

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“Júlio de Mesquita Filho”

INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS DO CAMPUS DO LITORAL PAULISTA

NATÁLIA BEATRIZ DE MENDONÇA SANTOS

**OCORRÊNCIA DOS PINGUINS-DE-  
MAGALHÃES *Spheniscus magellanicus* (FORSTER, 1781)  
NO LITORAL SUL E SUDESTE DO BRASIL SOB  
CONDIÇÕES OCEANOGRÁFICAS DA PLATAFORMA  
CONTINENTAL DO OCEANO ATLÂNTICO SUDOESTE**

SÃO VICENTE - SP

2025

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
“Júlio de Mesquita Filho”  
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS DO CAMPUS DO LITORAL PAULISTA  
NATÁLIA BEATRIZ DE MENDONÇA SANTOS

**OCORRÊNCIA DOS PINGUINS-DE-  
MAGALHÃES *Spheniscus magellanicus* (FORSTER, 1781)  
NO LITORAL SUL E SUDESTE DO BRASIL SOB  
CONDIÇÕES OCEANOGRÁFICAS DA PLATAFORMA  
CONTINENTAL DO OCEANO ATLÂNTICO SUDOESTE**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Campus do Litoral Paulista, para obtenção do título de Mestra em Biodiversidade de Ambientes Costeiros.

Área de Concentração: Processos e Gestão de Ecossistemas Costeiros

Orientador: Prof. Dr. Roberto Fioravanti Carelli  
Fontes

**SÃO VICENTE - SP**

**2025**

S237o

Santos, Natália Beatriz de Mendonça

Ocorrência dos pinguins-de-Magalhães *Spheniscus magellanicus* (Forster, 1781) no litoral sul e sudeste do Brasil sob condições oceanográficas da plataforma continental do Oceano Atlântico Sudoeste / Natália Beatriz de Mendonça Santos. -- São Vicente, 2025

85 p. : il., tabs., fotos, mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, São Vicente

Orientador: Roberto Fioravanti Carelli Fontes

1. Pinguins. 2. Migração de aves. 3. Plataforma continental. 4. Pesquisa oceanográfica. 5. Python (Linguagem de programação de computador). I. Título.

**ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE NATÁLIA BEATRIZ DE MENDONÇA SANTOS, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE DE AMBIENTES COSTEIROS, DO INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS - CÂMPUS DO LITORAL PAULISTA.**

Aos 26 dias do mês de agosto do ano de 2025, às 16h, no(a) Sala 05 do IB/CLP, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de NATÁLIA BEATRIZ DE MENDONÇA SANTOS, intitulada **OCORRÊNCIA DOS PINGUINS-DE-MAGALHÃES *Spheniscus magellanicus* (FORSTER, 1781) NO LITORAL SUL E SUDESTE DO BRASIL SOB CONDIÇÕES OCEANOGRÁFICAS DA PLATAFORMA CONTINENTAL DO OCEANO ATLÂNTICO SUDOESTE**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Prof. Dr. ROBERTO FIORAVANTI CARELLI FONTES (Orientador(a) - Participação Presencial) do(a) Departamento de Ciências Biológicas e Ambientais / IB/CLP - UNESP, Prof. Dr. TEODORO VASKE JUNIOR (Participação Presencial) do(a) Departamento de Ciências Biológicas e Ambientais / IB/CLP - UNESP, Dr. MARCO AURÉLIO GATTAMORTA (Participação Virtual) do(a) Aquário Municipal de Santos / Prefeitura Municipal de Santos. Após a exposição pela mestranda e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, a discente recebeu o conceito final: APROVADA. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.



Prof. Dr. ROBERTO FIORAVANTI CARELLI FONTES

Para quem andou devagar, mas nunca parou.

## AGRADECIMENTOS

À minha família, especialmente aos meus pais, Lúcia e Adelmo, e ao meu companheiro, Daniel, por terem me apoiado sempre. Esses últimos tempos tem sido um turbilhão de acontecimentos, pessoais e profissionais. Sem vocês eu não teria conseguido.

Ao Laboratório de Oceanografia Costeira e ao Bob, por ter me orientado mais uma vez, auxiliando a direcionar a ideia do presente trabalho e a realizar o processamento de dados. Meu muito obrigada, professor.

À professora Carolina Bertozzi e ao professor Otto Gadig, por seus apontamentos durante o meu Exame Geral de Qualificação. Grata por cada crítica e sugestão realizada na oportunidade.

Aos professores Teodoro Vaske Junior e Marco Aurelio Gattamorta, pelo aceite em compor a banca da minha defesa como membros titulares, bem como pelas reflexões e sugestões apresentadas durante a arguição. À professora Carolina e ao professor Marcelo Dottori pela disponibilização em serem membros suplentes.

Ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade de Ambientes Costeiros, do Instituto de Biociências, Campus Litoral Paulista, pelos conhecimentos repassados ao longo desta minha formação.

“Em todas as coisas da natureza existe algo de maravilhoso.”

Aristóteles

## RESUMO

Endêmico da América do Sul, o pinguim-de-Magalhães (*Spheniscus magellanicus*) migra anualmente a partir de suas colônias na Patagônia argentina, alcançando o litoral brasileiro até o estado do Rio de Janeiro (21°S) durante o inverno austral. Essa migração ocorre sob influência de processos oceanográficos, como a Confluência Brasil–Malvinas e a pluma estuarina do Rio da Prata, além de variabilidade climática associada ao El Niño–Oscilação Sul (ENOS). Este estudo analisou 56.340 ocorrências registradas pelo Projeto de Monitoramento de Praias da Bacia de Santos (PMP-BS) entre 2015 e 2024, utilizando dados ambientais e modelagem numérica de correntes (HYCOM/ROMS) acoplada a simulações lagrangeanas (*Ocean Parcels*). Foram aplicadas análises estatísticas e de correlação, incluindo o Índice Niño Oceânico (ONI) e o favorecimento passivo (transporte advectivo simulado). Observou-se que Santa Catarina concentrou o maior número absoluto de ocorrências ( $n = 34.951$ ) e que o Paraná apresentou a maior taxa por quilômetro. As ocorrências foram mais frequentes no inverno, especialmente em agosto, e compostas majoritariamente por juvenis (83,3%), dos quais 91,5% já estavam mortos no resgate. Houve correlação significativa entre ONI e número de ocorrências em alguns estados, sugerindo que diferentes fases do ENOS podem influenciar as rotas migratórias por mecanismos distintos. O favorecimento passivo apresentou correlação negativa com o número de ocorrências, hipótese que indica possível permanência mais prolongada dos animais em áreas de alta produtividade ao sul. Os resultados reforçam a importância de integrar processos físicos e ecológicos ao planejamento de políticas conservacionistas para espécies migratórias.

**Palavras-chave:** Pinguins; Migração de aves; Plataforma continental; Pesquisa oceanográfica; *Python* (Linguagem de programação de computador).

## ABSTRACT

Endemic to South America, the Magellanic penguin (*Spheniscus magellanicus*) migrates annually from its colonies in Argentine Patagonia, reaching the Brazilian coast as far as Rio de Janeiro state (21°S) during the austral winter. This migration occurs under the influence of oceanographic processes, such as the Brazil–Malvinas Confluence and the Río de la Plata estuarine plume, as well as climate variability associated with the El Niño–Southern Oscillation (ENSO). This study analyzed 56,340 occurrences recorded by the Santos Basin Beach Monitoring Project (PMP-BS) between 2015 and 2024, using environmental data and numerical current modeling (HYCOM/ROMS) coupled with Lagrangian simulations (Ocean Parcels). Statistical and correlation analyses were applied, including the Oceanic Niño Index (ONI) and passive bias (simulated advective transport). Santa Catarina had the highest absolute number of occurrences ( $n = 34,951$ ), and Paraná had the highest rate per kilometer. Occurrences were more frequent in winter, especially in August, and consisted mostly of juveniles (83.3%), of which 91.5% were already dead at the time of rescue. There was a significant correlation between ONI and the number of occurrences in some states, suggesting that different phases of the ENSO may influence migratory routes through distinct mechanisms. Passive bias showed a negative correlation with the number of occurrences, a hypothesis that suggests that the animals may remain longer in areas of high productivity to the south. The results reinforce the importance of integrating physical and ecological processes into conservation policy planning for migratory species.

**Keywords:** Penguins; Bird migration; Continental shelf; Oceanographic research; Python (computer programming language).

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Área de ocorrência de <i>S. magellanicus</i> na América do Sul. Fonte: IUCN, 2020.....	15
Figura 2. Exemplares da espécie <i>S. magellanicus</i> . (a) indivíduo juvenil e (b) indivíduo adulto. Fotos: Gustavo Dutra.....	17
Figura 3. Imagem de sensor <i>Advanced Very High Resolution Radiometer</i> (AVHRR) captando a Confluência Brasil-Malvinas (CBM) na região da foz do Rio da Prata: tons avermelhados e amarelados (Corrente do Brasil - CB) remetem à temperaturas mais quentes, tons esverdeados e azulados (Corrente das Malvinas - CM) a temperaturas mais frias; é possível observar a presença de vórtices na região da confluência. Fonte: SILVEIRA <i>et al.</i> , 2000.....	23
Figura 4. Circulação na plataforma continental e os fluxos da Corrente do Brasil (CB) e da Corrente das Malvinas (CM).....	24
Figura 5. Pinguins-de-Magalhães nas praias da região sul e sudeste do Brasil. Fonte: SIMBA, 2024.....	28
Figura 6. Pluma do Rio da Prata ao longo do litoral brasileiro, para 2023. As diferentes cores, representam as médias temporais do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) que caracterizam a pluma costeira para as estações, conforme especificado na legenda. As plumas estão artificialmente deslocadas para sudeste, para melhor representação. Os dados foram obtidos por imagens de satélite do projeto <i>Visible Infrared Imaging Radiometer Suite</i> (VIIRS) e processados no Laboratório de Oceanografia Costeira do Instituto de Biociências, do Campus do Litoral Paulista da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (LOC-IB/CLP-UNESP). Fonte: SILVA <i>et al.</i> , 2024.....	29
Figura 7. Extensão litorânea monitorada pelo PMP-BS, entre Laguna (SC) e Saquarema (RJ) (PETROBRAS, 2024).....	33
Figura 8. (a) Zona de ocorrência de <i>S. magellanicus</i> no Oceano Atlântico Sudoeste (IUCN, 2020) e (b) dinâmica das correntes incidentes na região do Oceano Atlântico, evidenciando a sobreposição das áreas. (PETERSON & STRAMMA, 1991).....	33
Figura 9. Números totais de pinguins resgatados pelo PMP-BS por ano, ao longo de toda a faixa litorânea estudada. Dados compilados referentes ao período de agosto de 2015 a agosto de 2024.....	38
Figura 10. Gráfico de anomalias da temperatura da superfície do mar (TSM) de acordo com o Índice Niño Oceânico (ONI). Fonte: NOAA, 2025.....	39
Figura 11. Números totais de pinguins resgatados pelo PMP-BS por mês.....	40
Figura 12. Indivíduo de <i>S. magellanicus</i> encalhado com estágio de desenvolvimento indeterminado, no município de Ilha Comprida, estado de São Paulo, em agosto de 2024. Fonte: SIMBA, 2024.....	43
Figura 13. Correlação cruzada entre favorecimento passivo e ocorrências para o Estado de Santa Catarina.....	46
Figura 14. Correlação cruzada entre favorecimento passivo e ocorrências para o Estado do Paraná.....	47
Figura 15. Correlação cruzada entre favorecimento passivo e ocorrências para o Estado de São Paulo.....	47

Figura 16. Correlação cruzada entre favorecimento passivo e ocorrências para o Estado do Rio de Janeiro.....	48
Figura 17. Correlação cruzada entre ONI e ocorrências para o Estado de Santa Catarina.....	50
Figura 18. Correlação cruzada entre ONI e ocorrências para o Estado do Paraná.....	50
Figura 19. Correlação cruzada entre ONI e ocorrências para o Estado de São Paulo.....	51
Figura 20. Correlação cruzada entre ONI e ocorrências para o Estado do Rio de Janeiro.....	51

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Ciclo de vida anual de <i>Spheniscus magellanicus</i> .....	18
Tabela 2. Instituições responsáveis pelo monitoramento no âmbito do PMP-BS e seus respectivos trechos de atuação. Fonte: PETROBRAS, 2019.....	34
Tabela 3. Números de pinguins resgatados pelo PMP-BS por estados por ano; data final de coleta dos dados - 20 de janeiro de 2025.....	37
Tabela 4. Índices Niño Oceânico (ONI), com anomalias da temperatura da superfície do mar (TSM) para ENOS ( <i>El Niño</i> Oscilação Sul); as siglas fazem referência às médias de três meses consecutivos - exemplo: ASO - Agosto/Setembro/Outubro. Uma sequência de cinco valores em vermelho indicam <i>El Niño</i> ; já em azul, <i>La Niña</i> .....	39
Tabela 5. Número de pinguins resgatados pelo PMP-BS por meses a cada ano; o período de cada estação está representado pela diferenciação por cores (amarelo: verão; marrom: outono; azul: inverno; rosa: primavera).....	41
Tabela 6. Favorecimento passivo, ao final de 90 dias. As datas indicam os momentos de partida hipotéticos. Valores em km.....	44
Tabela 7. Menores distâncias alcançadas até a foz do Rio da Prata, ao final de 90 dias. As datas indicam os momentos de partida hipotéticos. Valores em km.....	44

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- AC - Água Costeira
- ACAS - Água Central do Atlântico Sul
- AS - Água Subantártica
- ASAP - Água Subantártica de Plataforma
- ASTP - Água Subtropical de Plataforma
- AT - Água Tropical
- AVHRR - *Advanced Very High Resolution Radiometer*
- CB - Corrente do Brasil
- CBM - Confluência Brasil-Malvinas
- CH - Corrente de Humboldt
- CLP - Campus do Litoral Paulista
- CM - Corrente das Malvinas
- CP - Corrente Patagônica
- cm - centímetro(s)
- CCA - Corrente Circumpolar Antártica
- ENOS - *El Niño* Oscilação Sul
- ex. - exemplo
- FS - Frente Subantártica
- FSTP - Frente Subtropical de Plataforma
- HYCOM - *Hybrid Coordinate Ocean Model*
- kg - quilograma(s)
- km - quilômetro(s)
- IB - Instituto de Biociências
- IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
- LOC - Laboratório de Oceanografia Costeira
- m - metro(s)
- NDVI - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
- NOAA - *National Oceanic and Atmospheric Administration*
- ONI - *Oceanic Niño Index* - Índice Niño Oceânico
- PMP - Projeto de Monitoramento de Praias
- PMP-BS - Projeto de Monitoramento de Praias da Bacia de Santos
- ROMS - *Regional Ocean Model System*

SIMBA - Sistema de Monitoramento da Biota Aquática

SOI - *Southern Oscillation Index* - Índice Oscilação Sul

SVM - *Support Vector Machines*

TSM - Temperatura da Superfície do Mar

UNESP - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

VIIRS - *Visible Infrared Imaging Radiometer Suite*

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS .....</b>	<b>15</b>
1.1. Aspectos taxonômicos e bioecológicos de <i>Spheniscus magellanicus</i> .....	15
1.2. Águas costeiras da plataforma continental do Oceano Atlântico Sudoeste.....	19
1.3. Eventos de <i>El Niño</i> Oscilação Sul (ENOS).....	24
1.4. <i>Spheniscus magellanicus</i> no litoral brasileiro.....	26
1.5. A dinâmica costeira e o deslocamento de pinguins ao longo da costa brasileira.....	27
1.7. Objetivos.....	30
1.7.1. Objetivo Geral.....	30
1.7.2. Objetivos Específicos.....	30
<b>2. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>32</b>
2.1. Área de estudo.....	32
2.2. Dados de ocorrências.....	34
2.3. Dados de eventos de <i>El Niño</i> e <i>La Niña</i> .....	35
2.4. Projeções de deslocamento dos pinguins-de-Magalhães.....	35
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>37</b>
<b>4. CONCLUSÕES.....</b>	<b>53</b>
<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>54</b>
<b>6. APÊNDICES.....</b>	<b>63</b>

## 1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

### 1.1. Aspectos taxonômicos e bioecológicos de *Spheniscus magellanicus*

Os pinguins são aves marinhas da ordem Sphenisciformes, que pertencem a uma única família, a Spheniscidae. Seis gêneros diferentes compõem essa família: são os *Megadyptes*, *Eudyptula*, *Aptenodytes*, *Pygoscelis*, *Eudyptes* e *Spheniscus*, totalizando 17 espécies conhecidas (FOWLER & CUBAS, 2001). Dentre esses gêneros, os últimos quatro são compostos por dez espécies que apresentam endemismo na América do Sul (Figura 1) (FOWLER & CUBAS, 2001).

O gênero *Spheniscus* é composto por quatro espécies: *S. demersus* (pinguim-africano), *S. humboldti* (pinguim-de-Humboldt), *S. mendiculus* (pinguim-de-Galápagos) e *S. magellanicus* (pinguim-de-Magalhães), que é o foco deste estudo (FOWLER & CUBAS, 2001). Com exceção do *S. demersus*, natural do sul da África, as demais espécies são endêmicas da América do Sul (FOWLER & CUBAS, 2001).

Na região da Patagônia, identifica-se mais de 63 pontos de nidificação dos pinguins-de-Magalhães, compreendidas no litoral desde a costa da comuna de Algarrobo, no Chile (33°36'79"S; 71°70'45"O), até a costa central da província de Río Negro (39°70'39"S; 71°84'04"O), na Argentina. Estão presentes ainda nas Ilhas Malvinas, arquipélago inglês também conhecido como Ilhas Falklands (51°70'S; 68°48'O) (BOERSMA & WILLIAMS, 1995; SIMEONE *et al.*, 2003; FALABELLA *et al.*, 2009).

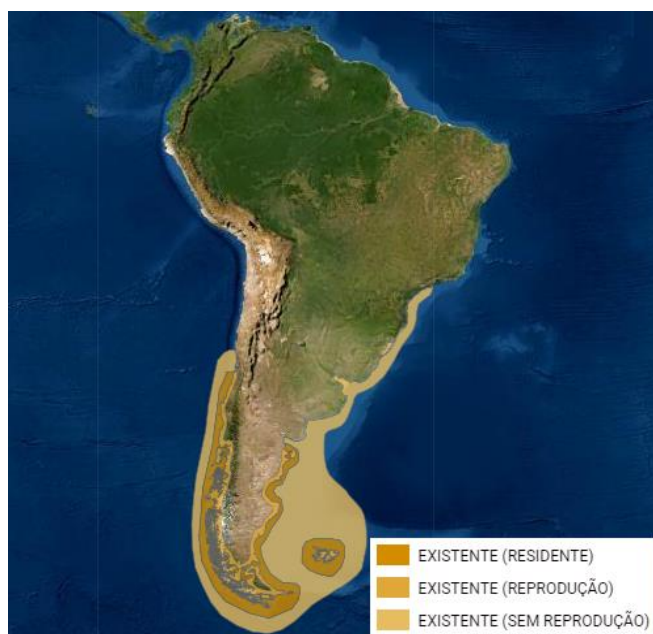


Figura 1. Área de ocorrência de *S. magellanicus* na América do Sul. Fonte: IUCN, 2020.

Com *S. magellanicus* nidificando tanto na costa do Pacífico quanto na do Atlântico, estima-

se que em torno de 16% da população total se reproduza na costa chilena, 65% na costa continental da Argentina, 11% na região da Terra do Fogo e 8% nas Ilhas Malvinas/Falklands, aproximadamente (FALABELLA *et al.*, 2009).

A costa do Oceano Atlântico apresenta as 13 principais colônias da espécie, localizadas na Ilha Martillo (54°54'S; 67°23'O), Cabo Vírgenes (52°22'S; 68°24'O), Monte León (50°22'S; 68°53'O), San Julián (49°17'S; 67°42'O), Puerto Deseado (47°45'S; 65°55'O), Bahía Bustamante (45°08'S; 66°32'O), Cabo dos Bahías (44°54'S; 65°32'O), Punta Lobería (44°35'S; 65°23'O), Punta Tombo (44°02'S; 65°11'O), La Ernestina (35°16'S; 59°34'O), Península de San Luís (51°27'S; 58°08'O), Punta Voluntário (51°28'S; 57°50'O) e Ilha de Goicoechea (51°43'S; 61°18'O) (FALABELLA *et al.*, 2009).

Cerca de 900 mil casais de *S. magellanicus* se reproduzem na Patagônia argentina, enquanto a estimativa para a costa chilena é de que apenas 500 mil casais procriem na costa oeste patagônica (BOERSMA *et al.*, 2015). Dessa forma, estima-se que entre 1,1 e 1,6 milhões de pares componham a população total da espécie, com 2,2 a 3,2 milhões de indivíduos adultos (BOERSMA *et al.*, 2015).

Os pinguins, como grupo taxonômico, apresentam uma característica marcante se comparados à maioria das outras aves: não possuem a habilidade de alçar voo (BOERSMA & WILLIAMS, 1995). No entanto, suas asas são extremamente adaptadas para o nado e o mergulho, funcionando otimamente como remos de apoio à essas atividades (BOERSMA & WILLIAMS, 1995).

Outras características corporais que favorecem a natação são a localização posterior de suas patas, presença de membranas interdigitais, ossos não pneumáticos e corpo fusiforme (BOERSMA & WILLIAMS, 1995). Tais particularidades contribuem para que sejam exímios nadadores, dominando o ambiente pelágico facilmente, embora não pareçam muito habilidosos ao caminhar em terra firme (BOERSMA & WILLIAMS, 1995).

Cada espécie de pinguim apresenta um padrão de coloração diferente, embora assumam na maioria das vezes tons em escala de preto e branco (VOOREN & ILHA, 1995). Os pinguins-de-Magalhães quando juvenis (Figura 2) exibem plumagem negra-acinzentada nas regiões frontal, posterior e superior da cabeça, no dorso e parte externa das asas (VOOREN & ILHA, 1995). Em contrapartida, seu tórax, ventre e parte interna das asas são brancas, além da presença de uma listra nessa coloração ainda não muito bem definida em torno da face (VOOREN & ILHA, 1995). Já os indivíduos adultos (Figura 2) demonstram uma coloração melhor definida por todo seu corpo, com os tons acinzentados de suas penas se tornando um negro intenso. (VOOREN & ILHA, 1995). A

região torácica e ventral passa a ser contornada por uma listra negra que aparece e se firma na sua plumagem (VOOREN & ILHA, 1995).

Quando juvenis, *S. magellanicus* atinge 1,2 quilos (kg) de massa corporal; já na fase adulta, alcançam entre 4 e 5 kg. A altura média da espécie é de 65 a 70 centímetros (cm) e sua maturidade sexual é atingida entre quatro e cinco anos de idade nas fêmeas e de seis a sete anos nos indivíduos machos. A expectativa de vida é estimada entre oito e dez anos para os indivíduos de vida livre (VOOREN & ILHA, 1995; NACINOVIC, 2005; VENEGAS, 1999).

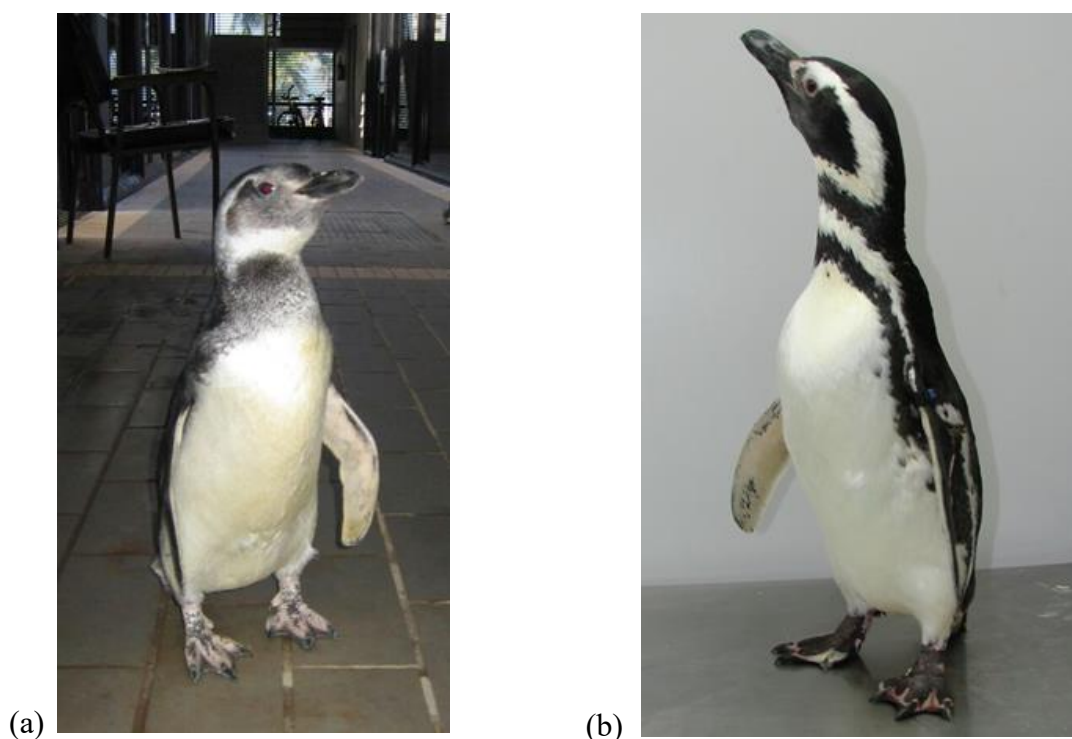


Figura 2. Exemplares da espécie *S. magellanicus*. (a) indivíduo juvenil e (b) indivíduo adulto.

Fotos: Gustavo Dutra, 2016.

No ato do forrageamento, ou seja, o comportamento de procurar e caçar seu alimento, os pinguins-de-Magalhães alcançam profundidades consideráveis em seus mergulhos, com registros médios de 11,8 a 28,4 metros (m) e máximos entre 50 e 91 m. O intervalo de tempo entre o início e o final do mergulho tem duração média de 1,2 minutos e máxima de 4,6 minutos, com tolerância ótima entre 7 e 30° C para a temperatura da água (SCOLARO & SUBURO, 1991; WILLIAMS, 1995; PETERS *et al.*, 1998; WALKER & BOERSMA, 2003).

Com relação à sua dieta, esta é composta por diversos grupos taxonômicos, de acordo com a variação latitudinal podendo ser citadas variadas espécies de peixes, cefalópodes e crustáceos, dentre as quais estão *Engraulis anchoita* (anchoíta-argentina), *Merluccius hubbsi* (merluza-argentina), *Odontesthes smitti* (peixe-rei), *Sprattus fuegensis* (espadilha das Malvinas), *Eleganops*

*maclovinus* (robalo), *Notomixine* spp. e *Myxine* spp. (peixes-bruxa), *Austroatherina incisa* (cornalito), *Nototheniidae* spp. (peixes-gelo), *Illex argentinus* (lula-argentina), *Doryteuthis gahi* (lula-patagônica), *D. sanpaulensis* (lula-de-São-Paulo), *Octopus americanus* (polvo-americano), *Artemis longinaris* (camarão-barba-russa), e *Munida* sp. (lagosta-agachada) (GOSZTONYI, 1984; SCOLARO & BANDANO, 1986; FRERE *et al.*, 1996; SANTOS & HAIMOVICI, 1998; SCOLARO *et al.*, 1999; SCHIAVINI *et al.*, 2005).

O ciclo de vida anual da espécie é apresentado na tabela a seguir, ocorrendo em cinco fases distintas:

Tabela 1. Ciclo de vida anual de *Spheniscus magellanicus*.

Época	Período	Descrição	Fonte
Repovoamento das colônias (“pinguineras”)	setembro	Comportamento de nidificação e acasalamento é iniciado na região da Patagônia. Machos chegam às colônias primeiro e escolhem o ponto de nidificação. Ninhos escavados entre 23 e 62,9 cm de profundidade.	BOERSMA <i>et al.</i> , 1990; STOKES & BOERSMA, 1991.
Cópula, incubação e eclosão dos ovos	outubro a novembro	Postura de ovos (dois, normalmente) com incubação de aproximadamente 40 dias. A eclosão ocorre nas primeiras três semanas de novembro.	BOERSMA <i>et al.</i> , 1990; YORIO & BOERSMA, 1994.
Criação da prole	dezembro a fevereiro	Filhotes são supervisionados constantemente. Pais revezam cuidados entre si, refletindo em forrageamento com alto nível de sucesso.	BOERSMA & WILLIAMS, 1995.
Muda da plumagem	março a abril	Com a perda de sua impermeabilidade, adultos ficam impossibilitados de forragear no mar entre duas e três semanas (homeostase corporal ficaria fragilizada). Independência dos filhotes.	BOERSMA & WILLIAMS, 1995.
Migração invernal	maio a agosto	Permanecem em alto mar por um longo período, geralmente seguindo rumo ao norte da região patagônica. Alcançam o litoral das regiões sul e sudeste do Brasil.	BOERSMA & WILLIAMS, 1995; CRANFIELD, 2003; SILVA-FILHO & RUOPPOLO, 2007.

Ao longo de sua migração invernal, os indivíduos se mantêm próximos do litoral, até 50 quilômetros (km) de distância, portanto, não se afastando consideravelmente da linha de costa e ainda sobre a plataforma continental (PÜTZ *et al.*, 2007). Possivelmente, além do componente ativo do ato migratório, é proposto que os animais sejam transportados passivamente pela Corrente das Malvinas em direção ao Equador (SANTOS *et al.*, 2019; SANTOS, 2022).

