### UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE - FURG PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA BIOLÓGICA

# ESTIMATIVAS DE COMPRIMENTO TOTAL DOS BOTOS (*Tursiops truncatus*) DO ESTUÁRIO DA LAGOA DOS PATOS, RS, A PARTIR DA FOTOGRAMETRIA A LASER DA NADADEIRA DORSAL

## ANA BÁRBARA BRONI DE MIRANDA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Oceanografia Biológica da Universidade Federal do Rio Grande - FURG, como requisito parcial à obtenção do título de MESTRE

Orientador: Luciano Dalla Rosa

RIO GRANDE Setembro, 2016

#### AGRADECIMENTOS

Ao Luciano Dalla Rosa pela oportunidade concedida e orientação no desenvolvimento deste trabalho.

Aos membros da banca Silvina Botta, Pedro Fruet, Luis Gustavo e Daniel Danilewicz pela disponibilidade e por todas as correções e sugestões que foram essenciais no enriquecimento do trabalho.

Ao Lauro Barcellos, Rodrigo Genoves e todo o pessoal do Projeto Botos e do Museu Oceanográfico que ajudou na realização deste trabalho.

Ao Ruy, meu companheiro de todas as horas. Obrigada por acreditar em mim e me apoiar sempre! Essa vitória é nossa...

A Lorena Dias, minha mana conterrânea, que me acolheu com os braços abertos nessa cidade fria... E também ao Sagesse, meu irmão francês, aquele amigo pra todas as horas.

A Suelen, por todas as aulas, trabalhos, conversas, comidas, risadas e lágrimas compartilhados ao longo deste tempo! Não sei o que seria de mim nessa jornada se não fosse a tua companhia.

A Juliana Di Tullio pela ajuda com análises. Valeu Ju, tu és demais!

Ao Eduardo Secchi e todo pessoal do EcoMega, que me acolheram tão bem desde o primeiro dia e proporcionaram ótimos momentos de aprendizado e descontração.

E por último, mas não menos importante, minha família, que está comigo mesmo de longe... Vocês são meus maiores exemplos e a minha força. Se cheguei até aqui, o mérito é de vocês!

### ÍNDICE

RESUMO	4
ABSTRACT	6
INTRODUÇÃO	8
A população de botos do estuário da Lagoa dos Patos	13
Objetivos	17
MATERIAL E MÉTODOS	18
Área de estudo	18
Coleta de dados - encalhes	19
Coleta de dados - fotogrametria a laser e foto-identificação	20
Equipamento fotogramétrico	22
Fontes de erro e Calibração	24
Análise e seleção das imagens	27
Estimativas de medidas da nadadeira dorsal	28
Coeficiente de Variação e Erro de Medição da técnica	29
Relações alométricas e estimativas do comprimento total	30
Medidas manuais x medidas fotogramétricas	32
Dimorfismo sexual	33
Crescimento da nadadeira dorsal	33
SÍNTESE DOS RESULTADOS	36
CONCLUSÕES	38
LITERATURA CITADA	40
APÊNDICE	49

#### RESUMO

Dados morfométricos são importantes para entender fatores chave em ecologia de populações, como crescimento e alometria, dimorfismo sexual e variações geográficas. A fotogrametria a laser é uma técnica simples para obtenção de medidas morfológicas em animais livres na natureza e baseia-se no princípio de lasers paralelos que projetam pontos cuja distância entre eles funciona como uma escala para estimativa de medidas nas fotografias. Esta técnica foi utilizada em conjunto com a foto-identificação para analisar a morfometria da nadadeira dorsal, estimar o comprimento total e identificar as classes etárias de uma população de botos Tursiops truncatus que habita o estuário da Lagoa dos Patos e regiões costeira adjacentes, no sul do Brasil. A aplicação da fotogrametria também permitiu descrever o crescimento da nadadeira dorsal e investigar o dimorfismo sexual nas medidas morfométricas desta população. Medidas do comprimento (CD) e altura (AD) da nadadeira dorsal de 62 indivíduos (17 fêmeas e 7 machos) foram obtidas utilizando um par de lasers paralelos acoplados a câmera. O baixo erro de medição encontrado (CD= 6,1% e AD= 6,0%) sugere que a técnica é consistente e pode ser replicada. As relações alométricas entre o comprimento total (CT) e as medidas da nadadeira dorsal foram analisadas através de uma regressão linear simples com dados de encalhes de 34 fêmeas, 39 machos e 14 indivíduos de sexo desconhecido. As equações de regressão obtidas a partir do CT e do CD foram utilizadas para estimar o tamanho dos indivíduos fotografados. As classes etárias da população foram definidas a partir do CT estimado para cada boto foto-identificado, onde 35 deles foram identificados como maturos,

13 foram imaturos e 14 foram filhotes. Análises de dimorfismo sexual indicaram diferenças significativas entre todas as medidas (CT, CD e AD) de indivíduos maturos, com os machos sendo ligeiramente maiores que fêmeas. Os modelos de crescimento de Gompertz indicaram que o tamanho assintótico da nadadeira dorsal é atingido com aproximadamente 10 anos de idade em fêmeas (CD= 44,8 cm e AD= 24,8 cm) e 12 anos em machos (CD= 48,6 cm e AD= 29,2 cm). Neste estudo, a fotogrametria foi aplicada pela primeira vez em golfinhos no Brasil, mostrando sua utilidade na obtenção de medidas corporais em animais de vida livre. Através desta técnica foi possível estimar o comprimento total de cerca de 70% dos indivíduos, onde cerca de 55% deles foram classificados como maturos sexualmente. Tais resultados encontrados aportarão importantes informações para o desenvolvimento de futuros trabalhos na região, relacionados ao monitoramento da estrutura e dinâmica desta população.

Palavras-chave: morfometria, *T. truncatus*, fotogrametria a laser, nadadeira dorsal, crescimento,

#### ABSTRACT

Morphometric data are important for the knowledge of key factors in population ecology, such as growth, allometry, sexual dimorphism and geographic variation. Laser photogrammetry represents an alternative technique for obtaining morphological measurements free-ranging animals. This technique was used associated with photoidentification to analyze dorsal fin morphology, estimate the total length and identify the age groups of a common bottlenose dolphins Tursiops truncatus population inhabiting the Patos Lagoon estuary, in southern Brazil. Photogrammetry application also allows describing dorsal fin growth and investigating sexual dimorphism in morphometric measurements of this population. We obtained measurements of dorsal fin height (DH) and base length (DL) of 62 individuals in the population (17 females and 7 males). The low measurement error estimated (DL= 6.1%, DH= 6.0%) suggests that the technique is consistent and can be replicated. Data on body length (BL) and DL of 87 stranded individuals of T. truncatus were used in models to estimate BL of photographed individuals, and later classify them into age classes. Age classes were defined from BL estimated for each photo-identified dolphin: 35 of them were identified as mature, 13 were immature and 14 were calves. Sexual dimorphism was significant between all measurements in mature individuals, with males slightly larger than females. Gompertz growth model results indicated that dorsal fin asymptotic size is achieved with approximately 10 years in females (CD= 44.8 cm, AD= 24.8 cm) and 12 years in males (CD= 48 6 cm, AD = 29.2 cm). In this study, photogrammetry was first applied in a population of dolphins in Brazil and using this technique it was possible to estimate the BL of approximately 70% of individuals, in which 55% were ranked as sexually mature. Such results represent important information for the development of future studies in the region, involving monitoring the population structure and dynamics.

Keywords: allometry, dorsal fin, growth, laser photogrammetry, morphometrics, *Tursiops truncatus*.

#### INTRODUÇÃO

Estudos sobre a história de vida das espécies descrevem os fenômenos que determinam a forma como elas alocam energia para o crescimento, reprodução e sobrevivência ao longo do tempo (Begon *et al.,* 2006; Chivers, 2009). O conhecimento destas estratégias de vida ajuda a elucidar as relações ecológicas das espécies com o meio em que vivem, e para isso é necessário obter informações como tamanho corporal e morfologia, idade de maturidade sexual e primeira reprodução, alimentação, padrões migratórios e longevidade das espécies (Chivers, 2009).

Dados morfométricos são importantes no conhecimento de fatores chave em ecologia de populações e história natural das espécies de mamíferos marinhos, como crescimento e alometria (e.g. Stolen *et al.*, 2002; Botta *et al.*, 2006; McFee *et al.*, 2010; Mallette *et al.*, 2016), dimorfismo sexual e padrões reprodutivos (e.g. Tolley *et al.*,1995; Lindenfors *et al.*, 2002; Lourie *et al.*, 2014) e variações geográficas (e.g. Wang *et al.*, 2000; Baker *et al.*, 2002). O tamanho de um animal também pode ser utilizado na inferência do sexo e, quando associados à idade, do estágio de maturidade física e sexual (Cubbage & Calambokidis, 1987; Ramos *et al.*, 2002; Rowe & Dawson, 2009).

O tamanho do corpo é considerado a mais básica e fundamental característica de um organismo e há muito é objeto de estudos com as mais diversas finalidades, ajudando a responder questões acerca da biologia e ecologia das espécies (Hespenheide, 1973; Begon *et al.*, 2006). Isso por que muitos dos atributos da história de vida, ecologia e evolução de um organismo

podem estar diretamente relacionados com o tamanho de seu corpo, membros ou apêndices (Hespenheide, 1973; Blueweiss *et al.*, 1978; Calder, 1996). A nadadeira dorsal de cetáceos, por exemplo, é importante na hidrodinâmica e termorregulação deste grupo, funções que estão diretamente relacionados com as características ambientais (Weller, 1998). Variações fenotípicas no tamanho e forma da nadadeira dorsal já foram identificadas em algumas populações de *Tursiops truncatus* (e.g. Weller, 1998; Morteo, 2004). Estas variações podem estar relacionadas a respostas comportamentais, fisiológicas e anatômicas devido a diferenças ambientais (e. g. variação clinal na temperatura, mudança de ambiente costeiro para oceânico) (Weller, 1998; Morteo, 2004). A nadadeira dorsal também pode ser utilizada para estimar o comprimento total do corpo de um indivíduo, através de relações alométricas entre essas medidas que podem ser obtidas analisando dados de animais encalhados (e.g. Clark & Odell, 1999; Webster *et al.*, 2010).

Informações morfométricas também têm implicações significativas na conservação de populações, pois possibilitam investigar sua dinâmica populacional, condição de saúde, demandas metabólicas e podem auxiliar na identificação do status taxonômico (e.g. Perryman & Westlake, 1998; Perryman & Lynn, 2002; Noren, 2011; Berger, 2012; Growcott *et al.*, 2012). Também representam valiosa informação contribuindo para entender a influência da alteração do habitat e interações antrópicas, através da análise das taxas de crescimento e padrões de mortalidade natural e não natural (e.g. Botta *et al.*, 2010; Fruet *et al.*, 2012; Berger, 2012). Além disso, o planejamento das estratégias de conservação frequentemente requer o desenvolvimento de

modelos populacionais que se baseiam no crescimento, reprodução e sobrevivência, que por sua vez dependem da idade ou tamanho de um animal (e.g. Stolen & Barlow, 2003; Taylor *et al.*, 2007). Assim, inferências sobre o tamanho e classe etária de indivíduos de uma população representam informações fundamentais na conservação das espécies.

A obtenção de medidas morfológicas de cetáceos pode ser feita tanto a partir de animais vivos como mortos. A maioria dos dados morfométricos disponíveis são originados da medição de indivíduos provenientes de encalhes (e.g. Fernandez & Hohn, 1998; McFee et al., 2010), capturas acidentais pela pesca (e.g. Murphy & Rogan 2006; Fruet et al., 2012) e animais capturados vivos ou em cativeiro (e.g. Cockroft & Ross, 1990; Read et al., 1993; Clark & Odell, 1999). Dados de encalhes e capturas acidentais estão suscetíveis ao viés da mortalidade acentuada em determinadas classes etárias e sexo (e.g. Botta et al., 2010; Fruet et al., 2012; Prado et al., 2016). Medidas obtidas em animais em cativeiro podem fornecer informações inadequadas, pois as taxas de crescimento podem diferir consideravelmente daquelas de indivíduos livres na natureza devido a circunstâncias como disponibilidade de alimento e gasto energético (Read el al., 1993; Kastelein 2002). A captura de animais vivos, especialmente aquelas espécies mais ativas, tem grande potencial de causar algum tipo de dano ou perturbação (Bräger & Chong, 1999; Ancrenaz et al., 2003; Willisch et al., 2013), podendo assim ser indesejadas por razões éticas (Rowe & Dawson, 2008). Além disso, especialmente para espécies muito ativas ou de grande porte, como os cetáceos, a captura pode requerer grandes esforços, recursos e tempo, prejudicando sua viabilidade (Durban & Parsons, 2006; Breuer *et al.*, 2007). Por esses motivos, estudos envolvendo capturas de pequenos cetáceos livres na natureza são raros e limitados a regiões com populações costeiras bem estudadas (e.g. Read *et al.*, 1993; Tolley *et al.*, 1995).

A fotogrametria representa uma técnica alternativa, prática e eficaz na estimativa de variáveis morfológicas em animais vivos, tanto em ambientes terrestres quanto aquáticos, já tendo sido aplicada em vários grupos de peixes cartilaginosos (Deakos, 2010; Rohner *et al.*, 2011; Jeffreys *et al.*, 2013), mamíferos marinhos (Cubbage & Calambokidis, 1987; Bräger & Chong, 1999; Durban & Parsons, 2006; Webster *et al.*, 2010) e mamíferos terrestres (Shrader *et al.*, 2006; Bergeron, 2007; Willisch *et al.*, 2013; Galbany *et al.*, 2015). Através de ferramentas fotográficas é possível inferir sobre as dimensões corporais de um animal indiretamente ou remotamente, utilizando imagens simples, 3D ou até mesmo imagens aéreas (Durban & Parsons, 2006; Webster *et al.*, 2010; Miller & Hall, 2012).

As abordagens tradicionais da fotogrametria se baseiam na relação entre a distância focal da lente e a distância da câmera ao objeto para estimar medidas (e.g. Jaquet, 2006; Breuer *et al.*, 2007; Berger *et al.*, 2012; Meise *et al.*, 2014), onde o tamanho de um objeto pode ser determinado pela razão entre a distância focal da lente e a distância da câmera ao objeto (Breuer *et al.*, 2007). Variações desta técnica incluem sistemas que utilizam uma ou mais fotografias e diferentes formas de escala e calibração. A estereofotogrametria, por exemplo, utiliza duas ou mais câmeras para obter imagens simultâneas e criar modelos em três dimensões; a distância pré-determinada entre as câmeras somada ao aumento da lente funcionam como escala nas fotos (e.g. Cubbage & Calambokidis, 1987; Dawson *et al.*, 1995; Brager & Chong, 1999; Waite *et al.*, 2007). A fotogrametria simples utiliza apenas uma câmera e uma única foto para cada medida que se deseja obter, e requer um objeto ou referência com tamanho conhecido na imagem (e.g. Ireland *et al.*, 2006; Willish *et al.*, 2013) ou uma medida da distância da câmera ao animal (e.g. Perryman & Lynn, 1993; Spitz *et al.*, 2000; Jaquet, 2006), para servir de escala. Uma adaptação mais recente desta metodologia, utilizando apenas uma câmera e um par de *lasers*, tem conseguido satisfatoriamente estimar medidas corpóreas de algumas espécies de peixes e mamíferos (Durban & Parsons 2006; Bergeron, 2007; Rowe & Dawson, 2008; Webster *et al.*, 2010; Rohner *et al.*, 2011; Jeffreys *et al.*, 2013).

