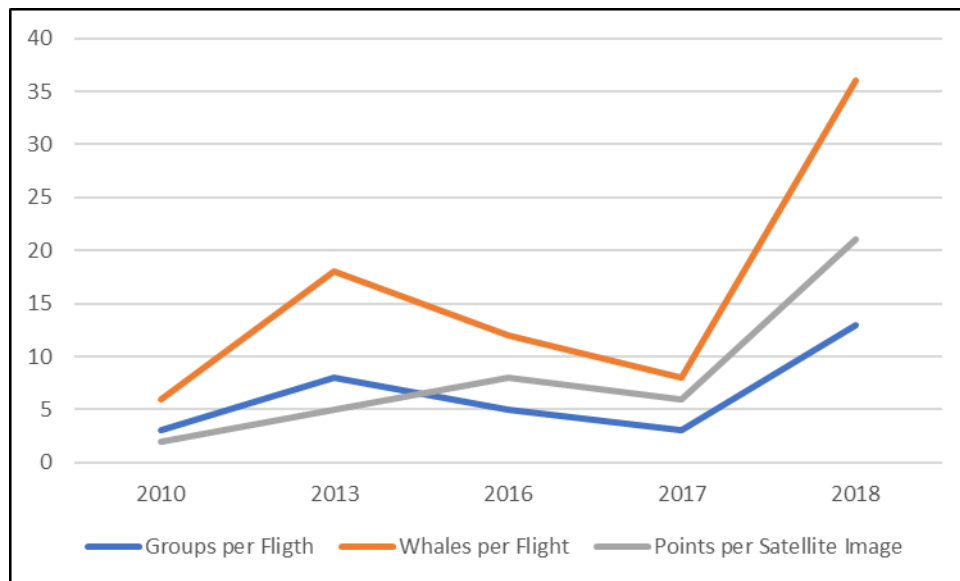


Figura 4. Registros de baleias franca por grupo e número total de indivíduos nos sobrevoos de pesquisa do Instituto Australis e número de pontos marcados como definitivas, possíveis ou prováveis baleias nas imagens de satélite analisadas na área de Ribanceira/Ibiraquera nos anos de 2010, 2013, 2016 – 2018.

A utilização da escala métrica evidenciou que todos os pontos registrados nas imagens de satélite apresentam tamanhos próximos ao de um indivíduo adulto de baleia franca. Apenas a imagem de alta resolução apresentou claramente os indivíduos, com observação de exposições de partes do corpo dos animais, visualizadas inicialmente no *Google Earth*.

Na imagem de alta resolução de 07 de setembro de 2018, do satélite *SPOT 7*, foram marcados 21 objetos classificados como 19 definitivas baleias e 2 possíveis baleias. Os registros permitiram a visualização das baleias franca na superfície (Fig.5), com observação de partes do corpo característicos da espécie como corpo negro e cauda larga e pontiaguda. Indivíduos adultos foram identificados na superfície da água, possibilitando a observação de estados comportamentais como natação e descanso, e ainda eventos comportamentais como salto e exposição caudal. Como a imagem estava em formato JPEG, não foi possível realizar amostragem para obtenção dos valores de radiância e não houve necessidade de ajuste de histograma.

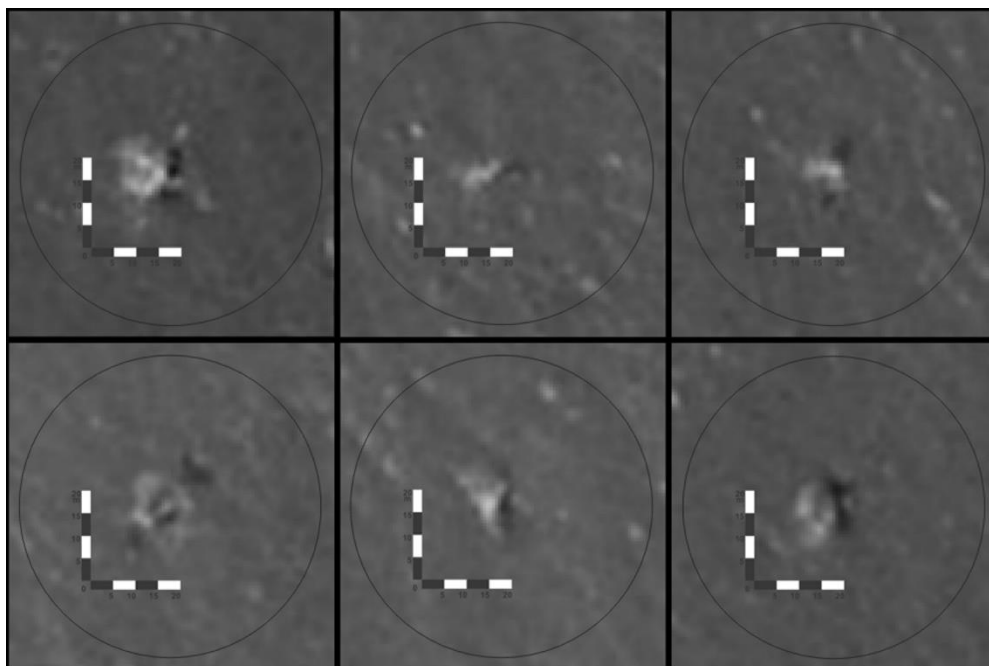


Figura 5. Objetos classificados como definitivas baleias franca, marcados com escala gráfica e círculo de diâmetro, registrados na imagem de satélite de alta resolução (SPOT 7, 07/09/2018).

Apesar do número relativamente baixo de registros, os resultados sugerem que não há diferença entre os métodos, indicando que o método de classificação supervisionada utilizado possui eficiência. O teste não-paramétrico U de Mann-Whitney aplicado para comparar o número de pontos registrados nas imagens de satélite dos diferentes anos não foi significativo tanto para a quantidade de grupos ($p\text{-level} = 0,8412$) como para o número total de baleias registradas no sobrevoo ($p\text{-level} = 0,2222$).

Além disso, as distâncias entre as posições geográficas registradas durante o sobrevoo e os pontos de prováveis e possíveis baleias na imagem de satélite de alta resolução de 2018 foram similares. O resultado do teste de Mantel foi estatisticamente significativo ($r = 0.52$; $p = 0.001$; $n = 13$), sendo que o valor de r indica que há correlação positiva entre as duas matrizes, sugerindo que uma acompanha a outra.

O teste de Mantel e o gráfico gerado mostraram que quanto maior a distância entre os pontos avistados no sobrevoo, maior a distância entre eles na imagem de satélite de alta resolução de 2018 (Fig. 6). Entretanto, a precisão da detecção dos pontos na imagem de satélite é menos precisa quando analisamos pontos que foram avistados a maiores distâncias um do outro.

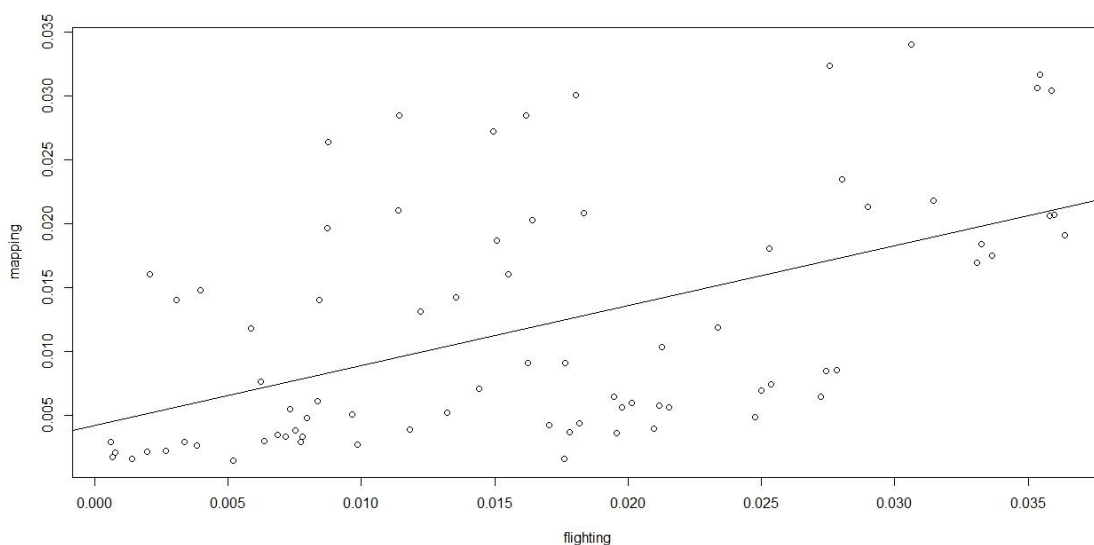


Figura 6. Gráfico gerado pelo teste de Mantel correlacionando as posições geográficas do sobrevoo e os pontos registrados na imagem de satélite de alta resolução de 2018.

As imagens classificadas nesta pesquisa como de média resolução, todas de domínio da empresa *Planet Labs Inc.*, possuem formato TIFF e receberam ajustes de autocontrole. Duas destas imagens, provenientes do conjunto de satélites *Rapid Eye*, das datas de 17 de setembro de 2010 e 14 de setembro de 2013, tiveram 2 objetos marcados (1 provável baleia; 1 possível baleia) e 5 objetos (2 prováveis baleias; 3 possíveis baleias), respectivamente (Fig. 7).

Em outras três imagens, desta vez capturadas pelo conjunto de satélites *Planet Scope*, foram marcados 6 objetos (5 prováveis baleias; 1 possível baleia) na data de 16 de setembro de 2016, 6 objetos (3 prováveis baleias; 3 possíveis baleias) em 20 de setembro

de 2017 e 23 objetos (13 prováveis baleias; 10 possíveis baleias) em 7 de setembro de 2018 (Fig. 8).

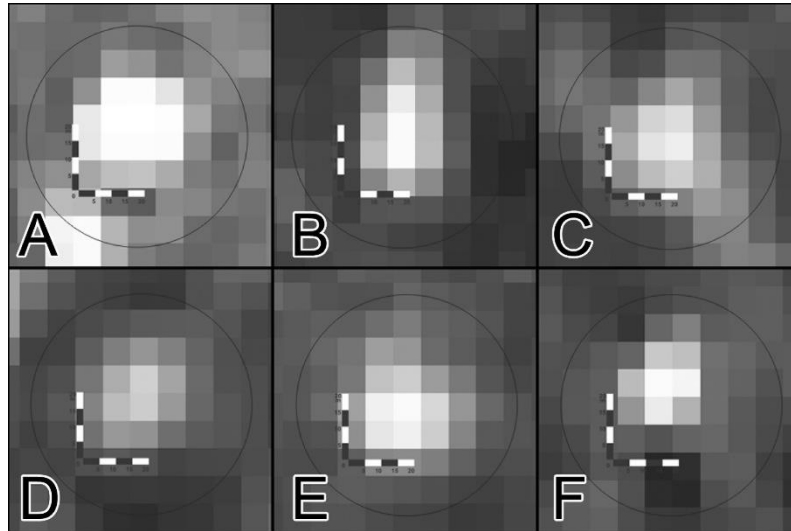


Figura 7. Objetos classificados como prováveis (D, E, F) e possíveis baleias (A, B, C), marcados com escala gráfica e círculo de diâmetro, registrados nas imagens dos satélites de média resolução (*RapidEye*, 17/09/2010 e 14/09/2013).