## **1.2. Águas costeiras da plataforma continental do Oceano Atlântico Sudoeste**

Entre as latitudes de 20°S e 40°S, a plataforma continental do Oceano Atlântico Sudoeste é ocupada predominantemente por duas massas de água derivadas da diluição de águas oceânicas por descargas continentais (PIOLA *et al.*, 2000). A primeira é a Água Subtropical de Plataforma (ASTP), caracterizada por temperaturas em torno de 18° C e salinidade entre 33,5 e 35,9, formada pela mistura da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) com águas costeiras. A segunda é a Água Subantártica de Plataforma (ASAP), com salinidade entre 33,5 e 34,1 e temperatura variando entre 10° C e 14° C no inverno e de 12° C a 20° C no verão, resultante da mistura de águas da plataforma continental argentina, associadas à Corrente Patagônica (CP) (BRANDHORST & CASTELLO, 1971).

Na região sudeste, a plataforma apresenta a presença simultânea de diferentes massas de água: a Água Costeira (AC), com alta temperatura e salinidade variável; a ASTP, em interação com os meandros superficiais da Corrente do Brasil (CB); e a ACAS, posicionada próxima ao fundo da plataforma externa (PIOLA *et al.*, 2000).

Ao sul do Cabo de Santa Marta (28°S), ocorre a Frente Subtropical de Plataforma (FSTP), que separa a ASAP da ASTP, sendo sua posição sazonalmente variável (PIOLA *et al.*, 2000). Nos meses mais quentes, a FSTP se desloca para o sul, e a plataforma pode ser ocupada por ASTP com intrusões da CB (CASTELLO & ODEBRECHT, 2001).

Essa dinâmica varia anualmente, podendo em alguns anos ocorrer a dominância da CB sobre toda a plataforma, ou, em outros, o predomínio de águas de baixa salinidade sob influência do Rio da Prata (PIOLA *et al.*, 2005). A produtividade na plataforma sul-brasileira é relativamente elevada no inverno e primavera, impulsionada por aporte de nutrientes terrígenos e pela intrusão da ASAP (CASTELLO & ODEBRECHT, 2001)

Ainda na região sul, particularmente ao sul da FSTP, a ACAS pode se deslocar sobre a plataforma continental como resultado do meandramento da CB (CASTRO & MIRANDA, 1998). Durante o inverno e a primavera, a interação entre a ACAS, a CB e a Corrente de Malvinas (CM)

no talude superior pode originar vórtices de circulação ciclônica, contribuindo adicionalmente para a produtividade das águas da plataforma (GARCIA, 1997).

A ACAS constitui uma massa d'água intermediária de grande relevância para a hidrodinâmica e a ecologia marinha da plataforma continental da região sul e sudeste do Brasil. Apresenta temperaturas variando entre 6° C e 20° C e salinidade de 34,6 a 36,0 (SVERDRUP *et al.*, 1942; THOMSEN, 1962; STRAMMA & ENGLAND, 1999). A partir do sul do Cabo de São Tomé, esta massa d'água flui predominantemente em direção sul, podendo atingir profundidades superiores a 500 m (SILVEIRA *et al.*, 2000).

O espalhamento vertical e horizontal da ACAS está sujeito a significativa variabilidade sazonal. Durante o verão, essa massa d'água pode adentrar a plataforma continental interna, entre 10 e 50 m de profundidade. No inverno, a ACAS se retrai para regiões mais profundas e a coluna de água da plataforma interna e média torna-se praticamente homogênea (CASTRO & MIRANDA, 1998).

Ecologicamente, a intrusão da ACAS exerce papel crucial na fertilização das águas costeiras, ao promover o aumento da produtividade primária (MATSUURA, 1995; CASTRO & MIRANDA, 1998). A estabilidade térmica e salina associada à presença dessa massa d'água cria condições favoráveis à sobrevivência de larvas planctônicas e à reprodução da megafauna bentônica e de diversas espécies de peixes, cujos ciclos reprodutivos se concentram nos meses mais quentes do ano (PIRES-VANIN & MATSUURA, 1993; VAZZOLER *et al.*, 1999).

Na plataforma externa, a ACAS está presente ao longo de todo o ano e é responsável por uma marcada estratificação vertical da coluna d'água. Próximo à região de Cabo Frio, os meandros da CB, intensificados pela morfologia da linha de costa, promovem a ressurgência da ACAS até camadas superficiais, formando vórtices associados a áreas de elevada produtividade biológica (SILVEIRA *et al.*, 2000; CAMPOS *et al.*, 2000; GAETA & BRANDINI, 2006). Ademais, durante o verão e a primavera, a intensificação dos ventos de nordeste favorece a ascensão da ACAS até a zona eufótica, resultando em um significativo incremento na biomassa fitoplanctônica (CASTRO & MIRANDA, 1998).

A plataforma continental do Oceano Atlântico Sudoeste é fortemente influenciada por descargas de água continental, sendo a pluma do Rio da Prata a feição oceanográfica de maior escala e significado na região. Com vazão média de aproximadamente  $2,3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{s}$ , a pluma do Rio da Prata exerce influência significativa nas características físico-químicas e nos padrões de circulação oceânica. Essa influência se inicia a partir de sua foz, localizada entre 35°S e 36°S, na fronteira entre

Argentina e Uruguai, e se destaca especialmente na Zona de Convergência Subtropical, ou Confluência Brasil-Malvinas (CBM), entre 33°S e 38°S (Figura 3) (PEREIRA, 1989).

O Rio da Prata é o segundo maior sistema fluvial da América do Sul e lança sobre a plataforma uma vasta massa de água de baixa salinidade, alta turbidez e elevada concentração de nutrientes e matéria orgânica de origem terrígena (PIOLA *et al.*, 2000).

A pluma é advectada para o norte pela circulação costeira, com sua extensão e posição moduladas sazonalmente pelos ventos. No inverno, de junho a setembro, ventos de sudoeste a mantêm próxima à costa e a estendem além do Cabo de Santa Marta (28°S). No verão, de dezembro a março, ventos de nordeste favorecem seu deslocamento lateralmente e ao sul, alcançando até 32°S (OLSON *et al.*, 1988; SOARES & MÖLLER, 2001; ZAVIALOV *et al.*, 2002; PIOLA *et al.*, 2005).

Essa variação sazonal influencia a pluma de baixa salinidade que se mistura com outras massas de água, como as águas advindas da Lagoa dos Patos, afetando a distribuição dessas massas ao longo da plataforma continental (MÖLLER *et al.*, 2008). Durante o inverno, a pluma do Rio da Prata apresenta temperatura mínima de 10° C, média de 11,3° C, e salinidade máxima de 33,5, com uma média de 26,4 (PIOLA *et al.*, 2000; MÖLLER *et al.*, 2008).

A descarga da Lagoa dos Patos está localizada na costa do Rio Grande do Sul, aproximadamente a 32°S, cuja laguna apresenta uma área em torno de 10<sup>4</sup> km<sup>2</sup> (KJERVFE, 1986). Embora de menor magnitude que a do Rio da Prata, constitui outra fonte expressiva de água doce e nutrientes para a plataforma continental sul-brasileira, apresentando vazão média de 2 x 10<sup>3</sup> m<sup>3</sup>/s (MARQUES *et al.*, 2009). Tal vazão é mais elevada durante o final do inverno e início da primavera, em contraposição ao verão (VAZ *et al.*, 2006).

A interação entre a descarga da laguna e a plataforma é mediada pelo regime pluviométrico e também pela ação dos ventos, que controlam o escoamento da lagoa para o oceano (MÖLLER *et al.*, 2001). Ventos de sul são predominantes nessa região durante o outono e o inverno, em razão do avanço de sistemas de frentes frias, enquanto durante a primavera e o verão são os ventos de norte que regem essa dinâmica (MÖLLER & FERNANDES 2010). Na estação invernal, a Pluma da Lagoa dos Patos apresenta salinidade máxima de 27 e média de 15 (BURRAGE *et al.*, 2008). Dados para a temperatura superficial estão disponíveis para a Lagoa si, variando anualmente entre 9,9 e 29,5 °C. (ZANOTTA *et al.*, 2010).

As águas provenientes da Lagoa dos Patos e da pluma do Rio da Prata se misturam, formando uma zona costeira contínua de baixa salinidade que se estende por centenas de quilômetros. Juntas,

estas descargas criam um ambiente costeiro com características físico-químicas, tais como salinidade, turbidez, estratificação, disponibilidade de nutrientes, marcadamente distintas das águas de plataforma adjacentes, de origem oceânica (MÖLLER *et al.*, 2008).

A principal implicação ecológica destes sistemas de plumas é a formação de zonas frontais bem definidas na sua borda externa, onde as águas de baixa salinidade e alta turbidez encontram as águas mais salinas e claras da plataforma. Estas "frentes de pluma" são feições dinâmicas que funcionam como zonas de convergência física, acumulando material particulado, nutrientes e organismos planctônicos e, o aumento da disponibilidade de nutrientes nestas frentes sustenta uma elevada produtividade primária e secundária, o que pode atrair e agregar cardumes de peixes pelágicos (ACHA *et al.*, 2004).

Considerando ainda as águas localizadas na plataforma externa, a Água Tropical (AT) é uma massa d'água situada na camada superficial, caracterizada por suas elevadas temperaturas, superiores a 25° C, e salinidade, acima de 36,5. Sua formação ocorre na costa da Bahia (10°S), devido à intensa irradiação solar e aos altos índices de evaporação, que superam as taxas de precipitação (EMÍLSSON, 1961; DEFANT, 1936).

A AT é identificada até os 200 m de profundidade, apresentando a máxima salinidade até os 100 m, e densidade inferior a 25,7 kg/m<sup>3</sup>. À medida que a AT é transportada para o sul pela Corrente do Brasil (CB) (Figura 3), sua temperatura e salinidade diminuem para T = 20° C e S = 36, respectivamente (DEACON, 1933; EMÍLSSON, 1961). Durante esse deslocamento, ocorre a mistura com águas continentais, resultando em temperaturas que variam de 20° C a 10° C e salinidade entre 35 e 36. A partir de aproximadamente 20°S, na região onde começa a ocorrer o resfriamento da AT, se origina a ACAS, que se mistura àquela (EMÍLSSON, 1961; SVERDRUP *et al.*, 1942; CAMPOS *et al.*, 1995).

Externamente à plataforma continental, considera-se ainda a Água Subantártica (AS), que surge na Corrente Circumpolar Antártica (CCA), nas proximidades da Passagem de Drake, em 55°S, especificamente na Frente Subantártica (FS) (PETERSON & STRAMMA, 1991; TALLEY *et al.*, 2011). Esta massa d'água flui para o norte por meio da CM e é encontrada da superfície até 500 m de profundidade, apresentando temperaturas que variam entre 4° C e 14° C e salinidades de 33 a 34 (TALLEY *et al.*, 2011). Observa-se uma tendência de aumento dos índices termohalinos em direção ao norte, independentemente da estação (TALLEY *et al.*, 2011).

O limite latitudinal máximo da AS geralmente é entre 34,5°S e 35,5°S, na Zona de Convergência Subtropical, mas há registros de sua presença até 23°S, possivelmente associados a

eventos de ressurgência e incremento na produtividade primária costeira (FERNANDES & BRANDINI, 1999).

A interação entre os ventos e a movimentação das águas é determinante para a dinâmica da CB e da CM (Figuras 3 e 4), influenciando a mistura vertical e horizontal das massas de água, o que, por sua vez, determina a predominância de uma corrente sobre a outra no sistema CBM (MÖLLER *et al.*, 2008). Além disso, a circulação dos ventos confere características distintas às massas de água transportadas pela CB e CM, incluindo variações em temperatura, salinidade e densidade, como visto anteriormente (PETERSON & STRAMMA, 1991).

A ação dos ventos e conseqüentemente das correntes, torna viável um alcance mais longo na migração dos pinguins-de-Magalhães, em que grandes distâncias na ordem de centenas de quilômetros podem ser percorridas por deslocamento simplesmente advectivo (SANTOS, 2022).

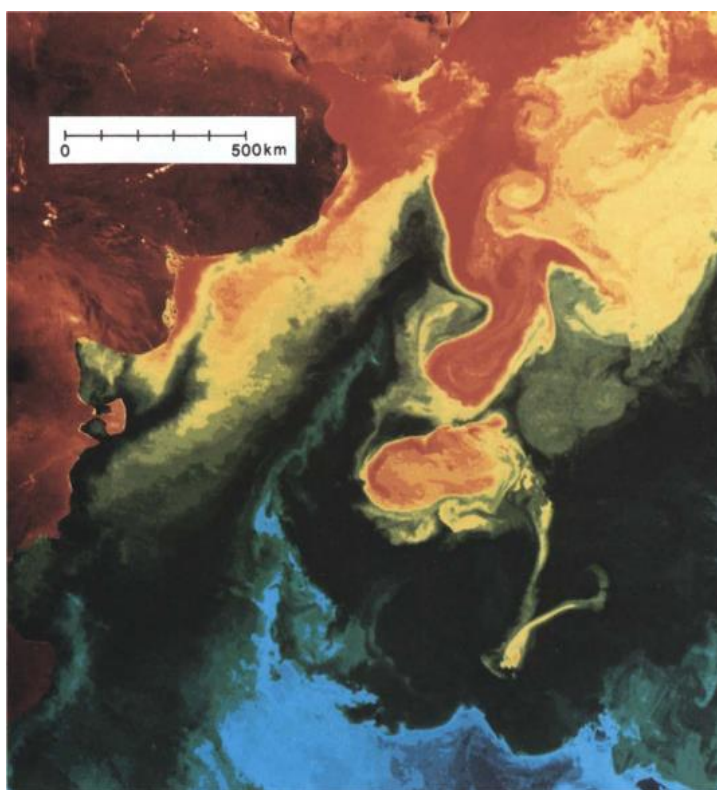


Figura 3. Imagem de sensor *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR) captando a Confluência Brasil-Malvinas (CBM) na região da foz do Rio da Prata: tons avermelhados e amarelados (Corrente do Brasil - CB) remetem à temperaturas mais quentes, tons esverdeados e azulados (Corrente das Malvinas - CM) a temperaturas mais frias; é possível observar a presença de vórtices na região da confluência. Fonte: SILVEIRA *et al.*, 2000.

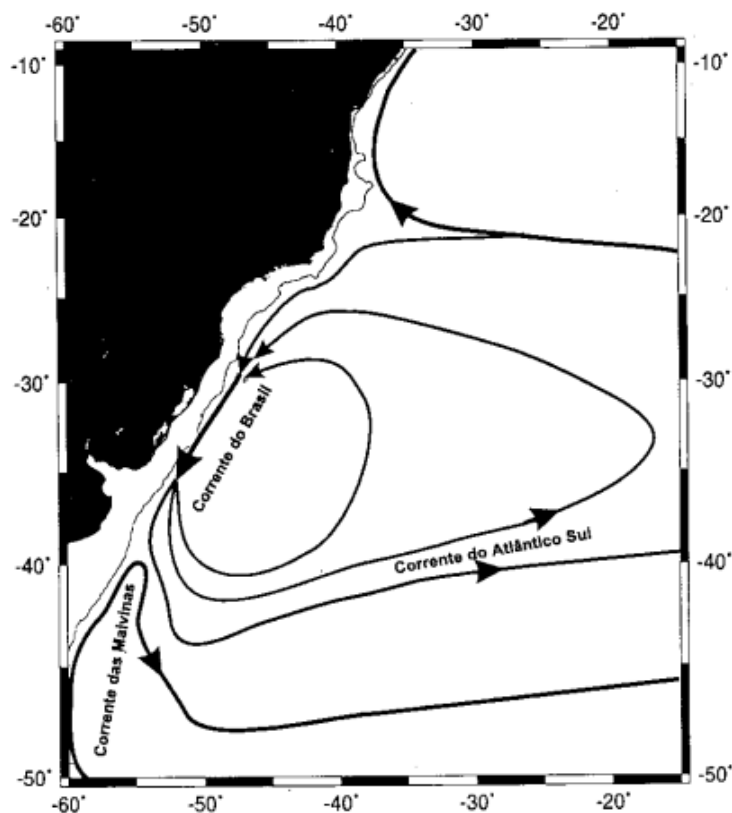


Figura 4. Circulação na plataforma continental e os fluxos da Corrente do Brasil (CB) e da Corrente das Malvinas (CM). Fonte: OLSON *et al.*, 1988.

A concentração de clorofila nos oceanos é influenciada por padrões de movimentação das massas d'água, que, por sua vez, são afetados por condições meteorológicas, incluindo ventos e irradiância solar. Esses fatores são cruciais para a regulação da clorofila, especialmente nas águas superficiais da zona eufótica (CIOTTI *et al.*, 1995).

A precipitação também desempenha um papel significativo, com elevados níveis de clorofila associados a altos índices pluviométricos. Durante eventos intensos de *El Niño*, a precipitação extrema resulta em descargas de água doce que enriquecem as massas d'água costeiras com nutrientes, tal como a água da pluma do Rio da Prata (CIOTTI *et al.*, 1995).

Na Patagônia, a plataforma continental é caracterizada por alta produção fotossintética, com frentes oceânicas que influenciam a distribuição da clorofila, sendo que as regiões do Golfo San Matias, Golfo São Jorge e noroeste das Ilhas Malvinas apresentam os maiores índices (RIVAS *et al.*, 2006). A zona eufótica próxima à costa registra níveis médios de clorofila que variam entre 5 mg/m<sup>3</sup> no verão e 2 mg/m<sup>3</sup> no inverno, com uma diminuição acentuada devido à baixa irradiância e à ausência da termoclina (BRANDHORST & CASTELLO, 1971).

Na plataforma continental do sul do Brasil, os índices médios de clorofila na zona eufótica

variam entre 2 e 2,5 mg/m<sup>3</sup>, com picos superiores a 5 mg/m<sup>3</sup> no estuário da Lagoa dos Patos. Durante o inverno, esses índices caem para menos de 1 mg/m<sup>3</sup>, elevando-se na primavera até 10 mg/m<sup>3</sup>, em resposta ao aumento da irradiância solar e à estabilidade da coluna d'água, após sofrer forte turbulência com o deslocamento da CBM para o norte na estação invernal (CIOTTI *et al.*, 1995; GARCIA & GARCIA, 2008).

Já na plataforma continental sudeste do Brasil, os índices médios de clorofila variam entre 1,2 e 18,5 mg/m<sup>3</sup> no verão e 8,8 e 36,7 mg/m<sup>3</sup> no inverno, sendo que as maiores concentrações são observadas nas regiões costeiras durante o inverno e nas áreas mais distantes da costa no verão (BRANDINI, 1990).

### 1.3. Eventos de *El Niño* Oscilação Sul (ENOS)

O *El Niño* Oscilação Sul (ENOS), descrito por Walker em 1923 (GRIMM, 2015), é um fenômeno oceânico-atmosférico de escala global, que atua no Oceano Pacífico Tropical e altera significativamente os regimes climáticos ao redor do globo (GLANTZ, 1991; TRENBERTH, 1991).

Sua manifestação se estende da costa oeste da América do Sul, na altura do Equador e Peru, aproximadamente na latitude 12°S, até a costa leste do Sudeste Asiático e Oceania, sendo caracterizado por anomalias na temperatura da superfície do mar (TSM) e na pressão atmosférica, especialmente entre Darwin (norte da Austrália) e o Taiti (GLANTZ, 1991; TRENBERTH, 1991).

O ENOS possui duas fases alternadas, sendo *El Niño* e *La Niña*. As fases são identificadas a partir das anomalias da TSM. Quando os valores são iguais ou superiores a 0,5° C por pelo menos cinco meses consecutivos, caracteriza-se *El Niño*; valores iguais ou inferiores a -0,5° C no mesmo intervalo correspondem à *La Niña* (ROPELEWSKI & JONES, 1987). Dados históricos indicam ocorrência de *El Niño* em 31% do tempo e de *La Niña* em 23% (TRENBERTH, 1997).

O nome "*El Niño*" surgiu entre pescadores peruanos para designar uma corrente de águas quentes que aparecia próximo ao Natal, em alusão ao "menino Jesus" (PHILANDER, 1990). Atualmente, essa denominação refere-se à fase quente do ENOS, sendo sua contraparte, *La Niña*, a designação para a fase fria (GRIMM, 2015).

Durante a fase de *El Niño*, os ventos alísios se enfraquecem, o que favorece o surgimento de uma zona de baixa pressão na costa do Peru e altera o padrão das correntes marinhas locais (VINCENTI, 2004). A Corrente de Humboldt (CH), que transporta a AS, massa d'água fria e rica em nutrientes do sul para o norte ao longo da costa sul-americana, perde intensidade, reduzindo sua

capacidade de resfriar a região (VINCENTI, 2004). Simultaneamente, uma contracorrente quente oriunda da região do Sudeste Asiático e Oceania avança em direção à América do Sul, contribuindo para o aquecimento anômalo da TSM (VINCENTI, 2004).

Então, do ponto de vista atmosférico, o *El Niño* apresenta aumento da pressão em Darwin e redução no Taiti. A situação se inverte durante a fase *La Niña* (GLANTZ, 1991; TRENBERTH, 1991). Essas alterações influenciam a distribuição global da umidade relativa: em períodos de *El Niño*, há tendência de diminuição da umidade nas regiões tropicais e aumento nos extratropicais; em *La Niña*, observa-se o oposto (GLANTZ, 1991; TRENBERTH, 1991).

No Brasil, os efeitos do ENOS são notáveis. Em anos de *El Niño*, o sul do país registra invernos mais quentes, aumento da precipitação e da umidade, além de maior ocorrência de tempestades na primavera. No sudeste, a estação primaveril apresenta temperaturas elevadas e umidade reduzida. Nas regiões norte e nordeste, são comuns períodos de seca. Durante *La Niña*, ocorre o inverso: seca no sul e chuvas abundantes no nordeste (RAO & HADA, 1990; CHU, 1991; STUDZINSKI, 1995; GRIMM, 2015).

Portanto, o ENOS é um mecanismo natural de alta complexidade, que envolve a interação entre oceano e atmosfera, gerando impactos regionais e globais tanto no clima e quanto na dinâmica oceanográfica.

#### **1.4. *Spheniscus magellanicus* no litoral brasileiro**

Os pinguins-de-Magalhães realizam migrações anuais seguindo ao norte da Patagônia e chegando à costa brasileira, especialmente entre o Rio Grande do Sul (33°S) e o Rio de Janeiro (21°S) (FRERE *et al.*, 1996). Registros arqueológicos datados de períodos remotos evidenciam a presença de fósseis da espécie nessa área, indicando que o fenômeno já ocorre há tempos no litoral das regiões Sul e Sudeste do Brasil. Tais vestígios reforçam a hipótese de que o hábito migratório e a consequente presença dessas aves no litoral brasileiro remontam a épocas antigas (GASPAR, 1999).

Em 2008, a presença de pinguins foi registrada de forma atípica no nordeste do Brasil, abrangendo desde a Bahia (13°S) até o Rio Grande do Norte (5°S), embora não haja uma sazonalidade definida para tais ocorrências (ROSS, 2008).

A maior parte das pesquisas sobre pinguins no Brasil foca o litoral do Rio Grande do Sul, onde a mortalidade é significativa devido à alta concentração populacional da espécie nessa área

(SICK, 1997; FONSECA *et al.*, 2001; PETRY *et al.*, 2004; MÄDER *et al.*, 2010; PETRY *et al.*, 2012; MARQUES *et al.*, 2018).

Os estudos disponíveis discutem principalmente as condições biológicas dos animais encontrados nas praias (FONSECA *et al.*, 2001; PETRY *et al.*, 2004; BALDASSIN *et al.*, 2010; MARQUES *et al.*, 2018) e os impactos de atividades humanas, como a pesca incidental e a contaminação por óleo (PETRY & FONSECA, 2002; MÄDER *et al.*, 2010; CARDOSO *et al.*, 2011; PETRY *et al.*, 2012; FOGLIARINI *et al.*, 2019). Variáveis ambientais, como altura de onda e TSM, foram analisadas em relação às ocorrências no litoral de São Paulo (BRUSIUS *et al.*, 2021).

Adicionalmente, estudos investigaram as relações entre variabilidade climática e mortalidade da espécie, incluindo os efeitos do fenômeno ENOS (TAVARES, 2019), e ocorrências desde Santa Catarina até o Rio de Janeiro (SANTOS, 2022). O esforço migratório pode resultar em pinguins debilitados alcançando as praias do sul e sudeste do Brasil (Figura 5) (WILLIAMS, 1995; SICK, 1997; SANTOS *et al.*, 2019).

Ao passo em que é possível observar este cenário, há a atuação do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), no âmbito dos Projetos de Monitoramento de Praias (PMP), sendo caracterizado de acordo com o que consta na plataforma SIMBA (Sistema de Informação de Monitoramento da Biota Aquática):

Os Projetos de Monitoramento de Praias (PMP) são desenvolvidos para o atendimento de condicionantes do licenciamento ambiental federal, conduzido pelo IBAMA, das atividades de exploração e produção (E&P) de petróleo e gás natural *offshore* da PETROBRAS nas Bacias de Santos, de Campos, do Espírito Santo, de Sergipe-Alagoas e Potiguar. Esses projetos têm como objetivo avaliar as possíveis interferências das atividades de E&P da Petrobras, na área de abrangência dos projetos, sobre os tetrápodes marinhos (aves, tartarugas e mamíferos marinhos), por meio do monitoramento das praias, do atendimento veterinário aos animais vivos debilitados e da coleta para estudos dos animais mortos (SIMBA, 2025).



Figura 5. Pinguins-de-Magalhães nas praias da região sul e sudeste do Brasil. Fonte: SIMBA, 2024.

### 1.5. A dinâmica costeira e o deslocamento de pinguins ao longo da costa brasileira

A costa brasileira, especialmente nas regiões sul e sudeste, é um ambiente dinâmico onde processos oceanográficos, climáticos e ecológicos interagem de forma complexa. Entre os fenômenos mais relevantes estão as plumas estuarinas, que desempenham um papel crítico na modulação da produtividade biológica e na estruturação de habitats marinhos (SILVA *et al.*, 2024; MATOS *et al.*, 2024).

Estudos recentes, como os apresentados por Silva *et al.* (2024) e Matos *et al.* (2024), demonstram que a dispersão sazonal dessas plumas, impulsionada por fatores como vazões fluviais, ventos e a Força de Coriolis, influencia diretamente a distribuição de nutrientes e matéria orgânica na plataforma continental.

Essa dinâmica, por sua vez, pode ter implicações significativas para a ecologia de espécies migratórias, como os pinguins-de-Magalhães, que frequentam a costa brasileira em busca de alimento. A seguir, detalha-se como a interação entre processos costeiros e a disponibilidade de recursos tróficos pode moldar os padrões de deslocamento dessas aves marinhas.

As plumas estuarinas, formadas pela descarga de rios como o da Prata (Figura 6), transportam não apenas sedimentos, mas também nutrientes essenciais (ex. nitrogênio, fósforo) e matéria orgânica para a plataforma continental.

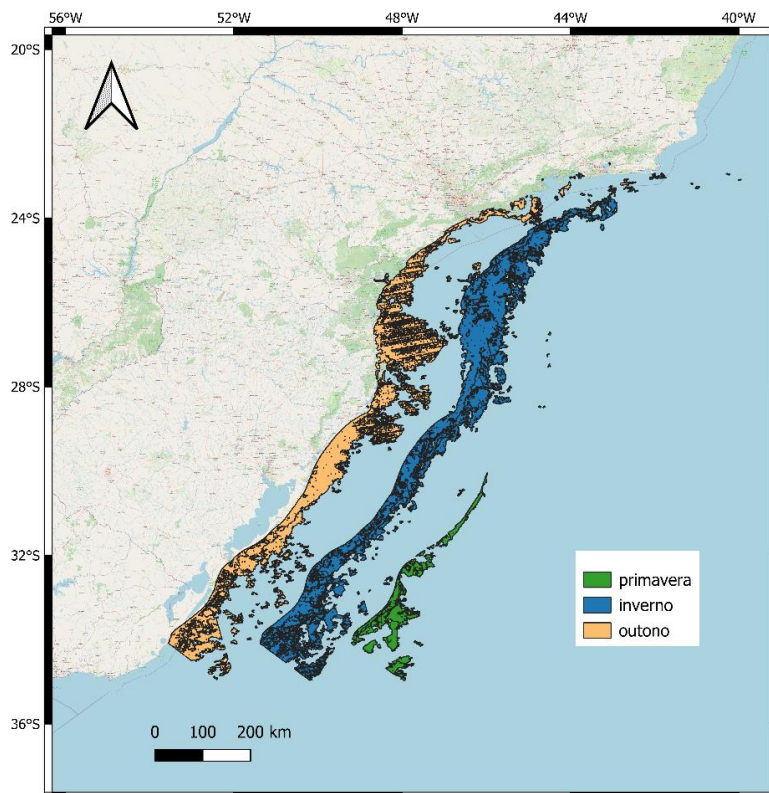


Figura 6. Pluma do Rio da Prata ao longo do litoral brasileiro, para 2023. As diferentes cores, representam as médias temporais do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) que caracterizam a pluma costeira para as estações, conforme especificado na legenda. As plumas estão artificialmente deslocadas para sudeste, para melhor representação. Os dados foram obtidos por imagens de satélite do projeto *Visible Infrared Imaging Radiometer Suite* (VIIRS) e processados no Laboratório de Oceanografia Costeira do Instituto de Biociências, do Campus do Litoral Paulista da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (LOC-IB/CLP-UNESP). Fonte: SILVA *et al.*, 2024.

