



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

BÁRBARA GIGLIO PIRES

**ELEMENTOS TRAÇO NÃO ESSENCIAIS E
ACHADOS ANATOMOPATOLÓGICOS
RENAIS EM ODONTOCETOS DO
ATLÂNTICO SUL**

Londrina-PR

2021

BÁRBARA GIGLIO PIRES

**Elementos traço não essenciais e achados
anatomopatológicos renais em odontocetos do
Atlântico Sul**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência Animal da Universidade Estadual de Londrina - UEL, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Prof^a. Ana Paula F.R.L Bracarense

Londrina-PR

2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

P667 Pires, Bárbara Giglio .
ELEMENTOS TRAÇO NÃO ESSENCIAIS E ACHADOS ANATOMOPATOLÓGICOS RENAIIS EM ODONTOCETOS DO ATLÂNTICO SUL / Bárbara Giglio Pires. - Londrina, 2021.
88 f. : il.

Orientador: Ana Paula Frederico Rodrigues Loureiro Bracarense.
Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, 2021.
Inclui bibliografia.

1. Ecologia e conservação - Tese. 2. Patologia renal - Tese. 3. Histologia - Tese. 4. Elementos traço - Tese. I. Frederico Rodrigues Loureiro Bracarense, Ana Paula . II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal. III. Título.

CDU 619

BÁRBARA GIGLIO PIRES

**ELEMENTOS TRAÇO NÃO ESSENCIAIS E
ACHADOS ANATOMOPATOLÓGICOS RENAIIS
EM ODONTOCETOS DO ATLÂNTICO SUL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência Animal da Universidade Estadual de Londrina - UEL, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Ana Paula F. R.
L. Bracarense
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Dr^ª. Camila Domit
Universidade Federal do Paraná - UFPR

Prof^ª. Dr^ª. Claudia Bueno dos Reis Martinez
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Londrina, 26 de março de 2021.

A todos que,
incansavelmente, se mantêm
em busca do desconhecido,
do novo e da luz do
conhecimento.

Agradecimentos

Agradeço imensamente a todos que estiveram ao meu lado, não apenas nesse curto período de produção dessa dissertação, mas a todos que fazem e fizeram parte da minha vida pessoal e acadêmica. Sem eles não teria chegado até aqui e talvez nem teria seguido por esse caminho maravilhoso que tenho percorrido em busca do conhecimento científico que tenha aplicabilidade no mundo em que vivemos.

Agradeço de todo o coração à professora Ana Paula, por ter me aceitado e me acolhido como orientanda e, com muita paciência e dedicação tem me guiado pelo caminho árduo e recompensador da academia.

Meus mais sinceros agradecimentos aos meus pais por todo apoio que me proporcionam em seguir na carreira acadêmica e que estão sempre lá por mim, incentivando nos momentos mais difíceis e comemorando nos momentos de vitória.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por proporcionar apoio financeiro para a produção desse estudo.

**“...Disparate, já não há ilhas desconhecidas,
Quem foi que te disse, rei, que já não há
ilhas desconhecidas, Estão todas nos
mapas, Nos mapas só estão as ilhas
conhecidas ...”**

PIRES, Bárbara Giglio. **Elementos traço não essenciais e achados anatomopatológicos renais em odontocetos do Atlântico Sul**. 2021 94 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021.

Resumo

Os animais marinhos estão diariamente expostos à interação antrópica e são frequentemente expostos a acentuada carga de poluentes sonoros, físicos ou químicos, responsáveis por graves alterações comportamentais e estruturais que podem levar ao óbito. Dentre os mamíferos marinhos, os cetáceos são considerados importantes sentinelas da saúde do ecossistema marinho, devido ao seu elevado nível na cadeia trófica e longevidade, estando também direta e indiretamente expostos a interação antrópica, são passíveis de diversas alterações estruturais e funcionais, assim como animais de companhia e mamíferos selvagens em decorrência à ação antrópica no ambiente. Os elementos traço são importantes contaminantes ambientais presentes no cotidiano da espécie humana. Este estudo tem como objetivo analisar alterações microscópicas de rins de odontocetos encalhados no litoral sul do Oceano Atlântico, abrangendo os estados do Paraná (PR), São Paulo (SP) e Santa Catarina (SC) no período entre setembro de 2015 e dezembro de 2019. As informações epidemiológicas, histopatológicas e a quantificação da concentração hepática de elementos traço foram obtidas através da base de dados pública do Sistema de Informação e Monitoramento da Biota aquática (SIMBA). Adicionalmente, fragmentos de tecido renal de animais encalhados no litoral do Paraná foram reprocessados e submetidos a técnicas de coloração histoquímica de ácido periódico de Schiff modificada (PAS -McManus) e tricrômio de Masson. 108 animais foram selecionados atendendo aos critérios de inclusão, dos quais 48 eram fêmeas e 60 machos. As alterações renais mais frequentes foram congestão (59/108), necrose tubular aguda (38/108), atrofia glomerular e espessamento da cápsula de Bowman (11/108) e as concentrações médias totais obtidas foram 39,52 mg.kg⁻¹, 3,69 mg.kg⁻¹, 0,04 mg.kg⁻¹ e 0,89mg.kg⁻¹ para mercúrio, cádmio, chumbo e arsênio, respectivamente. Não houve diferença significativa entre a presença total de lesões e a concentração de elemento traço, entretanto, houve associação estatisticamente significativa (p=0,01) em relação à média de concentração de mercúrio e a presença de cilindros hialinos e entre a presença de ao menos uma lesão tubular e/ou glomerular e a concentração média de chumbo hepático (p=0,048). Adicionalmente fragmentos de rins de 4 exemplares de *Steno bredanensis* encalhados no litoral do Paraná com alterações císticas macroscópicas, foram reavaliados e submetidos à coloração de PAS-McManus e tricrômio de Masson, para avaliação de alterações histológicas, dois dos animais analisados apresentaram características anatomopatológicas compatíveis com doença renal policística. Nota-se a necessidade de maiores estudos em relação a alterações histopatológicas renais em cetáceos, sua relação com elementos potencialmente tóxicos e a presença de condições de caráter genético inerentes a espécie em paralelo com condições semelhantes já caracterizadas em outras espécies de mamíferos.

Palavras-chave: mercúrio, chumbo, arsênio, cádmio, rim, contaminantes ambientais, doença renal policística.

PIRES, Bárbara Giglio. **Elementos traço não essenciais e achados anatomopatológicos renais em odontocetos do Atlântico Sul**. 2021 94 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021

ABSTRACT

Marine animals are daily exposed to anthropic interaction and are frequently exposed to an accentuated load of sound, physical or chemical pollutants, responsible for serious behavioral changes and which can lead to death. Among marine mammals, cetaceans are considered important sentinels of the health of the marine ecosystem, due to their trophic chains high level and longevity, also been directly and indirectly exposed to anthropic interaction, they are bound to a several structural and functional alterations, as well as animals of company and wild animals, as a result of anthropic action in the environment. The trace elements are important environmental contaminants present in the daily life of the human species. This study aims to analyze the kidney microscopic changes of toothed whales stranded on the southern coast of the Atlantic Ocean, covering the states of Paraná (PR), São Paulo (SP) and Santa Catarina (SC) between September 2015 and December 2019. The epidemiological, histopathological and hepatic quantification of trace elements concentrations information were obtained from the public database of the Aquatic Biota Information and Monitoring System (SIMBA). Additionally, fragments of kidney tissue from Paraná coast stranded animals were reprocessed using modified Schiff's periodic acid (PAS -McManus) and Masson's trichrome histochemical staining techniques. 108 animals were selected according to the inclusion criteria, of which 48 were selected and 60 males. The most frequent renal disorders were congestion (59/108), acute tubular necrosis (38/108), glomerular atrophy and thickening of the Bowman's capsule (11/108) and as the absolute mean means were 39.52 mg.kg⁻¹, 3.69 mg.kg⁻¹, 0.04 mg.kg⁻¹ and 0.89 mg.kg⁻¹ for mercury, cadmium, lead and arsenic, respectively. There was no significant difference between of all renal disorders and trace element concentration, however, there was a statistically significant association ($p = 0.01$) between mercury average concentration and presence of hyaline cylinders and between the presence of at least a tubular and/or glomerular lesion and the average hepatic lead concentration ($p = 0.048$). Additionally, kidney fragments of 4 specimens of *Steno bredanensis* stranded on the coast of Paraná with macroscopic cystic changes, were reevaluated and subjected to PAS-McManus and Masson's trichrome stains, for the evaluation of histological changes, two of them displayed similarities with Polycystic Kidney Disease. Further studies about renal histopathological disorders in cetaceans, their relationship with potentially toxic elements and the presence of genetic conditions inherent to the species, in parallel with similar conditions already characterized in other species of mammals, are needed.

Keywords: mercury, lead, arsenic, cadmium, kidney, polycystic kidney disease, environmental contaminants.

LISTA DE FIGURAS

Dissertação – Revisão de literatura

Figura 1. Mapa esquemático da geolocalização das Bacias de exploração petrolífera da Petrobras no território continental e costa brasileiros (em verde) (Petrobras, 2020). 21

Figura 2. Mapa de áreas prioritárias para conservação de mamíferos marinhos no ano de 2011 (IBAMA, 2011). 22

Artigo A – Alterações renais e concentração de elementos traço não essenciais em odontocetos encalhados no litoral sul do Atlântico.

Figura 1. Mapa esquemático do litoral de São Paulo, Paraná e Santa Catarina.

Adaptado de: <https://www.comunicabaciadesantos.com.br/programa-ambiental/projeto-de-monitoramento-de-praias-pmp.html> 45

Figura 2. *S. guianensis*, rim. A) HE| 50mm. Congestão difusa acentuada. B) HE| 20mm. Necrose tubular aguda multifocal moderada, composta por células de citoplasma eosinofílico, por vezes vacuolizado, frequentemente apresentando núcleos picnóticos e hipercromáticos. 50

Figura 3. *S. guianensis*, rim. A) HE| 50 μ m; B) PAS| 50 μ m: atrofia glomerular e espessamento da cápsula de Bowman, difusa e acentuadamente. C) HE| 100 μ m; D) PAS| 100mm: Presença acentuada de material amorfo em luz tubular (cilindros hialinos). 52

Figura 4. Associação entre concentração média de elementos traço (mg.kg⁻¹) e a presença ou não de lesões renais em odontocetos encalhados no litoral de SP, PR e SC. 53

Figura 5. a) Associação entre concentração média de chumbo e a presença ou não de ao menos uma das lesões tubulares e glomerulares (necrose tubular, degeneração tubular, presença de cilindros hialinos e atrofia glomerular com espessamento da cápsula de Bowman) ($p=0,048$) em odontocetos encalhados no litoral de SP, PR e SC; b) Associação entre concentração média de mercúrio e a presença ou não de cilindros hialinos ($p=0,01$) em odontocetos encalhados no litoral de SP, PR e SC.
..... 53

Artigo B – DOENÇA RENAL POLICÍSTICA EM DOIS GOLFINHOS-DE-DENTES-RUGOSOS (*STENO BREDANENSIS*) ENCALHADOS NO SUL DO BRASIL – PARANÁ – Relato de caso – Acta Scientiae Veterinariae (submetido)

Figure 1. *Steno bredanensis*; kidney - gross morphology. **A:** Animal 1. Marked enlargement of right kidney and thickening of the capsule. **B:** Animal 1. The parenchyma is replaced by large cysts of different sizes and surrounded by fibrosis. **C/D:** Animal 2. Diffuse loss of renal usual architecture, replaced by numerous cystic formations, well delimited by fibrous tissue, yellow-pale and various sizes. Rare focus of normal parenchyma can be seen (arrows). **E/F:** Animal 3. Cysts, with different sizes and thick capsule (arrows), and on cut surface view (arrowhead).
..... 75

Figure 2. *Steno bredanensis*; kidney – microscopy. **A;C;E**|PAS-McManus; **B;D;F**|Masson's Trichrome; (20x). **A/B:** Animal 1. Irregular size cystic formations near to glomerulus, surrounded by fibrous tissue. **C:** Animal 1. Discrete thickness of Bowman's capsule. **D:** Animal 1. Exuberant

fibrous tissue on cortical (blue tissue). **E/F**: Animal 2. Cystic structure delimited by mild fibrous tissue, preserving basement membrane (**F**)

..... 76

LISTA DE TABELAS

Dissertação

Tabela 1. Média (\pm DP) de concentrações hepáticas (peso seco) de elementos traço não essenciais (Hg, Cd, Pb e As) em espécies de odontocetos encalhadas ao sul do Oceano Atlântico.....	32
---	----

Artigo A

Tabela 1. Dados epidemiológicos (número de indivíduos, sexo e maturidade sexual) dos odontocetos encalhados no Atlântico Sul (SP, PR e SC), nos anos de 2015 a 2019.....	49
---	----

Tabela 2. Alterações histopatológicas observadas em rins de odontocetos encalhados no litoral sul do Atlântico (SP, PR e SC) com mensuração hepática de elementos traço não essenciais entre os anos de 2015 e 2019.....	50
---	----

Tabela 3. Médias (\pm DP) das quantificações de elementos traço não essenciais hepático em cada uma das alterações histológicas renais observadas em odontocetos encalhados no litoral Atlântico Sul (SP, PR e SC), nos anos de 2015 a 2019.....	51
--	----

Tabela 4. Média (\pm DP) das concentrações hepáticas de elementos traço não essenciais, em relação às espécies e alterações histopatológicas renais observadas nos odontocetos encalhados no litoral Atlântico Sul (SP, PR e SC) entre os anos de 2015 e 2019.....	56
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
As	Arsênio
Cd	Cádmio
CEA	Centro de Estudos Ambientais
CEM	Centro de Estudos do Mar
CEP	Complexo Estuarino Paranaguá
EPA	Environmental Protection Agency
HE	Hematoxilina e Eosina
Hg	Mercúrio
LEC	Laboratório de Ecologia e Conservação
PAS	Ácido periódico de Schiff
Pb	Chumbo
PKD	polycystic kidney disease
PMP	Projeto de Monitoramento de Praias
SIMBA	Sistema de Informação e Monitoramento da Biota Aquática
UEL	Universidade Estadual de Londrina
UFPR	Universidade Federal do Paraná
UNESP	Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho

Sumário

1. INTRODUÇÃO	18
2. REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1 Contexto geral	20
2.2 Interação antrópica	22
2.2.1 Pesca	22
2.2.2 Embarcações	23
2.2.3 Poluição	23
2.3 Elementos traço	24
2.3.1 Arsênio	25
2.3.2 Cádmio	26
2.3.3 Chumbo	28
2.3.4 Mercúrio	29
2.4 Cetáceos	34
3. Referências	36
4. Hipótese	39
5. Objetivos	39
5.1 Objetivo geral	39
5.2 Objetivos específicos	39

6. Artigo 1 – Alterações renais e concentração de elementos traço não essenciais em odontocetos encalhados no litoral sul do Atlântico.	
.....	41
7. Artigo 2 - Doença renal policística em dois golfinhos-de-dentes-rugosos (<i>Steno bredanensis</i>) encalhados no Paraná, sul do Brasil.	
.....	72
8. Considerações finais.....	79
Anexo	81

1. INTRODUÇÃO

Os mamíferos marinhos são muito sensíveis às alterações no ecossistema (Bossart, 2011) e, uma vez que ocupam elevada posição na cadeia trófica, os cetáceos são frequentemente expostos à contaminantes ambientais, através da exposição direta aos elementos tóxicos, ou indireta por meio da bioacumulação, mostrando-se importantes sentinelas da saúde do ambiente marinho e a carga tóxica presente no mesmo (Kendall *et al.*, 2016). A costa brasileira abriga diversas espécies marinhas endêmicas e migratórias (Moura, 2002) e possui diversas plataformas de exploração petrolífera, distribuídas em baías de toda a costa, incluindo a Bacia de Santos, na qual se instalaram plataformas fixas e flutuantes a fim de realizar a exploração do Pré-Sal (Petrobras, 2020).

A crescente urbanização das áreas costeiras para exploração do petróleo, que vem sendo utilizado como fonte primordial de energia, gera um aumento significativo de contaminação no ambiente marinho (Guadalupe Meniconi *et al.*, 2002; Petrobras, 2020), além de maior exploração pesqueira e turística da região costeira, aumentando a frequência e intensidade da interação antrópica com os mamíferos marinhos (Ibge, 2011).

Conhecer e identificar as principais alterações geradas na biota marinha é de suma importância para entender como a interação antrópica pode interferir negativamente no ambiente marinho e nas espécies desse bioma, visando a minimização e prevenção de consequências potencialmente irreversíveis no futuro.

24 O interesse em animais marinhos vem tendo um crescimento acentuado
25 nos últimos anos, concomitantemente com a expansão da exploração de
26 recursos naturais provenientes dos oceanos, como o Pré-Sal. Este trabalho visa
27 descrever e identificar alterações renais compatíveis com exposição aguda ou
28 crônica de cetáceos marinhos à elementos traço não essenciais, sem caráter
29 epidêmico, e estabelecer relação com a possível origem dos poluentes para
30 esses animais.

31 **2. REVISÃO DE LITERATURA**

32 2.1 Contexto geral

33 A costa brasileira possui 8.698 Km de extensão e mais de 500.000 km²,
34 com cerca de 300 municípios costeiros (Nicolodi e Pettermann, 2011). Desde
35 1968, em Sergipe, plataformas de exploração petrolífera comandadas pela
36 Petrobras são instaladas e operam com capacidade de perfuração de até 30
37 metros de profundidade (Petrobras, 2020).

38 Ao longo dos anos diversas plataformas de exploração foram instaladas
39 e operam em toda a costa brasileira (Figura 1), entretanto, a partir de 2007 houve
40 o maior crescimento na extração e refinamento pela indústria petrolífera
41 comandada pela Petrobrás, com a descoberta do Pré-Sal na Bacia de Santos,
42 localizada no entorno dos estados do Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná e Santa
43 Catarina, com extensão 350 mil Km² (Petrobras, 2020).

44 A exploração da Bacia de Santos teve início efetivo em 2015, após a
45 concessão do processo de licenciamento ambiental requerido pelo Ministério do
46 Meio Ambiente (ASBIO 640/2015), sendo conduzido pelo Instituto Brasileiro do
47 Meio Ambiente e dos Recursos Naturais (IBAMA) em parceria com a Petrobras.
48 Dentre as solicitações previstas no processo está o monitoramento
49 sistematizado de praias. O litoral de Santa Catarina compreende 915 Km de
50 extensão costeira e das ilhas (Simões-Lopes e Ximenez, 1993) sendo
51 representativo do litoral sul brasileiro, juntamente com a região sul do litoral
52 paulista e litoral do Paraná (Ibge, 2011), os quais são contemplados no Projeto
53 de Monitoramento de Praias – Bacia de Santos (PMP – BS).

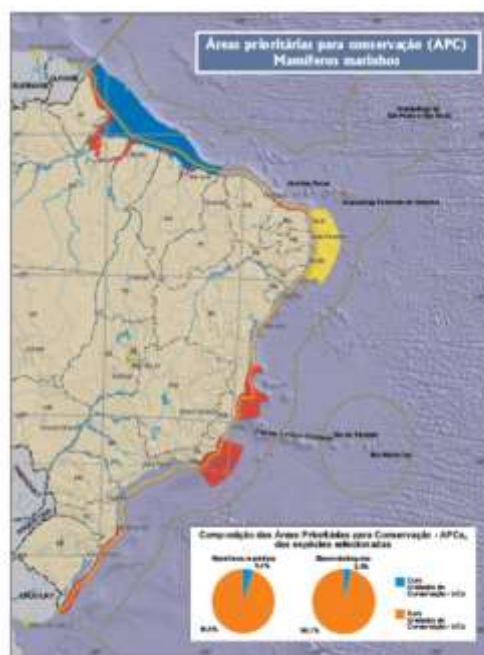


Figura 2. Mapa de áreas prioritárias para conservação de mamíferos marinhos no ano de 2011 (IBAMA, 2011).

69

70 2.2 Interações Antrópicas

71 2.2.1 Pesca

72 A pesca representa uma das principais interações antrópicas com
 73 mamíferos marinhos no século XXI e pode ser classificada em operacional ou
 74 biológica (Northridge, 2018). A pesca predatória pode levar ao esgotamento de
 75 cardumes, fonte de alimento para diversas espécies de mamíferos marinhos,
 76 reduzindo a disponibilidade de alimento e, conseqüentemente, uma maior
 77 intensidade na interação com os seres humanos, caracterizada como interação
 78 biológica (Read *et al.*, 2006; Northridge, 2018).

79 A interação caracterizada como operacional está ligada a interação direta
 80 entre o ser humano e os mamíferos marinhos, resultando em lesões graves e ao
 81 óbito dos animais (Northridge, 2018), podendo haver ainda mudanças na dieta,
 82 comportamento e distribuição geográfica das espécies marinhas (Werner *et al.*,

83 2015). Capturas acidentais, configuradas como *bycatch*, podem ocorrer através
84 do uso de redes, armadilhas, anzóis ou gancho utilizados na atividade pesqueira
85 (Read et al., 2006).

86 2.2.2 Embarcações

87 A colisão com embarcações pode causar lesões graves e óbito de muitos
88 animais marinhos e tem estado relacionada com a velocidade das
89 embarcações, uma vez que os mamíferos parecem ser capazes de evitá-las
90 quando paradas ou em baixa velocidade (Martin *et al.*, 2016) e com o tráfego das
91 embarcações, sendo maior o número de colisões resultando em lesões
92 traumáticas importantes e óbito, quando há maior tráfego de embarcações
93 (Wells e Scott, 1997).

94 2.2.3 Poluição

95 Baías e estuários são locais de grande interação antrópica com o ambiente
96 marinho, em decorrência da crescente densidade demográfica e
97 desenvolvimento industrial dessas regiões, conseqüentemente há maior
98 produção e escoamento de poluentes e resíduos tóxicos (Zhang *et al.*, 2020).
99 Concomitantemente, a atividade antrópica gera elevada quantidade de resíduos
100 sólidos, como plásticos que, sem tratamento e destinação corretas, são
101 invariavelmente conduzidos aos oceanos, comprometendo a sobrevivência de
102 diversas espécies marinhas, causando extensos danos a esses animais, não
103 sendo contudo, o único contaminante a que são expostos (Derraik, 2002).

104 Atividades industriais, mineração e exploração petrolífera são responsáveis
105 por grande parte da quantidade de contaminantes liberados no ambiente
106 marinho, tal qual hidrocarbonetos provenientes da extração e refinamento do

107 petróleo e gás natural e elementos traço não essenciais (D'costa *et al.*, 2017). O
108 porto de Santos, em São Paulo, assim como demais regiões portuárias em todo
109 o mundo, são grandes responsáveis por elevada carga de poluentes no ambiente
110 marinho, além da introdução de novas espécies, provenientes de outros portos
111 através da água de lastro (Buruaem *et al.*, 2012).

112 2.3 Elementos Traço

113 Os elementos traço, conhecidos erroneamente como metais pesados, são
114 elementos químicos frequentemente provenientes de fontes antrópicas, e são
115 considerados importantes poluentes ambientais (Manahan, 1993). Podem ser
116 encontrados biodisponíveis *in natura*, no ambiente aquático e terrestre,
117 compondo elementos inanimados como rochas e sais, ou bioacumulados em
118 tecidos de espécies vivas, dessa forma, maiores níveis na cadeia trófica tendem
119 a absorver e acumular maior quantidade desses elementos nos tecidos (Kendall
120 *et al.*, 2016).

