



# DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DA VIDA

FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

O Papel dos Cefalópodes na cadeia alimentar  
Antártica: uma perspectiva através da dieta  
dos predadores.



José Sérgio Maurício Seco

2013



# DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DA VIDA

FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

## O Papel dos Cefalópodes na cadeia alimentar Antártica: uma perspectiva através da dieta dos predadores.

Dissertação apresentada à Universidade de Coimbra para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Ecologia, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor Jaime Ramos (Universidade de Coimbra) e do Doutor José Xavier (Instituto do Mar da Universidade de Coimbra e da British Antarctic Survey )

José Sérgio Maurício Seco

---

2013

À memória de Aventino Santos Seco (19/12/1925 – 16/03/ 2006),

o meu avô.

## Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao Doutor José Xavier pelas oportunidades únicas que me proporcionou ao longo dos últimos três anos da minha vida académica. Foram muitos os ensinamentos transmitidos tanto a nível profissional como pessoal. Por ser um orientador extraordinário, soube guiar-me durante todo o processo de elaboração desta dissertação sempre incentivando a aventurar-me em pequenos projectos que me fizeram crescer. Através dele tive o prazer de conhecer e trocar opiniões com grandes nomes da área da ciência polar. Foi também ele que me proporcionou uma das melhores e indescritíveis experiências da minha vida, poder fazer trabalho de campo na Antárctida. Como o próprio costuma dizer, é um orientador “Amazing!”.

Ao Professor Doutor Jaime Ramos que, com toda a sua boa disposição e experiência, me foi aturando, corrigindo e chamando de “José Dry” durante todo o processo.

Ao Doutor James Roberts que me cedeu todas as amostras e dados, sem os quais esta tese não seria possível e por sempre se mostrar disponível em debater ideias.

Ao Filipe Ceia por toda a paciência e tempo que despendeu a explicar-me e a acompanhar todo o tratamento laboratorial das amostras.

Ao Doutor Vitor Paiva pelas tardes que perdeu comigo quando o *software* decidia não funcionar.

À Alexandra por ter corrido as análises de isótopos estáveis e por me ter “puxado as orelhas” quando me desleixava no tratamento das amostras.

Ao Pedro Alvito e ao Miguel Guerreiro pela ajuda no processamento das amostras no IMAR.

E por último mas não de menor importância, à minha família e aos meus amigos por todo o apoio que me deram e paciência que tiveram sempre que divagava sobre bicos de lulas e pinguins.



## Abstract

Cephalopods have an important role in the Southern Ocean ecosystem, whose the Antarctic krill (*Euphasia superba*) is the keystone species of the food web. However, despite its importance, knowledge on the ecology and distribution of cephalopods in Antarctic Ocean is poor. Mainly because of three factors: (1) the great importance attached by the scientific community to study Antarctic krill, (2) the non-existence of directed fisheries to cephalopods and (3) the cephalopods can avoid, with relative ease, the scientific nets.

Subsequently it is difficult to study cephalopods through data of fishing industry (since this does not exist, yet) and from scientific surveys (mostly catch from juvenile specimens), providing incomplete information to characterize the populations of cephalopods in the Southern Ocean. A solution is to use top predators, as biological samplers of cephalopods, such as albatrosses, seals, cetaceans and fish. These predators capture a greater variability of species, and a wider range of sizes, than most nets used in scientific cruises.

Commercial interest for Southern Ocean cephalopods is increasing over the past decades. Cephalopods like *Martialia hyadesi*, *Kondakovia longimana*, *Moroteuthis knipovitchi* and *Gonatus antarcticus* are potential candidates for commercial exploration. These species have been recorded regularly in the diet of numerous predators and by not having a good spatial / temporal database it will be impossible to estimate their stocks and provide a proper management of a possible future cephalopod fisheries in the Southern Ocean. For these reasons it is crucial to improve our knowledge on the ecology of the populations of these, and other, cephalopod species.

The aims of this study are evaluate and compare the importance of cephalopods in the diet of two species of predatory fish (*Dissostichus eleginoides* and *Dissostichus*

*mawsoni*) that are known to feed considerably on cephalopods, to better understand the distribution of cephalopods around the South Sandwich Islands, and assess their trophic level and habitat (using the stable isotope signatures of  $^{15}\text{N}$  and  $^{13}\text{C}$ , respectively, of their squid beaks).

This study took place at the South Sandwich Islands (Scotia Sea), a poorly known area of the Southern Ocean but very interesting ecologically. One of the more interesting features of this archipelago is the fact that it is crossed by the Weddell Sea Front, which separates the water mass on two confluences of distinct hydrographical characteristic, showing a significant temperature gradient. This gradient is reflected in a different distribution of the two *Dissostichus* spp. fish species used in the study. These species are commercially exploited. They are primarily piscivorous, but the cephalopod component in their diets is relatively large and diverse since *Dissostichus* spp. are an opportunistic animals. These characteristic combined with the fact that *Dissostichus* spp. are mainly resident makes them an interesting and efficient study subject.

The component of cephalopods in the diet of *D. eleginoides* and *D. mawsoni* was analyzed from specimens caught around the South Sandwich Islands from March to April 2009. The individuals were randomly selected, biometric measurements were taken and data from the capture position to assess the origin of the specimens found on the diet. Then were quantified the presence, frequency and mass of all taxa found. In the specific case of cephalopods the identification was through their beaks, which also provided data for subsequent estimates of mass and length.

After the identification and recording of all cephalopods species, we proceeded with the analysis of the isotopic signatures of  $^{15}\text{N}$  and  $^{13}\text{C}$  of cephalopods beaks species most represented in the diet.

*K. longimana* and *M. knipovitchi* were the most represented species of cephalopods in the diets of *D. mawsoni* (65.2% and 25.7% of the total number of lower beaks, respectively) and *D. eleginoides* (45.5% for both species). Through the analysis of the results we found here the natural tendency of larger predators feed on larger prey. The majority of cephalopods beaks were found between 1300 and 1600m deep (61% of beaks found in the stomachs of *Dissostichus* spp.). This shows that the populations of cephalopods around the South Sandwich Islands are distributed preferentially by bathypelagic zone.

Through this study, I showed the plasticity that the species *Dissostichus* spp. have to choose prey, being an obvious opportunistic predator. We found that although Sea, they have some differences in terms of fauna. There is a lower biodiversity of cephalopods in the South Sandwich Islands and their cephalopod populations are distributed in the deeper zone of the ocean.

One of the main results of the present study was that a geographic segregation existed in the *Dissostichus* species studied, due to the existence of an oceanic front, however it does not imply a geographic segregation of populations of cephalopods. This proves that the oceanic fronts do not restrict the distribution of cephalopods.

The ratios of the isotopes  $^{15}\text{N}$  signatures indicate that there are differences in the trophic level of sub-adults and adults, suggesting that sub-adults feed on small crustaceans and the adults move to feed on mesopelagic fish. By comparison with other studies, I show that the diet of cephalopods varies according to their prey availability. Changes also occur between different ocean areas where cephalopods live. Based on the ratio of  $^{13}\text{C}$  isotopic signatures I show that there are significant differences between the cephalopod communities present in the South Sandwich Islands and South Georgia, thus demonstrating that the oceanographic differences between the two archipelagos

have effects on the organisms residing in those areas; Relating the values of the ratios of the isotopes  $^{15}\text{N}$  and  $^{13}\text{C}$  found that cohabiting species feed on different prey and also that species that occupy different areas of the ocean feed at the same prey.

**Key-Words:** Cephalopods, *Dissostichus eleginoides*, *Dissostichus mawsoni*, South Sandwich Islands, Stable Isotopes.

## Resumo

Os cefalópodes têm um papel muito importante no ecossistema do oceano Antártico, pois a par do krill do Antártico (*Euphausia superba*) são um dos principais suportes da cadeia trófica. No entanto, apesar da sua importância, o conhecimento sobre a ecologia e a distribuição dos cefalópodes no oceano Antártico é reduzido. Isto deve-se a três factores: (1) à grande importância atribuída por parte da comunidade científica ao estudo do krill do Antártico, descurando assim a relevância dos cefalópodes, (2) à não existência de pescas dirigidas aos cefalópodes e (3) ao facto dos cefalópodes conseguirem evitar com relativa facilidade as redes científicas.

Visto não ser possível estudar os cefalópodes através de dados da indústria pesqueira (pois esta ainda não existe) e de os dados dos cruzeiros científicos, apesar de fornecerem informações importantes, não serem suficientes para caracterizar as populações de cefalópodes, é possível recorrer às dietas de predadores de topo, como albatrozes, focas, cetáceos e peixes. Estes capturam uma maior variabilidade de espécies e uma gama de tamanho mais diversa que a maioria das redes usadas nos cruzeiros científicos. Sendo assim, os predadores de topo são utilizados como amostradores de cefalópodes.