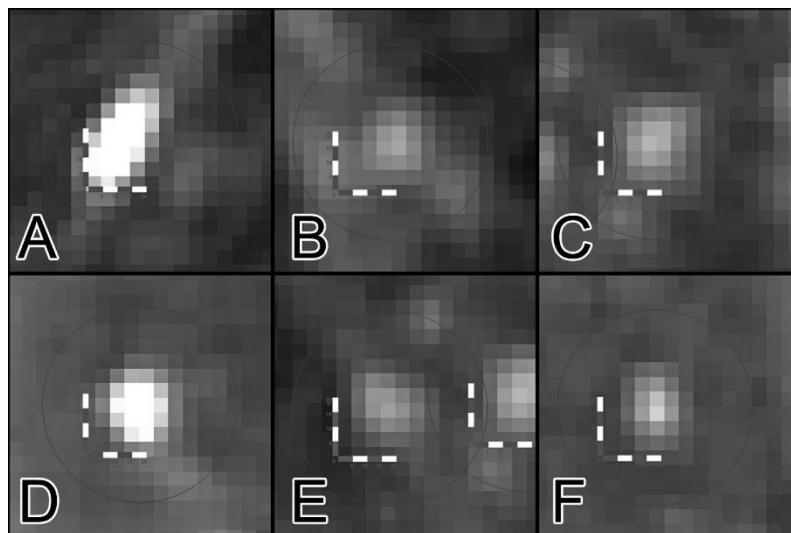


Figura 8. Objetos classificados como prováveis (B, C, E, F) e possíveis (A, D) baleias, marcados com escala gráfica e círculo de diâmetro, registrados nas imagens dos satélites de média resolução (*PlanetScope*, 16/09/2016, 20/09/2017 e 07/09/2018).

Além disso, foram testados os plug-ins *Dzetsaka* e *SCP* para a classificação não-supervisionada destas imagens. As respostas espectrais dos pontos registrados nas

imagens como possíveis baleias, bem como dos pontos indicados como água (excluindo área da arrebentação), geraram mapas de classificação que indicaram diversos pontos de possíveis baleias incluindo locais onde havia apenas ondulações na água (Fig. 9). O plug-in *SCP* apresentou mapas mais criteriosos do que o *Dzetsaka*, ou seja, com respostas mais próximas da classificação supervisionada, porém ambos não demonstraram confiança na eficiência para a detecção de objetos de prováveis e possíveis baleias.

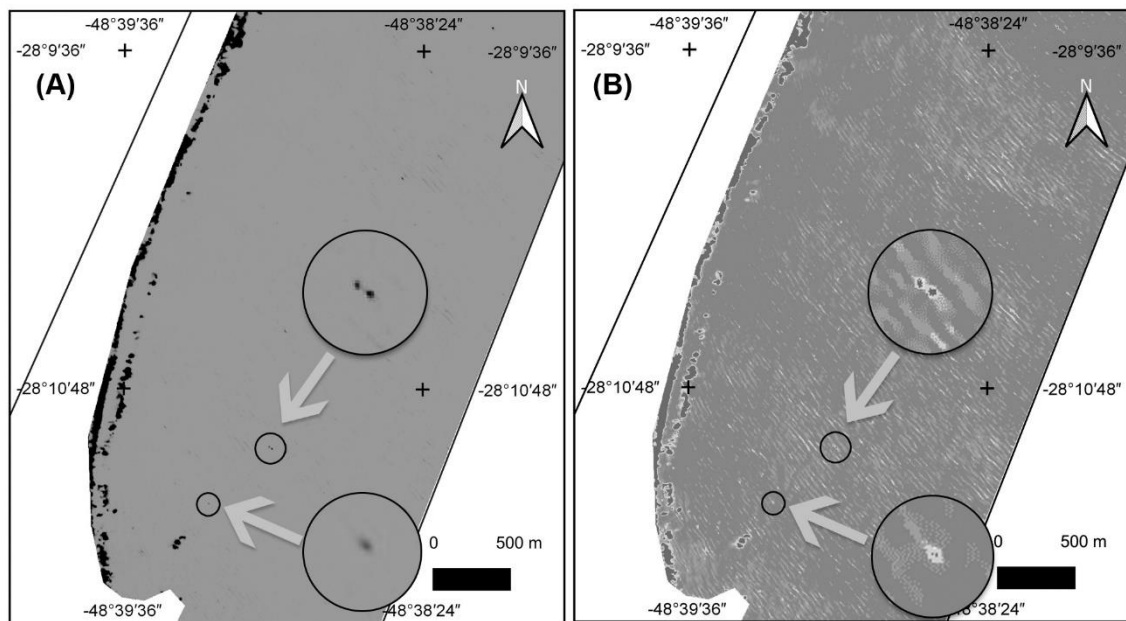


Figura 9. Imagens de média resolução (7/09/2018) com respostas dos plug-ins *Dzetsaka* (A) e *SCP* (B), destacando pontos classificados como possíveis baleias franca.

Boa parte do processamento de imagens de satélite envolve o processo de realizar download e posteriormente analisar em software, mas atualmente os fornecedores de imagens de satélite oferecem serviços com as imagens já processadas em diversas composições, reduzindo o trabalho do pós-processamento. Entre estes serviços podemos citar o website *SentinelHub*, onde utilizamos duas imagens dos satélites *Sentinel 2* e *Landsat 8* nas datas 07 e 06 de setembro de 2018, respectivamente, que em comparação com os dados de sobrevoo poderiam indicar a presença de baleias na área de estudo (Fig. 10).

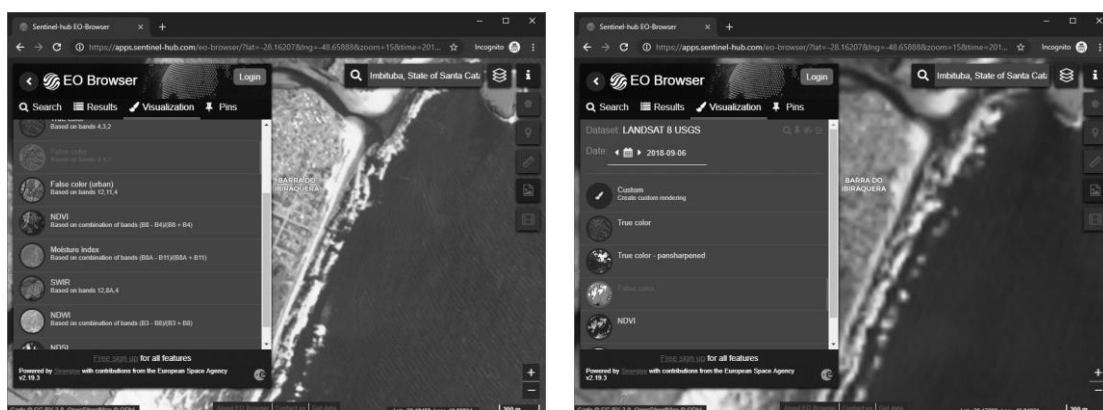


Figura 10. Imagens de baixa resolução dos satélites *Sentinel 2* (esquerda) (07/09/2018) e *Landsat 8* (direita) (06/09/2018), sem registros de objetos de prováveis ou possíveis baleias.

Porém, ao analisar estas imagens com a composição de bandas disponíveis por este serviço, não foi possível localizar prováveis ou possíveis baleias. A composição de destaque para umidade evidenciou diversos elementos presentes na água, como embarcações e afloramentos rochosos, mas nenhum elemento que pudesse ser classificado como baleia. Portanto, este tipo de imagem não apresentou respostas satisfatórias para localizar e quantificar baleias no presente estudo. Além disso, as imagens não possuem boa resolução temporal.

DISCUSSÃO

Esta é a primeira vez que imagens de satélite são utilizadas para localizar baleias franca na área reprodutiva do sul do Brasil. Estudos anteriores registraram baleias franca na Península Valdez na Argentina (Fretwell *et al.*, 2014; Cubaynes *et al.*, 2019) e outras espécies de baleias através de imagens de satélite de alta resolução como *IKONOS* (Abileah, 2002) e *Worldview* (Fretwell *et al.*, 2014; Cubaynes *et al.*, 2019), e nesta pesquisa usamos imagens de média e alta resolução de 5 anos distintos, entre elas uma

imagem do satélite *SPOT 7* disponível gratuitamente por meio do *Google Earth*. Além disso, pela primeira vez uma classificação supervisionada foi comparada com dados coletados por pesquisadores em campo através de sobrevoos.

As imagens de satélites disponíveis em datas próximas aos sobrevoos de pesquisa realizados pelo *Instituto Australis* possibilitaram a localização de objetos classificados como definitivos, prováveis e possíveis baleias. Assim, podem ser utilizadas para monitorar ao longo dos anos o uso de área das baleias franca, especialmente pela resolução temporal quase que diária das imagens dos conjuntos de satélites da empresa *Planet Labs Inc.*. Contudo, como todo método de pesquisa, este tipo de ferramenta possui suas capacidades e limitações (LaRue *et al.*, 2016).

Devido ao período das imagens analisadas, no pico da temporada reprodutiva da espécie, sabe-se que os pares de fêmeas e filhotes apresentam comportamento de período pré-migratório, com estreito contato corporal (Taber and Thomas, 1982; Thomas and Taber, 1984) e vocal (Dombroski *et al.*, 2017), o que pode sugerir que os registros marcados nas imagens de satélite sejam em sua maioria de grupos contendo pares de fêmea e filhote de baleias franca. Guirado *et al.* (2018) já havia mencionado a necessidade de se estudar melhor a detecção de pares de fêmeas e filhotes nas imagens de satélite.

A partir das imagens de média resolução e da classificação supervisionada conseguimos registrar pontos de prováveis e possíveis baleias, porém não conseguimos visualizar os animais na superfície como na imagem de alta resolução. Estas também apresentaram a possibilidade de visualização de objetos como grandes embarcações, afloramentos rochosos, bem como de características da costa em datas e anos distintos.

Além disso, nestas imagens foi possível testar a classificação não supervisionada através de plug-ins. O plug-in *SCP* é considerado mais completo pois apresenta assinaturas espectrais dos elementos, podendo ser aplicado em diversos tipos de imagens

de satélite, bandas espectrais e amostragens. Já o plug-in *Dzetsaka* é mais simples e de aplicação rápida, mas os resultados são mais eficientes para classificação de elementos na superfície do solo. Embora a classificação não-supervisionada permita distinguir elementos onde estão as baleias, entendemos que ainda é necessário validar o método com a coleta de dados em campo por meio de survey.

LeBlank *et al.* (2016) estudaram as respostas espectrais de ursos polares (*Ursus maritimus*) e outros grandes mamíferos do Ártico em relação à neve, assim como Abileah (2002), Fretweel *et al.* (2014) e Cubaynes *et al.* (2019) obtiveram respostas espectrais de grandes baleias com imagens IKONOS e World-View. No presente estudo, as respostas da classificação não supervisionada a partir dos plug-ins apresentam resultados similares em áreas onde marcamos visualmente pontos de possíveis baleias, mesmo assim não foi possível ter certeza absoluta que estas são respostas espectrais de baleias pois podem ser confundidas com outras movimentações que acontecem na água, como as ondulações.

Entretanto, a imagem de alta resolução obtida através do software *Google Earth* mostrou-se eficiente para localização de baleias franca na área de estudo. E apesar de haver um dia de diferença entre esta imagem e os dados de sobrevoo de 2018, não houve diferença estatística significativa na comparação, o que sugere a eficiência do método. Além disso, houve correlação positiva e significativa das coordenadas geográficas coletadas durante o sobrevoo e a classificação supervisionada de 2018, ou seja, as distâncias mensuradas entre os pontos em ambos os métodos geraram respostas similares, sugerindo uma estrutura espacial semelhante. De acordo com LaRue *et al.* (2016), os critérios necessários para o uso de imagens VHR no monitoramento de espécies animais são condições de abertura da área, coloração e tamanho corporal das espécies. Além disso, características reconhecíveis das espécies, áreas de concentração conhecidas, hábitos de

agregação, exclusividade temporal e fidelidade de área são critérios complementares, sendo todos estes contemplados no presente estudo.