A denominada fotogrametria a *laser* (do inglês, *laser metrics/laser photogrammetry*) utiliza um par de *lasers* paralelos para a calibração das imagens e consiste em fotografar pontos projetados por estes *lasers* no corpo do animal que se deseja medir. Este método é baseado no princípio de que estes *lasers* paralelos projetam luzes equidistantes independente da distância da origem (Bergeron, 2007; Rothman *et al.*, 2008), desta forma distância entre estes pontos na foto representa uma escala que pode ser utilizada nas estimativas das medidas morfométricas (Durban & Parsons, 2006; Webster *et al.*, 2010; Miller & Hall, 2012). Os dois *lasers* são fixados paralelamente a uma distância pré-determinada, através de uma peça suporte acoplada à câmera fotográfica, permitindo a aplicação desta técnica em conjunto com estudos de

foto-identificação. Se o objeto de interesse é posicionado perpendicularmente ao eixo dos *lasers*, e estes são paralelos um ao outro, medidas são possíveis a qualquer distância em que os *lasers* estiverem visíveis (Currey & Rowe, 2008; Rowe & Dawson, 2008).

Esta técnica já foi aplicada em cetáceos para obter medidas da nadadeira dorsal (e.g. Durban & Parsons, 2006; Miller & Hall, 2012), estimar o comprimento total e analisar o crescimento da nadadeira dorsal (Webster *et al.*, 2010), determinar o sexo através da nadadeira dorsal (Currey *et al.*, 2008; Rowe & Dawson, 2009) e investigar dimorfismo sexual (Rowe & Dawson, 2008; Durban *et al.*, 2016), diferenças nos padrões sazonais de natalidade entre estoques populacionais (Rowe *et al.*, 2010) variações morfológicas entre populações (Rowe *et al.*, 2010; Durban *et al.*, 2016).

#### A população de botos do estuário da Lagoa dos Patos

O boto, ou golfinho nariz-de-garrafa, *Tursiops truncatus* (Montagu, 1821) é um cetáceo encontrado praticamente em todas as zonas costeiras e mares tropicais e temperados do mundo, ocasionalmente até em rios (Leatherwood, 1983; Wells & Scott, 2009). Dentro desta ampla distribuição, a espécie está adaptada a uma grande variedade de ambientes, incluindo a zona pelágica, quebra de plataforma, baías, lagoas e estuários e pode também estar associada a ilhas e arquipélagos oceânicos (Leatherwood *et al.*, 1982; Wells & Scott, 1999). A grande área geográfica e diversidade de habitats ocupados refletem a capacidade de adaptação da espécie às diferentes condições ambientais existentes ao longo de sua distribuição (Mead & Potter, 1990; Ross & Cockroft, 1990; Wells *et al.*, 1990).

*T. truncatus* pode ser identificado através do porte médio, corpo robusto, nadadeira dorsal relativamente falcada e, principalmente, uma nítida dobra separando o melão do rostro, que é curto e largo (truncado) e caracteriza a espécie (Wells & Scott, 2009). Sua coloração consiste em tons de cinza, com o dorso mais escuro e o ventre mais claro, porém sem nenhuma demarcação nítida, com a variação ocorrendo gradativamente (Reeves *et al.,* 2002).

As diferentes condições oceanográficas às quais a espécie está sujeita exercem bastante influência em atributos de sua história de vida, como exemplificado na variação morfológica clinal reportada na literatura (e.g. Reeves *et al.*, 2002; Wells & Scott, 2009). Aparentemente, o tamanho corporal da espécie está correlacionado com a temperatura da água (Ross & Cockroft, 1990; Wells & Scott, 2009). Diferentes formas geográficas já foram identificadas em várias populações de *T. truncatus* (e.g. Gao *et al.*, 1995; Mead & Potter, 1990; Read *et al.*, 1993), com o comprimento total variando entre 2,4 e 3,8 metros (Reeves *et al.*, 2002; Venuto, 2015). Variações fenotípicas também podem ser encontradas entre populações de golfinhos costeiros e oceânicos (Leatherwood & Reeves, 1983; Hersh & Duffield, 1990; Hale *et al.*, 2000; Costa *et al.*, 2016), geralmente acompanhadas de diferenciação genética (e.g. Hoelzel *et al.*, 1998; Parsons *et al.*, 2002; Segura *et al.*, 2006; Perrin *et al.*, 2011). Para a costa atlântica da América do Sul, Barreto (2000) sugeriu a

existência de duas formas e recomendou o uso da subespécie *T. truncatus gephyreus* para a "forma sul", presente ao sul de Santa Catarina.

No Brasil, *T. truncatus* ocorre na região costeira desde a foz do Rio Amazonas (Siciliano *et al.,* 2008) até o Chuí, no estado do Rio Grande do Sul (Bastida *et al.,* 2007). Pequenas populações desta espécie podem estar associadas a estuários, baías, ilhas costeiras e também arquipélagos e atóis oceânicos (Wells & Scott, 1999).

Uma população relativamente pequena de *T. truncatus* habita o estuário da Lagoa dos Patos, RS, (32°07'S, 52°05'W), apresentando forte e duradoura fidelidade ao local (Castello & Pinedo, 1977; Dalla Rosa, 1999). O estuário da Lagoa dos Patos e águas adjacentes destacam-se pela sua importância ecológica (grande zona de produção biológica e alta biodiversidade) e socioeconômica (intensas atividades portuárias, industriais, agrícolas, pesqueiras e turísticas) na região costeira do sul do Brasil (Seeliger & Odebrecht, 2010).

Esta população é alvo de estudos de foto-identificação desde a década de 70 (Castello & Pinedo, 1977), e desde 2005 de monitoramentos sistemáticos (Fruet *et al.,* 2015a). A foto-identificação dos indivíduos ocorre a partir de marcas e cicatrizes evidentes e de longa duração na nadadeira dorsal (i.e. cortes e deformidades) e possibilita a criação de catálogos de imagens de animais "marcados" na população, onde cada um é reconhecido pelo padrão único exibido na nadadeira dorsal (Wursig & Jefferson, 1990; Wursig & Wursig, 1977). Outras características da nadadeira dorsal dos animais, como forma,

coloração, arranhões e ferimentos de curta duração eventualmente podem ser utilizadas em conjunto com as marcas duradouras, de forma auxiliar na identificação dos indivíduos catalogados e pode diferenciar temporariamente os indivíduos que não possuem marcas permanentes ou de longa duração (Wursig & Jefferson, 1990).

Utilizando a foto-identificação foi possível identificar e catalogar cerca de 70% (50-60 indivíduos) da população, incluindo todas as fêmeas adultas (Fruet et al., 2015a). As estimativas de abundância através de modelos de marcaçãorecaptura aplicados a dados de foto-identificação mais recentes indicam uma população em torno de 88 indivíduos (Fruet et al., 2015a), os quais utilizam preferencialmente áreas nas proximidades da boca do estuário para atividades vitais durante o ano todo (Mattos et al., 2007; Di Tullio et al., 2015). Vários estudos sobre a ecologia e biologia desta população foram realizados até o momento, incluindo distribuição, abundância, interação com a pesca, uso do habitat, aspectos reprodutivos, estrutura social, entre outros (Dalla Rosa, 1999; Mattos et al., 2007; Fruet et al., 2012; Genoves, 2013; Di Tullio et al., 2015; Fruet et al., 2015 a, b). Além disso, monitoramentos de praia realizados regularmente nas áreas adjacentes ao estuário possibilitaram inferir informações biológicas importantes, como aspectos da dieta (Pinedo, 1982; Secchi et al., in press), morfologia e mortalidade idade-específica (Barreto, 1994; Barreto, 2000, Venuto, 2015) e interações antrópicas (Fruet et al., 2012).

Dados morfométricos obtidos através da técnica de fotogrametria a laser podem representar uma valiosa contribuição para os estudos de foto-

16

identificação da população de *T. truncatus* do estuário da Lagoa dos Patos. Tais informações relacionadas com dados da história de vida dos animais conhecidos, por exemplo sexo e idade, podem ajudar a entender aspectos da dinâmica e ecologia populacional, como a distribuição de indivíduos por classe etária, crescimento e dimorfismo sexual.

#### Objetivos

#### Geral:

Investigar as relações morfométricas da nadadeira dorsal e a estrutura de tamanhos e classes etárias dos botos do Estuário da Lagoa dos Patos e áreas costeiras adjacentes.

#### Específicos:

- Estimar o comprimento e altura da nadadeira dorsal dos indivíduos da população de *Tursiops truncatus* do estuário da Lagoa dos Patos;
- Estimar o comprimento total e identificar as classes etárias dos animais foto-identificados;
- Testar a aplicação da técnica de fotogrametria a laser nesta população;
- Investigar o dimorfismo sexual nas medidas morfométricas;
- Descrever o crescimento da nadadeira dorsal de fêmeas e machos.

#### MATERIAL E MÉTODOS

#### Área de estudo

A Lagoa dos Patos forma, juntamente com a Lagoa Mirim, o maior complexo lagunar do mundo, localizado na planície costeira do Rio Grande do Sul, entre as latitudes 30°30' e 32°12'S e as longitudes 050°30'e 052°32'W. Com uma superfície de 10.227 km<sup>2</sup>, é considerada a maior lagoa "estrangulada" do mundo e pode ser dividida em 5 unidades biológicas: Rio Guaíba, Enseada de Tapes, Lagoa do Casamento, o corpo central lagunar e o estuário (Asmus, 1998). A Lagoa dos Patos recebe água doce de uma bacia de drenagem de 201.626 km<sup>2</sup>, a partir dos rios da bacia do sudeste e da área de drenagem da Lagoa Mirim, através do Canal de São Gonçalo. Este complexo padrão de fluxo de águas da bacia de drenagem, somado a uma elevada precipitação pluviométrica, resulta em processos hidrográficos altamente variáveis e dinâmicos, que sustentam o desenvolvimento de um complexo ecossistema que abriga várias espécies de invertebrados, peixes, aves e mamíferos marinhos (Asmus, 1998; Seeliger & Odebrecht, 2010).

Localizado na extremidade austral da lagoa, o estuário da Lagoa dos Patos (ELP) (31°57'S e 52°06'W) possui cerca de 1000 km<sup>2</sup> (10% da lagoa) e é conectado ao Oceano Atlântico através de um estreito canal, com 20 km de comprimento e 0,5-3 km de largura (Seeliger & Odebrecht, 2010) (fig. 1). Sua profundidade média é de 5m, variando de acordo com a topografia, atingindo valor máximo de 18m no canal onde este se comunica com o oceano (Calliari, 1998). A região está sujeita à intensa influência antropogênica, principalmente atividades pesqueiras e industriais e tráfego de embarcações, que se sobrepõem à área de vida de *T. truncatus* e de várias outras espécies (Fruet *et al.*, 2012, Di Tullio *et al.*, 2015).



**Figura 1** - Área de estudo da população de *T. truncatus* do Estuário da Lagoa dos Patos e áreas costeiras adjacentes no sul do Brasil. As linhas tracejadas representam o trajeto dos monitoramentos para fotoidentificação da população e as linhas azuis representam o percurso dos monitoramentos das praias costeiras adjacentes. Mapa adaptado de Fruet *et al.*, 2015b.

#### Coleta de dados - encalhes

As áreas ao sul e norte dos molhes, região entre a Lagoa do Peixe (31°26'S-51°09'W) e a Barra do Chuí (33°45'S-53°22'W) (fig. 1), caracterizamse pela presença de praias arenosas, as quais são alvo do monitoramento sistemático de mamíferos marinhos realizados há mais de 30 anos. Utilizandose um veículo tracionado (4x4), o esforço amostral foi alternado semanalmente entre as áreas norte (da boca do estuário até o Parque Nacional Lagoa do Peixe), com 135km de extensão, e sul (da boca do estuário até a Barra do Chuí), com 220km de extensão, por pelo menos dois observadores da equipe do Laboratório de Ecologia e Conservação da Megafauna Marinha (ECOMEGA), da Universidade Federal do Rio Grande – FURG. (ver Prado *et al.*, 2016).

O protocolo utilizado para coleta de informações e amostras de mamíferos marinhos encalhados incluiu o registro da data, localização geográfica, comprimento total do corpo e as medidas da nadadeira dorsal (Norris, 1961), e quando possível era identificado o sexo. Além disso, amostras de material biológico como pele, músculo, estômago, gônadas, crânio e dentes também eram coletadas sempre que possível (i.e. dependendo do estado de decomposição do animal). O grau de decomposição das carcaças (1: vivo, 2: recentemente morto, 3: moderadamente decomposto, 4: em avançado estado de acordo com Geraci e Lounsbury (2005). Além disso, registros de captura acidental eram feitos nos casos dos indivíduos identificados evidências de interação com a pesca (e.g. pedaços de rede enrolada no corpo, marcas de rede ou bala de arma de fogo; ver Prado *et al.*, 2016). Dados questionáveis ou incompletos foram omitidos das análises.

#### Coleta de dados - fotogrametria a laser e foto-identificação

Para a aplicação da técnica de fotogrametria, em conjunto com a fotoidentificação, utilizou-se a porção final do ELP e as áreas costeiras adjacentes norte e sul, as quais representam a área central de ocorrência desta população de *T. truncatus* (Di Tullio *et al.*, 2015) (fig. 1). As saídas foram realizadas por pesquisadores vinculados ao Projeto Botos da Lagoa do Laboratório de Mamíferos Marinhos - Museu Oceanográfico/FURG e ao Ecomega, e seguiam protocolo para estudos de foto-identificação (Hammond *et al.*, 1990). Estas eram programadas para iniciar no amanhecer e se estender até o fim da tarde, durando aproximadamente 8-9 horas, com exceção dos dias em que as condições ambientais estavam desfavoráveis (e.g. baixa visibilidade e estabilidade, estado do mar >3 na escala Beaufort, chuvas).

O trajeto era predeterminado nos monitoramentos sistemáticos realizados pelo Projeto Botos da Lagoa (ver Fruet *et al.*, 2015b) e percorrido a bordo de uma embarcação de 5,6 metros, equipada com motor de popa de 90 hp. Iniciava-se no Museu Oceanográfico e seguia-se em zigue-zague (pelo estuário) ou de forma linear (nas zonas costeiras adjacentes) até que um grupo de botos era avistado. Então, era feita a aproximação ao grupo e iniciava-se o esforço fotográfico. Assim que eram obtidas fotos da nadadeira dorsal de todos os animais do grupo, ou quando, por algum motivo, perdia-se o contato com eles, o encontro era encerrado e o trajeto era reiniciado. As fotos eram preferencialmente capturadas perpendicularmente à nadadeira dorsal, a uma distância inferior a 15 metros, buscando-se uma melhor visualização dos indivíduos e dos pontos projetados pelos lasers. Distâncias maiores que 15 metros podem também levar a um maior erro e distorção nas distâncias e medidas (Durban & Parsons, 2006).

Todas as saídas eram compostas por pelo menos 3 pessoas: o piloto da embarcação, o fotógrafo e um anotador para os dados coletados. Os dois pesquisadores também faziam a busca visual pelos botos. O trajeto e esforço de coleta eram monitorados com o auxílio de GPS, e para cada avistagem eram registradas informações sobre o grupo além de dados alguns abióticos (e.g. coordenadas geográficas, estado do mar, profundidade e temperatura da água, presença de juvenis e neonatos, número de animais no grupo, presença de indivíduos conhecidos).

Atualmente, o catálogo de foto-identificação da população de botos da Lagoa dos Patos conta com 76 indivíduos foto-identificados pelas suas marcas de longa duração, incluindo 18 juvenis, 37 fêmeas e 21 machos (Fruet *et al.*, 2015a). Informações sobre a unidade social, área de vida e sexo encontram-se disponíveis para os animais catalogados. A identificação do sexo foi feita por meio do registro de associações repetidas e consistentes (i.e. em várias situações independentes) com um filhote, onde o individuo é considerado fêmea, por meio de ocasionais fotografias da região genital durante a foto-identificação e/ou por meio de análises genéticas utilizando a pele proveniente de biopsias remotas.

#### Equipamento fotogramétrico

Para realizar a fotogrametria foi necessário montar um equipamento específico, composto por uma câmera digital (digital single-lens reflex) Nikon Profissional D300S equipada com lente de 300 mm (f 4.0) ou 70–200 mm (f 2.8), um par de lasers verdes ajustáveis e seus adaptadores para fixação

(Galileo 5 - *Laserglow Technologies*, Toronto, Canadá; http://www.laserglow.com/GGA). Lasers verdes apresentam maior brilho e contraste que os vermelhos, além de serem mais visíveis em grandes distâncias, uma vez que a luz verde possui um comprimento de onda (532nm) mais facilmente detectável pelo olho humano (Durban & Parsons, 2006; Rothman *et al.*, 2008; Jeffreys *et al.*, 2013).