Trabalhos utilizando imagens do satélite *Visible Infrared Imaging Radiometer Suite* (VIIRS) e cálculos do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) evidenciaram que a dispersão dessas plumas varia sazonalmente, atingindo sua máxima extensão no inverno (227.908 km<sup>2</sup>) e reduzindo-se na primavera (21.384 km<sup>2</sup>) (SILVA *et al.*, 2024).

Essas áreas atuam como "hotspots" de produtividade primária, favorecendo a proliferação de fitoplâncton, base das cadeias alimentares marinhas. Espécies-chave, como anchovas e lulas, que compõem a dieta dos pinguins, concentram-se nessas zonas, tornando-as alvos estratégicos para forrageamento.

A Força de Coriolis, predominante no Hemisfério Sul, desvia as plumas estuarinas para a esquerda, direcionando-as paralelamente à costa. Esse padrão de dispersão, mapeado por

geoprocessamento (MATOS *et al.*, 2024), cria corredores de alta produtividade que se estendem desde o Rio da Prata até o sudeste brasileiro. Paralelamente, correntes como a CB e a CM modulam o transporte de organismos pelágicos.

Os pinguins, ao seguirem essas correntes, podem minimizar o gasto energético durante a migração, ao mesmo tempo que acessam regiões enriquecidas por plumas. A sincronia entre a chegada dos pinguins (principalmente entre maio e agosto) e o pico de dispersão das plumas no inverno sugere uma adaptação evolutiva a ciclos ambientais previsíveis.

Além da busca por alimento, a dinâmica costeira também expõe os pinguins a riscos. Poluentes transportados por plumas, a exemplo de metais pesados e plásticos, podem bioacumular-se nas presas, afetando a saúde das aves.

Ademais, mudanças climáticas projetadas para alterar padrões de precipitação e vazões fluviais, como eventos extremos de *El Niño*, podem deslocar ou fragmentar as plumas estuarinas, reduzindo a previsibilidade dos recursos. Monitoramentos contínuos, como os realizados com VIIRS e NDVI, são essenciais para prever como essas alterações impactarão rotas migratórias e sobrevivência das espécies.

A correlação entre dados de sensoriamento remoto das áreas de plumas e registros de ocorrências de pinguins, via telemetria ou censos, permitiria modelar rotas migratórias em função de variáveis ambientais. Por exemplo, a sobreposição espacial entre polígonos de plumas (delimitados por NDVI entre -1 e 0,3505) e concentrações de pinguins poderia validar hipóteses ecológicas. estudos interdisciplinares, combinando oceanografia, ecologia e climatologia, são necessários para entender sinergias entre dinâmica costeira e respostas comportamentais das aves.

## **1.6. Objetivos**

### **1.6.1. Objetivo Geral**

Investigar a ocorrência de indivíduos da espécie *Spheniscus magellanicus* no litoral Sul e Sudeste do Brasil sob o comportamento das águas costeiras na plataforma continental do Oceano Atlântico Sudoeste, além da provável influência de fatores climáticos, entre agosto de 2015 e agosto de 2024.

### **1.6.2. Objetivos Específicos**

**1 - Realizar o levantamento e contabilizar** as ocorrências de indivíduos da espécie *Spheniscus magellanicus* resgatados pelo Projeto de Monitoramento de Praias da Bacia de Santos

(PMP-BS), conduzido pelo IBAMA, no trecho de litoral compreendido entre os estados de Santa Catarina e do Rio de Janeiro.

**2 - Demonstrar projeções de deslocamento** dos pinguins-de-Magalhães desde a Patagônia argentina até as regiões sul e sudeste do Brasil, utilizando uma ferramenta de modelagem de trajetórias lagrangeanas (*Ocean Parcels*) que considere a dinâmica das correntes marinhas.

**3 - Verificar se as ocorrências** de *S. magellanicus* são influenciadas por fenômenos oceanográficos abióticos, incluindo a circulação marinha e a variabilidade associada ao *El Niño* Oscilação Sul (ENOS), representada pelo Índice Niño Oceânico (ONI).

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Área de estudo

O litoral entre os municípios de Laguna (28°61'S, 48°85'O) e Saquarema (22°93'S, 42°36'O) apresenta 2.013 km de extensão monitorados pelo PMP-BS (Figura 7).

O trecho, compreendido desde o Estado de Santa Catarina até o Estado do Rio de Janeiro – área em que foram encontrados os exemplares de *S. magellanicus* pelo PMP-BS –, situa-se entre o Cabo de Santa Marta (28°60'S, 48°81'O) e o Cabo Frio (23°S, 42°O) (PETROBRAS, 2024). Os monitoramentos abrangem 521,16 km de costa do estado de Santa Catarina, 105,48 km do Paraná, 406,04 km de São Paulo e 980,75 km do Rio de Janeiro.

Considerando as particularidades geográficas e os fatores logísticos, a região de interesse desta pesquisa foi dividida em 15 seções pelo IBAMA (Tabela 2). Para cada uma dessas seções, há uma organização especializada em assistência médica-veterinária, responsável por gerir e realizar o monitoramento (PETROBRAS, 2024).

As águas costeiras da plataforma continental do Oceano Atlântico Sudoeste nas latitudes entre 22°S e 55°S, compreendendo a região do Sul e Sudeste do Brasil até a região da Patagônia argentina, têm sua dinâmica influenciada pela ação do Giro Subtropical, formado por diversas correntes, tais como a CM e a CB (Figura 8) (PETERSON & STRAMMA, 1991). Ademais, a intensa descarga d'água do Rio da Prata, como já abordado, também assume um importante papel na dinâmica desse espaço.

Os ventos incidentes na região influenciam o comportamento tanto da CM, quanto da CB e do espalhamento da água do Rio da Prata e águas continentais, que por sua vez, influenciam a área da plataforma continental com relação à temperatura, salinidade, densidade e padrões de produtividade primária (PETERSON & STRAMMA, 1991).

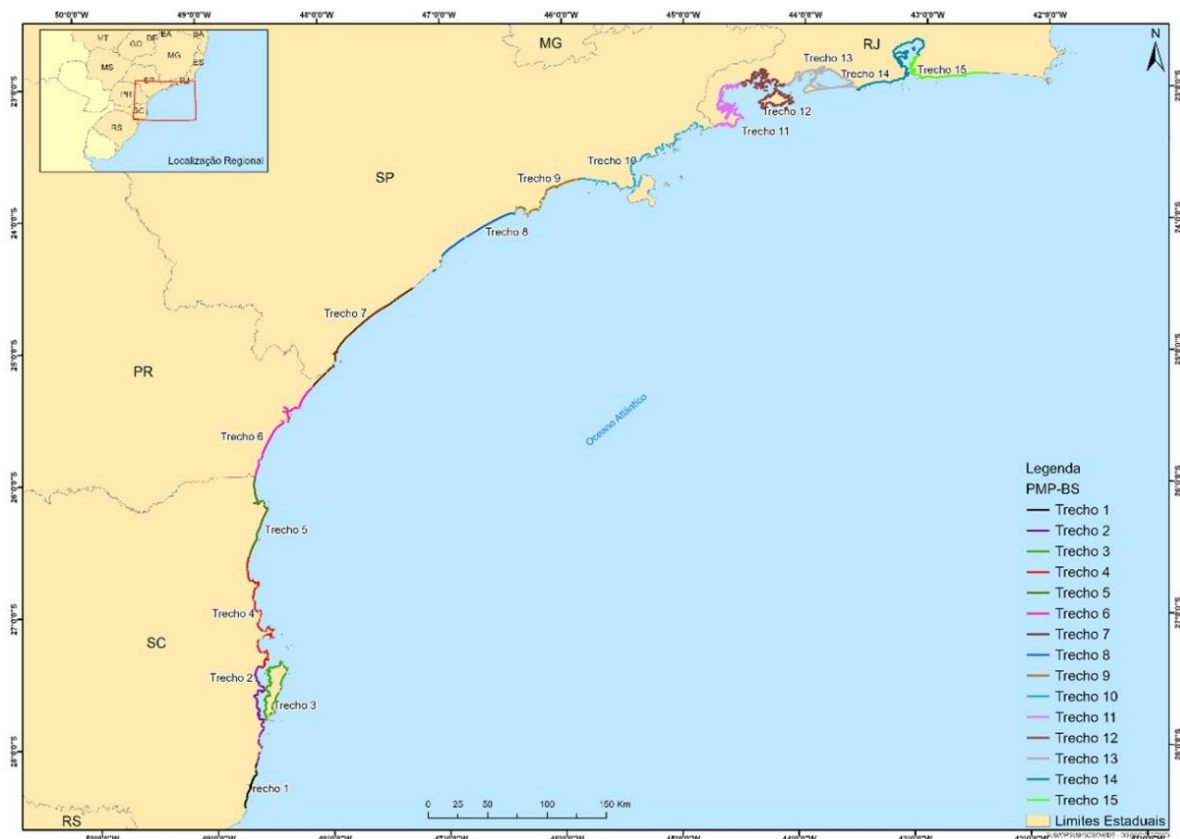


Figura 7. Extensão litorânea monitorada pelo PMP-BS, entre Laguna (SC) e Saquarema (RJ) (PETROBRAS, 2024).

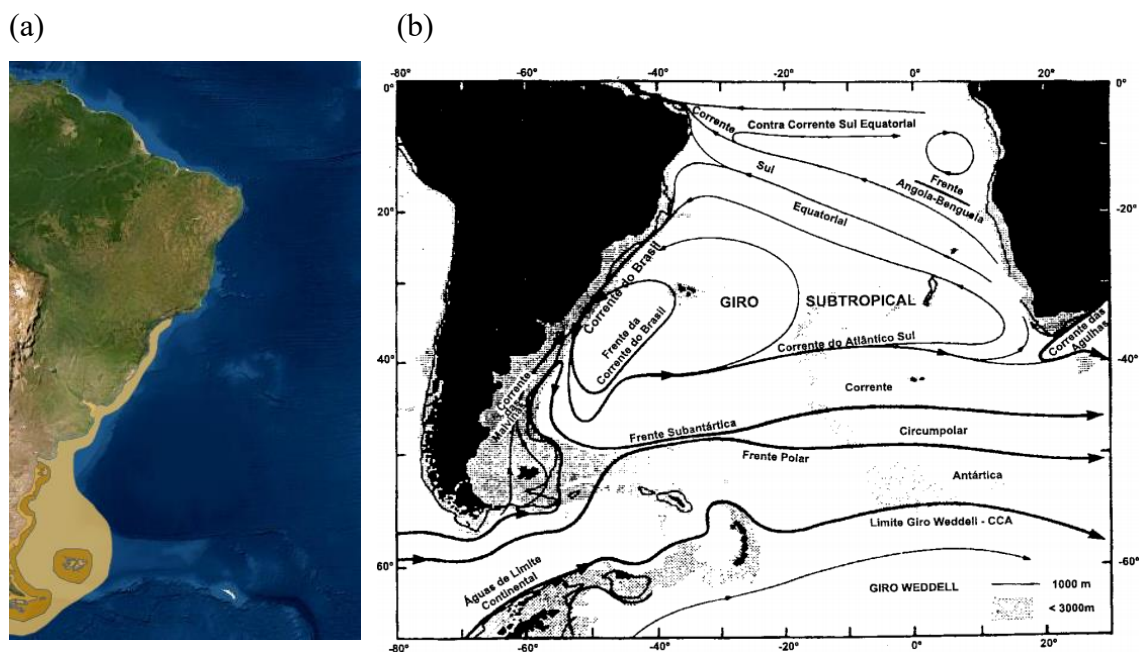


Figura 8. (a) Zona de ocorrência de *S. magellanicus* no Oceano Atlântico Sudoeste (IUCN, 2020) e (b) dinâmica das correntes incidentes na região do Oceano Atlântico, evidenciando a sobreposição das áreas. (PETERSON & STRAMMA, 1991).

Tabela 2. Instituições responsáveis pelo monitoramento no âmbito do PMP-BS e seus respectivos trechos de atuação. Fonte: PETROBRAS, 2019.

Instituição	Trecho	Abrangência	Distância (km)
UDESC	01 (SC)	Laguna e Imbituba	40,22
Instituto Australis	02 (SC)	Imbituba, Garopaba, Paulo Lopes, Palhoça, Florianópolis, São José, <u>Biguaçu</u> e Governador Celso Ramos	187,46
R3 Animal	03 (SC)	Florianópolis	92,37
Univali	04 (SC)	Governador Celso Ramos, Tijucas, Bombinhas, Porto Belo, Itapema, Balneário Camboriú, Itajaí, Navegantes, Penha, Piçarras e Barra Velha	116,60
Univille	05 (SC)	Araquari, Barra do Sul, São Francisco do Sul e Itapoá	84,51
UFPR	06 (PR)	Guaratuba, Matinhos, Pontal do Paraná, Paranaguá e Guaraqueçaba	105,48
IPeC	07 (SP)	<u>Cananeia</u> , Ilha Comprida e Iguape	120,94
Instituto Biopesca	08 (SP)	Peruíbe, Itanhaém, Mongaguá e Praia Grande	75,36
Instituto Greomar	09 (SP)	São Vicente, Santos, Guarujá e Bertioga	63,87
Instituto Argonauta	10 (SP)	São Sebastião, Ilhabela, Caraguatatuba e Ubatuba	145,87
Econservation	11 (RJ)	Paraty	241,85
Econservation	12 (RJ)	Angra dos Reis	276,57
Econservation	13 (RJ)	Mangaratiba, Itaguaí e Rio de Janeiro	264,80
Econservation	14 (RJ)	Rio de Janeiro, Duque de Caxias, Magé, Guapimirim, Itaboraí e São Gonçalo	120,79
Econservation	15 (RJ)	Niterói, Maricá e Saquarema	76,74

## 2.2. Dados das ocorrências

O levantamento relacionado às incidências foi embasado nos dados disponibilizados pela plataforma SIMBA [<https://simba.petrobras.com.br/simba/web/>]. Foram coletados dados referentes às ocorrências no trecho litorâneo desde o município de Laguna, localizado em Santa Catarina, até o município de Saquarema, no Rio de Janeiro, durante o período de agosto de 2015 a agosto de 2024. Os referidos dados dizem respeito à data, localidade, estágio de desenvolvimento e condição de vida dos indivíduos encontrados.

Em dado momento, as ocorrências foram compiladas por estações climáticas, considerando

o verão como o conjunto dos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, o outono sendo de março a maio, o inverno entre junho e agosto e a primavera nos meses de setembro, outubro e novembro.

Os testes estatísticos e gráficos foram elaborados a partir de rotinas desenvolvidas no programa para computador *Python*, a partir de seus módulos gráficos e estatísticos *pyplot*, *numpy*, *scipy* e *pandas* (PYTHON, 2021).

### 2.3. Dados de eventos de *El Niño* e *La Niña*

Para verificar a influência de eventos de *El Niño* e *La Niña*, os dados relacionados ao fenômeno ENOS foram adquiridos por meio do banco de dados público disponível na plataforma do *Climate Prediction Center* [[https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php)], que é administrado pelo Serviço Nacional de Meteorologia dos Estados Unidos, uma das seis instituições científicas que compõem a *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA).

As informações mensais coletadas abrangem o intervalo entre agosto de 2015 e agosto de 2022, com ênfase no Índice Niño Oceânico (ONI), que serve como indicador oceânico do ENOS. Ao avaliar os eventos de *El Niño* e *La Niña*, a NOAA ainda considera o Índice de Oscilação Sul (SOI) como indicador atmosférico - que não foi analisado no presente trabalho.

O ONI reflete as anomalias em relação à temperatura média da TSM, sendo que os limites para a definição de períodos quentes e frios são estabelecidos em  $\pm 0,5^\circ \text{C}$ . O banco de dados tem continuidade desde 1950 até a atualidade, e a área de coleta das informações pela agência é delimitada pelas coordenadas  $5^\circ\text{N}$ ,  $120^\circ\text{O}$ ;  $5^\circ\text{S}$ ,  $170^\circ\text{O}$  (NATIONAL WEATHER SERVICE, 2022).

Ademais, cada valor apresentado não representa o índice absoluto do mês correspondente, mas sim a média aritmética de três meses consecutivos, incluindo o mês anterior, o mês em análise e o mês seguinte (NATIONAL WEATHER SERVICE, 2022). Para exemplificar essa abordagem, pode-se considerar o cálculo do índice de ENOS para janeiro de 2022, que foi obtido a partir da média aritmética dos índices de dezembro de 2021, janeiro de 2022 e fevereiro de 2022 (denotado como DJF).

### 2.4. Projeções de deslocamento dos pinguins-de-Magalhães

Utilizando o software *Python*, foi aplicado o modelo *Hybrid Coordinate Ocean Model* (HYCOM) para obter dados sobre correntes marinhas, reanalisados pelo modelo numérico oceânico *Regional Ocean Model System* (ROMS), na plataforma continental do Oceano Atlântico Sudoeste e

na parte ocidental do Oceano Atlântico Sul, durante o período de agosto de 2015 a junho de 2024.

Em seguida, o modelo de trajetórias lagrangeanas *Ocean Parcels* foi utilizado, também no *Python*, a fim de realizar uma estimativa de deslocamento dos pinguins-de-Magalhães. As simulações consideraram a partida de um pinguim advectado pelas correntes locais, a partir das coordenadas 45°00'S, 65°00'O - um ponto próximo à costa, no sul da Patagônia argentina.

O movimento de dispersão passiva dos pinguins foi modelado para diversas datas entre 2015 e 2024: início da primavera (20/09), primavera média (20/10), início do verão (20/12), início do outono (20/03) e início do inverno (20/06). Foram considerados 1.000 pinguins nas simulações, com um período de 90 dias para a evolução das trajetórias, representando suas posições a cada sete dias.

Esse deslocamento advectivo inicial, interpretado como um favorecimento passivo, pode facilitar a chegada dos pinguins às áreas da Plataforma Continental Sul e Sudeste do Brasil, partindo da região da foz do Rio da Prata. Em determinados períodos, especialmente no inverno, é provável percorrer algumas centenas de quilômetros sem grandes esforços, devido ao deslocamento da pluma desse rio em direção ao Nordeste, paralelamente à costa.

O favorecimento passivo foi calculado como a diferença entre a distância total de 1.400 km entre a Patagônia e a foz do Rio da Prata e a menor distância alcançada por um grupo de pinguins durante a jornada.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram registradas 56.340 ocorrências de indivíduos da espécie *Spheniscus magellanicus* na extensão do litoral estudado, durante os 109 meses estudados (Tabela 3). Destes, um contingente majoritário foi verificado para o estado de Santa Catarina (n = 34.951). O estado de São Paulo apresentou a segunda maior incidência (n = 11.167). Em seguida, o estado do Paraná (n = 8.145), e por último o estado do Rio de Janeiro, (n = 2.077).

Nos estudos de Santos (2021) e Santos (2022), foi registrada a mesma ordem no ranking por ocorrências de pinguins entre 2015 e 2020 para o primeiro estudo e entre 2015 e 2022 para o segundo.

O estado do Rio de Janeiro não apresenta dados para os anos de 2015 a 2017 devido ao PMP-BS ter iniciado os monitoramentos no referido estado somente em julho de 2018. Os dados de 2024 foram considerados até o mês de agosto, em razão de que os números a partir do mês de setembro do referido ano não estavam totalmente inseridos no sistema SIMBA até a data final de coleta dos dados, em 20 de janeiro de 2025.

Tabela 3. Números de pinguins resgatados pelo PMP-BS por estados por ano; data final de coleta dos dados - 20 de janeiro de 2025.

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
<b>SC</b>	1.020	1.588	1.177	6.865	2.696	2.426	4.745	6.933	4.814	2.687
<b>PR</b>	87	137	27	2.918	510	560	1.029	1.940	930	7
<b>SP</b>	363	91	30	2.146	921	1.759	877	2.576	1.570	834
<b>RJ</b>	NA	NA	NA	115	8	391	67	82	541	873
<b>Total</b>	1.470	1.816	1.234	12.044	4.135	5.136	6.718	11.531	7.855	4.401

Ao verificar as taxas de ocorrências – em que se observa a quantidade de pinguins avistados para cada trecho de 1 km –, o estado do Paraná apresentou o índice mais elevado, com aproximadamente 77,21 pinguins/km; Santa Catarina obteve 67,06 pinguins/km; São Paulo registrou 27,5 pinguins/km e Rio de Janeiro apenas 2,11 pinguins/km. A taxa para o trecho em sua integralidade foi de 27,98 pinguins/km. Santos (2021) e Santos (2022) obtiveram igualmente o estado do Paraná possuindo a maior taxa de ocorrências, enquanto o do Rio de Janeiro sendo o menor.

Observando ainda a quantidade de pinguins encontrados para cada trecho de 1 km por ano, o Paraná contabilizou 8,5 pinguins/km/ano, Santa Catarina obteve 7,4 pinguins/km/ano, São Paulo registrou 3,03 pinguins/km/ano e Rio de Janeiro 0,34 pinguins/km/ano. A taxa total foi de 3,08 pinguins/km/ano.

Portanto, para ambas as modalidades de taxa, Paraná e Santa Catarina apresentaram índices acima do registrado (relativo ao valor total), enquanto nos demais os valores ficaram abaixo. Santos (2021) e Santos (2022) também obtiveram os dois estados da região sul acima da taxa total; no estudo de 2021, São Paulo apareceu acima da taxa total, enquanto no estudo de 2022, abaixo, refletindo o resultado do presente trabalho.

As ocorrências dos pinguins foram distribuídas ao longo dos anos estudados (Figura 9). O ano de 2018 ganha destaque, por ter sido o de maior número de ocorrências, seguido proximamente pelas ocorrências contabilizadas em 2022. Somente os dados de 2018 e 2022 totalizaram juntos 41,84% das ocorrências analisadas. Em oposição a isso, o ano de 2017 apresenta o menor índice de animais resgatados, assim como nos estudos de Santos (2021) e Santos (2022).

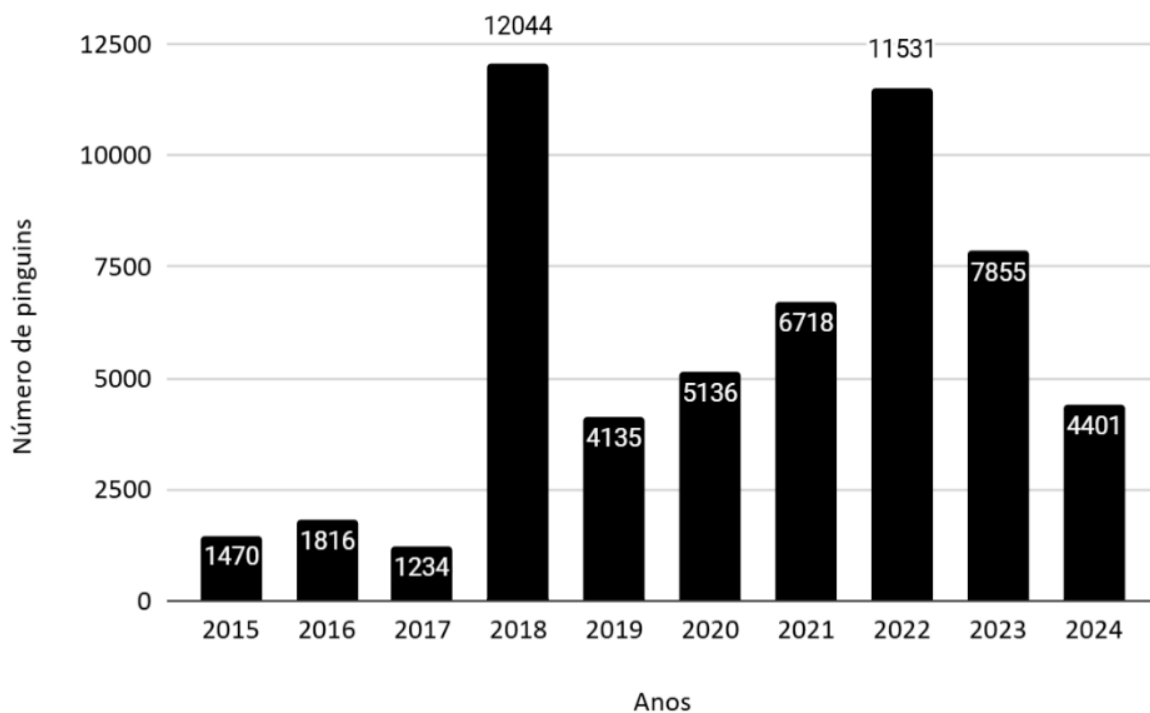


Figura 9. Números totais de pinguins resgatados pelo PMP-BS por ano, ao longo de toda a faixa litorânea estudada. Dados compilados referentes ao período de agosto de 2015 a agosto de 2024.

A Tabela 4 e a Figura 10, contém os índices de anomalias da TSM para o ENOS, através dos

valores de ONI.

Tabela 4. Índices Niño Oceânico (ONI), com anomalias da temperatura da superfície do mar (TSM) para ENOS (*El Niño* Oscilação Sul); as siglas fazem referência às médias de três meses consecutivos - ex.: ASO - Agosto/Setembro/Octubro. Uma sequência de cinco valores em vermelho indicam *El Niño*; já em azul, *La Niña*.

	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
<b>2015</b>									2,2	2,4	2,6	2,6
<b>2016</b>	2,5	2,1	1,6	0,9	0,4	-0,1	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7	-0,7	-0,6
<b>2017</b>	-0,3	-0,2	0,1	0,2	0,3	0,3	0,1	-0,1	-0,4	-0,7	-0,8	-1
<b>2018</b>	-0,9	-0,9	-1	-0,5	-0,2	0	0,1	0,2	0,5	0,8	0,9	0,8
<b>2019</b>	0,7	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,3	0,1	0,2	0,3	0,5	0,5
<b>2020</b>	0,5	0,5	0,4	0,2	-0,1	-0,3	-0,4	-0,6	-0,9	-1,2	-1,3	-1,2
<b>2021</b>	-1	-0,9	-1	-0,7	-0,5	-0,4	-0,4	-0,5	-0,7	-0,8	-1	-1
<b>2022</b>	-1	-0,9	-1	-1,1	-1	-0,9	-0,8	-0,9	-1,0	-1,0	-0,9	-0,8
<b>2023</b>	-0,7	-0,4	-0,1	0,2	0,5	0,8	1,1	1,3	1,6	1,8	1,9	2,0
<b>2024</b>	1,8	1,5	1,1	0,7	0,4	0,2	0,0					

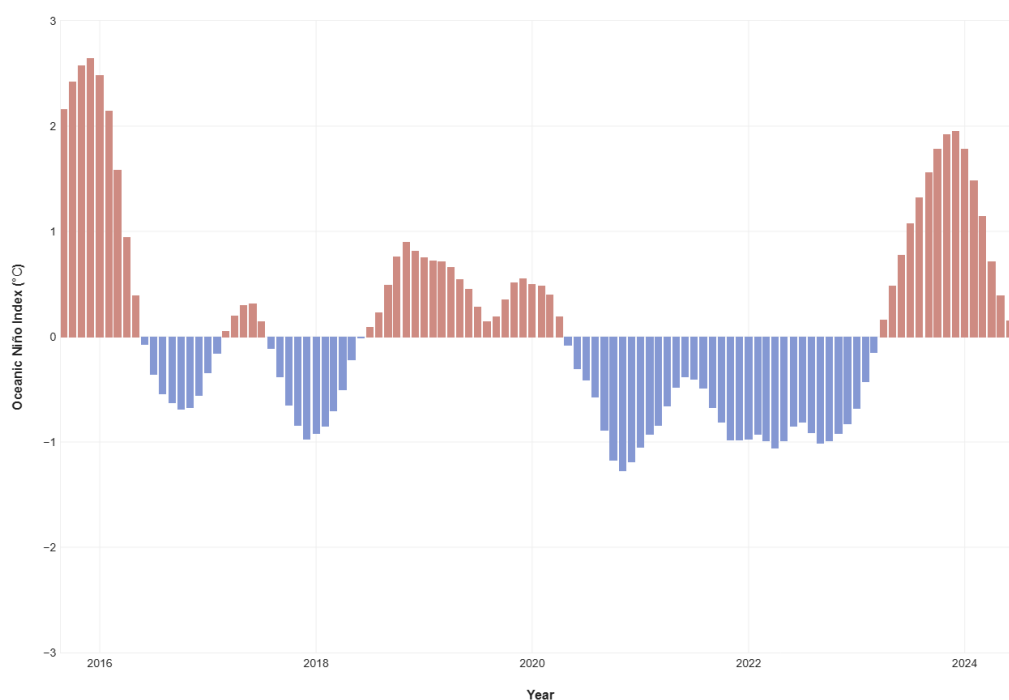


Figura 10. Gráfico de anomalias da temperatura da superfície do mar (TSM) de acordo com o Índice Niño Oceânico (ONI). Fonte: NOAA, 2025.

Fortes índices ENOS estão relacionados ao aumento de ocorrências no litoral do Rio Grande do Sul, para os anos de 1990, 1997, 1999 e 2008, sendo os dois primeiros marcados pela ocorrência de *El Niño* e os dois últimos de *La Niña* (MÄDER *et al.*, 2010).