No estudo conduzido por Cubaynes *et al.* (2019) as baleias franca e jubarte foram mencionadas como espécies mais difíceis para detecção nas imagens de satélite, comparada com as outras espécies estudadas, devido à falta de contraste com a água nos locais estudados. Porém, diferente das baleias jubarte, que apresentam comportamentos mais ativos e períodos de mergulho mais longos, as baleias franca em áreas de concentração reprodutiva como a do sul do Brasil, apresentam comportamentos lentos com intervalos curtos de mergulho e permanecerem bastante tempo na superfície, especialmente em áreas rasas. Isto facilitaria a detecção das mesmas através de imagens de satélite apesar da menor diferença espectral com relação à água.

O uso de imagens de satélite de média e alta resolução para os estudos de distribuição e uso de habitat das baleias franca parece ser uma boa ferramenta de pesquisa, devido à frequência das imagens disponíveis, área de abrangência, eficiência e possibilidade de aperfeiçoamento do método. Imagens do *Google Earth* também foram recentemente analisadas através de redes neurais profundas convolucionais (CNNs) para detectar e contar baleias por Guirado e colaboradores (2018), encorajando o uso de imagens de satélite de acesso livre para estes fins. Imagens de satélite World-View também foram recentemente usadas através de CNNs para classificar a presença ou ausência de baleias em áreas com tamanho pré-estabelecido (Borowicz *et al.*, 2019).

O *Google Earth* possui a vantagem de oferecer algumas imagens de alta resolução, mas com pouca frequência, sendo necessária a aquisição direta com fornecedores como a *Digital Globe*, que podem disponibilizar algumas imagens por meio do *Google Earth* para divulgar a qualidade de seus produtos. Sabe-se que os sobrevoos são imprescindíveis para a foto-identificação dos animais, porém o uso das imagens de satélite, especialmente

as disponibilizadas pela empresa *Planet Labs Inc.* e as imagens de alta resolução, podem ser extremamente úteis para a pesquisa desta população, possibilitando um monitoramento frequente, de menor custo e com excelente viabilidade para conservação.

CONCLUSÃO

Para as imagens de satélite de média resolução, sugere-se novos estudos para validar os métodos de classificação supervisionada e não supervisionada. Porém, os resultados a partir da imagem de satélite de alta resolução apresentam eficiência para localização de baleias franca na área de estudo, podendo ser incorporado como ferramenta complementar aos estudos de uso de habitat das baleias franca no Brasil, em outras áreas reprodutivas da espécie, e possivelmente de outras espécies de grandes baleias.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi desenvolvida com o apoio do Programa de Suporte à Pós-Graduação de Instituições Comunitárias de Ensino Superior (PROSUC) da Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES). Agradecemos ao Dr. Felipe Rego por seu auxílio com as análises do teste de Mantel. Ao Instituto Australis, especialmente a Dr. Karina Groch e Eduardo P. Renault-Braga pelos dados de sobrevoo das baleias franca. Somos profundamente gratos a empresa *Planet Labs Inc.* pelo acesso e uso de imagens de satélite de média resolução para este trabalho. Um agradecimento especial pelas contribuições realizadas por Dr. Liliane Lodi e Dr. Rogério Santos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abileah, R (2002) Marine mammal census using space satellite imagery. U.S. Navy Journal of Underwater Acoustics, 52: 709-724.

Bannister, J. L. 1990. Southern right whales of Western Australia. Report of the International Whaling Commission, v.12, p.279-288.

Berllo, VR, Sarolli, VM, (2008) Mapeamento da sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo e ações de resposta para a região costeira e área portuária de Imbituba, SC, Brasil. Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology. 12(2):115-125.

Bopp, TR (2014) Padrões de deslocamento e uso de habitat da baleia franca austral, *Eubalaena australis* (Desmoulins, 1822), na região do Porto de Imbituba, Santa Catarina, Brasil, durante a temporada reprodutiva de 2013. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Borowicz, A, Le, H, Humphries, G, Nehls, G, Hoschle, C, Kosarev, V, Lynch, HJ (2019) Aerial-trained deep learning networks for surveying cetaceans from satellite imagery. PLOS ONE. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212532> .

Burnell, S, Bryden, MM (1997) Coastal residence periods and reproductive timing in southern right whales, *Eubalaena australis*. Journal of Zoology, v.241, p.613-621.

Cubaynes, HC, Fretwell, PT, Bamford, C, Gerrish, L, Jackson, JA (2019) Whales from space: Four mysticete species described using new VHR satellite imagery. *Marine Mammal Science* 35, 466–491. <https://doi.org/10.1111/mms.12544>

Digital Globe (2017) Counting whales by satellite. <http://blog.digitalglobe.com/industry/counting-whales-by-satellite/>.

Dombroski, JRG, Parks, SE, Groch, KR, Flores, PAC, Souza-Lima, RS (2017) Upcall production by southern right whale (*Eubalaena australis*) mother-calf pairs may be independent of diel period in a nursery area. *Marine Mammal Science* 33(2): 669–677.

FATMA (Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina) (2014) Lista Oficial das Espécies da Flora Ameaçada de Extinção no Estado de Santa Catarina. www.fatma.sc.gov.br/upload/Flora/resconsema51.pdf.

Fretwell, PT, Staniland, IJ, Forcada, J (2014) Whales from space: Counting southern right whales by satellite. *PLOS ONE*. 9 (2).

Groch, KR, Palazzo Jr., JT, Flores, PAC, Adler, FR, Fabian, ME (2005) Recent rapid increases in the Brazilian right whale population. *Latin American Journal of Aquatic Mammals*, (4)1: p.41-47.

Guirado, E, Tabik, S, Rivas, ML, Alcaraz-Segura, D, Herrera, F (2018) Automatic whale counting in satellite images with deep learning.

Hodgson, A, Kelly, N, Peel, D (2013) Unmanned aerial vehicles (UAVs) for surveying marine fauna: a dugong case study. PloS One 8, e79556.

ICMBio (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade) (2019) Área de Proteção Ambiental da Baleia Franca. <http://www.icmbio.gov.br/apabaleiafranca/> .

ICMBio (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade) (2018) Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção: Volume II – Mamíferos, 1. ed. Brasília, DF.

INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) (2019) Instituto Nacional de Meteorologia. <http://www.inmet.gov.br/portal/> .

IUCN (International Union for Conservation of Nature) (2019) The IUCN Red List of Threatened Species. <http://www.iucnredlist.org/details/8153/0>.

IWC (International Whaling Commission) (2012) Report of the Workshop on the Assessment of Southern Right Whales. SC/64/Rep5, 34p.

Kaschner, K, Quick, NJ, Jewell, R, Williams, R, Harris, CM (2012) Global coverage of cetacean line-transect surveys: status quo, data gaps and future challenges. PLoS ONE, 7(9): e44075.

Katona, S, Whitehead, H. (1988) Are Cetacea ecologically important? Oceanography Marine Biology Annual Review. 26, 553-568.

LaRue, MA, Stapleton, S, Anderson, M (2016) Feasibility of using high-resolution satellite imagery to assess vertebrate wildlife populations. *Conservation Biology*. 31. 10.1111/cobi.12809.

Leblanc, G, Francis, CM, Soffer, R, Kalacska, M, Gea, J (2016) Spectral Reflectance of Polar Bear and Other Large Arctic Mammal Pelts; Potential Applications to Remote Sensing Surveys. *Remote Sensing*, 8, 273.

Leimgruber, P, Christen, CA, Laborderie, A (2005) The impact of Landsat satellite monitoring on conservation biology. *Environmental Monitoring and Assessment*, 106:81–101.

Lodi, L, Bergallo, HG (1984) Presença da baleia-franca (*Eubalaena australis*) no litoral brasileiro. *Boletim FBCN*, 19: 157-163.

MMA (Ministério do Meio Ambiente) (2014) Lista Nacional Oficial de Espécies de Fauna Ameaçada de Extinção. http://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Portaria/2014/p_mma_444_2014_lista_esp%C3%A9cies_ame%C3%A7adas_extin%C3%A7%C3%A3o.pdf

Moura, AE, Sillero, N, Rodrigues, A (2012) Common dolphin (*Delphinus delphis*) habitat preferences using data from two platforms of opportunity. *Acta Oecologica* 38, 24-32.

Oksanen, J, Blanchet, FG, Kindt, R, Legendre, P, O'hara, RB, Simpson, GL, Solymos, P, Stevens, MHH, Wagner, H (2016) Vegan: Community ecology package. R package version 2.3-4. <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>.

Palazzo Jr., JT Groch, KR, Silveira, HA (2007) Projeto Baleia Franca: 25 anos de pesquisa e conservação, 1982-2007. Imbituba, IWC/Brasil, 170p.

Palazzo Jr., JT, Carter, LA (1983) *A caça de baleias no Brasil*. Porto Alegre, Agapan. 25pp.

Planet Labs Inc. (2019) Planet Imagery and Archieve. <https://www.planet.com/products/planet-imagery/>

Renault-Braga, EP, Groch, KR, Flores, PAC, Secchi, E, Dalla Rosa, L (2018) Area usage estimation and spatiotemporal variability in distribution patterns of southern right whales, *Eubalaena australis*, of southern Brazil. Marine Ecology. e12506. 10.1111/maec.12506.

Rowntree, VJ, Payne, RS, Schell, DM (2001) Changing patterns of habitat use by southern right whales (*Eubalaena australis*) on their nursery ground at Peninsula Valdes, Argentina, and in their long-range movements. Journal of Cetacean Research and Management, Special Issue 2:133-143.

Santos, MCO, Siciliano, S, Souza, SP, Pizzorno, JLA (2001) Occurrence of southern right whales (*Eubalaena australis*) along southeastern Brazil. Journal of Cetacean Research and Management, (2): 153-156.

Seyboth, E, Groch, KR, Secchi, E, Dalla Rosa, L (2015) Habitat use by southern right whales *Eubalaena australis* (Desmoulins, 1822), in their main northernmost calving area in the western South Atlantic. *Marine Mammal Science*, 31(4): 1521-1537.

Silveira, LF, Klein, AH, Tessler, MG (2011) Classificação morfodinâmica das praias do estado de Santa Catarina e do litoral norte do estado de São Paulo utilizando sensoriamento remoto. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*, 15(2):13-28.