121 Dentre os elementos traço conhecidos, há os considerados essenciais, que
122 compõem processos bioquímicos fisiológicos em concentrações ideais, podendo
123 resultar em efeito tóxico quando presentes em concentrações acima das
124 consideradas ideais para cada espécie, em contrapartida, há os elementos traço
125 não essenciais, os quais não fazem parte de reações fisiológicas de espécies
126 animais, gerando efeitos tóxicos diversos quando presente em concentrações
127 acima do considerado tolerável para a espécie (Nikinmaa, 2014).

128 Entre os elementos não essenciais, os mais importantes nas intoxicações em
129 mamíferos são arsênio (As), cádmio (Cd), chumbo (Pb) e mercúrio (Hg)
130 (Manahan, 1993) que assim como bismuto e tálio, possuem, entre outras

131 propriedades tóxicas, efeitos nefrotóxicos em animais domésticos (Cianciolo e
132 Mohr, 2016).

133 2.3.1 Arsênio

134 O arsênio (As) é um metaloide comumente encontrado em regiões com
135 elevada atividade vulcânica e industrial (Gomez-Camirero *et al.*, 2001), está
136 presente na formulação de pesticidas, gasolina com chumbo, materiais de
137 fundição e em medicamentos (Manahan, 1993; Nikinmaa, 2014), é
138 predominantemente absorvido pelo trato gastrointestinal e, quando em partículas
139 menores, pela pele, sua distribuição ocorre de forma lenta através da corrente
140 sanguínea e é predominantemente acumulado no tecido hepático, podendo ser
141 encontrado em grande quantidade no baço, rins e pulmões (Garland, 2018).

142 Sua toxicidade está relacionada à forma de apresentação, que pode ser
143 inorgânica ou orgânica, penta ou trivalente. Pouco se sabe em relação à
144 farmacocinética deste elemento, entretanto cerca de 40 a 70% da forma orgânica
145 trivalente pode ser excretada pela urina, enquanto que a forma pentavalente é
146 excretada pela bile (Garland, 2018).

147 Está relacionado a sinais clínicos pouco específicos e dependentes da via e
148 a forma de apresentação, variando de sinais gastrointestinais agudos e
149 hemorrágicos à sinais neurológicos crônicos como ataxia e anorexia (Garland,
150 2018). Em humanos apresenta fortes evidências de induzir efeitos
151 carcinogênicos (Manahan, 1993) e tem sido relacionado à doenças crônicas
152 renais, assim como potencializador de doenças crônicas endócrinas como a
153 diabetes mellitus (Robles-Osorio *et al.*, 2015). Em cães, concentrações baixas e
154 médias ($0,73 \text{ mg.kg}^{-1}$ e $7,33 \text{ mg.kg}^{-1}$) foram relacionadas à degeneração tubular

155 renal e em elevadas concentrações (14,66 mg.kg⁻¹) com necrose tubular aguda
156 acentuada e glomeruloesclerose (Tsukamoto *et al.*, 1983).

157 Poucos estudos realizaram a mensuração de As em cetáceos (Parsons,
158 1999; Seixas, Tércia G *et al.*, 2009; Monteiro *et al.*, 2019), não apresentando
159 alterações histopatológicas relacionadas à presença ou às diferentes
160 concentrações. Kubota e colaboradores (2005) sugeriram a transferência
161 transplacentária de arsênico em forma orgânica e inorgânica, concluindo que há
162 transferência de elementos, entretanto barreiras fisiológicas e a lipossolubilidade
163 dos elementos mantêm a concentração nos tecidos de fetos menor em relação
164 aos tecidos maternos (Kubota *et al.*, 2005).

165 2.3.2 Cádmi

166 Não há função biológica conhecida do cádmio, é frequentemente encontrado
167 naturalmente em conjunto com o zinco (Nikinmaa, 2014). Descargas industriais
168 e resíduos de mineração são importantes fontes de contaminação ambiental por
169 este elemento (Manahan, 1993), presente também em ligas metálicas e
170 fertilizantes.

171 A via oral tem se mostrado a maior fonte de contaminação por este metal
172 (Hooser, 2018). Apesar da baixa taxa de absorção, o cádmio apresenta a via
173 urinária como via primária de excreção, de forma que a maior concentração
174 deste elemento no organismo se dá nos túbulos contorcidos renais (Hooser,
175 2018), ligado a metalotioneínas que atuam como fator protetor a sua toxicidade,
176 o cádmio se acumula nas células epiteliais tubulares (Goyer, 1989),
177 predominantemente nos túbulos contorcidos proximais, sendo possível
178 mensurar concentrações ao menos duas vezes maior que a concentração deste

179 elemento no tecido hepático, aumentando conforme maior exposição ao cádmio
180 (Hooser, 2018).

181 Acredita-se que as alterações ocasionadas pela intoxicação crônica por
182 cádmio estejam relacionadas à sua similaridade ao zinco (Manahan, 1993) e ao
183 cálcio, que fazem parte de diversas funções no organismo, além da sua
184 capacidade de ligação a proteínas séricas como a albumina (Hooser, 2018).
185 Quadros agudos são raros, a toxicidade ocorre pela exposição contínua a este
186 elemento. Alterações crônicas e disfunção tubular ocorrem quando os níveis de
187 Cd no córtex renal apresentam concentrações médias de 200 mg.kg⁻¹ (Goyer,
188 1989)

189 Em humanos está relacionado a alterações renais, predominantemente à
190 nefrite intersticial crônica, apoptose das células intersticiais testiculares e à
191 osteoporose (Manahan, 1993). A lesão tubular proximal também foi associada à
192 toxicidade ao Cd, resultando em diminuição da reabsorção tubular de fosfato
193 (Goyer, 1989). Em cetáceos foi associado à inibição da proliferação de linfócitos
194 com limite de concentração de 0,21 mg. Kg⁻¹ e em golfinhos nariz de garrafa
195 (*Tursiops truncatus*) de 2,44 mg. Kg⁻¹ (Desforges *et al.*, 2016). Rosa *et al.* (2008)
196 verificaram associação entre a concentração hepática (7,85 mg. Kg⁻¹) e renal de
197 cádmio (16,47 mg. Kg⁻¹) e o grau de fibrose renal e hiperplasia fibromuscular
198 pulmonar em baleias da Groelândia (*Balaena mysticetus*). Lesão renal também
199 foi associada a concentrações hepáticas elevadas de cádmio (média 8,64 mg.
200 Kg⁻¹), cobre e zinco em roaz do Índico (*Tursiops aduncus*). As alterações renais
201 caracterizaram-se por aumento do espaço entre o glomérulo e a cápsula de
202 Bowman, espessamento da cápsula de Bowman e presença de proteína no
203 espaço glomerular (Lavery *et al.*, 2009).

204 2.3.3 Chumbo

205 O chumbo é um típico metal não essencial presente em diversas fontes
206 poluentes, como combustíveis fósseis, baterias, encanamentos e tintas
207 utilizadas em embarcações (Nikinmaa, 2014) e é o elemento presente nas
208 atividades humanas há mais tempo (Gidlow, 2015). Foi muito utilizado na
209 fabricação de utensílios de uso doméstico que permaneciam em contato com
210 água e comida, assim como tintas e, na Roma antiga era utilizado como
211 recipiente para fabricação da *sapa*, um xarope adocicado feito a partir de suco
212 de uva aquecido, utilizado na conservação de frutas e para adocicar o vinho
213 (Nikinmaa, 2014; Thompson, 2018).

214 Pode ser absorvido de forma cutânea ou através das vias aéreas, entretanto
215 a principal forma de contaminação pelo chumbo é a via oral e dependente da
216 forma química do elemento e de fatores fisiopatológicos, de forma que animais
217 jovens, com dieta rica em lipídios e com deficiência mineral tendem a apresentar
218 maior absorção gastrointestinal (Thompson, 2018).

219 A intoxicação por chumbo leva a disfunção severa do fígado, sistema nervoso
220 central, rins e sistema reprodutivo, podendo levar a anemia quando moderada
221 (Manahan, 1993), sendo os dois primeiros mais afetados. Acredita-se que seus
222 efeitos, principalmente no sistema nervoso central, estão relacionados às
223 similaridades e sua capacidade de mimetizar ou inibir a ação do cálcio em
224 enzimas, funções regulatórias celulares e ativação de proteínas quinase
225 (Thompson, 2018). Sendo um dos alvos da toxicidade do chumbo, os rins são
226 os principais responsáveis pela eliminação do elemento e sofrem alterações
227 decorrentes desta função (Rana *et al.*, 2018).

228 A exposição ao chumbo pode resultar em quadros renais agudos e crônico
229 em decorrência do seu acúmulo no epitélio tubular proximal. A nefrotoxicidade
230 aguda é caracterizada por alterações funcionais e morfológicas (nefrose) no
231 epitélio com formação de corpúsculos de inclusão intranucleares ou
232 intracitoplasmáticos eosinofílicos e que se coram pelo método de Ziehl-Neelsen.
233 Os corpúsculos são compostos por proteínas e chumbo. Ultraestruturalmente há
234 edema e distorção de cristas mitocondriais. A exposição contínua leva a
235 nefropatia crônica, em que os corpúsculos de inclusão não são frequentes,
236 ocorrendo atrofia tubular e fibrose intersticial (Goyer, 1989). Hiperplasia de
237 epitélio tubular acompanhando atrofia tubular, bem como atrofia glomerular são
238 relatadas após vários meses de exposição em ratos. A hiperplasia epitelial não
239 é regenerativa, mas acompanhada de aumento no número de mitoses e
240 desenvolvimento de neoplasias (Nolan e Shaik, 1992). Em humanos, relata-se
241 ainda associação entre a exposição crônica e o desenvolvimento de adenoma e
242 adenocarcinoma renal (Goyer, 1989).

243 2.3.4 Mercúrio

244 Cerca de 80% do mercúrio biodisponível está na forma metálica e é
245 usualmente proveniente de combustíveis fósseis, mineração, fundição e demais
246 atividades antrópicas, naturalmente é proveniente de vulcões e
247 incêndios (Gupta *et al.*, 2018). É considerado um dos poluentes mais
248 importantes encontrados no meio ambiente (Manahan, 1993).

249 Sendo um elemento lipossolúvel tem elevada capacidade de bioacumulação
250 nos organismos vivos (Nikinmaa, 2014), é bem absorvido pelo trato gastro
251 intestinal a depender da forma de apresentação, sendo rapidamente distribuído
252 no organismo e acumulando predominantemente nos rins (Gupta *et al.*, 2018) .

253 Os efeitos tóxicos da intoxicação por mercúrio são inúmeros e dependentes
254 da forma de apresentação, tempo de exposição e sensibilidade do órgão afetado,
255 o sistema nervoso central é especialmente sensível à forma orgânica e os rins
256 são sensíveis às formas orgânicas e inorgânicas, tendo resposta dose
257 dependente à ação do metal (Gupta *et al.*, 2018). Sinais neurológicos,
258 gastrointestinais e defeitos do desenvolvimento são frequentes em animais
259 intoxicados por mercúrio (Manahan, 1993). Concentrações acima de 100 mg. kg⁻¹
260 são associadas a efeitos tóxicos em mamíferos marinhos (Wagemann e Muir,
261 1984) Concentrações muito elevadas (4250 mg. kg⁻¹) foram relatadas em
262 golfinhos nariz de garrafa (*Tursiops truncatus*) da região do Mediterrâneo
263 (Frodello *et al.*, 2000)

264 Em cetáceos grandes concentrações hepáticas de mercúrio são esperadas
265 devido à capacidade de bioacumulação nos tecidos e a biomagnificação que
266 esse elemento apresenta (Legat e Lailson-Brito, 2010), nota-se ainda uma maior
267 resistência desses animais aos efeitos tóxicos do Hg (Wintle *et al.*, 2011).
268 Algumas espécies de cetáceos tendem a apresentar maiores concentrações de
269 Hg em decorrência de uma maior quantidade desse elemento em tecidos de
270 peixes que compõe a dieta desses animais (Araújo e Cedeño-Macias, 2016).

271 Bennet *et al.* (2011) relataram que a concentração média de mercúrio,
272 selênio, a relação mercúrio:selênio e o zinco foram significativamente maiores
273 em toninha comum (*Phocoena phocoena*) que morreram de causas infecciosas
274 (20 mg. Kg⁻¹) em comparação a animais que morreram por traumatismos (12 mg.
275 Kg⁻¹). Recentemente, em episódio de elevada mortalidade de golfinhos nariz de
276 garrafa (*S. guianensis*) no Rio de Janeiro em decorrência de surto de morbilivírus
277 observou-se redução significativa de selênio hepático nos animais infectados e

278 níveis elevados de mercúrio e metilmercúrio, sugerindo-se à associação da
279 morbilirose com intoxicação por metilmercúrio (Manhães et al., 2020).

Tabela 1. Média (\pm DP) de concentrações hepáticas (peso seco) de elementos traço não essenciais (Hg, Cd, Pb e As) em espécies de odontocetos encalhadas ao sul do Oceano Atlântico.

Espécie	Local (n)	Média (\pm DP) mg.kg ⁻¹				Referência
		Hg	Cd	Pb	As	
<i>Steno bredanensis</i>	Brasil (3)	253,85 (\pm 108,04)	1,13 (\pm 0,77)	0,27 (\pm 0,12)	0,98 (\pm 0,33)	Este artigo
	Brasil, RJ (3)	594,8 (\pm 200,3)	0,630 (\pm 0,380)	-	-	(Lemos <i>et al.</i> , 2013)
<i>Sotalia guianensis</i>	Brasil (32)	27,19 (\pm 49,67)	1,58 (\pm 5,23)	0,05 (\pm 0,07)	1,08 (\pm 1,40)	Este artigo
	Brasil, RJ (11)	47,88 (\pm 66,51)	0,047	-	-	(Lemos <i>et al.</i> , 2013)
	Brasil, SP/PR (22)	77 (\pm 107)	0,654 (\pm 0,752)	0,070 (\pm 0,053)	0,83 (\pm 0,32)	(Kunito <i>et al.</i> , 2004)
	Brasil, SP (21)*	-	-	10,56 (\pm 9,47)	-	(Salgado <i>et al.</i> , 2018)
	Brasil, RJ (21)	-	0,39 (\pm 0,37)	1,55 (\pm 0,75)	1,11 (\pm 0,58)	(Seixas, Tércia G <i>et al.</i> , 2009)
<i>Sotalia fluviatilis</i>	Brasil, CE (11)	4,62 (\pm 8,73)	0,22 (\pm 0,38)	0,11 (\pm 0,02)	-	(Monteiro-Neto <i>et al.</i> , 2003)
<i>Pontoporia blainvilei</i>	Brasil (54)	2,82 (\pm 4,67)	0,65 (\pm 1,0)	0,02 (\pm 0,10)	0,89 (\pm 0,55)	Este artigo
	Brasil, RJ (1)	1,1	0,53	-	-	(Lemos <i>et al.</i> , 2013)
	Brasil, RJ (18)	-	0,55 (\pm 0,97)	0,67 (\pm 0,45)	1,10 (\pm 0,79)	(Seixas, Tércia G <i>et al.</i> , 2009)
	Brasil, RS (44)	-	1934,33	-	-	(Dorneles <i>et al.</i> , 2007)
	Brasil, SP/PR (23)	3,5 (\pm 2,1)	0,404 (\pm 0,776)	0,026 (\pm 0,02)	1,2 (\pm 0,4)	(Kunito <i>et al.</i> , 2004)
	Argentina (1)	3,8(\pm 1,6)	3,3 (\pm 1,4)	-	-	(Marcovecchio <i>et al.</i> , 1990)
	Argentina (9)**	26,88 (\pm 22,25)	-	-	-	(Romero <i>et al.</i> , 2016)
<i>Stenella frontalis</i>	Brasil, SC (2)	186,69 (\pm 256,88)	26,25 (\pm 63,88)	0,02 (\pm 0,01)	0,54 (\pm 0,12)	Este artigo
	Brasil, SP/PR (2)	39 (\pm 230)	5,89 (\pm 56,0)	0,037 (\pm 5,12)	0,68 (\pm 0,71)	(Kunito <i>et al.</i> , 2004)
	Brasil, RJ (3)	137,3 (\pm 74,09)	8,13 (\pm 10,47)	-	-	(Lemos <i>et al.</i> , 2013)

	Brasil, RJ (4)	-	5,12 ($\pm 0,47$)	21,25 ($\pm 1,35$)	0,97 ($\pm 0,21$)	(Seixas, Tércia G <i>et al.</i> , 2009)
<i>Tursiops truncatus</i>	Brasil (8)	75,86 ($\pm 202,95$)	0,33 ($\pm 0,52$)	0,04 ($\pm 0,03$)	0,43 ($\pm 0,22$)	Este artigo
	Brasil, RJ (2)	123,9 ($\pm 150,7$)	<0,50	-	-	(Lemos <i>et al.</i> , 2013)
<i>Tursiops genphyreus</i>	Argentina (2)	86,0 ($\pm 7,3$)	0,8 ($\pm 0,2$)	-	-	(Marcovecchio <i>et al.</i> , 1990)
<i>Kogia beviceps</i>	Brasil (1)	14,433	12,942	0,034	1,48	Este artigo
	Argentina (1)	11,7	7,6	-	-	(Marcovecchio <i>et al.</i> , 1990)
<i>Lagenodelphis hosei</i>	Patagonia (6)*	-	61,93 ($\pm 51,4$)	-	-	(Durante <i>et al.</i> , 2020)
<i>Delphinus delphis</i>	Patagonia (32)*	-	47,67 ($\pm 26,5$)	-	-	(Durante <i>et al.</i> , 2020)

Legenda: (n) número de animais analisados; ** Apenas animais adultos foram incluídos; * Convertido para peso seco assumindo fator de conversão de 0,3 (yang,2003)

281 2.4 Cetáceos

282 Atualmente, cerca de 89 espécies de cetáceos foram registradas no mundo,
283 muitas com habitat e rotas migratórias bem estabelecidas (St. Leger *et al.*, 2018).
284 Foram observadas 17 diferentes espécies na costa do estado de Santa Catarina
285 (SC) (Simões-Lopes e Ximenez, 1993) e 29 têm sido observadas e registradas
286 na costa do estado de São Paulo, representando 63% das espécies brasileiras
287 de cetáceos (Santos *et al.*, 2010).

288 Espécies costeiras como o boto cinza (*Sotalia guianensis*) e a toninha
289 (*Pontoporia blainvilei*) são encontradas na América do Sul, podem ser
290 observados em grupos ou indivíduos isolados e alimentam-se
291 predominantemente de cefalópodes e peixes (Jefferson *et al.*, 2015). Apesar de
292 menos frequentemente observadas, espécies oceânicas e pelágicas como os
293 golfinhos nariz de garrafa (*Tursiops truncatus*) e os golfinhos de dentes rugosos
294 (*Steno bredanensis*) habitam o Oceano Atlântico Sul e podem ser encontrados
295 também próximo à costa (Jefferson *et al.*, 2015)

296 Assim como outras espécies de vida livre ou domésticas, os cetáceos
297 marinhos são frequentemente expostos a inúmeros agentes infecciosos, os
298 quais podem ser encontrados isolada ou concomitantemente, causando sinais
299 clínicos e podendo levar ao óbito (Casalone *et al.*, 2014). Juntamente com
300 estressores antrópicos as doenças crônicas e parasitárias afetam diretamente o
301 sistema imune e endócrino dos cetáceos, comprometendo sua reprodução e
302 promovendo a morte de muitos animais (Domiciano *et al.*, 2016).

303 Dentre as inúmeras possibilidades de agentes capazes de infectar mamíferos
304 marinhos, as morbiliviroses tem sido causa de morte massivas de cetáceos em

305 diversos países, mostrando-se uma causa epizootica de mortalidade nesses
306 animais (Bossart, 2011), cursando com imunossupressão e encefalite não
307 supurativa na maior parte dos casos (Domiciano *et al.*, 2016). Cepas de *Brucella*
308 spp. vem sendo isoladas de tecidos de mamíferos marinhos desde 1994
309 (Bossart, 2011), a qual tende a cursar com formação de abscessos, necrose
310 hepática e nodal, pneumonia e inflamação supurativa em diversos órgãos,
311 incluindo meninges (Buckle *et al.*, 2017), além de caracterizar uma doença
312 zoonótica, mesmo sem evidências de sinais clínicos em humanos infectados
313 com as cepas comumente isoladas de mamíferos marinhos (Bossart, 2011).

314 Inúmeras outras doenças infecciosas e parasitárias acometem os mamíferos
315 marinhos (Bossart, 2011), sendo as respiratórias de extrema importância em
316 cetáceos, devido à maior capacidade dos patógenos em se instalar nas vias
317 aéreas (St. Leger *et al.*, 2018). Além dos inúmeros agentes infecciosos e
318 parasitários que podem causar lesões graves e o óbito de mamíferos marinhos,
319 esses animais são sensíveis às alterações no ecossistema aquático (Bossart,
320 2011), uma vez que ocupam elevada posição na cadeia trófica, estando sujeitos
321 à intoxicação por bioacumulação além da exposição direta aos elementos
322 tóxicos ambientais, sendo considerados importantes sentinelas em relação à
323 carga tóxica do ecossistema marinho (Kendall *et al.*, 2016).

324 Tendo em vista a exposição aos poluentes ambientais e inúmeros patógenos
325 relacionados aos mamíferos marinhos, muitos de caráter zoonótico, é de suma
326 importância a elucidação dos mecanismos e interações, assim como as
327 alterações macroscópicas e microscópicas da ação dos poluentes ambientais
328 mais frequentes nesses animais.