O interesse comercial está a aumentar ao longo das últimas décadas. Espécies de cefalópodes como *Martialia hyadesi*, *Kondakovia longimana*, *Moroteuthis knipovitchi*, e *Gonatus antarcticus* começam a demonstrar valor comercial. Estas espécies foram por várias vezes registadas na dieta de predadores e não havendo uma boa base de dados espacial/temporal será impossível estimar os *stocks* que existem nos oceanos e definir uma cota de pesca adequada. Por estes motivos é crucial melhorar o nosso conhecimentos sobre as populações destes e de outros cefalópodes, para assim evitar que erros do passado se voltem a repetir.

Os objectivos deste estudo são avaliar e comparar a importância dos cefalópodes na dieta de duas espécies de peixes predadores (*Dissostichus eleginoides* e *Dissostichus mawsoni*) compreender melhor a distribuição dos cefalópodes em redor das nas Ilhas Sandwich do Sul, e avaliar o seu nível trófico e habitat através das assinaturas de isótopos estáveis de N<sup>15</sup> e C<sup>13</sup>, respectivamente, em bicos de cefalópodes.

O presente estudo teve lugar nas Ilhas Sandwich do Sul, sendo uma das características mais interessantes deste arquipélago o facto de ser atravessado pela Frente de Weddell, que separa a massa de água em 2 confluências de características hidrográficas distintas, apresentando um gradiente de temperatura significativo. Este gradiente reflecte-se na distribuição distinta de espécies, como é o caso das duas espécies de *Dissostichus* utilizadas neste estudo. Ambas são espécies comercialmente exploradas, principalmente piscívoros, no entanto, a componente de cefalópodes encontrada na sua dieta é relativamente grande e diversificada, visto serem animais oportunistas. Estas características aliadas ao facto de que *Dissostichus* spp. são maioritariamente residentes torna-os um objecto de estudo muito interessante e eficiente.

Foi analisada a componente de cefalópodes presente na dieta de *D. eleginoides* e *D. mawsoni* capturados ao largo das Ilhas Sandwich do Sul de Março a Abril de 2009. Os indivíduos foram amostrados aleatoriamente, foram-lhes efectuadas medições biométricas e recolhidos dados da posição de captura, para conseguir estipular a proveniência dos espécimes encontrados na dieta. De seguida foram quantificadas a presença, a frequência e a massa de todos os grupos taxonómicos encontrados. No caso específico dos cefalópodes recorreu-se à identificação através dos seus bicos, que forneceram também dados para as posteriores estimativas de massa e comprimento.

Após a identificação e contabilização das espécies de cefalópodes, procedeu-se à análise das assinaturas isotópica de  $N^{15}$  e  $C^{13}$  dos bicos de cefalópodes das espécies mais representadas na dieta.

*K. longimana* e *M. knipovitchi* foram as espécies de cefalópodes mais representadas nas dietas de *D. mawsoni* (65,2% e 25,7% do número total de bicos inferiores, respectivamente) e de *D. eleginoides* (45,5% para as 2 espécies). Através da análise dos resultados constatamos a tendência natural de que predadores maiores se alimentam de presas maiores. A grande maioria dos bicos de cefalópodes foram encontrados entre os 1300 e os 1600 metros (61% dos bicos encontrados nos estômagos de *Dissostichus* spp.). Tal mostra que as populações de cefalópodes em redor das Ilhas Sandwich do Sul se distribuem preferencialmente pelo zona batipelágica.

Através deste estudo comprovamos uma vez mais a plasticidade que as espécies de *Dissostichus* tem na selecção de presas, sendo um óbvio predador oportunista. Verificamos que apesar da Geórgia do Sul e as Ilhas Sandwich do Sul se encontrarem ambas no mar de Scotia possuem diferenças ao nível da fauna. Existe menor biodiversidade de cefalópodes nas Ilhas Sandwich do Sul e as populações distribuem-se por zona mais profundas do oceano.

Um dos resultados principais do presente estudo foi comprovar que a segregação apresentada pelas espécies de *Dissostichus*, devido à existência de uma frente oceânica, não implica uma segregação das populações de cefalópodes. Demonstrando assim que as frentes oceânicas não aparentam restringir a distribuição de cefalópodes.

Os rácios das assinaturas dos isótopos de  $^{15}N$  indicam que existem diferenças no nível trófico de espécimes sub-adultos e adultos, e sugerem que os sub-adultos se alimentam de pequenos crustáceos e que, ao passarem para adultos, se alimentam de peixes mesopelágicos. Através da comparação com estudos realizados em outras épocas

podemos verificar que a dieta do cefalópodes varia conforme a disponibilidade de presas no oceano e também se altera ligeiramente entre diferentes zonas oceânicas. Com base no rácio das assinaturas isotópicas de  $^{13}\text{C}$  voltamos a comprovar que existem diferenças significativas entre as comunidades presentes nas Ilhas Sandwich do Sul e na Geórgia do Sul, demonstrando assim que as diferenças hidrográficas entre os dois arquipélagos tem efeitos na biosfera. Relacionado os valores dos rácios dos isótopos de  $^{15}\text{N}$  e  $^{13}\text{C}$  verificamos que espécies que coabitam se alimentam de presas diferentes e também que espécies que ocupam diferentes zonas do oceano se alimentam da mesma presa.

**Palavras-chave:** Cefalópodes, *Dissostichus eleginoides*, *Dissostichus mawsoni*, Ilhas Sandwich do Sul, Isótopos Estáveis.



# Índice

Agradecimentos	I
Abstract	II
Resumo	VI
<b><u>Capítulo 1 – Introdução</u></b>	<b>1</b>
1.1 - O porquê de estudar a Antártica	1
1.2 - Importância do Oceano Antártico	2
1.3 - Cefalópodes no Oceano Antártico	3
1.4 - <i>Dissostichus eliginoides</i> e <i>Dissostichus mawsoni</i>	5
1.5 - O uso de assinaturas de isótopos estáveis dos bicos de cefalópodes, para estudar o seu habitat e nível trófico	8
1.6 - Objectivos da Dissertação de Mestrado	9
<b><u>Capítulo 2 - Material e Métodos</u></b>	<b>10</b>
2.1 Área de estudo	10
2.2 Espécies de Estudo	12
2.3 Amostragem	12
2.2 Análise da dieta	14
2.3 Análise Geográfica	16
2.4 Análises isotópicas	16
2.5 Análise estatística	17
<b><u>Capítulo 3 – Resultados</u></b>	<b>19</b>
3.1 Geral	19
3.2 <i>Dissostichus mawsoni</i>	19

3.3 <i>Dissostichus eleginoides</i>	24
3.4 Relação presa/predador	28
3.4.1 Tamanhos	28
3.4.2 Sexos	31
3.5 Distribuição vertical	35
3.6 Distribuição Horizontal	40
3.4 Isótopos Estáveis	41
<b><u>Capítulo 4 - Discussão</u></b>	43
4.1 - A importância da componente de cefalópodes nas dietas de <i>D. eleginoides</i> e de <i>D. mawsoni</i>	43
4.2 - Comparação com outros estudos de <i>D. eleginoides</i> e <i>D. mawsoni</i>	43
4.3 - Distribuição vertical e horizontal de cefalópodes com base nas dietas de <i>D. eleginoides</i> e <i>D. mawsoni</i>	45
4.4 - Avaliação do habitat e nível trófico de usando <i>D. eleginoides</i> e <i>D. mawsoni</i> como amostradores	48
4. 5 - Considerações Finais	50
Referências	51

---

## Capítulo 1 - Introdução

---



## 1.1 - O porquê de estudar a Antártica

A Antártida devido ao seu ambiente severo e ao facto de estar separada de todos os continentes por uma massa de água difícil de transpor permitiu-lhe ficar intocada da maioria das influências antropogénicas. Contudo é um dos locais mais afectado pelo aquecimento global (Mulvaney et al. 2012), tendo assim um papel crucial na obtenção de informações que nos permitam perceber este fenómeno.

A compreensão da Antártica e a sua importância na dinâmica planetária são mais relevantes que nunca, agora que a região está a sofrer mudanças drásticas com implicações globais. Tanto climatologicamente como a nível físico ou biológico a Antártida e o Oceano Antártico estão intimamente ligados ao resto do planeta (pelo oceano ou pela atmosfera). O buraco do ozono Antártico é o melhor exemplo, tendo sido a descoberta científica mais importante do último século (SCAR Strategic Plan 2011). O buraco na camada do ozono tem sido apontado como uma das principais causas para o aquecimento global. Devido a esta alteração climática partes da Antártida estão a perder gelo a um ritmo acelerado, dos anos 60 aos 80 perdeu-se uma área de gelo de  $0,5 \times 10^6 \text{ Km}^2$ , proporcionado assim a rápida expansão de plantas invasoras pela península Antártica (Chown et al. 2012).