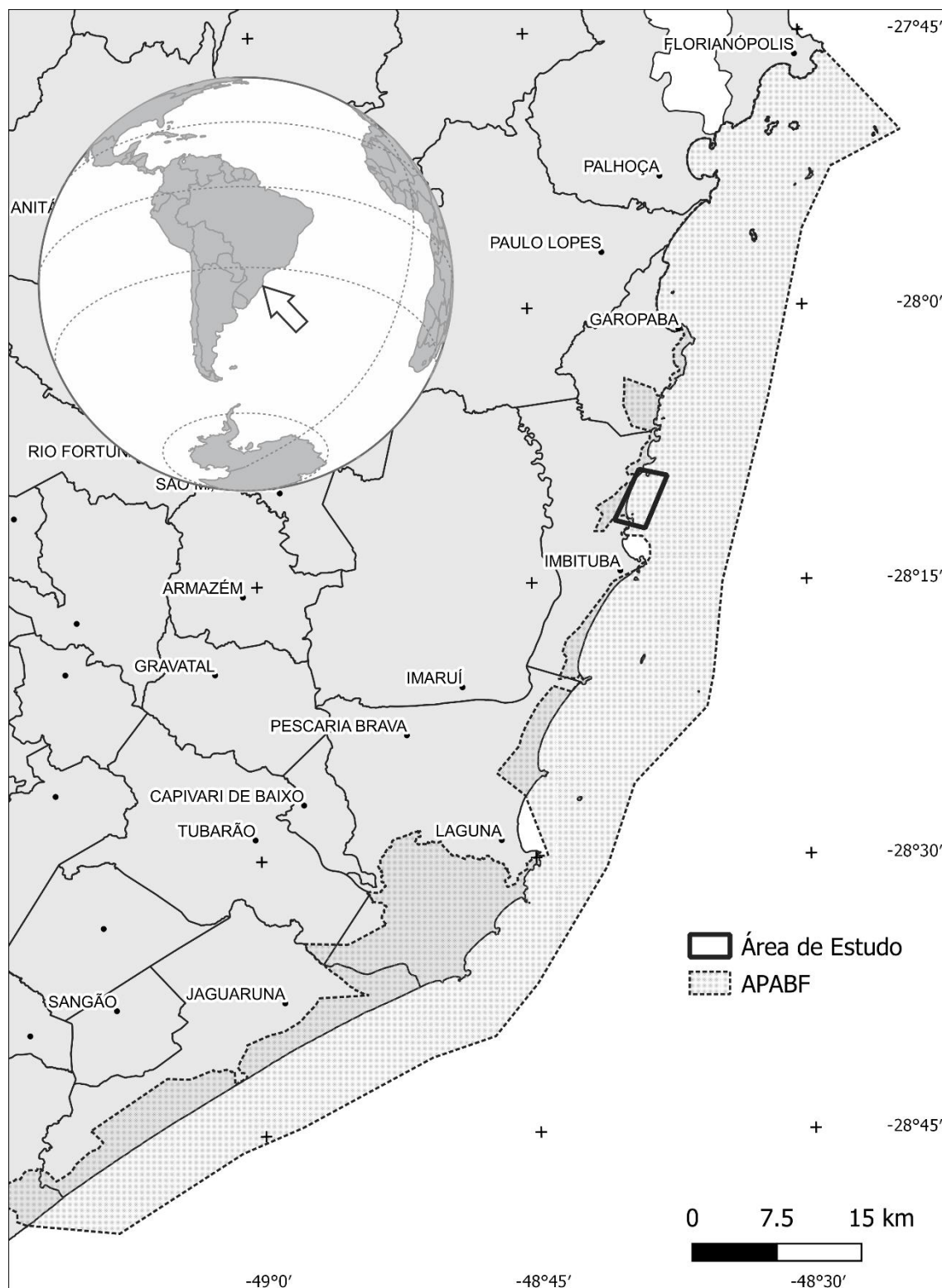
StatSoft, Inc. (2007) STATISTICA (Data Analysis Software System), version 8.0. www.statsoft.com.

Taber, S, Thomas, P (1982) Calf development and mother-calf spatial relationships in Southern right whales. *Animal Behaviour*, 30:1072–1083.

Thomas, PO, Taber, SM (1984) Mother-infant interaction and behavioral development in southern right whales, *Eubalaena australis*. *Behaviour*, 88:42–60.

Turner, W, Spector, S, Gardiner, N, Fladeland, M, Sterling, E, Steininger, M (2003) Remote sensing for biodiversity science and conservation. *Trends in Ecology and Evolution*, 18:306–14.

Apêndice 1. Mapa de localização da Área de Proteção Ambiental da Baleia Franca (APABF) e recorte da área de estudo no sul do Brasil.



Use of satellite imagery to identify southern right whales (*Eubalaena australis*) at the breeding area of Southwest Atlantic Ocean

AUDREY A. CORRÊA¹

JOÃO H. QUOOS²

ANDRÉ S. BARRETO³

KARINA R. GROCH⁴

PATRICIA P. B. EICHLER¹

1 - Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, UNISUL. Palhoça/SC, Brazil.
audreyamorimcorrea@gmail.com

2 - Lab. de Meio Ambiente e Geomática, IFSC. Campus Garopaba/SC, Brazil.

3 - Lab. de Informática da Biodiversidade e Geoprocessamento, UNIVALI, R. Uruguai
458, CEP 88302-901, Itajaí/SC, Brazil.

4 - Instituto Australis de Pesquisa e Monitoramento Ambiental, Imbituba/SC, Brazil.

ABSTRACT

Satellite imagery has been used to improve research all over the world. The southern right whale population that uses the south coast of Brazil for breeding activities was chosen to test the use of low, medium and high-resolution satellite images to identify whales comparing with aerial survey *in situ* data collected by *Instituto Australis*. The high-resolution satellite image from SPOT 7 available through *Google Earth* showed the best results, allowing observation of shape and body parts of the animals. A Mann-Whitney U test between number of points recorded in satellite images of different years did not differ significantly from whales recorded in aerial surveys, considering both the number of groups (p-level = 0.8412) and the total number of animals (p-level = 0.2222). Also, distances between aerial survey records and definite, probable and possible whales' points were similar. The Mantel test result was statistically significant ($r = 0.52$; $p = 0.001$; $n =$

13). This is the first time that satellite imagery has been used to identify southern right whales in the breeding area off Brazil. The technique used was considered viable to identify whales, so the use of satellite imagery is an important tool especially in countries where research funding is scarce.

Key-words: *Eubalaena australis*, remote sense, Right Whale Environmental Protection Area, South Brazil.

INTRODUCTION

The waters of the South Atlantic Ocean along the Brazilian coast are an important breeding area of southern right whales (*Eubalaena australis*). The species occurs especially in the southern and southeastern regions (Lodi and Bergallo, 1984; Santos *et al.*, 2001) each year during winter and spring periods, and the south region of Brazil is used for mating, to give birth and nursing (Groch *et al.*, 2005; Seyboth *et al.*, 2015). After being extensively hunted for almost 400 years (Palazzo and Carter, 1983), this population has been studied and monitored since 1982 and shows signs of recovery (Groch *et al.*, 2005; IWC, 2012). Recent estimates for the main breeding grounds at the South Hemisphere presents a population increase of 12% per year (IWC, 2012) and currently the Brazilian Right Whale Catalog has 1009 photo-identified whales (*unpublish data, Instituto Australis*). The species is listed in the International Union for Conservation of Nature - IUCN Red List of Threatened Species in the category of “least concern” (IUCN, 2019). However, the specie is listed in the Brazilian List of Endangered Fauna Species (MMA, 2014), in the Endangered Brazilian Fauna Red Book (ICMBio, 2018) and in the List of Endangered Species of the State of Santa Catarina (FATMA, 2014).

A federal protected area created by federal decree at 14th September of 2000, called Right Whale Environmental Protection Area (RWEPA), was established to protect the main occurrence area of this population on the Brazilian coast, being responsible also for management of natural resources, coastal occupation, tourist and sporting activities, research, and boat/aircraft traffic during the period of animal's occurrence (ICMBio, 2019). This region is characterized by shallow waters and sheltered bays where mother-calf pairs remains very close to the surface and can be observed for several days in the same bay or over a few kilometers of coast for weeks, moving slowly from one bay to another (Groch, 2000; Groch, 2005).

Currently, studies on cetacean's distribution, habitat use and population estimate are conducted from platforms such as helicopters and aircrafts (Kaschner *et al.*, 2012), boats (Moura *et al.*, 2012) or strategic land points (Seyboth *et al.*, 2015). Recently, the use of drones has also been incorporated as a method for these studies (Hodgson *et al.*, 2013). We know that some of these methods are expensive and most of them involves a great logistic. The possibility to add new techniques, especially of low cost with greater coverage area and almost daily image availability, broadens the research horizons.

The recent enhancement of satellite technology extends the use of remote sensing for environmental monitoring, including identifying and counting animal populations, and may be used as a tool for research and conservation (Turner *et al.*, 2003; Leimgruber *et al.*, 2005; LaRue *et al.*, 2016). Satellite images have been used as a tool for monitoring large whales, and commercial imaging surveys have recently been conducted in locations such as Australia with humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) (Cubaynes *et al.*, 2019), Argentina with southern right whales (*Eubalaena australis*) (Fretwell *et al.*, 2014; Cubaynes *et al.*, 2019), Mexico with gray whales

(*Eschrichtius robustus*) and in the Mediterranean Sea with fin whales (*Balaenoptera physalus*) (Digital Globe, 2017).

Large cetacean populations are essential elements for biodiversity conservation and environmental management of ecosystems because they are health and productivity indicators of these environments (Katona e Whitehead, 1988). The use of satellite images to identify southern right whales in the breeding area of southern Brazil could be an important tool for research and monitoring.

This work tested the use of low, medium and high-resolution satellite images to identify southern right whales at Ribanceira/Ibiraquera bay, a preferred area and the bay with highest densities for southern right whales in Brazil (Seyboth *et al.*, 2015; Renault-Braga *et al.*, 2018), and compare it with *in situ* aerial survey data collected by *Instituto Australis* to verify the efficiency of the applied methodology.

METHODS

Study Area

The study area covers the Ribanceira / Ibiraquera bay (28 ° 10'S - 48 ° 39'W), approximately 5.15 km long, located in Imbituba on the south-central coast of the state of Santa Catarina, Brazil (Fig. 1). This area is located in the central part of the Right Whale Environmental Protection Area (Appendix 1). The beach is classified as dissipative (Silveira *et al.*, 2011) and the slope of the beach face varies between 3 and 5 degrees (Berllootto and Sarolli, 2008). The distance between the headlands is ~ 4.50 km and the length of the beach arch is ~ 6.30 km, with a 0.71 haze degree and a 110-degree northward orientation of the beach. The distance between the shoreline and the 20-meter isobath is on average 4.5 km. In the northern portion of the bay, the distance between the

shoreline and the 20m isobath is greater, showing increased slope of the beach face. The prevailing winds in the region are the Northeast and the South quadrant (INMET, 2019).

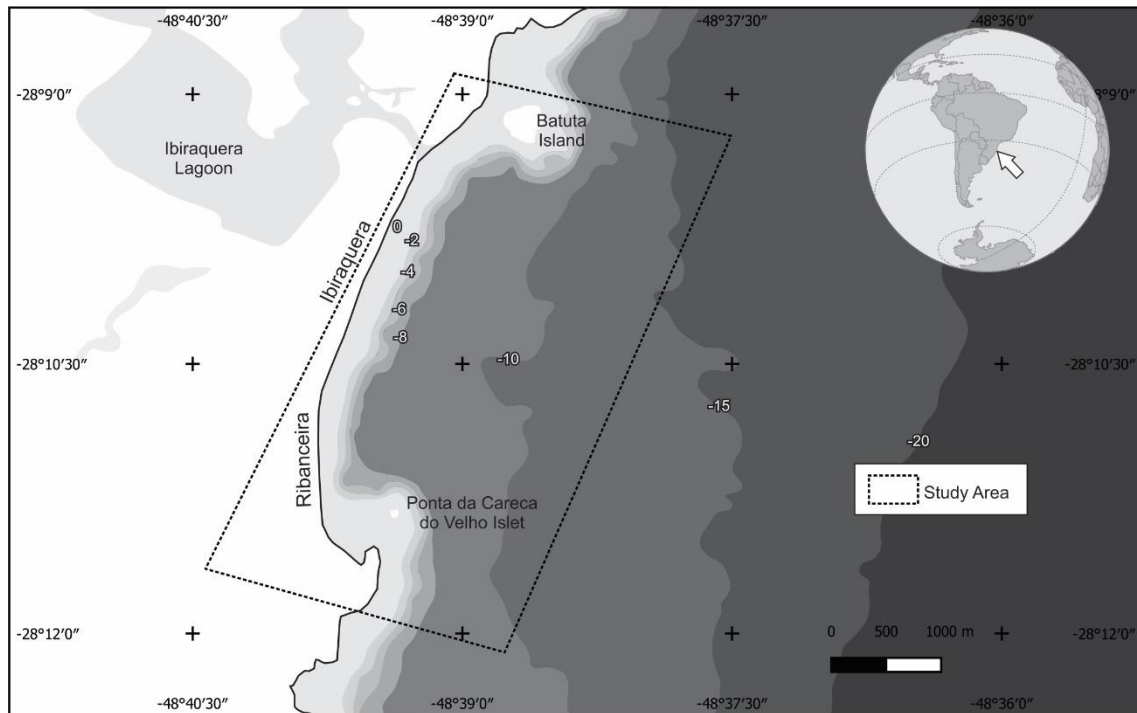


Figure 1. Location of the study area, Ribanceira / Ibiraquera bay (Imbituba-SC, Brazil). The outlines present the clipping of the images used for analysis.

