



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbge>



Características ambientais relacionadas aos encalhes da baleia-de-Bryde (*Balaenoptera edeni* Anderson, 1879)

Beatriz de Oliveira Salas¹, Gyrlene Aparecida Mendes da Silva², Rodrigo Silvestre Martins², Wandrey de Bortoli Watanabe²

¹ Bel. em Ciência e Tecnologia do Mar, Universidade Federal de São Paulo, oliveira.salas@unifesp.br ; ² Professores do Instituto do Mar, Universidade Federal de São Paulo, gyrlene.silva@unifesp.br (autora correspondente); rsmartins@unifesp.br ; wandrey.watanabe@unifesp.br .

Artigo recebido em 30/05/2025 e aceito em 23/10/2025

RESUMO

Os encalhes da baleia-de-Bryde no sudeste-sul do Brasil foram interpretados a fim de verificar se as condições meteorológicas, antes e durante, poderiam ter influenciado na aproximação das carcaças até as praias. Entre agosto de 2015 a 23 de outubro de 2024 foram vinte e sete indivíduos mortos nas praias entre 19°S a 29°S em São Paulo, Santa Catarina, Paraná, Rio de Janeiro e Espírito Santo (51,9%, 25,9%, 11,1%, 7,4% e 3,7% dos casos, respectivamente). Em média, os encalhes dependeram de ventos em superfície vindos do oceano, nebulosidade e águas costeiras mais frias que o entorno tanto nos dez e cinco dias anteriores quanto nos dias dos registros. No Espírito Santo e Rio de Janeiro, os ventos estiveram mais paralelos à costa por influência do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul; enquanto que em São Paulo, Paraná e Santa Catarina, mais perpendiculares pela interação dessa circulação com sistemas transientes. Junto à costa da área de estudo, a cobertura de nuvens aumentou e a temperatura da superfície do mar diminuiu, mais expressivamente, na proximidade dos dias dos registros. O resfriamento se estendeu mais latitudinalmente do sul do Espírito Santo a Santa Catarina evidenciando a influência da ressurgência de Cabo Frio presente há, pelo menos, cinco dias. O resfriamento também foi reforçado pelo aumento da nebulosidade, predominando na parte costeira central do Rio de Janeiro. O movimento ascendente da ressurgência pode ter facilitado a elevação das carcaças para superfície que, em seguida, teriam sido transportadas pelas águas superficiais induzidas pelo vento perpendicular à costa.

Palavras-chave: *Balaenoptera edeni*, baleia-de-Bryde, encalhes, nuvens, ressurgência, temperatura da superfície do mar, vento.

Environmental influence on Bryde's whale strandings (*Balaenoptera edeni* Anderson, 1879)

ABSTRACT

Data of Bryde's whale strandings on southeastern Brazilian coast were interpreted to determine whether meteorological and oceanic conditions before and during the cases could have influenced the carcasses' approach to the beaches. Twenty-seven individuals were found dead on beaches along 19°S to 29°S between August 2015 and October 23, 2024: in São Paulo, Santa Catarina, Paraná, Rio de Janeiro, and Espírito Santo (51.9%, 25.9%, 11.1%, 7.4%, and 3.7% of the cases, respectively). On average, strandings were influenced by ocean surface winds, cloud cover and cooler coastal waters, both ten to five days prior the strandings and during the dates of the records. In Espírito Santo and Rio de Janeiro, wind directions were more parallel to the coast due to the influence of the South Atlantic Subtropical Anticyclone. In São Paulo, Paraná, and Santa Catarina, winds were more perpendicular to the coast due to the interaction between this circulation and transient systems. Cloud cover increased and sea surface temperature decreased along the coast of the study area, more markedly closer to the strandings. Coastal cooling was more significant in the central part of Rio de Janeiro due to upwelling, extending latitudinally from southern Espírito Santo to Santa Catarina, reinforced by increased cloud cover. The upward movement of the upwelling may have facilitated the elevation of the submerged whale carcasses to the surface, which would then have been transported onshore by surface waters induced by the wind perpendicular to the coast.

Keywords: *Balaenoptera edeni*, Bryde's whale, clouds, sea surface temperature, strandings, upwelling, wind.

Introdução

A baleia-de-Bryde (*Balaenoptera edeni*), descrita inicialmente por Anderson (1879), é a única baleia-de-barbatana não migratória do Brasil (Dalpaz et al., 2023) encontrada tanto em águas costeiras quanto oceânicas entre 40°N e 40°S, nos Oceanos Pacífico, Índico e Atlântico, normalmente em águas com temperaturas superficiais superiores a 16°C (Domit et al., 2023; Lima, 2020). A espécie é frequentemente sinonimizada como *B. brydei* (Committee on Taxonomy, 2022).

As baleias-de-Bryde exploram recursos como cardumes, krill e zooplâncton (Izadi et al., 2022) sendo regularmente observadas na costa sudeste do Brasil, com avistamentos frequentemente associados à predação de cefalópode (*Doryteuthis pleii*), manjubas (*Anchoviella* cf. *lepidentostole*) e sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*) cuja distribuição é influenciada pelo processo de ressurgência (de Freitas, 2025), e a interações sociais intraespecíficas (Gonçalves e Andriolo, 2006).

No Brasil, os encalhes desses cetáceos estão sendo registrados desde a costa do Maranhão até o Rio Grande do Sul, mas a maioria está concentrada no litoral sudeste relacionada com ilhas costeiras (de Freitas, 2025; Milmann et al., 2023; Lima, 2020; Gonçalves e Andriolo, 2006). Mas há estudos, como por exemplo, Roman et al. (2021) que mencionam ressalvas na determinação da causa da morte antes do encalhe. E apesar da ecologia e a distribuição da maioria das baleias de barbatana serem pouco conhecidas nas águas brasileiras (Milmann et al., 2023), seus hábitos costeiros as tornam vulneráveis às capturas acidentais em redes de pesca, colisão com embarcações, exposição à poluição marinha, e à expansão das atividades de exploração e produção de petróleo e gás (Athayde et al., 2023; Domit et al., 2023).

Recentemente, Lima (2020) revisou os encalhes da baleia-de-Bryde no sudoeste do Oceano Atlântico entre 1972 a 2015. Os casos foram mais frequentes no sudeste do Brasil (Rio de Janeiro e São Paulo, $n = 53$), seguido pelos estados da Região Sul (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, $n = 17$). Somente quatro casos de encalhes foram observados na Região Nordeste nesse período, o que pode estar relacionado ao

menor esforço de monitoramento comparado às Regiões Sudeste e Sul. O autor também menciona que o Sudeste é uma zona de maior produtividade biológica em comparação com o Nordeste. O maior número de encalhes no Sudeste poderia ser favorecido pela maior presença da espécie em áreas de ressurgência costeira, onde encontrariam maiores concentrações de alimento (de Freitas, 2025; Lima, 2020).