Os níveis de produtividade primária podem vir a ser aumentados em épocas de *El Niño* na plataforma sul do Brasil, já que em razão das fortes tempestades habituais durante esses eventos, a descarga de nutrientes provenientes do continente pode ser ampliada, levando a uma maior oferta de alimento para os pinguins em razão da maximização das populações predadas por eles. Independentemente de eventos ENOS, a produtividade primária habitualmente é mais alta na transição entre o verão e outono, fazendo com que haja um resultado meses adiante de aumento de populações normalmente predadas em razão da elevação da incidência de luminosidade (BRANDHORST & CASTELLO, 1971), precipitação e consequente aumento dos níveis de nutrientes disponíveis na plataforma (CIOTTI *et al.*, 1995).

Frequentemente, a migração até o Brasil é explicada em partes pela busca por alimento, inclusive de espécies que ocupam as águas da plataforma continental brasileira (FRERE *et al.*, 1996; MARQUES *et al.*, 2018; SANTOS, 2021). Essa explicação é considerável, partindo da ideia que a próxima fase do ciclo de vida anual é a época de reprodução, o que demanda alta reserva energética.

Os resultados totais para os meses se apresentam de forma discrepante entre si (Figura 11).

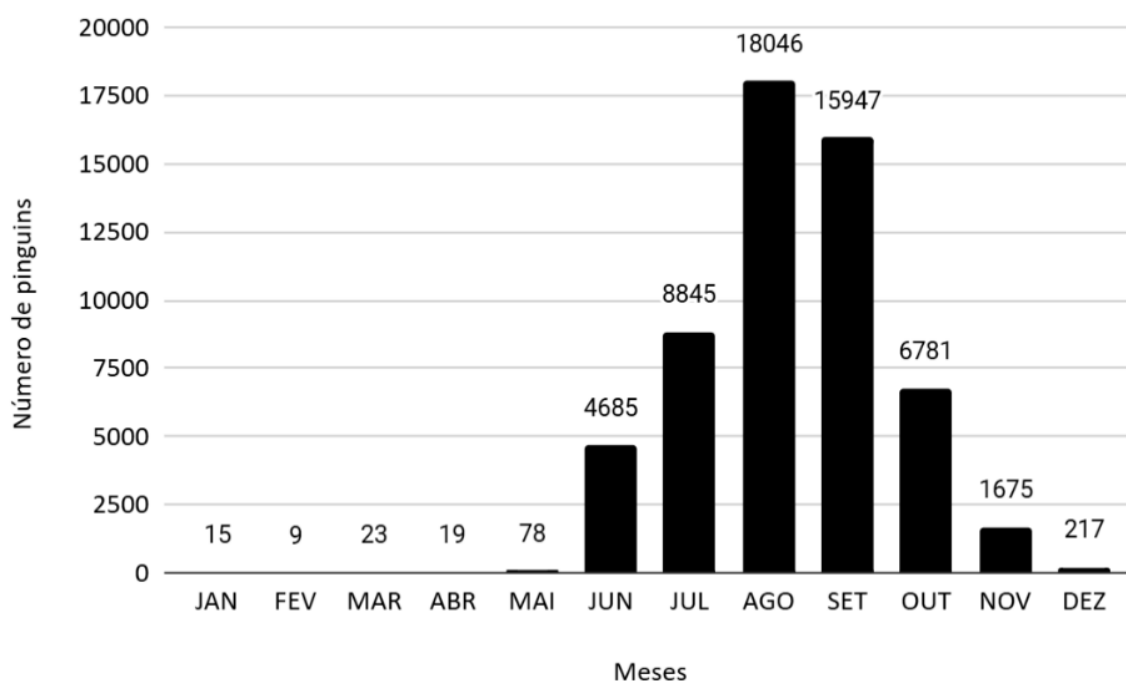


Figura 11. Números totais de pinguins resgatados pelo PMP-BS por mês.

A partir da Tabela 5, foi possível mensurar o índice médio de ocorrências por meses,

obtendo-se janeiro (n = 1,67), fevereiro (n = 1), março (n = 2,56), abril (n = 2,11), maio (n = 8,67), junho (n = 520,56), julho (n = 982,78), agosto (n = 1.804,6), setembro (n = 1.771,89), outubro (n = 753,44), novembro (n = 186,11) e dezembro (n = 24,11). Na totalidade do período estudado, a estação invernal se destaca pelos altos números de ocorrências (n = 31.576), seguido pela primavera (n = 24.403), verão (n = 241) e por último o outono (n = 120).

Tabela 5. Número de pinguins resgatados pelo PMP-BS por meses a cada ano; o período de cada estação está representado pela diferenciação por cores (amarelo: verão; marrom: outono; azul: inverno; rosa: primavera).

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Total
<b>Jan.</b>	NA	7	6	0	1	0	1	0	0	0	15
<b>Fev.</b>	NA	0	2	0	2	1	1	2	1	0	9
<b>Mar.</b>	NA	2	11	1	4	2	1	2	0	0	23
<b>Abr.</b>	NA	1	2	7	2	0	1	0	1	5	19
<b>Mai.</b>	NA	13	0	3	3	4	7	31	0	17	78
<b>Jun.</b>	NA	164	70	44	76	2.725	5	749	75	777	4.685
<b>Jul.</b>	NA	374	781	1.211	344	901	482	927	1.298	2.527	8.845
<b>Ago.</b>	184	289	208	4.386	2.242	463	2.897	2.609	3.693	1.075	18.046
<b>Set.</b>	576	616	16	5.207	1.301	399	2.476	3.077	2.279	0	15.947
<b>Out.</b>	459	323	5	1.103	148	533	812	2.944	454	0	6.781
<b>Nov.</b>	220	18	70	70	12	98	27	1.107	53	0	1.675
<b>Dez.</b>	31	9	63	12	0	10	8	83	1	0	217
<b>Total</b>	1.470	1.816	1.234	12.044	4.135	5.136	6.718	11.531	7.855	4.401	56.340

A concentração de ocorrências no inverno, embaixo e ao mesmo tempo é explicada pelos conhecimentos já existentes na literatura sobre os hábitos migratórios da espécie, em contraponto com o verão e o outono, estações em que se registraram dados somente no patamar das dezenas.

Os números nos meses de primavera provavelmente são reflexo do deslocamento iniciado no inverno, sendo que a época primaveril é conhecida por ser uma fase anual de retorno à Patagônia para o acasalamento e cópula. Essa hipótese é justificável, já que a maior parte dos animais encalhados nessa estação, bem como nas demais, são de juvenis - informação que será abordada adiante no trabalho -, e que, portanto, ainda não teriam o instinto de reprodução arraigado em seu comportamento da mesma forma como nos indivíduos adultos.

De acordo com o que já é de conhecimento sobre o ciclo de vida anual do pinguim-de-Magalhães, durante os meses de janeiro e fevereiro os indivíduos adultos, em geral, exercem os cuidados parentais, que incluem a criação, alimentação e proteção dos filhotes que nasceram no final do ano anterior (BOERSMA & WILLIAMS, 1995; SILVA-FILHO & RUOPPOLO, 2007).

Nos meses de março e abril, a espécie tende a evitar ou têm uma baixa presença no mar em razão da ocorrência da muda de penas nessa época do ano. Em maio, apesar de ser o começo do movimento migratório anual de inverno, a grande maioria dos pinguins ainda está em processo de completar sua longa jornada, o que acaba resultando em ocorrências nas praias do sul e sudeste do Brasil (BOERSMA & WILLIAMS, 1995; SILVA-FILHO & RUOPPOLO, 2007).

Examinando os dados referentes à ontogenia, ou seja, o estágio de desenvolvimento do indivíduo, aproximadamente 83,3% (n = 46.931) eram juvenis, 2,5% (n = 1.440) eram adultos, 0,0002% (n = 16) eram filhotes e 14,11% (n = 7.953) com estágio de desenvolvimento indeterminado. Ao conferir a condição de vida, apenas 8,48% (n = 4.780) foram resgatados vivos, em contraponto aos 91,51% (n = 51.560) dos animais que foram resgatados sem sinais vitais.

Dos indivíduos resgatados com estágio de desenvolvimento indeterminado, 7.840 pinguins, representando 98,6% desse total, foram resgatados já mortos. Isso pode ser explicado pelo fato de que, provavelmente, no momento da verificação da ocorrência, a má condição de preservação da carcaça não possibilitou tal identificação adequadamente na maioria dos casos.

Além da hipótese explanada anteriormente, com relação ao instinto reprodutivo ainda inexistente nos juvenis, a quantidade significativa destes frente à de adultos indica também uma fragilidade pronunciada e uma experiência limitada no que diz respeito à superação de desafios de origem natural ou resultantes da ação humana, como constatado por Santos (2021) e Santos (2022).

Todos os 16 pinguins filhotes foram resgatados já mortos. Assim como no estudo de Santos (2021), foi constatado um baixo número de filhotes, em que naquela oportunidade contabilizava-se nove indivíduos. Tanto naquele quanto no presente trabalho, o contingente foi anotado para os meses de agosto a outubro.



Figura 12. Indivíduo de *S. magellanicus* encalhado com estágio de desenvolvimento indeterminado, no município de Ilha Comprida, estado de São Paulo, em agosto de 2024. Fonte: SIMBA, 2024.

Santos (2021) sugere que estas carcaças “estavam à deriva há muito tempo” e Santos (2022) propõe uma segunda hipótese: “a incubação e eclosão do ovo tenha ocorrido de forma tardia” nesses casos, considerando que os filhotes se tornam juvenis entre os meses de fevereiro e março, (BOERSMA & WILLIAMS, 1995; SILVA-FILHO & RUOPPOLO, 2007).

As figuras contidas na seção dos apêndices (Apêndice A a Apêndice AS) representam as projeções de deslocamento dos pinguins-de-Magalhães, a partir da Patagônia argentina, para cada início de estação de cada ano entre 2015 e 2024. Como já mencionado, as simulações compreendem a dispersão de pinguins hipotéticos à deriva, como seres inanimados, simplesmente advectados pelas correntes locais.

A Tabela 6 compila as distâncias percorridas, por meio do deslocamento advectivo, que corresponde ao favorecimento passivo. Já a Tabela 7 indica as menores distâncias alcançadas até a foz do Rio da Prata.

Tabela 6. Favorecimento passivo, ao final de 90 dias. As datas indicam os momentos de partida hipotéticos. Valores em km.

	<b>Outono (20/03)</b>	<b>Inverno (20/06)</b>	<b>Primavera (20/09)</b>	<b>Primavera média (10/10)</b>	<b>Verão (20/12)</b>
<b>2015</b>			885	1.143	1.010
<b>2016</b>	588	197	1.102	1.061	1.100
<b>2017</b>	895	904	872	665	1.127
<b>2018</b>	821	1.084	565	933	1.089
<b>2019</b>	1.043	982	1.106	1.066	976
<b>2020</b>	731	1.051	1.014	1.039	803
<b>2021</b>	490	1.148	999	891	1.184
<b>2022</b>	1.022	781	1.040	1.065	1.049
<b>2023</b>	904	619	921	814	1.098
<b>2024</b>	1.098	890			

Tabela 7. Menores distâncias alcançadas até a foz do Rio da Prata, ao final de 90 dias. As datas indicam os momentos de partida hipotéticos. Valores em km.

	<b>Outono (20/03)</b>	<b>Inverno (20/06)</b>	<b>Primavera (20/09)</b>	<b>Primavera média (20/10)</b>	<b>Verão (20/12)</b>
<b>2015</b>			515	257	390
<b>2016</b>	812	1.203	298	339	300
<b>2017</b>	505	496	528	735	273
<b>2018</b>	579	316	835	467	311
<b>2019</b>	357	418	294	334	424
<b>2020</b>	669	349	386	361	597
<b>2021</b>	910	252	401	509	216
<b>2022</b>	378	619	360	335	351
<b>2023</b>	496	781	479	586	302
<b>2024</b>	302	510			

Será apresentada a seguir uma análise detalhada das ocorrências de pinguins-de-Magalhães ao longo da costa do Brasil, considerando os estados afetados, distribuição temporal e espacial, sazonalidade, favorecimento passivo e influência do ONI. Foram considerados na discussão somente os *lags* positivos, pois o objetivo é verificar a relação causa-consequência/efeito, sendo favorecimento passivo e ONI as causas, enquanto ocorrências são consideradas consequência/efeito.

Com relação à distribuição temporal e espacial das ocorrências, a análise das ocorrências por estado revelou um padrão progressivo de chegada dos pinguins. Em Santa Catarina, o maior número de ocorrências foi registrado, sendo o primeiro estado a receber os pinguins em um ciclo migratório típico.

O Paraná, localizado ao norte, recebeu ocorrências com um atraso médio de aproximadamente um mês em relação a Santa Catarina, sendo o mesmo resultado verificado para São Paulo. No Rio de Janeiro, o padrão foi mais irregular, sem correlação clara com os outros estados, sugerindo que fatores locais podem estar desempenhando um papel mais relevante na distribuição das ocorrências.

Quanto ao favorecimento passivo, os resultados indicam que quanto maior essa condição, menor é o número de ocorrências registrados no Brasil, hipoteticamente. A correlação cruzada revelou os seguintes valores, com -0,358 em Santa Catarina para um *lag* de um mês (Figura 13), -0,288 no Paraná com *lag* de dois meses (Figura 14) e -0,325 em São Paulo com *lag* de também dois meses (Figura 15).

Com o enfoque na análise de resultados progressivos, tendo em vista os demais estados - Santa Catarina e São Paulo, foi considerado o *lag* de dois meses para o Paraná na presente análise, mesmo havendo uma correlação ligeiramente maior em número absoluto no *lag* de cinco meses (0,336).

Segundo Cohen (1988), valores modulares de correlações obtidas entre 0,1 e 0,29 são fracos, entre 0,3 a 0,49 são moderados e de 0,5 a 1 são fortes. Logo, os valores demonstram correlações moderadas para os estados de Santa Catarina e São Paulo, enquanto para o Paraná foi obtida uma correlação fraca tendendo à moderada.

Os valores negativos das correlações sugerem que quando os pinguins conseguem avançar passivamente até o Rio da Prata sem grande dispêndio de energia, eles passam mais tempo nessa região antes de continuar a jornada ao Brasil, reduzindo as ocorrências, possivelmente em razão da

grande oferta de alimento.

Esta hipótese apresenta uma contraposição de ideias com relação ao que é encontrado na literatura, citada anteriormente (FRERE *et al.*, 1996; MARQUES *et al.*, 2018; SANTOS, 2021), em que sugerem que os animais migram para se alimentar na costa brasileira.

A hipótese apresentada aqui pode ser embasada no fato de que, conforme mais ao norte, maior é a temperatura das águas e, conseqüentemente, espera-se que haja uma redução na oferta de alimento por conta da diminuição do oxigênio dissolvido.

Ademais, já que o favorecimento passivo indica um maior tempo de estadia na região da foz do Rio da Prata, cujas águas são extremamente ricas em nutrientes, é possível considerar que, dependendo do deslocamento da pluma, quanto mais ao norte essa se deslocar, maior a incidência desses animais na costa brasileira, especialmente em Santa Catarina.

É possível ainda que caso seja realizada análise acerca das ocorrências do Rio Grande Sul, este estado apresente correlação positiva entre favorecimento passivo e ocorrências devido à maior proximidade com o Rio da Prata. O fato de que o Estado é a própria localidade de descarga da Lagoa dos Patos, cuja feição apresenta contribuição considerável com relação ao aporte de nutrientes na plataforma continental, corrobora essa ideia.

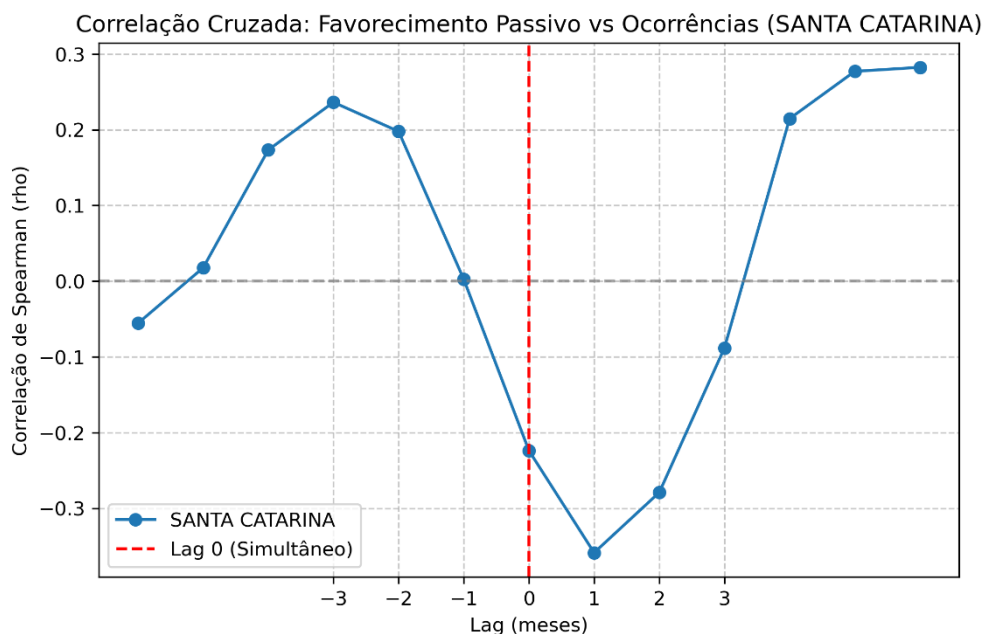


Figura 13. Correlação cruzada entre favorecimento passivo e ocorrências para o Estado de Santa Catarina.

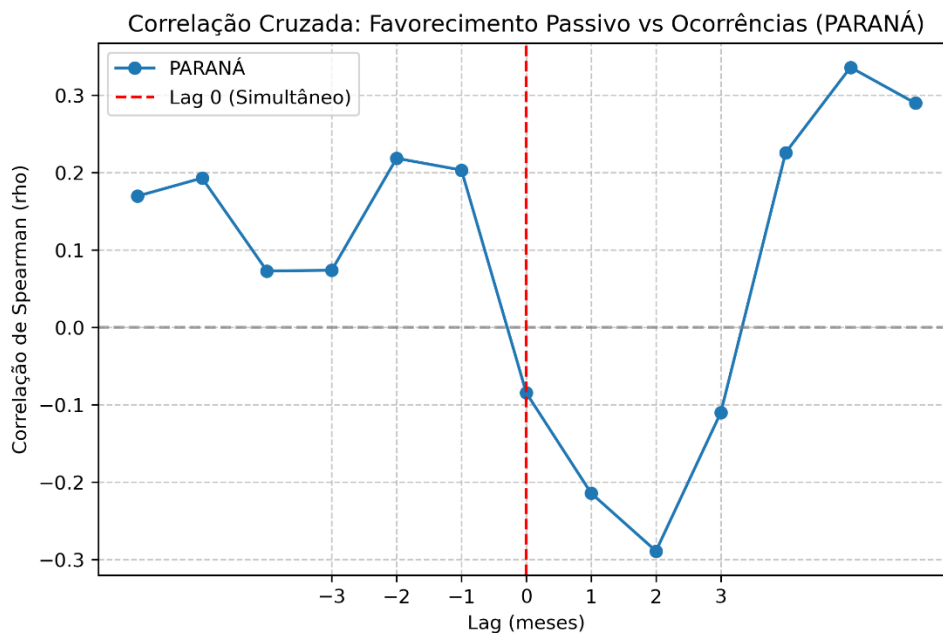


Figura 14. Correlação cruzada entre favorecimento passivo e ocorrências para o Estado do Paraná.

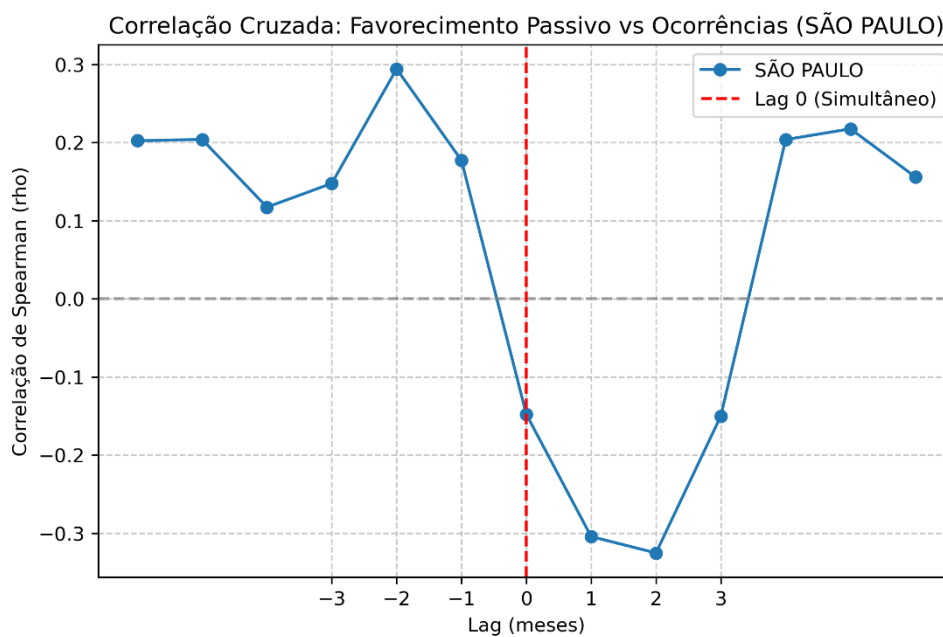


Figura 15. Correlação cruzada entre favorecimento passivo e ocorrências para o Estado de São Paulo.

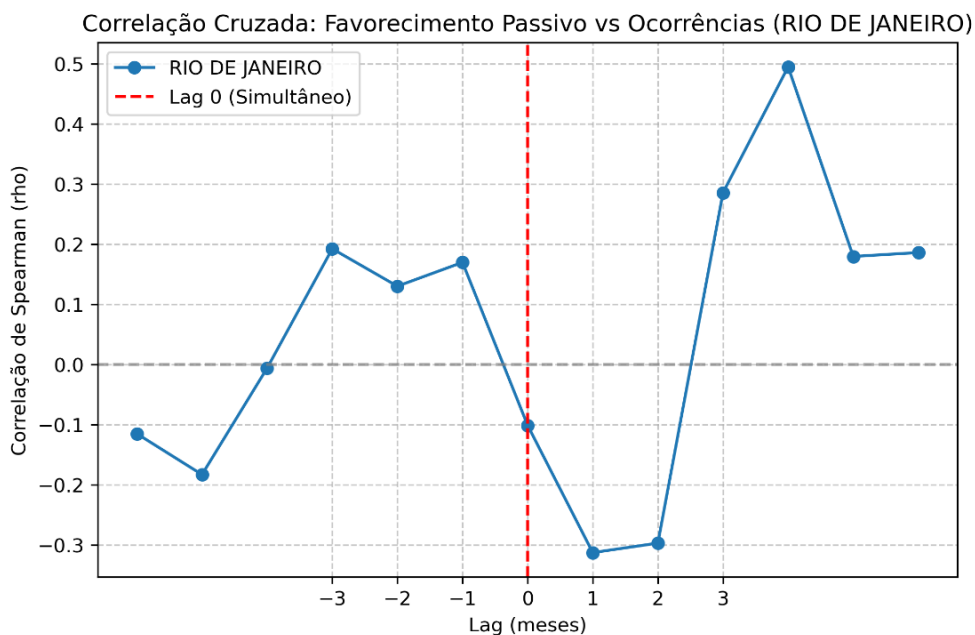


Figura 16. Correlação cruzada entre favorecimento passivo e ocorrências para o Estado do Rio de Janeiro.

A análise da correlação entre o ONI e as ocorrências mostrou uma relação significativa entre os eventos de *El Niño* e a quantidade de ocorrências. Em todos os estados foi observado que as correlações mais significativas eram positivas, indicando que eventos de *El Niño*, caracterizados por valores positivos do ONI, tendem a favorecer o número de ocorrências, enquanto eventos de *La Niña*, caracterizados por valores negativos do ONI, refletem em declínio do número de ocorrências.

Em Santa Catarina, a correlação mais forte entre o ONI e as ocorrências ocorreu com *lag* de seis meses, apresentando um valor de correlação de 0,347 (Figura 17). Isso pode significar que épocas de eventos de *El Niño*, que refletem maior precipitação e tempestades no sul, contribuem para um aumento das ocorrências de pinguins no estado após cerca de seis meses. Essa relação sugere que mudanças na circulação oceânica influenciadas pelo ONI podem afetar a capacidade de navegação dos pinguins durante sua migração, aumentando a probabilidade de ocorrência em Santa Catarina.

No Paraná, a relação entre ONI e ocorrências obteve uma correlação de 0,101 e um *lag* de cinco meses (Figura 18). Em São Paulo, a correlação positiva entre o ONI e as ocorrências foi de 0,248, com *lag* de seis meses (Figura 19). Isso indica que o efeito de *El Niño* sobre o aumento das ocorrências também se manifesta nesses estados, com o aumento da TSM e ocorrência de tempestades podendo impactar a dinâmica de deslocamento dos pinguins de forma semelhante nesses estados. No Rio de Janeiro, a correlação entre o ONI e as ocorrências demonstrou um valor

de 0,255, com *lag* de cinco meses (Figura 20).

Obteve-se então o seguinte panorama com relação à intensidade das correlações, ainda de acordo com Cohen (1988): Santa Catarina com um valor moderado; São Paulo e Rio de Janeiro sendo fracas tendendo a moderadas; e o Paraná obtendo um valor essencialmente fraco.

O fato das ocorrências ocorrerem com um padrão de atraso semelhante pode ajudar a embasar a ideia de um deslocamento progressivo dos pinguins ao longo da costa sul e sudeste do Brasil. Conforme aconteça o deslocamento mais ao norte, é natural que o distanciamento do indivíduo com relação à Patagônia seja igualmente aumentado, logicamente. Considerando isso, é esperado que o surgimento dos pinguins ocorra primeiro no estado mais ao sul e paulatinamente nos estados localizados mais ao norte. Porém, todo esse raciocínio deve considerar ainda diversas variáveis e fatores ambientais.

É possível que os *lags*, ou os atrasos, não demonstrem uma linearidade cronológica clara no sentido sul-norte devido principalmente à diminuta extensão litoral do Paraná frente aos demais estados, e em razão de outros fatores com relação ao Rio de Janeiro, principalmente, como a influência de ressurgências, dinâmicas da ACAS e da CB, além de variabilidades atmosféricas locais, que podem apresentar um papel de maior relevância na dispersão dos pinguins que chegam à região, já que dentre os estados estudados, é o que apresenta menor proximidade da Patagônia argentina e menor índice de ocorrências, mas, no entanto, apresenta uma correlação para *lag* de cinco meses mais elevada do que para o estado do Paraná.

Um ponto convergente é que todos os estados apresentaram elevação nas suas correlações positivas a partir do *lag* de dois meses, sugerindo que a simultaneidade dos eventos não seja tangível.

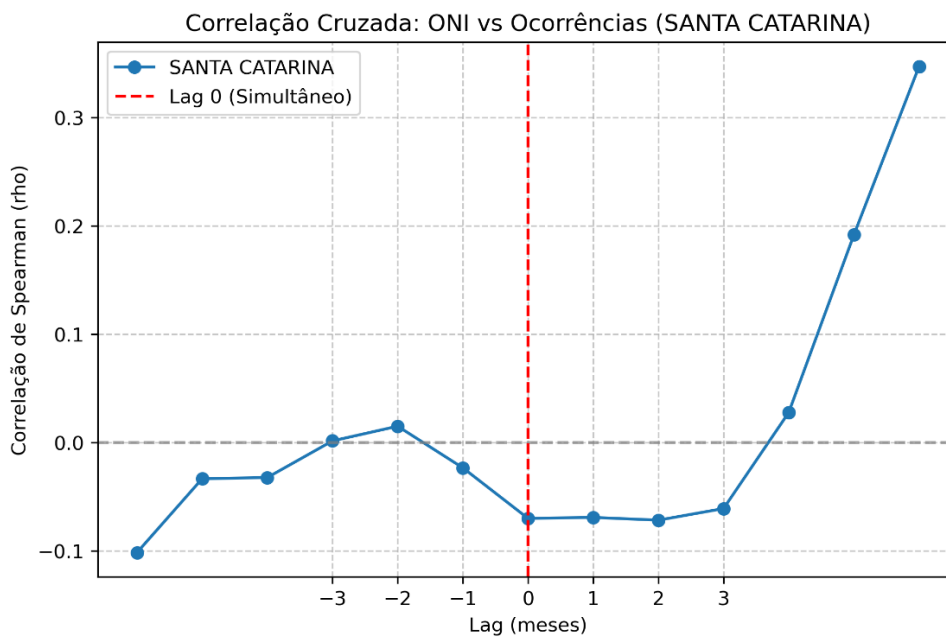


Figura 17. Correlação cruzada entre ONI e ocorrências para o Estado de Santa Catarina.