329 **Referências**

- 330 BENNETT PM, JEPSON PD, LAW RJ, JONES BR, KUIKEN T, BAKER JR, ROGAN E, KIRKWOOD
331 JK. Exposure to heavy metals and infectious disease mortality in harbour porpoises from England and
332 Wales. *Environ Pollut.* 2001;112(1):33-40. doi: 10.1016/s0269-7491(00)00105-6.
333
334 BOSSART, G. Marine mammals as sentinel species for oceans and human health. v. 48, n. 3, p. 676-690,
335 2011. ISSN 0300-9858.
336
337 BUCKLE, K.; ROE, W. D.; HOWE, L.; MICHAEL, S.; DUIGNAN, P. J.; BURROWS, E.; HA, H. J.;
338 HUMPHREY, S.; MCDONALD, W. L. J. V. P. Brucellosis in endangered Hector's Dolphins
339 (*Cephalorhynchus hectori*). v. 54, n. 5, p. 838-845, 2017. ISSN 0300-9858.
340
341 BURUAEM, L. M.; HORTELLANI, M. A.; SARKIS, J. E.; COSTA-LOTUFO, L. V.; ABESSA, D. M. J.
342 M. P. B. Contamination of port zone sediments by metals from Large Marine Ecosystems of Brazil. v. 64,
343 n. 3, p. 479-488, 2012. ISSN 0025-326X.
344
345 CASALONE, C.; MAZZARIOL, S.; PAUTASSO, A.; DI GUARDO, G.; DI NOCERA, F.; LUCIFORA,
346 G.; LIGIOS, C.; FRANCO, A.; FICHI, G.; COCUMELLI, C. J. D. O. A. O. Cetacean strandings in Italy:
347 an unusual mortality event along the Tyrrhenian Sea coast in 2013. v. 109, n. 1, p. 81-86, 2014. ISSN 0177-
348 5103.
349
350 CIANCIOLO, R. E.; MOHR, F. C. Chapter 4 - Urinary System. In: MAXIE, M. G. (Ed.). **Jubb, Kennedy**
351 **& Palmer's Pathology of Domestic Animals: Volume 2 (Sixth Edition)**: W.B. Saunders, 2016. p.376-
352 464.e1. ISBN 978-0-7020-5318-4.
353
354 D'COSTA, A.; SHYAMA, S. K.; PRAVEEN KUMAR, M. K. Bioaccumulation of trace metals and total
355 petroleum and genotoxicity responses in an edible fish population as indicators of marine pollution.
356 **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 142, p. 22-28, 2017/08/01/ 2017. ISSN 0147-6513.
357 Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651317301938> >.
358
359 DERRAIK, J. G. B. The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. **Marine Pollution**
360 **Bulletin**, v. 44, n. 9, p. 842-852, 2002/09/01/ 2002. ISSN 0025-326X. Disponível em: <
361 <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X02002205> >.
362
363 DESFORGES JP, SONNE C, LEVIN M, SIEBERT U, DE GUISE S, DIETZ R. Immunotoxic effects of
364 environmental pollutants in marine mammals. *Environ Int.* 2016 86:126-39. doi:
365 10.1016/j.envint.2015.10.007.
366
367 DOMICIANO, I. G.; DOMIT, C.; BROADHURST, M. K.; KOCH, M. S.; BRACARENSE, A. P. F. J. P.
368 O. Assessing disease and mortality among small cetaceans stranded at a World Heritage Site in Southern
369 Brazil. v. 11, n. 2, p. e0149295, 2016. ISSN 1932-6203.
370
371 FRODELLO JP, ROMÉO M, VIALE D. Distribution of mercury in the organs and tissues of five toothed-
372 whale species of the Mediterranean. *Environ Pollut.* 2000 Jun;108(3):447-52. doi: 10.1016/s0269-
373 7491(99)00221-3. PMID: 15092940.
374
375 GARLAND, T. Chapter 23 - Arsenic. In: GUPTA, R. C. (Ed.). **Veterinary Toxicology (Third Edition)**:
376 Academic Press, 2018. p.411-415. ISBN 978-0-12-811410-0.
377
378 GOYER RA. Mechanisms of lead and cadmium nephrotoxicity. *Toxicol Lett.* 1989 46(1-3):153-62. doi:
379 10.1016/0378-4274(89)90124-0.
380
381 GUADALUPE MENICONI, M. D. F.; GABARDO, I. T.; CARNEIRO, M. E. R.; BARBANTI, S. M.; DA
382 SILVA, G. C.; MASSONE, C. G. Brazilian Oil Spills Chemical Characterization--Case Studies.
383 **Environmental Forensics**, v. 3, n. 3-4, p. 303-321, 2002/01/01 2002. ISSN 1527-5922. Disponível em: <
384 <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/713848377> >.
385

386 GUPTA, R. C.; MILATOVIC, D.; LALL, R.; SRIVASTAVA, A. Chapter 31 - Mercury. In: GUPTA, R.
387 C. (Ed.). **Veterinary Toxicology (Third Edition)**: Academic Press, 2018. p.455-462. ISBN 978-0-12-
388 811410-0.

389

390 HOOSER, S. B. Chapter 24 - Cadmium. In: GUPTA, R. C. (Ed.). **Veterinary Toxicology (Third Edition)**:
391 Academic Press, 2018. p.417-421. ISBN 978-0-12-811410-0.

392

393 IBGE. **Atlas geográfico das zonas costeiras e oceânicas do Brasil**. GEOCIÊNCIAS, D. D. Rio de Janeiro:
394 176 p. 2011.

395

396 JEFFERSON, T. A.; WEBBER, M. A.; PITMAN, R. L. 4 - Cetaceans. In: JEFFERSON, T. A.;WEBBER,
397 M. A., *et al* (Ed.). **Marine Mammals of the World (Second Edition)**. San Diego: Academic Press, 2015.
398 p.24-357. ISBN 978-0-12-409542-7.

399

400 KENDALL, R. J.; LACHER, T. E.; COBB, G. C.; COX, S. B. **Wildlife toxicology: emerging**
401 **contaminant and biodiversity issues**. CRC Press, 2016. ISBN 1439817952.

402

403 MANAHAN, S. E. **Fundamentals of environmental chemistry**. Chelsea, MI (United States); Lewis
404 Publishers; None, 1993. Medium: X; Size: Pages: (269 p) ISBN None; Other: ISBN: 0-87371-587-X United
405 States Other: ISBN: 0-87371-587-X Lewis Publishers, 121 South Main St., P.O. Drawer 519, Chelsea, MI
406 48118 (United States) NOV English.

407

408 MANHÃES BMR, SANTOS-NETO EB, TOVAR LR, GUARI EB, FLACH L, KASPER D, GALVÃO
409 PMA, MALM O, GONÇALVES RA, BISI TL, AZEVEDO AF, LAILSON-BRITO J. Changes in mercury
410 distribution and its body burden in delphinids affected by a morbillivirus infection: Evidences of
411 methylmercury intoxication in Guiana dolphin. *Chemosphere*. 2021 Jan;263:128286. doi:
412 10.1016/j.chemosphere.2020.128286. Epub 2020 Sep 13. PMID: 33297230.

413

414 MARTIN, J.; SABATIER, Q.; GOWAN, T. A.; GIRAUD, C.; GURARIE, E.; CALLESON, C. S.;
415 ORTEGA-ORTIZ, J. G.; DEUTSCH, C. J.; RYCYK, A.; KOSLOVSKY, S. M. J. M. I. E.; EVOLUTION.
416 A quantitative framework for investigating risk of deadly collisions between marine wildlife and boats. v.
417 7, n. 1, p. 42-50, 2016. ISSN 2041-210X.

418

419 MOURA, R. Brazilian reefs as priority areas for biodiversity conservation in the Atlantic Ocean.
420 Proceeding of the 9th International Coral Reef Symposium, Bali, Indonesia, 2002. p.917-920.

421

422 NICOLODI, J. L.; PETTERMANN, R. J. J. O. C. R. Vulnerability of the Brazilian coastal zone in its
423 environmental, social, and technological aspects. p. 1372-1379, 2011. ISSN 0749-0208.

424

425 NIKINMAA, M. Chapter 2 - What Causes Aquatic Contamination? In: NIKINMAA, M. (Ed.). **An**
426 **Introduction to Aquatic Toxicology**. Oxford: Academic Press, 2014. p.19-39. ISBN 978-0-12-411574-
427 3.

428

429 NOLAN CV, SHAIKH ZA. Lead nephrotoxicity and associated disorders: biochemical mechanisms.
430 *Toxicology*. 1992;73(2):127-46. doi: 10.1016/0300-483x(92)90097-x.

431

432 NORTHRIDGE, S. Fisheries Interactions. In: WÜRSIG, B.;THEWISSEN, J. G. M., *et al* (Ed.).
433 **Encyclopedia of Marine Mammals (Third Edition)**: Academic Press, 2018. p.375-383. ISBN 978-0-
434 12-804327-1.

435

436 PETROBRAS. Petróleo Brasileiro S.A. Comunicados e Fatos relevantes. 2020. Disponível em: <
437 <https://petrobras.com.br/pt/> >.

438

439 READ, A. J.; DRINKER, P.; NORTHRIDGE, S. J. C. B. Bycatch of marine mammals in US and global
440 fisheries. v. 20, n. 1, p. 163-169, 2006. ISSN 0888-8892.

441

442 ROSA C, BLAKE JE, BRATTON GR, DEHN LA, GRAY MJ, O'HARA TM. Heavy metal and mineral
443 concentrations and their relationship to histopathological findings in the bowhead whale (*Balaena*
444 *mysticetus*). *Sci Total Environ*. 2008 399(1-3):165-78. doi: 10.1016/j.scitotenv.2008.01.062.

445

446 SANTOS, M. C. D. O.; SICILIANO, S.; VICENTE, A. F. D. C.; ALVARENGA, F. S.; ZAMPIROLI,
447 É.; SOUZA, S. P. D.; MARANHO, A. J. B. J. O. O. Cetacean records along São Paulo state coast,
448 southeastern Brazil. v. 58, n. 2, p. 123-142, 2010. ISSN 1679-8759.
449

450 SIMÕES-LOPES, P. C.; XIMENEZ, A. J. B. Annotated list of the cetaceans of Santa Catarina coastal
451 waters, southern Brazil. v. 6, n. 1, p. 67-92, 1993. ISSN 2175-7925.
452

453 ST. LEGER, J.; RAVERTY, S.; MENA, A. Chapter 22 - Cetacea. In: TERIO, K. A.; MCALOOSE, D., *et*
454 *al* (Ed.). **Pathology of Wildlife and Zoo Animals**: Academic Press, 2018. p.533-568. ISBN 978-0-12-
455 805306-5.
456

457 THOMPSON, L. J. Chapter 29 - Lead. In: GUPTA, R. C. (Ed.). **Veterinary Toxicology (Third Edition)**:
458 Academic Press, 2018. p.439-443. ISBN 978-0-12-811410-0.
459

460 WAGEMANN, R., MUIR, D.C.G., 1984. Concentrations of heavy metals and organochlorines in marine
461 mammals of northern waters: overview and evaluation. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 1279, v+97
462

463 WELLS, R. S.; SCOTT, M. D. J. M. M. S. Seasonal incidence of boat strikes on bottlenose dolphins near
464 Sarasota, Florida. v. 13, n. 3, p. 475-480, 1997. ISSN 0824-0469.
465

466 WERNER, T. B.; NORTHRIDGE, S.; PRESS, K. M.; YOUNG, N. J. I. J. O. M. S. Mitigating bycatch and
467 depredation of marine mammals in longline fisheries. v. 72, n. 5, p. 1576-1586, 2015. ISSN 1095-9289.
468

469 ZHANG, L.; NI, Z.; WU, Y.; ZHAO, C.; LIU, S.; HUANG, X. Concentrations of porewater heavy metals,
470 their benthic fluxes and the potential ecological risks in Daya Bay, South China. **Marine Pollution**
471 **Bulletin**, v. 150, p. 110808, 2020/01/01/ 2020. ISSN 0025-326X. Disponível em: <
472 <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X19309646>>.
473
474

475 **9. Hipótese**

476 É possível observar e estabelecer relação entre características
477 anatomopatológicas renais e a concentração hepática de elementos traço
478 em cetáceos encalhados na costa de São Paulo, Paraná e Santa Catarina.

479 **10. Objetivos**

480 **5.1 Objetivo geral**

481 Relacionar características anatomopatológicas renais de
482 odontocetos e a presença de elementos traço não essenciais em variadas
483 concentrações hepáticas de animais encalhados na costa de São Paulo,
484 Paraná e Santa Catarina.

485 **5.2 Objetivos específicos**

- 486 • Analisar e tabular dados anatomopatológicos e concentrações de
487 elementos traço não essenciais, de domínio público, em
488 odontocetos encalhados nos litorais de São Paulo, Paraná e Santa
489 Catarina;
- 490 • Tabular a quantificação de elementos traço presentes em amostras
491 hepáticas de cetáceos encalhados na costa de São Paulo, Paraná
492 e Santa Catarina;
- 493 • Analisar e descrever as características histológicas de rins de
494 cetáceos odontocetos analisados para concentração de elementos
495 traço encalhados no litoral do Paraná;
- 496 • Identificar alterações anatomopatológicas microscópicas em tecido
497 renal de odontocetos encalhados no litoral do Paraná, Brasil,
498 utilizando histoquímicas especiais.

- 499
- 500
- 501
- 502
- Relacionar alterações císticas renais observadas em *Steno bredanensis* encalhados no litoral do Paraná com características anatomopatológicas de doença renal policística em outras espécies de mamíferos.

- 503 • **Artigo 1 – Alterações renais e concentração de elementos traço**
504 **não essenciais em odontocetos encalhados no litoral sul do**
505 **Atlântico.**

506 **Resumo**

507 Cetáceos podem estar expostos a concentrações elevadas de elementos
508 traço devido aos crescentes impactos antrópicos. Elementos não essenciais
509 podem induzir toxicidade no rim de diferentes espécies marinhas. O objetivo
510 deste estudo foi avaliar a ocorrência de lesões renais e as concentrações de
511 mercúrio, cádmio, chumbo e arsênio em cetáceos encalhados no litoral Atlântico
512 sul, abrangendo os estados de São Paulo (SP), Paraná (PR) e Santa Catarina
513 (SC), no período de setembro de 2015 a dezembro de 2019. Para tanto, foram
514 utilizados dados epidemiológicos, histopatológicos e de concentração hepática
515 de elementos traço, disponíveis na plataforma pública do Sistema de Informação
516 de Monitoramento da Biota Aquática (SIMBA). Adicionalmente, fragmentos de
517 rim de animais oriundos do Paraná foram reavaliados histologicamente. No
518 período do estudo 108 animais apresentaram os dados para inclusão (73 de SP,
519 20 de SC e 15 do PR), sendo 48 fêmeas e 60 machos. As espécies mais
520 frequentes foram toninha (*Pontoporia blainvillei*) (54/108) e boto cinza (*Sotalia*
521 *guianensis*) (32/108) e houve predomínio de animais imaturos (60,19%). As
522 alterações renais mais frequentes foram congestão (59/108), necrose tubular
523 aguda (38/108), e atrofia glomerular com espessamento da cápsula de Bowman
524 (11/108). Os botos cinzas apresentaram maior frequência de lesões. As
525 concentrações hepáticas médias obtidas foram 39,52 mg.kg⁻¹, 3,69 mg.kg⁻¹, 0,04
526 mg.kg⁻¹ e 0,89mg.kg⁻¹ para mercúrio, cádmio, chumbo e arsênio,
527 respectivamente. Elevadas concentrações de mercúrio foram observadas em
528 animais que apresentavam atrofia glomerular e espessamento da cápsula de
529 Bowman (63,68 mg.kg⁻¹) e cilindros hialinos (89,37 mg.kg⁻¹), enquanto as
530 maiores concentrações de cádmio ocorreram em animais com nefrite intersticial
531 linfocítica (5,16 mg.kg⁻¹) e cilindros hialinos (5,23 mg.kg⁻¹). Animais sem
532 alterações renais também apresentaram concentrações elevadas de Hg (49,56
533 mg.kg⁻¹) e Cd (11,16 mg.kg⁻¹). Setenta e três por cento dos animais avaliados
534 apresentaram algum tipo de alteração renal, sendo Hg e Cd os elementos traço
535 não essenciais com maiores concentrações hepáticas e havendo significância
536 entre as concentrações de Hg e a presença de cilindros hialinos e a
537 concentração de Pb e a presença de uma ou mais lesões tubulares e/ou
538 glomerulares. Os resultados deste estudo sugerem que a exposição aos metais
539 não essenciais, pode contribuir com as lesões renais. A avaliação sistemática dos
540 animais permitiu conhecer as alterações renais mais frequentes assim como as
541 concentrações de elementos traço em espécies costeiras e oceânicas
542 encalhadas no Atlântico Sul.

543 **Palavras-chave:** contaminantes ambientais, histopatologia, metais traço,
544 pequenos cetáceos, rins, toxicidade.

Abstract

546 Cetaceans may be exposed to high concentrations of trace elements due
547 to increasing anthropic impacts. Non-essential elements can induce kidney
548 toxicity in different marine species. The objective of this study was to evaluate
549 the occurrence of kidney injuries and the concentrations of mercury,
550 cadmium, lead and arsenic in stranded cetaceans on the south Atlantic coast,
551 covering the states of São Paulo (SP), Paraná (PR) and Santa Catarina (SC)
552 , from September 2015 to December 2019. For this purpose, epidemiological,
553 histopathological and hepatic concentration of trace elements data, available
554 on the public platform of the Aquatic Biota Monitoring Information System
555 (SIMBA), were used. Additionally, kidney fragments from animals from
556 Paraná were reassessed histologically. During the study period, 108 animals
557 presented data for inclusion (73 from SP, 20 from SC and 15 from PR), 48
558 females and 60 males. The most frequent species were porpoise (*Pontoporia*
559 *blainvillei*) (54/108) and gray porpoise (*Sotalia guianensis*) (32/108) and there
560 was a predominance of immature animals (60.19%). The most frequent renal
561 changes were congestion (59/108), acute tubular necrosis (38/108), and
562 glomerular atrophy with thickening of the Bowman's capsule (11/108). Gray
563 porpoises showed a higher frequency of injuries. The average liver
564 concentrations obtained were 39.52 mg.kg⁻¹, 3.69 mg.kg⁻¹, 0.04 mg.kg⁻¹ and
565 0.89 mg.kg⁻¹ for mercury, cadmium, lead and arsenic, respectively. High
566 concentrations of mercury were observed in animals that had glomerular
567 atrophy and thickening of the Bowman's capsule (63.68 mg.kg⁻¹) and hyaline
568 cylinders (89.37 mg.kg⁻¹), while the highest concentrations of cadmium
569 occurred in animals with lymphocytic interstitial nephritis (5.16 mg.kg⁻¹) and
570 hyaline cylinders (5.23 mg.kg⁻¹). Animals without renal changes also showed
571 high concentrations of Hg (49.56 mg.kg⁻¹) and Cd (11.16 mg.kg⁻¹). Seventy-
572 three percent of the animals evaluated showed some type of renal
573 impairment, with Hg and Cd being the non-essential trace elements with
574 higher hepatic concentrations and with significance between the
575 concentrations of Hg and the presence of hyaline cylinders and the
576 concentration of Pb and the presence one or more tubular and / or glomerular
577 lesions. The results of this study suggest that exposure to non-essential
578 metals may contribute to kidney damage. The systematic evaluation of the
579 animals allowed to know the most frequent kidney changes as well as the
580 concentrations of trace elements in coastal and oceanic species stranded in
581 the South Atlantic.

582 **Key words:** Environmental contaminants, histopathology, trace elements, small
583 cetaceans, kidneys, toxicity.

585 **Introdução**

586 Os cetáceos estão constantemente expostos à uma variedade de agentes
587 infecciosos e à poluentes de origem antrópica que afetam diretamente a saúde
588 e reprodução desses animais (Casalone *et al.*, 2014; Domiciano *et al.*, 2016).

589 Nas últimas décadas estudos relacionados a presença de substâncias com
590 potencial toxicidade à saúde dos cetáceos têm se acumulado (Reijnders *et al.*,
591 2009; Balmer *et al.*, 2015; Koch *et al.*, 2018; Page-Karjian *et al.*, 2020). Os rins,
592 além da osmoregulação, desempenham importante função na detoxificação de
593 substâncias (Ortiz, 2001; Sato e Kondoh, 2002). Lesões renais associadas à
594 exposição a elementos traço foram relatadas em animais selvagens (Beiglböck
595 *et al.*, 2002; Durkalec *et al.*, 2015), animais de produção (Korsrud *et al.*, 1985) e
596 seres humanos (Sabath e Robles-Osorio, 2012). Em cetáceos, estudos
597 retrospectivos têm evidenciado a associação entre níveis elevados de elementos
598 traço e alterações renais (Lavery *et al.* 2009, Rosa *et al.*, 2008, Sonne *et al.*, 2010,
599 2013).

600 Os elementos traço são compostos de metais e metaloides provenientes de
601 fontes naturais biodisponíveis no ambiente, entretanto podem ser resultado de
602 diversas atividades antrópicas, sendo considerados importantes poluentes
603 ambientais (Manahan, 1993). Estes elementos aumentam sua biodisponibilidade
604 no ambiente marinho (Dorneles *et al.*, 2007) e podem bioacumular em tecidos
605 de espécies vivas. Dessa forma, quanto maior o nível na cadeia trófica, maior a
606 possibilidade de absorção e acúmulo nos tecidos (Kendall *et al.*, 2016).

607 Apesar de muitos elementos traço comporem reações fisiológicas nos
608 organismos animais e vegetais, há aqueles que não apresentam nenhuma

609 função fisiológica, sendo classificados como não essenciais, dentre os quais o
610 arsênio (As), cádmio (Cd), chumbo (Pb) e mercúrio (Hg) que podem ter efeitos
611 nefrotóxicos em animais domésticos e selvagens (Manahan, 1993; Beiglböck *et*
612 *al.*, 2002; Cianciolo e Mohr, 2016).

613 Diversos estudos vêm sendo conduzidos com o intuito de quantificar os
614 elementos traço em tecidos de cetáceos, visando identificar a carga de poluentes
615 ambientais e a capacidade de acúmulo e detoxificação em diferentes órgãos
616 desses animais (Marcovecchio *et al.*, 1990; Parsons, 1999; Cornaglia *et al.*,
617 2000; Seixas, Tércia G *et al.*, 2009; Shoham-Frider *et al.*, 2014; Romero *et al.*,
618 2016). A região litorânea que compreende os estados de São Paulo, Paraná e
619 Santa Catarina, no sudeste e sul do Brasil, tem sido objeto de interesse de
620 monitoramento ambiental devido à recente exploração de petróleo na Bacia de
621 Santos (Petrobras, 2020). Considerando que esta atividade tem potencial efeito
622 poluente, estudos sistematizados que avaliem as concentrações de elementos
623 traço não essenciais e alterações teciduais em cetáceos são necessários para
624 avaliar o impacto das atividades antrópicas no ecossistema e na saúde dos
625 animais marinhos. Este trabalho teve por objetivo caracterizar as alterações
626 histológicas nos rins de cetáceos encalhados nos litorais do Paraná, São Paulo
627 e Santa Catarina e avaliar a possível associação com as concentrações
628 hepáticas de mercúrio, chumbo, arsênio e cádmio.

640 A fase 1 do PMP-BS abrange 800 km de litoral dos estados de São Paulo,
641 Paraná e Santa Catarina, desde a cidade de Ubatuba, SP (23°26'2"S –
642 45°5'9"O) até a cidade de Laguna, SC (28°28'57"S – 48°46'51"O). O projeto tem
643 como objetivo monitorar a saúde e os impactos gerados pela atividade
644 petrolífera em aves, tartarugas e mamíferos marinhos.

645 Foram selecionados para o estudo, cetáceos da subfamília *Odontoceti*,
646 encalhados no litoral do Paraná, Santa Catarina e São Paulo, no período de
647 setembro de 2015 a agosto de 2019, que tenham sido autopsiados, com
648 condição de carcaça 2 (fresca) ou 3 (moderada autólise), de todas as espécies,
649 sexo, idade, maturidade sexual e condição corporal, dos quais tenham sido
650 colhidas amostras hepáticas para mensuração e análise de elementos traço e
651 amostras de rim para avaliação histopatológica.

652 As informações referentes aos animais encalhados, assim como o
653 resultado da quantificação dos elementos traço e análise histopatológica foram
654 obtidas da base de dados SIMBA (Sistema de Informação de Monitoramento da
655 Biota Aquática), a qual encontra-se online e disponível para consulta pública.