Estes lasers possuem potência de saída 4.0-5.0 mW, pertencendo a classe IIIa (<5 mW), de acordo com a classificação de segurança da FDA (*Food and Drug Administration* - U.S.A.). Este tipo de laser não representa risco para a saúde e segurança dos animais ou pesquisadores e apenas condições prolongadas (>10s) de exposição tem potencial para causar danos à retina (Durban & Parsons, 2006). Os *lasers* são projetados preferencialmente na nadadeira dorsal ou em região próxima, longe dos pesquisadores e dos olhos dos animais. Além disso, os lasers utilizados neste estudo possuem filtro para prevenir contra raios infravermelho, estando assim em conformidade com todas as normas de segurança.

O design do equipamento seguiu, com algumas modificações, os sistemas utilizados por Durban e Parsons (2006) e Rowe e Dawson (2008). Os lasers foram montados paralelamente em um suporte acoplado convenientemente à câmera (fig. 2). Uma placa retangular de metal foi confeccionada para acomodar dois anéis adaptadores, que posicionam paralelamente as duas ponteiras e as fixam afastadas 10 cm, distância usada como escala no presente trabalho. O desenvolvimento de tal sistema resultou em um mecanismo preciso e com ajuste fino, baixo custo e de fácil produção quando comparado a outras técnicas de fotogrametria (e.g. estereofotogrametria, Dawson *et al.*, 1995; Brager & Chong, 1999).



Figura 2 - Equipamento para aplicação da fotogrametria nos botos do Estuário da Lagoa dos Patos, RS.

#### Fontes de erro e Calibração

A fotogrametria a laser, assim como outras técnicas de medição, está sujeita a erros em todos os estágios metodológicos, desde a obtenção das fotografias, no campo, como no processo de medição em si, durante as análises e processamento das imagens. O alinhamento não paralelo dos lasers é uma potencial fonte de viés nas estimativas durante as saídas de campo, mas pode ser remediado com ajuste fino, calibrações regulares e restrição da distância das fotos utilizadas (Gingras *et al.*, 1998).

O erro de paralaxe ("parallax error"), ao longo do eixo vertical, ocorre quando o fotógrafo está olhando para baixo quando captura a imagem e a câmera fotográfica está num plano mais alto que a nadadeira dorsal (Durban & Parsons, 2006). Desta forma, os raios lasers não estão paralelos a superfície da água e consequentemente também não estão perpendiculares à nadadeira dorsal. Este erro leva a um viés negativo que é maior à medida que a dorsal se afasta da perpendicularidade, porém é minimizado com a distância e posicionamento do fotógrafo ao nível do mar (Durban & Parsons, 2006). O erro de eixo horizontal ("horizontal axis error") ocorre se a fotografia é obtida quando o corpo do golfinho não está totalmente paralelo ao plano da câmera, e a dorsal não está perpendicular ao fotógrafo, induzindo também a um viés negativo (Durban & Parsons, 2006). Entretanto, uma análise trigonométrica indicou que desvios de até 10° em relação à perpendicular causa viés negativo menor do que 1,5% na estimativa de tamanho do objeto (Rowe & Dawson, 2009). Outros testes indicaram que os erros produzidos em desvios de até 20° no ângulo da câmera em relação ao objeto são pouco significativos, com as medidas do objeto apresentando variações de apenas 2% do tamanho real (Webster et al., 2010; Barrickman et al., 2015).

O processo de medição também está sujeito ao erro de definição ("*definition error*"), relacionado à acurácia visual do pesquisador. Resulta na determinação subjetiva das inserções anterior e posterior da nadadeira dorsal (Durban & Parsons, 2006).

Apesar de identificadas as fontes, não é possível quantificar a real influência de cada erro envolvido nas estimativas; em contrapartida, sempre que possível, estratégias foram empregadas para minimizar os mesmos. Como os pontos dos lasers paralelos fornecem uma escala de tamanho em cada foto, a calibração da câmera (exigida para a fotogrametria tradicional e definida com base no aumento das lentes) não é necessária. Por outro lado, o sistema a laser requer calibração e frequente manutenção para assegurar o alinhamento e distância entre os lasers e evitar os erros acima descritos (Rowe & Dawson, 2008).

Os lasers foram calibrados no início de cada saída para confirmação da distância de 10 cm entre eles. Para isso, um quadro milimetrado (escala 1 x 1 mm) foi fotografado com os pontos projetados a uma distância de 10 m. Esta foi escolhida por ser uma distância comum nas aproximações durante o esforço fotográfico de foto-identificação nesta população e adequada para a visibilidade dos lasers e eficiência da técnica. Se os pontos estivessem a uma distância diferente de 10 cm no grid, esta era corrigida através do ajuste fino dos lasers paralelos. Ao final de cada saída, o quadro milimetrado era fotografado novamente para identificar possíveis variações na distância entre os lasers. Eventualmente também era confirmada a distância entre os lasers e m três distâncias diferentes (8, 10 e 12 m), para verificar se eles continuavam paralelos.

#### Análise e seleção das imagens

Em laboratório, as imagens obtidas em campo foram analisadas, classificadas e selecionadas segundo critérios de qualidade presentes em protocolos de foto-identificação (e.g. Wilson et al., 1999): nitidez (exposição, foco е contraste), а ausência de brilho ou espuma, posição (perpendicularidade) e enquadramento da nadadeira dorsal. Critérios adicionais específicos da fotogrametria incluíram a distância (i.e. fotos com a dorsal visivelmente distante eram descartadas) e pontos dos lasers visíveis no corpo.

Desta forma, na categoria 1 foram incluídas fotos de excelente e boa qualidades: com foco, boa exposição de luz e nitidez, sem reflexo de luz ou presença de água ou espuma. Além disso, a nadadeira dorsal devia estar bem centralizada, ocupando boa parte do quadro fotográfico, visivelmente posicionada de forma perpendicular ao fotógrafo e com os dois pontos dos lasers bem visíveis (alto contraste). Na categoria 2 foram incluídas fotos de qualidade média: parcialmente focada, nadadeira dorsal um pouco distante e/ou levemente diagonal, com poucos reflexos ou espuma. Nesta categoria foram incluídas fotos onde os pontos dos lasers podiam estar menos visíveis (ligeiramente "apagados" ou difusos). Na categoria 3 foram incluídas as fotos com qualidade ruim: fora de foco, nadadeira dorsal distante, diagonal ao fotógrafo e pouco exposta, apenas um dos pontos visível, ou ambos mas com baixa nitidez. As fotos de categoria 3 foram excluídas das análises.

Além disso, sempre que necessário eram feitos aprimoramentos nas imagens utilizando o *software* GIMP 2.8 (https://www.gimp.org/), para melhorar

a visibilidade dos lasers e da nadadeira, como alteração do brilho, contraste e níveis de cor.

#### Estimativas de medidas da nadadeira dorsal

A partir das fotografias selecionadas e da escala produzida pelos lasers, duas medidas foram estimadas para cada indivíduo: comprimento da base da nadadeira dorsal (CD) e altura da nadadeira dorsal (AD) (fig. 3).



**Figura 3** – Medidas do comprimento (CD) e altura (AD) da nadadeira dorsal (em vermelho) obtidas a partir de fotografias de indivíduos da população de *Tursiops truncatus* do Estuário da Lagoa dos Patos, RS, e região costeira adjacente. A distância entre os pontos dos lasers (em vermelho) representa a escala de 10 cm utilizada na estimativa de CD e AD. Em amarelo, as linhas acessórias utilizadas para auxiliar na definição das inserções anterior e posterior da nadadeira dorsal.

O CD foi definido como a distância em linha reta da inserção anterior até a inserção posterior na base nadadeira dorsal, paralelamente ao corpo do animal (fig. 3). Para minimizar a subjetividade e o erro de definição, linhas acessórias foram desenhadas utilizando o GIMP para indicar o ponto exato, seguindo método empregado por Rowe & Dawson (2008) em *T. truncatus*. A inserção anterior foi definida como o ponto de interseção entre duas linhas de referência desenhadas às margens da nadadeira e da parte do corpo adjacente. Já a inserção posterior localiza-se no ponto onde uma linha reta acessória, desenhada à margem do dorso do animal, se afasta do contorno da nadadeira dorsal. A AD foi definida como a distância, numa reta perpendicular, entre a linha de CD e uma linha de referência paralela a ela, desenhada a partir do ponto mais alto da nadadeira dorsal (fig. 3).

O software ImageJ 1.49v (https://imagej.nih.gov/ij/) foi usado para calcular essas medidas, usando como base a distância de 10 cm entre os lasers (Durban & Parsons, 2006; Webster *et al.* 2010), e também para aferir as calibrações, identificando variações e erros no alinhamento. Esta ferramenta permite estimar o número de *pixels* correspondente à distância entre os lasers nas imagens para utilizá-lo como escala para as estimativas da medidas da nadadeira dorsal.

#### Coeficiente de Variação e Erro de Medição da técnica

Para avaliar a magnitude dos erros envolvidos com a aplicação da técnica de fotogrametria, foram calculados os erros interfotografia e intrafotografia. O erro interfotografia, resultado de mudanças na orientação e posicionamento do corpo do animal em relação ao fotógrafo, pode ser obtido verificando-se a variação nas medidas de um mesmo indivíduo em diferentes fotos com diferentes angulações ou distâncias da nadadeira dorsal em relação

ao fotógrafo. O erro intrafotografia, acessado através de múltiplas medições não consecutivas de uma mesma fotografia, resulta do erro de definição (ver métodos) no processo de medição. Os erros acima descritos foram quantificados através do cálculo do coeficiente de variação (CV %).

Além disso, utilizando um modelo II de análise de variância (ANOVA) foi possível calcular o erro de medição (ME %), segundo método descrito por Bailey e Byrnes (1990), para particionar a variância total das medidas da nadadeira dorsal e separar a variabilidade individual daquela introduzida pelo erro. O erro de medição interfotografia é calculado aqui utilizando as variâncias das medidas de diferentes fotos de um mesmo indivíduo ( $s^2ind$ ) e de medidas entre diferentes indivíduos ( $s^2eind$ ), através da fórmula abaixo:

$$ME(\%) = 100(\frac{s^2 ind}{s^2 ind + s^2 eind})$$

#### Relações alométricas e estimativas do comprimento total

Os dados de *T. truncatus* encontrados mortos durante os monitoramentos de praia permitiram o desenvolvimento de modelos que auxiliam na estimativa do comprimento total (CT) da população de botos vivos. Regressões lineares simples foram ajustadas para avaliar a correlação entre as medidas da nadadeira dorsal e o CT dos indivíduos encalhados e assim desenvolver equações que permitam a estimativa do tamanho mesmo quando apenas parte do corpo é visível acima da superfície do oceano. Neste estudo, as equações foram utilizadas para estimar o CT dos exemplares fotografados

no ELP e áreas costeiras adjacentes a partir das medidas de CD obtidas pela fotogrametria em conjunto com a foto-identificação.

A variabilidade individual no crescimento impossibilita a construção de modelos de estimativa de idade baseados em medidas morfométricas. Neste estudo, por exemplo, uma fêmea de 4 anos pode ter de 271 a 289 cm de comprimento. Apesar disso, é possível classificar os indivíduos em classes etárias, baseado em seu comprimento total estimado.

As classes etárias foram definidas com base em informações de idade, comprimento total do corpo e maturidade sexual disponíveis para a população botos do ELP e região costeira adjacente. As idades foram estimadas através das contagem dos grupos de camadas de crescimento (*Growth Layer Groups* – GLGs; Perrin & Myrick, 1980) presentes na dentina e cemento dos dentes de indivíduos encalhados (Barreto, 2000; Venuto, 2015). Para definir a classe de animais maturos, foram utilizadas informações da idade de maturidade sexual de fêmeas do ELP inferidas a partir de monitoramentos sistemáticos de foto-identificação (Fruet *et al.*, 2015b) e de machos disponíveis em literatura (Mead & Potter, 1990; Wells *et al.*, 1987).

Os dados de CT dos encalhes registrados durante os monitoramentos de praia e suas respectivas idades estimadas foram usadas para determinar as classes. Na classe I, incluíram-se os filhotes (desde neonatos até indivíduos com 2 anos de idade), independentemente do sexo. O limite superior foi definido a partir do maior comprimento alcançado na amostra (i. e. maior indivíduo com idade estimada em 2 anos). Na classe II, alocaram-se indivíduos

imaturos (juvenis, entre 2 e 7 anos para fêmeas e 2 e 10 anos para machos) com tamanho intermediário, definido pelos limites superior da classe I e inferior da classe III. Na classe III, adultos (maturos sexualmente, idade >7 anos em fêmeas e >10 anos em machos). O limite inferior da classe III foi definido a partir de critérios de maturidade sexual, utilizando o CT dos menores indivíduos maturos (pela idade) em cada sexo. No caso de indivíduos de sexo desconhecido foi utilizada a média entre os comprimentos estimados de machos e fêmeas para definir os limites superiores das classes II e III.

As classes então foram definidas assim:

- Classe I: indivíduos com CT até 265 cm.
- Classe II: fêmeas medindo entre 265,1 278,9 cm; machos medindo entre 265,1 312,9 cm e; indivíduos de sexo desconhecido com tamanhos entre 265,1 295,9 cm.
- Classe III: fêmeas medindo a partir de 279 cm; machos acima de 313 cm; indivíduos de sexo desconhecido com CT igual ou superior a 296 cm.

#### Medidas manuais x medidas fotogramétricas

As medidas de CD e AD obtidas manualmente dos indivíduos encontrados mortos durante os monitoramentos de praia foram comparadas com as medidas obtidas por meio da fotogrametria de indivíduos fotoidentificados utilizando-se o teste t de Student. A comparação das medidas entre as duas metodologias foi feita por classe etária, para evitar que a diferenças ontogenéticas e diferentes proporções entre as classes nas duas amostras influenciassem negativamente nas análises.

#### Dimorfismo sexual

Utilizando dados de indivíduos provenientes tanto de encalhes quanto de foto-identificação no ELP, uma regressão linear simples entre CD e AD foi ajustada para descrever a relação de proporção entre as duas medidas em cada sexo. Uma ANOVA foi usada para testar as diferenças entre fêmeas e machos, após confirmados os pressupostos de normalidade e homocedasticidade.

#### Crescimento da nadadeira dorsal

Para descrever o crescimento e investigar como as medidas da nadadeira dorsal variam com a idade e sexo, o modelo de Gompertz (GGM) (Ricker, 1975) foi ajustado separadamente para os dados de AD e CD de fêmeas e machos cujas idades eram conhecidas. O ajuste da curva foi calculado por meio do método não-linear de mínimos quadrados ("*Nonlinear Least Squares*" - *NLS*) e o utilizando o modelo:

$$Lt = L\infty \exp(-\exp(b - (k * t)))$$

Onde,

 $L\infty$  é o tamanho assintótico (neste caso do CD e AD);

*b* é a constante de integração;

k é a taxa de crescimento;

t é a idade em anos.

O modelo de Gompertz é um dos mais comumente empregados para descrever o crescimento em cetáceos (Read *et al.*, 1993; Fernandez & Hohn, 1998; Murphy & Rogan, 2006) e, para grande parte das espécies testadas, apresentou o melhor ajuste quando comparado a outros modelos (Stolen *et al.*, 2002).