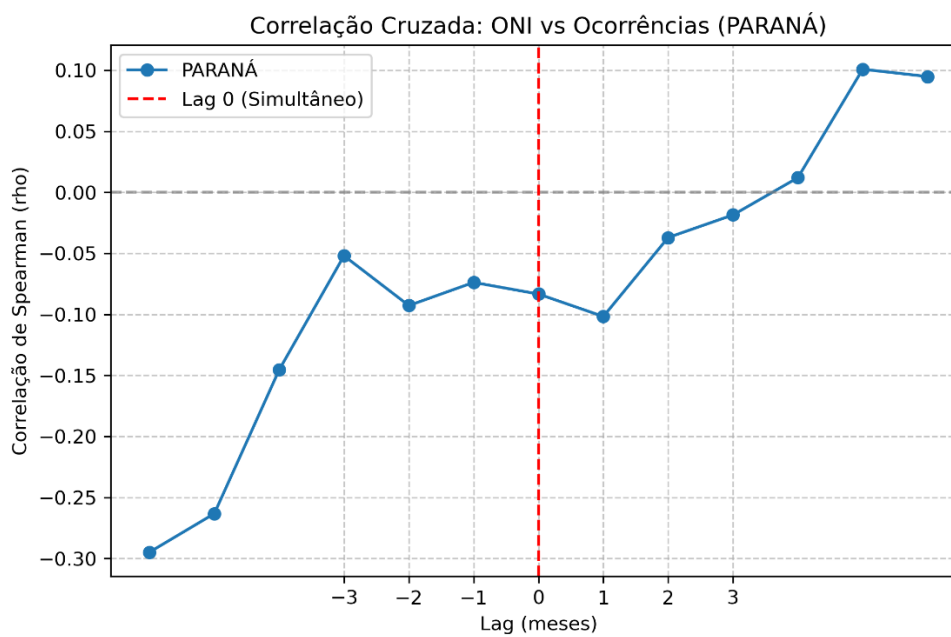


Figura 18. Correlação cruzada entre ONI e ocorrências para o Estado do Paraná.

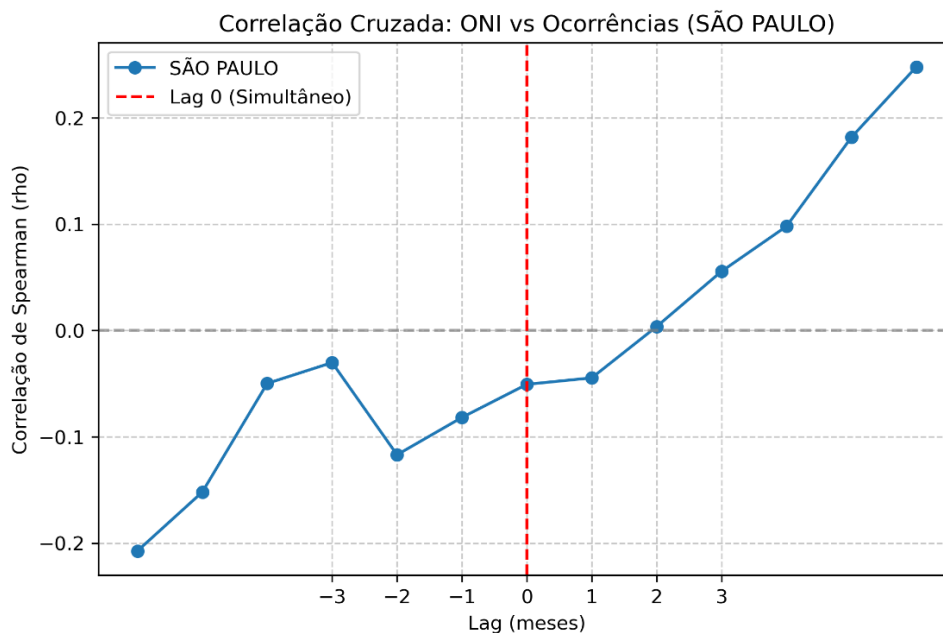


Figura 19. Correlação cruzada entre ONI e ocorrências para o Estado de São Paulo.

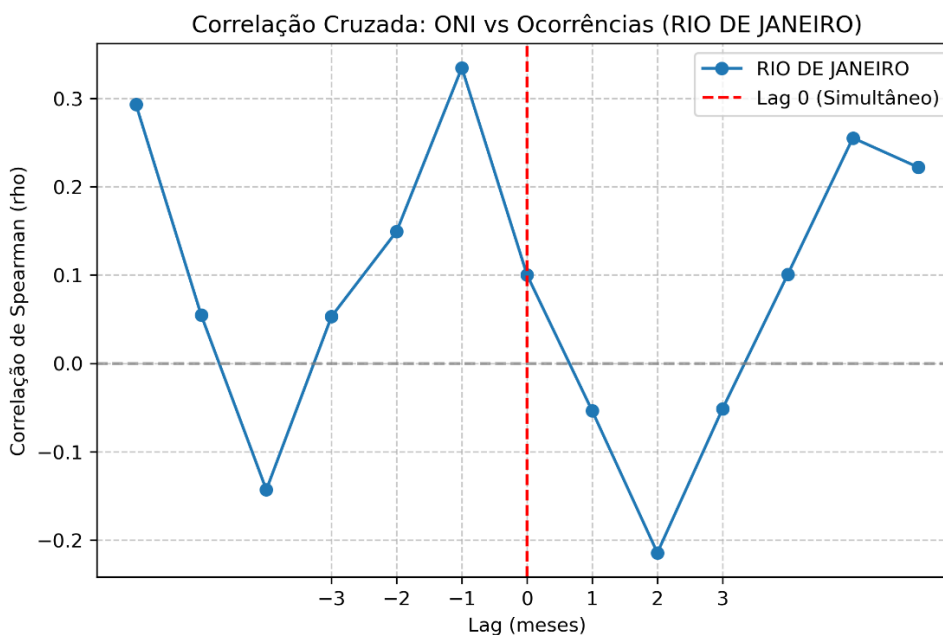


Figura 20. Correlação cruzada entre ONI e ocorrências para o Estado do Rio de Janeiro.

Após a análise dos resultados observa-se que, possivelmente, a dispersão sazonal de plumas estuarinas configura-se como fator importante na distribuição espacial dos pinguins ao longo da costa brasileira, juntamente com demais fatores abióticos. Além da busca por alimento, variáveis como a Força de Coriolis, correntes marinhas e oscilações climáticas, tais como as verificadas por

meio de fenômenos ENOS, podem modular a formação de habitats altamente produtivos, porém transitórios, explorados estrategicamente por essas aves.

Esse cenário evidencia a necessidade de políticas conservacionistas integradas aos processos geofísicos que sustentam os ciclos vitais das espécies. Estudos futuros devem priorizar o uso de tecnologias de monitoramento, como as empregadas por Silva *et al.* (2024) e Matos *et al.* (2024), para prever os impactos das mudanças globais sobre ecossistemas costeiros e espécies migratórias.

Dados históricos de TSM, salinidade, densidade, ventos e produtividade primária na plataforma continental do Atlântico Sudoeste, quando integrados ao modelo em estudos futuros, poderão aprimorar a compreensão da distribuição de *S. magellanicus* no sul e sudeste do Brasil.

#### 4. CONCLUSÕES

(1) Entre 2015 e 2024, foram registradas 56.340 ocorrências de *Spheniscus magellanicus* entre Santa Catarina e o Rio de Janeiro, com predominância no inverno e pico em agosto.

(2) Santa Catarina concentrou o maior número absoluto de ocorrências, enquanto o Paraná apresentou a maior taxa relativa (pinguins/km).

(3) A maioria dos indivíduos registrados era juvenil, com alta taxa de mortalidade observada no momento do resgate.

(4) A análise indicou correlações significativas entre o Índice Niño Oceânico (ONI) e as ocorrências em alguns estados, sugerindo que diferentes fases do ENOS podem afetar a migração por mecanismos distintos — influenciando correntes, produtividade e disponibilidade de presas.

(5) As simulações lagrangeanas mostraram correlação negativa entre favorecimento passivo e número de ocorrências, hipótese que aponta para possível retenção dos pinguins em áreas de alta produtividade na região da foz do Rio da Prata.

(6) A pluma estuarina do Rio da Prata e processos oceanográficos associados, tais como correntes, frentes e ressurgências, desempenham papel potencialmente relevante na distribuição espacial e temporal dos indivíduos.

(7) A integração de dados oceanográficos, climáticos e biológicos, aliada a tecnologias de monitoramento, pode aprimorar o entendimento dos deslocamentos e subsidiar medidas de conservação.

(8) Os resultados destacam a necessidade de monitoramento contínuo e de políticas conservacionistas, a exemplo da implantação do PMP-BS, adaptadas a espécies migratórias costeiras, considerando a variabilidade climática e oceanográfica.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACHA, E. M.; MIANZAN, H. W.; GUERRERO, R. A.; FAVERO, M. Marine fronts at the continental shelves of austral South America. **Journal of Marine Systems**, v. 44, n. 1,2, p. 83-105, 2004.
- BALDASSIN, P.; SANTOS, R. A.; CUNHA, J. M. M.; WERNECK, M.R.; GALLO, H. Cephalopods in the diet of Magellanic penguins *Spheniscus magellanicus* found on the coast of Brazil. **Marine Ornithology**, v. 38, n. 1, p. 55–57, 2010.
- BOERSMA, P. D.; STOKES, D. L.; YORIO, P. M. Reproductive variability and historical change of Magellanic penguins (*Spheniscus magellanicus*) at Punta Tombo, Argentina. **Penguin Biology**, p. 15-43, 1990.
- BOERSMA, P. D.; WILLIAMS, T. D. **Magellanic penguin**. The penguins. Oxford: Oxford University Press, p. 249-258, 1995.
- BOERSMA, P. D.; GARCIA-BORBOROGLU, P.; FRERE, E.; KANE, O.; POZZI, L. M.; PÜTZ, K.; RAYA REY, A.; REBSTOCK, G. A.; SIMEONE, A.; SMITH, J.; VAN BUREN, A.; YORIO, P. **Pinguino de Magallanes (*Spheniscus magellanicus*)**. In: GARCIA-BORBOROGLU, P.; BOERSMA, P. D. Pinguinos - Historia Natural y Conservacion. Buenos Aires: Vazquez Mazzini, p. 233-263, 2015.
- BRANDHORST, W.; CASTELLO, J. P. Evaluación de los recursos de Anchoita (*Engraulis anchoita*) frente a la Argentina y Uruguay. **Proyecto de Desarrollo Pesquero (FAO)**. Série Informes Técnicos. Bar. n. 29, 1971.
- BRANDINI, F. P. Hydrography and characteristics of the phytoplankton in shelf and oceanic waters off southeastern Brazil during winter (July/August1982) and summer (February/March1984). **Hydrobiologia**, v. 196, n. 2, p. 111-148, 1990.
- BRUSIUS, B. K.; SOUZA, R. B.; FREITAS, R. A. P.; BARBIERI, E. Effects of environmental variables on Magellanic penguin (*Spheniscus magellanicus*) strandings in southeastern Brazil. **Ocean & Coastal Management**, v. 210, p. 105704, 2021.
- BURRAGE, D.; WESSON, J.; MARTINEZ, C.; PÉREZ, T.; MÖLLER, O.; PIOLA, A. Patos Lagoon outflow within the Río de la Plata plume using an airborne salinity mapper: Observing an embedded plume. **Continental Shelf Research**, v. 28, n. 13, p. 1625-1638, 2008.

- CAMPOS, E. J. D.; VELHOTE, D.; SILVEIRA, I. C. A. Shelf break upwelling driven by Brazil Current cyclonic meanders. **Geophysical Research Letters**, v. 27, n. 6, p. 751-754, 2000.
- CARDOSO, L. G.; BUGONI, L.; MANCINI, P. L.; HAIMOVICI, M. Gillnet fisheries as a major mortality factor of Magellanic penguins in wintering areas. **Marine Pollution Bulletin**, v. 62, n. 4, p. 840-844, 2011.
- CASTELLO, J. P.; ODEBRECHT, C. The convergence ecosystem in the Southwest Atlantic. In: SEELIGER, U.; KJERFVE, B. (org.). **Coastal marine ecosystems of Latin America**. 1. ed. Berlin: Springer, p. 147-165, 2001.
- CASTRO, B. M.; MIRANDA, L. B. **Physical oceanography of the Western Atlantic continental shelf located between 4°N and 34°S**. In: ROBINSON, A. R.; BRINK, K. H. (org.). *The sea - The global coastal ocean - Regional studies and synthesis*. New York: John Wiley & Sons, v. 11, p. 209-251, 1998.
- CIOTTI, A. M.; ODEBRECHT, C.; FILLMANN, G.; MÖLLER, O. O. Freshwater outflow and Subtropical Convergence influence on phytoplankton biomass on the southern Brazilian continental shelf. **Continental Shelf Research**, v. 15, p. 1737-1756, 1995.
- COHEN, J. **Statistical power analysis for the behavioral sciences**. Hillsdale, NJ, Erlbaum, 1988.
- CRANFIELD, M. R. **Sphenisciformes (Penguins)**. **Zoo and Wild Animal Medicine**. 5ª edição. Saint Louis: Saunders Co, p.103-110, 2003.
- DEACON, G. E. R. A general account of the hydrology of the South Atlantic. **Ocean. Discovery Rep.**, v. 7, n. 171-238, 1933.
- DEFANT, A. Die Troposphäre. Deutsche Atlantische Expedition "Meteor" 1925-1927. *Wiss. Erg.*, Bd. VI, Teil I, 3. Lief., p. 289-411, 1936.
- DMITRIY, F.; ILYA, M. Support Vector Machines for Classification. In Abello, J.; Carmode, G. (eds.). *Discrete Methods in Epidemiology*. **DIMACS Series in Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science**, v. 70, p. 13–20, 2006.
- EMÍLSSON, I. The shelf and coastal waters off Southern Brazil. **Boletim do Instituto Oceanográfico**, v. 17, n. 2, p. 101-112, 1961
- EVANS, D. L.; SIGNORINI, S. R. Vertical structure of the Brazil Current. **Nature**, v. 315, n. 6014, p. 48-50, 1985.

- FALABELLA, V.; CAMPAGNA, C.; CROXALL, J. **Pingüino de Magallanes (*Spheniscus magellanicus*)**. Atlas del Mar Patagónico. Especies y espacios. Buenos Aires: Wildlife Conservation Society y BirdLife International, p. 176-187, 2009.
- FERNANDES, L. F.; BRANDINI, F. P. Comunidades microplancônicas no Oceano Atlântico Sul Ocidental: biomassa e distribuição em novembro de 1992. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 47, n. 2, p. 189-205, 1999.
- FRERE, E; GANDINI, P. A.; LICHTSCHEIN, V. Variación latitudinal en la dieta del Pingüino de Magallanes (*Spheniscus magellanicus*) en la costa Patagónica, Argentina. **Ornitología Neotropical**, v. 7, p. 35-41, 1996.
- FOGLIARINI, C. D. O.; BUGONI, L.; HAIMOVICI, M.; SECCHI, E. R.; CARDOSO, L. G. High mortality of adult female Magellanic penguins by gillnet fisheries in southern Brazil. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, v. 29, n. 10, p. 1657-1664, 2019.
- FONSECA, V. S. D. S.; PETRY, M. V.; JOST, A. H. Diet of the Magellanic Penguin on the coast of Rio Grande do Sul, Brazil. **Waterbirds**, v. 24, n. 2, p. 290-293, 2001.
- FOWLER, M. E.; CUBAS, Z. S. Order Sphenisciformes (Penguins). **Biology, Medicine, and Surgery of South American Wild Animals**, v. 1, p.53-64, 2001.
- GAETA, S. A.; BRANDINI, F. P. **Produção primária do fitoplâncton na região entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS)**. In: ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C. L. D. B.; MADUREIRA, L. S. (org.). O ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude na região Sudeste-Sul do Brasil. 1. ed. São Paulo: EDUSP, p. 219-264, 2006.
- GARCIA, C. A. E. **Oceanografia física: massas de água e transporte**. In: SEELIGER, U.; ODEBRECHT, C.; CASTELLO, J. P. (eds.). Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo sul do Brasil. Rio Grande: Ecoscientia, p. 104-1061, 1997.
- GARCIA, C. A. E.; GARCIA, V. M. T. Variability of chlorophyll-a from ocean color images in the La Plata continental shelf region. **Continental Shelf Research**, v. 28, n. 13, p. 1568–1578, 2008.
- GASPAR, M. **Sambaqui: arqueologia do litoral brasileiro**. São Paulo: Schwarcz-Companhia das Letras, 1999.
- GOSZTONYI, A. E. La alimentación del pingüino Magallánico (*Spheniscus magellanicus*) en las adyacencias de Punta Tombo, Chubut, Argentina. **Contribución Centro Nacional Patagónico**, v.

95, p. 1-19, 1984.

HSIEH, W. W. **Machine Learning Methods in the Environmental Sciences: Neural Networks and Kernels**. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.

IUCN. **The IUCN Red List of Threatened Species. Magellanic Penguin - *Spheniscus magellanicus***. 2020. Disponível em: <https://www.iucnredlist.org/species/22697822/157428850#geographic-range>.

KALNAY, E.; KANAMITSU, M.; KISTLER, R.; COLLINS, W.; DEAVEN, D.; GANDIN, L.; IREDELL, M.; SAHA, S.; WHITE, G.; WOOLLEN, J.; ZHU, Y.; CHELLIAH, M.; EBISUZAKI, W.; HIGGINS, W.; JANOWIAK, J.; MO, K. C.; ROPELEWSKI, C.; WANG, J.; LEETMAA, A.; REYNOLDS, R.; JENNE, R.; JOSEPH, D. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project, **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 77, n. 3, p. 437-472, 1996.

KJERFVE, B. **Comparative oceanography of coastal lagoons** In: WOLFE, D. A (ed.). Estuarine variability. New York: Academic Press, p. 63–82, 1986.

MÄDER, A.; SANDER, M.; CASA JR, G. Ciclo sazonal de mortalidade do pinguim-de-Magalhães, *Spheniscus magellanicus* influenciado por fatores antrópicos e climáticos na costa do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Ornitologia**, v. 18, n. 3, p. 228-233, 2010.

MARQUES, W. C.; FERNANDES, E. H.; MONTEIRO, I. O.; MÖLLER, O. O. Numerical modelling of the Patos Lagoon coastal plume, Brazil. **Continental Shelf Research**, v. 29, p. 556-571, 2009.

MARQUES, F. P.; CARDOSO, L. G.; HAIMOVICI, M.; BUGONI, L. Trophic ecology of Magellanic penguins (*Spheniscus magellanicus*) during the non-breeding period. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 210, p. 109-122, 2018.

MATOS, K. D.; SILVA, A. L. S.; FONTES, R. F. C. **Metodologia para Monitoramento de Plumas Estuarinas: Uso de Imagens VIIRS e Processos de Geoprocessamento**. Anais do XXXVI Congresso de Iniciação Científica da Unesp, 2024.

MATSUURA, Y. **Exploração pesqueira**. In: MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, DOS RECURSOS HÍDRICOS E DA AMAZÔNIA LEGAL (org.). Os ecossistemas brasileiros e os principais macrovetores de desenvolvimento: subsídios ao planejamento da gestão ambiental. Brasília: MMA, cap. 4.6, p. 42-48, 1995.

MÖLLER, O.O.; CASTAING, P.; Salomon, J. C.; PASCAL, L. The influence of local and non-local forcing effects on the subtidal circulation of Patos Lagoon. **Estuaries**, v. 24, 297–311, 2001.

MÖLLER, O. O.; PIOLA, A. R.; FREITAS, A. C.; CAMPOS, E. J. D. The effects of river discharge and seasonal winds on the shelf off southeastern South America. **Continental Shelf Research**, v. 28, p. 1607-1624, 2008.

MÖLLER, O.; FERNANDES, E. **Hidrologia e Hidrodinâmica** In: SEELIGER, U., ODEBRECHT, C. (Eds.), O Estuário da Lagoa dos Patos - um século de transformações. Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, p. 17-27, 2010.

NOAA. **Climate Variability: Oceanic Niño Index**. 2025. Disponível em: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-variability-oceanic-nino-index>.

OLSON, D. B.; PODESTÁ, G. P.; EVANS, R. H.; BROWN, O. B. Temporal Variation in the Separation of Brasil and Malvinas Currents. **Deep-Sea Research**, v. 35, n. 12, p. 1971–1990. 1988.

PEREIRA, C. S. Seasonal variability in the coastal circulation on the Brazilian Continental Shelf (29–35°S). **Continental Shelf Research**, v. 9, p. 285-289, 1989.

PETERSON, R. G.; STRAMMA, L. Upper-Level circulation in the South Atlantic Ocean. **Progress in Oceanography**, v. 26, n. 1, p. 1-73, 1991.

PETERS, G.; WILSON, R. P.; SCOLARO, J. A.; LAURENTI, S.; UPTON, J.; GALLELLI, H. The diving behavior of Magellanic Penguins at Punta Norte, Península Valdés, Argentina. **Colonial Waterbirds**, v. 21, p. 1-10, 1998.

PETROBRAS. **Projeto de Monitoramento de Praias da Bacia de Santos (PMP-BS) – Projeto Executivo Integrado do PMP-BS – Volume Único**. 2019. Disponível em: [https://www.comunicabaciadesantos.com.br/sites/default/files/Projeto\\_Executivo\\_Monitoramento\\_Praias\\_Integrado.pdf](https://www.comunicabaciadesantos.com.br/sites/default/files/Projeto_Executivo_Monitoramento_Praias_Integrado.pdf).

PETROBRAS. **Projeto de Monitoramento de Praias (PMP)**. 2024. Disponível em: <https://www.comunicabaciadesantos.com.br/programa-ambiental/projeto-de-monitoramento-de-praias-pmp.html>.

PETRY, M. V.; FONSECA, V. S. S. Effects of human activities in the marine environment on seabirds along the coast of Rio Grande do Sul, Brazil. **Ornitologia Neotropical**, v. 13, p. 137-142,

2002.

PETRY, M. V.; FONSECA, V. S. S.; JOST, A. H. Registro de pinguim-de-Magalhães (*Spheniscus magellanicus*) mortos no Rio Grande do Sul. **Acta Biológica Leopoldensia**, v. 26, p. 139-144, 2004.

PETRY, M. V.; SCHERER, J. F. M.; SCHERER, A. L. Ocorrência, alimentação e impactos antrópicos de aves marinhas nas praias do litoral do Rio Grande do Sul, sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ornitologia**, v. 20, n. 1, 65-70, 2012.

PIOLA, A. R.; CAMPOS, E. J. D.; MÖLLER, O. O.; CHARO, M.; MARTINEZ, C. M. Subtropical shelf front off eastern South America. **Journal of Geophysical Research**, v. 105, p. 6566-6578, 2000.

PIOLA, A. R.; MATANO, R. P.; PALMA, E.; MÖLLER, O. O.; CAMPOS, E. J. D. The influence of the Plata river discharge on the western South Atlantic Shelf. **Geophysical Research Letters**, v. 32, 2005.

PIRES-VANIN, A. M.; MATSUURA, Y. Estrutura e função do ecossistema de plataforma continental da região de Ubatuba, Estado de São Paulo: uma introdução. **Publicação Especial do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo**, São Paulo, n. 10, p. 1-8, 1993.

PÜTZ, K.; SCHIAVINI, A.; REY, A. R.; BENNO, A. L. Winter migration of magellanic penguins (*Spheniscus magellanicus*) from the southernmost distributional range. **Marine Biology**, v. 152, p. 1227-1235, 2007.

PYTHON. **Python Software Foundation: Documentation (v. 3.11.3)**. 2023. Disponível em: <https://docs.python.org/3/>.

RIVAS, A. L.; DOGLIOTTI, A. I.; GAGLIARDINI, D. A. Seasonal variability in satellite-measured surface chlorophyll in the Patagonian Shelf. **Continental Shelf Research**, n. 26, p. 703–720, 2006.

ROSS, A. L. Pinguins-de-Magalhães (*Spheniscus magellanicus*) no Nordeste: migrantes ou errantes? **Boletim Eletrônico do CEMAVE**, v. 2, n. 2, 2008.

SANTOS, R. A.; HAIMOVICI, M. Trophic relations of the long-finned squid *Loligo sanpaulensis* on the southern Brazilian shelf. **South African Journal of Marine Science**, v. 20, p. 81-91, 1998.

SANTOS, N. B. M.; CARVALHO, D. M. R.; RIBEIRO, A. S. L. S.; DUTRA, G. H. P.; NASCIMENTO, C. L.; SILVA, A. N. E.; MARTINS, R. S. Magellanic penguin *Spheniscus*

*magellanicus* rehabilitation and husbandry at Santos Municipal Aquarium, Brazil. **International Zoo Year Book**, v. 53, p. 1-17, 2019.

SANTOS, N. B. M. Ocorrência dos pinguins-de-Magalhães *Spheniscus magellanicus* (Forster, 1781) no litoral entre os estados de Santa Catarina e Rio de Janeiro sob padrões de produtividade primária na plataforma continental sul e sudeste do Brasil. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências, Campus do Litoral Paulista, 2021. 52p.

SANTOS, N. B. M. Correlações entre a ocorrência dos pinguins-de-Magalhães *Spheniscus magellanicus* (Forster, 1781) no litoral sul e sudeste do Brasil e eventos de *El Niño* Oscilação Sul. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências, Campus do Litoral Paulista, 2022. 57p.

SCHIAVINI, A.; YORIO, P.; GANDINI, P.; REY, A. R.; BOERSMA, P. Los pingüinos de las costas argentinas: estado poblacional y conservación. **El Hornero**, v. 20, n. 1, p. 5-23. 2005.

SCOLARO, J. A.; BANDANO, L. A. Diet of the Magellanic Penguin *Spheniscus magellanicus* during the chick-rearing period at Punta Clara, Argentina. **Cormorant**, v. 13, p. 91-97, 1986.

SCOLARO, J. A.; SUBURO, A. M. Maximum diving depths of the Magellanic Penguins (Profundidad de Buceo del Pingüino de Magallanes). **Journal of Field Ornithology**, v. 62, p. 204-210, 1991.

SCOLARO, J. A.; WILSON, R. P.; LAURENTI, S.; KIERSPEL, M. A.; GALLELLI, H.; UPTON, J. A. Feeding preferences of the Magellanic Penguin *Spheniscus magellanicus* over its breeding range in Argentina. **Waterbirds**, v. 22, n. 1, p. 104-110, 1999.

SICK, H. **Ornitologia Brasileira**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1997.

SILVA-FILHO, R. P.; RUOPPOLO, V. **Sphenisciformes (Pinguim)**. **Tratado de Animais Selvagens**. São Paulo: Roca, c. 21, p. 309- 323, 2007.

SILVA, A. L. S.; MATOS, K. D.; FONTES, R. F. C. **Análise Sazonais das Plumagens Estuarinas na Plataforma Continental Sul e Sudeste do Brasil**. Anais do XXXVI Congresso de Iniciação Científica da Unesp, 2024.

SILVEIRA, I. C. A.; SCHMIDT, A. C. K.; CAMPOS, E. J. D.; GODOI, S. S.; IKEDA, Y. A. Corrente do Brasil ao Largo da Costa Leste Brasileira. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 48, n. 2, p. 171-183, 2000.

SIMBA – **Sistema de Informação de Monitoramento da Biota Aquática**. 2024. Disponível em: <https://simba.petrobras.com.br/simba/web/>.

SIMEONE, A.; LUNA-JORQUERA, G.; BERNAL, M.; GARTHE, S.; SEPÚLVEDA, F.; VILLABLANCA, R.; ELLENBERG, U.; CONTRERAS, M.; MUÑOZ, J.; PONCE, T. Breeding distribution and abundance of seabirds on islands off north-central Chile. **Revista Chilena de Historia Natural**, n. 76, n. 2, p. 323-333, 2003.

SOARES, I.; MÖLLER, O. O. Low frequency currents and water mass spatial distribution on the southern Brazilian shelf. **Continental Shelf Research**, v. 21, p. 1785-1814, 2001.

STOKES, D. L.; BOERSMA, P. D. Effects of substrate on the distribution of Magellanic penguins (*Spheniscus magellanicus*) burrows. **The Auk**, v. 108, p. 923-933, 1991.

STRAMMA, L.; ENGLAND, M. H. On the water masses and mean circulation of the South Atlantic Ocean. **Journal of Geophysical Research**, v. 104, p. 20863-29883, 1999.

SVERDRUP, H. V.; JOHNSON, M. V.; FLEMING, R. H. **The oceans, their physics, chemistry and general biology**. New York: Prentice-Hall, 1942.

TALLEY, L. D.; PICKARD, G. L.; EMERY, W. J.; SWIFT, J. H. **Southern Ocean. In: Descriptive Physical Oceanography: an introduction**. 6ª edição, Boston: Academic Press, 2011.

TAVARES, D. C.; MOURA, J. F.; MERICO, A.; SICILIANO, S. Mortality of seabirds migrating across the tropical Atlantic in relation to oceanographic processes. **Animal Conservation**, v. 23, p. 307-319, 2019.

THOMSEN, H. Masas de agua características del Océano Atlántico (parte Sudoeste). Buenos Aires: Servicio de Hidrografía Naval, Secretaría Marina, (Publicación H.632), p. 1-27, 1962.

VAZ, A. C.; MÖLLER, O. O.; ALMEIDA, T. L. Análise quantitativa da descarga dos rios afluentes da Lagoa dos Patos. **Atlântica**, v. 28, n. 1, p. 13-23, 2006.

VAZZOLER, A. E. A.; SOARES, L. S. H.; CUNNINGHAM, P. T. M. **Ictiofauna da costa brasileira**. Parte 5. In: LOWE-MCCONNELL, R. H. Estudos ecológicos de comunidades de peixes tropicais. São Paulo: Edusp, p. 424-467, 1999.

VOOREN, C. M.; ILHA, H. H. Guia das aves comuns da costa do Rio Grande do Sul. **Imago Maris**, v. 2, n. 1, p. 23, 1995.

YORIO, P.; BOERSMA, D. Causes of nest desertion during incubation in the Magellanic penguin (*Spheniscus magellanicus*). **The Condor**, v. 96, n. 4, p. 1076-1083, 1994.