656 ***b. Análise histopatológica***

657 Foi realizada a autópsia dos animais, na qual foram colhidos fragmentos
658 de tecido renal, medindo aproximadamente 2,0 cm³. As amostras foram
659 acondicionadas em solução formalina a 10% por pelo menos 48 horas para
660 fixação do tecido. Foi realizada clivagem macroscópica e acondicionamento dos
661 fragmentos em cassetes histológicos mantidos em álcool 70%. Em seguida, as
662 amostras foram submetidas à desidratação, diafanização e parafinização em
663 processador automático de tecidos utilizando banhos progressivos de álcool,

664 xilol e parafina em estado líquido, respectivamente. As amostras processadas
665 foram então incluídas em parafina e os blocos mantidos sob refrigeração para
666 posterior clivagem em micrótomo com espessura de 5µm. As amostras foram
667 deitadas em lâminas histológicas que permaneceram em estufa por 4 horas
668 para o derretimento da parafina, sendo então mantidas em temperatura
669 ambiente. Por fim, foi realizada a coloração com hematoxilina e eosina (HE) e a
670 montagem com lamínula e resina sintética, após a qual foram submetidas à
671 avaliação microscópica em microscópio óptico.

672 As amostras dos animais encalhados no litoral do Paraná foram
673 reavaliadas e submetidas a colorações especiais de Ácido Periódico de Shiff –
674 McManus (PAS-McManus) e tricrômico de Masson e analisadas sob
675 microscópio óptico.

676 ***c. Análise de elementos traço***

677 A análise de elementos traço foi realizada pelo Centro de Estudos
678 Ambientais da Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho - Campus Rio
679 Claro (CEA/UNESP), utilizando amostras hepáticas de no mínimo 5,0 g in
680 natura, colhidas durante a autópsia e mantidas refrigeradas até o
681 processamento. Os elementos analisados foram: arsênio (As), cádmio (Cd),
682 chumbo (Pb) e mercúrio (Hg).

683 As amostras foram liofilizadas e armazenadas em dessecador
684 pressurizado, até serem submetidas ao procedimento de digestão, pelo método
685 baseado no protocolo EPA 3051. Foi utilizado digestor de amostra assistido por
686 micro-ondas. As determinações dos elementos (As, Cd e Pb) tem como base o
687 protocolo Environmental Protection Agency - EPA 6020A. (EPA, 13 1998), e
688 para determinação de Hg, o método utilizado tem como base os protocolos EPA

689 245.7 e 7474. Todos os valores encontram-se disponíveis para consulta pública
690 na base de dados SIMBA.

691 *d. Análise estatística*

692 A análise estatística foi realizada no programa Excel.Ink para
693 determinação das médias, medianas, desvio padrão e concentrações mínimas
694 e máximas de cada elemento e IBM SPSS Statistics, versão 20, no qual os os
695 dados referentes à concentração de elementos traço entre os estados e a
696 presença ou ausência de lesão renal, assim como alterações tubulares e
697 glomerulares (necrose tubular aguda, presença de cilindros hialinos e atrofia
698 glomerular com espessamento da cápsula de Bowman), em relação aos
699 elementos traço foram individualmente analisados pelos testes de Shapiro-Wilk
700 e U de Mann-Whitney. O nível de significância foi de $p < 0,05$.

701 **Resultados**

702 *Dados epidemiológicos*

703 Dentre os 108 animais analisados nove diferentes espécies foram
704 avaliadas (Tabela 1), com predomínio de exemplares com hábitos predominante
705 ou estritamente costeiros, compreendendo 80,56% do total de indivíduos
706 (87/108), sendo as toninhas (*Pontoporia blainvillei*), representando 62,07%
707 (54/87) e os botos cinza (*Sotalia guianensis*), representados por 36,78% (32/87)
708 as espécies mais prevalentes. Dos 21 animais com hábitos predominantemente
709 pelágicos ou oceânicos (19,44%), houve predomínio dos golfinhos-nariz-de-
710 garrafa (*Tursiops truncatus*), representando 38,10% (8/21), golfinho pintado do
711 Atlântico (*Stenella frontalis*), representando 33,33% (7/21) e golfinhos de dentes
712 rugosos (*Steno bredanensis*), representando 14,29% (3/21) das espécies
713 oceânicas e pelágicas. Em relação ao sexo 44,44% (48/108) dos animais eram

714 fêmeas e 55,56% (60/108) machos. Sessenta e cinco animais (60,19%) eram
 715 imaturos, 22 sexualmente maduros (20,37%) e em 21 (19,44%) a maturidade
 716 não foi conclusiva ou informada.

Tabela 1. Dados epidemiológicos (número de indivíduos, sexo e maturidade sexual) dos odontocetos encalhados no Atlântico Sul (SP, PR e SC), nos anos de 2015 a 2019.

Espécie (n)	Sexo		Maturidade sexual		
	Fêmea	Macho	Imaturo	Maduro	Inconclusivo/ NI
Toninha (<i>Pontoporia blainvillei</i>) (54)	26	28	32	7	15
Boto cinza (<i>Sotalia guianensis</i>) (32)	13	19	21	9	2
Golfinho de óculos (<i>Phocoena dióptrica</i>) (1)	0	1	0	1	0
Golfinho nariz de garrafa (<i>Tursiops truncatus</i>) (8)	5	3	6	1	1
Golfinho pintado do Atlântico (<i>Stenella frontalis</i>) (7)	1	6	3	2	2
Golfinho de dentes rugosos (<i>Steno bredanensis</i>) (3)	1	2	2	1	0
Golfinho pintado Pantropical (<i>Stenella attenuata</i>) (1)	1	0	0	1	0
Golfinho rotador (<i>Stenella longirostris</i>) (1)	0	1	1	0	0
Cachalote pigmeu (<i>Kogia beviceps</i>) (1)	1	0	0	0	1
Total (108)	48	60	65	22	21

Legenda: (n) número de indivíduos; (NI) não informado.

717

718 *Alterações histológicas e elementos traço*

719 As alterações renais (Tabela 2) mais frequentemente observadas foram
 720 congestão (54,63%), necrose tubular aguda (30,56%) (Figura 2) e atrofia
 721 glomerular (10,18%) (Figura 3). A atrofia glomerular era acompanhada de
 722 espessamento da cápsula de Bowman, dilatação do espaço glomerular e
 723 presença de material eosinofílico e homogêneo no espaço glomerular. Lesões
 724 menos frequentes foram nefrite linfocítica intersticial multifocal e presença de
 725 cilindros hialinos.

Tabela 2. Alterações histopatológicas observadas em rins de odontocetos encalhados no litoral sul do Atlântico (SP, PR e SC) com mensuração hepática de elementos traço não essenciais entre os anos de 2015 e 2019

Alteração microscópica	Estado			Total
	PR	SC	SP	
Congestão	15/15	2/20	42/73	59/108
Necrose tubular aguda	8/15	1/20	29/73	38/108
Atrofia glomerular e espessamento da cápsula de Bowman	11/15	0/20	0/73	11/108
Nefrite linfocítica intersticial	6/15	0/20	2/73	8/108
Presença de cilindros hialinos	3/15	0/20	3/73	6/108
Fibrose	2/15	0/20	1/73	3/108
Granuloma	2/15	0/20	0/73	2/108
Calcificação	0/15	0/20	1/73	1/108

726

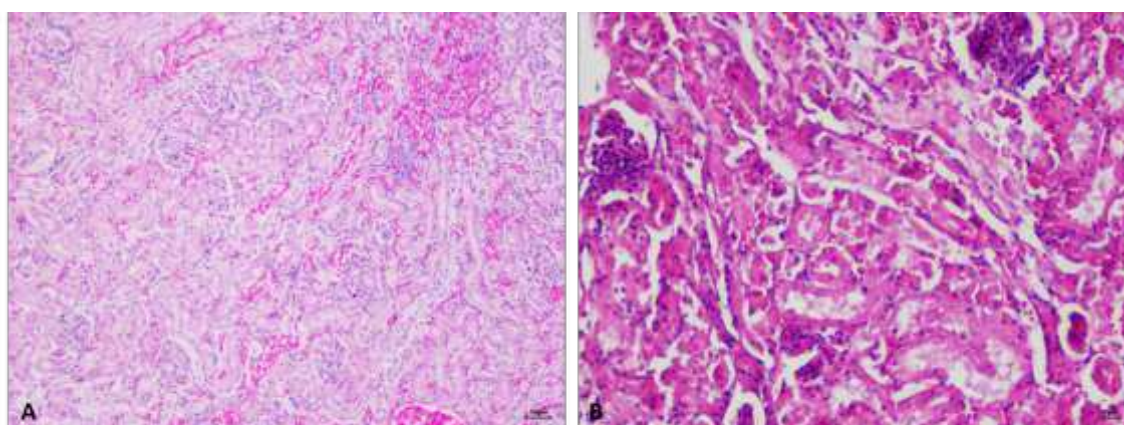


Figura 2. *S. guianensis*, rim. A) HE| 50 μ m. Congestão difusa acentuada. B) HE| 20 μ m. Necrose tubular aguda multifocal moderada, composta por células de citoplasma eosinofílico, por vezes vacuolizado, frequentemente apresentando núcleos picnóticos e hiper cromáticos.

727

728

729 As concentrações médias dos elementos traço foram de 39,52 (\pm 114,63),
730 0,04 (\pm 0,06), 0,90 (\pm 0,88) e 3,69 (\pm 19,46) para mercúrio, chumbo, arsênio e
731 cádmio, respectivamente. As concentrações médias por lesão estão dispostas
732 na Tabela 3. Os animais sexualmente maduros apresentaram maiores
733 concentrações médias de mercúrio, cádmio, arsênio e chumbo (130,057 mg.kg⁻¹,
734 1, 9,509 mg.kg⁻¹, 0,793 mg.kg⁻¹ e 0,042 mg.kg⁻¹, respectivamente) em relação
735 aos animais imaturos, que apresentaram concentrações médias de Hg, Cd, As

736 e Pb 14,385 mg.kg⁻¹, 0,803 mg.kg⁻¹, 0,793 mg.kg⁻¹ e 0,042 mg.kg⁻¹,
 737 respectivamente.

Tabela 3. Médias (±DP) das quantificações de elementos traço não essenciais hepático em cada uma das alterações histológicas renais observadas em odontocetos encalhados no litoral Atlântico Sul (SP, PR e SC), nos anos de 2015 a 2019.

Alteração microscópica (n)	Média (± DP)			
	Hg	Pb	As	Cd
Congestão (59)	27,27 (±89,04)	0,05 (±0,07)	0,86 (±0,90)	0,61 (±0,90)
Necrose tubular aguda (38)	21,87 (±83,15)	0,03 (±0,03)	0,78 (±0,44)	1,32 (±2,28)
Atrofia glomerular e espessamento da cápsula de Bowman (11)	63,68 (±171,11)	0,03 (±0,03)	0,69 (±0,23)	0,50 (±0,45)
Nefrite linfocítica intersticial (8)	63,42 (±125,55)	0,08 (±0,11)	1,57 (±2,70)	5,16 (±10,57)
Presença de cilindros hialinos (6)	89,37 (±138,34)	0,10 (±0,13)	1,99 (±3,07)	5,24 (±10,52)
Fibrose (3)	9,85 (±8,19)	0,09 (±0,07)	0,81 (±0,23)	0,33 (±0,20)
Granuloma (2)	1,11 (±0,76)	0,02 (±0,00)	0,72 (±0,07)	0,08
Calcificação (1)	363,46	0,02	0,7	3,57
Sem alterações (29)	49,56 (±144,61)	0,03 (±0,01)	0,77 (±0,62)	11,16 (±38,98)

738

739 A maior concentração média de cádmio [5,235 mg.kg⁻¹ (±10,522)] foi
 740 observada nos animais que apresentavam cilindros hialinos, seguido por nefrite
 741 linfocítica intersticial [5,164 mg.kg⁻¹ (±10,571)]. Os animais com atrofia
 742 glomerular e espessamento da cápsula de Bowman (Figura 3) apresentaram a
 743 segunda maior concentração média de mercúrio hepático [63,684 mg.kg⁻¹
 744 (±171,108)], sendo menor apenas que naqueles com cilindros hialinos [89,370
 745 mg.kg⁻¹ (±138,342)] (Figura 2) e com calcificação (363,457 mg.kg⁻¹). Os 29
 746 animais (26,85%) que não possuíam alteração histológica apresentaram
 747 concentrações médias de Hg e Cd de 49,559 mg.kg⁻¹ e 11,162 mg.kg⁻¹,
 748 respectivamente (Tabela 3).

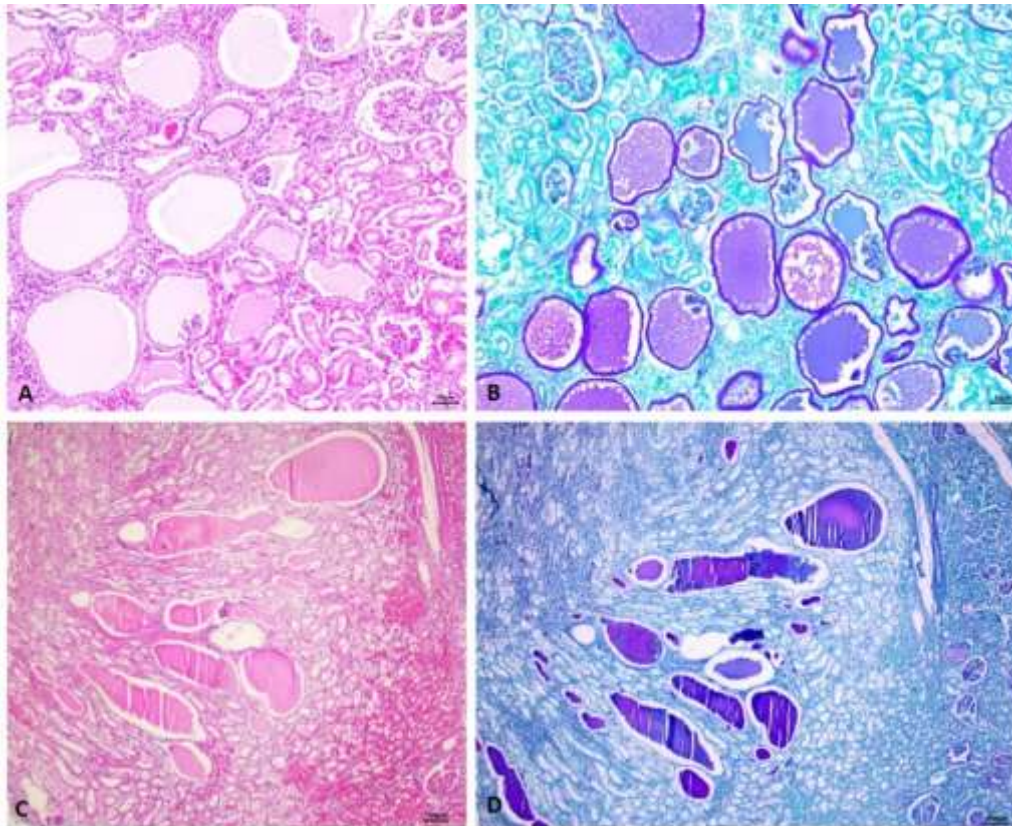


Figura 3. *S. guianensis*, rim. A) HE| 50µm ; B) PAS| 50µm : atrofia glomerular e espessamento da cápsula de Bowman, difusa e acentuadamente. C) HE| 100µm; D) PAS| 100µm: Presença acentuada de material amorfo em luz tubular (cilindros hialinos).

749

750 Não houve associação significativa ($p > 0,05$) entre a ocorrência de lesões
 751 e as concentrações dos elementos traço nos animais analisados (Figura 4).
 752 Entretanto, quando se analisou, conjuntamente, as lesões tubulares e
 753 glomerulares (necrose tubular aguda, atrofia glomerular com espessamento da
 754 cápsula de Bowman e cilindros hialinos) em associação com cada um dos
 755 elementos traço, houve discreta significância ($p = 0,048$) com as concentrações
 756 hepáticas de chumbo (Figura 5a). Houve ainda, associação significativa
 757 ($p = 0,01$) quando analisado, isoladamente, a presença de cilindros hialinos com
 758 concentrações hepáticas de mercúrio (Figura 5b).

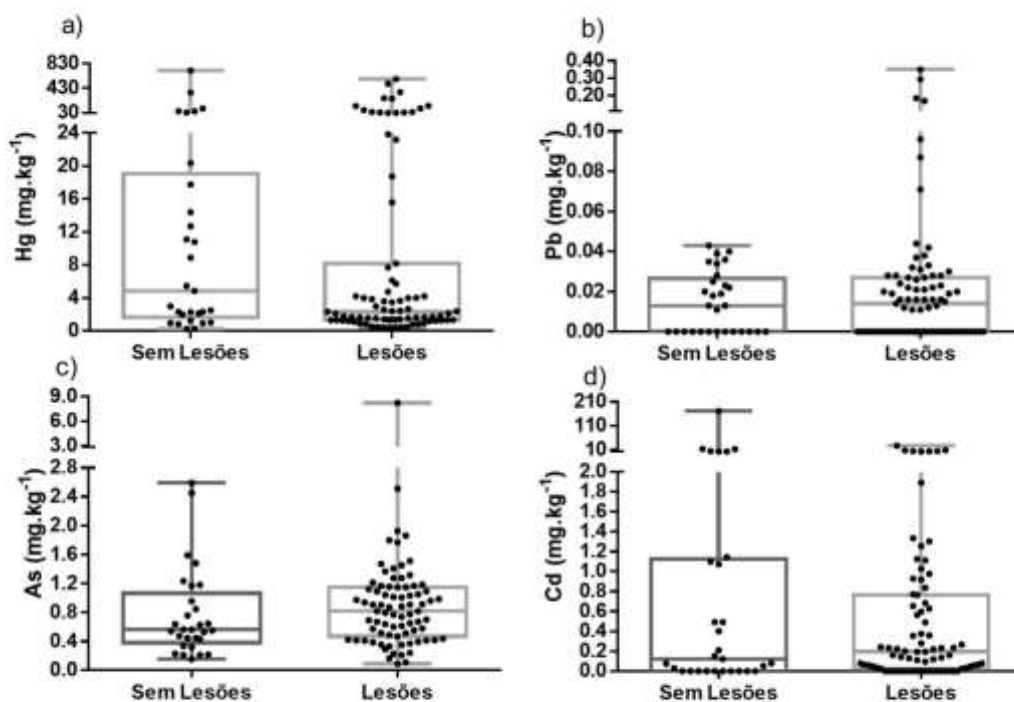


Figura 4 – Associação entre concentração média de elementos traço (mg.kg^{-1}) e a presença ou não de lesões renais em odontocetos encalhados no litoral de SP, PR e SC.

759

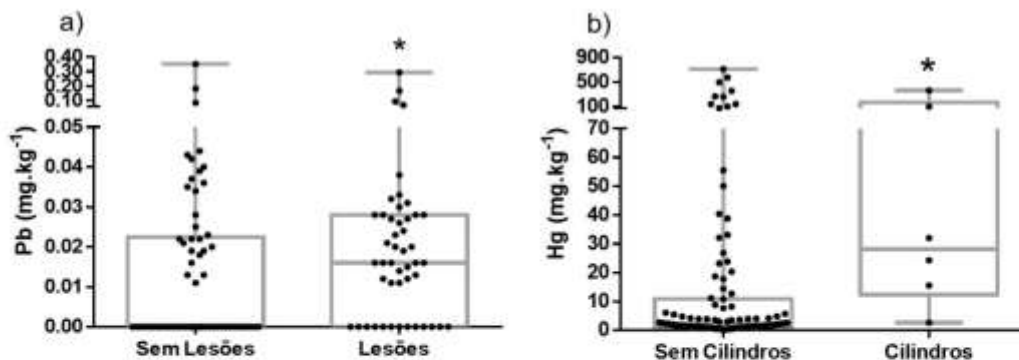


Figura 5 – a) Associação entre concentração média de chumbo e a presença ou não de ao menos uma das lesões tubulares e glomerulares (necrose tubular, degeneração tubular, presença de cilindros hialinos e atrofia glomerular com espessamento da cápsula de Bowman) ($p=0,048$) em odontocetos encalhados no litoral de SP, PR e SC. b) Associação entre concentração média de mercúrio e a presença ou não de cilindros hialinos ($p=0,01$) em odontocetos encalhados no litoral de SP, PR e SC.

760

761 A concentração média dos elementos traço de acordo com espécie
 762 afetada estão dispostas na Tabela 4. As concentrações médias de cádmio mais
 763 elevadas foram observadas em SC ($16,455 \text{ mg kg}^{-1}$) em comparação com SP

764 (1,342 mg kg⁻¹) e PR (0,441 mg kg⁻¹). As concentrações médias de Hg (47,44
765 mg kg⁻¹, 46,07 mg kg⁻¹ e 36,098 mg kg⁻¹ no PR, SC e SP, respectivamente), As
766 (0,675 mg kg⁻¹, 0,743 mg kg⁻¹ e 0,988 mg kg⁻¹ no PR, SC e SP, respectivamente)
767 e Pb (0,031 mg kg⁻¹, 0,026 mg kg⁻¹ e 0,052 mg kg⁻¹ no PR, SC e SP,
768 respectivamente) foram semelhantes nos três estados. A concentração média
769 de metais traço e o local de encalhe não diferiu significativamente (p>0,05).

770 As concentrações médias variaram também de acordo com a espécie. As
771 espécies oceânicas e pelágicas, com dois ou mais exemplares, apresentaram
772 as maiores médias (\pm DP) e medianas de concentração hepática de mercúrio e
773 cádmio (Tabela 4). Dentre as espécies costeiras, *S. guianensis* apresentou
774 concentração média de mercúrio e cádmio mais elevadas (27,192 e 1,576
775 mg.kg⁻¹, respectivamente) em comparação *P. blainvillei* (2,817 e 0,684 mg.kg⁻¹,
776 respectivamente). Das espécies pelágicas e oceânicas *S. frontalis* apresentou
777 a maior concentração média de Cd (26,537 mg.kg⁻¹) em relação à *S.*
778 *bredanensis* (1,130 mg.kg⁻¹) e *T. truncatus* (0,094 mg.kg⁻¹). A maior
779 concentração média de Hg foi observada *S. bredanensis* (253,849 mg.kg⁻¹) em
780 relação à *S. frontalis* (186,690 mg.kg⁻¹) e *T. truncatus* (4,139 mg.kg⁻¹).

781 As espécies que apresentaram maior ocorrência de alterações renais
782 foram *S. guianensis* e *P. blainvillei*. Congestão vascular foi a alteração mais
783 frequente em todas as espécies. Ainda, *S. guianensis* apresentaram
784 frequentemente atrofia glomerular com espessamento da cápsula de Bowman
785 (31,25%), necrose tubular aguda (34,38%), nefrite linfocítica intersticial
786 (21,87%) e presença de cilindros hialinos (15,62%) (Figura 3), enquanto em *P.*
787 *blainvillei* predominaram lesões de necrose tubular aguda (44,44%) (Tabela 4).
788 É interessante notar que *S. guianensis* foi a espécie com maior ocorrência de

789 alterações renais graves, apresentando a maior concentração média de Hg
790 (27,192 mg.kg⁻¹) e Cd (1,576 mg.kg⁻¹) em relação as demais espécies costeiras.

Tabela 4. Média (\pm DP) das concentrações hepáticas de elementos traço não essenciais, em relação às espécies e alterações histopatológicas renais observadas nos odontocetos encalhados no litoral Atlântico Sul (SP, PR e SC) entre os anos de 2015 e 2019.