Um dos métodos mais utilizados na estimativa da idade em mamíferos marinhos consiste na contagem das camadas de crescimento (*GLGs*) depositadas em diversos tecidos, principalmente dentes e ossos (Hohn, 2009). A idade também pode ser estimada a partir de estudos de longo prazo utilizando técnicas de marcação-recaptura, acompanhando os indivíduos identificados através de marcas artificiais ou naturais ao longo do tempo (e.g. Hamilton *et al.*, 1998). Porém, a não ser que os indivíduos sejam acompanhados por um período de tempo considerável (e.g. uma década), somente os filhotes tem sua idade precisamente conhecida, enquanto que para animais mais velhos pode-se inferir uma idade mínima (i.e., o intervalo de anos em que esse indivíduo foi avistado durante o estudo de foto-identificação e marcação-recaptura) (Wells & Scott, 1990).

Para esta análise foram selecionados 55 indivíduos que possuíam informações de comprimento e altura da nadadeira dorsal, sexo e idade estimada (ou idade mínima). Destes, 36 foram de provenientes de encalhes e 19 foram indivíduos pertencentes ao catálogo de foto-identificação dos botos do ELP. Os últimos tiveram suas idades mínimas estimadas por pesquisadores experientes. Optou-se por usar também dados de fotogrametria dos indivíduos,

já que uma potencial subestimação das idades estimadas (devido ao uso de idades mínimas) não iria influenciar tanto nas medidas da dorsal uma vez que o crescimento da mesma atinge uma assíntota. Além disso, o monitoramente de longo prazo da população garante que as idades mínimas estimadas sejam em grande parte de adultos, cujo crescimento da dorsal se estabilizou e não acompanha mais o aumento da idade.

Todas as análises estatísticas acima descritas foram executadas no *software* R 3.3.1 (R Development Core Team, 2016).

#### SÍNTESE DOS RESULTADOS

Esta seção apresenta apenas um resumo dos resultados encontrados neste trabalho. Os resultados na íntegra estão no artigo produzido, que pode ser encontrado no Apêndice.

Entre setembro de 2015 e maio de 2016 foram realizadas 18 saídas de campo para a fotogrametria, onde foram obtidas 6.380 fotografias de identificação dos botos do ELP, das quais 622 (9,7%) apresentaram marcas visíveis dos lasers e, com base nos critérios de qualidade, 175 fotografias (28,3%) foram selecionadas as estimativas das medidas. A partir destas fotografias, foi possível obter as medidas do CD e AD de 62 indivíduos desta população, sendo 37 deles conhecidos pelas suas marcas de longa duração (15 fêmeas, 7 machos, 15 de sexo desconhecido),

Através do cálculo do erro de medição (ME%), observamos que apenas 6,1% do erro nas medidas do CD e 6,0% na AD é explicado pela variação em diferentes fotos do mesmo indivíduo. As médias estimadas do CD em cada classe etária não foram significativamente diferentes entre medidas manuais e fotogramétricas, indicando que as últimas podem ser consideradas próximas aos tamanhos reais.

Foram selecionadas medidas morfológicas de 87 *T. truncatus* encalhados para analisar as relações alométricas entre o CT e as duas medidas da nadadeira dorsal (CD e AD). Destes, 34 eram fêmeas, 39 eram machos e não foi possível determinar o sexo de 14 indivíduos (tab. 3 do Apêndice).
As regressões lineares confirmaram que o CD é melhor preditor para o comprimento total em fêmeas, machos e indivíduos de sexo indeterminado. Utilizando as medidas obtidas com a fotogrametria e as regressões lineares acima, foi possível estimar o comprimento total de boa parte da população residente no ELP. As estimativas para o CT variaram de 265,5 a 355,3 cm em fêmeas, com média de 307,5 cm. Machos foram ligeiramente maiores, com 277,3 a 376 cm de CT, média de 327,5 cm. Indivíduos de sexo desconhecido apresentaram tamanhos entre 172,6 e 374,5 cm, com média de 272,9 cm. Usando o comprimento total estimado e os critérios descritos na metodologia, cerca de 55% (35) dos indivíduos fotografados foram animais maturos, 21% (13) eram imaturos e 24% (14) eram filhotes (tab. 5 do Apêndice). As análises do dimorfismo sexual indicaram que, apesar do machos atingirem tamanhos maiores em todas as medidas investigadas (CT, CD e AD), a relação entre AD e CD não difereu significativamente entre os sexos, com as duas retas apresentando um padrão semelhante de inclinação (fig. 5 do Apêndice).

O tamanho assintótico estimado a partir do modelo de Gompertz do CD e da AD foi estimado em 44,8 cm e 24,8 cm, respectivamente, para fêmeas, sendo atingido com aproximadamente 10 anos de idade nas duas medidas. Nos machos, o tamanho assintótico foi de 48,6 cm para CD e 29,2 cm para AD, alcançado a partir dos 12 anos de idade em ambas as medidas (figs. 6 e 7 do Apêndice).

# CONCLUSÕES

Neste estudo, a técnica de fotogrametria a laser associada à fotoidentificação permitiu medir o tamanho da nadadeira dorsal e estimar o comprimento total de cerca de 70% dos indivíduos da população de botos residentes no estuário da Lagoa dos Patos, no sul do Brasil. Não foi possível avaliar diretamente a eficácia deste método fotogramétrico, uma vez que não havia indivíduos de tamanho conhecido disponíveis para comparação em campo. Além disso, nenhum indivíduo fotografado com a técnica foi encontrado morto posteriormente nos monitoramentos de praia, de maneira que nos permitisse confirmar as medidas estimadas através da fotogrametria durante as saídas de foto-identificação.

Mesmo assim, a boa relação entre altura e comprimento da nadadeira dorsal com o comprimento total indicada pelas regressões dos animais encalhados demonstrou que é viável estimar as medidas morfométricas de indivíduos de *T. truncatus* livres na natureza através da fotogrametria. Além disso, quando aplicada a longo prazo em conjunto com a foto-identificação, a fotogrametria pode ser uma ferramenta eficiente na obtenção de dados que ajudam a entender a ecologia e dinâmica populacional de uma espécie, como, por exemplo, a estimativa de taxas de crescimento individual. No caso dos botos do estuário da Lagoa dos Patos, cuja fonte de informações morfométricas estão enviesadas pela mortalidade nas capturas acidentais (Fruet *et al.*, 2012), a fotogrametria permite obter um panorama mais real da distribuição de classes de tamanho da população. Neste sentido, a continuidade deste trabalho é necessária para a obtenção de múltiplas fotos de cada indivíduo, o que minimizaria a influência dos erros associados e melhoraria a acurácia da técnica. Além disso, estes dados poderão, associados a outras informações biológicas e ecológicas da população, ajudar a responder questões como potenciais diferenças entre as comunidades de botos que frequentam o Estuário da Lagoa dos Patos e águas adjacentes, e estimar o tamanho das fêmeas na sua primeira reprodução.

# LITERATURA CITADA

ANCRENAZ, M.; SETCHELL, J. M. & CURTIS, D. J. 2003. Handling, anesthesia, health evaluation and biological sampling. In: Setchell, J. M. & Curtis, D. J. (Ed.). Field and laboratory methods in primatology. Cambridge, Cambridge University Press: 122-139.

ASMUS, M. L. 1998. A planície costeira e a Lagoa dos Patos. In: U. Seeliger, C. Odebrecht e J. P. Castello (ed). Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo sul do Brasil. Ecoscientia, Rio Grande, RS: 9-12.

BAILEY, R. C. & BYRNES, J. 1990. A new, old method for assessing measurement error in both univariate and multivariate morphometric studies. Systematic Zoology, 39: 124-130.

BAKER, A. N.; SMITH, A. N. H. & PICHLER, F. B. 2002. Geographical variation in hector's dolphin: recognition of new subspecies of *Cephalorhynchus hectori*. Journal of the Royal Society of New Zealand, 32:713–727.

BARRETO, A. S. 1994. Idade e desenvolvimento craniano de *Tursiops truncatus* (Delphinidae, Cetacea) no litoral sul-sudeste do Brasil. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, RS, Brasil. 50p.

BARRETO, A. S. 2000. Variação craniana e genética de *Tursiops truncatus* (Delphinidae, Cetacea) na Costa Atlântica da América do Sul. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, RS, Brasil. 111p.

BARRICKMAN, N. L.; SCHREIER, A. L. & GLANDER, K. E. 2015. Testing parallel laser image scaling for remotely measuring body dimensions on mantled howling monkeys (*Alouatta palliata*). American Journal of Primatology, 77: 823-832.

BEGON, M.; TOWNSEND, C. R. H.; JOHN, L.; COLIN, R. T. & JOHN, L. H. 2006. Ecology: from individuals to ecosystems. 4th ed. 759p.

BERGER, J. 2012. Estimation of body size traits by photogrammetry in large mammals to inform conservation. Conservation Biology, 26: 769-77.

BERGERON, P. 2007. Parallel lasers for remote measurements of morphological traits. Journal of Wildlife Management, 71: 289-292.

BLUEWEISS, L.; FOX, H.; KUDZMA, V.; NAKASHIMA, D.; PETERS, R. & SAMS, S. 1978. Relationships between body size and some life history parameters. Oecologia, 37: 257-272.

BOTTA, S.; MUELBERT, M. M. C. & SECCHI, E. R. 2006. Morphometric relationships of franciscana dolphin, *Pontoporia blainvillei*, (Cetacea) off Rio Grande do Sul coast, southern Brazil. Latin American Journal of Aquatic Mammals, 5: 117-123.

BOTTA, S.; SECCHI, E.; MUELBERT, M.; DANILEWICZ, D.; NEGRI, M.; CAPPOZZO, H. & HOHN, A. A. 2010. Age and growth of franciscana dolphins *Pontoporia blainvillei* (Cetacea: Pontoporiidae) incidentally caught off southern Brazil and northern Argentina. Marine Biological Association of the United Kingdom, 90: 1493-1500.

BRÄGER, S. & CHONG, A. K. 1999. An application of close range photogrammetry in dolphin studies. The Photogrammetric Record, 16: 503–517.

BREUER, T.; ROBBINS, M. M. & BOESCH, C. 2007. Using photogrammetry and color scoring to assess sexual dimorphism in wild western gorillas (*Gorilla gorilla*). American Journal of Physical Anthropology, 134: 369-382.

CALDER W. A. 1996. Size, function, and life history. New York, Courier Dover. 448p.

CASTELLO, H. P., AND M. C. PINEDO. 1977. Botos na Lagoa dos Patos. Natureza em Revista 12:46–49.

CHIVERS, S. J. 2009. Cetacean life story. In: Perrin, W. F.; Würsig, B. & Thewissen, J. G. M. (Ed.). Encyclopedia of Marine Mammals, Second Edition. Academic Press, San Diego: 215-220.

CLARK, S. T. & ODELL, D. K. 1999. Allometric relationships and sexual dimorphism in captive killer whales (*Orcinus orca*). Journal of Mammalogy, 80: 777-785.

COCKCROFT, V. G. & ROSS, G. J. B. 1990. Age, growth, and reproduction of bottlenose dolphins *Tursiops truncatus* from the east coast of South Africa. Fishery Bulletin, U. S. A., 88: 289-302.

COSTA, A. P. B.; ROSEL, P. E.; DAURA-JORGE, F. G. & SIMÕES-LOPES, P. C. 2016. Offshore and coastal common bottlenose dolphins of the western South Atlantic face-to-face: What the skull and the spine can tell us. Marine Mammal Science: 1–25.

CUBBAGE, J. & CALAMBOKIDIS, J. 1987. Size-class segregation of bowhead whales discerned through aerial stereophotogrammetry. Marine Mammal Science, 3: 179-185.

CURREY, R. J. C. & ROWE, L. E. 2008. Abundance and population structure of bottlenose dolphins in Doubtful and Dusky Sounds: Population monitoring in

Summer 2007/2008. Report for the Department of Conservation, Southland Conservancy. Invercargill, New Zealand.

DALLA ROSA, L. 1999. Estimativa do tamanho da população de botos, *Tursiops truncatus*, do estuário da Lagoa dos Patos, RS, a partir da fotoidentificação de indivíduos com marcas naturais e da aplicação de modelos de marcação-recaptura. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, RS, Brasil.104 p.

DAWSON, S. M.; CHESSUM, C. J.; HUNT, P. J. & SLOOTEN, E. 1995. An inexpensive stereophotographic technique to measure sperm whales from small boats. Report of the International Whaling Commission, 45: 431-436.

DEAKOS, M.H. 2010. Paired-laser photogrammetry as a simple and accurate system for measuring the body size of free-ranging manta rays *Manta alfredi*. Aquatic Biology, 10: 1-10.

DI TULLIO, J. C.; FRUET, P. F.; SECCHI, E. R. 2015. Identifying critical areas to reduce bycatch of coastal common bottlenose dolphins *Tursiops truncatus* in artisanal fisheries of the subtropical western South Atlantic. Endangered Species Research 29: 35–50.

DURBAN, J. W.; FEARNBACH, H.; BURROWS, D. G.; YLITALO, G. M. & PITMAN, R. L. 2016. Morphological and ecological evidence for two sympatric forms of Type B killer whale around the Antarctic Peninsula. Polar Biology:1–6

DURBAN, J. W. & PARSONS, K. M. Laser-metrics of free-ranging killer whales. 2006. Marine Mammal Science, 22: 735–743.

FERNANDEZ, S. & HOHN, A. A. 1998. Age, growth, and calving season of the bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, off coastal Texas. Fishery Bulletin, U.S. A., 96: 357–365.

FRUET, P. F.; DAURA-JORGE, F. G.; MÖLLER, L. M.; RODRIGO CEZAR GENOVES, R. C. & SECCHI, E. R. 2015a. Abundance and demography of bottlenose dolphins inhabiting a subtropical estuary in the Southwestern Atlantic Ocean. Journal of Mammalogy, 96: 332–343.

FRUET, P. F.; GENOVES, R. C.; MÖLLER, L. M.; BOTTA, S.; SECCHI, E. R. 2015b. Using mark-recapture and stranding data to estimate reproductive traits in female bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) of the Southwestern Atlantic Ocean. Mar Biol 162: 661–673

FRUET, P. F.; KINAS, P. G.; DA SILVA, K. G.; DI TULLIO, J. C.; MONTEIRO, D. S.; DALLA ROSA, L.; ESTIMA, S. C. & SECCHI, E. R. 2012. Temporal trends in mortality and effects of by catch on common bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, in southern Brazil. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 91: 1865-1876.

GERACI, J. R. & LOUNSBURY, V. J. 2005. Specimen and Data Collection. In Geraci JR, Lounsbury VJ, editors. Marine mammals ashore: A field guide for strandings 2nd ed. Maryland: National Aquarium in Baltimore.

GALBANY, J.; STOINSKI, T. S.; ABAVANDIMWE, D.; BREUER, T.; RUTKOWSKI, W.; BATISTA, N. V.; NDAGIJIMANA, F. & MCFARLIN, S. C. 2015. Validation of two independent photogrammetric techniques for determining body measurements of gorillas. American Journal of Primatology: 1-14.

GAO, A.; ZHOU, K. & WANG, Y. 1995. Geographical variation in morphology of bottlenose dolphins (*Tursiops sp.*) in Chinese waters. Aquatic Mammals, 21: 121-135.

GENOVES, R. C. 2013. Estrutura social do boto *Tursiops truncatus* (CETACEA: DELPHINIDAE), no estuário da Lagoa dos Patos e águas costeiras adjacentes, sul do Brasil. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande, Brasil. 67p.

GINGRAS, M. L.; VENTRESCA, D. A. & MCGONIGAL, R. H. 1998. In-situ videography calibrated with 2 parallel lasers for calculation of fish length. California Fish and Game, 84: 36-39.

GROWCOTT, A.; SIRGUEY, P. & DAWSON, S. 2012. Development and assessment of a digital stereo photogrammetric system to measure cetaceans at sea. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 78: 239-246.

HALE, P. T.; BARRETO, A. & ROSS, G. J. B. 2000. Comparative morphology and distribution of the *aduncus* and *truncatus* forms of bottlenose dolphin *Tursiops* in the Indian and Western Pacific Oceans. Aquatic Mammals, 26: 101-110.

HAMMOND, P. S.; MIZROCH, S. A.; DONOVAN, G. F. 1990. Individual recognition of cetaceans: use of photo-identification and other techniques to estimate population parameters. Rep Int Whal Commn (Special Issue 12). International Whaling Commission, Cambridge.