Apesar de seus hábitos costeiros e menos migratórios, a baleia-de-Bryde é considerada como a espécie menos conhecida dentre os balaenopterídeos (Pirotta et al., 2025). Mesmo havendo esforços para o seu monitoramento, ainda não existem estimativas populacionais no Brasil e faltam informações que permitam uma avaliação adequada do seu risco de extinção no País (Domit et al., 2023). Desta forma, pesquisas sobre os encalhes da espécie fornecem subsídios importantes para o seu monitoramento. Considerando o exposto, o objetivo deste estudo foi compilar os dados de encalhes da baleia-de-Bryde no sudeste-sul do Brasil entre 2015 e 2024 e interpretar as condições meteo-oceanográficas, antes e durante os casos, para avaliar se poderiam ter influenciado na aproximação das carcaças até as praias.

Material e métodos

Dados de encalhes

Os dados de encalhes foram obtidos do Projeto de Monitoramento de Praias da Bacia de Santos (PMP-BS) e das Bacias de Campos e Espírito Santo (PMP-BC/ES), que são programas de monitoramento da biota marinha sob influência de atividades de exploração e produção de petróleo e gás natural *offshore* da Petróleo Brasileiro S.A. (PETROBRAS, 2024).

Os programas são conduzidos pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) em atendimento de condicionantes do licenciamento ambiental federal. O PMP-BS monitora o encalhe de megafauna marinha em todas as praias localizadas entre Saquarema (RJ; 22,8°S) e Laguna (SC; 28,4°S), enquanto o PMP-BC/ES monitora as praias situadas entre Conceição da Barra (ES; 18,4°S) e Arraial do Cabo (RJ; 22,9°S). Estes dados de encalhes estão

disponibilizados ao público através do Sistema de Informação de Monitoramento da Biota Aquática (SIMBA, <https://simba.petrobras.com.br/simba/web/>).

No presente trabalho foi aplicado o filtro para taxonomia “Balaenoptera” na aba de “Ocorrência de fauna alvo individual” nas áreas PMP-BS Área SP, PMP-BS Área RJ, PMP-BS Área SC/PR, PMP-BS Fase 1, PMP-BS Fase 2 e PMP-BC/ES, entre agosto de 2015 até 23 de outubro 2024.

Dados ambientais

As variáveis ambientais incluíram reanálises de direção e velocidade do vento (m/s) em suas componentes zonal (u) e meridional (v) em 10 m (nível de superfície) e cobertura de nuvens, e Temperatura da Superfície do Mar (TSM) a partir de estimativa de satélite. Essas variáveis foram obtidas em pontos de grade sobre o domínio espacial de 5°S–40°S e 5°W–55°W para o mesmo período dos dados de encalhe.

Os dados de vento e cobertura de nuvens tiveram uma resolução espacial de 0,25° latitude × 0,25° longitude e temporal de 6 horas (00, 06, 12 e 18 UTC) sendo obtidos do *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) (Hersbach et al., 2020). Os de TSM foram extraídos do conjunto OISST v2 AVHRR da *National Oceanic and Atmospheric Administration/National Aeronautics and Space Administration* (NOAA/NASA) (Huang et al., 2021).

Essas variáveis foram selecionadas devido ao conhecimento prévio da preferência das baleias-de-Bryde por águas entre 9 e 51 m (de Freitas, 2025) ou mesmo entre 4 e 140 m (Parente et al., 2017). Estes intervalos de profundidade sofrem influência direta da ação do vento em superfície, nebulosidade e TSM (Harari, 2021).

Processamento e análise dos dados

Os relatórios das diferentes áreas consultadas foram exportados e agrupados em uma única tabela, mantendo somente os registros das taxonomias “Balaenoptera edeni” e “Balaenoptera brydei”, uma vez que as baleias-de-Bryde não possuem uma taxonomia definida

(Taguchi et al., 2022). As coordenadas e a data de cada registro de encalhe foram georreferenciadas no domínio espacial selecionado para encontrar os valores equivalentes à média diária da velocidade e direção do vento em 10 m e TSM. As coordenadas que estavam localizadas em pontos de grade sobre áreas continentais costeiras foram ajustadas para o ponto de grade mais próximo do oceano. Em seguida, foram obtidos os respectivos valores de velocidade e direção do vento em 10 m e TSM.

Cada registro de encalhe, incluindo data, estado da federação, espécie do indivíduo e coordenada geográfica foi utilizado para retratar a sua distribuição espacial bem como a quantidade total dos encalhes por estado da federação, mês e ano.

A técnica de composição foi aplicada a fim de interpretar o comportamento médio da atmosfera e do oceano nos intervalos de tempo de interesse. Inclusive, a técnica foi aplicada em estudos interdisciplinares de interação entre o oceano-atmosfera (Kodama et al., 2023) e entre o ambiente físico e biológico (Vasconcelos et al., 2021). Antes da sua aplicação, foi necessário calcular a média diária da velocidade e direção do vento bem como da cobertura de nuvens, por terem sido obtidas com resolução de 6 horas, diferentemente da TSM que estava com resolução diária. As componentes zonal (u) e meridional (v) do vento foram usadas para encontrar a velocidade e direção do vento horizontal em 10 m através das seguintes equações (Vianello e Alves, 2012):

$$Velocidade = \sqrt{(u^2 + v^2)} \quad \text{Eq. 1}$$

$$Direção = |180 + 180/\pi \operatorname{atan2}(u, v), 360| \quad \text{Eq. 2}$$

Posteriormente, foram geradas as figuras de composições de médias do vento em 10 m, cobertura de nuvens e TSM para os intervalos de interesse de dez e cinco dias anteriores aos registros das carcaças de baleia-de-Bryde (Dia -10 e Dia -5, respectivamente), e para os dias em que foram registradas pelo SIMBA (Dia 0). Esses intervalos foram escolhidos porque não havia informação se as baleias haviam encalhado no dia do registro ou se estavam à deriva em águas mais próximas da costa até que fossem localizadas e registradas pelo SIMBA. Diante disso, foi suposto

que elas estariam sendo influenciadas por fenômenos meteorológicos de escala sinótica (larga escala) (Ynoue et al., 2017), assim como sugerido em estudos prévios sobre encalhes relacionados a variáveis meteorológicas e oceanográficas (Lima, 2020).

Devido ao aquecimento diferencial da Terra pela radiação solar, no geral, as isotermas da TSM ao longo da Terra acompanham os paralelos (com maiores valores no equador e menores nos polos) (Harari, 2021). Então, assim como realizado por da Silva et al. (2021), seria necessário remover a média zonal em cada latitude para ressaltar as características da TSM sobre o oceano aberto como consequência das circulações atmosféricas. Entretanto, esse procedimento não foi adotado nas composições de média de TSM, pois a ênfase foi dada aos valores observados na região costeira.

A mudança de temperatura da água é relativamente lenta devido a sua alta “inércia térmica”, pois seu calor específico é cerca de mil vezes maior do que o do ar (Harari, 2021). Dessa forma, a partir das composições de média da TSM foram geradas as tendências (i.e., diferenças) entre o Dia -10 e Dia -5 bem como entre o Dia -5 e 0. Ambas foram comparadas a composição de média de TSM durante o Dia 0.

As composições meteo-oceanográficas foram comparadas entre si para identificar como a atmosfera e o oceano haviam evoluído desde o Dia -10 ao Dia 0. E finalmente buscaram-se similaridades ou diferenças dos resultados estatísticos e do ambiente físico com estudos prévios.