WALKER, B. G.; BOERSMA, P. D. Diving behavior of Magellanic penguins (*Spheniscus magellanicus*) at Punta Tombo, Argentina. **Canadian Journal of Zoology**, v. 81, n. 9, p. 1471-1483, 2003.

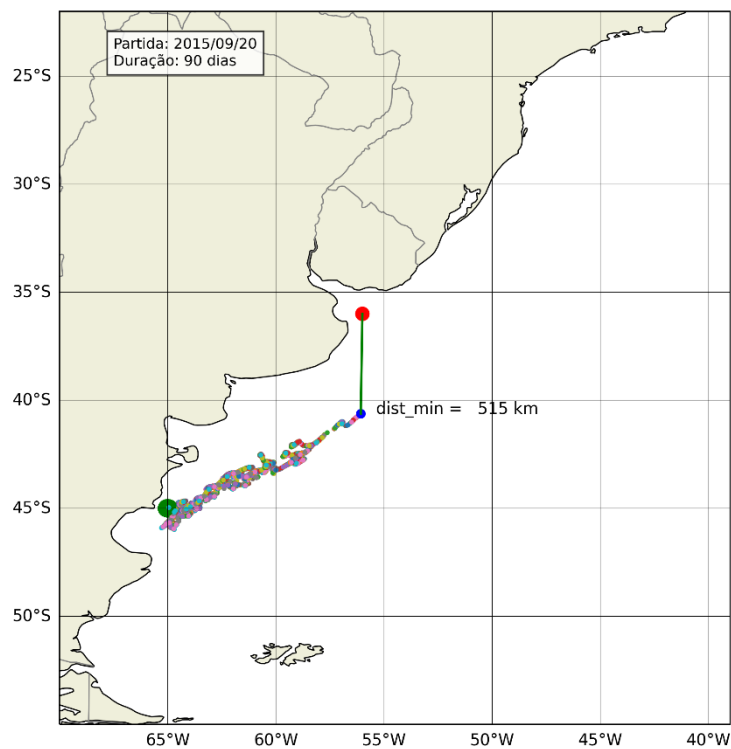
WILLIAMS, T. D. **The Penguins**; Spheniscidae. Oxford: Oxford University Press, 1995.

ZANOTTA, D. C.; DUCATI, J. R.; GONÇALVES, G. A. Surface temperature patterns of Lagoa dos Patos, Brazil, using NOAA-AVHRR data: an annual cycle analysis. **Pesquisas em Geociências**, [S. l.], v. 37, n. 3, p. 219–226, 2010.

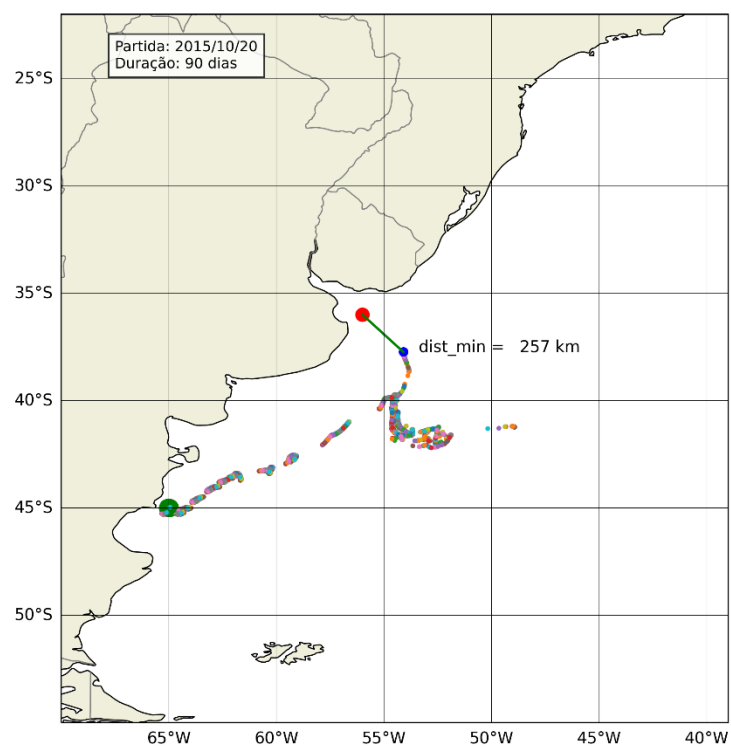
ZAVIALOV, P.; MÖLLER, O. O.; CAMPOS, E. J. D. First direct measurements of currents on the continental shelf of southern Brazil. **Continental Shelf Research**, v. 22, p. 1975-1986, 2002.

## 6. APÊNDICES

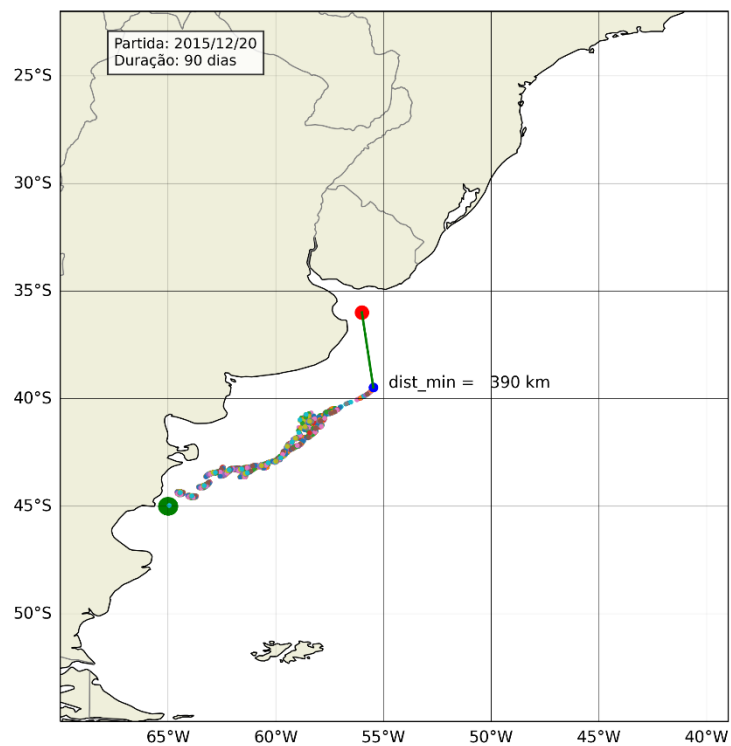
Apêndice A – Simulação da trajetória de 90 dias, por advecção, do quantitativo de 1000 pinguins durante a migração; partidas no início da primavera (20/09/2015). Cada ponto na rota indica uma semana de percurso.



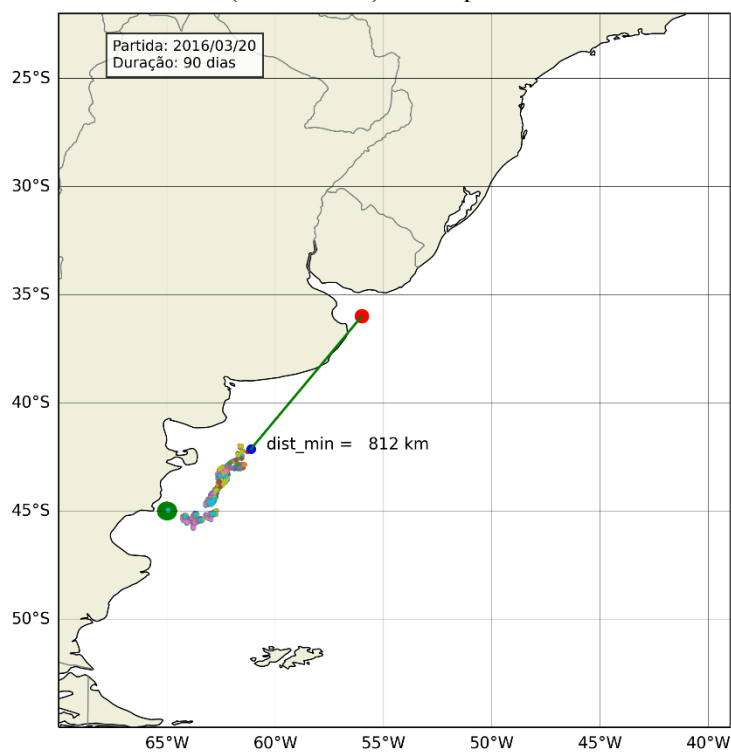
Apêndice B – Simulação da trajetória de 90 dias, por advecção, do quantitativo de 1000 pinguins durante a migração; partidas no início da primavera média (20/10/2015). Cada ponto na rota indica uma semana de percurso.



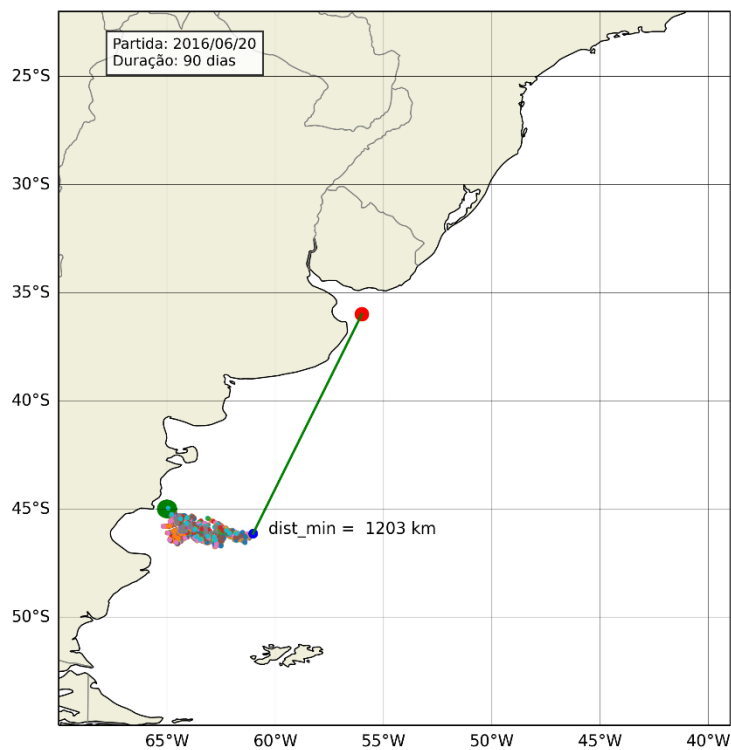
Apêndice C – Simulação da trajetória de 90 dias, por advecção, do quantitativo de 1000 pinguins durante a migração; partidas no início do verão (20/12/2015). Cada ponto na rota indica uma semana de percurso.



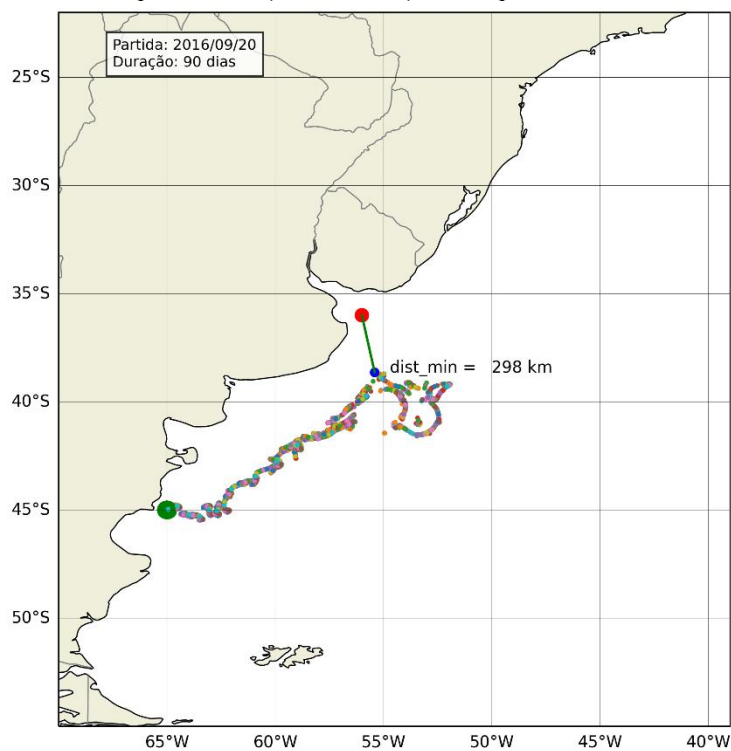
Apêndice D – Simulação da trajetória de 90 dias, por advecção, do quantitativo de 1000 pinguins durante a migração; partidas no início do outono (20/03/2016). Cada ponto na rota indica uma semana de percurso.



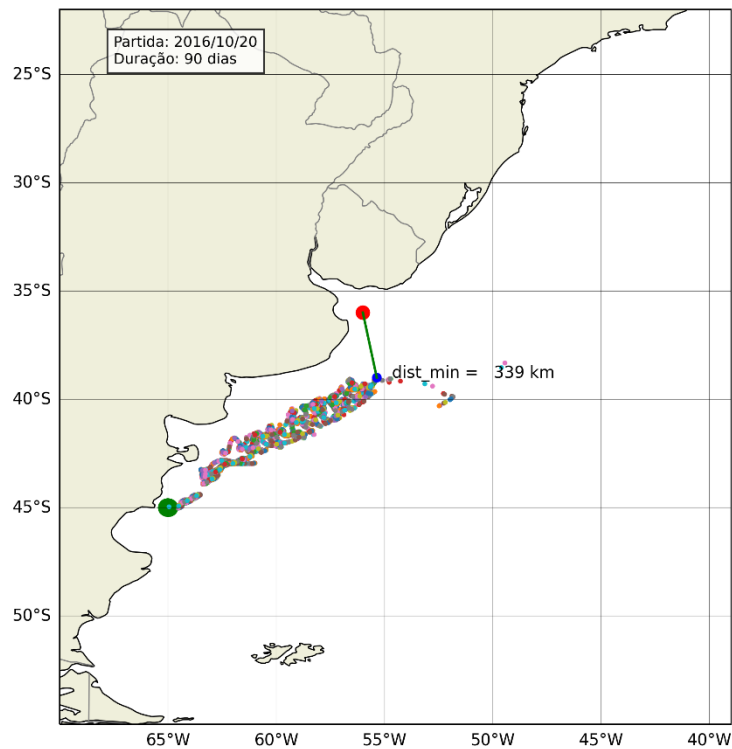
Apêndice E – Simulação da trajetória de 90 dias, por advecção, do quantitativo de 1000 pinguins durante a migração; partidas no início do inverno (20/06/2016). Cada ponto na rota indica uma semana de percurso.



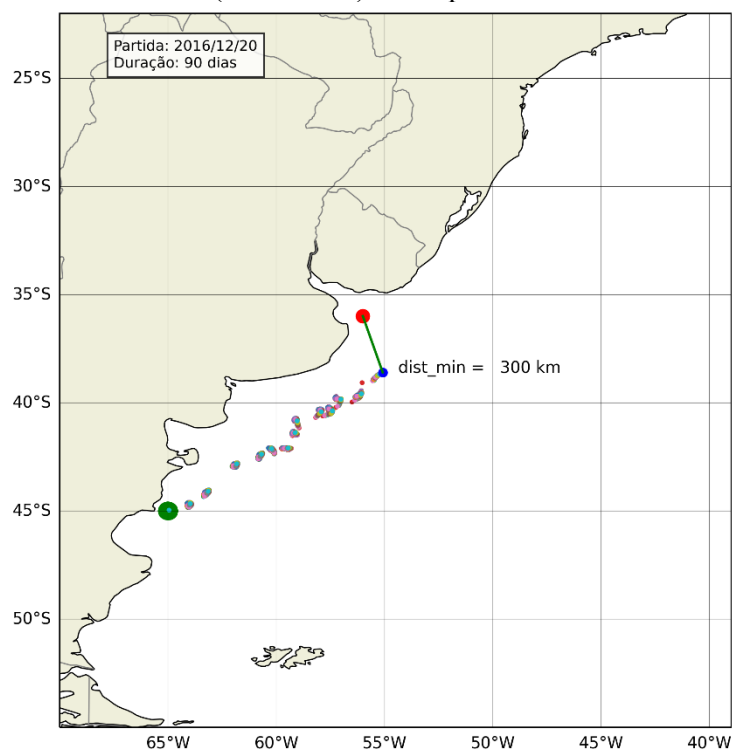
Apêndice F – Simulação da trajetória de 90 dias, por advecção, do quantitativo de 1000 pinguins durante a migração; partidas no início da primavera (20/09/2016). Cada ponto na rota indica uma semana de percurso.



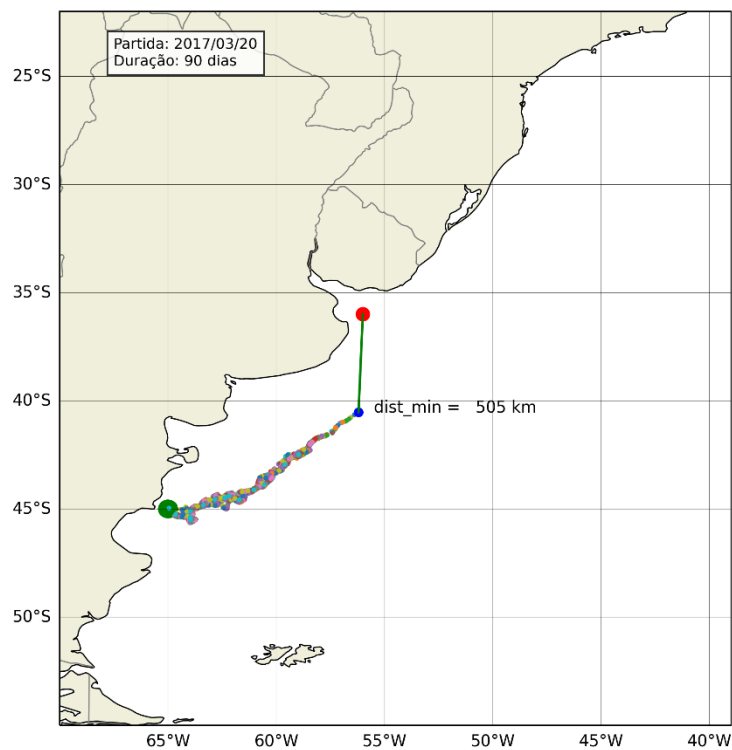
Apêndice G – Simulação da trajetória de 90 dias, por advecção, do quantitativo de 1000 pinguins durante a migração; partidas no início da primavera média (20/10/2016). Cada ponto na rota indica uma semana de percurso.



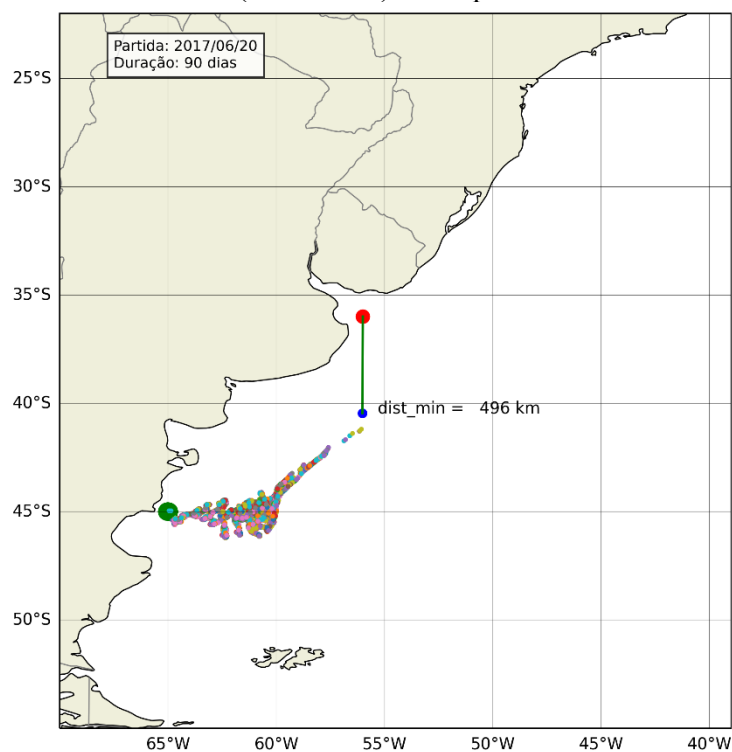
Apêndice H – Simulação da trajetória de 90 dias, por advecção, do quantitativo de 1000 pinguins durante a migração; partidas no início do verão (20/12/2016). Cada ponto na rota indica uma semana de percurso.



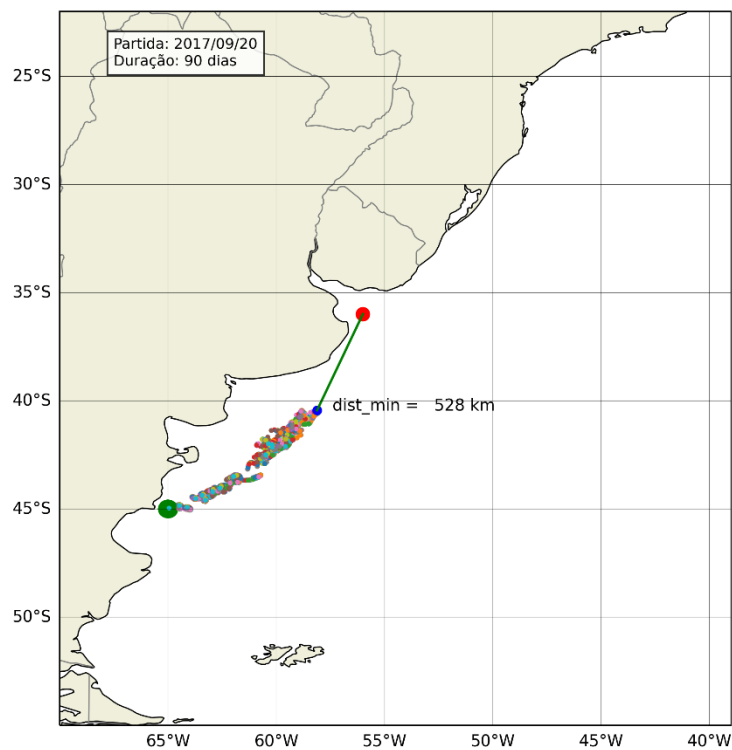
Apêndice I – Simulação da trajetória de 90 dias, por advecção, do quantitativo de 1000 pinguins durante a migração; partidas no início do outono (20/03/2017). Cada ponto na rota indica uma semana de percurso.



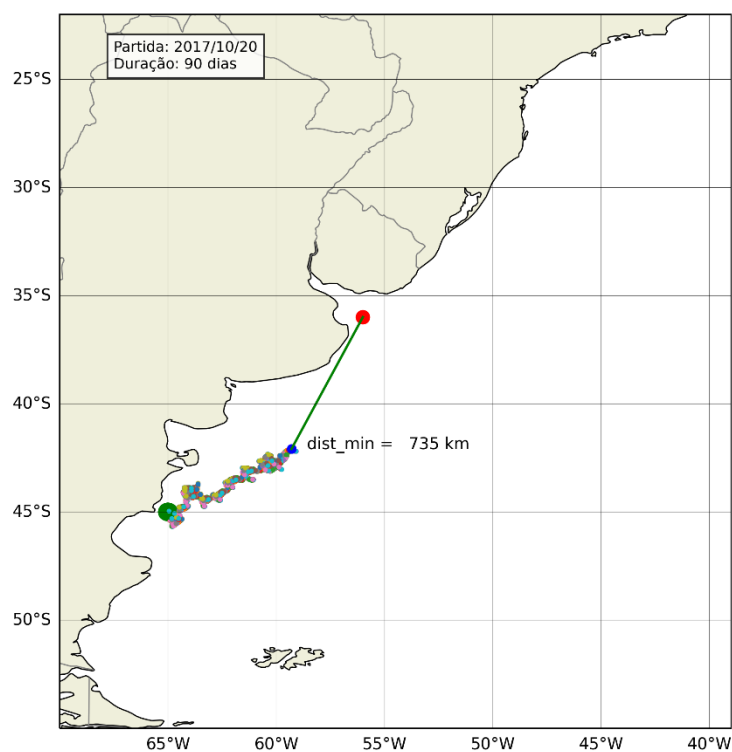
Apêndice J – Simulação da trajetória de 90 dias, por advecção, do quantitativo de 1000 pinguins durante a migração; partidas no início do inverno (20/06/2017). Cada ponto na rota indica uma semana de percurso.



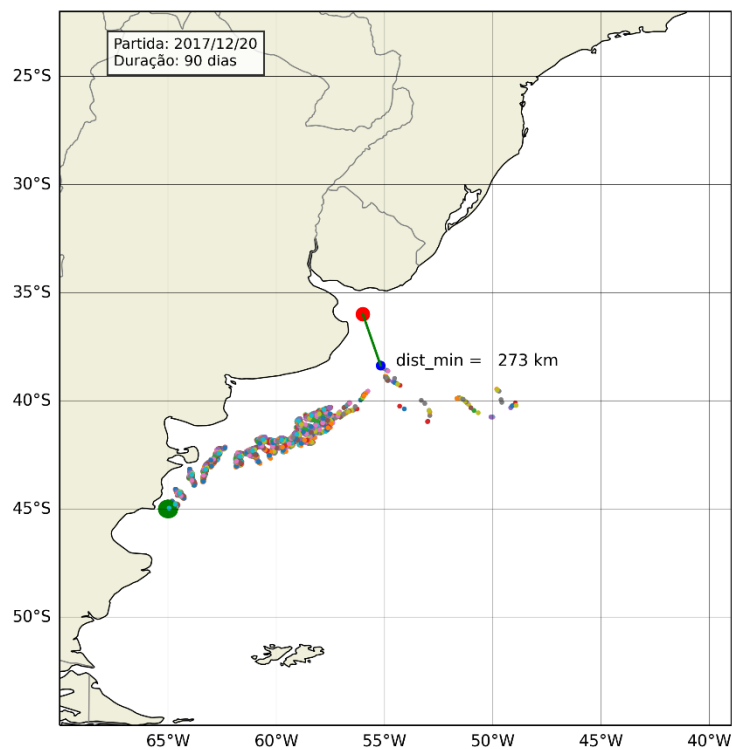
Apêndice K – Simulação da trajetória de 90 dias, por advecção, do quantitativo de 1000 pinguins durante a migração; partidas no início da primavera (20/09/2017). Cada ponto na rota indica uma semana de percurso.



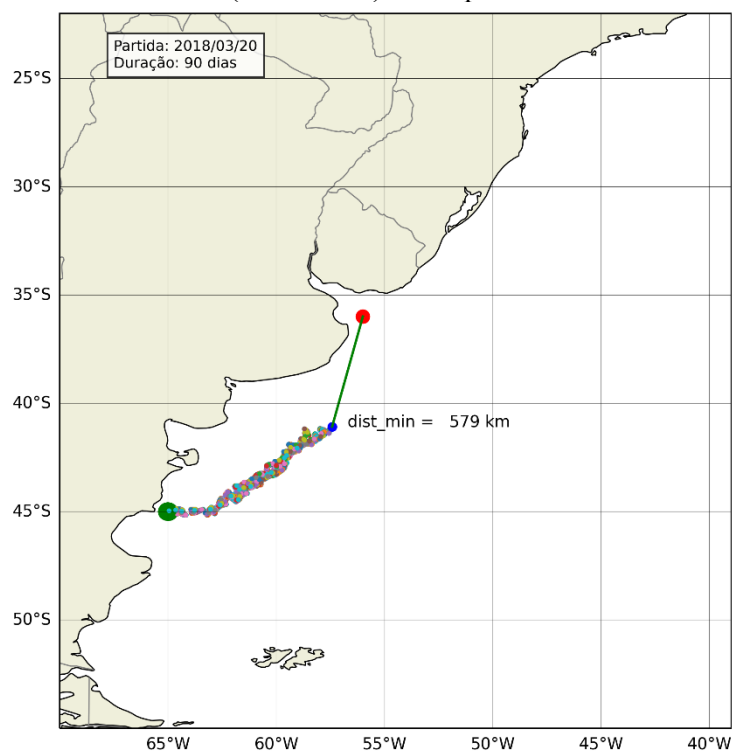
Apêndice L – Simulação da trajetória de 90 dias, por advecção, do quantitativo de 1000 pinguins durante a migração; partidas no início da primavera média (20/10/2017). Cada ponto na rota indica uma semana de percurso.



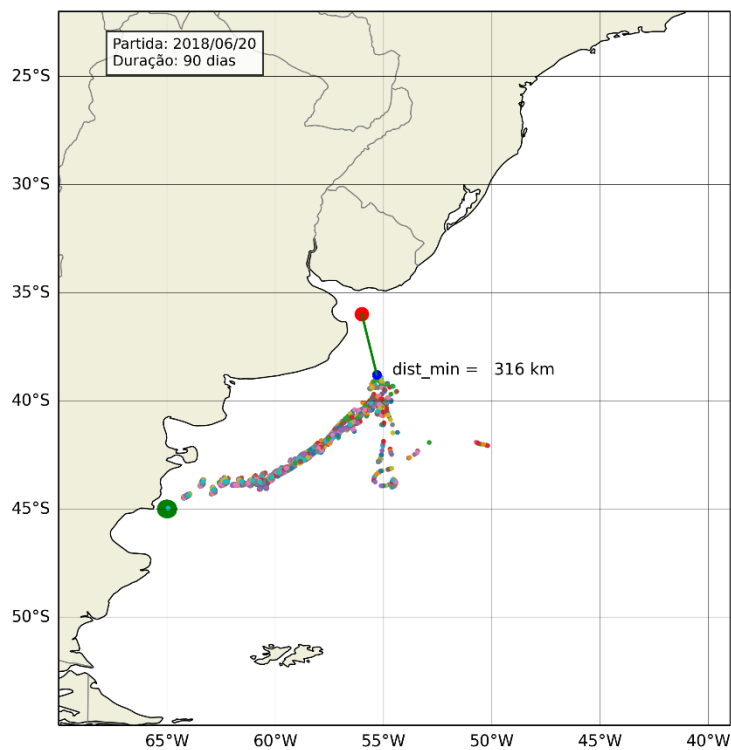
Apêndice M – Simulação da trajetória de 90 dias, por advecção, do quantitativo de 1000 pinguins durante a migração; partidas no início do verão (20/12/2017). Cada ponto na rota indica uma semana de percurso.