HERSH, S. A. & DUFFIELD, D. A. 1990. Distinction between northwest Atlantic offshore and coastal bottlenose dolphins based on hemoglobin profile and morphometry. In: Leatherwood, S. & Reeves, R. R. (ed). The bottlenose dolphin. Academic Press, New York: 129–139.

HESPENHEIDE, H. A. 1973. Ecological inferences from morphological data. Annual Review of Ecology and Systematics, 4: 213-229.

HOELZEL, A. R.; POTTER, C. W. & BEST, P. B. 1998. Genetic differentiation between parapatric 'nearshore' and 'offshore' populations of the bottlenose dolphin. Proceedings of the Royal Society of London, 265: 1177-1183.

HOHN, A. A. 2009. Age estimation. In: Perrin, W. F.; Würsig, B. & Thewissen, J. G. M. (Ed.). Encyclopedia of Marine Mammals, Second Edition. Academic Press, San Diego: 11-17.

JAQUET, N. 2006. A simple photogrammetric technique to measure sperm whales at sea. Marine Mammal Science, 22: 862-879.

JEFFERSON, T. A. 1990. Sexual dimorphism and development of external features in Dall's porpoise *Phocoenoides dalli*. Fish Bull, 88:119–132.

JEFFREYS, G. L.; ROWAT, D.; MARSHALL, H. & BROOKS, K. 2013. The development of robust morphometric indices from accurate and precise measurements of free-swimming whale sharks using laser photogrammetry. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 93: 309-320.

LEATHERWOOD, S. & REEVES, R. R. 1983. The Sierra Club Handbook of Whales and Dolphins. San Francisco, Sierra Club Books. 302p.

LEATHERWOOD, S.; REEVES, R. R.; PERRIN, W. F. & EVANS W. E. 1982. Whales, dolphins and porpoises of the eastern north pacific and adjacent arctic waters: a guide to their identification. NOAA Tech. Rep., NMFS. Circ 444, 245p.

LINDENFORS, P.; TULLBERG, B. S. & BIUW, M. 2002 Phylogenetic analyses of sexual selection ande sexual size dimorphism in pinnipeds. Behavior Ecology Socio-biology, 52:188-193.

LOURIE, H. J.; HOSKINS, A. J. & ARNOULD, J. P. Y. 2014. Big boys get big girls: factors influencing pupping site and territory location in Australian fur seals. Marine Mammal Science, 30: 544–561.

MALLETTE, S. D.; MCLELLAN, W. A.; SCHARF, F. S.; KOOPMAN, H. N.; BARCO, S. G.; WELLS, R. S. & PABST, D. A. 2016. Ontogenetic allometry and body composition of the common bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) from the U.S. mid-Atlantic. Marine Mammal Science, 32: 86–121.

MATTOS, P.; DALLA-ROSA, L. & FRUET, P. 2007. Activity budgets and distribution of bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) in the Patos Lagoon Estuary, South Brazil. Latin American Journal of Aquatic Mammals, Rio de Janeiro, 6: 161-169.

MCFEE, W. E.; SCHWACKE, J. H.; STOLEN, M. K.; MULLIN, K. D. & SCHWACKE, L. H. 2010. Investigation of growth phases for bottlenose dolphins using a Bayesian modeling approach. Marine Mammal Science, 26: 67–85.

MEAD, J. G. & POTTER, C. W. 1990. Natural history of bottlenose dolphins along the central Atlantic coast of the United States. In: Leatherwood, S. &

Reeves, R. R. (ed). The bottlenose dolphin. Academic Press, New York: 165-195.

MEHSEN, M.; SECHI, E. R.; FRUET, P. F. & DI TULLIO, J. C. 2005. Temporal trends in the diet of bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, in Rio Grande do Sul, Brazil. International Whaling Comission Meeting, Ulsan, South Korea: 1-7.

MEISE, K.; MUELLER, B.; ZEIN, B. & TRILLMICH, F. 2014. Applicability of single-camera photogrammetry to determine body dimensions of pinnipeds: Galapagos sea lions as an example. PLoS ONE, 9: 1-7.

MILLER, P. & HALL, A. 2012. FINAL REPORT. Behavioral ecology of cetaceans: the relationship of body condition with behavior and reproductive success. Saint Andrews University, United Kingdom. 78p.

MURPHY, S. & ROGAN, E. 2006. External morphology of the short-beaked common dolphin, *Delphinus delphis*: growth, allometric relationships and sexual dimorphism. Acta Zoologica, 87: 315-329.

NOREN, D. P. 2011. Estimated field metabolic rates and prey requirements of resident killer whales. Marine Mammal Science, 27: 60-77.

NORRIS, K. S. 1961. Standardized methods for measuring and recording data on the smaller cetaceans. Journal of Mammalogy, 42: 471-476.

PARSONS, K. M.; NOBLE, L. R.; REID, R. J. & THOMPSON, P. M. 2002. Mitochondrial genetic diversity and population structuring of UK bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*): is the NE Scotland population demographically and geographically isolated? Biological Conservation,108: 175-182.

PERRIN W. F. & MYRICK, J. R. (EDS). 1980. Age determination of toothed whales and sirenians. Reports of the International Whaling Commission (Special Issue) 3, 229p.

PERRIN, W. F.; THIELEKING, J. L.; WALKER, W. A.; ARCHER, F. I. & ROBERTSON, K. M. 2011. Common bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in California waters: cranial differentiation of coastal and offshore ecotypes. Marine Mammal Science, 27: 769–792.

PERRYMAN, W. L. & LYNN, M. S. 1993. Identification of geographic forms of common dolphin (*Delphinus delphis*) from aerial photogrammetry. Marine Mammal Science, 9:119–137.

PERRYMAN, W. L. & LYNN, M. S. 2002. Evaluation of nutritive condition and reproductive status of migrating gray whales (*Eschrichtius robustus*) based on analysis of photogrammetric data. Journal of Cetacean Management and Research, 4: 155-164.

PERRYMAN, W. L. & WESTLAKE, R. L. 1998. A new geographic form of the spinner dolphin, *Stenella longirostris*, detected with aerial photogrammetry. Marine Mammal Science, 14: 38-50.

PINEDO, M. C. 1982. Análise dos conteúdos estomacais de *Pontoporia blanvillei* (Gervais e D'Orbigny, 1844) e *Tursiops gephyreus* (Lahille, 1908) (Cetacea, Platanistidae e Delphinidae) na zona estuarial e costeira de Rio Grande, RS, Brasil. Tese de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande Rio Grande, RS, Brasil. 95p.

PRADO, J. H. F.; MATTOS, P. H.; SILVA, K. G. & SECCHI, E. R. 2016. Longterm seasonal and interannual patterns of marine mammal strandings in subtropical western South Atlantic. PLoS One, 11: 1–23

R CORE TEAM. 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

RAMOS, R. M. A.; DI BENEDITTO, A. P. M.; SICILIANO, S.; SANTOS, M. C. O.; ZERBINI, A. N.; BERTOZZI, C.; VICENTE, A. F. C.; ZAMPIROLLI, E.; ALVARENGA, F. S.; LIMA, N. R. W. 2002. Morphology of the franciscana (*Pontoporia blainvillei*) off southeastern Brazil: sexual dimorphism, growth and geographic variation. Latin American Journal of Aquatic Mammals 1:129–144.

READ, A. J.; WELLS, R. S.; HOHN, A. A. & SCOTT, M. D. 1993. Patterns of growth in wild bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*. Journal of Zoology, 231:107–123.

REEVES, R. R.; STEWART, B. S.; CLAPHAM, P. J. & POWELL, J. A. 2002. Guide to Marine Mammals of the World. National Audubon Society. Alfred A. Knopf, Inc. New York, USA. 527p.

RICKER, W. E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada, 191: 1–382.

ROSS, G. J. B. & COCKCROFT, V. C. 1990. Comments on Australian bottlenose dolphins and the taxonomic status of *Tursiops aduncus* (Ehrenberg, 1832). In: Leatherwood, S. & Reeves, R. R. (ed). The bottlenose dolphin. Academic Press, New York: 101-128.

ROHNER, C. A.; RICHARDSON, A. J.; MARSHALL, A. D.; WEEKS, S. J. & PIERCE, S. J. 2011. How large is the world's largest fish? Measuring whale sharks *Rhincodon typus* with laser photogrammetry. Journal of Fish Biology, 78: 378-385.

ROTHMAN, J. M.; CHAPMAN, C. A.; TWINOMUGISHA, D.; WASSERMAN, M. D.; LAMBERT, J. E. & GOLDBERG, T. L. 2008. Measuring physical traits of

primates remotely: the use of parallel lasers. American Journal of Primatology, 70: 1191-1195.

ROWE, L. & DAWSON, S. M. 2008. Laser photogrammetry to determine dorsal fin size in a population of bottlenose dolphins from Doubtful Sound, New Zealand. Australian Journal of Zoology, 56: 239-248.

ROWE, L. & DAWSON, S. M. 2009. Determining the sex of bottlenose dolphins from Doubtful Sound using dorsal fin photographs. Marine Mammal Science, 25: 19–34.

SECCHI, E. R.; BOTTA, S.; WIEGAND, M. M.; AZEVEDO LOPEZ, L.; FRUET, P. F.; GENOVES, R. C. & DI TULLIO, J. In press. Long-term and genderrelated variation in the feeding ecology of common bottlenose dolphins inhabiting a subtropical estuary and the adjacent marine coast in western South Atlantic. Marine Biology Research.

SEELIGER, U. & ODEBRECHT, C. 2010 O estuário da Lagoa dos Patos, um século de transformações. 1<sup>a</sup> ed. Rio Grande, Universidade Federal do Rio Grande. 180p.

SHRADER, A. M.; FERREIRA, S. M. & VAN AARDE, R. J. 2006. Digital photogrammetry and laser rangefinder techniques to measure African elephants. South African Journal of Wildlife Research, 36: 1-7.

SICILIANO, S.; EMIN-LIMA, N. R.; COSTA, A.; RODRIGUES, A. L. F.; MAGALHÃES, F. A.; TOSI, C. H.; GARRI, R. G.; SILVA, C. R. & SILVA JÚNIOR, J. S. 2008. Revisão do conhecimento sobre os mamíferos aquáticos da costa norte do Brasil. Arquivos do Museu Nacional, 66(2): 381-401.

SPITZ, S. S.; HERMAN, L. M. & PACK, A. A. 2000. Measuring sizes of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) by underwater videogrammetry. Marine Mammal Science, 16: 664-676.

STOLEN, M. & BARLOW, J. 2003. A model life table for bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) from the Indian River Lagoon system, Florida, USA. Marine Mammal Science, 19: 630–649.

STOLEN, M.; ODELL, D. & BARROS, N. 2002. Growth of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) from the Indian River Lagoon system, Florida, U.S.A. Marine Mammal Science, 18: 348–357.

TAYLOR, B. L.; CHIVERS, S. J.; LARESE, J. & PERRIN, W. F. 2007. Generation length and percent mature estimates for IUCN assessments of cetaceans. Administrative Report LJ-07-01 National Marine Fisheries:24

TOLLEY, K. A.; READ, A. J.; WELLS, R. S.; URIAN, K. W.; SCOTT, M. D.; IRVINE, A. B. & HOHN, A. A. 1995. Sexual dimorphism in wild bottlenose

dolphins (*Tursiops truncatus*) from Sarasota, Florida. Journal of Mammalogy, 76:1190–1198.

WAITE, J. N.; SCHRADER, W. J.; MELLISH, J. E. & HORNING, M. 2007. Three-dimensional photogrammetry as a tool for estimating morphometrics and body mass of Steller sea lions (*Eumetropias jubatus*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 64: 296–303.

WANG, J. Y.; CHOU, L. S. & WHITE, B. N. 2000. Differences in the external morphology of two sympatric species of bottlenose dolphins (genus *Tursiops*) in the waters of China. Journal of Mammalogy, 81: 1157–1165.

WEBSTER, T.; DAWSON, S. & SLOOTEN, E. 2010. A simple laser photogrammetry technique for measuring Hector's dolphins (*Cephalorhynchus hectori*) in the field. Marine Mammal Science, 26(2): 296-308.

WELLS, R. S. & SCOTT, M. D. 2009. Common Bottlenose Dolphin *Tursiops truncatus*. In: Perrin, W. F.; Würsig, B. & Thewissen, J. G. M. (Ed.). Encyclopedia of Marine Mammals. 2<sup>a</sup> eds. Academic Press, San Diego: 249-255.

WELLS, R. S. & SCOTT, M. D. 1999. Bottlenose Dolphin *Tursiops truncatus*. In: Ridgeway, S. H. & Harrison, R. J. (Ed.) Handbook of Marine Mammals: Volume VI, the second book of dolphins and porpoises. Academic Press, San Diego: 137-82.

WELLS, R. S. & SCOTT, M. D. 1990. Estimating bottlenose dolphin population parameters from individual identification and capture-release techniques. In Hammond PS, Mizroch SA, Donovan GP (eds) Individual recognition of cetaceans: Use of photo-identification and other techniques to estimate population parameters. Report International Whaling Commission (Special Issue 12). International Whaling Commission, Cambridge, UK: 407–415.

WILLISCH, C. S.; MARREROS, N. & NEUHAUS, P. 2013. Long-distance photogrammetric trait estimation in free-ranging animals: a new approach. Mammalian Biology, 78: 351-355.

WILSON, B.; HAMMOND, P. S. & THOMPSON, P. M. 1999. Estimating size and assessing trends in a coastal bottlenose dolphin population. Ecological Applications 9: 288–300.

WURSIG, B. & JEFFERSON, T. A. 1990. Methods of photo-identification for small cetaceans. Reports of the International Whaling Commission (Special Issue), 12: 43-52.

WURSIG, B. & WURSIG, M. 1977. The photographic determination of group size, composition, and stability of coastal porpoises (*Tursiops truncatus*). Science, 198: 755-756.

# APÊNDICE

Artigo submetido à revista Marine Biology Research

# Photogrammetric estimates of body length and dorsal fin size of free-ranging common bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) from a subtropical estuary in southern Brazil

Ana Bárbara Broni de Miranda<sup>1,2</sup>, Rodrigo César Genoves<sup>1,2,3</sup>, Pedro Friedrich Fruet<sup>2,3</sup>, Luciano Dalla Rosa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Biológica, Instituto de Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande - FURG, Rio Grande, RS 96203-000, Brazil

<sup>2</sup>Laboratório de Ecologia e Conservação da Megafauna Marinha, Instituto de Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Rio Grande, RS 96203-000, Brazil

<sup>3</sup>Museu Oceanográfico "Prof. Eliézer C. Rio", Universidade Federal do Rio Grande - FURG, Rio Grande, RS 96200-970, Brazil

### Abstract

Morphometric data are important for the knowledge of key factors in population ecology, such as growth, allometry, sexual dimorphism and geographic variation. Laser photogrammetry represents an alternative technique for obtaining morphological measurements free-ranging animals. This technique was used associated with photoidentification to analyze dorsal fin morphology, estimate the total length and identify the age classes of a common bottlenose dolphins Tursiops truncatus population inhabiting the Patos Lagoon estuary, in southern Brazil. Photogrammetry application also allowed describing dorsal fin growth and investigating sexual dimorphism in morphometric measurements of this population. We obtained measurements of dorsal fin height (DH) and base length (DL) of 62 individuals in the population (17 females and 7 males). The low measurement error estimated (DL= 6.1%, DH= 6.0%) suggests that the technique is consistent and can be replicated. Data on body length (BL) and DL of 87 stranded individuals of T. truncatus were used in models to estimate BL of photographed individuals, and later classify them into age classes. Age classes were defined from BL estimated for each photo-identified dolphin: 35 of them were identified as mature, 13 were immature and 14 were calves. Sexual dimorphism was significant between all

measurements in mature individuals, with males slightly larger than females. Gompertz growth model results indicated that dorsal fin asymptotic size is achieved with approximately 10 years in females (CD= 44.8 cm, AD= 24.8 cm) and 12 years in males (CD= 48 6 cm, AD = 29.2 cm). In this study, photogrammetry was first applied in a population of dolphins in Brazil and using this technique it was possible to estimate the BL of approximately 70% of individuals, in which 55% were ranked as sexually mature. Such results represent important information for the development of future studies in the region, involving monitoring the population structure and dynamics. Keywords: *allometry, dorsal fin, growth, laser photogrammetry, morphometrics, Tursiops truncatus*.