Resultados e discussão

Distribuição espacial e temporal dos encalhes

A ocorrência e distribuição da baleia-de-Bryde são mais frequentes nas regiões costeiras (Domit et al., 2023). A Figura 1a ilustra um dos avistamentos da espécie no Litoral Norte de São Paulo sendo categorizada como uma das mais comuns nesta região. Seus encalhes e registros fotográficos são algumas das informações contidas nos relatórios do SIMBA. A Figura 1b mostra um dos encalhes de *Balaenoptera edeni* registrado em 16 de janeiro de 2024 na Praia Grande/SP (SIMBA, 2024).

A Tabela 1 possui as informações dos casos de encalhes da baleia-de-Bryde desde o início dos registros divulgados pelo SIMBA em agosto de 2015 até 23 de outubro de 2024. Todos os indivíduos foram encontrados mortos e a tabela contém informações sobre a distribuição geográfica dos casos ao longo das praias do estudo, as respectivas coordenadas georreferenciadas e as que precisaram ser ajustadas para o ponto de grade mais próximo do oceano quando estavam localizadas em pontos de grade nas áreas continentais costeiras. Em ordem crescente de data de registro, apenas a latitude e longitude do caso 2 e a longitude dos casos 5, 6, 10, 11, 12, 21, 23, 24 e 26 precisaram ser ajustadas. Como a ordem de grandeza dos valores ajustados foi em escala de decimal, o ajuste não comprometeu os resultados do estudo, pois as respectivas carcaças registradas nesses casos continuaram na região costeira e não em oceano aberto. A distribuição geográfica relatada na Tabela 1 está sumarizada na Figura 2 sendo as coordenadas sem ajuste e as ajustadas representadas pelos triângulos e cruzeiros, respectivamente.

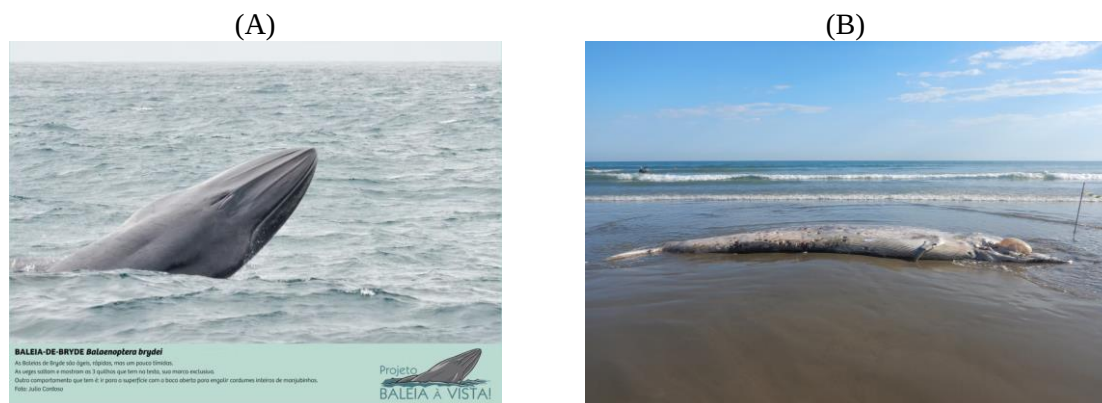


Figura 1. Avistamento da baleia-de-Bryde: (A) Viva [Crédito: Julio Cardoso, Projeto Baleia à Vista, Litoral Norte de São Paulo, <https://www.projeto baleiaavista.com.br/especies-mais-comuns>]; (B) Morta e encalhada na Praia Grande/SP [Extraída de (SIMBA, 2024)].

Tabela 1: Informações sobre os encalhes da baleia-de-Bryde desde o início dos registros divulgados pelo SIMBA em agosto de 2015 até 23 de outubro de 2024. As latitudes e longitudes que precisaram ser ajustadas também estão descritas na tabela.

Caso	Data	Estado	Espécie do indivíduo	Latitude (°)	Longitude (°)	Latitude ajustada (°)	Longitude ajustada (°)
1	17/10/2015	São Paulo	<i>Balaenoptera edeni</i>	-24,873870	-47,724080	-	-
2	20/10/2015	São Paulo	<i>Balaenoptera edeni</i>	-23,592523	-45,288713	-23,500000	-45,000000
3	25/11/2015	Santa Catarina	<i>Balaenoptera edeni</i>	-28,418919	-48,746083	-	-
4	22/06/2016	São Paulo	<i>Balaenoptera brydei</i>	-24,316190	-46,985500	-	-
5	21/09/2016	Paraná	<i>Balaenoptera edeni</i>	-25,474700	-48,268400	-	-48,250000
6	26/09/2016	São Paulo	<i>Balaenoptera brydei</i>	-24,247610	-46,890210	-	-46,750000
7	14/11/2016	São Paulo	<i>Balaenoptera brydei</i>	-24,321300	-46,990950	-	-
8	14/11/2016	Santa Catarina	<i>Balaenoptera brydei</i>	-26,267520	-48,523140	-	-
9	25/11/2016	Santa Catarina	<i>Balaenoptera edeni</i>	-27,592870	-48,425840	-	-
10	26/02/2017	Santa Catarina	<i>Balaenoptera edeni</i>	-27,896600	-48,580840	-	-48,500000
11	22/11/2017	São Paulo	<i>Balaenoptera edeni</i>	-23,842313	-45,405963	-	-45,250000
12	21/12/2017	Santa Catarina	<i>Balaenoptera edeni</i>	-27,927506	-48,609265	-	-48,500000
13	17/07/2018	São Paulo	<i>Balaenoptera edeni</i>	-23,772850	-45,227228	-	-
14	05/08/2018	Santa Catarina	<i>Balaenoptera edeni</i>	-27,415380	-48,403800	-	-
15	21/08/2018	Espírito Santo	<i>Balaenoptera edeni</i>	-19,187150	-39,707150	-	-
16	17/06/2020	Paraná	<i>Balaenoptera brydei</i>	-25,744157	-48,495827	-	-
17	01/10/2020	São Paulo	<i>Balaenoptera edeni</i>	-23,960926	-46,182076	-	-
18	17/10/2020	Rio de Janeiro	<i>Balaenoptera brydei</i>	-22,297650	-41,685590	-	-
19	24/10/2020	Rio de Janeiro	<i>Balaenoptera brydei</i>	-22,669500	-41,997200	-	-
20	25/10/2020	São Paulo	<i>Balaenoptera edeni</i>	-23,990890	-46,241900	-	-
21	01/07/2021	São Paulo	<i>Balaenoptera brydei</i>	-23,722969	-45,344009	-	-45,250000
22	17/07/2021	Paraná	<i>Balaenoptera brydei</i>	-25,472810	-48,222421	-	-
23	12/06/2023	São Paulo	<i>Balaenoptera edeni</i>	-24,232140	-46,867959	-	-46,750000
24	03/10/2023	Santa Catarina	<i>Balaenoptera brydei</i>	-26,188607	-48,528107	-	-48,500000
25	13/12/2023	São Paulo	<i>Balaenoptera brydei</i>	-23,546306	-45,077620	-	-
26	14/12/2023	São Paulo	<i>Balaenoptera brydei</i>	-23,752336	-45,350554	-	-45,250000
27	16/01/2024	São Paulo	<i>Balaenoptera edeni</i>	-24,015335	-46,421099	-	-