Para percebermos o clima do futuro temos que conhecer o passado, para assim conseguirmos entender a variabilidade climática e prever a resposta que se segue às alterações climáticas actuais. Os registos recolhidos nos *icecores* são actualmente a única técnica que nos permite ter um conhecimento com um alcance temporal e espacial tão grande. Os principais objectivos destes estudos são criar um modelo o mais correcto e preciso para prever as futuras mudanças de temperatura, tanto a nível local como global, e antever quais serão as consequências que a acidificação dos oceanos e a

alteração do nível médio da água do mar trarão para a dinâmica planetária (SCAR Strategic Plan 2011).

Sendo de longe a maior reserva natural do planeta, a Antártica proporciona condições únicas para a realização de experiências no meio natural e, é considerada pela comunidade científica, o maior laboratorial natural do mundo (SCAR Strategic Plan 2011). As barreiras defensivas naturais da Antártida têm sido suficientes para manter a integridade desta zona com características únicas. No entanto, com a demanda em busca de novos recursos para alimentar uma população mundial em crescimento, o acesso ao continente branco e ao seu oceano é cada vez maior e mais fácil. De forma a que consigamos evitar que erros do passado se repitam, é crucial que haja cada vez mais conhecimento. Só compreendendo a dinâmica e a distribuição da fauna e flora Antártica será possível evitar a sobreexploração do ecossistema.

## **1.2 - Importância do Oceano Antártico**

Para conseguirmos compreender a dinâmica de uma zona marítima é estritamente necessário perceber a sua oceanografia e de que modo esta influência a distribuição e frequência da fauna e flora marinha. O oceano Antártico, conhecido também por Oceano do Sul, consiste num sistema de bacias de águas profundas separadas por três sistemas de cristas oceânicas: A crista Scotia (a sul das Ilhas Falkland), a crista de Kerguelen (na zona do Oceano Indico) e a crista de Macquarie ( a sul da Nova Zelândia) (Carmack 1990). A sua fronteira sul é o continente Antártico e está limitado a norte pela Frente Polar Antártica (FPA). A zona da FPA, onde a massa de água fria superficial vinda da Antártica se encontra com águas mais quentes vindas em direcção a sul, varia, temporal e espacialmente, entre a latitude 47°S e 63°S e é

caracterizada por uma variação térmica única (entre 2 a 3°C, Carmack 1990). Esta frente funciona como uma barreira biológica, permitindo uma separação clara entre a fauna e flora do oceano Antártico em relação aos outros 3 grandes oceanos.

### 1.3 - Cefalópodes no Oceano Antártico

A fauna de cefalópodes, como a grande maioria da fauna Antártica, é diferente da do resto do planeta, existindo um grande nível de endemismo, principalmente na família dos polvos (Collins & Rodhouse 2006). Na estrutura deste oceano os cefalópodes ocupam um nicho que normalmente pertence a grandes predadores como tubarões e peixes de grandes dimensões (Rodhouse & White 1995).

Os cefalópodes têm um papel muito importante na cadeia trófica do Oceano Antártico, pois a par do krill do Antártico são um dos principais grupos de suporte da cadeia alimentar (Collins & Rodhouse 2006). Os cefalópodes do Antártico são predados por baleias, focas, aves marinhas e peixes de grandes dimensões (Xavier et al. 2007; Xavier & Cherel 2009), estimando-se que são consumidas mais de 34 mil toneladas de cefalópodes anualmente (Clarke 1983).

Apesar do papel de grande importância que desempenham no ecossistema, o conhecimento da ecologia e a distribuição dos cefalópodes é muito pouco (Clarke 1983; Xavier et al. 1999; Cherel et al. 2004). O facto do *Euphausia superba* (Krill do Antártico) desempenhar um papel tão importante na dieta de predadores de topo e das suas metodologias de estudo serem de fácil acesso para os investigadores, fez com que o estudo do sistema trófico dos cefalópodes passasse para segundo plano (Rodhouse & White 1995). A falta de conhecimento deve-se também à não existência de pesca dirigida aos cefalópodes e ainda por estes serem exímios nadadores que conseguem

evitar com facilidade as redes dos cruzeiros científicos (Clarke 1977; Rodhouse 1990; Xavier 2002). Por exemplo, *Taonius* sp. só foi capturada por redes científicas uma vez, no entanto é encontrada na dieta de albatrozes em grande numero (Xavier & Cherel 2009).

Existem três formas principais de obter dados sobre os cefalópodes do Oceano Antártico: dados de pescadores, dados de cruzeiros científico e dados indirectos, através de estudos da dieta de predadores de topo. Visto que ainda não existe pesca dirigida a cefalópodes na Antártida, a primeira alternativa é logicamente pouco ou nada viável. Os cruzeiros científicos fornecem informações muito importante tanto pelas capturas nas suas redes, como pelo uso de dispositivos acústicos que nos dão informação sobre a distribuição, diversidade e biomassa das espécies (Xavier 2002). No entanto, os cruzeiros têm vários factores limitantes, como o elevado custo, o curto alcance espacial e temporal e como já foi referido anteriormente, os cefalópodes de maiores tamanhos conseguem evitar as redes científicas (normalmente pequenas e de malha pequena) com alguma facilidade (Clarke 1977). Para obter dados complementares aos recolhidos pelas redes, a solução encontrada foi recorrer às dietas de predadores de topo, como albatrozes, focas, cetáceos e as espécies de *Dissostichus* (Clarke 1983). Estes capturam uma maior variabilidade de espécies e uma gama de tamanho com maior diversidade do que a maioria das redes usadas em cruzeiros científicos, e demonstram directamente a relevância dos cefalópodes na cadeia trófica (Clarke 1983; Xavier 2002; Xavier & Cherel 2009). “Avanços significativos na ecologia de cefalópodes apenas são conseguidos utilizando informações ao alcance das redes e dos predadores” (Clarke 1977).

O interesse comercial dos cefalópodes está a aumentar ao longo das últimas décadas e cada vez há um maior numero de espécies que começam a ser consumidas

(Clarke 1983). Apesar dos cefalópodes do Oceano do Sul ainda não serem explorados pela indústria pesqueira, algumas espécies estão a começar a despertar o seu interesse, como é o caso das espécies *Martialia hyadesi*, *Kondakovia longimana*, *Moroteuthis knipovitchi*, e *Gonatus antarcticus*, em redor da Geórgia do Sul (Xavier et al. 2007). Estas espécies ocorrem frequentemente na dieta de predadores de topo (Clarke 1983; Rodhouse & White 1995; Xavier et al. 2007; Xavier & Cherel 2009) e não havendo uma boa base de dados espacial/temporal é impossível estimar os *stocks* que existem nos oceanos e definir um cota de pesca adequada. Assim, por estes motivos é crucial recolher dados que nos permitam conhecer melhor a biologia e a distribuição das principais espécies de cefalópodes do Oceano Antártico. Ao perceber melhor qual o papel dos cefalópodes no ecossistema marinho Antártico, será possível uma avaliação prévia e correcta dos potenciais impactos que a pesca comercial de cefalópodes poderá ter em todo o ecossistema.

#### **1.4 - *Dissostichus eliginoides* e *Dissostichus mawsoni***

Até à cerca de uma século atrás a maioria dos biólogos marinhos suponha que as águas abaixo de 0° C do oceano Antártico eram demasiado frias para a existência de um número significativo de espécies de peixes. Hoje em dia conhecem-se mais de 260 espécies de peixe que habitam este meio marinho. A família Nototheniidae com 49 espécies, 32 das quais confinadas ao oceano Antártico, é a família com mais variabilidade específica nesta região (Eastman 1990).

Durante o longo curso da história da evolução, os Nototheniidae foram adquirindo adaptações fisiológicas de muitos dos seus sistemas internos permitindo-lhes assim sobreviverem nas condições Antárticas. Para além da óbvia redução do rácio de



atividade bioquímica a baixas temperaturas, outras condicionantes físico-químicas do oceano Antártico influenciaram as alterações fisiológicas de tecidos e órgãos durante a evolução (Gon & Heemstra 1990). Entre estas adaptações encontra-se um muco de superfície que previne a propagação de gelo ao longo da superfície epitelial das guelras e pele. No entanto para determinadas zonas mais frias este muco não é suficiente aparecendo então as glicoproteínas anticongelantes, que são absolutamente imprescindíveis para sobreviver nas zonas mais geladas da Antártica (Gon & Heemstra 1990). Nos peixes que necessitam destas glicoproteínas para sobreviver às baixas temperaturas, o complexo glomerular tornou-se vestigial, originado uma má filtração e assim evitando a excreção das glicoproteínas (Gon & Heemstra 1990). De modo a evitar o desnaturamento dos organelos celulares, devido às baixas temperaturas, ocorreu um aumento dos ácidos gordos não saturados nas membranas, tornando-as assim mais fluidas (Gon & Heemstra 1990). Estas são algumas das adaptações mais importantes que permitem a permanência de exemplares desta família nas condições extremas do Oceano Antártico.