# Introduction

Morphometric data are important in understanding key factors in population ecology and natural history of marine mammals species, such as growth and allometry (Stolen et al. 2002, Botta et al. 2006, McFee et al. 2010, Mallette et al. 2016) sexual dimorphism and reproductive patterns (Tolley et al. 1995, Lindenfors et al. 2002, Lourie et al. 2014) and geographical variations (e.g. Wang *et al.* 2000; Baker *et al.* 2002). The size of an animal may also be used to infer the sex and, when associated with age, in the determination of physical and sexual maturity stage (Cubbage and Calambokidis 1987, Ramos et al. 2002, Rowe and Dawson 2009).

Body size is one of the most basic and fundamental characteristics of an organism, and has long been the subject of studies with many different purposes, helping to answer questions about the biology and ecology of a species (Hespenheide 1973, Begon et al. 2006). This is because many attributes of the life history, ecology and evolution of an organism can be directly related to the size of the body, limbs or

appendages (Hespenheide 1973, Blueweiss *et al.* 1978; Calder 1996). The dorsal fin of cetaceans, for example, is very important for the hydrodynamics and thermoregulation of this group and these functions are directly related to environmental characteristics (Weller 1998). Phenotypic variation in size and shape of the dorsal fin among populations may be related to anatomical, behavioral or physiological responses to environmental differences such as clinal variation in sea temperature and coastal versus oceanic habitat (Weller 1998, Morteo Ortiz 2004). Dorsal fins can also be used to estimate total length of an individual's body, by adjusting allometric relationships between these measurements which can be obtained by analyzing the measurements of stranded animals (Clark and Odell 1999, Webster et al. 2010).

Most of available morphometric data is derived from stranded individuals (e.g. Fernandez & Hohn 1998, McFee *et al.* 2010), fisheries bycatch (e.g. Murphy & Rogan 2006, Fruet *et al.* 2012) and animals captured alive or in captivity (e.g. Cockroft & Ross, 1990, Read *et al.* 1993, Clark & Odell 1999) These measurements are susceptible to bias from the increased mortality in certain age groups and sex (Botta et al. 2010, Fruet et al. 2012, Prado et al. 2016) or significant differences in growth rates due to environmental conditions such as food availability and energy expenditure (Read et al. 1993, Kastelein et al. 2002).

Photogrammetry is a practical and effective alternative technique in the estimation of morphological variables in live animals from both terrestrial and aquatic environments, using single images, stereo images (3D) or even aerial images (Durban and Parsons 2006, Webster et al. 2010, Miller and Hall 2012). Laser photogrammetry (or laser-metrics) uses a pair of lasers mounted in parallel on top of a camera, so that the distance between the dots produced by them represents a scale in the photograph that can be used in the estimation of morphometric measurements of an animal

(Durban and Parsons 2006, Webster et al. 2010, Miller and Hall 2012). This method is based on the principle that parallel lasers project equidistant lights regardless of the distance from the origin (Bergeron 2007, Rothman et al. 2008).

This technique has been used in cetaceans to investigate the sexual dimorphism (Rowe and Dawson 2008, Durban et al. 2016), differences in seasonal birth patterns among population stocks (Rowe *et al.* 2010), sex determination from dorsal fin (Currey et al. 2008, Rowe and Dawson 2009) and morphological variations among populations (Rowe et al. 2010, Durban et al. 2016).

A relatively small population of common bottlenose dolphins Tursiops truncatus (Montagu, 1821) inhabits the Patos Lagoon estuary, in southern Brazil (32°07'S, 52°05'W). This population shows strong site fidelity (Dalla Rosa 1999) and has been the target of intermittent photo-identification studies since the 70s (Castello and Pinedo 1977), and of systematic monitoring from 2005 (Fruet et al. 2015b). Photo-identification allows each individual from the population to be recognized from its unique pattern of marks on the dorsal fin (Wursig and Wursig 1977, Würsig and Jefferson 1990). Estimates of abundance through mark-recapture models applied to photo-identification data indicate a population of about 88 individuals (Fruet et al. 2015a), which preferably use the estuary mouth and nearby areas for vital activities throughout the year (Mattos et al. 2007, Di Tullio et al. 2015). Several studies on the ecology and biology of this population have been conducted, including abundance, distribution, acoustics, behavior, habitat use, reproductive aspects and social structure (Dalla Rosa 1999, Azevedo et al. 2007, Mattos et al. 2007, Genoves 2013, Di Tullio et al. 2015, Fruet et al. 2015a, Fruet et al. 2015b). In addition, beach monitoring carried out regularly in the coastline adjacent to the estuary made it possible to infer important biological information from stranded animals, such as dietary aspects (Secchi et al. in press),

age-specific morphology and mortality (Barreto 2000, Venuto 2015) and anthropogenic interactions (Fruet *et al.,* 2012).

In this study, we use laser photogrammetry to investigate morphometric relationships of the dorsal fin and size and age class structure of the population of live common bottlenose dolphins from the Patos Lagoon estuary.

# Materials and methods

The study area includes the mouth of the Patos Lagoon Estuary (PLE) (31°57'S e 52°06'W) and the adjacent northern and southern sectors of the coastline, which represent the main occurrence area of the *Tursiops truncatus* population (Di Tullio *et al.* 2015) (fig. 1).

## Data collection

The coastline between the Peixe Lagoon (31°26'S-51°09'W) and Chuí (33°45'S-53°22'W) (fig. 1) is a continuous stretch of sand interrupted only by the PLE mouth. This characteristic has facilitated the systematic beach monitoring for marine mammal carcasses carried out for over 30 years by researchers from Laboratório de Ecologia e Conservação da Megafauna Marinha (EcoMega), Universidade Federal do Rio Grande – FURG. Standard data collection protocol included date, geographical location, species, sex, body length and dorsal fin measurements (Norris 1961). Furthermore, biological samples such as skin, muscle, stomach, gonads, skull and teeth were collected depending on the specimen's decomposition state (see Prado *et al.* 2016).

Small-boat surveys for photo-identification and laser photogrammetry followed a predetermined path at the estuary mouth and adjacent coastline (fig. 1). All field work was conducted by researchers from Projeto Botos da Lagoa - Museu Oceanográfico/FURG and EcoMega on board a 5.6 meters boat equipped with a 90 hp outboard motor. Data collection followed standard photo-identification protocols (see Hammond *et al.*, 1990) and included, for each sighting, information on geographic coordinates, group size, and presence of known individuals, juveniles and neonates, sea state, depth and water temperature.



**Figure 3** - Study area of the resident population of *Tursiops truncatus* in the Patos Lagoon Estuary and adjacent coastline. Dash lines represent approximate photo-identification survey tracklines and blue lines represent the beach monitoring routes. Adapted from Fruet *et al.* 2015b.

The photogrammetric equipment consisted of a pair of adjustable green lasers and their fastening adapters (Galileo 5 - Laserglow Technologies, Toronto, Canada; http://www.laserglow.com/GGA) attached to a digital single-lens reflex (DSLR) Nikon D300S equipped with a 300 mm lens (f 4.0) or 70-200 mm (f 2.8). The equipment design followed, with some modifications, the systems used by Durban & Parsons (2006) e Rowe & Dawson (2008). The lasers were mounted in parallel, 10 cm apart from each other, on a bracket conveniently attached to the lens.

#### Sources of error and laser calibration

Laser photogrammetry, just as other measuring techniques, is subject to errors in all the methodological stages, from obtaining the photographs in the field to the measurement process itself, during image processing and analysis. The non-parallel alignment of lasers is a potential source of bias in the estimates during field trips, but can be remedied with fine-tuning, regular calibrations and distance restrictions of the used photos (Gingras et al., 1998). The parallax error, along the vertical axis, occurs when the photographer is looking down when he captures the image, and the camera is on a higher plane than the dorsal fin (Durban & Parsons 2006). The horizontal axis error occurs if the picture is obtained when the dolphin's body is not completely parallel to the camera plane, and the dorsal fin is not perpendicular to the photographer (Durban & Parsons 2006). These errors lead to a negative bias that increases as the dorsal fin gets away from the perpendicular axis, but are minimized with the distance and position of the photographer at sea level (Durban & Parsons 2006). Furthermore, tests have indicated that object measurements showed variations of only 2% of the actual size in situations in which it was positioned up to 20° from a perpendicular position to the camera, showing that the errors produced in slight deviations in camera angle relative to the object are insignificant (Webster et al. 2010, Barrickman et al. 2015). The measurement process is also subject to definition error, related to the visual accuracy of the researcher and/or fatigue at the time of measurement. It results from subjective determination of the anterior and posterior insertions of the dorsal fin (Durban & Parsons 2006).

Although the sources of error are identifiable, it is not possible to determine the exact combined impact of these errors on each measurement estimate. However, strategies were employed to minimize and quantify errors. The lasers were calibrated at the beginning of each field trip to confirm the distance of 10 cm between them. For this, a graph frame (scale of 1 x 1 mm) was photographed with laser dots projected from a distance of 10 meters, which is a common distance to dolphins during photographic effort and suitable for laser visibility. If the dots were at a different distance of 10 cm on the grid, this was corrected by fine tuning of the lasers. At the end of each trip, the graph frame was photographed again to identify possible variations in distance between the lasers.

### Images analysis and selection

The images were analyzed, classified and selected according to quality criteria following photo-identification protocols (e.g. Wilson *et al.* 1999). In addition, when necessary, images were edited with software GIMP 2.8 (https://www.gimp.org/) to improve laser visibility on the dorsal fin, such as changing the brightness, contrast or color levels.

Two measurements were estimated for each individual from the selected photographs and scale produced by lasers: dorsal fin base length (DL) and dorsal fin height (DH) (fig. 2).



**Figure 2** - Measurements of dorsal fin base length (DL) and height (DH) (in red) obtained from photographs of *T. truncatus* from the Patos Lagoon estuary and adjacent coastline. The distance between the green laser dots (in red) represents the known scale of 10 cm from which to estimate DL and DH. In yellow, Accessory lines (in yellow) are used to define anterior and posterior insertions of the dorsal fin.

DL was defined as the straight line distance from the anterior to the posterior insertions of the dorsal fin base (fig. 2). To minimize subjectivity and definition error, accessory lines were drawn using the GIMP software to indicate the dorsal fin insertion points, following the method employed by Rowe and Dawson (2008) in *T. truncatus*. The anterior insertion was defined as the intersection point between two reference lines drawn on the edges of the fin and the adjacent body part, and the posterior insertion as the point where a straight accessory line drawn at the edge of the animal's back, moves away from the edge of the dorsal fin. DH was defined as the distance in a

perpendicular line between the line DL and a reference line parallel to it, drawn from the highest point of the dorsal fin (fig. 2).

Software ImageJ 1.49v (https://imagej.nih.gov/ij/) was used to convert DL and DH measurements to actual size using the 10-cm laser scale (Durban & Parsons 2006; Webster *et al.* 2010), and also to assess the calibrations, identifying variations and errors in alignment.

### Coefficient of variation (CV %) and Measurement error (ME %)

Two types of errors were quantified in terms of coefficient of variation (CV%) to evaluate the application of the photogrammetric technique. The interphotograph error, resulting from changes in animal body orientation and positioning relative to the photographer, was estimated by checking the variation in the measurements of the same individual in different dorsal fin photographs. The intra-photograph error, which results from definition error in the measurement process, was accessed via multiple non-consecutive measurements of the same photograph.

A model II analysis of variance (ANOVA) was used to calculate the measurement error (ME%), following the method described by Bailey and Byrnes (1990), to partition the total variance of the dorsal fin measurements separating the individual variability from that introduced by the error. The interphotograph measurement error was calculated using the obtained variances from measurements of different photographs of the same individual ( $s^2within$ ) and measurements between individuals ( $s^2among$ ), according to the formula below:

$$ME(\%) = 100(\frac{s^2 within}{s^2 within + s^2 a mong})$$

Allometric relationships and body length estimates

The morphometric data on stranded *T. truncatus* were used in linear regression models to quantify the correlation between DL/DH and body length (BL). These equations were then used to estimate BL from DL measurements obtained from photogrammetry of live individuals from the PLE population. Individual variability in growth prevents the use of morphometric measurements to estimate age; nevertheless it is possible to classify individuals into age groups based on their estimated BL.

#### Age classes

Age classes of *T. truncatus* were defined based on available information on age, BL and sexual maturity of individuals from the PLE population. Ages were estimated by counting of Growth Layer Groups (GLGs; Perrin & Myrick 1980) present in teeth dentine and cementum of stranded individuals sampled during the monitoring of the coastal zone adjacent to PLE (Barreto 2000; Venuto 2015). Maturity was defined based on age of sexual maturity inferred from systematic photo-identification surveys of the PLE population for females (Fruet *et al.* 2015b), and on age of sexual maturity available in the literature for males (Mead & Potter 1990, Wells *et al.* 1987).

BL and the estimated age of stranded individuals were then used to define age classes. Class I included the calves (from newborns to 2–year old individuals), regardless of gender. The upper limit was set from the greatest length achieved in the sample (i.e., the biggest individual with an estimated age of 2 years), and resulted in individuals with BL up to 265 cm. Class II included immature individuals (juveniles, not sexually mature until 7 years of age in females and 10 years in males) with intermediate size, defined by the upper limits of class I and lower limits of class III. Class II definition resulted in female BL between 265.01 and 278.9 cm, males BL between 265.01 and 312.9 cm, and individuals of undetermined sex with BL between 265.01 and 295.9 cm. Class III included adults (sexually mature, > 7 years old in

females and > 10 years in males). The lower limit of class III was defined as the smallest BL of mature individuals (by age) for each sex. For individuals of unknown sex, the mean between the estimated lengths of males and females was used to set limits of classes II and III. Class III resulted in BL above 279 cm for females, 313 cm for males and equal or greater than 296 cm for individuals of undetermined sex.

#### Photogrammetric x direct measurements

DL and DH measurements obtained manually in the field from stranded individuals were compared with the measurements obtained remotely from photogrammetry of photo-identified individuals using the Student's t test. The two methodologies were compared by age class to prevent ontogenetic differences and different proportions between the classes of the two samples negatively influencing the analysis.

#### Sexual Dimorphism

Using data from both strandings and photogrammetry of PLE individuals, a simple linear regression between DL and DH was fitted to assess the relationship between the two measurements for each sex. An ANOVA was performed to test differences between females and males, after confirming the normality and homoscedasticity assumptions

### Dorsal fin growth

To describe growth and investigate how the measures of the dorsal fin vary with age and sex, we fitted the Gompertz model (GGM) (Ricker 1975) separately for DL and DH of females and males whose ages were known. Curve fit was calculated using the nonlinear least squares (NLS) method, as described in the following model:

$$Lt = L\infty \exp(-\exp(b - (k * t)))$$

where  $L\infty$  is the asymptotic size (in this case DL or DH); *b* is the integration constant; *k* is the growth rate; *t* is the age in years. The Gompertz model is commonly used to describe growth in cetaceans (Read *et al.*, 1993; Fernandez & Hohn, 1998; Murphy & Rogan 2006), and for most species resulted in the best fit compared to other models (Stolen *et al.* 2002).

One of the most used methods to estimate the age of marine mammals consists of counting the GLGs deposited in various tissues, primarily teeth and bones (Hohn 2009). Age may also be estimated from long-term studies using mark-recapture techniques, following individuals over time (e.g. Hamilton *et al.* 1998). However, unless the individuals are accompanied for a considerable period of time (e.g. one decade or more), only calves will have a precisely known age, while for older animals a minimum age can be inferred, i.e., the range of years in which the individual was seen (Wells & Scott, 1990).