A maior densidade de registros em São Paulo e Santa Catarina indica o predomínio de encalhes nas praias destes Estados. Esta tendência é claramente ilustrada na Figura 3a através da quantidade de encalhes por Estados e por meses: Em São Paulo e Santa Catarina o somatório resultou em 14 e 7 casos, enquanto no Paraná, Rio de Janeiro e Espírito Santo em 3, 2 e 1 caso, respectivamente. Na distribuição temporal (Figura 3b) observa-se uma maior quantidade em meses da primavera austral, com 7 encalhes em outubro e 5 em novembro, seguido dos meses de junho, julho e dezembro com o somatório de 3 encalhes por mês. Tanto em agosto quanto em setembro, o acumulado foi de 2 casos, enquanto que janeiro e fevereiro, apenas, de 1 caso por mês. Em março a maio não houve registros de encalhes.

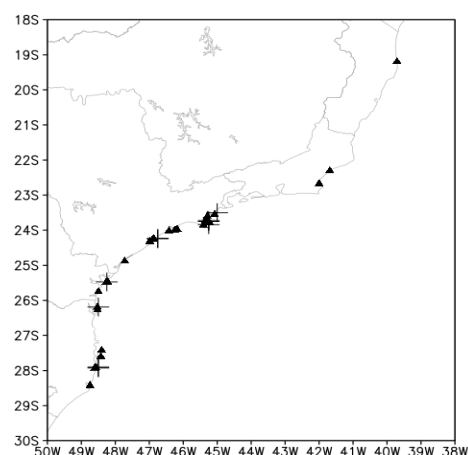


Figura 2: Distribuição espacial dos encalhes da baleia-de-Bryde registrados pelo SIMBA desde o início em agosto de 2015 até 23 de outubro de 2024. Os triângulos representam as coordenadas sem ajuste, e as cruzes as que precisaram ser ajustadas para o ponto de grade mais próximo do oceano quando estavam localizadas em pontos de grade sobre áreas continentais costeiras.

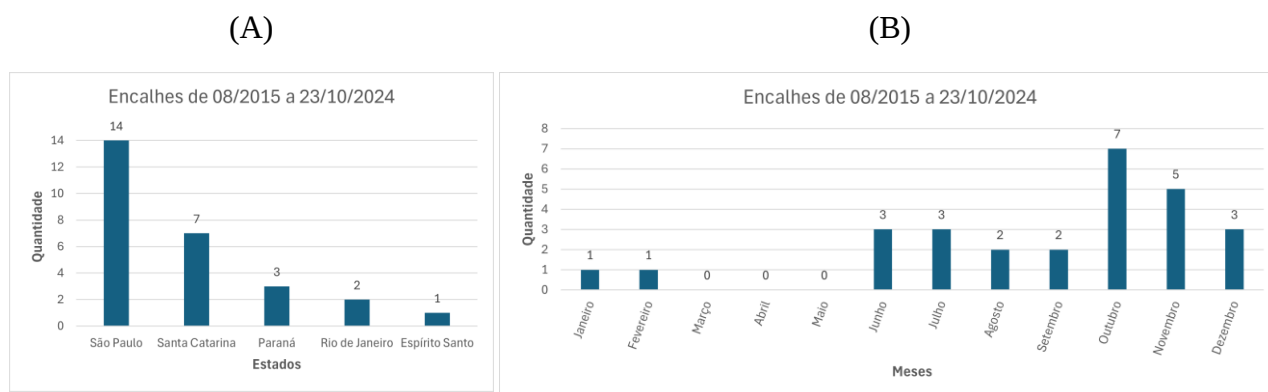


Figura 3: Quantidade de encalhes da baleia-de-Bryde: (A) Por Estados; (B) Por meses.

Características meteo-oceanográficas relacionadas aos encalhes

A Figura 4 é a composição do vento em 10 m (a-c) e cobertura de nuvens (d-f) na média dos dez e cinco dias anteriores aos registros de encalhes e nas datas dos mesmos, Dia -10, Dia -5 e Dia 0, respectivamente.

Situação meteorológica no Dia -10

Em média, nos dez dias anteriores aos registros, Dia -10 (Fig. 4a), havia um anticiclone no Oceano Atlântico Sul com centro em 31–33°S; 15–10°W e ventos de até 2 m/s. Na periferia leste do sistema, os ventos aumentaram de intensidade adquirindo direção sudeste com deslocamento para a região equatorial. Tais características

indicam que essa circulação era a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS).

Um anticiclone transiente, parcialmente visto no domínio da Figura 4a, esteve ao sul de 27°S e centrado próximo de 55°W. Um cavado de superfície se formou na região de convergência do escoamento entre esse anticiclone transiente e o ASAS. Os ventos da periferia noroeste do ASAS influenciaram algumas regiões costeiras da área de estudo: No Espírito Santo, as velocidades variaram de 2 a 4 m/s com direção de nordeste, aproximadamente, quase perpendicular à costa, enquanto no Rio de Janeiro variaram de 0 a 2 m/s com direção aproximada de leste-nordeste paralela à costa. Ao se aproximarem de São Paulo e Paraná, os ventos mudaram de direção indo para o interior do continente com velocidades de 2 a 4 m/s e direção aproximada de sudeste perpendicular à costa. A partir da região de confluência entre periferia do anticiclone transiente e do cavado de superfície, os ventos se deslocaram do oceano para a costa de Santa Catarina onde desaceleraram atingindo condição de calmaria.

A Figura 4d mostra o aumento da nebulosidade ao longo de 19°S a 29°S, região de estudo, coerente com as direções do vento observadas. Possivelmente, essa situação resultou do aumento do transporte de umidade de origem oceânica seguido da convergência do escoamento junto à costa.

Situação meteorológica no Dia -5

Na média dos cinco dias antes dos registros, Dia -5 (Fig. 4b), o centro do ASAS se deslocou para leste em 33–36°S; 7–10°W. O anticiclone migratório (anteriormente observado no Dia -10) também havia se deslocado para leste no Dia -5 ficando centrado entre 35–40°S; 37–40°W, aproximadamente. Coerentemente, a região de convergência dos ventos entre o anticiclone transiente e o ASAS também seguiu o mesmo sentido de deslocamento, mas sem apresentar característica de cavado em superfície.

Os ventos da periferia noroeste do ASAS influenciaram o Espírito Santo com velocidades 2 a 6 m/s, aproximadamente, de leste-nordeste quase paralelos à costa. No Rio de Janeiro a magnitude foi de 2 a 4 m/s com direção aproximada de nordeste e paralela à costa. Da mesma forma que observado na Figura 4a, os ventos mudaram de direção à medida que se

aproximaram de São Paulo e Paraná e, em seguida, foram para o interior do continente. Na maior extensão costeira de São Paulo até Santa Catarina a velocidade variou de 2 a 4 m/s e direção aproximada de leste perpendicular à costa.