Este estudo irá incidir num género da família Nototheniidae, os *Dissotichus*, que é representado por duas espécies o *Dissotichus eleginoides* (Bacalhau da Patagónia) e *Dissotichus mawsoni* (Bacalhau da Antártica)(Figura 1.1). As espécies do género *Dissotichus* têm um corpo alongado, fusiforme e boca de grandes dimensões, podendo atingir mais de dois metros de comprimento e chegar aos 100 kg de massa (Horn 2002). São espécies de crescimento lento e com um ciclo de vida longo, atingem a maturidade por volta do 8-10 anos e vivem até as 45-50 anos. São principalmente piscívoros, alimentando-se também de crustáceos e de cefalópodes, sendo animais oportunistas, a sua dieta reflecte as espécies que lhes estão mais disponíveis (Pilling 2001; Roberts et al. 2011; Stevens 2012). No entanto, o papel dos cefalópodes na sua dieta é ainda pouco

conhecida (Xavier et al. 2002), particularmente em determinadas partes da Antártica, como nas Ilhas Sandwich (Roberts et al. 2011).

Ambas as espécies são actualmente exploradas comercialmente, sendo *D. eleginoides* capturado em maior quantidade. A cota máxima estipulada pela Comissão para a Conservação dos Recursos Vivos Marinhos Antárticos (CCAMLR) para a época 2012/2013 foi de 16109 toneladas. Ao redor das Ilhas Sandwich do Sul na época 2008/2009 (a mesma época de recolha dos dados usados neste trabalho) foram capturadas 74 toneladas de *D. eleginoides* e 59 toneladas de *D. mawsoni*. A gestão das cotas de pesca e supervisão de todas as actividades pesqueiras sobre estas espécies está a cargo da CCAMLR.



**Figura 1.1** – Espécime tipo de *Dissostichus mawsoni* (atrás) e *Dissostichus eleginoides* capturados num barco de pesca em redor das Ilhas Sandwich do Sul. Foto de Jim Roberts.

### **1.5 - O uso de assinaturas de isótopos estáveis dos bicos de cefalópodes, para estudar o seu habitat e nível trófico**

A técnica dos isótopos estáveis com o intuito de compreender melhor a dieta, o nível trófico e o habitat de espécies e comunidades, tem vindo a ser desenvolvida nas últimas décadas. Esta técnica consiste em usar um rácio dos isótopos estáveis de Azoto ( $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ; expresso por  $\delta^{15}\text{N}$ ) que regista um enriquecimento ao longo da cadeia trófica, permitindo-nos assim extrapolar o nível trófico do indivíduo, e um rácio dos isótopos estáveis de Carbono ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ; expresso por  $\delta^{13}\text{C}$ ) que por comparação nos dá informações sobre a sua posição geográfica relativa. A variação do  $\delta^{15}\text{N}$  é explicada pelo facto de que este isótopo bio acumula, ou seja, os consumidores serão mais enriquecidos em  $^{15}\text{N}$  do que o seu alimento (valor médio de aumento por cada nível trófico de 2,5‰ a 3,4 ‰; Cherel & Hobson 2005). O  $\delta^{13}\text{C}$ , ao contrário do  $\delta^{15}\text{N}$ , varia muito pouco ao longo da cadeia alimentar o que permite identificar facilmente a fonte primária da cadeia trófica, assim, sabendo que o valor do  $\delta^{13}\text{C}$  varia nos produtores primários ao longo da latitude, da proximidade à costa ou da profundidade, permite-nos saber por comparação qual é o habitat preferencial do indivíduo que estamos a estudar (Hobson et al. 1994; Cherel & Hobson 2005).

Esta metodologia foi adaptada e aperfeiçoada por Cherel e Hobson (2005) para mandíbulas ou bicos de cefalópodes encontrados na dieta de diversos predadores, incluído uma das espécies de *Dissostichus*, e através da comparação dos resultados dos níveis tróficos e posições geográficas com as de espécies referência, foi confirmada a fiabilidade desta técnica. Utilizando esta metodologia aos bicos encontrados nos estômagos dos *D. mawsoni* capturadas ao redor das Ilhas Sandwich do Sul, podemos

compreender melhor a distribuição geográfica das espécies de cefalópodes que lá habitam, assim como descobrir os seus hábitos alimentares.

### **1.6 - Objectivos da Dissertação de Mestrado**

Este estudo tem com objectivos principais a caracterização da componente de cefalópodes na dieta das duas espécies de *Dissostichus* (*D. eleginoides* e *D. mawsoni*). A comparação da distribuição e alguns parâmetros fisiológicos dos predadores (peso, comprimento, sexo), condições oceanográficas (em relação a frentes oceânicas), tanto vertical como horizontal, com diferentes frequência de ocorrência e tamanhos das espécies de cefalópodes. Pretende-se ainda avaliar o nível trófico e o habitat da fauna de cefalópodes em redor das Ilhas Sandwich do Sul por intermédio da análise do rácio de isótopos  $\delta^{15}\text{N}$  e  $\delta^{13}\text{C}$  nos seus bicos.