Espécie (n)	Média (\pm DP) (mg.kg ⁻¹)				Alterações histopatológicas (n)							
	Hg	Pb	As	Cd	Congestão	Necrose tubular aguda	Atrofia glomerular e espessamento da cápsula de Bowman	Nefrite linfocítica intersticial	Presença de cilindros hialinos	Fibrose	Granuloma	Calcificação
<i>P. blainvilei</i> (54)	2,82 (\pm 4,67)	0,02 (\pm 0,10)	0,89 (\pm 0,55)	0,65 (\pm 1,0)	35	24	0	0	0	0	0	0
<i>S. guianensis</i> (32)	27,19 (\pm 49,67)	0,05 (\pm 0,07)	1,08 (\pm 1,40)	1,58 (\pm 5,23)	19	11	10	7	5	3	2	0
<i>P. dioptrica</i> (1)	0,31	0,04	0,76	13,51	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>T. truncatus</i> (8)	75,86 (\pm 202,95)	0,04 (\pm 0,03)	0,43 (\pm 0,22)	0,33 (\pm 0,52)	2	0	1	0	0	0	0	0
<i>S. frontalis</i> (7)	186,69 (\pm 265,88)	0,02 (\pm 0,01)	0,54 (\pm 0,12)	26,25 (\pm 63,88)	1	2	0	1	1	0	0	1
<i>S. bredanensis</i> (3)	253,85 (\pm 108,04)	0,27 (\pm 0,12)	0,98 (\pm 0,33)	1,13 (\pm 0,77)	2	0	0	0	0	0	0	0
<i>S. atenuatta</i> (1)	500,39	0,03	1,01	8,12	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>S. longirostris</i> (1)	55,53	0,01	1,23	4,25	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>K. bevicepps</i> (1)	14,43	0,03	1,48	12,94	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	-	-	-	-	59	38	11	8	6	3	2	1

Legenda: (n) número de animais; (DP) desvio padrão; desvio padrão foi incluído quando aplicável.

792 **Discussão**

793 *Dados epidemiológicos*

794 Intervenções humanas no ambiente, como a exploração de petróleo,
795 podem ocasionar impactos negativos nos ecossistemas (Domiciano, 2012;
796 Zhang et al., 2020). O monitoramento sistemático da costa litorânea permite a
797 obtenção de uma base de dados que reflete o ecossistema e a saúde dos
798 animais marinhos e possibilita a tomada de decisões para mitigação de
799 impactos negativos. No presente estudo, o monitoramento diário de uma área
800 de 800 km durante quatro anos evidenciou que aproximadamente 35% dos
801 odontocetos costeiros apresentaram lesões renais graves, sendo as maiores
802 concentrações médias de elementos traço observadas em animais com cilindros
803 hialinos que estão associados à lesão glomerular e proteinúria (Cianciolo e
804 Mohr, 2016).

805 Neste estudo, das nove espécies avaliadas, o predomínio de encalhe foi
806 em espécies costeiras (80,5%), sendo *P. blainvillei* e *S. guianensis* as mais
807 frequentes. Estudos prévios nas regiões Sudeste e Sul do Brasil apresentaram
808 resultados similares com predomínio de *S. guianensis* (Domiciano et al., 2016,
809 Mayora et al., 2020). Animais de hábitos predominantemente costeiro e
810 estuarino tendem a sofrer mais intensamente os danos diretos decorrentes da
811 interação antrópica (Domiciano, 2012; Petrobrás, 2017).

812 Dos animais que tiveram sua maturidade sexual informada, 74,71% eram
813 imaturos, corroborando com a literatura, na qual os animais encalhados são
814 frequentemente juvenis ou filhotes (Shoham-Frider et al., 2014). Há um
815 crescente interesse em relação aos elementos traço e suas concentrações em
816 diferentes órgãos e espécies de cetáceos em todo o mundo (Marcovecchio et

817 *al.*, 1990; Kubota *et al.*, 2003; Mackey *et al.*, 2003; Shoham-Frider *et al.*, 2014;
818 Durante *et al.*, 2020). Assim como no presente estudo, onde os animais
819 sexualmente maduros apresentaram concentrações médias de Cd e Hg
820 aproximadamente dez vezes maior que os animais imaturos, estudos associam
821 as concentrações médias, de elementos como o mercúrio, mais elevadas com
822 maior comprimento e maturidade sexual desses animais (Romero *et al.*, 2016;
823 Monteiro *et al.*, 2019).

824 *Achados histológicos*

825 As principais lesões renais observadas neste estudo foram tubulares
826 (necrose tubular aguda e cilindros hialinos), glomerulares (atrofia e
827 espessamento da cápsula de Bowman) e intersticiais (nefrite linfocítica)
828 acometendo 43,5% de exemplares de espécies costeiras. Estudo prévio no
829 litoral do PR abrangendo o período de 2007 a 2012 evidenciou lesões renais
830 (predominantemente glomerulonefrite membranoproliferativa) em 17,5% dos
831 pequenos cetáceos (Domiciano *et al.* 2016). É interessante observar o aumento
832 no número de animais com importantes alterações renais entre os dois períodos
833 avaliados; se considerarmos apenas o PR, no presente estudo o percentual de
834 lesões renais graves acometeu 73,3% dos animais.

835 Em estudo realizado com cetáceos no litoral brasileiro, os principais
836 achados histopatológicos renais foram alterações císticas, acometendo 26,6%
837 dos animais, sendo 12,5% decorrentes de doença glomerulocística secundária
838 associada a glomerulonefrite e infiltrado inflamatório intersticial
839 linfoplasmocitário (Gonzales-Vieira *et al.*, 2015). Ainda no mesmo estudo, as
840 glomerulonefrites proliferativas (21,9%) e membranoproliferativas (15,6%)
841 representaram os achados mais frequentes depois das alterações císticas e,

842 com exceção de um caso de adenoma tubular, não foram observadas
843 alterações tubulares significativas nos animais.

844 *Concentração de elementos traço*

845 Há uma grande variação nas concentrações de elementos traço entre as
846 espécies, idade e local do encalhe. Neste estudo, o elemento com maior
847 concentração hepática foi o mercúrio, semelhante ao relatado na literatura, no
848 entanto a média foi superior (27,19 mg kg⁻¹) ao descrito em tucuxi (*Sotalia*
849 *fluvialis*) (4,6 mg kg⁻¹) encalhados no nordeste do Brasil (Monteiro Neto et al.,
850 2003), *P. blainvillei* (5,98 mg kg⁻¹) do sudeste e sul do Brasil (Seixas et al., 2007)
851 e em golfinho comum de bico curto (*Delphinus delphis*) do sudeste do Brasil
852 (12,66 mg kg⁻¹) (Durante et al., 2020). Recentemente, evento de mortalidade
853 não usual foi registrada no sudeste do Brasil associada morbilivirose em *S.*
854 *guianensis*. Os autores compararam as concentrações de totais de Hg hepático
855 antes (5,70 mg kg⁻¹) e durante (10,46 mg kg⁻¹) o evento, concluindo que a perda
856 de massa muscular contribuiu para mobilização de metil mercúrio e
857 consequente intoxicação por este composto (Manhães et al., 2020).

858 As maiores concentrações de cádmio no presente estudo foram
859 observadas em *S. frontallis* (26,53 mg kg⁻¹), resultado similar ao descrito em
860 estudo prévio conduzido (20,33 mg kg⁻¹), no sudeste do Brasil (Lemos *et al.*,
861 2013) e as concentrações mais baixas de Cd foram observadas em *T. truncatus*
862 (0,09 mg.kg⁻¹), semelhante às concentrações hepáticas observadas em animais
863 da mesma espécie no Rio de Janeiro (Lemos *et al.*, 2013), na Croácia (Bilandžić
864 *et al.*, 2012) e na França (Frodello e Marchand, 2001).

865 As concentrações de arsênio observadas em animais de hábitos costeiros
866 *S. guianensis* e *P. blainvillei* (1,08 mg.kg⁻¹ e 0,89 mg.kg⁻¹, respectivamente) são

867 semelhantes às observadas em animais analisados na Austrália (1,11 mg.kg⁻¹
868 e 1,10 mg.kg⁻¹, respectivamente)(Lavery *et al.*, 2009). Em relação à espécies
869 pelágicas e oceânicas a concentração de As observada em *T. truncatus* no
870 presente estudo foi aproximadamente três vezes menor do que a concentração
871 média na mesma espécie em animais analisados na Croácia (Bilandžić *et al.*,
872 2012).

873 O chumbo possui distribuição similar ao arsênio e, portanto, compartilham
874 características de solubilidade e bioavaliabilidade (Monteiro *et al.*, 2019). Os
875 valores médios de concentração hepática de Pb observados (0,27 mg.kg⁻¹)
876 foram semelhantes à concentrações obtidas em *T. truncatus* na Austrália (0,12
877 mg.kg⁻¹) (Lavery *et al.*, 2009). Em um estudo realizado no final da década de 90
878 em *P. blainvillei* nos estados de São Paulo e Paraná, as concentrações
879 hepáticas de Pb foram aproximadamente cem vezes menor (0,026 mg.kg⁻¹)
880 (Kunito *et al.*, 2004). Já em 2014 concentrações 78 vezes maiores (21,25 mg.kg⁻
881 ¹) foram observadas em *S. frontalis* (Seixas, Tércia G *et al.*, 2009), entretanto
882 as elevadas concentrações de Pb não foram relacionadas à alterações
883 histopatológicas.

884 *S. guianensis* e *P. blainvillei* apresentaram concentrações médias de
885 chumbo aproximadamente 30 vezes menor do que as relatadas em estudo
886 realizado nas mesmas espécies no estado do Rio de Janeiro, Brasil(Seixas,
887 Tércia G. *et al.*, 2009). Em relação aos *T. truncatus* as concentrações de
888 chumbo observadas na França (Frodello e Marchand, 2001) foram
889 aproximadamente 92 vezes maiores do que as observadas neste estudo e cerca
890 de 26 vezes maior que as observadas na mesma espécie em um estudo
891 realizado na Croácia (Bilandžić *et al.*, 2012). A maior média das concentrações

892 hepáticas de chumbo observadas neste estudo foi em *S. bredanensis* (0,27
893 mg.kg⁻¹).

894 Em relação as concentrações de mercúrio entre as espécies, *S. guianensis*
895 apresentou 9,6 vezes mais Hg, em média, que *P. blainvillei*. Ambas as espécies
896 são costeiras, mas com diferentes características predatórias, o que pode
897 justificar a grande diferença de concentração de metais. *S. guianensis* predam
898 preferencialmente cefalópodes, peixes pelágicos e comensais, enquanto as *P.*
899 *blainvillei* têm preferência por peixes costeiros (Jefferson *et al.*, 2015).

900 Grandes quantidades de mercúrio bioacumulados em cetáceos são
901 esperadas (Legat e Lailson-Brito, 2010) devido sua grande capacidade de
902 biomagnificação, o que pode explicar a proteção parcial que esses animais
903 demonstram aos efeitos tóxicos deste elemento traço (Wintle *et al.*, 2011). Neste
904 estudo, a maior média de concentração hepática de Hg foi observada em *S.*
905 *bredanensis* (253,849 mg.kg⁻¹). Estudo conduzido no com cetáceos do Rio de
906 Janeiro, sudeste do Brasil também evidenciou maiores concentrações de Hg
907 nesta espécie (825,9 mg kg⁻¹) (Lemos *et al.*, 2013). Esta espécie tende a
908 bioacumular uma maior quantidade de Hg devido sua dieta conter uma espécie
909 de atum (*Thunnus albacares*) e Mahi-mahi (*Coriphaena hippus*) que apresentam
910 elevada concentração hepática de mercúrio (Araújo e Cedeño-Macias, 2016).

911 *Achados histológicos x concentração de metais*

912 As lesões mais frequentes neste estudo foram as necroses tubulares
913 (30,56%), atrofia glomerular (10,18%) e degeneração tubular (8,33%).
914 Alterações tubulares foram descritas em animais e humanos em associação
915 com concentrações tóxicas de cádmio (Sonne-Hansen *et al.*, 2002), chumbo
916 (Singh *et al.*, 2018) e mercúrio (Kershaw e Hall, 2019).

917 Relaciona-se a degeneração tubular promovida pelo cádmio à disfunção
918 do controle iônico pelas bombas de Na⁺/K⁻ (Nicholson *et al.*, 1983; Fujise *et al.*,
919 1988) e, assim como o mercúrio (Bridges *et al.*, 2017), à formação de
920 metalotioninas irregulares (Sato e Kondoh, 2002), progredindo com a presença
921 de infiltrado inflamatório intersticial e fibrose (Rosa *et al.*, 2008). Em cetáceos,
922 concentrações hepáticas de Cd (20 mg.kg⁻¹) foram associadas à disfunção
923 renal (Fujise *et al.*, 1988), e concentrações maiores que 53 mg.kg⁻¹ a graves
924 alterações renais (Chen *et al.*, 2017). Em *Tursiops aduncus* adultos lesões
925 glomerulares graves foram associadas à concentrações elevadas cádmio (37,0
926 mg.kg⁻¹), cobre e zinco (Lavery *et al.*, 2009). No presente estudo as maiores
927 concentrações médias de Cd foram observadas em animais com cilindros
928 hialinos e infiltrado inflamatório (5,23 mg.kg⁻¹), no entanto em concentrações
929 abaixo dos níveis considerados tóxicos. Cilindros hialinos foram associados em
930 humanos com a intoxicação por Cd e elevados níveis de mercúrio, em
931 decorrência de lesões tubulares e proteinúria (Zhao e Wang, 1988; L. Frieberg,
932 1992; Ekawanti *et al.*, 2015) (L. Frieberg, 1992). Por outro lado, animais sem
933 lesões renais apresentaram concentração média de Cd duas vezes mais
934 elevada do que os animais com esse tipo de alteração. Considerando que a
935 concentração média de Cd nas diferentes espécies e lesões manteve-se abaixo
936 do relatado na literatura como indutor de nefrotoxicidade, estima-se que as
937 alterações tubulares tenham outras causas.

938 A exposição ao mercúrio resulta em efeitos tóxicos bem conhecidos no
939 sistema nervoso, sistema imune e fígado. Os rins são o local de acúmulo de
940 mercúrio em mamíferos, sendo os túbulos contorcidos os alvos primários desse
941 elemento (Rodier *et al.*, 1988; Vervaet *et al.*, 2017) que pode acumular de forma

942 direta nas células ou através da formação de sais (Vervaet *et al.*, 2017),
943 induzindo necrose tubular aguda (Kershaw e Hall, 2019). In vitro, células renais
944 de *S. frontalis* expostas a diferentes concentrações de cloreto de mercúrio
945 induziram apoptose (Wang *et al.*, 2001). O chumbo é primariamente acumulado
946 em tecido ósseo e dentes, entretanto variáveis concentrações podem ser
947 observadas em tecidos como os rins, no qual pode interferir nas reações
948 enzimáticas cálcio dependentes levando a necrose celular (Vervaet *et al.*, 2017),
949 a exposição crônica ao Pb pode gerar, entre outras alterações, a redução da
950 taxa de filtração glomerular (Singh *et al.*, 2018), essas vias de toxicidade podem
951 explicar a associação estatística discreta observada entre a presença de lesões
952 tubulares e glomerulares a concentração média hepática de chumbo ($p=0,048$).

953 A atrofia glomerular, presente em 10,19% dos cetáceos analisados nesse
954 estudo, pode ser consequente do acúmulo de cádmio (Sonne-Hansen *et al.*,
955 2002), entretanto alterações glomerulares, como dilatação dos capilares com
956 espessamento da membrana basal e glomérulo esclerose são mais
957 frequentemente observadas na presença de concentrações hepáticas elevadas
958 de Hg, sendo considerado nocivo em narvais com concentrações maiores que
959 60 mg.kg^{-1} (Sonne *et al.*, 2013). Interessantemente os animais que
960 apresentaram alterações glomerulares apresentaram uma concentração
961 hepática média de $63,68 (\pm 171,11 \text{ mg.kg}^{-1})$ de mercúrio e apenas $0,5 (\pm 0,45$
962 $\text{mg.kg}^{-1})$ de Cd.

963 Cilindros hialinos são associados a alterações glomerulares com
964 consequente perda de proteínas (Cianciolo e Mohr, 2016). Neste estudo, 5,55%
965 dos animais apresentavam esta alteração; no entanto, sua ocorrência foi

966 observada em animais com as maiores concentrações médias dos quatro
967 elementos avaliados.

968 Em um estudo realizado em cães (Tsukamoto *et al.*, 1983) há presença
969 discreta a moderada de degeneração vacuolar das células epiteliais dos túbulos
970 renais em concentrações baixas e médias de As (0,73 mg.kg⁻¹ e 7,33 mg.kg⁻¹,
971 respectivamente), enquanto concentrações elevadas (14,66 mg.kg⁻¹) geram
972 alterações tubulares (necrose tubular aguda) e glomerulares (glomérulo
973 esclerose) severas. Compatível com as concentrações médias encontradas nos
974 animais analisados nesse estudo que, em relação à presença de degeneração
975 tubular apresentaram média de concentração hepática de arsênio 0,71 mg.kg⁻¹.

976 Pouco se sabe sobre a capacidade de biomagnificação e bioavaliabilidade
977 do As na cadeia trófica (Monteiro *et al.*, 2019), entretanto a absorção intestinal,
978 em humanos, representa 80 a 90% da viabilidade desse elemento (Robles-
979 Osorio *et al.*, 2015). Há ainda a possibilidade de transferência de elementos
980 traço por via transplacentária em cetáceos, sendo limitada por barreiras
981 fisiológicas como a placenta e pela lipossolubilidade do elemento, sendo os
982 elementos menos lipossolúveis mais facilmente transferidos da mãe para o feto
983 (Kubota *et al.*, 2005).

984 **Conclusão**

985 O monitoramento sistemático de parte do litoral brasileiro tem permitido o
986 estabelecimento de base de dados sobre a saúde dos animais marinhos
987 encalhados. Foi possível constatar um aumento na ocorrência de alterações
988 renais ao longo do tempo, assim como uma maior concentração hepática de
989 elementos traço nos odontocetos analisados neste estudo, quando em
990 comparação à estudos realizados anteriormente em localizações próximas.

991 A recente exploração de petróleo na região deste estudo pode ser um fator
992 contribuidor para a geração de produtos tóxicos, como os elementos traço, com
993 impacto em diferentes sistemas dos animais. No entanto, devido à
994 complexidade de interações, a determinação da associação entre lesões
995 teciduais e concentração de elementos traço necessita da continuidade do
996 monitoramento e avaliação da saúde dos animais por período mais prolongado,
997 assim como há a necessidade de estudos avaliando concentrações renais de
998 elementos traço em associação às alterações no sistema urinário, tendo em
999 vista que a concentração hepática, utilizada no presente estudo, pode ser pouco
1000 representativa quando em comparação à concentração renal.

1001 A utilização de histoquímicas especiais realizada nos animais do estado
1002 do Paraná, possibilitaram ainda maior diferenciação e acuidade na identificação
1003 de lesões menos evidentes à coloração de rotina, mostrando-se importante a
1004 utilização de técnicas que possam complementar e auxiliar a visualização de
1005 alterações microscópicas.

- 1007 ARAÚJO, C. V.; CEDEÑO-MACIAS, L. A. Heavy metals in yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and
 1008 common dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) landed on the Ecuadorian coast. **Science of the Total**
 1009 **Environment**, v. 541, p. 149-154, 2016. ISSN 0048-9697.
- 1010
 1011 BALMER, B. C.; YLITALO, G. M.; MCGEORGE, L. E.; BAUGH, K. A.; BOYD, D.; MULLIN, K. D.;
 1012 ROSEL, P. E.; SINCLAIR, C.; WELLS, R. S.; ZOLMAN, E. S. Persistent organic pollutants (POPs) in
 1013 blubber of common bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) along the northern Gulf of Mexico coast, USA.
 1014 **Science of the Total Environment**, v. 527, p. 306-312, 2015. ISSN 0048-9697.
- 1015
 1016 BEIGLBÖCK, C.; STEINECK, T.; TATARUCH, F.; RUF, T. J. E. T.; JOURNAL, C. A. I. Environmental
 1017 cadmium induces histopathological changes in kidneys of roe deer. **Environmental Toxicology and**
 1018 **Chemistry: An International Journal**, v. 21, n. 9, p. 1811-1816, 2002. ISSN 0730-7268.
- 1019
 1020 BILANDŽIĆ, N.; SEDAK, M.; ĐOKIĆ, M.; GOMERČIĆ, M. Đ.; GOMERČIĆ, T.; ZADRAVEC, M.;
 1021 BENIĆ, M.; CRNIĆ, A. P.; TOXICOLOGY. Toxic element concentrations in the bottlenose (*Tursiops*
 1022 *truncatus*), striped (*Stenella coeruleoalba*) and Risso's (*Grampus griseus*) dolphins stranded in Eastern
 1023 Adriatic Sea. **Bulletin of environmental contamination**, v. 89, n. 3, p. 467-473, 2012. ISSN 0007-4861.
- 1024
 1025 BOSSART, G. Marine mammals as sentinel species for oceans and human health. **Veterinary pathology**,
 1026 v. 48, n. 3, p. 676-690, 2011. ISSN 0300-9858.
- 1027
 1028 BRIDGES, C. C.; ZALUPS, R. K.; ENVIRONMENTAL HEALTH, P. B. The aging kidney and the
 1029 nephrotoxic effects of mercury. **Journal of Toxicology**, v. 20, n. 2, p. 55-80, 2017. ISSN 1093-7404.
- 1030
 1031 BUCKLE, K.; ROE, W. D.; HOWE, L.; MICHAEL, S.; DUGNAN, P. J.; BURROWS, E.; HA, H. J.;
 1032 HUMPHREY, S.; MCDONALD, W. L. Brucellosis in endangered Hector's Dolphins (*Cephalorhynchus*
 1033 *hectori*). **Veterinary pathology**, v. 54, n. 5, p. 838-845, 2017. ISSN 0300-9858.
- 1034
 1035 BURUAEM, L. M.; HORTELLANI, M. A.; SARKIS, J. E.; COSTA-LOTUFO, L. V.; ABESSA, D. M.
 1036 Contamination of port zone sediments by metals from Large Marine Ecosystems of Brazil. **Marine**
 1037 **Pollution Bulletin**, v. 64, n. 3, p. 479-488, 2012. ISSN 0025-326X.
- 1038
 1039 CASALONE, C.; MAZZARIOL, S.; PAUTASSO, A.; DI GUARDO, G.; DI NOCERA, F.; LUCIFORA,
 1040 G.; LIGIOS, C.; FRANCO, A.; FICHI, G.; COCUMELLI, C. Cetacean strandings in Italy: an unusual
 1041 mortality event along the Tyrrhenian Sea coast in 2013. **Dis Aquat Organ**, v. 109, n. 1, p. 81-86, 2014.
 1042 ISSN 0177-5103.
- 1043
 1044 CHEN, M.-H.; ZHUANG, M.-F.; CHOU, L.-S.; LIU, J.-Y.; SHIH, C.-C.; CHEN, C.-Y. Tissue
 1045 concentrations of four Taiwanese toothed cetaceans indicating the silver and cadmium pollution in the
 1046 western Pacific Ocean. **Marine Pollution Bulletin**, v. 124, n. 2, p. 993-1000, 2017. ISSN 0025-326X.
- 1047
 1048 CIANCIOLO, R. E.; MOHR, F. C. Chapter 4 - Urinary System. In: MAXIE, M. G. (Ed.). **Jubb, Kennedy**
 1049 **& Palmer's Pathology of Domestic Animals: Volume 2 (Sixth Edition)**: W.B. Saunders, 2016. p.376-
 1050 464.e1. ISBN 978-0-7020-5318-4.
- 1051
 1052 CORNAGLIA, E.; REBORA, L.; GILI, C.; DI GUARDO, G. J. J. O. V. M. S. A. Histopathological and
 1053 immunohistochemical studies on cetaceans found stranded on the coast of Italy between 1990 and 1997.
 1054 **Journal of Veterinary Medicine Series A**, v. 47, n. 3, p. 129-142, 2000. ISSN 0931-184X.
- 1055
 1056 D' COSTA, A.; SHYAMA, S. K.; PRAVEEN KUMAR, M. K. Bioaccumulation of trace metals and total
 1057 petroleum and genotoxicity responses in an edible fish population as indicators of marine pollution.
 1058 **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 142, p. 22-28, 2017/08/01/ 2017. ISSN 0147-6513.
 1059 Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651317301938> >.
- 1060
 1061 DERRAIK, J. G. B. The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. **Marine Pollution**
 1062 **Bulletin**, v. 44, n. 9, p. 842-852, 2002/09/01/ 2002. ISSN 0025-326X. Disponível em: <
 1063 <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X02002205> >.