Nota-se um ligeiro aumento de nebulosidade na parte costeira do Espírito Santo ao Rio de Janeiro (Fig. 4e), em decorrência do aumento do escoamento e da direção mais paralela à costa em comparação ao Dia -10. Porém, na parte costeira de São Paulo a Santa Catarina, a presença de nuvens esteve mais intensa, possivelmente, pelo maior transporte de umidade de origem oceânica devido à ligeira intensificação da velocidade do vento e direção mais perpendicular à costa em comparação ao Dia -10.

Situação meteorológica no Dia 0

Em termos médios, as circulações observadas no Dia -5 (Fig. 4b) persistiram durante as datas dos registros dos encalhes, Dia 0, (Fig. 4c), porém, com ligeiras diferenças na intensidade e posicionamento. No Dia 0, o ASAS continuou se deslocando para leste ficando centrado em 27–32°S; 5–0°W. O anticiclone migratório esteve mais afastado do continente e se tornou mais intenso, com centro em 33–37°S; 41°–35°W. Sobre o oceano, a região de convergência dos ventos vindos de direções opostas a partir das periferias dos anticiclones também se deslocou para leste.

As regiões costeiras do Espírito Santo e Rio de Janeiro receberam escoamento de 2 até 6 m/s vindos da periferia noroeste do ASAS. No Espírito Santo a direção aproximada foi de leste-nordeste e no Rio de Janeiro de nordeste e leste-nordeste paralelos à costa. Velocidades de 2 a 4 m/s foram observadas em toda extensão de São Paulo a Santa Catarina. A direção aproximada de leste perpendicular à costa foi decorrente da confluência do escoamento entre a periferia e norte do anticiclone migratório e noroeste do ASAS sobre o oceano. Em seguida, os ventos fluíram para o interior do continente.

A nebulosidade aumentou em comparação ao Dia -5 ao longo de toda a extensão costeira de 19–29°S (Fig. 4f). É possível que essa configuração tenha sido influenciada pelos ventos vindos do oceano para essas regiões contribuindo com o aumento no transporte de umidade seguido da convergência associada.

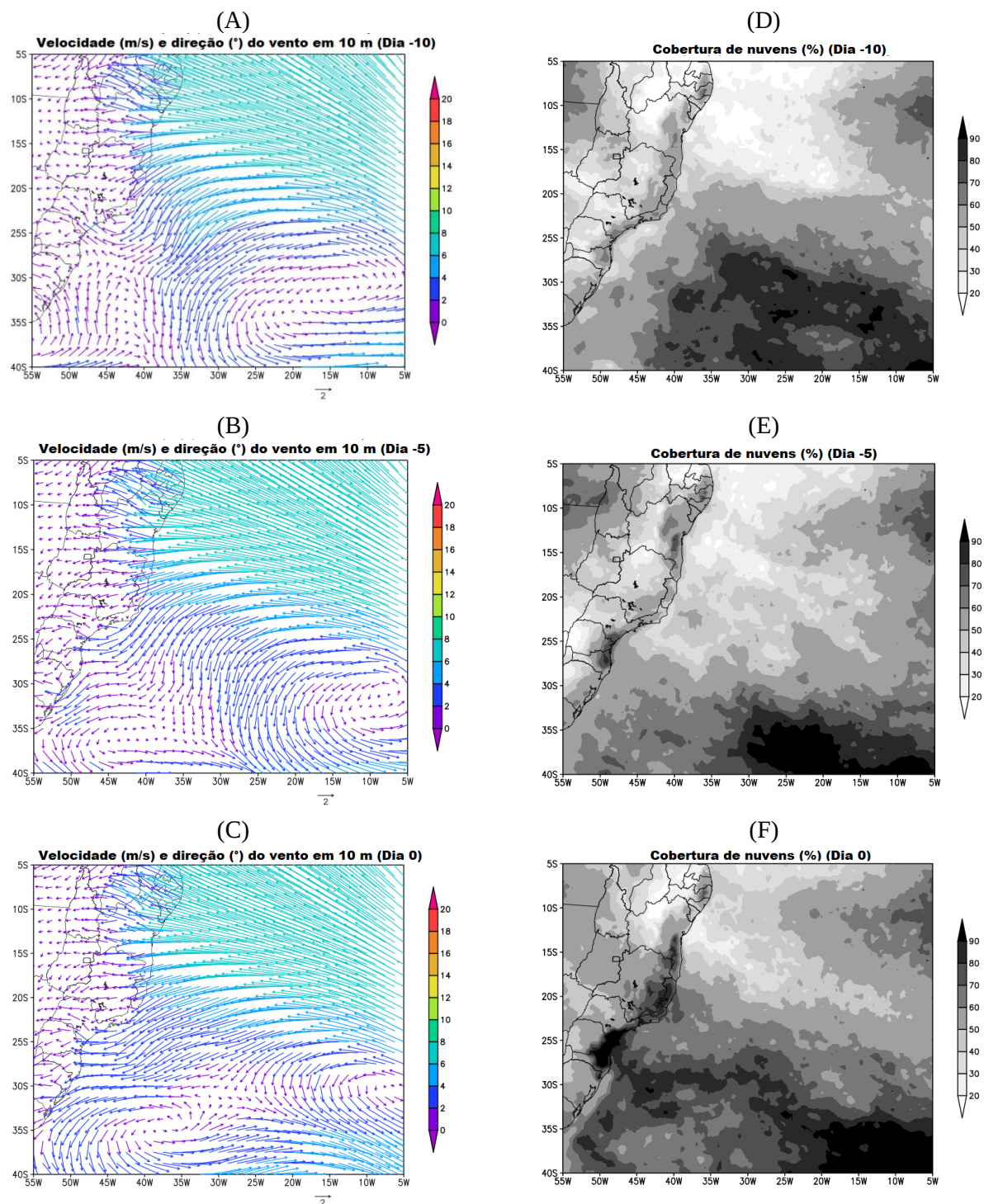


Figura 4: Composições de média da velocidade (m/s) e direção (°) do vento em 10 m (A-C) e cobertura de nuvens (%) (D-F) para todos os 27 encalhes da baleia-de-Bryde registrados nas praias entre 19 – 29°S de agosto de 2015 a 23 de outubro 2024: (A, D) Dez dias antes dos registros (Dia -10); (B, E) Cinco dias antes dos registros (Dia -5); (C, F) Durante as datas dos registros (Dia 0). A direção e a velocidade do vento são representadas pelos vetores. Um vento de 2 m/s é representando por um vetor de tamanho igual ao do canto inferior direito de cada figura. A escala de cores também representa a velocidade do vento.

Tendências da TSM antes e durante os eventos de encalhe

A Figura 5 representa a tendência espacial da TSM tanto antes das datas dos registros dos encalhes quanto durante. As diferenças negativas indicam aquecimento, enquanto as positivas, resfriamento. A diferença da TSM entre os dez e cinco dias antes dos registros (Dia -10 menos Dia -5) apresenta uma ligeira tendência de resfriamento no centro-norte do Rio de Janeiro, ao contrário das demais regiões que tiveram uma ligeira tendência de aquecimento (Fig. 5a). Porém, a diferença entre os cinco dias antes e durante os registros (Dia -5 menos Dia 0) mostra um ligeiro resfriamento da TSM costeira entre a maior parte do sul do Espírito Santo até Santa Catarina (Fig. 5b).