For this analysis, we selected 55 individuals with information on DL and DH, sex and estimated age or minimum age. These included 36 stranded individuals 19 photoidentified individuals from the PLE.

All statistical analyses were carried out in software R 3.3.1 (R Development Core Team 2016).

# Results

Between September 2015 and May 2016, 18 field trips were carried out for laser photogrammetry of PLE dolphins. A total of 6,380 identification photographs were

obtained, of which 622 (9.7%) had visible laser dots. Of these, 175 photographs (28.3%) were selected based on quality criteria and considered appropriate for photogrammetric estimates. The number of images per individual ranged from 1 to 6 photos ( $\bar{x} = 2$ ), with half of the individuals containing only one photograph. In total, we obtained measurements of 62 individuals of this population, where 37 were catalogued individuals known for their long-lasting marks (15 females, 7 males and 15 of unknown sex), 13 were known offspring of catalogued females (1 female), and 12 were individuals with accessory marks that allowed for temporary identification (1 female).

DL ranged from 38.1 to 53.2 cm ( $\overline{x}$  = 45.1 cm, SD = 4.3) in females, from 39.9 to 54.4 cm ( $\overline{x}$  = 47.8 cm, SD = 5.5) in males, and from 23.3 to 55.1 cm ( $\overline{x}$  = 39.1 cm, SD = 7.4) in individuals of undetermined sex. DH ranged from 20.5 a 31.0 cm ( $\overline{x}$  = 25.2 cm, SD = 2.4) in females, 28.3 to 32.5 cm ( $\overline{x}$  = 30.1 cm, SD = 1.5) in males, and 15.4 to 31.3 cm ( $\overline{x}$  = 23.9 cm, SD = 4.1) in undetermined sex individuals.

### Coefficient of variation (CV %) and measurement error (ME %)

The interphotographic error was estimated from eight individuals photographed four times or more. The CV for DL ranged from 2.5 to 7.1% ( $\bar{x} = 4.2\%$ ). For DH, CV values ranged from 1.5 to 6.7% ( $\bar{x} = 3.8\%$ ). The intra-photografic error, estimated by measuring the same photographs of six individuals five nonconsecutive times, resulted in small variations for DL (CV from 0.7 to 2.6%;  $\bar{x} = 1.4\%$ ) and also DH (CV from 0.6 to 1.9%;  $\bar{x} = 1\%$ ).

Results of the ANOVA model II were significant for both DL (F= 15.4; *d.f.*= 29, 62; p<0.001) and DH (F= 15.6; *d.f.*= 29, 61; p<0.001). Decomposing the total variance for the ME, only 6.1% of the error in DL and 6.0% in DH was explained by the variation in different photos of the same individual.

### Direct x photogrammetric measurements

The means for DL and DH estimated in each class were not significantly different between photogrammetric and direct body measurements, except for DH in calves (Table 1).

**Table 1** – Results of *t* Test comparing mean values (in centimeters) of dorsal fin base length (DL) and height (DH) between measurements obtained from photogrammetry and strandings of *T. truncatus* from the Patos Lagoon estuary and adjacent coastline. N = number of individuals;  $\overline{x}$  = mean; *t* = *t* statistics; Df = degrees of freedom; *P* = p-values.

Classes	Strandings		Photog	rammetry	t test			
DL	n	$\overline{x}$	n	$\overline{x}$	t	df	p	
Calves	34	28.8	14	30.1	-1	46	0.3	
Immatures	14	42.1	13	41.9	1.1	16.3	0.3	
Matures	39	46	35	47.3	-0.6	72	0.5	
DH								
Calves	34	17.3	14	19.8	-2.1	46	0.04	
Immatures	14	24.4	13	25.7	-0.8	25	0.4	
Matures	39	26.7	34	27.1	-0.4	68.5	0.7	

#### Allometric relationships and body length estimates

Morphological measurements (BL, DL and DH) from 87 stranded *T. truncatus* were selected for analysis. Of these, 34 were females, 39 were males and 14 were of undetermined sex. Linear regressions confirmed that the DL is the best predictor of body length in females, males and undetermined sex individuals, although DH also showed a good correlation with BL (figs. 3 and 4).



**Figure 3** – Relationship between body length (BL) and dorsal fin base length (DL) in stranded individuals of *T. truncatus* from the Patos Lagoon estuary and adjacent coastline. The linear regression equations for females (BLF, DLF), males (BLM, DLM) and all individuals combined including undetermined sex (BL, DL) are indicated.



**Figure 4** – Relationship between body length (BL) and dorsal fin height (DH) in stranded individuals of *T. truncatus* from the Patos Lagoon estuary and adjacent coastline. The linear regression equations for females (BLF, DHF), males (BLM, DHM) and all individuals combined including undetermined sex (BL, DH) are indicated.

Estimates of BL from laser photogrammetry and the linear regressions ranged from 265.5 to 355.3 cm in females ( $\bar{x} = 307.5$  cm) (tab. 2). Males were slightly larger, ranging from 277.3 to 376 cm in BL ( $\bar{x} = 327.5$  cm), and Individuals of undetermined sex had BL estimates between 172.6 and 374.5 cm ( $\bar{x} = 272.9$  cm) (tab.2). Age classes defined using estimated BL from photogrammetry are presented in table 2. The results indicate that about 55% of the photographed individuals were mature animals, 21% were immature and 24% were calves (tab. 2).

**Table 2** - Minimum and maximum values (Mín – Máx), mean ( $\overline{x}$ ), standard deviation (SD) and sample size (N) of age classes defined from body length estimates (in centimeters) for female, male and individuals of undetermined sex of *T. truncatus* photo-identified with laser photogrammetry in the Patos Lagoon estuary and adjacent coastal waters.

Classes	Females			Males			Unknown					
	Mín-Máx	$\overline{x}$	DP	n	Mín-Máx	$\overline{x}$	DP	n	Mín-Máx	$\overline{x}$	DP	n
Calves	-	-	-	0	-	-	-	0	172.6 – 260.3	220.6	29.4	14
Immatur es	265.5 – 273.5	269.5	5.7	2	277.3 – 289.7	283.5	8.8	2	267.1 – 295.3	285.3	9.4	9
Matures	309.8 – 355.3	312.5	22.5	15	313.8 – 376.0	345.1	24.5	5	298.8 – 374.5	314.4	19.5	15

### Sexual dimorphism

The regression lines and  $R^2$  were similar in both sexes (Fig. 5), although males achieve larger sizes. The ANOVA between measurements (BL, DL and DH) of females and males included data on 97 individuals of known sex from strandings (n= 73) and photogrammetry/photo-identification (n= 24) (tab. 3). Of these, 51 were females (14 calves, 4 immature and 33 mature) and 46 were males (13 calves, 13 immature and 20 mature).



**Figure 5** - Relationship between dorsal fin height (DH) and base length (DL) in female (n=51; 34 from strandings and 17 from photogrammetry) and male (n= 46; 39 from strandings and 7 from photogrammetry) *T. truncatus* from the Patos Lagoon estuary and adjacent coastline. The linear regression equations for females (DHF, DLF) and males (DHM, DLM) are included.

**Table 3** - Mean ( $\overline{x}$ ), standard deviation (DP) and p-value (\*p < 0.05; \*\*p < 0.01; \*\*\*p < 0.001) results for ANOVA between female (n=51; 34 from strandings and 17 from photogrammetry) and male (n= 46; 39 from strandings and 7 from photogrammetry) measurements of body length (BL) and dorsal fin base length (DL) and height (DH) of calves, immature and mature *T. truncatus* from the Patos Lagoon estuary and adjacent coastline.

Classes	Measurement	Females		Males		Test
		$\overline{X}$	DP	$\overline{x}$	DP	р
Calves	BL	211.1	39.2	196.8	51	0.4
	DL	31.4	6.6	28	7.3	0.2
	DH	18.6	3.3	16.8	4.8	0.3
Immatures	BL	270	3.4	285.4	8.4	**
	DL	39.6	2.3	42.5	4.2	0.2
	DH	23.5	2.3	26.3	3.4	0.1
Matures	BL	313.5	20	343.2	21.1	***
	DL	45.1	4.1	48.9	4.2	**
	DH	25.5	3.1	28.8	3.1	***

# Dorsal fin growth

The Gompertz model proved suitable for 30 females and 25 males in both measures (figs. 6 and 7), however the best fit (R<sup>2</sup>) was in DH of males. The values of the estimated parameters for the models are shown in Table 4. The asymptotic size of DL and DH in females was estimated at 44.8 cm and 24.8 cm, respectively, and was reached at about 10 years of age in both measures. In males, the asymptotic size was 48.6 cm for DL cm and 29.2 for DH, reached at 12 years of age in both measures (tab. 4).



**Figure 6** - Gompertz growth curve for dorsal fin base length (DL) of female (n=30; 17 from strandings and 13 from photogrammetry) and male (n=25; 19 from strandings and 6 from photogrammetry) *T. truncatus* from the Patos Lagoon estuary and adjacent coastline.



**Figure 7** - Gompertz growth curve for dorsal fin height (DH) of female (n=30; 17 from strandings and 13 from photogrammetry) and male (n=25; 19 from strandings and 6 from photogrammetry) *T. truncatus* from the Patos Lagoon estuary and adjacent coastline.

**Table 4** – Estimated parameters from the Gompertz model of dorsal fin growth for *T. truncatus* individuals from the Patos Lagoon population, based on measurements obtained from strandings (n=36) and photogrammetry (n= 19).  $L^{\infty}$  = asymptotic size in centimeters; *b* (integration constant); *k* (growth rate); R<sup>2</sup> = coefficient of determination); DL = dorsal fin base length; DH = dorsal fin height.

	Females	( <i>n</i> = 30)	Males ( <i>n</i> = 25)		
	DL	DH	DL	DH	
$L\infty$	44.8	24.8	48.6	29.2	
b	-0.9	-1.3	-0.2	-0.1	
К	0.3	0.3	0.4	0.4	
R <sup>2</sup>	0.7	0.5	0.8	0.8	

### Discussion

In this study, the use of laser photogrammetry associated with photoidentification allowed us to measure dorsal fin size and to estimate the body length of about 70% of the individuals in the population of common bottlenose dolphins inhabiting the Patos Lagoon estuary and adjacent waters, in southern Brazil.

The application of the laser photogrammetry technique in cetaceans was first described by Durban and Parsons (2006), who also investigated the possible sources of error in this technique. Rowe and Dawson (2008), using laser photogrammetry on *T. truncatus* in New Zealand, obtained a mean coefficient of variation (CV) of 2.7% on measurements of different photographs of the same individual, for both dorsal fin measurements (DL and DH). These values were slightly lower than those observed in this study (mean CV was 4.2% for DL and 3.8% for DH), possibly because the vast majority of individuals of that population was photographed numerous times. Similar analyses on Hector's dolphins (*Cephalorhynchus hectori*) photographed 5 or more times resulted in mean CV of 3.7% for the DL and 3.8% for the DH (Webster *et al.* 2010). Other issues such as behavioral differences, easiness to approach animals for photo-identification, environmental conditions, laser calibration and photographer experience with the equipment can also influence these results.

Repeated measurements of the same photo had very small coefficients of variation for both DL and DH. As expected, this error was considerably smaller than the interphotograph error and indicated that the orientation of the animal relative to the camera contributed more to the error than the photograph measurement process (Rowe and Dawson 2008).

The low measurement error (ME) calculated for both measurements (6.1% in DL and 6.0% in DH) indicate that the variation in measurements between individuals is significantly greater than the variation between different photographs of the same individuals. This suggests that the technique is consistent and can be replicated (Bailey & Byrnes 1990), as MEs of less than 10% are considered acceptable (Bertin *et al.* 2002). Rowe and Dawson (2008) found a 5.2% ME for DL and 5.7% for DH, and concluded that such errors introduced by the measuring process are insignificant for the estimates. In addition, using a full-size Hector's dolphin mold, Webster *et al.* (2010) observed that the combined sources of errors seemed to interact together, canceling each other, reducing their influences and producing measurements with only 2% of variability from the real measurements.

When comparing measurements made directly on stranded animals and those obtained indirectly by laser photogrammetry between the different age classes, a significant difference with a higher mean value in photogrammetry was observed only in DH of calves. Besides sample size disproportion between the two techniques, size variability of the dorsal fin in the early years of the dolphin's life may have caused this difference. Another possibility is that the sample of stranded individuals is represented by a larger proportion of smaller calves that died within the first few weeks of life, at the same time that this proportion is smaller in photogrammetry because calves are more difficult to photo-identify during the first few weeks of life.

In most cases, age classes defined from the estimated BL showed good correspondence with the corresponding minimum known ages for the photo-identified individuals. Cases where the identified age class differed from that expected for the estimated age occurred for those individuals whose estimates are more likely to be misleading, such as those with dorsal fins relatively large or small for their age or those

individuals that are close to the limits between the defined classes. Nevertheless, we must keep in mind that due to considerable individual variability in body dimensions of *T. truncatus* (Mead & Potter, 1990; Ross & Cockcroft, 1990), care should be taken when relating morphometric measurements to age.

About 55% of the 62 photographed individuals were classified as mature, 21% as immature and 24% as calves. The observed proportion of mature individuals in the Patos Lagoon population is in accordance to the expected in a population of this species with stable age structure (see Taylor et al. 2007). The large number of dolphins with undetermined sex, as a result of the inherent difficulty in determining the sex of live aquatic animals, especially in younger age groups, prevented further comparisons and inferences about age class distribution between males and females.

The analyses of sexual dimorphism indicated that, although males achieved larger sizes on all measurements, the relationship between DH and DL did not differ significantly between the sexes, with the two regression lines showing a similar slope (Fig. 5). In addition, the ANOVA results suggested sexual dimorphism in all morphometric measurements (BL, DL and DH) of mature individuals, and in BL of immature. Tolley *et al.* (1995) observed apparent sexual dimorphism in dorsal fin size of *T. truncatus* in Florida, United States, with males having larger dorsal fins both in height and length. Male *T. truncatus* in Doubtful Sound, New Zealand, also have a larger dorsal fin than females (Rowe *et al.* 2008). However, these authors found a different relationship between DH and DL by sex, with males showing larger increases in DH with increasing DL.

Our estimates of dorsal fin asymptotic sizes were also larger for males than females on both measurements (see table 4). This difference might be explained by the different periods of growth observed between the sexes. In cetaceans, male and
female growth may differ due to variation in reproductive strategies between the sexes, as females invest their available energy and resources into reproduction and attaining physical maturity, while males continue to grow until they reach physical maturity (Read et al. 1993). This growth pattern was observed in *T. truncatus*, where during the first six years of life most females are larger in size and mass than males of the same age (Tolley *et al.* 1995; Stolen *et al.* 2002; Venuto 2015).

Cetaceans can express sexual dimorphism in several ways, including coloration and acoustic signal patterns, but most commonly in terms of size and shape of body or appendages (Ralls & Mesnick 2009). Sexual dimorphism in morphometric measurements of the dorsal fin has been observed in other species (e.g. *Phocoenoides dalli*, Jefferson 1990; *Delphinus delphis*, Murphy & Rogan 2006), and is more pronounced in killer whales, where adult males have a remarkably taller dorsal fin (*Orcinus orca*, Olesiuk *et al.* 1990; Clark & Odell 1999). Other types of morphological differences in dorsal fin between the sexes have been reported, including surface area (Rowe & Dawson 2009), canting index (Jefferson 1990; Perrin & Mesnick 2003) and the proportion of marks and scars (Tolley *et al.* 1995; Rowe & Dawson 2009; Marley *et al.* 2013, Orbach *et al.* 2015).

The Gompertz growth model described well the increase in DL and DH with age, especially in males (see Figs. 6 and 7). The lack of additional data in the early years might have affected the curve fit in females, especially for DH, as there are records of females with DH smaller than 15 cm, but none with an age estimate.