1064
1065 DESFORGES, J. P.; SONNE, C.; LEVIN, M.; SIEBERT, U.; DE GUISE, S.; DIETZ, R. Immunotoxic
1066 effects of environmental pollutants in marine mammals. **Environ Int**, v. 86, p. 126-39, Jan 2016. ISSN
1067 0160-4120.
1068
1069 DOMICIANO, I. G. Achados anátomo-patológicos em cetáceos encontrados no litoral do estado do paraná,
1070 sul do Brasil. 2012.
1071
1072 DOMICIANO, I. G.; DOMIT, C.; BROADHURST, M. K.; KOCH, M. S.; BRACARENSE, A. P. F.
1073 Assessing disease and mortality among small cetaceans stranded at a World Heritage Site in Southern
1074 Brazil. **PloS one**, v. 11, n. 2, p. e0149295, 2016. ISSN 1932-6203.
1075
1076 DORNELES, P. R.; LAILSON-BRITO, J.; SECCHI, E. R.; BASSOI, M.; LOZINSKY, C. P. C.; TORRES,
1077 J. P. M.; MALM, O. J. B. J. O. O. Cadmium concentrations in franciscana dolphin (*Pontoporia blainvillei*)
1078 from south Brazilian coast. **Brazilian journal of Oceanography**, v. 55, n. 3, p. 179-186, 2007. ISSN 1679-
1079 8759.
1080
1081 DURANTE, C. A.; REIS, B. M. M.; AZEVEDO, A.; CRESPO, E. A.; LAILSON-BRITO, J. Trace
1082 elements in trophic webs from South Atlantic: The use of cetaceans as sentinels. **Marine Pollution**
1083 **Bulletin**, v. 150, p. 110674, 2020. ISSN 0025-326X.
1084
1085 DURKALEC, M.; SZKODA, J.; KOLACZ, R.; OPALINSKI, S.; NAWROCKA, A.; ZMUDZKI, J.
1086 Bioaccumulation of lead, cadmium and mercury in roe deer and wild boars from areas with different levels
1087 of toxic metal pollution. **International Journal of Environmental Research**, v. 9, n. 1, p. 205-212, 2015.
1088 ISSN 1735-6865.
1089
1090 EKAWANTI, A.; KRISNAYANTI, B. D.; POLLUTION. Effect of mercury exposure on renal function
1091 and hematological parameters among artisanal and small-scale gold miners at Sekotong, West Lombok,
1092 Indonesia. **Journal of Health**, v. 5, n. 9, p. 25-32, 2015. ISSN 2156-9614.
1093
1094 FRODELLO, J. P.; MARCHAND, B. Cadmium, Copper, Lead, and Zinc in Five Toothed Whale Species
1095 of the Mediterranean Sea. v. 20, n. 6, p. 339-343, 2001. Disponível em: <
1096 <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1080/109158101753333613>>.
1097
1098 FRODELLO, J. P.; ROMÉO, M.; VIALE, D. Distribution of mercury in the organs and tissues of five
1099 toothed-whale species of the Mediterranean. **Environment Pollutant**, v. 108, n. 3, p. 447-52, Jun 2000.
1100 ISSN 0269-7491 (Print)
1101 0269-7491.
1102
1103 FUJISE, Y.; HONDA, K.; TATSUKAWA, R.; MISHIMA, S. J. M. P. B. Tissue distribution of heavy
1104 metals in Dall's porpoise in the northwestern Pacific. **Marine Pollution Bulletin**, v. 19, n. 5, p. 226-230,
1105 1988. ISSN 0025-326X.
1106
1107 GARLAND, T. Chapter 23 - Arsenic. In: GUPTA, R. C. (Ed.). **Veterinary Toxicology (Third Edition)**:
1108 Academic Press, 2018. p.411-415. ISBN 978-0-12-811410-0.
1109
1110 GIDLOW, D. A. Lead toxicity. **Occupational Medicine**, v. 65, n. 5, p. 348-356, 2015. ISSN 0962-7480.
1111 Disponível em: < <https://doi.org/10.1093/occmed/kqv018> >. Acesso em: 2/1/2021.
1112
1113 GOMEZ-CAMINERO, A.; HOWE, P. D.; HUGHES, M.; KENYON, E.; LEWIS, D.; MOORE, M.;
1114 AITIO, A.; BECKING, G. C.; NG, J. **Arsenic and arsenic compounds**. World Health Organization,
1115 2001. ISBN 9241572248.
1116
1117 GOYER, R. A. Mechanisms of lead and cadmium nephrotoxicity. **Toxicol Letters**, v. 46, n. 1-3, p. 153-
1118 62, Mar 1989. ISSN 0378-4274 (Print)
1119 0378-4274.
1120
1121 GUADALUPE MENICONI, M. D. F.; GABARDO, I. T.; CARNEIRO, M. E. R.; BARBANTI, S. M.; DA
1122 SILVA, G. C.; MASSONE, C. G. Brazilian Oil Spills Chemical Characterization--Case Studies.

1123 **Environmental Forensics**, v. 3, n. 3-4, p. 303-321, 2002/01/01 2002. ISSN 1527-5922. Disponível em: <
1124 <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/713848377> >.
1125

1126 GUPTA, R. C.; MILATOVIC, D.; LALL, R.; SRIVASTAVA, A. Chapter 31 - Mercury. In: GUPTA, R.
1127 C. (Ed.). **Veterinary Toxicology (Third Edition)**: Academic Press, 2018. p.455-462. ISBN 978-0-12-
1128 811410-0.
1129

1130 HOOSER, S. B. Chapter 24 - Cadmium. In: GUPTA, R. C. (Ed.). **Veterinary Toxicology (Third Edition)**:
1131 Academic Press, 2018. p.417-421. ISBN 978-0-12-811410-0.
1132

1133 IBGE. **Atlas geográfico das zonas costeiras e oceânicas do Brasil**. GEOCIÊNCIAS, D. D. Rio de Janeiro:
1134 176 p. 2011.
1135

1136 JEFFERSON, T. A.; WEBBER, M. A.; PITMAN, R. L. 4 - Cetaceans. In: JEFFERSON, T. A.;WEBBER,
1137 M. A., *et al* (Ed.). **Marine Mammals of the World (Second Edition)**. San Diego: Academic Press, 2015.
1138 p.24-357. ISBN 978-0-12-409542-7.
1139

1140 KENDALL, R. J.; LACHER, T. E.; COBB, G. C.; COX, S. B. **Wildlife toxicology: emerging**
1141 **contaminant and biodiversity issues**. CRC Press, 2016. ISBN 1439817952.
1142

1143 KERSHAW, J. L.; HALL, A. J. Mercury in cetaceans: exposure, bioaccumulation and toxicity. **Science of**
1144 **The Total Environment**, v. 694, p. 133683, 2019. ISSN 0048-9697.
1145

1146 KOCH, M. S.; DA SILVA, V. D. P.; BRACARENSE, A. P. F. R. L.; DOMIT, C. Environmental aspects
1147 and diseases related to immunosuppression in cetaceans: a concise review. **Semina: Ciências Agrárias**, v.
1148 39, n. 6, p. 2897-2918, 2018. ISSN 1679-0359.
1149

1150 KORSRUD, G.; MELDRUM, J.; SALISBURY, C.; HOULAHAN, B.; SASCHENBRECKER, P.;
1151 TITTIGER, F. J. C. J. O. C. M. Trace element levels in liver and kidney from cattle, swine and poultry
1152 slaughtered in Canada. **Canadian Journal of Comparative Medicine**, v. 49, n. 2, p. 159, 1985.
1153

1154 KUBOTA, R.; KUNITO, T.; FUJIHARA, J.; TANABE, S.; YANG, J.; MIYAZAKI, N. J. M. P. B.
1155 Placental transfer of arsenic to fetus of Dall's porpoises (*Phocoenoides dalli*). **Marine Pollution Bulletin**,
1156 v. 51, n. 8-12, p. 845-849, 2005. ISSN 0025-326X.
1157

1158 KUBOTA, R.; KUNITO, T.; TANABE, S. J. E. T.; JOURNAL, C. A. I. Occurrence of several arsenic
1159 compounds in the liver of birds, cetaceans, pinnipeds, and sea turtles. **Environmental Toxicology and**
1160 **Chemistry: An International Journal**, v. 22, n. 6, p. 1200-1207, 2003. ISSN 0730-7268.
1161

1162 KUNITO, T.; NAKAMURA, S.; IKEMOTO, T.; ANAN, Y.; KUBOTA, R.; TANABE, S.; ROSAS, F. C.;
1163 FILLMANN, G.; READMAN, J. W. J. M. P. B. Concentration and subcellular distribution of trace
1164 elements in liver of small cetaceans incidentally caught along the Brazilian coast. v. 49, n. 7-8, p. 574-587,
1165 2004. ISSN 0025-326X.
1166

1167 L. FRIEBERG, C. G. E., T KJELLSTIM **Environmental Health Criteria 134: Cadmium**. **IPCS**.
1168 ORGANIZATION, W. H. Geneva: 1-209 p. 1992.
1169

1170 LAVERY, P. J.; KEMPER, C. M.; SANDERSON, K. J.; SCHULTZ, C. G.; COYLE, P.; MITCHELL, J.
1171 G.; SEURONT, L. Heavy metal toxicity of kidney and bone tissues in South Australian adult bottlenose
1172 dolphins (*Tursiops aduncus*). 2009. ISSN 0141-1136.
1173

1174 LEGAT, L. N. A.; LAILSON-BRITO, J. J. O. A. O MERCÚRIO EM CETÁCEOS (MAMMALIA,
1175 CETACEA): UMA REVISÃO. **Oecologia australis**, v. 14, n. 4, p. 1021-1035, 2010. ISSN 2177-6199.
1176

1177 LEMOS, L. S.; DE MOURA, J. F.; HAUSER-DAVIS, R. A.; DE CAMPOS, R. C.; SICILIANO, S. Small
1178 cetaceans found stranded or accidentally captured in southeastern Brazil: Bioindicators of essential and
1179 non-essential trace elements in the environment. **Ecotoxicology Environmental Safety**, v. 97, p. 166-175,
1180 2013. ISSN 0147-6513.
1181

1182 MACKEY, E. A.; OFLAZ, R.; EPSTEIN, M. S.; BUEHLER, B.; PORTER, B. J.; ROWLES, T.; WISE, S.
1183 A.; BECKER, P. R. J. A. O. E. C.; TOXICOLOGY. Elemental composition of liver and kidney tissues of
1184 rough-toothed dolphins (*Steno bredanensis*). **Archives of environmental contamination and toxicology**,
1185 v. 44, n. 4, p. 0523-0532, 2003. ISSN 0090-4341.
1186
1187 MANAHAN, S. E. **Fundamentals of environmental chemistry**. Chelsea, MI (United States); Lewis
1188 Publishers; None, 1993. Medium: X; Size: Pages: (269 p) ISBN None; Other: ISBN: 0-87371-587-X United
1189 States Other: ISBN: 0-87371-587-X Lewis Publishers, 121 South Main St., P.O. Drawer 519, Chelsea, MI
1190 48118 (United States) NOV English.
1191
1192 MARCOVECCHIO, J. E.; MORENO, V. J.; BASTIDA, R. O.; GERPE, M. S.; RODRÍGUEZ, D. H. J. M.
1193 P. B. Tissue distribution of heavy metals in small cetaceans from the Southwestern Atlantic Ocean. **Marine**
1194 **Pollution Bulletin**, v. 21, n. 6, p. 299-304, 1990. ISSN 0025-326X.
1195
1196 MARTIN, J.; SABATIER, Q.; GOWAN, T. A.; GIRAUD, C.; GURARIE, E.; CALLESON, C. S.;
1197 ORTEGA-ORTIZ, J. G.; DEUTSCH, C. J.; RYCYK, A.; KOSLOVSKY, S. M.; EVOLUTION. A
1198 quantitative framework for investigating risk of deadly collisions between marine wildlife and boats.
1199 **Methods in Ecology**, v. 7, n. 1, p. 42-50, 2016. ISSN 2041-210X.
1200
1201 MONTEIRO-NETO, C.; ITAVO, R. V.; DE SOUZA MORAES, L. E. J. E. P. Concentrations of heavy
1202 metals in *Sotalia fluviatilis* (Cetacea: Delphinidae) off the coast of Ceará, northeast Brazil. **Environmental**
1203 **Pollution**, v. 123, n. 2, p. 319-324, 2003. ISSN 0269-7491.
1204
1205 MONTEIRO, F.; LEMOS, L. S.; DE MOURA, J. F.; ROCHA, R. C. C.; MOREIRA, I.; DI BENEDITTO,
1206 A. P.; KEHRIG, H. A.; BORDON, I. C.; SICILIANO, S.; SAINT'PIERRE, T. D. Subcellular metal
1207 distributions and metallothionein associations in rough-toothed dolphins (*Steno bredanensis*) from
1208 Southeastern Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 146, p. 263-273, 2019. ISSN 0025-326X.
1209
1210 MOURA, R. Brazilian reefs as priority areas for biodiversity conservation in the Atlantic Ocean.
1211 Proceeding of the 9th International Coral Reef Symposium, Bali, Indonesia, 2002. p.917-920.
1212
1213 NICHOLSON, J.; KENDALL, M. D.; OSBORN, D. J. N. Cadmium and mercury nephrotoxicity. **Nature**,
1214 v. 304, n. 5927, p. 633-635, 1983. ISSN 1476-4687.
1215
1216 NICOLODI, J. L.; PETTERMANN, R. Vulnerability of the Brazilian coastal zone in its environmental,
1217 social, and technological aspects. **Journal of Coastal Research**, p. 1372-1379, 2011. ISSN 0749-0208.
1218
1219 NIKINMAA, M. Chapter 2 - What Causes Aquatic Contamination? In: NIKINMAA, M. (Ed.). **An**
1220 **Introduction to Aquatic Toxicology**. Oxford: Academic Press, 2014. p.19-39. ISBN 978-0-12-411574-
1221 3.
1222
1223 NORTHRIDGE, S. Fisheries Interactions. In: WÜRSIG, B.; THEWISSEN, J. G. M., *et al* (Ed.).
1224 **Encyclopedia of Marine Mammals (Third Edition)**: Academic Press, 2018. p.375-383. ISBN 978-0-
1225 12-804327-1.
1226
1227 ORTIZ, R. M. J. O. E. B. Osmoregulation in marine mammals. **Journal of Experimental Biology**, v.
1228 204, n. 11, p. 1831-1844, 2001. ISSN 0022-0949.
1229
1230 PAGE-KARJIAN, A.; LO, C. F.; RITCHIE, B.; HARMS, C. A.; ROTSTEIN, D. S.; HAN, S.; HASSAN,
1231 S. M.; LEHNER, A. F.; BUCHWEITZ, J. P.; THAYER, V. G. Anthropogenic Contaminants and
1232 Histopathological Findings in Stranded Cetaceans in the Southeastern United States, 2012–2018. **Frontiers**
1233 **in Marine Science**, v. 7, p. 630, 2020. ISSN 2296-7745.
1234
1235 PARSONS, E. C. M. Trace element concentrations in the tissues of cetaceans from Hong Kong's territorial
1236 waters. **Environmental Conservation**, v. 26, n. 1, p. 30-40, 1999. ISSN 0376-8929. Disponível em: <
1237 [https://www.cambridge.org/core/article/trace-element-concentrations-in-the-tissues-of-cetaceans-from-](https://www.cambridge.org/core/article/trace-element-concentrations-in-the-tissues-of-cetaceans-from-hong-kongs-territorial-waters/445818AB9D60C340215B48995EA30798)
1238 [hong-kongs-territorial-waters/445818AB9D60C340215B48995EA30798](https://www.cambridge.org/core/article/trace-element-concentrations-in-the-tissues-of-cetaceans-from-hong-kongs-territorial-waters/445818AB9D60C340215B48995EA30798)>.
1239
1240 PETROBRAS. Petróleo Brasileiro S.A. Comunicados e Fatos relevantes. 2020. Disponível em: <
1241 <https://petrobras.com.br/pt/>>.

- 1242
1243 PETROBRÁS. **Projeto de Monitoramento de Praias da Bacia de Santos–PMP-BS. Projeto Executivo**
1244 **do PMP-BS Fase 1.** Brasil: E&P. Único: 84 p. 2017.
1245
1246 RANA, M. N.; TANGPONG, J.; RAHMAN, M. M. Toxicodynamics of lead, cadmium, mercury and
1247 arsenic-induced kidney toxicity and treatment strategy: a mini review. **Toxicology reports**, v. 5, p. 704-
1248 713, 2018. ISSN 2214-7500.
1249
1250 READ, A. J.; DRINKER, P.; NORTHRIDGE, S. J. C. B. Bycatch of marine mammals in US and global
1251 fisheries. **Conservation biology**, v. 20, n. 1, p. 163-169, 2006. ISSN 0888-8892.
1252
1253 REIJNDERS, P. J.; AGUILAR, A.; BORRELL, A. Pollution and marine mammals. In: (Ed.).
1254 **Encyclopedia of Marine mammals:** Elsevier, 2009. p.890-898.
1255
1256 ROBLES-OSORIO, M. L.; SABATH-SILVA, E.; SABATH, E. Arsenic-mediated nephrotoxicity. **Renal**
1257 **failure**, v. 37, n. 4, p. 542-547, 2015. ISSN 0886-022X.
1258
1259 RODIER, P. M.; KATES, B.; SIMONS, R. J. T.; PHARMACOLOGY, A. Mercury localization in mouse
1260 kidney over time: Autoradiography versus silver staining. **Toxicology and applied pharmacology**, v. 92,
1261 n. 2, p. 235-245, 1988. ISSN 0041-008X.
1262
1263 ROMERO, M. B.; POLIZZI, P.; CHIODI, L.; DAS, K.; GERPE, M. The role of metallothioneins, selenium
1264 and transfer to offspring in mercury detoxification in Franciscana dolphins (*Pontoporia blainvillei*). **Marine**
1265 **Pollution Bulletin**, v. 109, n. 1, p. 650-654, 2016. ISSN 0025-326X.
1266
1267 ROSA, C.; BLAKE, J. E.; BRATTON, G. R.; DEHN, L.-A.; GRAY, M. J.; O'HARA, T. M. J. S. O. T. T.
1268 E. Heavy metal and mineral concentrations and their relationship to histopathological findings in the
1269 bowhead whale (*Balaena mysticetus*). **Science of the Total Environment**, v. 399, n. 1-3, p. 165-178, 2008.
1270 ISSN 0048-9697.
1271
1272 SABATH, E.; ROBLES-OSORIO, M. L. Renal health and the environment: heavy metal nephrotoxicity.
1273 **Nefrologia**, v. 32, n. 3, p. 279-286, 2012.
1274
1275 SALGADO, L. D.; ROSA, S. M.; DE AZEVEDO, J. C. R. Concentrations of metals in liver of Guiana
1276 dolphins (*Sotalia guianensis*) from an estuary in Southeast of Brazil. **Ecotoxicology Environmental**
1277 **Contamination**, v. 13, n. 1, p. 51-61, 2018. ISSN 2317-9643.
1278
1279 SANTOS, M. C. D. O.; SICILIANO, S.; VICENTE, A. F. D. C.; ALVARENGA, F. S.; ZAMPIROLI,
1280 É.; SOUZA, S. P. D.; MARANHO, A. J. B. J. O. O. Cetacean records along São Paulo state coast,
1281 southeastern Brazil. **Brazilian journal of Oceanography**, v. 58, n. 2, p. 123-142, 2010. ISSN 1679-8759.
1282
1283 SATO, M.; KONDOH, M. J. T. J. O. E. M. Recent studies on metallothionein: protection against toxicity
1284 of heavy metals and oxygen free radicals. **The Tohoku journal of experimental medicine**, v. 196, n. 1, p.
1285 9-22, 2002. ISSN 0040-8727.
1286
1287 SEIXAS, T. G.; KEHRIG, H. A.; DI BENEDITTO, A. P. M.; SOUZA, C. M.; MALM, O.; MOREIRA, I.
1288 J. J. O. T. B. C. S. Trace elements in different species of cetacean from Rio de Janeiro coast. **Veterinary**
1289 **pathology**, v. 20, n. 2, p. 243-251, 2009. ISSN 0103-5053.
1290
1291 SEIXAS, T. G.; KEHRIG, H. A.; DI BENEDITTO, A. P. M.; SOUZA, C. M. M.; MALM, O.; MOREIRA,
1292 I. Trace elements in different species of cetacean from Rio de Janeiro coast **Journal of the Brazilian**
1293 **Chemical Society**, v. 20, p. 243-251, 2009. ISSN 0103-5053. Disponível em: <
1294 http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-50532009000200008&nrm=iso >.
1295
1296 SHOHAM-FRIDER, E.; KEREM, D.; RODITI-ELASAR, M.; GOFFMAN, O.; MORICK, D.; YOFFE,
1297 O.; KRESS, N. Trace elements in tissues of cetacean species rarely stranded along the Israeli Mediterranean
1298 coast. **Marine Pollution Bulletin**, v. 83, n. 1, p. 376-382, 2014. ISSN 0025-326X.
1299
1300 SIMÕES-LOPES, P. C.; XIMENEZ, A. J. B. Annotated list of the cetaceans of Santa Catarina coastal
1301 waters, southern Brazil. **Biotemas**, v. 6, n. 1, p. 67-92, 1993. ISSN 2175-7925.