A tendência ao ligeiro resfriamento da TSM na maior parte do Rio de Janeiro observada na Figura 5a pode ter sido por consequência da ressurgência costeira, pois o vento estava paralelo à costa, apesar de fraco. Enquanto isso havia uma tendência ao ligeiro resfriamento na maior extensão da área de estudo e mais predominante quanto mais próximo da data dos registros de encalhes (Fig. 5b). E em média, foi justamente nessas datas (selecionadas para o Dia 0) que houve o aumento da cobertura de nuvens ao longo da costa (Fig. 4f) comparado aos Dias -10 e -5 (Figs. 4 d-e, respectivamente). Esse aumento poderia ter favorecido a diminuição da incidência de radiação solar sobre o oceano resultando no seu resfriamento em superfície.

Na composição da TSM durante o dia dos registros de encalhes (Dia 0), entre a costa central do Espírito Santo e de São Paulo, os valores foram menores em comparação ao entorno (Fig. 5c). Na maior extensão latitudinal desse trecho, variaram de 24 a 23 °C, porém, diminuíram para 23 a 22 °C na costa central Rio de Janeiro caracterizando a ressurgência induzida por ventos de 2 a 6 m/s de nordeste e leste-nordeste paralelos à costa (Fig. 4c). Houve declínio latitudinal da TSM de 23 para 19 °C desde a parte costeira central de São Paulo até Santa Catarina.

Longitudinalmente e imediatamente a leste das características descritas para o Dia 0, a temperatura aumentou em até 1°C em áreas mais afastadas da costa. Ou seja, no dia em que as carcaças foram registradas havia águas mais frias

junto à costa de toda a área de estudo envoltas por águas mais quentes. Mas de acordo com as tendências, esse resfriamento costeiro estava se intensificando desde o Dia -5 na parte costeira central do Rio de Janeiro (Fig. 5a) pela presença da ressurgência favorecida pelo vento em 10 m (Fig. 4b). O resfriamento estava se distribuindo por uma maior extensão latitudinal desde o sul do Espírito Santo a Santa Catarina no Dia 0 (Fig. 5b), em associação com o aumento da cobertura de nuvens ao longo da costa de estudo desde o Dia -10 e em maior porcentagem no Dia 0 (Figs. 4 d-f).

A ligeira, mas consistente intensificação da ressurgência costeira pode ter favorecido um ambiente mais atrativo para a aproximação e concentração das baleias-de-Bryde, coerente com registros de avistamentos da espécie relacionados a presença desse fenômeno (Castro, 2021; Lima, 2020).

A mortalidade de alguns indivíduos atraídos para a área de ressurgência pode ter contribuído com as carcaças encalhadas no período, tanto pela proximidade da costa quanto por interações com a circulação costeira. Segundo Moore et al. (2020) quando uma baleia morre, sua carcaça pode encalhar na praia ou não, e existem mecanismos de decomposição associados às variáveis abióticas que colaboram para que ela chegue à praia. Os autores hipotetizam que uma baleia que morre, quando submersa, permanece nesse estágio durante algum tempo até que a decomposição gere gases que a façam flutuar novamente. E mesmo aquelas que morrem na superfície podem afundar e permanecer submersas por algum tempo, particularmente em águas frias, como no caso de regiões de ressurgência, que retardam a ação das bactérias decompositoras. Os autores relatam que a temperatura da água não deve ser menor do que 15°C para que a fermentação de bactérias intestinais seja funcional. Esse limite esteve próximo dos valores de TSM encontrados ao longo das praias do domínio do presente estudo, que não foram inferiores a 17°C.

O lento movimento ascendente do mecanismo de ressurgência junto à costa parece atuar como um facilitador para a elevação das carcaças para a superfície do oceano. Apesar das velocidades verticais serem baixas, tipicamente na ordem de 10^{-5} m/s, é crucial considerar que, nas frentes de ressurgência, essas velocidades podem ser substancialmente maiores, atingindo até 10^{-3}

m/s (Calil et al., 2021). Essas velocidades verticais mais intensas observadas nas frentes tornam a hipótese plausível. De fato, outros estudos já demonstraram que eventos de ressurgência costeira têm influência relevante nos encalhes de cetáceos (Zellar et al., 2021).

Parente et al. (2017), pesquisando encalhes de cetáceos no litoral centro-norte do Rio de Janeiro, mencionaram o empilhamento climatológico de água junto à costa como um fator de dependência para a maior frequência de encalhes de mysticetos. Entretanto, os autores não exploraram as variáveis meteo-oceanográficas de maneira espacial e temporal durante os dias dos casos assim como foi feito no presente estudo.

Ou seja, é possível que o mecanismo de empilhamento costeiro também atue para a

presença das carcaças das baleias nas praias. Animais mortos flutuando na superfície poderiam ser levados à costa pelo empilhamento de águas em eventos climatológicos, enquanto animais mortos em águas subsuperficiais seriam transportados pelo movimento ascendente das águas da ressurgência em direção à costa. Em ambos os casos, a ação dos ventos e ondas, além de interações com a batimetria e a topografia locais, e mesmo eventuais tempestades, teriam um papel importante nos eventos de encalhe (Warlick et al., 2022).