Image Selection

Satellite images of an area preferred by southern right whales during the breeding period in southern Brazil were selected for this research. The work began with the search for images having good temporal frequency and easy access. Easily accessed and processed images are from the US company *Planet Labs Inc.*, which has made available the medium-spatial resolution image collection of a set of satellites operating under its domain. These images are available in full TIFF format, ie digital image file formats containing all the image data as captured by the satellite sensor.

The *Rapid Eye* satellite set features images with spatial resolution of 5 meters per pixel for bands on the visible spectral range, and the *Planet Scope* satellite set features images

with spatial resolution of 3 meters per pixel for the same spectral range (*Planet Labs Inc.*, 2019), which we classify as medium resolution. For the use of multispectral and low spatial resolution satellite imagery, research in the natural sciences may also utilize the free imaging service offered by *NASA* (*Landsat 8* satellite) and *ESA* (*Sentinel 2* satellite).

Another possibility for accessing images that allow for supervised detection is through *Google Earth* software that generally features high resolution images but compressed in JPEG format, ie with loss of pixel detail but preserved shape perception, and low temporal resolution. In the present work we used an image of the study area available in *Google Earth* on a date with occurrence of southern right whales. The selected image is from the French Space Agency (CNES / Airbus) domain *SPOT 7* satellite and has a spatial resolution of 50 centimeters per pixel, considered as high resolution.

Aerial survey data from the *Instituto Australis* for counting southern right whales and photo identification were made available to compare and test the efficiency of using satellite images to identify southern right whales. These aerial surveys are performed using helicopters Bell Jet Ranger, and the survey date is defined based on favorable environmental conditions. Most important are wind speed and sea state (Beaufort scale 1 to 3), visibility (good to optimal) and cloud cover (highest possible sun availability), which are also conditions that influence the detection of whales from satellite images described in previous research (Cubaynes *et al.*, 2019; Fretwell *et al.*, 2014; Abileah, 2002). During aerial surveys, the helicopter left the route to photograph the whales and record geographic positions, and then returned to the route until the next sighting. Data collected consisted of the following information: date, start and end time of approach, geographical coordinates, bay name and composition of sighted whale groups. Animals were classified into three categories: mother-calf pairs (groups containing mothers and

their calves), adults (groups containing adults only, not accompanied by calves) and subadults (juvenile individuals) (Taber and Thomas, 1982).

The image selection for analysis in this research was made from a series of aerial survey data from 2009 to 2018 in September month, considered the peak of the species' occurrence in the Brazilian breeding area (Groch *et al.*, 2005; Seyboth *et al.*, 2015). From the comparison of aerial survey dates and available satellite images, images of 2010, 2013, 2016, 2017 and 2018 were selected for analysis. For 2018, images of low, medium and high spatial resolution were selected, during which many whales were recorded (*unpublished data, Instituto Australis*). For the remaining years, 5 satellite images of medium spatial resolution were selected for analysis. All have a difference of at most two days between the aerial survey and the satellite image dates (Tab. 1).

Table 1. Information of selected satellite images of 2010, 2013, 2016, 2017 and 2018, aerial survey and image dates, satellite names and resolution classification.

Year	Aerial survey data	Imagery Data	Satellite name	Resolution	Resolution classification
2010	15-sep	17-sep	Rapid Eye	5m	Median
2013	13-sep	14-sep	Rapid Eye	5m	Median
2016	15-sep	16-sep	Planet Scope	3m	Median
2017	19-sep	20-sep	Planet Scope	3m	Median
2018	8-sep	7-sep	Planet Scope	3m	Median
2018	8-sep	7-sep	CNES/Airbus	50cm	High
2018	8-sep	7-sep	Landsat 8	15-30m	Low
2018	8-sep	7-sep	Sentinel 2	10m	Low

Image Interpretation Method

Initially, all selected satellite images were opened with QGIS 3.2.3-Bonn program and cropped in an area of 15.8 km² for analysis of the Ribanceira / Ibiraquera bay area. Then, the images were composited, where histogram and enhancement balance

adjustments were made. The image obtained through *Google Earth* also needed to be georeferenced in QGIS.

From the images and through previous knowledge about the biology, behavior and habitat use aspects of the species in the region, one observer experienced in observing whales identified points of possible southern right whale records. Each image (15.8 km²) took approximately 2 hours to be examined, and again reviewed by the same observer and by an experienced geographer in satellite image analysis, helping to identify the image elements.

Knowing that mother-calf pairs have slower shifts along the coast than adults without calves (Bannister, 1990; Burnell and Bryden, 1997; Rowntree *et al.*, 2001), that the observed diving time in the region is usually less than 10 minutes (Palazzo *et al.*, 2007) and the average displacement speed during the animals' stay in the region is estimated at 2 km / hr (Bopp, 2014) we tried to verify if there was any similarity between the aerial survey data and the points recorded in the analysis of the images.

These points were classified as: definite whales (when it was possible to visualize a whale on the surface (in the case of *SPOT 7* image)), probable whales (when they were similar to the aerial survey data) and possible whales (when the recorded points were similar to those of the probable ones). This classification was based on the methods of Cubaynes and collaborators (2019). Other objects such as vessels, rocky points and interferences (as a result of image processing or noise caused by elements in the atmosphere) were also observed in the satellite images, but they were not similar to definite, probable and possible whale points in relation to size, shape, color and position of the objects.

As described in previous work using high resolution satellite images (Fretwell *et al.*, 2014; Cubaynes *et al.*, 2019), in this work the high resolution image also served to analyze movements of southern right whales (Fig. 2a), which cause disturbances on the water surface (Cubaynes *et al.*, 2019), to further assist in the search for similar patterns in the medium resolution images of the *Planet Scope* and *Rapid Eye* satellites (Fig. 2b), also taking into consideration the geomorphology of the study area.

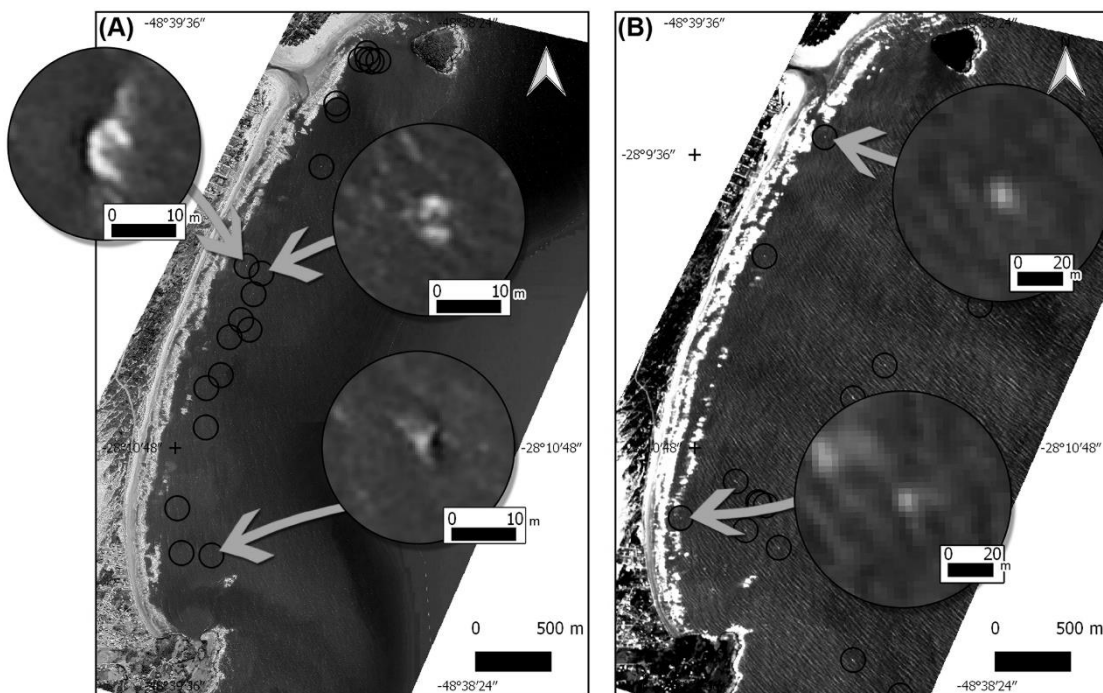


Figure 2. High resolution image from SPOT 7 satellite (A) with records of definite whales and viewing individuals on the surface, and medium resolution image from Planet Scope satellite (B) with points of probable whales. The other circles represent other objects registered in the images.

A custom graphical scale was created in SVG vector format for use in QGIS, at a ratio of 20m x 20m to serve as a scaling reference for visual comparison of whale registration points in each image. The scale was used as a symbol at the points recorded in the image along with a 40-meter diameter circle to indicate the viewing area of each point.

In the medium resolution satellite images, spectral samples were collected from record points of probable and possible whales for application of unsupervised classification method. The tools used for the tests were the *Semi-automatic Classification* (SCP) and *Dzetsaka* plug-ins, both from the QGIS program.

The SCP plug-in enables unsupervised pixel-to-pixel classification of images captured by multiple satellites. The available tools performed image preprocessing, classification postprocessing and map algebras. With this plug-in we created sample areas, called ROIs (*Regions of Interest*), which were saved in shapefile format. Thus, the spectral signatures that could be graphically visualized in the histogram were automatically calculated.

Dzetsaka is a fast-response plug-in that uses a Gaussian blend model to determine classes from a raster file, along with a satellite image and a shapefile containing samples with previously defined classes. Thus, the algorithms that resulted in another classified raster file were executed. The raster file was transformed into a vector, the size of the area was calculated and a map showing the distribution of the classes in the study area was generated. In both plug-ins, the selected areas were classified as “whale” and “water”.

Analysis

To assess the existence of significant differences in whale registrations by different methods, the Mann-Whitney U test was applied using the Statistica v. 8.0 (Statsoft, 2007) comparing the number of groups and whales identified by aerial survey data with the points generated by supervised classification.

The correlation between the 2018 aerial survey coordinates and the supervised classification of the same year high resolution satellite image was calculated by the Mantel test. For unsupervised classification, points that were very close to each other or

the probability of being whales were low, were eliminated from the analysis seeking to balance the data number of the overvalued classification with those of aerial survey.

Dissimilarity matrices were obtained by Euclidean distance and the significance of the correlation was calculated after 999 randomizations in the Vegan package (Oksanen *et al.*, 2016) of the R program.