---

## Capítulo 2 - Material e Métodos

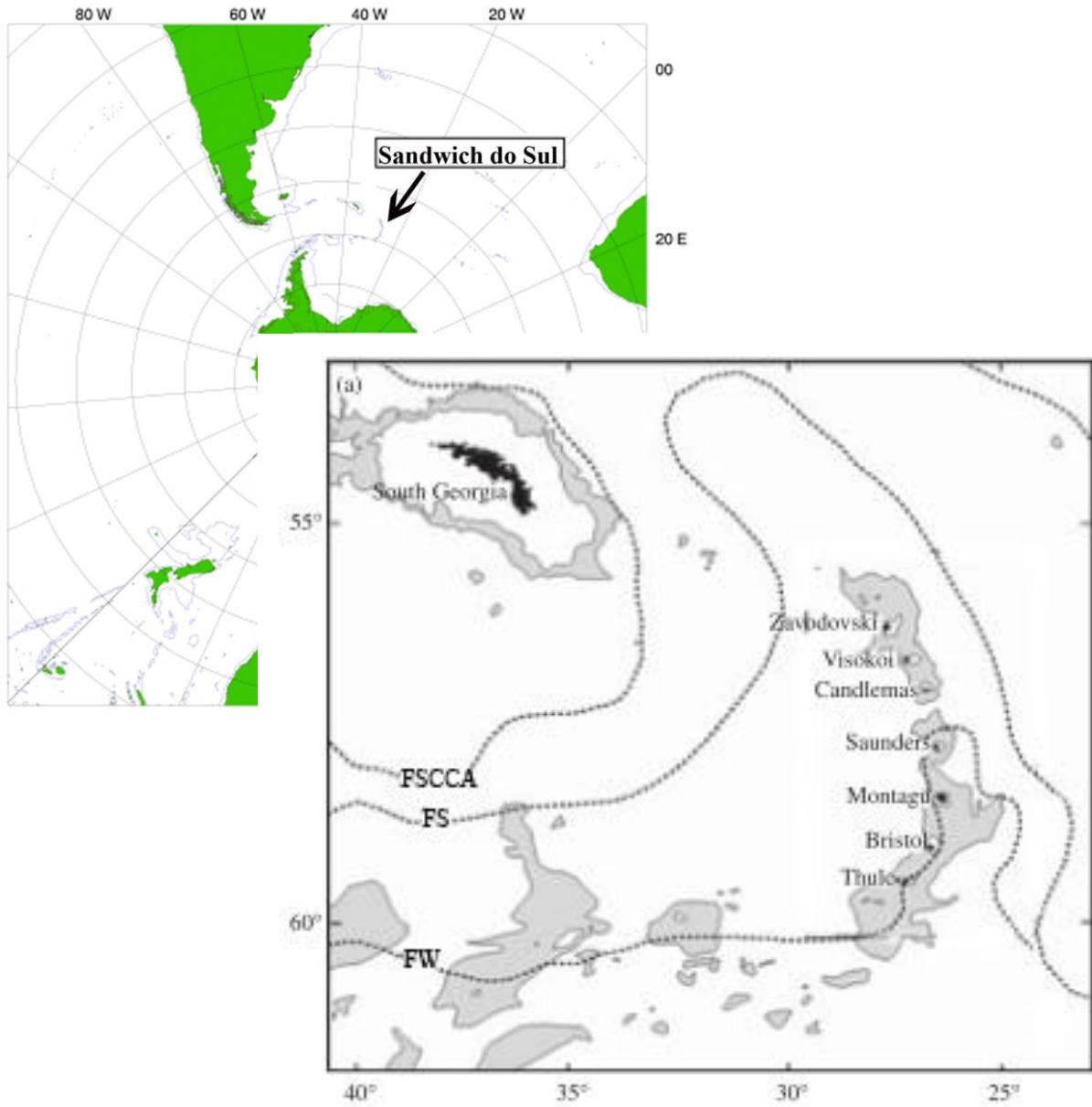
---



## 2.1 Área de estudo

As Ilhas Antárticas como a Geórgia do Sul, Orkney's do Sul, Sandwich do Sul, entre outras, são zonas de grande produtividade, sustentando grandes populações de grandes predadores como baleias, focas, aves marinhas e peixes no mar de Scotia (Atkinson et al. 2001). Por conseguinte esta região é uma das mais exploradas do oceano Antártico por pescadores de bacalhau da Patagónia (*D. eleginoides*), bacalhau do Antártico (*D. mawsoni*), krill do Antártico (*Euphausia superba*) e “icefish” (*Champtocephalus gunnari*) (Agnew 2004).

As amostras foram recolhidas em redor das Ilhas Sandwich do Sul (Figura 2.1), arquipélago situado no mar de Scotia, sendo a única região com solo continental entre as latitudes 55°S e 59°S . De nosso conhecimento, nesta região apenas foi efectuado um estudo não detalhado da distribuição das espécies de *Dissostichus* (Roberts et al. 2011). Uma das características mais interessantes e particulares deste arquipélago é o facto de ser atravessado pela Frente de Weddell (Orsi et al. 1993), que separa a massa de água em Confluência Weddell-Scotia (CWS) para norte e a Confluência Weddell Gyre (CWG) para sul (Whitworth et al. 1994) (Figura. 2.1). Estas massas de água apresentam regimes hidrográficos distintos, apresentando um gradiente de temperatura significativo no sentido norte-sul. Este gradiente reflecte-se na distribuição distinta de espécies, como é o caso de duas espécies de *Dissostichus*, *D. eleginoides* e *D. mawsoni* (Roberts et al. 2011).



**Figura. 2.1** – Posição geográfica das ilhas Sandwich do Sul em relação à Antártida e representação esquemática das principais frente oceânicas na área de estudo. Legenda: FW Frente de Weddell (Orsi et al., 1993); FS Fonteira Sul da Corrente Circumpolar Antártica (Orsi et al., 1995) (Orsi et al. 1995); FSCCA Frente Sul da Corrente Circumpolar Antártica (Orsi et al., 1995).

## 2.2 Espécies de Estudo

O objecto de estudo deste trabalho foram as dietas das duas espécies de peixes do género *Dissostichus*. As duas espécies são muito semelhantes fisicamente, mas com algumas diferenças a nível fisiológico.

Os *D. eliginoides* têm uma cor castanha-acinzentada com algumas manchas mais escuras. Esta é uma das espécies dos Nototheniidae que habita zona do oceano onde a temperatura ainda está a cima do limite de congelação, logo não possui adaptações como as glicoproteínas anticongelantes. Estes indivíduos podem ser encontrados por todo o hemisfério sul no entanto são mais abundantes em redor das ilhas sub-Antárticas e na região da Patagónia na América do Sul, sendo o seu limite sul a FPA (Frente Polar Antártica) (Gon & Heemstra 1990).

A outra espécie do género, *D. mawsoni*, é bastante similar a nível anatómico, variando apenas a cor, estes são verdes acinzentado com grandes manchas dorsais de cor mais escura (Gon & Heemstra 1990). Contrariamente ao *D. eliginoides*, o *D. mawsoni* habita águas onde a temperatura está por vezes a baixo do limite de congelação, sendo um espécie endémica dos mares ao redor da Antártica, nunca passando a norte da latitude 55°S (Gon & Heemstra 1990). Devido ao seu habitat extremo esta espécie possui a grande maioria das adaptações que foram anteriormente referidas, o que lhe permitem sobreviver em zonas tão frias.

## 2.3 Amostragem

Os conteúdos estomacais de *D. eliginoides* (755 indivíduos analisados) e de *D. mawsoni* (Bacalhau do Antártico) (269 indivíduos analisados), capturados pelo navio pesqueiro *San Aspriring* ao largo das Ilhas Sandwich do Sul (entre as latitudes 55,7° a



59,9°S e 25° a 29°O), foram recolhidos por Jim Roberts entre Março e Abril de 2009. Este navio usa um sistema de pesca de linha longa (desde 3600 m a 15 600 m de comprimento), conhecido também por palangre, onde são colocadas varias centenas de anzóis (distanciados por 1,4 m) ao logo de uma linha principal que atinge grandes profundidades (desde os 917 m até as 1720 m). Assumiu-se que todos os peixes foram capturados quando a linha estava próxima do fundo. A lula *Nototodarus sloanii* foi usada como isco, visto ser uma lula das águas da Nova Zelândia que não é encontrada na área de estudo, e assim evitará problemas na identificação e análise nos dados recolhidos.

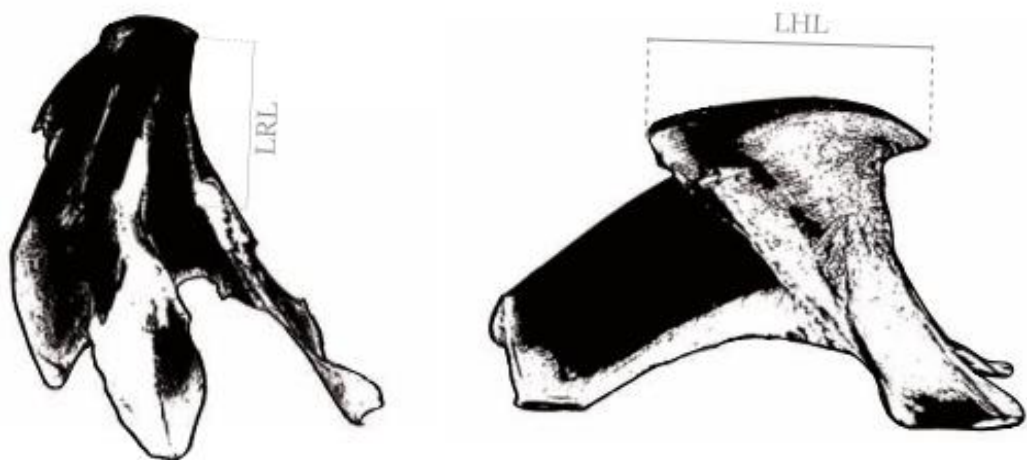
Foram retirados os estômagos de peixes selecionados aleatoriamente e, a todos os indivíduos amostrados realizaram-se medições biométricas, como o comprimento total, massa e sexo. De seguida, foram congelados a temperaturas muito baixas, para posterior dissecação e amostragem no laboratório da base Rei Edward Point (KEP) (Figura 2.2).



**Figura 2.2** – Conteúdo do estômago de um *Dissostichus eleginoides*. Vários bicos de cefalópodes, parte do manto do cefalópode, cabeça de um peixe e equipamento de pesca (Régua com aproximadamente 200mm). Foto de Jim Roberts.

## 2.2 Análise da dieta

Todos os estômagos foram descongelados , a presença, frequência e massa foram quantificadas para todos os grupos taxonômicos encontrados, até ao nível mais baixo possível, segundo Xavier *et al.* (2002). Foram encontrados peixes, cefalópodes, crustáceos, aves e outros conteúdos (macroalgas, pedras, isco e material de pesca) (Figura 2.2) (Roberts et al. 2011). Na componente dos cefalópodes, foram utilizados os bicos de quitina para proceder à identificação, pois ao contrário dos tecidos moles do corpo da lula, estes resistem relativamente bem à digestão. Os bicos (superiores e inferiores) foram conservados em etanol a 90% para posterior identificação. Os inferiores foram contados e identificados até ao nível da espécie quando possível, usando o guia de identificação de Xavier e Cherel (2009), enquanto que os superiores foram somente contabilizados. O comprimento rostral do bico inferior (LRL do inglês “Lower Rostral Length”) nos bicos de lulas, e do comprimento do capuz do bico inferior (LHL do inglês “Lower hood length”) para bicos de polvos foram medidos usando uma craveira com uma precisão de de 0.1 mm .



**Figura 2.3** – Representação esquemática das medições principais de um bico de cefalópode (LRL) e de um bico de octópode (LHL) respectivamente (retirado de Xavier e Cherel 2009).