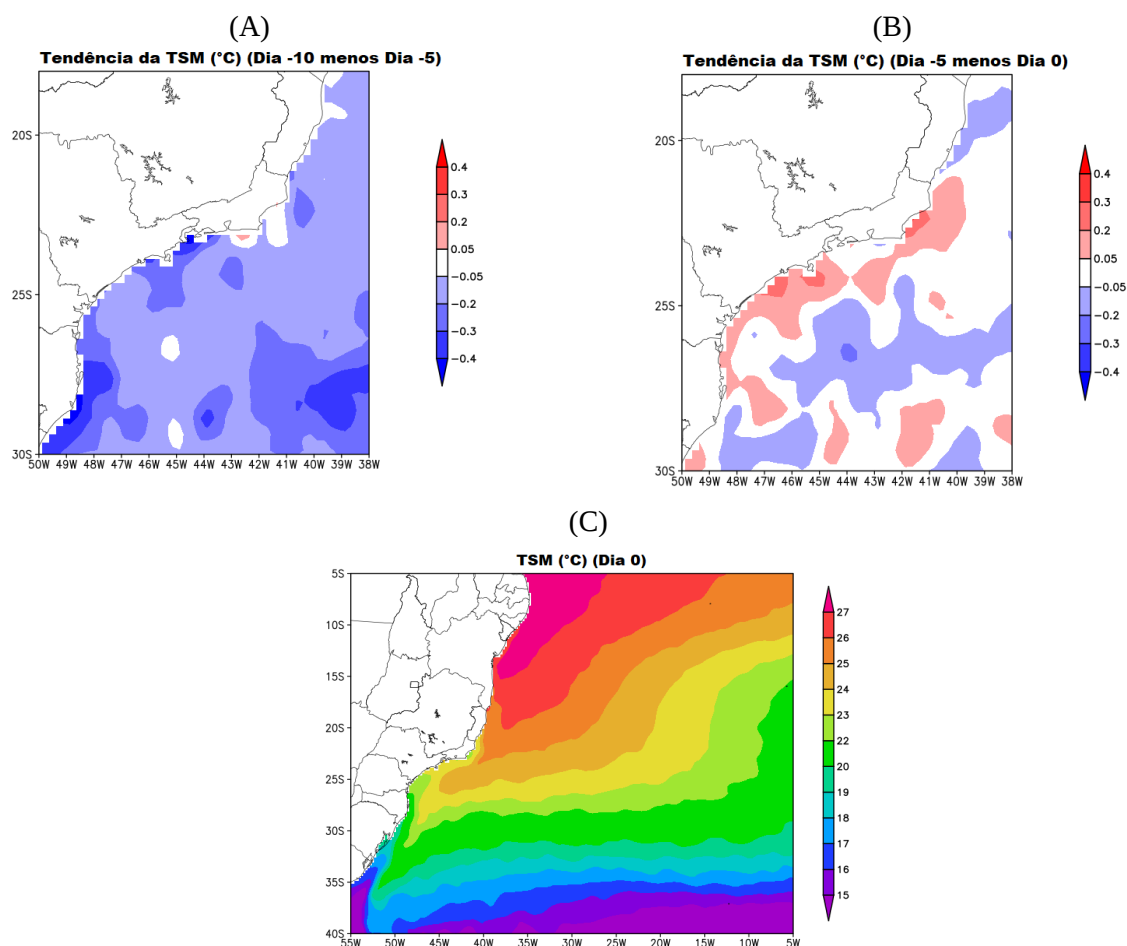


Figura 5: Composições de médias de Temperatura da Superfície do Mar ($^{\circ}\text{C}$) para todos os 27 encalhes da baleia-de-Bryde registrados nas praias do domínio entre 19°S a 29°S de agosto de 2015 a 23 de outubro 2024: (A) Diferenças entre os dez e cinco dias antes das datas dos registros (Dia -10 menos Dia -5); (B) Diferenças entre os cinco dias antes e durante as datas dos registros (Dia -5 menos Dia 0); (C) Durante as datas dos registros (Dia 0). Os valores estão representados pelas escalas de cores.

Conclusão

O presente estudo investigou a relação entre os registros históricos de encalhes da baleia-de-Bryde feitos pelo PMP/PETROBRAS no sudeste do Brasil e as condições meteo-oceanográficas observadas antes e durante os registros. Foram encontrados 27 indivíduos mortos dessa espécie ao longo das praias de estudo localizadas entre 19–29°S, de agosto 2015 a 23 de outubro 2024. A maior parte dos encalhes ocorreu nas praias de São Paulo (51,9%), Santa Catarina (25,9%) e Paraná (11,1%), enquanto Rio de Janeiro e Espírito Santo contabilizaram somente 7,4% e 3,7% dos registros, respectivamente.

Em comparação com o restante do ano, os meses de primavera, outubro e novembro, mostraram um ligeiro aumento dos encalhes, com 25,9% e 18,5% dos registros, respectivamente. Em contraste, no litoral do Rio Grande do Sul, os encalhes de baleias-de-Bryde foram mais frequentes nos meses de verão (Milmann et al., 2023)

Os encalhes da baleia-de-Bryde tiveram uma evidente relação com a variabilidade oceanográfica (Warlick et al., 2022). Em escala diária, eles foram dependentes, em média, de ventos persistentes fracos a moderados em superfície, vindos do oceano paralelos à costa, que favoreceram a ressurgência costeira na área de estudo. Além disso, a presença de nebulosidade esteve aumentada nas datas mais próximas aos eventos de encalhe.

No Espírito Santo e Rio de Janeiro, as direções dos ventos foram mais paralelas à costa por influência do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). Já em São Paulo, Paraná e Santa Catarina, os ventos estiveram mais perpendiculares à costa devido a interação entre o ASAS e a evolução de sistemas transientes.

Assim como constam nos resultados, existem estudos que relacionaram os avistamentos da baleia-de-Bryde com o fenômeno de ressurgência costeira. Então, é possível que a ligeira, porém, persistente intensificação desse fenômeno possa ter favorecido um ambiente mais atrativo para a aproximação e concentração das baleias-de-Bryde.

Como hipótese inicial do presente estudo sugere-se que a elevação das carcaças para a superfície do oceano tenha sido facilitada pelo lento movimento vertical ascendente da ressurgência junto à costa, mais persistente no Rio de Janeiro. Embora os resultados não permitam uma comprovação inequívoca, há indícios que favorecem essa hipótese (ver Figura 5a).

Desta forma, sugere-se a necessidade de mais pesquisas com metodologia semelhante à apresentada no presente estudo que permita identificar diferentes relações de dependência entre os encalhes da baleia-de-Bryde e as diferentes variáveis meteo-oceanográficas.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Federal de São Paulo pela infraestrutura durante o desenvolvimento da pesquisa. Aos desenvolvedores do Word e LibreOffice Writer, usados na edição, e do Excel, LibreOffice Calc e GrADS utilizados para o processamento dos dados. Os autores agradecem aos fornecedores dos dados (PETROBRAS, NASA e ECMWF) e aos revisores da RBGF.

Referências

- Anderson, J. (1879). Anatomical and zoological researches: comprising an Account of the Zoological Results of the Two Expeditions to Western Yunnan in 1868 and 1875. B. Quaritch, Vol. Único: 551-64.
- Athayde, A., Cardoso, J., Francisco, A., Siciliano, S. (2023). A vessel collision report for Bryde's whales (*Balaenoptera brydei*) off the northern coast of São Paulo, Brazil. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems 33(2), 226-230.
- Calil, P. H. R., Suzuki, N., Baschek, B., Silveira, I. C. A. (2021). Filaments, fronts and eddies in the Cabo Frio coastal upwelling system, Brazil. Fluids 6(2), 54.
- Castro, J.T.G. (2021). Influência da temperatura da água na ocorrência da baleia-de-Bryde, *Balaenoptera brydei* (Olsen, 1913), na costa do estado do Rio de Janeiro. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio de Janeiro. <https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/15951>
- Committee on Taxonomy. (2022). List of marine mammal species and subspecies. Society for Marine Mammalogy.