1302
1303 SINGH, N.; KUMAR, A.; GUPTA, V. K.; SHARMA, B. Biochemical and molecular bases of lead-induced
1304 toxicity in mammalian systems and possible mitigations. **Chemical research in toxicology**, v. 31, n. 10, p.
1305 1009-1021, 2018. ISSN 0893-228X.
1306
1307 SONNE-HANSEN, C.; DIETZ, R.; LEIFSSON, P.; HYLDSTRUP, L.; RIGET, F. J. S. O. T. T. E.
1308 Cadmium toxicity to ringed seals (*Phoca hispida*): an epidemiological study of possible cadmium-induced
1309 nephropathy and osteodystrophy in ringed seals (*Phoca hispida*) from Qaanaaq in Northwest Greenland.
1310 **Science of the Total Environment**, v. 295, n. 1-3, p. 167-181, 2002. ISSN 0048-9697.
1311
1312 SONNE, C.; LEIFSSON, P. S.; DIETZ, R. Liver and renal lesions in mercury-contaminated narwhals
1313 (*Monodon monoceros*) from North West Greenland. **Toxicological Environmental Chemistry**, v. 95, n.
1314 3, p. 1-14, 2013. ISSN 0277-2248.
1315
1316 ST. LEGER, J.; RAVERTY, S.; MENA, A. Chapter 22 - Cetacea. In: TERIO, K. A.; MCALOOSE, D., *et*
1317 *al* (Ed.). **Pathology of Wildlife and Zoo Animals**: Academic Press, 2018. p.533-568. ISBN 978-0-12-
1318 805306-5.
1319
1320 THOMPSON, L. J. Chapter 29 - Lead. In: GUPTA, R. C. (Ed.). **Veterinary Toxicology (Third Edition)**:
1321 Academic Press, 2018. p.439-443. ISBN 978-0-12-811410-0.
1322
1323 TSUKAMOTO, H.; PARKER, H. R.; GRIBBLE, D. H.; MARIASSY, A.; PEOPLES, S. A. Nephrotoxicity
1324 of sodium arsenate in dogs. **Am J Vet Res**, v. 44, n. 12, p. 2324-30, Dec 1983. ISSN 0002-9645 (Print)
1325 0002-9645.
1326
1327 VERVAET, B. A.; D'HAESE, P. C.; VERHULST, A. Environmental toxin-induced acute kidney injury.
1328 **Clinical kidney journal**, v. 10, n. 6, p. 747-758, 2017. ISSN 2048-8505
1329 2048-8513. Disponível em: < <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29225803>
1330 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5716161/> >.
1331
1332 WAGEMANN, R.; MUIR, D. C. **Concentrations of heavy metals and organochlorines in marine**
1333 **mammals of northern waters: overview and evaluation**. Western Region, Department of Fisheries and
1334 Oceans Canada, 1984.
1335
1336 WANG, A.; BARBER, D.; PFEIFFER, C. J. A. O. E. C.; TOXICOLOGY. Protective effects of selenium
1337 against mercury toxicity in cultured Atlantic spotted dolphin (*Stenella plagiodon*) renal cells. **Archives of**
1338 **environmental contamination and toxicology**, v. 41, n. 4, p. 403-409, 2001. ISSN 1432-0703.
1339
1340 WELLS, R. S.; SCOTT, M. D. J. M. M. S. Seasonal incidence of boat strikes on bottlenose dolphins near
1341 Sarasota, Florida. **Marine Mammal Science**, v. 13, n. 3, p. 475-480, 1997. ISSN 0824-0469.
1342
1343 WERNER, T. B.; NORTHBRIDGE, S.; PRESS, K. M.; YOUNG, N. Mitigating bycatch and depredation of
1344 marine mammals in longline fisheries. **ICES Journal of Marine Science**, v. 72, n. 5, p. 1576-1586, 2015.
1345 ISSN 1095-9289.
1346
1347 WINTLE, N. J.; DUFFIELD, D. A.; BARROS, N. B.; JONES, R. D.; RICE, J. M. Total mercury in stranded
1348 marine mammals from the Oregon and southern Washington coasts. **Marine Mammal Science**, v. 27, n.
1349 4, p. E268-E278, 2011. ISSN 0824-0469.
1350
1351 ZHANG, L.; NI, Z.; WU, Y.; ZHAO, C.; LIU, S.; HUANG, X. Concentrations of porewater heavy metals,
1352 their benthic fluxes and the potential ecological risks in Daya Bay, South China. **Marine Pollution**
1353 **Bulletin**, v. 150, p. 110808, 2020/01/01/ 2020. ISSN 0025-326X. Disponível em: <
1354 <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X19309646> >.
1355
1356 ZHAO, J. Y.; WANG, S. J. Experimental study of proteinuria caused by chronic exposure to mercury.
1357 **Biomedical and environmental sciences : BES**, v. 1, n. 3, p. 235-246, 1988/10// 1988. ISSN 0895-3988.
1358 Disponível em: < <http://europepmc.org/abstract/MED/3270513> >.
1359
1360

Polycystic Kidney Disease in Rough Toothed Dolphins (*Steno bredanensis*) found in the Paraná coast, Southern Brazil

Bárbara Giglio Pires¹, Daniela Farias da Nóbrega^{1,3},
Camila Domit² & Ana Paula Frederico Rodrigues Loureiro Bracarense¹

ABSTRACT

Background: Renal cystic diseases (RCD) are characterized by cystic structures on renal parenchyma associated with obstructive lesions, membranous disruptions, and/or growth disturbances. The polycystic kidney disease (PKD) shows specific pathological characteristics, related to mutations on PKD1 and/or PKD2 chromosome locus on humans. In Persian cats and bull terriers the condition is like the human "adult-onset" PKD, while in Perendale sheep the "childhood"-like is described. In cetaceans, RCD are reported, however the characterization of PKD is scarcely described. This report aims to describe two cases of PKD and one of RCD in stranded *Steno bredanensis*, and to discuss the disease associated factors.

Cases: Four rough-toothed-dolphins were found stranded in the Paraná coast, southern Brazil between 2016 to 2018, through the Santos Basin Beach Monitoring Project (PMP-BS), one of the systematic monitoring programs required by Brazilian Institute of Environment and Renewable Natural Resources (IBAMA) for the environmental licensing process of oil production and transport by Petrobras in the presalt province. In three animals histological sampling was performed. One of them (animal 3) was found alive, presenting altered buoyancy with lateralization to the right and signs of pneumonia. The blood analysis showed anemia and leukocytosis. The animal showed poor clinical prognosis, and even with supportive treatment, come to death four days after the rescue. Routine autopsies were performed on all animals. Animals 1 and 2 presented macroscopically enlarged kidneys containing disseminated cystic structures in the parenchyma. On microscopic examination, the cortical region showed diffuse cystic structures delimited by variable thickness of fibrous tissue, usually compressing adjacent glomeruli, without concomitant inflammatory process. In these cases, the death was associated with the end stage renal disease. Animal 3 showed grossly few cystic structures, well delimited and replacing some reniculi. Tracheitis, granulomatous pneumonia, esophagitis, gastritis, enteritis and papilloma on penis and palate were observed. Microscopically, the cysts were lined by a single layer of columnar to cuboidal epithelial cells surrounded by extensive fibrotic tissue. Multifocal tubular necrosis was also noticed. Multifocal moderate nonsuppurative encephalitis with parasitic eggs and bacterial granulomatous hemorrhagic pneumonia were observed. In this case, the death was associated with the lesions in the nervous system.

Discussion: Data concerning polycystic kidney disease on cetaceans and wild animals is limited, and no primary genetic pathway was associated. In the present study, the gross and histological aspects observed on two animals (1 and 2) are similar to the characteristics found in the human adult form of PKD, while the characteristics observed on animal 3 are consistent with usual cystic disease. In addition, the animals are aged like humans where the end stage renal disease occurs in patients around 70 years old. The kidney histological aspects observed in all animals are similar, however, animal 3 showed no renomegaly, a characteristic of PKD. Considering the genetic pathway involved in humans and some animal's breeds, investigation on gene mutations in *S. bredanensis* could help to define if this is also a genetic disorder and increase the knowledge about PKD.

Keywords: kidney, delphinidae, PKD, diagnostic pathology, cystic disease, rough toothed dolphin.

DOI: 10.22456/1679-9216.108543

Received: 2020

Accepted: 2020

Published: 2021

¹Laboratory of Animal Pathology, Universidade Estadual de Londrina (UEL), PR, Brazil. ²Laboratory of Ecology and Conservation, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Pontal do Paraná, PR. ³Laboratory Pat Animal, São José do Rio Preto, SP, Brazil. CORRESPONDENCE: A.P.F.R.L. Bracarense [anapaula@uel.br]. Laboratory of Animal Pathology, Department of Veterinary Preventive Medicine, Centro de Ciências Agrárias, UEL, Rodovia Celso Garcia Cid, PR 445 Km 80, CEP 86057-970 Londrina, PR, Brazil.

INTRODUCTION

Cystic alterations are the most common kidney lesions on Brazilian cetaceans, including simple cysts, multiple cysts, primary and secondary glomerulocystic diseases, PKD representing less than 1% [5]. Renal cystic diseases in mammals are grossly characterized by one or more cystic structures within the renal parenchyma, and usually have the pathogenesis associated with obstructive tubular lesions, membranous disruptions and/or growth/genetic disturbances [4]. The condition known as polycystic kidney disease (PKD) brings forward a complete singular and genetic related pathogenesis on several mammal species [4,9,20], including some cetaceans [5,19].

The PKD is an inherited autosomal genetic disorder affecting humans and animals. In humans, two types of PKD are reported, the autosomal recessive (ARPKD), named "childhood", culminating with intrauterine or born death, and the autosomal dominant (ADPKD), known as "adult-onset" which is characterized by cystic formations during adult life, leading to end stage renal disease [1,4,18].

Beach monitoring programs are an interesting tool to evaluate animal health. Standardized analyzes contribute to establish the main lesions and eventually, the causes of death in marine animals. The rough-toothed dolphin, *Steno bredanensis* belongs to the subfamily Steninae [3] and shows high genetic particularities when compared to other species of Delphinidae family. In view of PKD pathogenicity, the highly genetical association, the gross and microscopic findings on 2 of 4 *S. bredanensis* stranded in Paraná coast, the aim of this report is to describe 2 cases of PKD and 1 case of renal cystic disease in *S. bredanensis* and discuss associated factors.

CASES

The animals analyzed in this study were obtained between January 2016 and December 2018 through the Santos Basin Beach Monitoring Project (PMP-BS), one of the systematic monitoring programs required by Brazilian Institute of Environment and Renewable Natural Resources (IBAMA) for the environmental licensing process of oil production and transport by Petrobras in the presalt province. The sampling area was the coast of Paraná state (25°44'S and 48°29'W), southern Brazil. This area is characterized by a coastline of 105 km, including Baía de Guaratuba in the

south and the Paranaguá Estuarine Complex (PEC) in the north. A field permit was granted by the Ministry of Environment-MMA (ABIO 640/2015).

During the period of the study 4 specimens of *Steno bredanensis* were found stranded; one (animal 3) of these was alive and extremely debilitated, in poor prognosis condition, and died 4 days later. All other animals analyzed were within middle (animals 1 and 2) or advanced (animal 4) decomposition stage. They were submitted to routine necropsy and tissues fragments sampled for histopathological analysis, stained with hematoxylin and eosin (HE)^{1,2,3,4}. Additionally, Masson's Trichrome^{1,2,3,4,5,6} and Periodic Acid Schiff - McManus^{1,2,3,4} stains were also performed to characterize connective tissue of renal lesions. Teeth samples were also collected to determine the age of the animals by dentine Growth Layer Groups (GLG) analysis. Determination of age is one of the parameters evaluated in cetaceans analyzed in PMP-BS following a technique previously described [8].

Except for animal 4, that showed high degree of autolysis, precluding gross examination and a proper sampling for histological analysis, the other 3 animals had gross and microscopic findings described for each individual, and clinical signs were included when available.

Case 1. The necropsy findings in a 26-year-old male dolphin, were a fecaloma in the large intestine and bilateral nephromegaly. The right kidney had approximately 60.0 x 33.0 cm and the left 35.0 x 15.0 cm. The capsule surface of both kidneys was light brown to pale and irregular. On the sectioned surface, the renal parenchyma was almost completely replaced by multiple large cysts (approximately 90%), well delimited, with variable size and surrounded by marked fibrotic tissue; only a few reniculi showed normal morphology (Figure 1 A-B). The renal microscopic findings (Figure 2 A-D) confirmed the autolysis seen on gross examination accompanied by numerous bacterial colonies. Marked and multifocal tubular ectasia/cysts was also present, randomly distributed on cortical region surrounded by mild to extensive fibrosis, evidenced by Masson's trichrome stain. Usually near to glomerulus, some proximal tubules were surrounded by mild fibrous tissue. A mild thickness of Bowman's capsule and glomerular atrophy were evidenced by PAS-McManus stain.

Case 2. The necropsy of 30-year-old male dolphin, revealed myocardial abscess, prescapular lymph node necrosis and bilateral nephromegaly. The left kidney had approximately 35.0 x 18.0 cm and the right 32.0 x 23.0 cm, with capsular surface pale to light brown and irregular. On cut, the renal parenchyma was pale, almost completely replaced by multiple well delimited cystic structures of variable sizes and surrounded and interspersed by fibrous tissue (Figure 1C-D); less than 10% of reniculi showed normal gross morphology. At microscopic analysis (Figure 2 E-F), there were cystic formations and multifocal tubular ectasia on cortical region, randomly distributed but usually close to glomerulus. The cystic dilatations were surrounded by delicate to extensive fibrotic tissue, characterized on Masson's trichrome stain.

Case 3. A 22-year-old male dolphin, was found alive, lethargic, and was forwarded to the Marine Animal Rehabilitation Center of Beach Monitoring Program of Paraná. The animal presented altered buoyancy with lateralization to the right and signs of pneumonia. The blood analysis showed anemia and leukocytosis. The therapy was based on penicillin⁷ (10,000 UI/kg.) dexamethasone⁸ (0.1 mg/kg) and hydration with lactated Ringer's⁹ solution. In addition, supportive therapy associated with fish feeding was performed, but the animal died after 4 days.

On necropsy, few well delimited, whitish, showing a tick capsule and without fluid content, renal cysts on parenchyma, measuring 1.0 to 2.0 cm in diameter were observed (Figure 1 E-F). Tracheitis, granulomatous pneumonia, esophagitis, gastritis, and enteritis were also observed. The hard palate and penis showed a well-defined mass measuring, respectively, 6.0 cm x 1.0 cm and 1.3 cm, white and rough (papilloma). The microscopical findings were renal tubular necrosis with intraluminal hyaline cylinders and the presence of multifocal cysts, in the parenchyma and between the reniculi, delimited by marked fibrotic tissue and lined by stratified cuboidal epithelial cells. Multifocal moderate nonsuppurative encephalitis with parasitic eggs, bacterial granulomatous hemorrhagic pneumonia, lymphoplasmacytic enterocolitis, severe and diffuse granulomatous otitis, with intralesional parasitic eggs and lymphoid depletion in the spleen and lymph nodes were also observed. The genital and oral papillomatosis was confirmed, and parasite eggs were also found in lung, lymph nodes and hyoid bone.

DISCUSSION

Renal diseases affecting marine animals are few reported, and data concerning polycystic kidney disease is scarce. In Brazil, a previous study with 192 stranded cetaceans reported an occurrence of 26.6% of renal cystic alterations. Among these animals, only one, also a *Steno bredanensis*, showed gross and microscopic PKD consistent characteristics [5] presenting high similarity with animal 1 and 2 described in this report. Interestingly, in the present study three of the 4 *S. bredanensis* stranded and evaluated showed cystic alterations.

Even on terrestrial wildlife mammals few PKD reports were found in available databases. The species reported are springbok (*Antidorcas marsupialis*) [8], racoons (*Procyon lotor*) [7], slender lorises (*Loris lydekkerianus*) [16], pygmy hippopotamus (*Hexaprotodon liberiensis*) [15], Brazilians agoutis (*Dasyprocta leporine*) [13], and European roe deer (*Capreolous capreolous*) [2] and domestic ferrets (*Mustela putorius furo*) [10]. The majority of the reports concerning ADPKD on animals, includes some breeds of pets, such as Persian cats and Bull Terriers, and laboratory mice [14].

In the present study, the gross and microscopic findings in animal 1 and 2 are like previous reports describing PKD in wild species [2,7] characterized a markedly size increase, on both kidneys, an irregular subcapsular surface, and the presence of numerous cystic structures on cut surface. On the other hand, animal 3, presented macroscopically only a few sparse cystic structures, resulting in no increase of the renal size. As reported in slender lorises, no other cystic alterations associated with "adult-onset" PKD in humans was seen in this case [16]. Microscopically the cystic structures displaced renal parenchyma and are lined by cuboidal epithelial cells [2,7] surrounded by variable thickness of fibrous tissue [15].

Primarily, PKD pathogeny on humans is related to mutation on PKD1 and PKD2 gene locus, which has also been described in several animal species cases of ADPKD [1,6,12]. However additional factors, as renal ischemic injury and environmental disturbances were described involving cystic formation, progression, and severity [1, 17]. In addition, molecular and morphological disturbances on renal tubular cells have been related to different signaling pathways that showed no association with mutations [1], but with external factors such as pollution, chemical compounds, or therapeutic drugs [4,5].

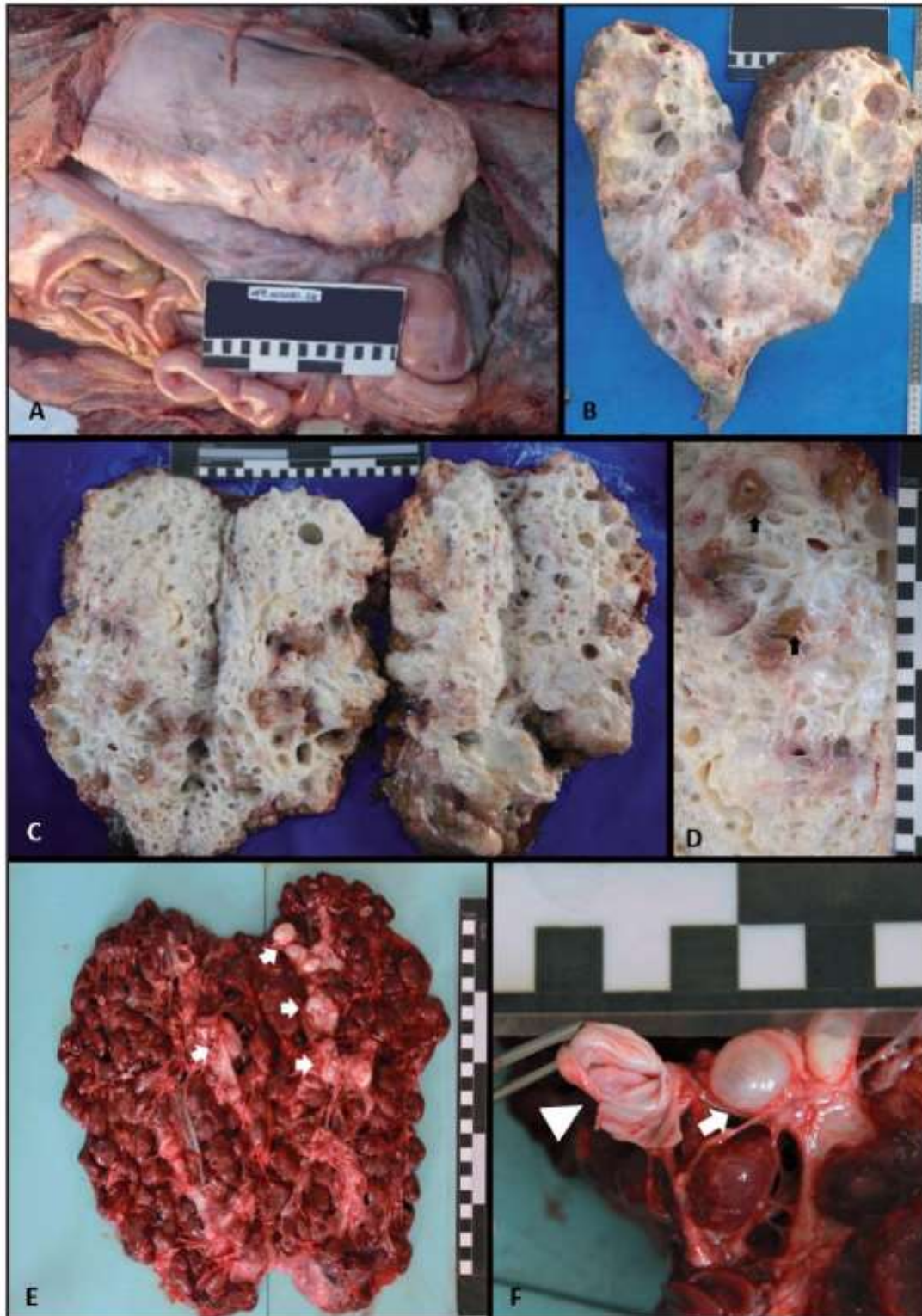


Figure 1. Gross morphology of the *Steno bredanensis* kidneys. A- Animal 1: marked enlargement of right kidney and thickening of the capsule. B- Animal 1: the parenchyma is replaced by large cysts of different sizes and surrounded by fibrosis. C&D- Animal 2: diffuse loss of renal usual architecture, replaced by numerous cystic formations, well delimited by fibrous tissue, yellow-pale and various sizes. Rare focus of normal parenchyma can be seen (arrows). E&F- Animal 3: cysts, with different sizes and thick capsule (arrows), and on cut surface view (arrowhead).

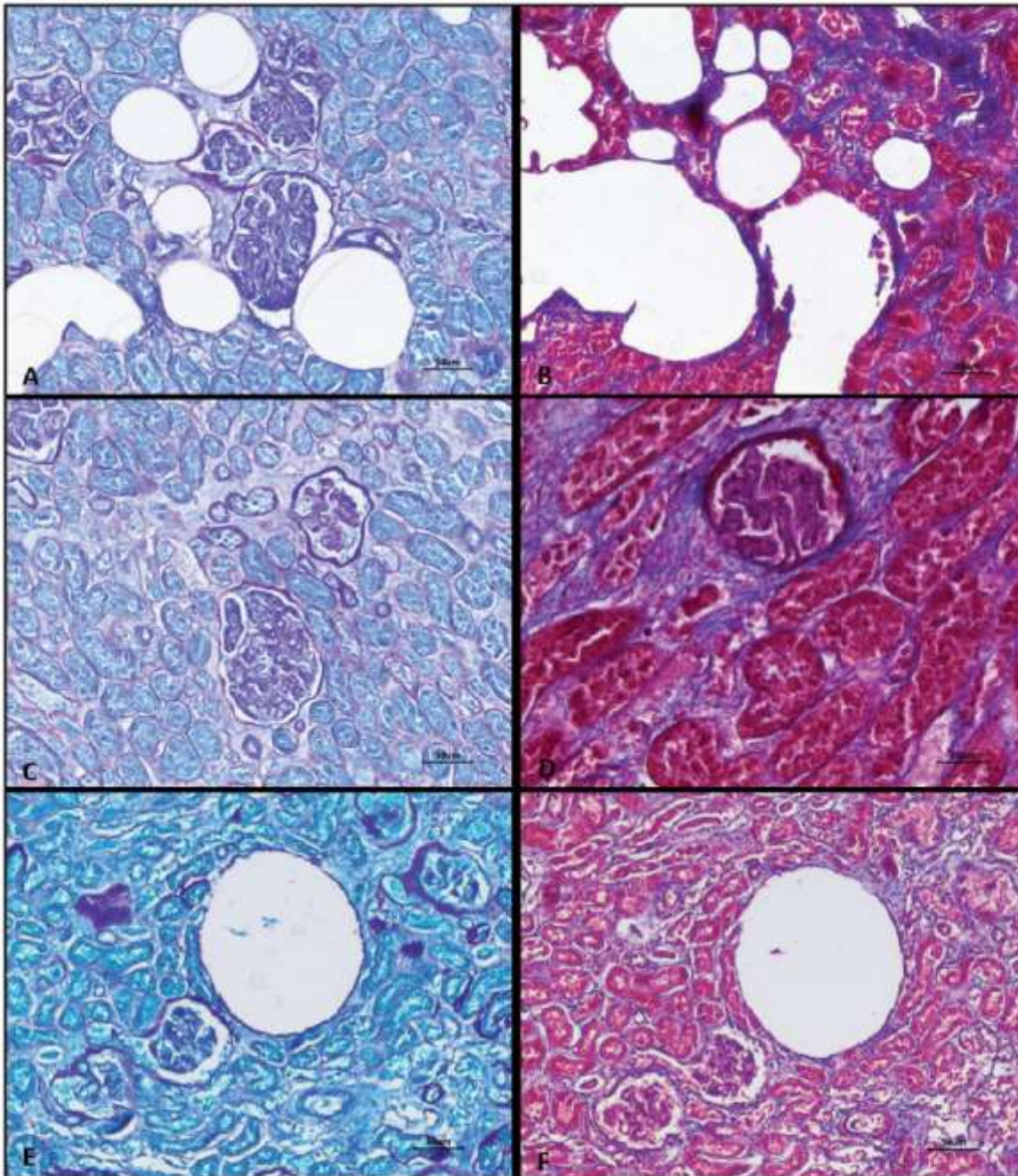


Figure 2. Microscopy of the *Steno bredanensis* kidneys. A, C, E: PAS-McManus. B, D, F: Masson's Trichrome [20x]. A&B- Animal 1: irregular size cystic formations near to glomerulus, surrounded by fibrous tissue. C- Animal 1: discrete thickness of Bowman's capsule. D- Animal 1: exuberant fibrous tissue on cortical (blue tissue). E&F- Animal 2: cystic structure delimited by mild fibrous tissue, preserving basement membrane (F).