Foram usadas equações alométricas (tabela I) nos valores de LRL dos bicos de cefalópodes para se estimar a massa total (M, em g) e o comprimento do manto (C, em mm) correspondentes a cada indivíduo, dadas por Xavier e Cherel (2009). Os bicos que não eram frescos (já erodidos), foram excluídos das análises, para evitar uma sobreestimação da componente de cefalópodes na dieta.

A análise da componente de cefalópodes na dieta das duas espécies foi efectuada com base na frequência de ocorrência (%F) de cefalópodes frescos na dieta (número de conteúdos estomacais com cefalópodes presentes / número total de estômagos analisados), e o número total de bicos de cefalópode por espécie (N). Usando os valores LRL (Média, erro padrão, valor máximo e mínimo) e aplicando as equações alométricas foi analisada a massa estimada o comprimento estimado do manto das espécies de cefalópodes presentes na dieta (Total, média, erro padrão, valor máximo e mínimo).

**Tabela I** – Equações alométricas para estimar o comprimento estimado do manto (C em mm) e massa estimada (M em g) através do comprimento rostral inferior (LRL do inglês “Lower Rostral Length”) (Xavier & Cherel 2009).

Espécie	C (mm)	M (g)
<i>Alluroteuthis antarcticus</i>	$C = -4,301 + 34,99LRL$	$\ln M = 1,229 + 2,944 \ln LRL$
<i>Galiteuthis glacialis</i>	$C = 6,676 + 83,785LRL$	$\log M = 0,415 + 2,20 \log LRL$
<i>Kondakovia longimana</i>	$C = -22,348 + 37,318LRL$	$M = 0,713LRL^{3.152}$
<i>Mesonychoteuthis hamiltoni</i>	$C = -12,3 + 61,43LRL$	$\ln M = \ln 3,24 + 2,80 \ln LRL$
<i>Moroteuthis knipovitchi</i>	$C = -105,707 + 62,369LRL$	$\ln M = -0,881 + 3,798 \ln LRL$
<i>Psychroteuthis glacialis</i>	$C = 50,6895LRL^{8.6008LRL^2 + 1,0823LRL^3 - 8.7019}$	$\ln M = 0,3422 + 2,1380 \ln LRL + 0,2214 \ln LRL^3$
<i>Slosarczykovia circumantarctica</i>	$C = 16,31 + 20,18LRL$	$\ln M = 0,55 + 1,41 \ln LRL$
<i>Taonius sp. (Voss)</i>	$C = -12,3 + 61,43LRL$	$\ln M = 0,786 + 2,19 \ln LRL$

### 2.3 Análise Geográfica

A percepção da distribuição geográficas das diferentes espécies de lulas foi feita horizontalmente, através do conhecimento da posição do barco (pelo Sistema de Posicionamento Global (GPS do inglês Global Position System), e verticalmente, conhecendo a profundidade do leito marinho e quantos metros de linha foram utilizados em cada local. Sabendo onde se encontrava o anzol em que ficou preso o peixe (uma das duas espécies de estudo) obteve-se a sua zona de ocorrência do peixe e deste modo em que locais se encontravam os cefalópodes de que o referido peixe se alimentou. Foi utilizado o *software* ArcGis 10.1 para processar estes dados.

### 2.4 Análises isotópicas

Após a caracterização da componente de cefalópodes na dieta das duas espécies de *Dissostichus*, procedeu-se à análise isotópica das espécies mais representadas tanto por número como por massa estimada (*Kondakovia longimana*, *Moroteuthis knipovitchi* e *Psychroteuthis glacialis*). Para a espécie *K. longimana* foram analisados bicos de diferentes tamanhos, como o objectivo de verificar se havia diferenças entre os indivíduos adultos e os sub-adultos. Apenas foi possível analisar as amostras recolhidas dos estômagos de *D. mawsoni* pois o número de mandíbulas recolhidas dos *D. eleginoides* eram insuficiente (sempre inferior a 6 por espécie) para obter resultados significativos.

Os bicos inferiores dos cefalópodes analisados foram limpos e mantidos em etanol a 70%, depois foram secos em estufa a 50 °C durante aproximadamente 24 horas, e reduzidos num almofariz a pó fino para homogeneizar a amostra. Um pequena porção

(0.3-0.55mg) foi encapsulada para analisar os rácios dos isótopos estáveis de Carbono e Azoto (Cherel & Hobson 2005).

Analisando as amostras no Espectrómetro do Rácio de Massa Isotópica de Fluxo Contínuo (Continuous Flow Isotope Ratio Mass Spectrometer) obtivemos o rácio de  $\delta^{13}\text{C}$  ( $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ) e de  $\delta^{13}\text{C}$  ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ) que nos dá o nível trófico e o habitat das principais espécies de cefalópodes encontradas na dieta dos *Dissostichus*, respectivamente. Os resultados são apresentados em  $\delta$  (delta) devido aos desvios do material padrão em parte por mil (‰) segundo a seguinte equação:  $\delta X = [(R_{\text{amostra}} / R_{\text{padrão}}) - 1] \times 1000$ , onde X representa  $^{13}\text{C}$  ou  $^{15}\text{N}$  e  $R_{\text{amostra}}$  o rácio  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ou  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ .  $R_{\text{padrão}}$  representa a referencia padrão internacional V-PDB (Vienna Pee Dee Belemnite) e  $\text{N}_2$  atmosférico (ar) para  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  respectivamente (Cherel & Hobson 2005).

## 2.5 Análise estatística

A média, desvio padrão, o valor máximo e mínimo foram calculados para os valores do LRL, M, C e os valores da assinaturas isotópicas para as diferentes espécies de cefalópodes encontradas, foram também calculados para os diferentes parâmetros dos peixes (espécie, sexo, comprimento, peso, profundidade de captura e maturidade).

A massa observada dos *D. mawsoni* e *D. eleginoides* foi classificada em 6 classes: 2000 a 3000g; 3000 a 4000g; 4000 a 5000g; 5000 a 6000g; 6000g a 7000; 8000 a 9000g. Foram utilizadas ANOVAs para verificar se existia alguma relação entre as diferentes categorias de massa dos *D. mawsoni* ou *D. eleginoides* e massa estimada dos cefalópodes presentes na respectiva dieta (M), as classes de massa foram também comparadas com o comprimentos dos bicos inferiores (LRL). Para verificar se o comprimento dos bicos inferiores dos cefalópodes diferia entre machos e fêmeas dos *D.*

*mawsoni* ou *D. eleginoides* e se existiam diferenças no comprimento estimado dos cefalópodes entre machos e fêmeas do predador foram realizados testes não paramétricos Mann–Whitney, visto que os dados não estavam normalizados. Foram utilizadas ANOVAs para verificar se a média do comprimento dos bicos inferiores dos cefalópodes e a média da massa estimada dos cefalópodes diferiram entre as categorias de profundidade de captura (<1100m; 1100 a 1200; 1200 a 1300; 1300 a 1400; 1400 a 1500; 1500 a 1600; 1600 a 1700; > 1700m) dos *D. mawsoni* ou *D. eleginoides*. Para verificar se existiam diferenças entre os valores do  $\delta^{15}\text{N}$  e os valores do  $\delta^{13}\text{C}$  de algumas espécies de cefalópodes (*K. longimana* (adulto e sub-adulto), *M. knipovitchi* e *P. glacialis*) encontradas na dieta de *D. mawsoni* foram utilizadas ANOVAs e subsequentemente foi utilizado o teste de Tukey para verificar entre que espécies de lulas se registaram diferenças. As diferenças entre as médias de todos os testes foram consideradas significativas para valores de  $p < 0,05$ . Os dados foram analisados no *software* Statistica 10.

De modo a verificar se existiam diferenças nas espécies predadas entre os sexos do *D. mawsoni* foi realizado teste chi quadrado ( $\chi^2$ ), assim como para verificar se existia um padrão de distribuição de espécies pelas classes de profundidade de captura do *D. mawsoni*. Não foram realizados os  $\chi^2$  para os cefalópodes encontrados nos estômagos de *D. eleginoides*, pois o número era demasiado baixo. Os dados foram analisados no *software* R.

O mapa com a distribuição horizontal dos cefalópodes presentes nos conteúdos estomacais foi compilado no programa ArcGis com base nas posições GPS do local de captura do respectivo peixe.

---

## Capítulo 3 - Resultados

---



### 3.1 Geral

Foram capturados um total de 775 *D. eleginoides* e 269 *D. mawsoni* ao redor da Ilhas Sandwich do Sul (*D. eleginoides* 55-178 cm de comprimento, *D. mawsoni* 106-193 cm de comprimento). A presa principal das duas espécies foi peixe (73,6 e 62% da massa total nos estômagos de *D. eleginoides* e *D. mawsoni* respectivamente), os cefalópodes foram o segundo componente mais importante na dieta (18,0 e 35,4% da massa total nos estômagos de *D. eleginoides* e *D. mawsoni*, respectivamente).