- <https://marinemammalscience.org/science-and-publications/list-marine-mammal-species-subspecies/>
- da Silva, G. A. M., Cardoso de Souza, C., Ambrizzi, T., de Souza, C. P., Mendes, D., Gomes, H. B. (2021). Detecção e atribuição das anomalias anuais dos índices de extremos de chuva e temperaturas máxima e mínima diárias sobre o litoral de São Paulo/Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física* 14(5), 3008-3043.
<https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.5.p3008-3043>
- Dalpaz, L., Cypriano-Souza, A. L., Lodi, L., Wedekin, L., Daura-Jorge, F. G. (2023). Bryde's whales in South Brazil Bight: evidence of low genetic diversity and seasonal habitat use. *Marine Biology*, 170(8), 94.
<https://doi.org/10.1007/s00227-023-04241-0>
- de Freitas, A., A. (2025). Baleias-de-Bryde (*Balaenoptera brydei*) do litoral norte do Estado de São Paulo, Brasil: Influências ambientais e temporais na ocorrência e estimativa de abundância. (2025). Dissertação (Mestrado em Zoologia) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo.
<https://doi.org/10.11606/D.41.2025.tde-25072025-152450>
- Domit, C., Azevedo, A. F., Meirelles, A. C. O., Souza, D. A., Attademo, F. L. N., Silva, F. J. L., Tullio, J., Groch, K. R., Oliveira, L. R., Wedekin, L. L., Carrion, M., Cremer, M. J., Marcondes, M. C. C., Fruet, P., Oliveira, R. H. T., Botta, S., Silva, V. M. F., Gravena, W., Lodi, L., Luna, F. O. (2023). *Balaenoptera edeni*. Sistema de Avaliação do Risco de Extinção da Biodiversidade - SALVE. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio.
<https://doi.org/10.37002/salve.ficha.14478.2>
- Gonçalves, L. R., Andriolo, A. (2006). Ocorrência, distribuição e comportamento de baleias-de-Bryde (*Balaenoptera edeni* Anderson, 1879) (Cetacea, Mysticeti) em áreas costeiras e oceânicas do sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Zoociências* 8 (2), 213.
- Harari, J. (2021). Noções de Oceanografia. Universidade de São Paulo.
<https://doi.org/10.11606/9786599585401>
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., ... Thépaut, J. N. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 146(730), 1999-2049.
<https://doi.org/10.1002/qj.3803>
- Huang, B., Liu, C., Banzon, V., Freeman, E., Graham, G., Hankins, B., ... Zhang, H. M. (2021). Improvements of the daily optimum interpolation sea surface temperature (DOISST) version 2.1. *Journal of Climate*, 34(8), 2923-2939.
<https://doi.org/10.1175/JCLI-D-20-0166.1>
- Izadi, S., Aguilar de Soto, N., Constantine, R., Johnson, M. (2022). Feeding tactics of resident Bryde's whales in New Zealand. *Marine Mammal Science*. 38(3):1104-1117.
<https://doi.org/10.1111/mms.12918>
- Kodama, H.T., da Silva, G.A.M., Pereira, J. (2023). Condições meteo-oceanográficas associadas aos extremos de sobre-elevação do nível do mar em Santos/SP. *Revista Brasileira de Geografia Física* 16, 2941-2957.
<https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.6.p2941-2957>
- Lima, E.C.C. (2020). A note on strandings of Bryde's whales (*Balaenoptera edeni*) in the southwestern Atlantic. *Journal of Cetacean Research and Management* 21, 9-15.
<https://doi.org/10.47536/jcrm.v21i1.180>
- Milmann, L., de Oliveira, L. R., Danilewicz, D., Machado, R., Wickert, J.C., Sucunza, F., Borges-Martins, M., Baumgarten, J.E., Ott, P.H. (2023). Overview of *Balaenoptera* whales strandings in southern Brazil from 1993 to 2018. *Latin American Journal of Aquatic Mammals* 18(2), 186-195.
<https://doi.org/10.5597/lajam00315>
- Moore, M.J., Mitchell, G.H., Rowles, T.K., Early, G. (2020). Dead cetacean? Beach, bloat, float, sink. *Frontiers in Marine Science* 7, 333.
<https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00333>
- Parente, C. L., Moura, J. F., Secco, H. K. C., Reis, E. C., Di Benedetto, A. P. M. (2017). Diversidade e distribuição de cetáceos na área de influência das atividades de E&P na Bacia de Campos. *Habitats* 7, 35-61.
<https://doi.org/10.1016/B978-85-352-7661-9.50003-8>
- PETROBRAS. Petróleo Brasileiro S.A. (2024). Projeto de Monitoramento de Praias (PMP). <https://comunicabaciadesantos.petrobras.com.br/projeto-de-monitoramento-de-praias-pmp/>
- Pirotta, V., Cagnazzi, D., Dixon, B., Millar, S., Millar, J., Pickering, G., Butcher, P. A.,

- Stockin, K. A., Peters, K. J. (2024). Bryde's whale (*Balaenoptera edeni*) occurrence and foraging behaviour along the east coast of Australia. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 59(4), 800-815. <https://doi.org/10.1080/00288330.2024.2409681>
- Roman, L., Schuyler, Q., Wilcox, C., Hardesty, B. D. (2021). Plastic pollution is killing marine megafauna, but how do we prioritize policies to reduce mortality? *Conservation Letters*, 14 (2), e12781. <https://doi.org/10.1111/conl.12781>
- SIMBA. (2024). Sistema de Informação de Monitoramento da Biota Aquática. Ocorrência de fauna alvo individual. Identificador da ocorrência T08MA20240116i000001. <https://simba.petrobras.com.br/simba/web/sistema/pmp/7/individualfaunaoccurrence/284091>
- Taguchi, M., Goto, M., Matsuoka, K., Tiedemann, R., Pastene, L. A. (2022). Population genetic structure of Bryde's whales (*Balaenoptera brydei*) on the central and western North Pacific feeding grounds. *Can J Fish Aquat Sci* 80(1):142–155.
- Vasconcelos, T. M., da Silva, G. A. M., Gomes, A. A., Mendonça, J. T. (2021). Extremos negativos do nível do mar durante o inverno e a influência no mexilhão Perna perna do Costão do Marujá - Cananéia/SP. *Geociências* 40, 245. <https://doi.org/10.5016/geociencias.v40i1.15183>
- Vianello, R. L., Alves, A. R. (2012). *Meteorologia básica e aplicações* (2. ed., rev. ampl.). Universidade Federal de Viçosa. ISBN: 9788572694322 .
- Warlick, A. J., Huggins, J. L., Lambourn, D. M., Duffield, D. A., D'Alessandro, D. N., Rice, J. M., Calambokidis, J., Hanson, M. B., Gaydos, J. K., Jeffries, S. J., Olson, J. K., Scordino, J. J., Akmajian, A. M., Klope, M., Berta, S., Dubpernell, S., Carlson, B., Riemer, S., Hodder, J., Souze, V., Elsby, A., King, C., Wilkinson, K., Boothe, T., Norman S. A. (2022). Cetacean strandings in the US Pacific Northwest 2000–2019 reveal potential linkages to oceanographic variability. *Frontiers in Marine Science* 9:758812. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.758812>
- Ynoue, R.Y., Reboita, M. S., Ambrizzi, T., da Silva, G. A. M. (2017). *Meteorologia: noções básicas*. Editora Oficina de Textos, 184 p. ISBN: 978-85-7975-263-6. eISBN: 978-85-7975-264-3.
- Zellar, R., Pulkkinen, A., Moore, K., Rousseaux, C. S., Reeb, D. (2021). Oceanic and atmospheric correlations to cetacean mass stranding events in Cape Cod, Massachusetts, USA. *Geophysical Research Letters* 48(20), e2021GL093697. <https://doi.org/10.1029/2021GL093697>