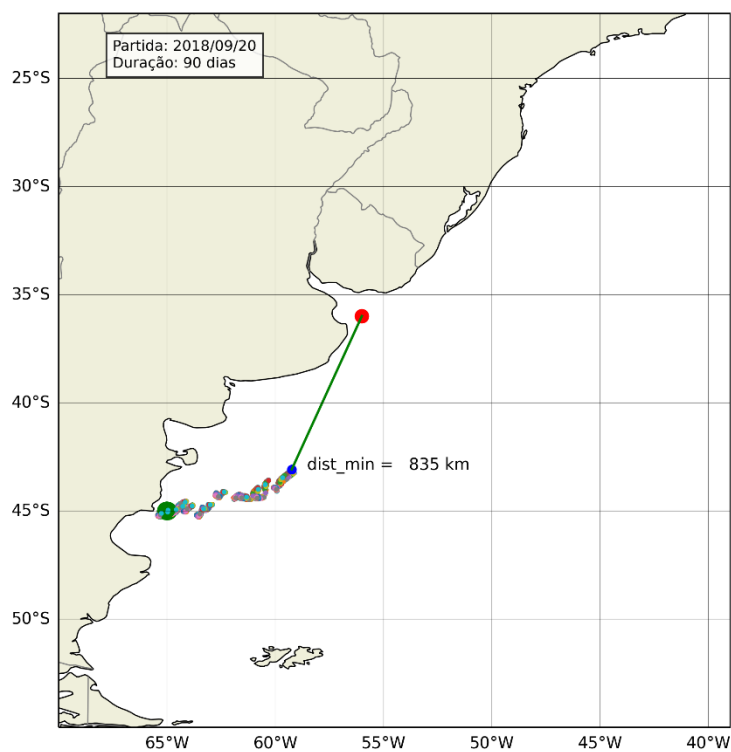
Apêndice N – Simulação da trajetória de 90 dias, por advecção, do quantitativo de 1000 pinguins durante a migração; partidas no início do outono (20/03/2018). Cada ponto na rota indica uma semana de percurso.



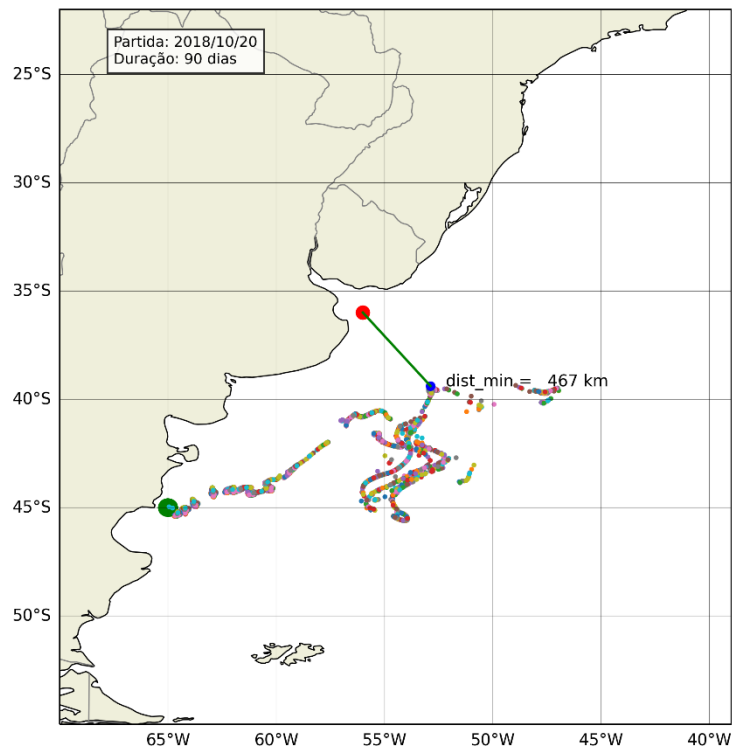
Apêndice O – Simulação da trajetória de 90 dias, por advecção, do quantitativo de 1000 pinguins durante a migração; partidas no início do inverno (20/06/2018). Cada ponto na rota indica uma semana de percurso.



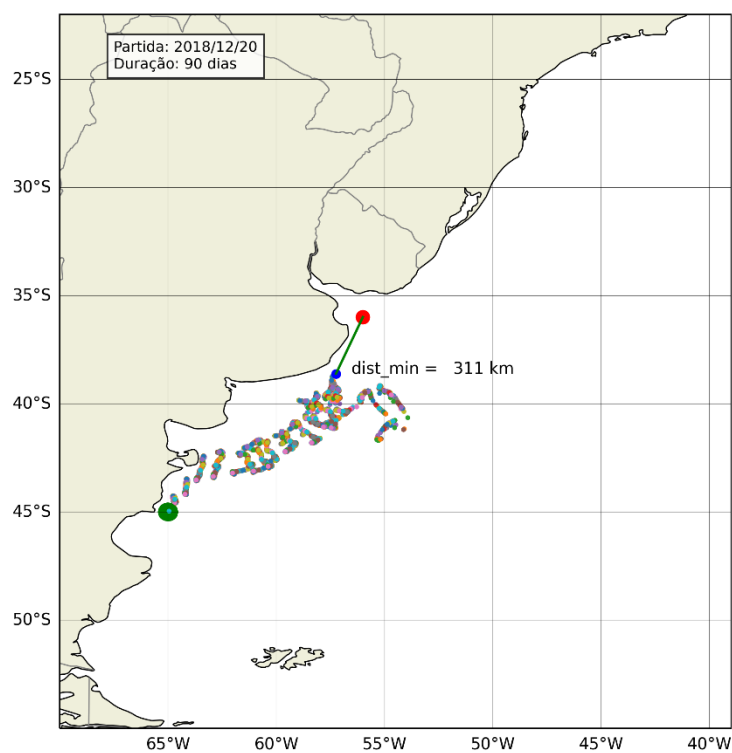
Apêndice P – Simulação da trajetória de 90 dias, por advecção, do quantitativo de 1000 pinguins durante a migração; partidas no início da primavera (20/09/2018). Cada ponto na rota indica uma semana de percurso.



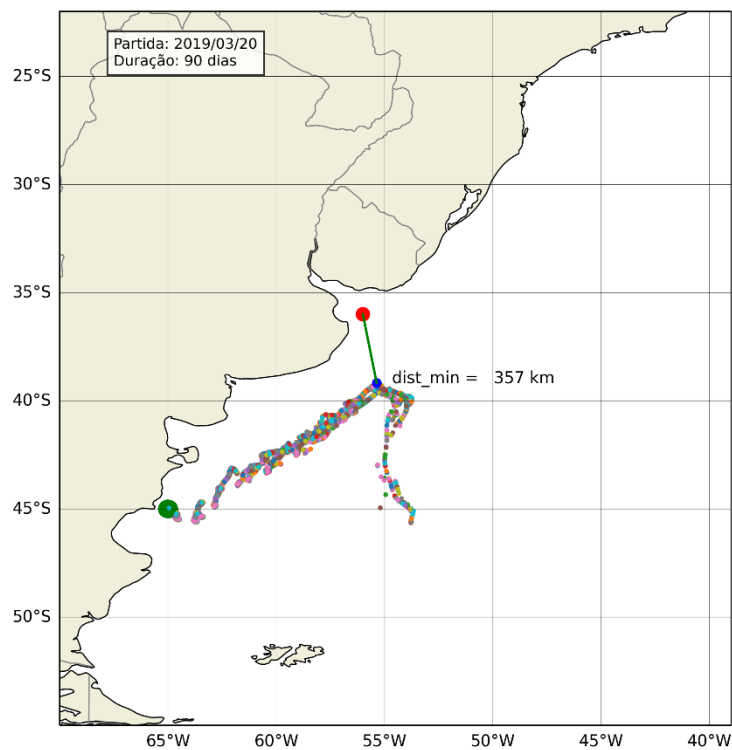
Apêndice Q – Simulação da trajetória de 90 dias, por advecção, do quantitativo de 1000 pinguins durante a migração; partidas no início da primavera média (20/10/2018). Cada ponto na rota indica uma semana de percurso.



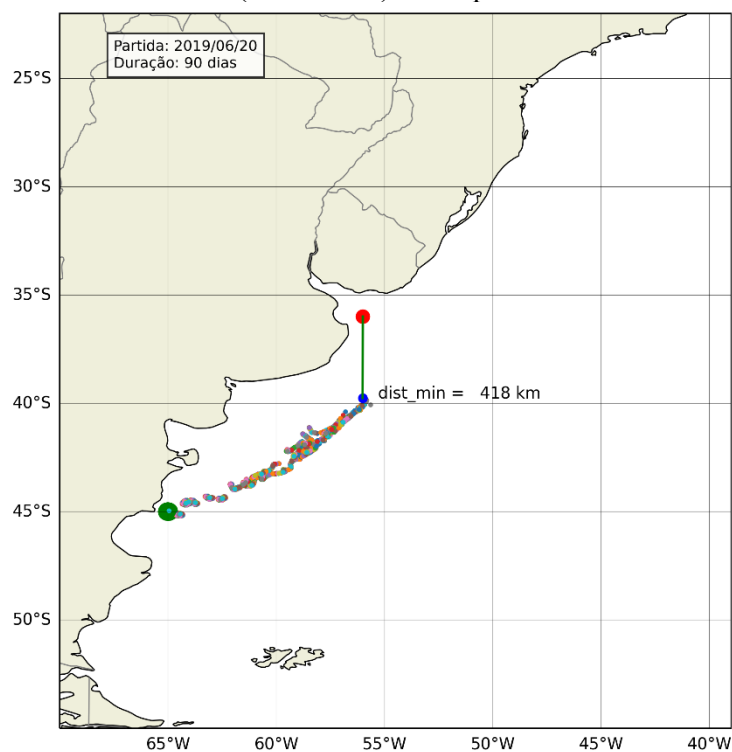
Apêndice R – Simulação da trajetória de 90 dias, por advecção, do quantitativo de 1000 pinguins durante a migração; partidas no início do verão (20/12/2018). Cada ponto na rota indica uma semana de percurso.



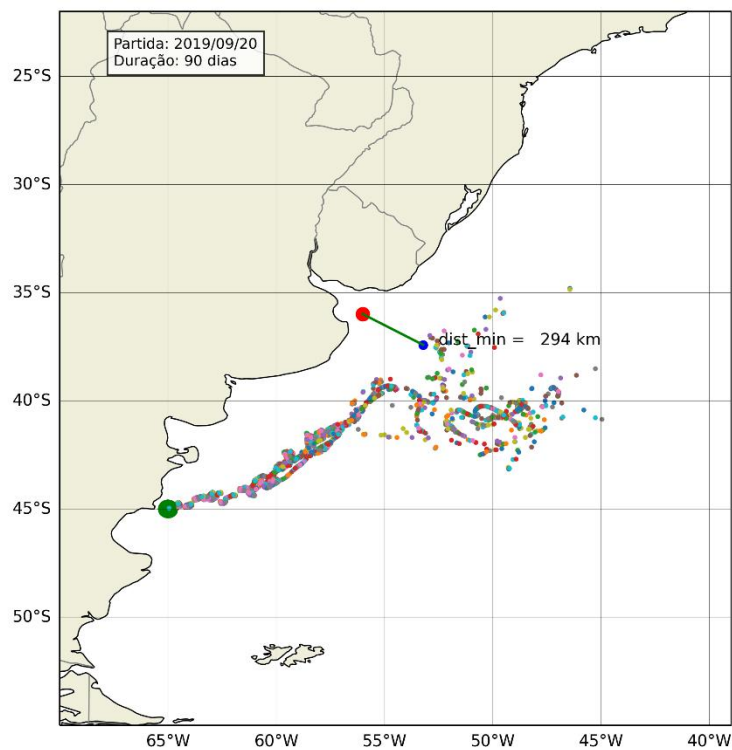
Apêndice S – Simulação da trajetória de 90 dias, por advecção, do quantitativo de 1000 pinguins durante a migração; partidas no início do outono (20/03/2019). Cada ponto na rota indica uma semana de percurso.



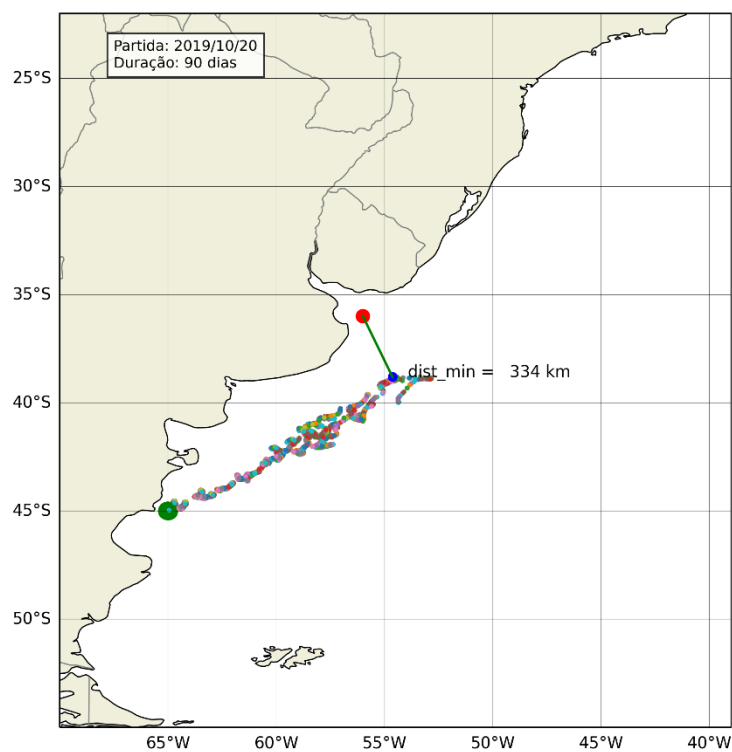
Apêndice T – Simulação da trajetória de 90 dias, por advecção, do quantitativo de 1000 pinguins durante a migração; partidas no início do inverno (20/06/2019). Cada ponto na rota indica uma semana de percurso.



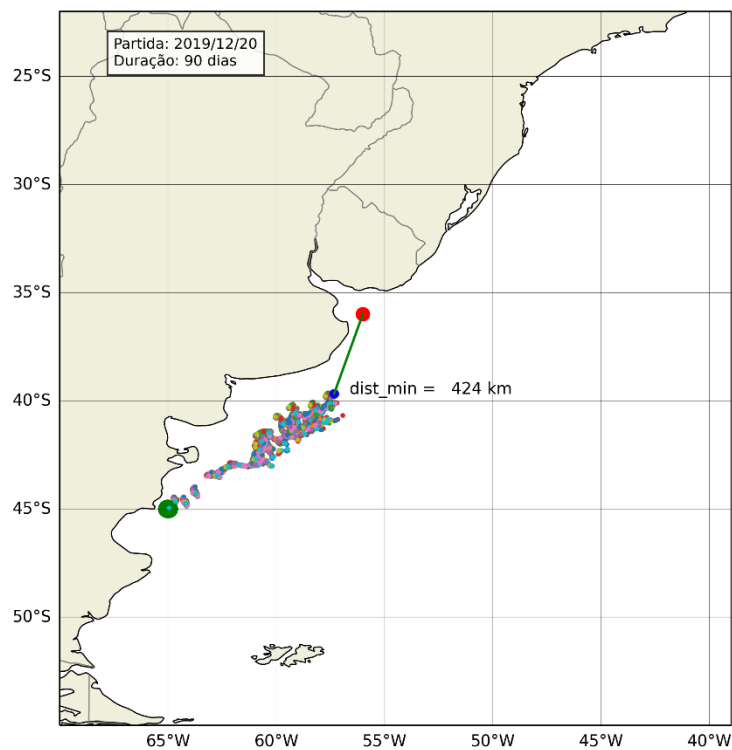
Apêndice U – Simulação da trajetória de 90 dias, por advecção, do quantitativo de 1000 pinguins durante a migração; partidas no início da primavera (20/09/2019). Cada ponto na rota indica uma semana de percurso.



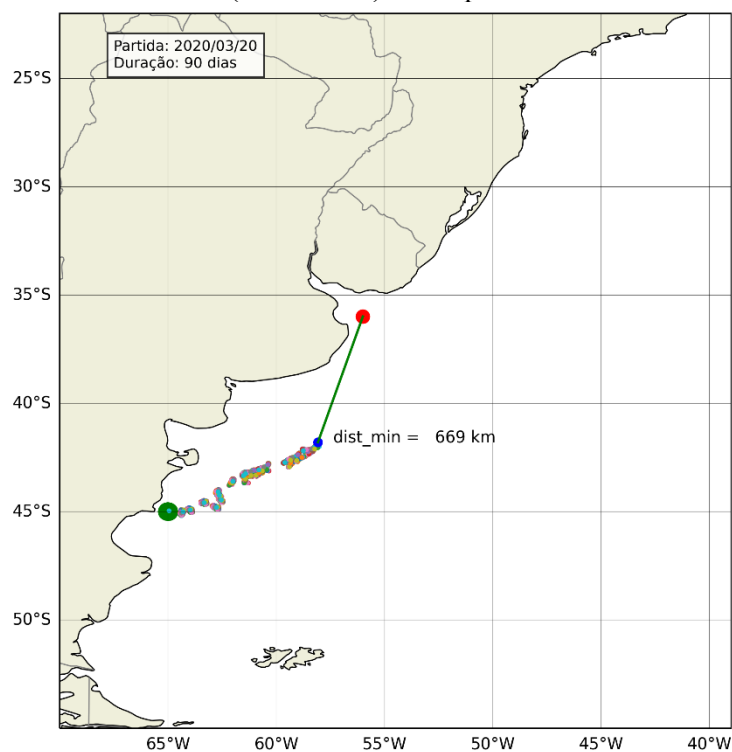
Apêndice V – Simulação da trajetória de 90 dias, por advecção, do quantitativo de 1000 pinguins durante a migração; partidas no início da primavera média (20/10/2019). Cada ponto na rota indica uma semana de percurso.



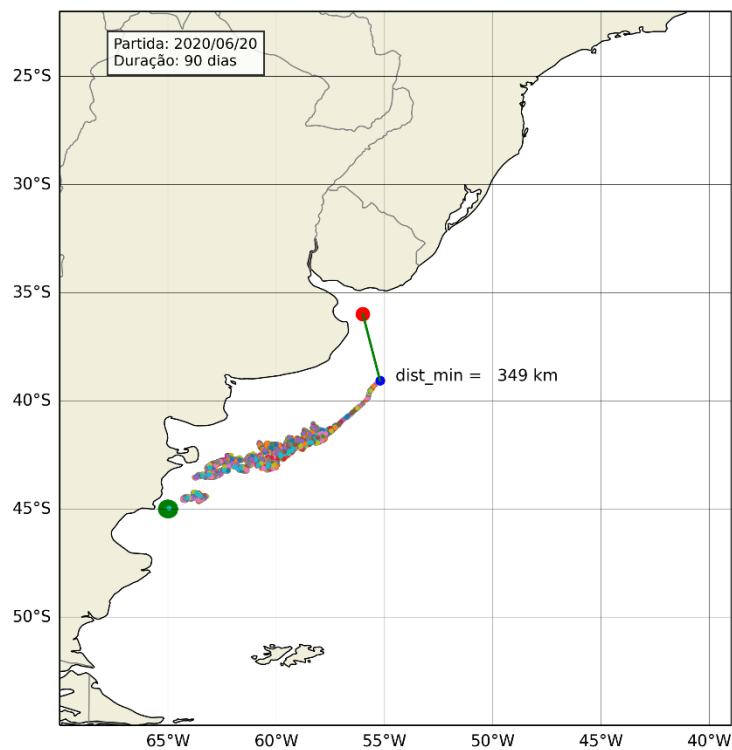
Apêndice W – Simulação da trajetória de 90 dias, por advecção, do quantitativo de 1000 pinguins durante a migração; partidas no início do verão (20/12/2019). Cada ponto na rota indica uma semana de percurso.



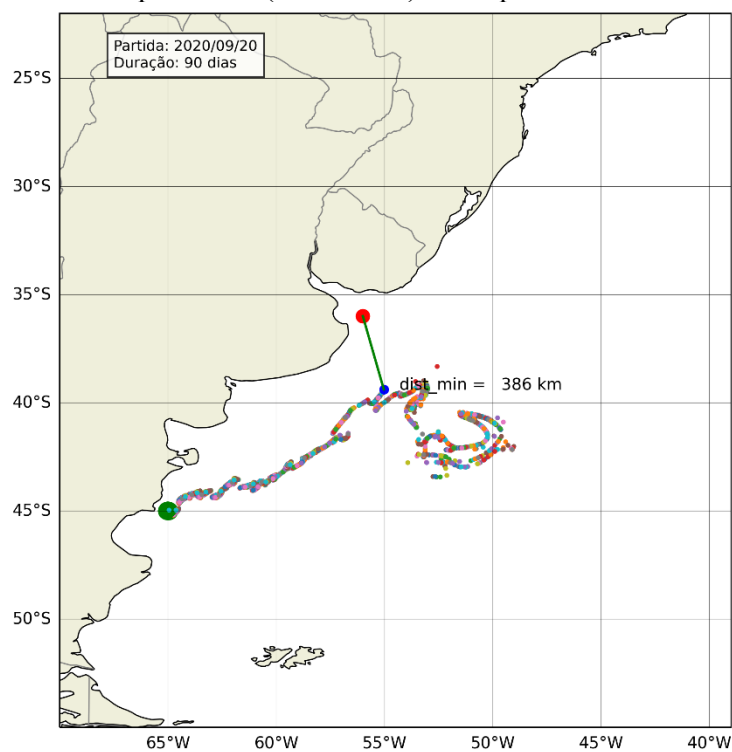
Apêndice X – Simulação da trajetória de 90 dias, por advecção, do quantitativo de 1000 pinguins durante a migração; partidas no início do outono (20/03/2020). Cada ponto na rota indica uma semana de percurso.



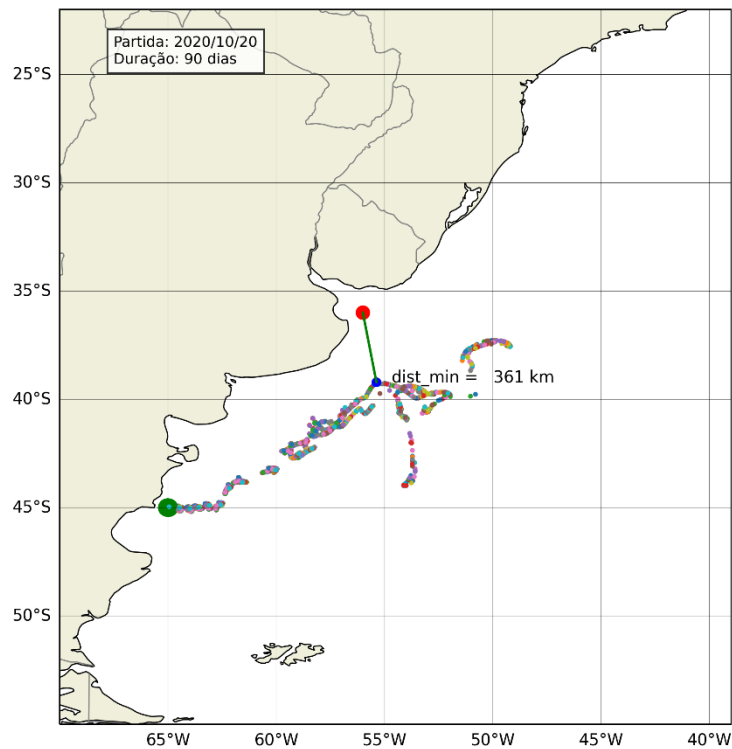
Apêndice Y – Simulação da trajetória de 90 dias, por advecção, do quantitativo de 1000 pinguins durante a migração; partidas no início do inverno (20/06/2020). Cada ponto na rota indica uma semana de percurso.



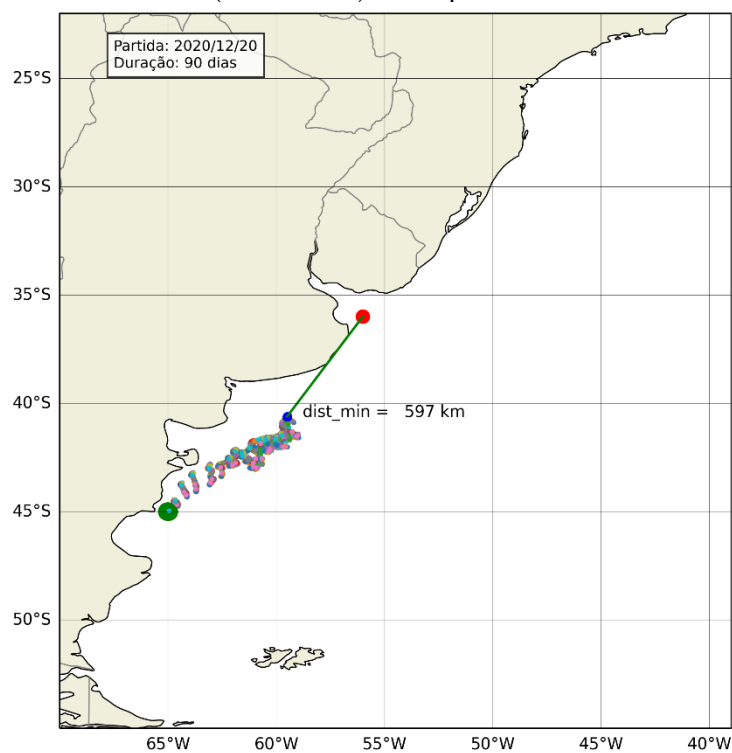
Apêndice Z – Simulação da trajetória de 90 dias, por advecção, do quantitativo de 1000 pinguins durante a migração; partidas no início da primavera (20/09/2020). Cada ponto na rota indica uma semana de percurso.



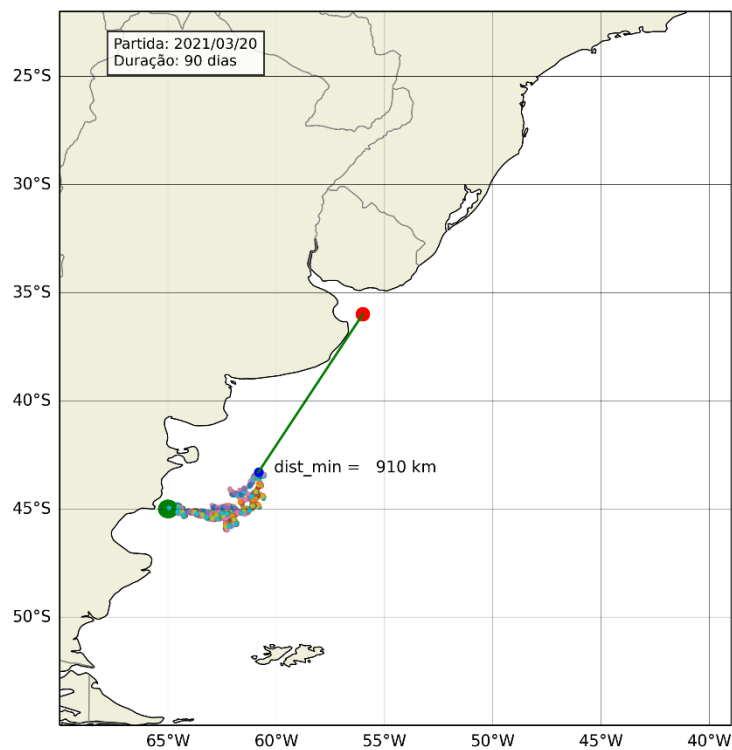
Apêndice AA – Simulação da trajetória de 90 dias, por advecção, do quantitativo de 1000 pinguins durante a migração; partidas no início da primavera média (20/10/2020). Cada ponto na rota indica uma semana de percurso.