### 3.2 *Dissostichus mawsoni*

No total, 7 espécies de 5 famílias diferentes de cefalópodes foram identificadas a partir das amostras recolhidas dos 205 estômagos que tinham alimento. Ao todo foram encontrados 311 bicos de cefalópodes (71 superiores, 240 inferiores dos quais 186 eram frescos). A espécie mais importante quanto ao número de bicos inferiores foi *Kondakovia longimana* com 122 bicos (65,2 % do total de bicos inferiores fresco) seguida da *Moroteuthis knipovitchi* (48 bicos; 25,7%), estas duas espécies em conjunto representam 90,9% de todos os bicos inferiores frescos que foram encontrados nos *D. mawsoni*. (Tabela II).

A massa total estimada de cefalópodes consumida pelos *D. mawsoni* foi de 999.68 Kg (valor apenas contabiliza os bicos inferiores frescos). Os valores da massa estimada para alguns indivíduos da espécie *K. longimana* podem ter sido sobrevalorizados, pois em pelos menos 9 casos a massa estimada da lula é superior a metade da massa peixe que a capturou. *K. longimana* foi a espécie mais relevante

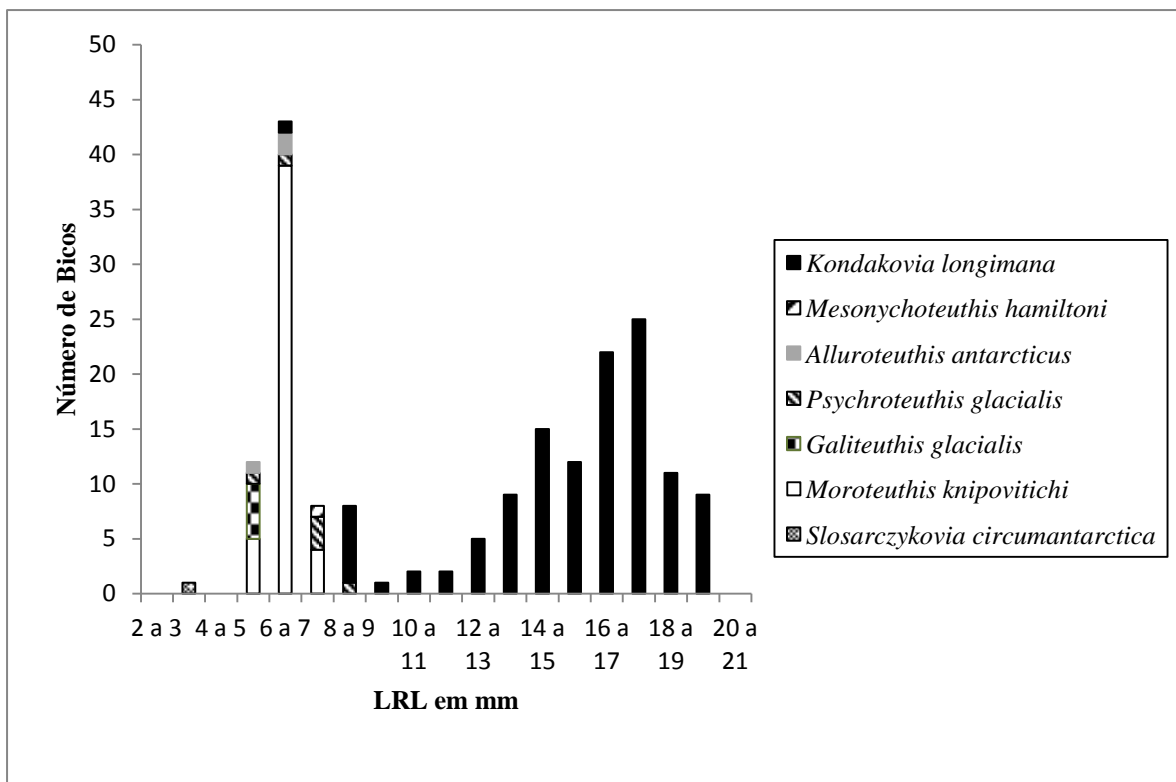


relativamente à massa estimada (96,4% do total da massa estimada nos *D. mawsoni*) seguida por *M. knipovitchi* (2,94%) (Tabela II).

**Tabela II** – Frequência de ocorrência, número e massa estimada total de cefalópodes identificados a partir da dieta de *Dissostichus mawsoni*.

Família	Espécies de cefalópodes	Frequência de ocorrência				Massa Estimada	
		Número de bicos inferiores		Número de bicos superiores		Total(g)	%
		n	%	n	%	n	%
Cranchiidae	<i>Galiteuthis glacialis</i>	5	1,86	5	2,7	559,8	0,06
	<i>Mesonychoteuthis hamiltoni</i>	1	0,37	1	0,5	846,9	0,08
	<i>Taonius sp. (Voss)</i>	1	0,37	1	0,5	186,4	0,02
Neoteuthidae	<i>Alluroteuthis antarcticus</i>	1	0,37	3	1,6	1865,6	0,19
Onychoteuthidae	<i>Kondakovia longimana</i>	60	22,30	122	65,2	963660,4	96,40
	<i>Moroteuthis knipovitchi</i>	35	13,01	48	25,7	29391,4	2,94
Psychroteuthidae	<i>Psychroteuthis glacialis</i>	6	2,23	6	3,2	3168,0	0,32
Stauroteuthidae	<i>Slosarczykovia circumantarctica</i>	1	0,37	1	0,5	8,9	0,00
	Total de bicos inferiores	240			Massa estimada	999687,4	
	Total de bicos inferiores frescos	187					
	Total de bicos Superiores	71					
	Total de estômagos analisados	269					
	Total de estômagos com conteúdo	205					
	Total de estômagos com cefalópodes	158					

O comprimento rostral inferior (LRL) dos cefalópodes variou entre 19,8 mm e 3,2 mm (12,3mm de média com um desvio padrão de 5mm), o valor médio foi claramente inflacionado pelos grande bicos das *K. longimana* (média:  $15,5 \pm 2,9$ ). O bico com menor comprimento rostral pertence a um espécime de *Slosarczykovia circumantarctica* (3,2 mm) (Figura 3.1; Tabela III). Através das equações alometrias foram estimados os valores de comprimento do manto e de massa para todas as espécies de cefalópodes encontradas na dieta (Tabela III).



**Figura 3.1** – Distribuição do comprimento rostral inferior (LRL) dos cefalópodes encontrados na dieta de *Dissostichus mawsoni*.

**Tabela III** – Medições do comprimento rostral inferior (LRL, ml), Comprimento do manto estimado (C, ml) e Massa estimada (M, g) dos cefalópodes encontrados na dieta de *Dissostichus mawsoni*. Onde Min corresponde ao valor mínimo encontrado, Max corresponde ao valor máximo encontrado e DV ao Desvio Padrão.

Espécies de cefalópodes	LRL (mm)				C (mm)				M (g)			
	Média	Min	Max	DV	Média	Min	Max	DV	Média	Min	Max	DV
<i>Galiteuthis glacialis</i>	5,5	5,3	5,7	0,2	236,5	228,3	244,6	6,4	112,0	102,6	121,6	7,5
<i>Mesonychoteuthis hamiltoni</i>	7,3	7,3	7,3		436,1	436,1	436,1		846,9	846,9	846,9	
<i>Taonius</i> sp. (Voss)	7,6	7,6	7,6		454,6	454,6	454,6		186,4	186,4	186,4	
<i>Alluroteuthis antarcticus</i>	5,8	5,3	6,1	0,5	199,8	181,1	209,1	16,2	621,9	463,5	701,1	137,2
<i>Kondakovia longimana</i>	15,5	6,9	19,8	2,9	622,0	239,8	810,5	126,6	7964,1	85,7	21482,1	5244,1
<i>Moroteuthis knipovitchi</i>	6,4	5,4	7,1	0,4	300,3	200,2	379,2	40,7	612,3	341,9	891,0	128,1
<i>Psychroteuthis glacialis</i>	7,0	5,3	8,0	0,9	278,9	201,6	323,1	42,6	528,0	139,0	879,0	257,3
<i>Slosarczykovia circumantarctica</i>	3,2	3,2	3,2		80,9	80,9	80,9		8,9	8,9	8,9	