RESULTS

A total of 32 southern right whale groups containing 80 individuals were recorded with geographic coordinates and group composition during the *Instituto Australis's* aerial surveys in September 2010, 2013, and 2016 to 2018. These data were used as a reference for testing the use of satellite imagery to identify southern right whales on dates up to 2 days apart from when aerial surveys were made.

Records of 43 whale-like objects, 19 definite, 5 probable and 19 possible whales, were marked using the manual scan method on medium ($n = 5$) and high ($n = 1$) resolution satellite images with up to 2 days difference between aerial surveys in the years 2010, 2013, 2016-2018, in an area of 15.8km² (Fig. 3). The points marked on satellite images to some extent followed the variation in the number of whales detected on aerial surveys data (except in 2016) (Fig 4).

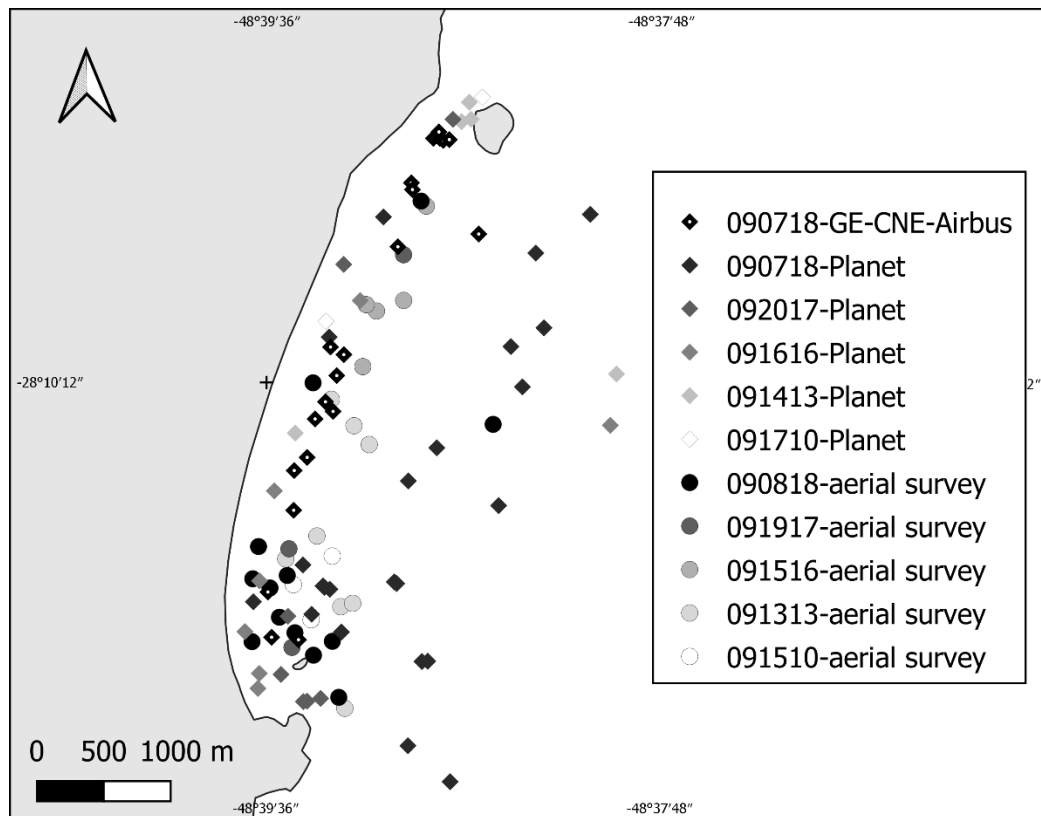


Figure 3. Map of the study area with all coordinate points marked on the *Instituto Australis* aerial surveys and satellite images analyzed in 2010, 2013, 2016, 2017 and 2018.

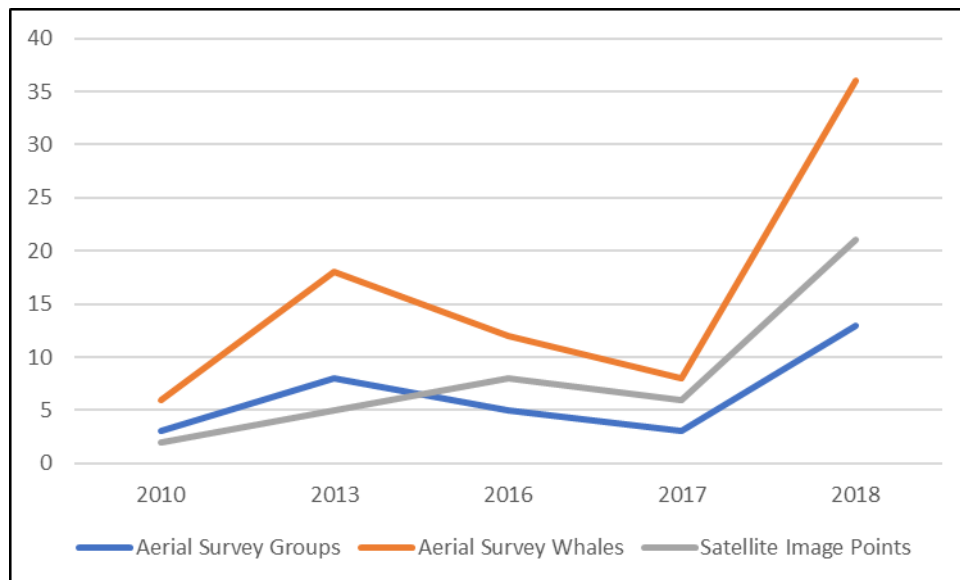


Figure 4. Southern right whale registrations by group and total number of individuals on *Instituto Australis* aerial surveys and number of points marked as definite, possible and probable whales in satellite images analyzed in the Ribanceira / Ibraquera area in 2010, 2013, 2016 - 2018.

The use of the metric scale showed that all points recorded in satellite images are close to the size of an adult right whale. Only the high-resolution image clearly presented the individuals, with observation of animal body exposures initially viewed on *Google Earth*.

In the high-resolution image of September 7, 2018, from the *SPOT 7* satellite, 21 objects were classified as 19 definite whales and 2 possible whales (Fig. 5). The records allowed the visualization of the whales on the surface, with observation of body parts characteristic of the species such as black body and broad and pointed tail. Adult individuals were identified on the water surface, allowing the observation of behavioral states such as swimming and play, as well as behavioral events such as jumping and caudal exposure. As the image was in JPEG format, it was not possible to perform sampling to obtain radiance values and there was no need for histogram adjustment.

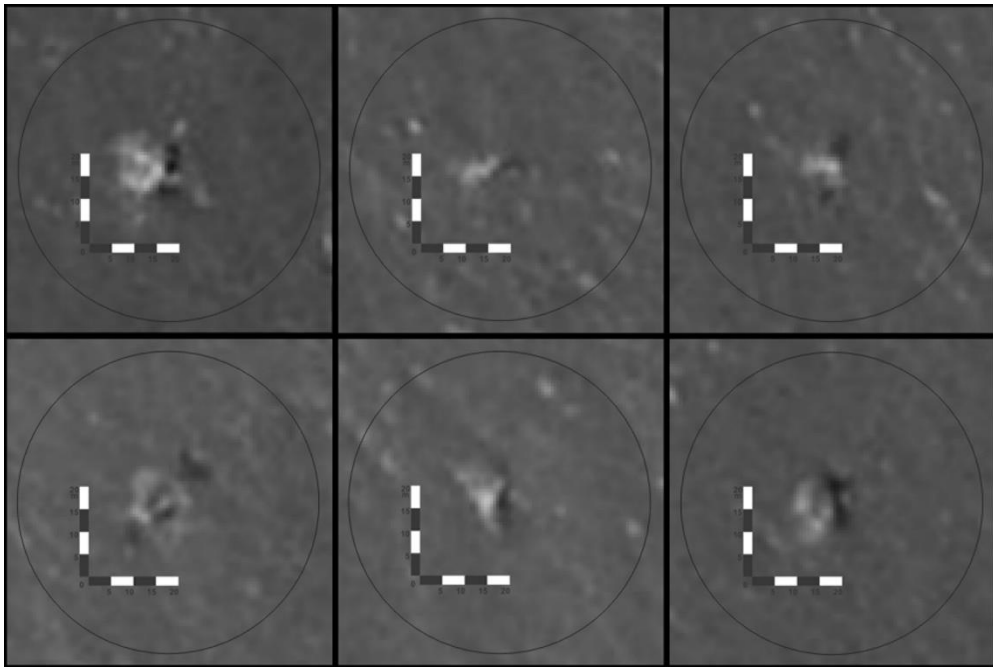


Figure 5. Objects classified as individuals of whales, marked with graphic scale and diameter circle, recorded in high resolution satellite image (*SPOT 7*, 09/07/2018).

Despite the relatively low number of records, the results suggest that there is no difference between these methods, indicating that the supervised classification method presented in this study has efficiency. The nonparametric Mann-Whitney U test applied to compare the number of points recorded in satellite images of different years was not significant for both the number of groups ($p\text{-level} = 0.8412$) and the total number of whales recorded in aerial surveys ($p\text{-level} = 0.2222$).

Moreover, the distances between geographic positions recorded during the aerial survey and the points of probable and possible whales on high-resolution satellite image from 2018 were similar. The Mantel test result was statistically significant ($r = 0.52$; $p = 0.001$; $n = 13$), where the value of r indicates that there is a positive correlation between the two matrices, suggesting that one accompanies the other. Both Mantel's test and generated graph showed that the greater the distance among the recorded points at the aerial survey, the greater the distance among them in high resolution image satellite of 2018 (Fig. 6). However, the accuracy of satellite image point detection is lower when we analyze points that have been sighted at greater distances from each other.

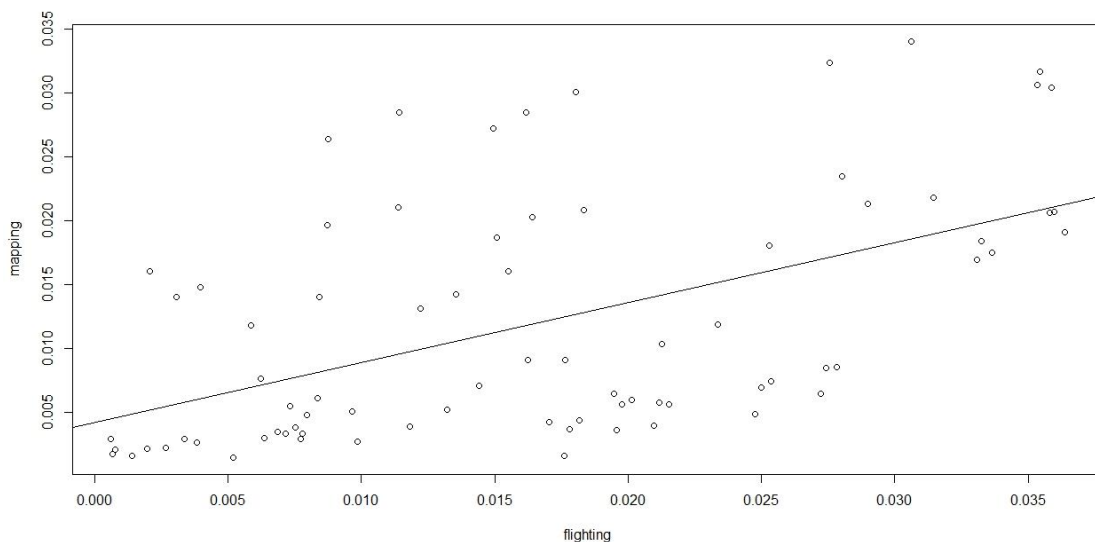


Figure 6. Graph of Mantel's test correlating aerial survey geographic positions and the mapping points on high-resolution satellite image from 2018.