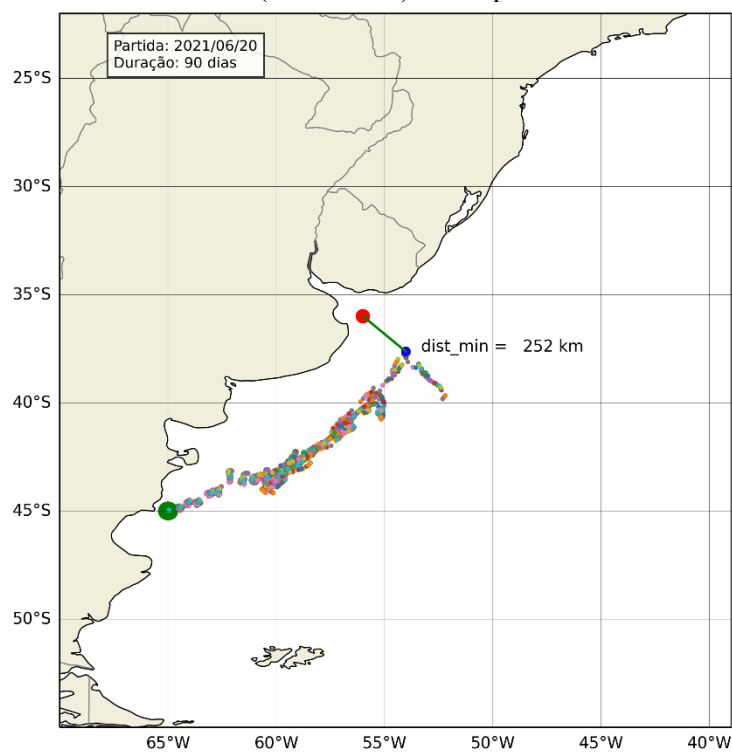
Apêndice AB – Simulação da trajetória de 90 dias, por advecção, do quantitativo de 1000 pinguins durante a migração; partidas no início do verão (20/12/2020). Cada ponto na rota indica uma semana de percurso.



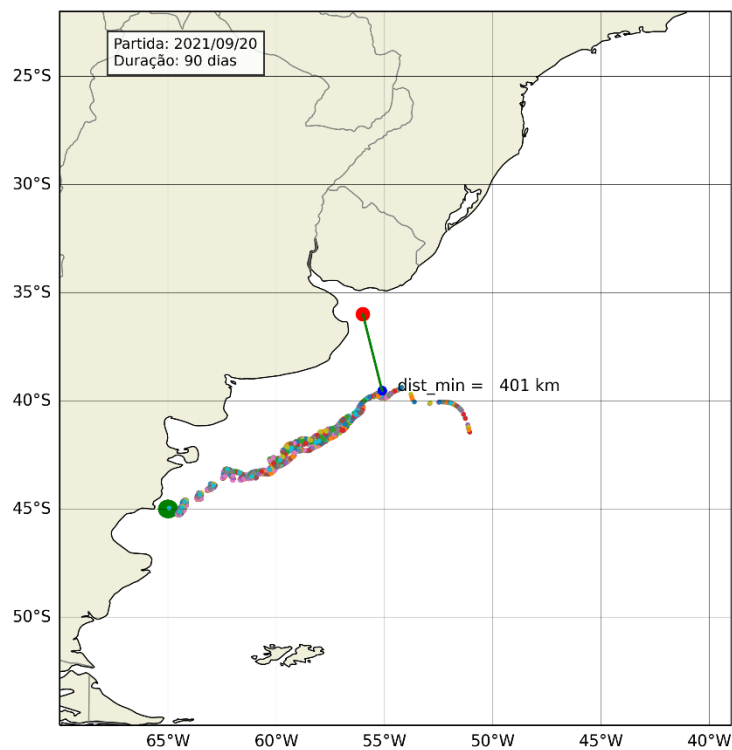
Apêndice AC – Simulação da trajetória de 90 dias, por advecção, do quantitativo de 1000 pinguins durante a migração; partidas no início do outono (20/03/2021). Cada ponto na rota indica uma semana de percurso.



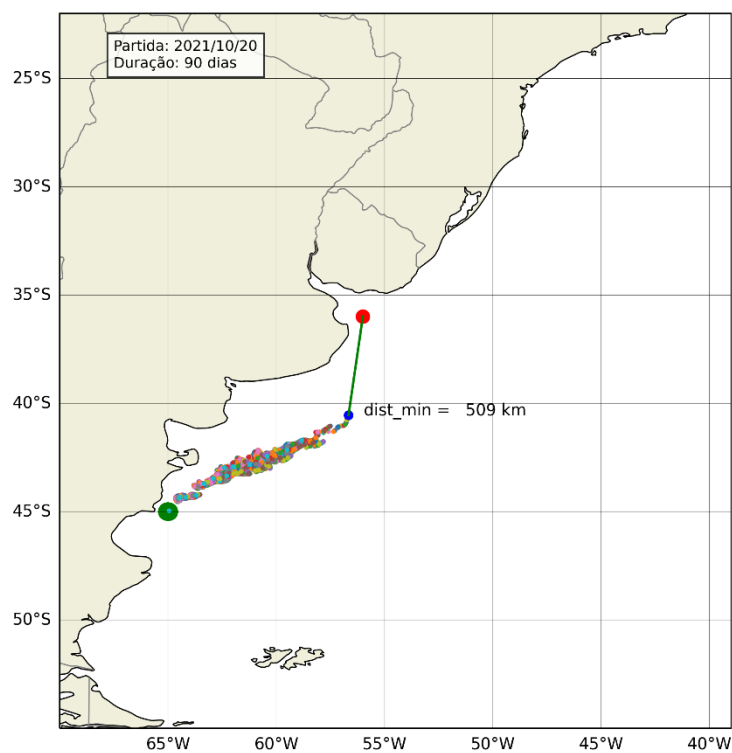
Apêndice AD – Simulação da trajetória de 90 dias, por advecção, do quantitativo de 1000 pinguins durante a migração; partidas no início do inverno (20/06/2021). Cada ponto na rota indica uma semana de percurso.



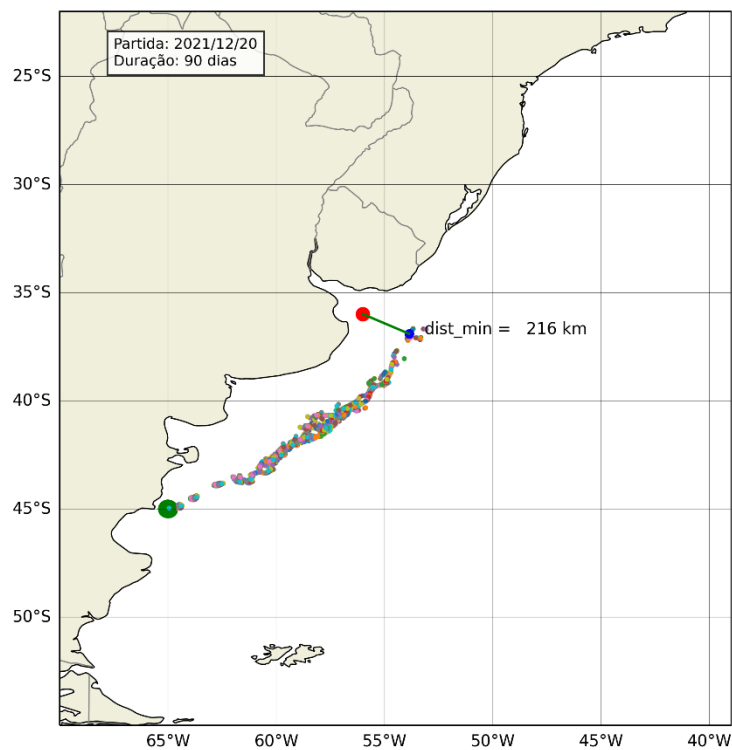
Apêndice AE – Simulação da trajetória de 90 dias, por advecção, do quantitativo de 1000 pinguins durante a migração; partidas no início da primavera (20/09/2021). Cada ponto na rota indica uma semana de percurso.



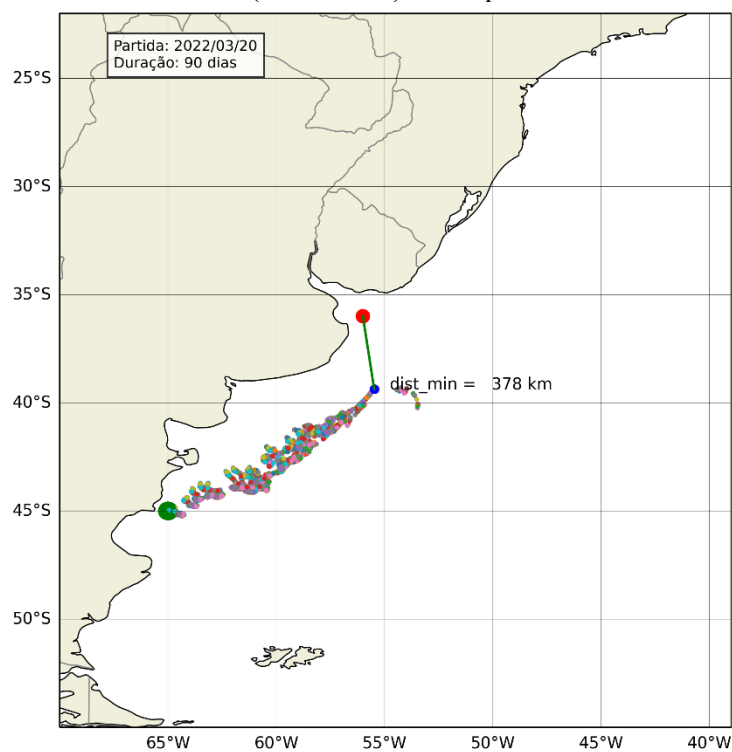
Apêndice AF – Simulação da trajetória de 90 dias, por advecção, do quantitativo de 1000 pinguins durante a migração; partidas no início da primavera média (20/10/2021). Cada ponto na rota indica uma semana de percurso.



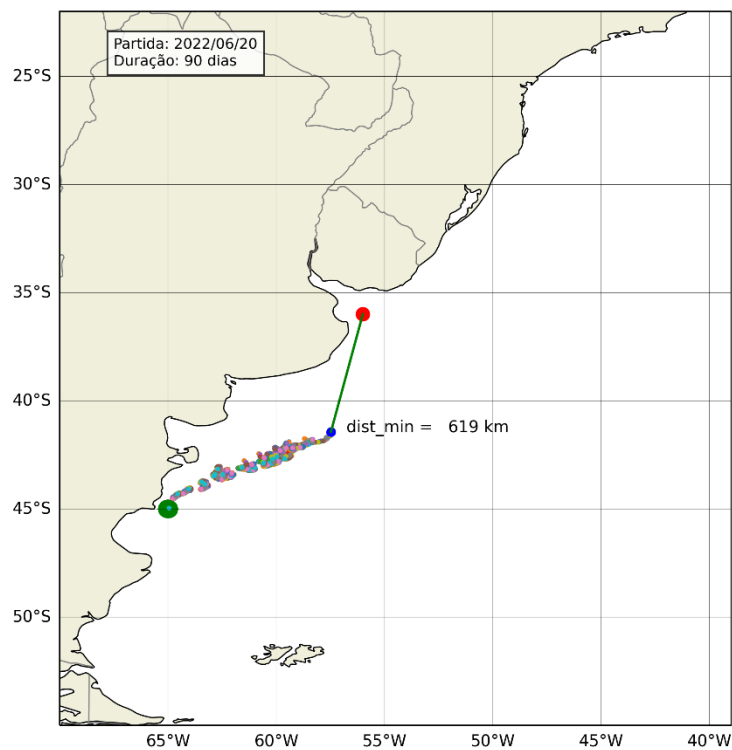
Apêndice AG – Simulação da trajetória de 90 dias, por advecção, do quantitativo de 1000 pinguins durante a migração; partidas no início do verão (20/12/2021). Cada ponto na rota indica uma semana de percurso.



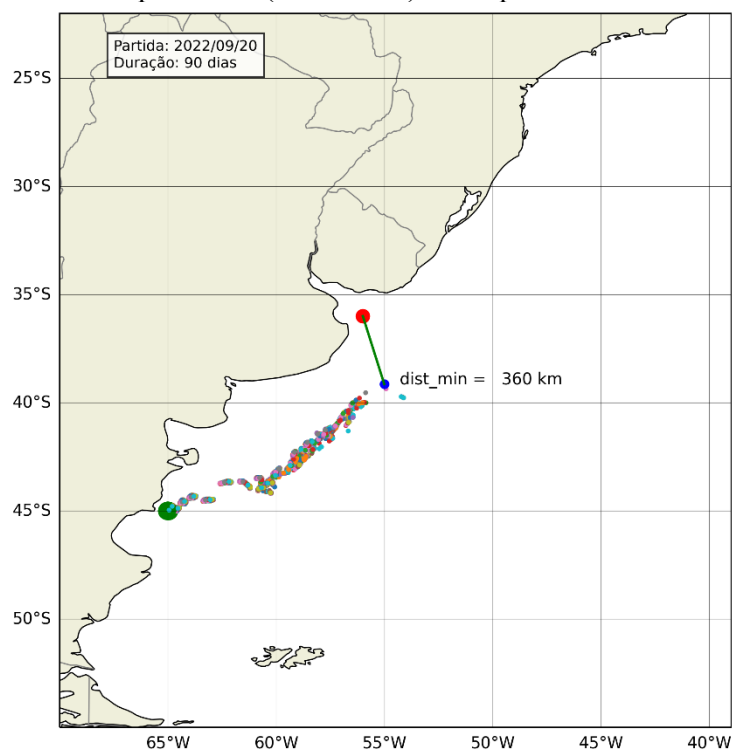
Apêndice AH – Simulação da trajetória de 90 dias, por advecção, do quantitativo de 1000 pinguins durante a migração; partidas no início do outono (20/03/2022). Cada ponto na rota indica uma semana de percurso.



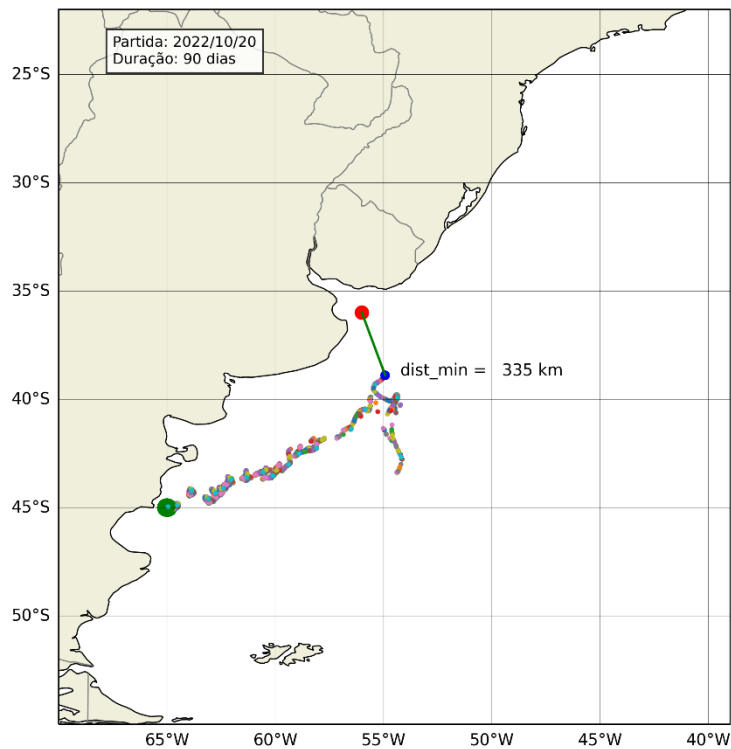
Apêndice AI – Simulação da trajetória de 90 dias, por advecção, do quantitativo de 1000 pinguins durante a migração; partidas no início do inverno (20/06/2022). Cada ponto na rota indica uma semana de percurso.



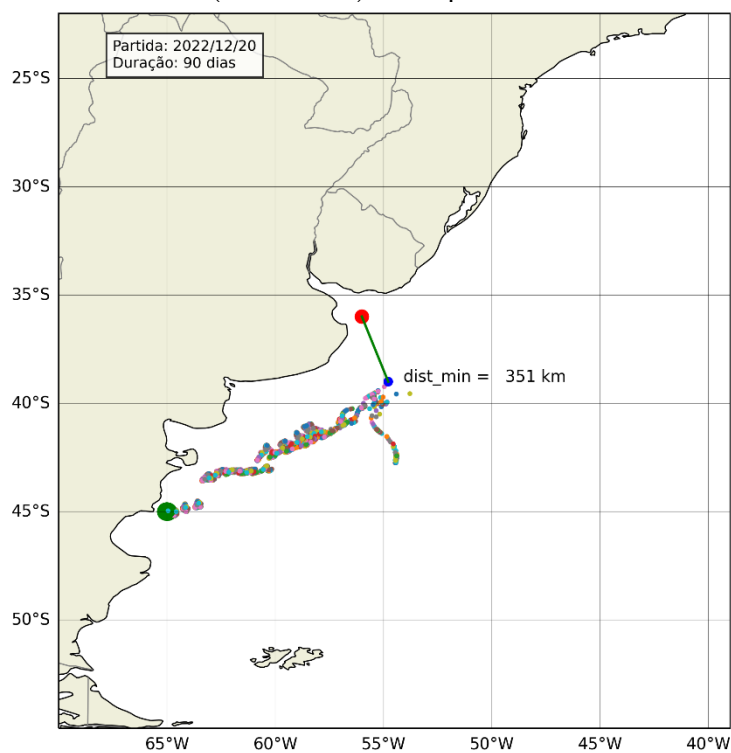
Apêndice AJ – Simulação da trajetória de 90 dias, por advecção, do quantitativo de 1000 pinguins durante a migração; partidas no início da primavera (20/09/2022). Cada ponto na rota indica uma semana de percurso.



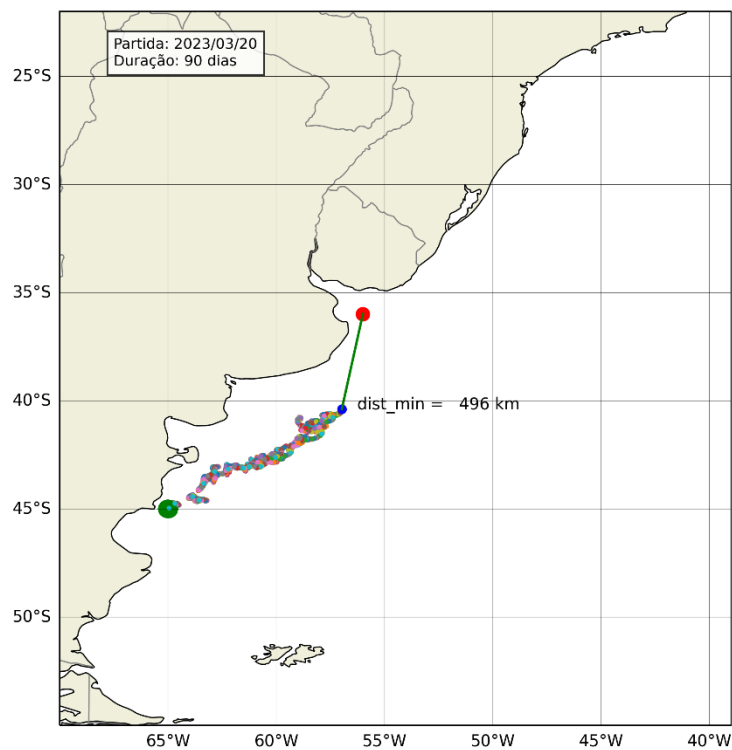
Apêndice AK – Simulação da trajetória de 90 dias, por advecção, do quantitativo de 1000 pinguins durante a migração; partidas no início da primavera média (20/10/2022). Cada ponto na rota indica uma semana de percurso.



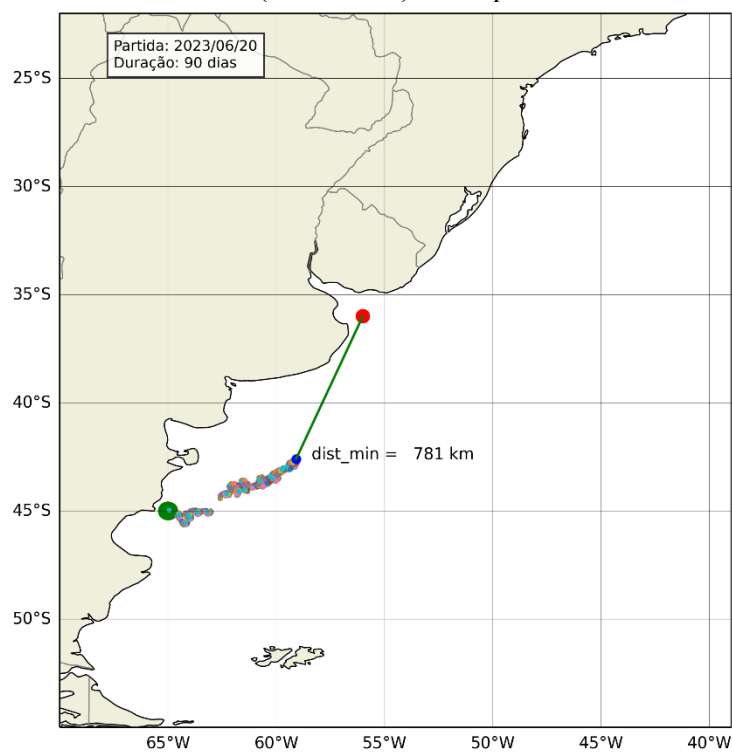
Apêndice AL – Simulação da trajetória de 90 dias, por advecção, do quantitativo de 1000 pinguins durante a migração; partidas no início do verão (20/12/2022). Cada ponto na rota indica uma semana de percurso.



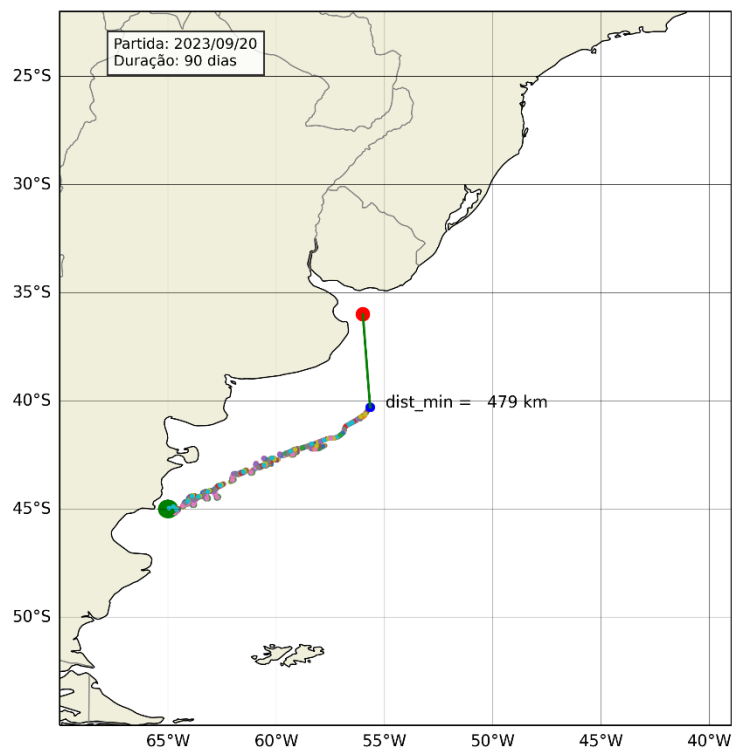
Apêndice AM – Simulação da trajetória de 90 dias, por advecção, do quantitativo de 1000 pinguins durante a migração; partidas no início do outono (20/03/2023). Cada ponto na rota indica uma semana de percurso.



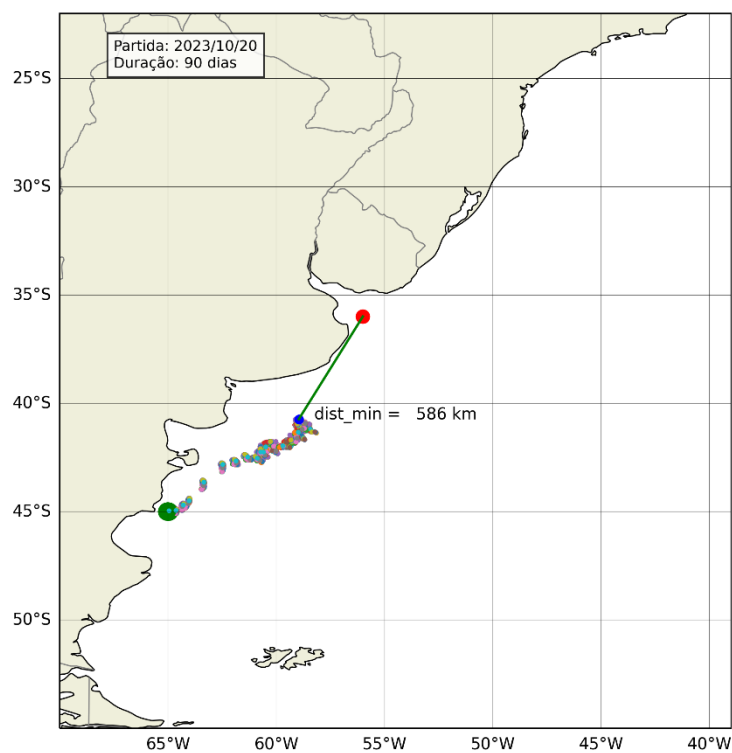
Apêndice AN – Simulação da trajetória de 90 dias, por advecção, do quantitativo de 1000 pinguins durante a migração; partidas no início do inverno (20/06/2023). Cada ponto na rota indica uma semana de percurso.



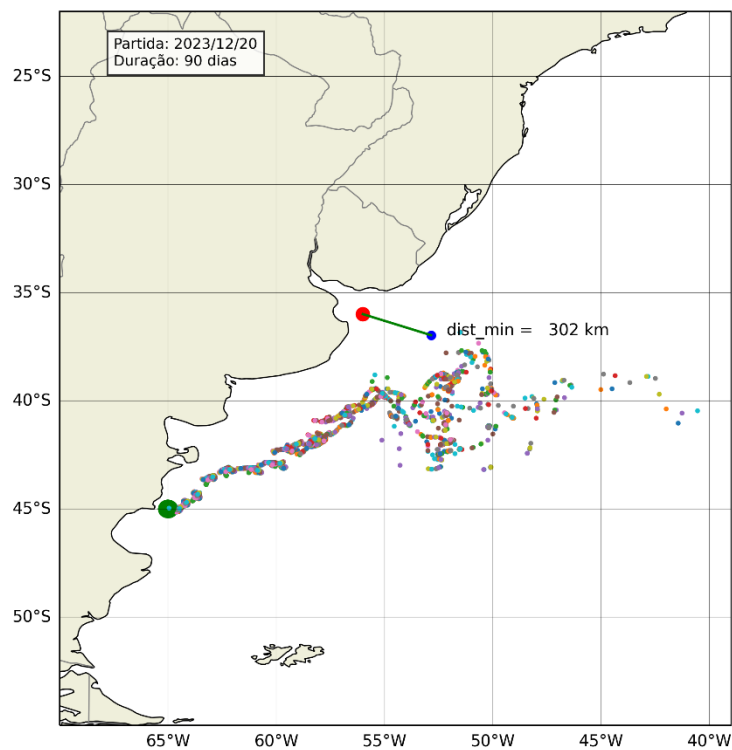
Apêndice AO – Simulação da trajetória de 90 dias, por advecção, do quantitativo de 1000 pinguins durante a migração; partidas no início da primavera (20/09/2023). Cada ponto na rota indica uma semana de percurso.



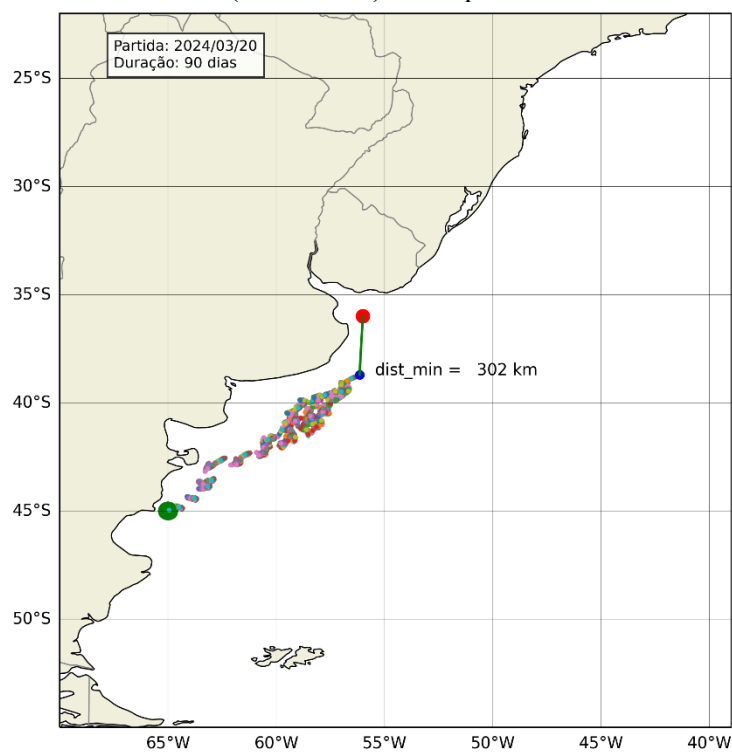
Apêndice AP – Simulação da trajetória de 90 dias, por advecção, do quantitativo de 1000 pinguins durante a migração; partidas no início da primavera média (20/10/2023). Cada ponto na rota indica uma semana de percurso.



Apêndice AQ – Simulação da trajetória de 90 dias, por advecção, do quantitativo de 1000 pinguins durante a migração; partidas no início do verão (20/12/2023). Cada ponto na rota indica uma semana de percurso.



Apêndice AR – Simulação da trajetória de 90 dias, por advecção, do quantitativo de 1000 pinguins durante a migração; partidas no início do outono (20/03/2024). Cada ponto na rota indica uma semana de percurso.



Apêndice AS – Simulação da trajetória de 90 dias, por advecção, do quantitativo de 1000 pinguins durante a migração; partidas no início do inverno (20/06/2024). Cada ponto na rota indica uma semana de percurso.