In the human "adult-onset" PKD, about 50% of end stage renal disease patients are around 70 years old [1,18]. Animals 1 and 2 were 26 and 30 years old, respectively, a declining age for this species, considering that the time life expectancy is around 32 years

old [11]. Therefore, the age of these animals and the severity of the renal disease showed a similarity with the genetic human renal disease PKD. Animal 3 was younger, in comparison to the other cetaceans, and showed mild to moderate cystic disease accompa-

nied by a parasitic encephalitis and lesions in other systems. In this case, the death was associated with the lesions in the nervous system and not to an end stage renal disease.

Taken together, our results indicate that the gross and microscopic findings in 2 specimens are consistent with PKD. Moreover, the species affected is the same reported in a previous study [5]. Considering these aspects, a hereditary character, inherent to this species, should be considered as a primary pathway for PKD in *S. bredanensis*, similarly to other affected species. However, exposure to environmental pollutants cannot be excluded as a contributive factor. Therefore, the lack of genetic analysis on this report hampers the full comprehension and characterization of this condition on *S. bredanensis* and any other cetacean's species. This way, further studies are needed to elucidate properly and deeply the pathogenesis of marine mammal's polycystic kidney disease.

MANUFACTURERS

- ¹Dinâmica Química Contemporânea Ltda. Indaiatuba, SP, Brazil.
- ²Alphatec Produtos Químicos Ltda. São Bernardo do Campo, SP, Brazil.
- ³Inlab - Investigação Laboratorial Ltda. São Paulo, SP, Brazil.
- ⁴Vetec Química Fina Ltda. São Paulo, SP, Brazil.
- ⁵Neon Comercial Reagentes Analíticos Ltda. Suzano, SP, Brazil.
- ⁶Labsynth Produtos para Laboratórios Ltda. Diadema, SP, Brazil.
- ⁷Grupo União Química Farmacêutica Nacional S.A. São Paulo, SP, Brazil.
- ⁸Ourofino Saúde Animal Ltda. Cravinhos, SP, Brazil.
- ⁹Equiplex Indústria Farmacêutica Ltda. Aparecida de Goiânia, GO, Brazil.

Acknowledgments. We thank the Santos Basin Beach Monitoring Project (PMP-BS) team, particularly the Laboratory of Zoology of Universidade Estadual de Santa Catarina that conducted the cetacean age analysis. Barbara G. Pires and Ana Paula F.R.L. Bracarense receive fellowships from Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) from the Brazilian government.

Declaration of interest. The authors report no conflicts of interest. The authors alone are responsible for the content and writing of the paper.

REFERENCES

- 1 Bergmann C., Guay-Woodford L.M., Harris P.C., Horie S., Peters D. & Torres V.E. 2018. Polycystic kidney disease. *Nature reviews. Disease primers*. 4(1): 50. <https://doi.org/10.1038/s41572-018-0047-y>
- 2 Blutke A., März K., Matenaers C., Oswald K., Hermanns W. & Wanke R. 2013. Polycystic kidney disease in a European roe deer (*Capreolus capreolus*). *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*. 44(2): 487-490.
- 3 Caballero S., Jackson J., Mignucci-Giannoni A.A., Barrios-Garrido H., Beltrán-Pedreiros S., Robertson K.M. & Baker C.S. 2008. Molecular systematics of South American dolphins Sotalia: Sister taxa determination and phylogenetic relationships, with insights into a multi-locus phylogeny of the Delphinidae. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 46(1): 252-268.
- 4 Cianciolo R.E. & Mohr F.C. 2015. Urinary system. In: *Jubb, Kennedy and Palmer's Pathology of Domestic Animals*. 6th edn. St. Louis: Elsevier Inc., pp.376-464.
- 5 Gonzales-Viera O., Ruoppolo V., Marigo J., Carvalho V.L., Groch K.R., Bertozzi C.P., Takakura G., Namiyama R.E.T., Vanstreels J.L. & Catão-Dias J.L. 2015. Renal lesions in cetaceans from Brazil. *Journal of Comparative Pathology*. 152(4): 345-354.
- 6 Guerra J.M., Cardoso N.C., Daniel A.G.T., Onuchic L.F. & Cogliati B. 2020. Prevalence of autosomal dominant polycystic kidney disease in Persian and Persian-related cats in Brazil. *Brazilian Journal of Biology*. 81(2): 392-397.
- 7 Hamir A.N. & Klein L. 1996. Polycystic kidney disease in a raccoon (*Procyon lotor*). *Journal of Wildlife Diseases*. 32(4): 674-677.
- 8 Hohn A.A. 1980. Age determination and age-related factors in the teeth of Western North Atlantic bottlenose dolphins. *Scientific Reports of the Whales Research Institute*. 32: 39-66.
- 9 Iverson W.O., Fetterman G.H., Jacobson E.R., Olsen J.H., Senior D.F. & Schober E.E. 1982. Polycystic kidney and liver disease in Springbok: I. Morphology of the lesions. *Kidney International*. 22(2): 146-155.
- 10 Jackson C.N., Rogers A.B., Maurer K.J., Lofgren J.L., Fox J.G. & Marini R.P. 2008. Cystic renal disease in the domestic ferret. *Comparative Medicine*. 58(2): 161-167.
- 11 Jefferson T.A. 2009. Rough-toothed dolphin: *Steno bredanensis*. In: Würsig B., Thewissen J.G.M. & Kovacs K. (Eds). *Encyclopedia of Marine Mammals*. 3rd edn. London: Academic Press, pp.990-992.

- 12 Lyons L.A., Biller D.S., Erdman C.A., Lipinski M.J., Young A.E., Roe B.A., Quin B. & Grahn R.A. 2004. Feline polycystic kidney disease mutation identified in PKD1. *Journal of the American Society of Nephrology*. 15(10): 2548-2555.
- 13 Müller D.W.H., Szentiks C.A. & Wibbelt G. 2009. Polycystic kidney disease in adult Brazilian agoutis (*Dasyprocta leporina*). *Veterinary Pathology*. 46(4): 656-661.
- 14 Nagao S., Kugita M., Yoshihara D. & Yamaguchi T. 2012. Animal models for human polycystic kidney disease. *Experimental Animals*. 61(5): 477-488.
- 15 Nees S., Schade B., Clauss M., Steinmetz H.W., Ehrensperger F., Steck B. & Hatt J.M. 2009. Polycystic kidney disease in the pygmy hippopotamus (*Hexaprotodon liberiensis*). *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*. 40(3): 529-535.
- 16 Plesker R. & Schulze H. 2006. Polycystic nephropathy in slender lorises (*Loris lydekkerianus*). *American Journal of Primatology; Official Journal of the American Society of Primatologists*. 68(8): 838-844.
- 17 Reeders S.T. 1992. Multilocus polycystic disease. *Nature genetics*. 1(4): 235-237.
- 18 Romão E.A., Moysés Neto M., Teixeira S.R., Muglia V.F., Vieira Neto O.M. & Dantas M. 2006. Renal and extra-renal manifestations of autosomal dominant polycystic kidney disease. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*. 39(4): 533-538.
- 19 Rousselet E., Stolen M., Durden W.N., Jablonski T., Stacy N.I. & Rotstein D.S. 2019. Bilateral Polycystic Kidneys and Focal Renal Cystadenoma in a Pygmy Sperm Whale (*Kogia breviceps*). *Journal of wildlife diseases*. 55(1): 258-261.
- 20 Sumathi D., Ramesh P., Jeyaraja K., Gopalakrishnan A. & Jayathangaraj M.G. 2019. Polycystic Kidney Disease in Three Dogs-A Report. *The Indian Veterinary Journal*. 96(5): 83-84.

1368 **7. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

1369

1370 Há um crescente interesse na pesquisa de elementos traço e as
1371 possíveis alterações em cetáceos, uma vez que esses animais possuem
1372 grande longevidade e ocupam elevado nível na cadeia trófica, sendo
1373 importantes sentinelas da saúde do ambiente marinho. Entretanto, ainda são
1374 escassos os estudos que correlacionam a presença e quantidade desses
1375 elementos e as consequências do acúmulo nos diferentes tecidos, em
1376 especial órgãos de metabolização e excreção de substâncias potencialmente
1377 nocivas para os mamíferos.

1378 Observou-se uma maior prevalência de elementos como
1379 mercúrio e cádmio em animais de hábitos predominantemente oceânicos ou
1380 pelágicos e elevadas concentrações desses elementos em animais jovens e
1381 imaturos, o que pode indicar uma carga elevada dos mesmo em animais de
1382 níveis tróficos mais baixos na cadeia alimentar e, portanto, uma maior
1383 quantidade desses elementos no ambiente.

1384 Os resultados obtidos por meio da análise histopatológica dos
1385 rins de odontocetos encalhados no litoral do Paraná, São Paulo e Santa
1386 Catarina e as concentrações hepáticas de elementos traços não essenciais
1387 indicam que as lesões renais são frequentes e as concentrações de
1388 elementos traço bastante variáveis. A associação entre esses fatores é
1389 complexa, visto que há uma grande multiplicidade de causas de alterações
1390 renais, bem como de acúmulo de metais.

1391 Tendo em vista que os metais traço não são exclusivamente
1392 nefrotóxicos, sugere-se que possam ter ocorrido alterações em outros
1393 sistemas, bem como processos infecciosos, que possam ter contribuído para

1394 o encalhe e óbito desses animais. Da mesma forma, as alterações renais
1395 observadas não são exclusivamente relacionadas a alterações tóxicas,
1396 havendo a necessidade de maiores estudos relacionados às alterações
1397 renais macroscópicas e microscópicas nesses animais e suas possíveis
1398 causas.

1399 Nota-se ainda a importância e contribuição social, econômica e
1400 científica da monitorização sistemática de praias realizada pelos Projetos de
1401 Monitoramento de Praias realizado ao longo da costa brasileira, realizando
1402 coleta de dados e materiais para análises laboratoriais que vem contribuindo
1403 para melhor compreensão do ambiente marinho, seus habitantes e os
1404 impactos gerados pela interação antrópica.

Anexo 1: Alterações histopatológicas renais e concentrações hepáticas de elementos traço não essenciais em odontocetos encaçados nos litorais do Paraná, Santa Catarina e São Paulo - Brasil, entre os anos de 2015 e 2019

Estado (N)	Espécie(N)	Sexo (N)	Maturidade sexual (N)	Alterações histopatológicas renais									Concentração de Elementos traço (mg.kg ⁻¹)					
				Congestão	Necrose tubular	Atrofia glomerular	Espessamento da cápsula de Bowman	Degeneração	Presença de cilindros hialinos	Processo inflamatório	Granuloma	Fibrose	Calcificação	Hg	Pb	As	Cd	
PR (15)	<i>P. blainvillei</i> (1)	F (1)	Imaturo (1)	MF +	MF +	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,311	0,016	1,169	0,225
	<i>S. guianensis</i> (12)	F (7)	Imaturo (6)	MF +	MF +	MF ++	MF ++	-	-	MF +	F	-	-	0,574	0,027	0,674	<LD	
				D ++	-	MF +	MF +	MF +	-	-	F	-	-	1,650	0,021	0,773	0,080	
				D +	MF +	-	-	MF ++	-	MF +	-	-	-	5,745	<LD	0,419	<LD	
				D +	MF ++	MF +	MF +	-	-	-	-	-	-	2,473	0,020	0,904	0,111	
				D +++	MF +	MF +	MF +	-	-	-	-	-	-	6,142	0,014	0,913	1,112	
				D ++	MF +	-	-	MF +	-	-	-	-	-	0,482	0,028	0,352	<LD	
			Maduro (1)	D +++	-	D +++	D +++	-	MF ++	MF ++	-	-	-	24,288	<LD	0,411	0,219	

	M (5)	Imaturo (2)	D	-	MF +	MF +	-	-	MF	-	-	-	4,225	0,024	0,739	0,194
			++						++							
			D	MF	MF +	MF +	-	-	-	-	-	-	40,391	0,013	0,886	0,921
			+++	+												
		Maduro (3)	D	-	MF	MF	-	MF	MF	-	MF	-	2,610	0,071	0,818	0,202
			+++		++/+++	++/+++		++	++		+					
			D	-	MF ++	MF	-	MF	-	-	-	-	32,038	0,012	0,650	0,684
			+++			++/+++		++								
			MF	-	D +++	D +++	-	-	MF	-	F +	-	8,203	0,028	0,572	0,234
			+						++							
	<i>T. truncatus</i>	F (2)	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,494	<LD	0,552	0,060
	(2)	Maduro (1)	D	-	MF ++	MF ++	-	-	-	-	-	-	577,933	0,096	0,292	1,255
			++													
SC (20)	<i>K. breviceps</i>	F (1)	NI (1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14,433	0,034	1,480	12,942
	(1)															
	<i>P. dioptrica</i>	M (1)	Maduro (1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,312	0,040	0,757	13,505
	(1)															
	<i>P. blainvillei</i>	F (2)	Imaturo (1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,145	0,011	0,551	<LD
	(7)		NI (1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,462	0,023	2,589	0,493
		M (5)	Imaturo (1)	+	-	-	-	-	-	-	-	-	4,769	0,021	0,907	1,125
			Maduro (2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33,120	0,025	1,170	1,100
				-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,342	0,036	1,181	1,074
			NI (2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,709	0,043	0,211	<LD

			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,881	<LD	0,153	<LD
	<i>S. guianensis</i> (2)	F (2) Imaturo (2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10,786	<LD	0,542	0,151
			++	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,330	0,022	0,355	<LD
	<i>S. frontalis</i> (2)	M (2) Imaturo (1)	-	MF+	-	-	-	-	-	-	-	-	32,153	0,033	0,578	7,682
		Maduro (1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	716,057	<LD	0,529	171,284
	<i>S. longirostris</i> (1)	M (1) Imaturo (1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	55,526	0,013	1,234	4,248
	<i>T. truncatus</i> (6)	F (3) Imaturo (3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,019	<LD	0,336	<LD
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,848	0,013	0,228	<LD
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,033	0,035	0,211	0,030
		M (3) Imaturo (1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,526	<LD	0,446	0,076
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17,772	0,022	0,848	0,210
		NI (1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,279	0,018	0,563	<LD
SP (73)	<i>P. blainvillei</i> (45)	F (23) Imaturo (16)	-	MF+	-	-	-	-	-	-	-	-	0,843	0,030	0,108	<LD
			D	MF	-	-	-	-	-	-	-	-	0,929	0,023	0,395	<LD
			++	+	-	-	-	-	-	-	-	-	2,308	<LD	0,320	<LD
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,308	<LD	0,320	<LD

	-	MF	-	-	-	-	-	-	-	-	1,691	<LD	0,371	<LD
		+												
	D		-	-	-	-	-	-	-	-	1,747	<LD	1,042	0,096
	++													
	D		-	-		D	-	-	-	-	0,833	<LD	1,183	0,137
	++					++								
	D	MF	-	-	-	-	-	-	-	-	1,343	<LD	0,512	<LD
	++	+												
	D	MF	-	-	-	-	-	-	-	-	1,339	0,016	0,467	<LD
	++	+												
	D	MF	-	-	-	-	-	-	-	-	3,995	<LD	0,612	0,026
	++	+												
	D	MF+	-	-	-	-	-	-	-	-	1,453	0,031	0,768	0,046
	++													
	-		-	-		D	-	-	-	-	1,852	0,011	0,210	<LD
						++								
	-	MF	-	-	-	-	-	-	-	-	1,666	0,028	1,167	0,058
		+												
	MF		-	-	-	-	-	-	-	-	1,237	0,042	1,800	0,120
	+													
	D +		-	-	-	-	-	-	-	-	0,845	<LD	0,386	<LD
	-		-	-	-	-	-	-	-	-	2,351	<LD	1,592	0,123
	MF	MF	-	-		MF	-	-	-	-	0,540	0,027	0,601	0,048
	++	+				+++								
Inconclusivo (1)	D	MF	-	-	-	-	-	-	-	-	1,357	<LD	0,638	0,080
	++	+												
Maduro (1)	D	MF	-	-	-	-	-	-	-	-	7,719	0,016	0,516	4,189
	++	+												

	NI (5)	-	-	-	-	++	-	-	-	-	-	4,235	0,038	1,009	2,162
		D													
		++	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,130	0,016	0,415	<LD
		D +	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,532	<LD	0,872	<LD
		D													
		++	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,230	<LD	1,471	0,359
		D													
		++	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,689	<LD	1,766	0,194
	M (23) Imaturo (13)	D													
		++	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,412	<LD	0,230	0,037
		++	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,251	<LD	1,212	0,236
		-	MF												
		+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,006	0,020	0,240	<LD
		-	MF												
		+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,448	<LD	1,453	0,161
		D													
		++	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,973	<LD	0,908	0,233
		D													
		++	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,369	0,019	1,407	0,144
		D													
		++	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,444	<LD	0,486	<LD
		D													
		++	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,331	<LD	0,164	<LD
		D													
		++	-	-	-	MF									
		++	-	-	-	++	-	-	-	-	-	0,421	0,032	0,795	<LD
		D	D												
		++	+++	-	-	-	-	-	-	-	-	1,282	<LD	1,157	0,162

			D	-	-	-	-	-	-	-	-	0,535	<LD	0,436	0,024
			++												
			-	MF	-	-	-	-	-	-	-	4,002	<LD	0,818	0,654
				+											
			D	MF	-	-	-	-	-	-	-	4,033	0,015	0,974	4,152
			++	+											
		Maduro (4)	D	MF	-	-	-	-	-	-	-	2,095	0,012	0,939	0,598
			+++	+											
			-	MF	-	-	-	-	-	-	-	2,122	0,028	1,145	0,490
				+											
			D		-	-	-	-	-	-	-	2,382	<LD	1,150	0,268
			++												
			MF		-	-	-	-	-	-	-	3,622	<LD	0,959	0,765
			+												
		NI (6)	-		-	-	-	-	-	-	-	0,980	<LD	0,217	<LD
			D		-	-	-	-	-	-	-	1,456	<LD	1,512	0,837
			++												
			D		-	-	-	-	-	-	-	1,617	<LD	1,924	1,303
			++												
			D		-	-	-	-	-	-	-	1,355	<LD	1,861	0,929
			++												
			D +		-	-	-	-	-	-	-	1,800	<LD	1,318	0,030
			-	MF	-	-	-	-	-	-	-	1,579	0,011	0,333	<LD
				+											
			D		-	-	-	-	-	-	-	23,847	0,022	1,094	0,977
			++												
		F (4) Imaturo (3)	-	MF	-	-	MF	-	-	-	MF	18,730	0,168	1,034	0,565
				++			++			+					
		<i>S. guianensis</i> (18)													

		-	MF	-	-	-	-	-	-	-	3,883	0,016	0,409	<LD
		-	+	-	-	-	-	-	-	-	11,124	<LD	0,565	0,401
	NI (1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23,209	0,016	0,986	0,374
	M (14) Imaturo (8)	-	MF	-	-	-	-	-	-	-	26,807	<LD	1,366	1,028
		-	+	-	-	-	-	-	-	-	38,807	0,037	1,277	1,335
		D	-	-	-	-	-	-	-	-	20,355	<LD	0,645	0,493
		++	-	-	-	-	-	-	-	-	0,974	<LD	0,474	<LD
		D	-	-	-	-	-	-	-	-	8,901	0,039	0,639	0,079
		++	-	-	-	-	-	-	-	-	0,264	0,020	2,451	<LD
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,696	<LD	2,510	0,243
		-	MF	-	-	-	-	-	-	-	98,524	0,028	0,957	2,191
	Maduro (5)	-	+	-	-	-	-	-	-	-	74,473	0,087	0,692	0,771
		D +	-	-	-	-	-	-	-	-	2,700	0,044	1,092	0,130
		D +	-	-	-	-	-	-	-	-	15,608	<LD	1,122	0,281
		-	-	-	-	-	MF	-	-	-	259,091	<LD	0,089	0,064
		-	+	-	-	-	+	-	-	-				

		NI (1)	-	-	-	-	-	MF ++	MF ++	-	-	-	98,216	0,294	8,238	26,567
<i>S. attenuata</i> (1)	F (1)	Maduro (1)	-	MF +	-	-	-	-	-	-	-	-	500,388	0,026	1,014	8,116
<i>S. frontalis</i> (1)	F (1)	NI (1)	-	-	-	-	-	MF +	MF +	-	-	MF +	363,457	0,019	0,703	3,567
	M (4)	Imaturo (2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,010	<LD	0,433	0,054
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50,059	0,019	0,445	2,482
		Maduro (1)	-	MF +	-	-	-	-	-	-	-	-	140,527	<LD	0,423	0,627
		NI (1)	MF +	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,570	<LD	0,670	0,065
<i>S. bredanensis</i> (3)	F (1)	Imaturo (1)	D ++	-	-	-	-	-	-	-	-	-	140,101	0,184	1,274	0,355
	M (2)	Imaturo (1)	D ++	-	-	-	-	-	-	-	-	-	266,348	0,350	1,051	1,890
		Maduro (1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	355,099	<LD	0,626	1,146

Legenda: (N) número total de indivíduos por categoria; (NI) Não informado; (F) Focal; (MF) Multifocal; (D) Difusa; (+) discreta; (++) Moderada; (+++) Acentuada; (<LD) Abaixo do limite mensurável.