The images classified in this research as medium resolution, all domain of the company *Planet Labs Inc.*, have TIFF format and received self-control adjustments. Two of these images, from the *Rapid Eye* satellite set, from September 17, 2010 and September 14, 2013, had 2 tagged objects (1 likely whale; 1 possible whale) and 5 objects (2 likely whales; 3 possible whales). whales) respectively (Fig. 7).

In three other images, this time captured by the *Planet Scope* satellite set, there were 6 tagged objects (5 probable whales; 1 possible whale) on 16 September 2016, 6 objects (3 probable whales; 3 possible whales) in 20 September 2017 and 23 objects (13 probable whales; 10 possible whales) on September 7, 2018 (Fig. 8).

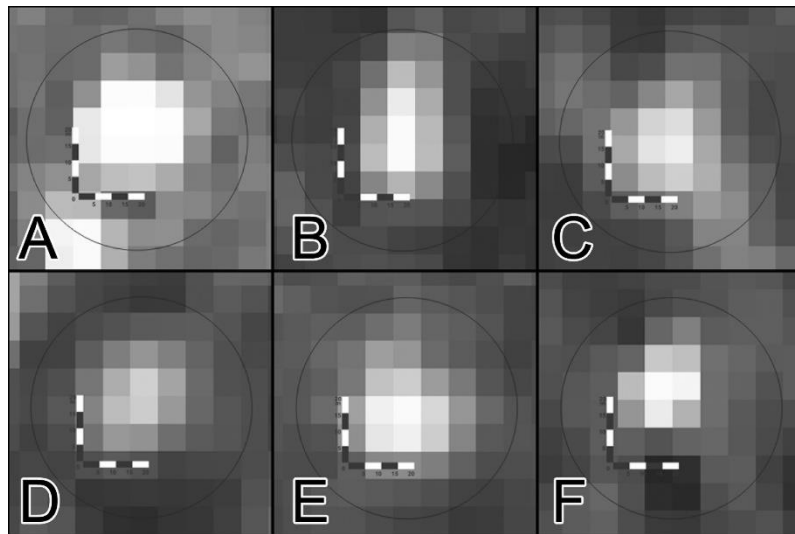


Figure 7. Objects classified as probable (D, E, F) and possible (A, B, C) whales, marked with a graphic scale and diameter circle, recorded in the images of medium resolution satellites (*Rapid Eye*, 09/17/2010 and 09/14/2013).

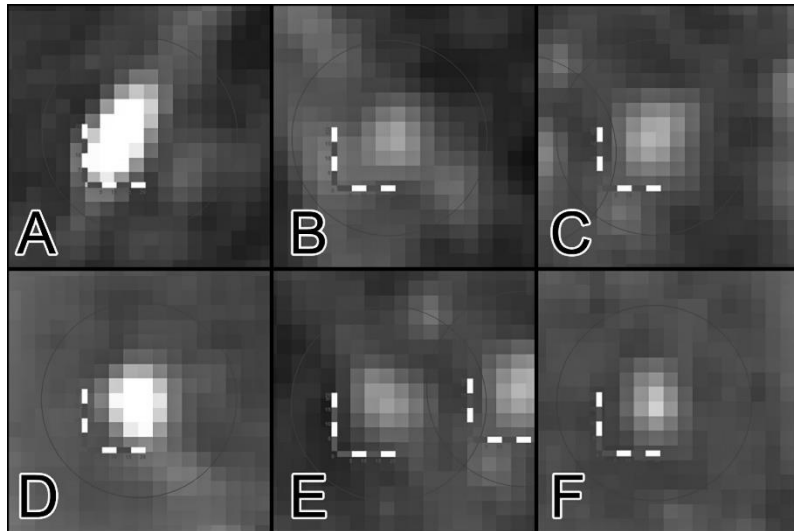


Figure 8. Objects classified as probable (B, C, E, F) and possible (A, D) whales, marked with graphic scale and diameter circle, recorded in the images of medium resolution satellites (*Planet Scope*, 09/16/2016, 09/20/2017 and 09/07/2018).

In addition, the *Dzetsaka* and SCP plug-ins were tested for unsupervised classification of these images. Spectral responses of points recorded in the images as possible whales, as well as points indicated as water (excluding the surf area), generated classification maps that indicated various points of possible whales including places where there were only ripples in the water (Fig. 9). The SCP plug-in presented more solid maps than *Dzetsaka*, with answers closer to the supervised classification, but both showed low efficiency for detecting objects of possible whales.

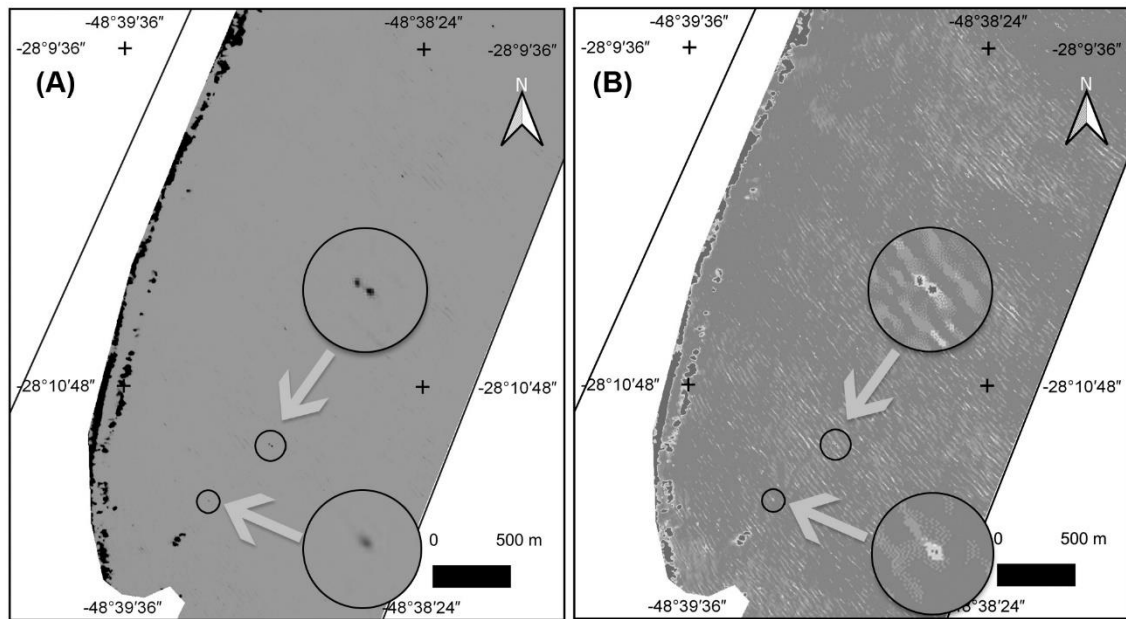


Figure 9. Medium resolution images (09/7/2018) with answers from the *Dzetsaka* (A) and SCP (B) plug-ins, highlighting points classified as possible whales.

Much of satellite image processing involves the process of downloading and later analyzing in software, but satellite imagery providers now offer services with images already processed in various compositions, reducing post-processing work. These services include the *Sentinel Hub* website, where we used two images of the *Sentinel 2* and *Landsat 8* satellites on September 7 and 6, 2018, respectively, which compared to aerial surveys data could indicate the presence of whales in the study area. (Fig. 10).

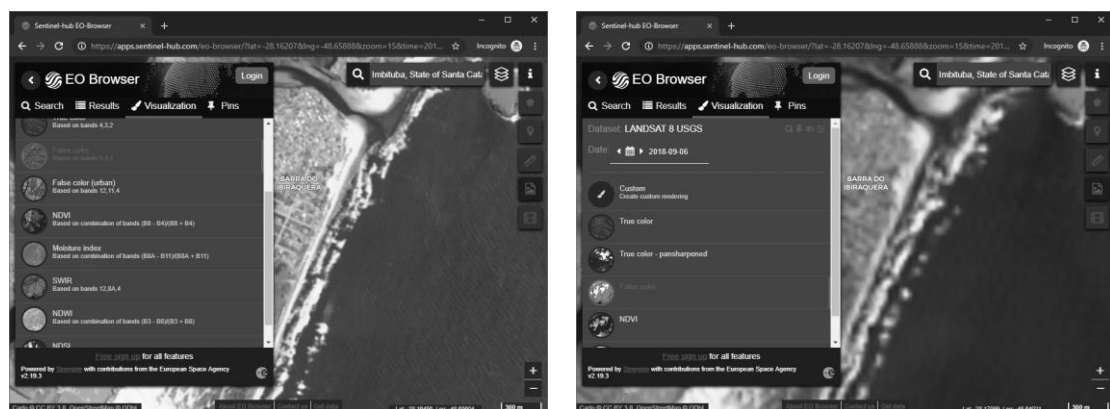


Figure 10. Low resolution images of the *Sentinel 2* (left) (09/07/2018) and *Landsat 8* (right) (09/06/2018) satellites, with no record of likely or possible whale objects.

However, by analyzing these images with the composition of bands available through this service, it was not possible to locate probable or possible whales. The outstanding moisture composition evidenced several elements present in the water, such as vessels and rocky outcrops, but no elements that could be classified as a whale. Therefore, this type of image did not present satisfactory answers to locate and quantify whales in the present study. In addition, images did not have good temporal resolution.

DISCUSSION

This is the first-time satellite imagery has been used to identify southern right whales in the breeding area of southern Brazil. Earlier studies recorded southern right at Peninsula Valdez, Argentina (Fretwell *et al.*, 2014; Cubaynes *et al.*, 2019) and other different whale species through high resolution satellite imagery such as *IKONOS* (Abileah, 2002) and *Worldview* (Fretwell *et al.*, 2014; Cubaynes *et al.*, 2019), and in this research we used medium and high-resolution images from 5 different years, including a free *SPOT 7* satellite image available through *Google Earth*. In addition, for the first time a supervised classification was compared with data collected by field researchers through aerial surveys.

Satellite imagery available at dates close to the research aerial surveys conducted by the *Instituto Australis* have made it possible to identify objects classified as definite, probable and possible whales. Thus, they can be used for monitor over the years the southern right whales habitat use, especially for the nearly daily temporal resolution of the satellite set images from *Planet Labs Inc.*. However, like every research method, this type of tool has its capabilities and limitations (LaRue *et al.*, 2016).

Due to the period of the images analyzed, at the peak of the breeding season of the species, it is known that the mother-calf pairs have pre-migratory behavior, with close body contact (Taber and Thomas, 1982; Thomas and Taber, 1984) and vocalizations (Dombroski *et al.*, 2017), which may suggest that objects recorded in satellite images are mostly groups containing mother-calf pairs. Guirado *et al.* (2018) had already mentioned the need to further study the detection of mother-calf pairs in satellite imagery.

From the medium resolution satellite imagery and through the supervised classification we were able to mark points of probable and possible whales, but we could not visualize the animals on the surface as in the high-resolution images. These also presented the possibility of visualizing the distribution of objects such as large vessels, rocky outcrops, as well as coast characteristics at different dates and years.

Furthermore, in these images it was possible to test unsupervised classification through plug-ins. The SCP plug-in is considered more complete because it has spectral signatures of the elements and can be applied to various types of satellite images, spectral bands and sampling. The *Dzetsaka* plug-in is simpler and faster to apply, but the results are more efficient for classifying elements on ground surfaces. Although unsupervised classification allows distinguishing elements where whales are located, we understand that it is still necessary to validate the method with field data collection through survey.