We could not directly evaluate the effectiveness of the photogrammetric method by confirmation of estimated measurements, since there were no individuals of known size available for comparison in the field, and no individuals photographed with this technique were subsequently found washed ashore during beach monitoring surveys. Nevertheless, the relatively small error estimates obtained, and the good relationship of DH and DL with BL indicated by the regressions from data on stranded dolphins, showed that laser photogrammetry was an effective way of estimating the morphometric measurements of free-ranging *T. truncatus*. Such technique has the additional advantages of being non-invasive (i.e. no capture and handling of animals) and economically viable (the system generally requires few low-cost equipment).

Moreover, if applied in the long-term in conjunction with photo-identification, laser photogrammetry can be an effective tool in providing valuable information on important aspects of the ecology and population dynamics of a species or population, such as individual growth rates. For the dolphins of the Patos Lagoon estuary, whose source of morphometric information was biased by bycatch mortality (Fruet *et al.* 2012), photogrammetry gives a more realistic picture of population size class distribution. In this regard, continuation of this work is required to obtain multiple photographs of each individual in the population, minimizing the influence of errors involved and improving the accuracy of the technique. Furthermore, associated with other biological and ecological information at the population level, these data may help answering questions such as the size of first reproduction in females and potential differences among bottlenose dolphin communities inhabiting coastal waters of southern Brazil.

## Acknowledgements

This work was possible thanks to financial support from Yaqu Pacha Foundation (Germany). We thank Lauro Barcellos for the logistical support at Museu Oceanográfico – FURG, and the Projeto Botos da Lagoa volunteers for help during field trips. We also thank Silvina Botta for providing the age estimates of stranded dolphins and Juliana Di Tullio for statistical advice. B. Broni received a Master's grant from Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). This is

a contribution of the research group "Ecology and Conservation of Marine Megafauna -

EcoMega / CNPq".

## LITERATURE CITED

- Azevedo AF, Oliveira AM, Dalla Rosa L, Lailson-Brito J. 2007. Characteristics of whistles from resident bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in southern Brazil. The Journal of the Acoustical Society of America 121: 2978–2983.
- Bailey RC, Byrnes J. 1990. A New, Old Method for Assessing Measurement Error in Both Univariate and Multivariate Morphometric Studies. Systematic Zoology 39: 124–130.
- Baker A, Smith A, Pichler F. 2002. Geographical variation in Hector's dolphin: Recognition of new subspecies of Cephalorhynchus hectori. Journal Of The Royal Society Of New Zealand 32: 713–727.

Barreto AS. 2000. Variação craniana e genética de *Tursiops truncatus* (Delphinidae, Cetacea) na Costa Atlântica da América do Sul. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, RS, Brasil. 111p.

- Barrickman NL, Schreier AL, Glander KE. 2015. Testing parallel laser image scaling for remotely measuring body dimensions on mantled howling monkeys (*Alouatta palliata*). American Journal of Primatology 77: 823–832.
- Begon M, Townsend CR, Harper JL. 2006. Ecology: from individuals to ecosystems.
- Bergeron P. 2007. Parallel Lasers for Remote Measurements of Morphological Traits. The Journal of Wildlife Management 71: 289–292.
- Bertin A, David B, Cézilly F, Alibert P. 2002. Quantification of sexual dimorphism in *Asellus aquaticus* (Crustacea: Isopoda) using outline approaches. Biological Journal of the Linnean Society 77: 523–533.
- Blueweiss L, Fox H, Kudzma V, Nakashima D, Peters R, Sams and S. 1978. Relationships between Body Size and Some Life History Parameters. Oecologia 4: 213–229.
- Botta S, Muelbert MMC, Secchi ER. 2006. Morphometric relationships of franciscana dolphin, *Pontoporia blainvillei* (Cetacea), off Rio Grande do Sul coast, southern Brazil. Latin American Journal of Aquatic Mammals 5: 117–123.
- Botta S, Secchi ER, Muelbert MMC, Danilewicz D, Negri MF, Cappozzo HL, Hohn A a. 2010. Age and growth of franciscana dolphins, *Pontoporia*

*blainvillei* (Cetacea: Pontoporiidae) incidentally caught off southern Brazil and northern Argentina. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom 90: 1493–1500.

- Castello HP, Pinedo MC. 1977. Botos na lagoa dos Patos. Natureza em Revista 46–4.
- Calder WA. 1996. Size, function, and life history. Dover, Mineola, NY.
- Clark ST, Odell DK. 1999. Allometric Relationships and Sexual Dimorphism in Captive Killer Whales (*Orcinus orca*). American Society of Mammalogists 80: 777–785.
- Cockcroft VG, Ross GJB. 1990. Age, growth, and reproduction of bottlenose dolphins *Tursiops truncatus* from the east coast of South Africa. Fishery Bulletin, U. S. A. 88: 289-302.
- Cubbage JC, Calambokidis J. 1987. Size-class segregation of bowhead whales discerned through aerial stereophotogrammetry. Marine Mammal Science 3: 179–185.
- Currey RJC, Rowe LE, Dawson SM, Slooten E. 2008. Abundance and demography of bottlenose dolphins in Dusky Sound, New Zealand, inferred from dorsal fin photographs. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research 42: 439–449.
- Dalla Rosa L. 1999. Estimativa do tamanho da população de botos, *Tursiops truncatus*, do estuário da Lagoa dos Patos, RS, a partir da fotoidentificação de indivíduos com marcas naturais e da aplicação de modelos de marcação-recaptura.
- Durban JW, Fearnbach H, Burrows DG, Ylitalo GM, Pitman RL. 2016. Morphological and ecological evidence for two sympatric forms of Type B killer whale around the Antarctic Peninsula. Polar Biology 1–6.
- Durban JW, Parsons KM. 2006. Laser-metrics of free-ranging killer whales. Marine Mammal Science 22: 735–743.
- Fernandez S, Hohn A a. 1998. Age, growth, and calving season of bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus* off coastal Texas. Fishery Bulletin 96: 357– 365.
- Fruet PF, Daura-Jorge FG, Möller LM, Genoves RC, Secchi ER. 2015a. Abundance and demography of bottlenose dolphins inhabiting a subtropical estuary in the Southwestern Atlantic Ocean. Journal of Mammalogy 96: 332–343.

Fruet PF, Genoves RC, Möller LM, Botta S, Secchi ER. 2015b. Using mark-

recapture and stranding data to estimate reproductive traits in female bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) of the Southwestern Atlantic Ocean. Marine Biology 162: 661–673.

- Fruet PF, Kinas PG, da Silva KG, Di Tullio JC, Monteiro DS, Rosa LD, Estima SC, Secchi ER, Secchi ER. 2012. Temporal trends in mortality and effects of by-catch on common bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, in southern Brazil. 92: 1865–1876.
- Genoves RC. 2013. Estrutura social do boto, *Tursiops truncatus* (Cetacea: Delphinidae) no estuário da Lagoa dos Patos e águas costeiras adjacentes, sul do Brasil. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande, Brasil. 67p.
- Gingras MI, Ventresca DA, Mcgonigal RH. 1998. In-Situ videography calibrated with 2 parallel lasers for calculation of fish length. California Fish and Game, 84: 36-39.
- Hamilton P, Knowlton A, Marx M, Kraus S. 1998. Age structure and longevity in North Atlantic right whales *Eubalaena glacialis* and their relation to reproduction. Marine Ecology Progress Series 171: 285–292.
- Hammond PS, Mizroch SA, Donovan, GF. 1990. Individual recognition of cetaceans: use of photo-identification and other techniques to estimate population parameters. Rep Int Whal Commn (Special Issue 12). International Whaling Commission, Cambridge.Hespenheide H a. 1973. Ecological Inferences From Morphological Data. Annual Review of Ecology and Systematics 4: 213–229.
- Hohn AA. 2009. Age estimation. In: Perrin, W. F.; Würsig, B. & Thewissen, J. G. M. (Ed.). Encyclopedia of Marine Mammals, Second Edition. Academic Press, San Diego: 11-17.
- Jefferson T a. 1990. Sexual dimorphism and development of external features in Dall's porpoise Phocoenoides dalli. Fishery Bulletin 88: 119–132.
- Kastelein R a., Vaughan N, Walton S, Wiepkema PR. 2002. Food intake and body measurements of Atlantic bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in captivity. Marine Environmental Research 53: 199–218.
- Lindenfors P, Tullberg BS, Biuw M. 2002. Phylogenetic analyses of sexual selection and sexual size dimorphism in pinnipeds. Behavioral Ecology and Sociobiology 52: 188–193.
- Lourie HJ, Hoskins AJ, Arnould JPY. 2014. Big boys get big girls: Factors influencing pupping site and territory location in Australian fur seals. Marine Mammal Science 30: 544–561.

- Mallette SD, Mclellan WA, Scharf FS, Koopman HN, Barco SG, Wells RS, Ann Pabst D. 2016. Ontogenetic allometry and body composition of the common bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) from the U.S. mid-Atlantic. Marine Mammal Science 32: 86–121.
- Marley SA, Cheney B, Thompson PM. 2013. Using tooth rakes to monitor population and sex differences in aggressive behaviour in bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). Aquatic Mammals 39: 107–115.
- Mattos P, Dalla Rosa L, Fruet P. 2007. Activity budgets and distribution of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in the Patos Lagoon estuary, southern Brazil. Latin American Journal of Aquatic Mammals 6: 1–27.
- McFee WE, Schwacke JH, Stolen MK, Mullin KD, Schwacke LH. 2010. Investigation of growth phases for bottlenose dolphins using a Bayesian modeling approach. Marine Mammal Science 26: 67–85.
- Mead JG, Potter CW. 1990. Natural history of bottlenose dolphins along the central Atlantic coast of the United States. In: Leatherwood, S. & Reeves, R. R. (ed). The bottlenose dolphin. Academic Press, New York: 165-195.
- Miller P, Hall A. 2012. Behavioral Ecology of Cetaceans : The Relationship of Body Condition with Behavior and Reproductive Success. .
- Morteo Ortiz E. 2004. Dorsal fin morphological differentiation in bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) along mexican coasts: an adaptative approach.
- Murphy S, Rogan E. 2006. External morphology of the short-beaked common dolphin, *Delphinus delphis*: growth, allometric relationships and sexual dimorphism. Acta Zoologica 87: 315–329.
- Norris K. 1961. Standardized methods for measuring and recording data on small cetaceans. Journal of Mammalogy 42: 471–476.
- Olesiuk PF, Bigg M a, Ellis GM. 1990. Life history and population dynamics of resident killer whales (*Orcinus orca*) in the coastal waters of British Columbia and Washington State. Report of the International Whaling Commission, Special 209–243.
- Orbach DN, Packard JM, Piwetz S, Würsig B. 2015. Sex-specific variation in conspecific-acquired marking prevalence among dusky dolphins (*Lagenorhynchus obscurus*). Canadian Journal of Zoology 93: 383–390.
- Perrin WF, Mesnick SL. 2003. Sexual Ecology of the Spinner Dolphin, *Stenella Longzrostris*: Geographic Variation in Mating System. 19: 462–483.

Perrin WF, Myrick JR. (eds). (1980). Age determination of toothed whales and

sirenians. Reports of the International Whaling Commission (Special Issue) 3, 229 pp.

- Prado JHF, Mattos PH, Silva KG, Secchi ER. 2016. Long-term seasonal and interannual patterns of marine mammal strandings in subtropical western South Atlantic. PLoS ONE 11: 1–23.
- R core team. 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Ralls K, Mesnick S. 2009. Cetacean life story. In: Perrin, W. F.; Würsig, B. & Thewissen, J. G. M. (Ed.). Encyclopedia of Marine Mammals, Second Edition. Academic Press, San Diego: 215-220.
- Ramos RM a., Di Beneditto a. PM, Siciliano S, Santos MCO, Zerbini a. N, Bertozzi C, Vicente a. FC, Zampirolli E, Alvarenga FS, Lima NRW. 2002. Morphology of the franciscana (*Pontoporia blainvillei*) off southeastern Brazil: sexual dimorphism, growth and geographic variation. Latin American Journal of Aquatic Mammals 1: 129–144.
- Read A, Wells R, Hohn A, Scott M. 1993. Patterns of growth in wild bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*. Journal of Zoology, London 231: 107–123.
- Ricker WE. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada 401.
- Ross GJB, Cockcroft VC. 1990. Comments on Australian bottlenose dolphins and the taxonomic status of *Tursiops aduncus* (Ehrenberg, 1832). In: Leatherwood, S. & Reeves, R. R. (ed). The bottlenose dolphin. Academic Press, New York: 101-128.
- Rothman JM, Chapman C a., Twinomugisha D, Wasserman MD, Lambert JE, Goldberg TL. 2008. Measuring physical traits of primates remotely: The use of parallel lasers. American Journal of Primatology 70: 1191–1195.
- Rowe LE, Currey RJC, Dawson SM, Johnson D. 2010. Assessment of epidermal condition and calf size of Fiordland bottlenose dolphin *Tursiops truncatus* populations using dorsal fin photographs and photogrammetry. Endangered Species Research 11: 83–89.
- Rowe LE, Dawson SM. 2008. Laser photogrammetry to determine dorsal fin size in a population of bottlenose dolphins from Doubtful Sound, New Zealand. Australian Journal of Zoology 56: 239–248.
- Rowe LE, Dawson SM. 2009. Determining the sex of bottlenose dolphins from Doubtful Sound using dorsal fin photographs. Marine Mammal Science 25: 19–34.

- Secchi ER, Botta S, Wiegand MM, Azevedo Lopez L, Fruet PF, Genoves RC, Di Tullio J. In press. Long-term and gender-related variation in the feeding ecology of common bottlenose dolphins inhabiting a subtropical estuary and the adjacent marine coast in western South Atlantic. Marine Biology Research.
- Stolen MK, Odell DK, Barros NB. 2002. Growth of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) from the Indian River lagoon system, Florida, U.S.A. Marine Mammal Science 18: 348–357.
- Tolley KA, Read a J, Wells RS, Urian KW, Scott MD, Irvine a B, Hohn AA. 1995. Sexual Dimorphism in Wild Bottlenose Dolphins (*Tursiops truncatus*) from Sarasota, Florida. Journal of Mammalogy 76: 1190–1198.
- Di Tullio JC, Fruet PF, Secchi ER. 2015. Identifying critical areas to reduce bycatch of coastal common bottlenose dolphins *Tursiops truncatus* in artisanal fisheries of the subtropical western South Atlantic. Endangered Species Research 29: 35–50.
- Venuto R. 2015. Idade e crescimento do boto, *Tursiops truncatus*, no litoral sul do Brasil. Monografia de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande. 35p.
- Wang JY, Chou LS, White BN. 2000. Differences in the external morphology of two sympatric species of bottlenose dolphins (genus *Tursiops*) in the waters of China. Journal of Mammalogy 81: 1157–1165.
- Webster T, Dawson S, Slooten E. 2010. A simple laser photogrammetry technique for measuring Hector's dolphins (*Cephalorhynchus hectori*) in the field. Marine Mammal Science 26: 296–308.
- Weller DW. 1998. Global and regional variation in the biology and behaviour of bottlenose dolphins.
- WELLS RS, SCOTT MD. 1990. Estimating bottlenose dolphin population parameters from individual identification and capture-release techniques. In Hammond PS, Mizroch SA, Donovan GP (eds) Individual recognition of cetaceans: Use of photo-identification and other techniques to estimate population parameters. Report International Whaling Commission (Special Issue 12). International Whaling Commission, Cambridge, UK: 407–415.
- Wells RS, Scott MD, Irvine a. B. 1987. The social structure of free-ranging bottlenose dolphins. Current Mammalogy 1: 247–305.
- Wilson B, Hammond PS, Thompson PM. 1999. Estimating size and assessing trends in a coatal bottlenose dolphin population. Ecological Applications 9: 288–300.

- Würsig B, Jefferson T a. 1990. Methods of photo-identification for small cetaceans. Report of the International Whaling Commission Special Is: 43–52.
- Wursig B, Wursig M. 1977. The Photographic Determination of Group Size, Composition, and Stability of Coastal Porpoises (*Tursiops truncatus*). Science 198: 755–756.