LeBlank *et al.* (2016) studied the spectral responses of polar bears (*Ursus maritimus*) and other large Arctic mammals to snow, as did Abileah (2002), Fretweel *et al.* (2014) and Cubaynes *et al.* (2019) obtained large whale spectral responses with *IKONOS* and *World-View* images. In the present study, unsupervised classification responses from plug-ins present similar results in areas where we visually mark points of whales, yet it was not possible to be absolutely sure that these are spectral responses of

southern right whales as they can be confused with other movements that occurs at the sea, such as water ripples on the surface.

However, the high-resolution image obtained by the *Google Earth* software proved to be efficient for identify southern right whales in the study area. And although there was a one-day difference between this image and the 2018 aerial survey data, there was no statistically significant difference in the comparison, which suggests the efficiency of the method.

In addition, there was a positive and significant correlation of the geographic coordinates collected during the aerial survey and the supervised classification of 2018, ie, the distances measured between the points in both methods generated similar responses, suggesting a similar spatial structure. This is related to the time existing between the two methods and because the whales' constant movement. According to LaRue *et al.* (2016), the necessary criteria for the use of VHR images in animal species monitoring are landscape openness, color and body size of the species conditions. In addition, recognizable species characteristics, known concentration areas, aggregation habits, temporal exclusivity and ground-truthing are complementary criteria, all of which are addressed in the present study.

In the study conducted by Cubaynes *et al.* (2019), southern right whales and humpback whales were mentioned as more difficult species to detect in satellite images compared to the other species studied, due to the lack of contrast with water in the studied sites. However, unlike humpback whales, which exhibit more active behaviors and longer diving periods, southern right whales when in areas of reproductive concentration such as southern Brazil exhibit slow behaviors, short dive intervals and remain on the surface for a long time, especially in shallow areas. This would facilitate their detection through satellite imagery despite the smallest spectral difference with respect to water.

The use of medium and high resolution satellite images for distribution and habitat use studies of southern right whales seems to be a good research tool due to the frequency of available images, area of coverage, efficiency and possibility of improvement of the method. *Google Earth* imagery has been analyzed through deep convolutional neural networks (CNNs) to detect whales by Guirado and collaborators (2018), encouraging the use of open-access satellite imagery for these purposes. World-View satellite images were also recently used through CNNs to classify tiles about contain a whale or not (Borowicz *et al.*, 2019).

Google Earth has the advantage of offering some high-resolution images, but in low frequency, requiring direct purchase from companies such as *Digital Globe*, who may make some images available through *Google Earth* to promote the quality of their products. It is known that aerial surveys are essential for photo identification of southern right whale individuals, but the use of satellite images, especially those provided by *Planet Labs Inc.* and high-resolution images, can be extremely useful for researching this population, enabling frequent monitoring at significantly lower costs and with excellent viability for conservation.

CONCLUSION

For medium resolution satellite images, further studies are suggested to validate supervised and unsupervised classification methods. However, the results from the high-resolution satellite images have efficiency for identify southern right whales in the study area and can be incorporated as a complementary tool to the studies of habitat use of southern right whales in Brazil, in other breeding areas of the species, and possibly other large whale species.

ACKNOWLEDGMENTS

This study was supported by the Postgraduate Support Program of Communitarian Institutions of Higher Education (PROSUC) from Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES). We are indebted to Dr. Felipe Rego for his support with the Mantel test analysis. We also thank the Instituto Australis, specially Dr. Karina Groch and Eduardo P. Renault-Braga for the whale's surveys data. We deeply thank *Planet Labs Inc.* for the access and satellite images used on this research. We are grateful for contributions by Dr. Liliane Lodi and Dr. Rogério Santos. Also, thanks to Christopher Barker for the English revision.

LITERATURE CITED

Abileah, R (2002) Marine mammal census using space satellite imagery. U.S. Navy Journal of Underwater Acoustics, 52: 709-724.

Bannister, J. L. 1990. Southern right whales of Western Australia. Report of the International Whaling Commission, v.12, p.279-288.

Berlloito, VR, Sarolli, VM, (2008) Mapeamento da sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo e ações de resposta para a região costeira e área portuária de Imbituba, SC, Brasil. Brazilian Journal of Aquatic Science and Technoogy. 12(2):115-125.

Bopp, TR (2014) Padrões de deslocamento e uso de habitat da baleia franca austral, *Eubalaena australis* (Desmoulins,1822), na região do Porto de Imbituba, Santa Catarina, Brasil, durante a temporada reprodutiva de 2013. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Borowicz, A, Le, H, Humphries, G, Nehls, G, Hoschle, C, Kosarev, V, Lynch, HJ (2019) Aerial-trained deep learning networks for surveying cetaceans from satellite imagery. PLOS ONE. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212532> .

Burnell, S, Bryden, MM (1997) Coastal residence periods and reproductive timing in southern right whales, *Eubalaena australis*. Journal of Zoology, v.241, p.613-621.

Cubaynes, HC, Fretwell, PT, Bamford, C, Gerrish, L, Jackson, JA (2019) Whales from space: Four mysticete species described using new VHR satellite imagery. Marine Mammal Science 35, 466–491. <https://doi.org/10.1111/mms.12544>

Digital Globe (2017) Counting whales by satellite. <http://blog.digitalglobe.com/industry/counting-whales-by-satellite/>.

Dombroski, JRG, Parks, SE, Groch, KR, Flores, PAC, Souza-Lima, RS (2017) Upcall production by southern right whale (*Eubalaena australis*) mother-calf pairs may be independent of diel period in a nursery area. Marine Mammal Science 33(2): 669–677.

FATMA (Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina) (2014) Lista Oficial das Espécies da Flora Ameaçada de Extinção no Estado de Santa Catarina. www.fatma.sc.gov.br/upload/Flora/resconsema51.pdf.

Fretwell, PT, Staniland, IJ, Forcada, J (2014) Whales from space: Counting southern right whales by satellite. PLOS ONE. 9 (2).

Groch, KR, Palazzo Jr., JT, Flores, PAC, Adler, FR, Fabian, ME (2005) Recent rapid increases in the Brazilian right whale population. *Latin American Journal of Aquatic Mammals*, (4)1: p.41-47.

Guirado, E, Tabik, S, Rivas, ML, Alcaraz-Segura, D, Herrera, F (2018) Automatic whale counting in satellite images with deep learning.

Hodgson, A, Kelly, N, Peel, D (2013) Unmanned aerial vehicles (UAVs) for surveying marine fauna: a dugong case study. *PloS One* 8, e79556.

ICMBio (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade) (2019) Área de Proteção Ambiental da Baleia Franca. <http://www.icmbio.gov.br/apabaleiafranca/> .

ICMBio (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade) (2018) Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção: Volume II – Mamíferos, 1. ed. Brasília, DF.

INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) (2019) Instituto Nacional de Meteorologia. <http://www.inmet.gov.br/portal/> .

IUCN (International Union for Conservation of Nature) (2019) The IUCN Red List of Threatened Species. <http://www.iucnredlist.org/details/8153/0>.

IWC (International Whaling Commission) (2012) Report of the Workshop on the Assessment of Southern Right Whales. SC/64/Rep5, 34p.

Kaschner, K, Quick, NJ, Jewell, R, Williams, R, Harris, CM (2012) Global coverage of cetacean line-transect surveys: status quo, data gaps and future challenges. PLoS ONE, 7(9): e44075.

Katona, S, Whitehead, H. (1988) Are Cetacea ecologically important? Oceanography Marine Biology Annual Review. 26, 553-568.

LaRue, MA, Stapleton, S, Anderson, M (2016) Feasibility of using high-resolution satellite imagery to assess vertebrate wildlife populations. Conservation Biology. 31. 10.1111/cobi.12809.

Leblanc, G, Francis, CM, Soffer, R, Kalacska, M, Gea, J (2016) Spectral Reflectance of Polar Bear and Other Large Arctic Mammal Pelts; Potential Applications to Remote Sensing Surveys. Remote Sensing, 8, 273.

Leimgruber, P, Christen, CA, Laborderie, A (2005) The impact of Landsat satellite monitoring on conservation biology. Environmental Monitoring and Assessment, 106:81–101.

Lodi, L, Bergallo, HG (1984) Presença da baleia-franca (*Eubalaena australis*) no litoral brasileiro. Boletim FBCN, 19: 157-163.

MMA (Ministério do Meio Ambiente) (2014) Lista Nacional Oficial de Espécies de Fauna Ameaçada de Extinção.

http://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Portaria/2014/p_mma_444_2014_lista_esp%C3%A9cies_ame%C3%A7adas_extin%C3%A7%C3%A3o.pdf

Moura, AE, Sillero, N, Rodrigues, A (2012) Common dolphin (*Delphinus delphis*) habitat preferences using data from two platforms of opportunity. *Acta Oecologica* 38, 24-32.

Oksanen, J, Blanchet, FG, Kindt, R, Legendre, P, O'hara, RB, Simpson, GL, Solymos, P, Stevens, MHH, Wagner, H (2016) *Vegan: Community ecology package*. R package version 2.3-4. <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>.

Palazzo Jr., JT Groch, KR, Silveira, HA (2007) *Projeto Baleia Franca: 25 anos de pesquisa e conservação, 1982-2007*. Imbituba, IWC/Brasil, 170p.

Palazzo Jr., JT, Carter, LA (1983) *A caça de baleias no Brasil*. Porto Alegre, Agapan. 25pp.

Planet Labs Inc. (2019) Planet Imagery and Archieve. <https://www.planet.com/products/planet-imagery/>

Renault-Braga, EP, Groch, KR, Flores, PAC, Secchi, E, Dalla Rosa, L (2018) Area usage estimation and spatiotemporal variability in distribution patterns of southern right whales, *Eubalaena australis*, of southern Brazil. *Marine Ecology*. e12506. 10.1111/maec.12506.

Rowntree, VJ, Payne, RS, Schell, DM (2001) Changing patterns of habitat use by southern right whales (*Eubalaena australis*) on their nursery ground at Peninsula Valdes,

Argentina, and in their long-range movements. *Journal of Cetacean Research and Management*, Special Issue 2:133-143.

Santos, MCO, Siciliano, S, Souza, SP, Pizzorno, JLA (2001) Occurrence of southern right whales (*Eubalaena australis*) along southeastern Brazil. *Journal of Cetacean Research and Management*, (2): 153-156.

Seyboth, E, Groch, KR, Secchi, E, Dalla Rosa, L (2015) Habitat use by southern right whales *Eubalaena australis* (Desmoulins, 1822), in their main northernmost calving area in the western South Atlantic. *Marine Mammal Science*, 31(4): 1521-1537.

Silveira, LF, Klein, AH, Tessler, MG (2011) Classificação morfodinâmica das praias do estado de Santa Catarina e do litoral norte do estado de São Paulo utilizando sensoriamento remoto. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*, 15(2):13-28.

StatSoft, Inc. (2007) STATISTICA (Data Analysis Software System), version 8.0. www.statsoft.com.

Taber, S, Thomas, P (1982) Calf development and mother-calf spatial relationships in Southern right whales. *Animal Behaviour*, 30:1072–1083.

Thomas, PO, Taber, SM (1984) Mother-infant interaction and behavioral development in southern right whales, *Eubalaena australis*. *Behaviour*, 88:42–60.

Turner, W, Spector, S, Gardiner, N, Fladeland, M, Sterling, E, Steininger, M (2003)
Remote sensing for biodiversity science and conservation. *Trends in Ecology and
Evolution*, 18:306–14.

Appendix 1. Map of the location of the Right Whale Environmental Protection Area (APABF) and section of the study area in southern Brazil.