### 3.3 *Dissostichus eleginoides*

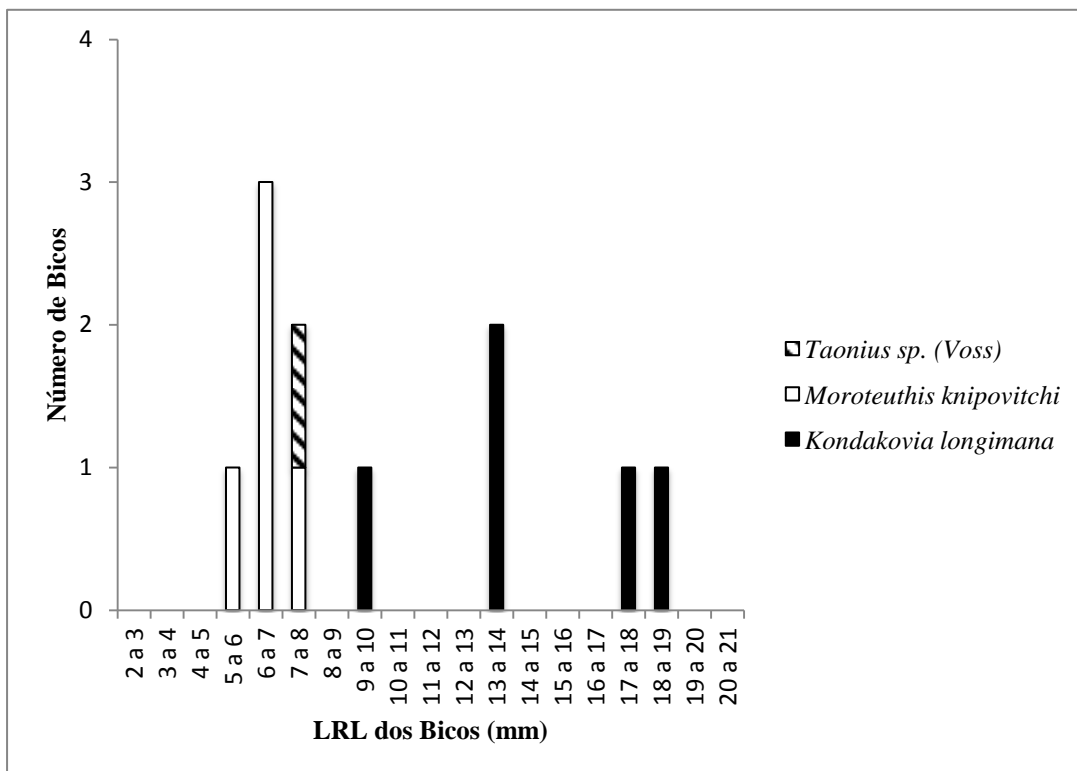
Apenas 3 espécies de 3 famílias diferentes foram encontradas estômagos dos *D. eleginoides*. No total foram recolhidos apenas 21 bicos de cefalópodes (5 superiores e 16 inferiores, onde 11 eram frescos). Assim como nos *D. mawsoni* a espécie *K. longimana* foi a mais representada no número de bicos com 5 bicos inferiores (45,5% do total de bicos inferiores fresco) a par da *M. knipovitchi* também com 5 bicos (45,5%), conjuntas as 2 espécies representam 90% de todos os bicos inferiores encontrados (Tabela IV).

A massa total estimada de cefalópodes consumidos pelos *D. eleginoides* foi de 34,48 quilogramas (valor apenas contabiliza os bicos inferiores frescos). O padrão volta-se a repetir quando analisamos a massa estimada, *K. longimana* foi de longe a espécie mais importante com 89,29% da massa total estimada para a componente de cefalópodes encontradas na dieta deste peixe, seguida pela *M. knipovitchi* (10,17%) (Tabela IV).

**Tabela IV** – Frequência de ocorrência, numero e massa estimada de cefalópodes (M) identificados a partir da dieta de *Dissostichus eleginoides*.

Família	Espécies de cefalópodes	Frequência de ocorrência		Número de bicos inferiores		Massa Estimada Total(g)	
		n	%	n	%	n	%
Cranchiidae	<i>Taonius sp. (Voss)</i>	1	13	1	9	186,4	0,54
Onychoteuthidae	<i>Kondakovia longimana</i>	4	52	5	45,5	30788,4	89,29
	<i>Moroteuthis knipovitchi</i>	4	52	5	45,5	3505,2	10,27
Total de bicos inferiores		16		Massa estimada		34480,0	
Total de bicos inferiores frescos		11					
Total de bicos Superiores		5					
Total de estômagos analisados		775					
Total de estômagos com conteúdo		56					
Total de estômagos com cefalópodes		13					

O comprimento rostral dos bicos variou entre 18,2 mm (10,3mm de média com desvio padrão de 4,59mm). Nestes os bicos maiores também pertenciam a *K. longimana* ( média:  $14,5 \pm 3,3$ ), mas devido à baixa variabilidade de espécies encontradas o bico mais pequeno encontrado pertencia a uma *M. knipovitchi* (5,7mm) (Tabela V) (Figura. 3.2). Através das equações alometrias foram estimados os valores de comprimento do manto e de massa para todas as espécies de cefalópodes encontradas na dieta (Tabela V)



**Figura 3.2** – Distribuição do comprimento rostral inferior (LRL) dos cefalópodes encontrados na dieta de *Dissostichus eleginoides*.

**Tabela V** – Medições do comprimento rostral inferior (LRL em mm), Comprimento estimado do Manto (C em mm) e Massa estimada (M em g) dos cefalópodes encontrados na dieta de *Dissostichus eleginoides*. Onde Min. Corresponde ao valor mínimo encontrado, Max. ao valor máximo encontrado e DV ao desvio padrão .

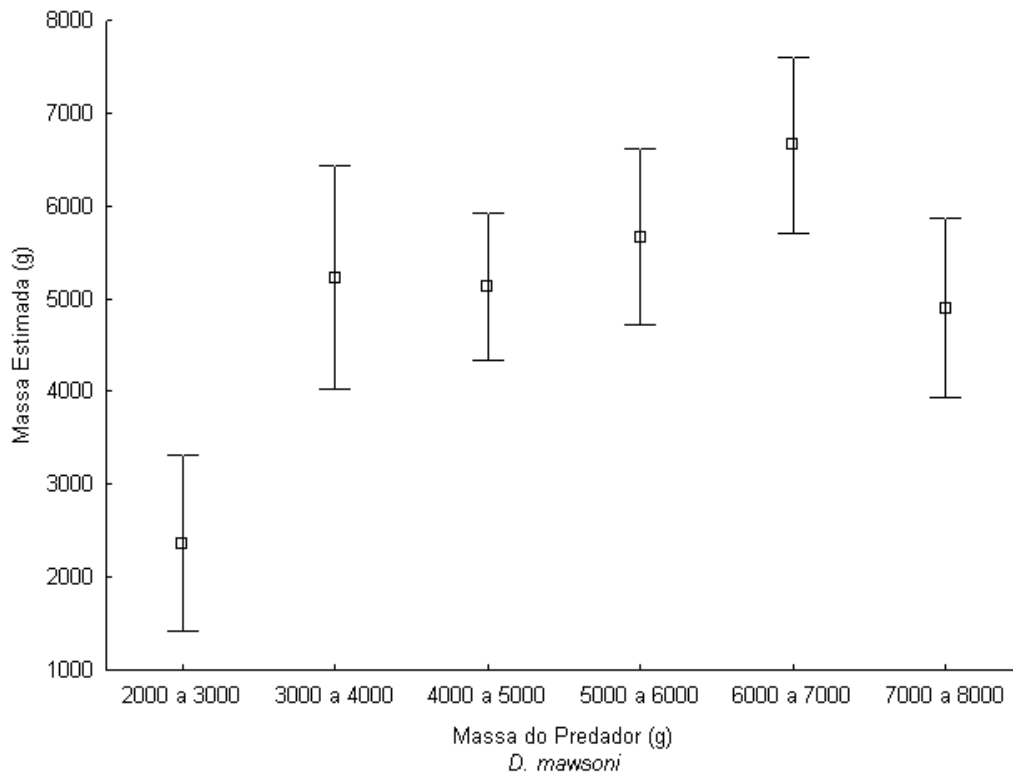
Espécies de cefalópodes	LRL (mm)				C (mm)				M (g)			
	Média	Min	Max	DV	Média	Min	Max	DV	Média	Min	Max	DV
<i>Taonius</i> sp. (Voss)	7,6	7,6	7,6		454,6	454,6	454,6		186,4	186,4	186,4	
<i>Kondakovia longimana</i>	14,5	9,9	18,2	3,3	576,0	372,5	739,7	147,5	6157,7	568,4	13814,2	5632,2
<i>Moroteuthis knipovitchi</i>	6,6	5,7	7,3	0,6	324,5	231,8	400,3	61,1	701,0	413,1	982,0	205,2



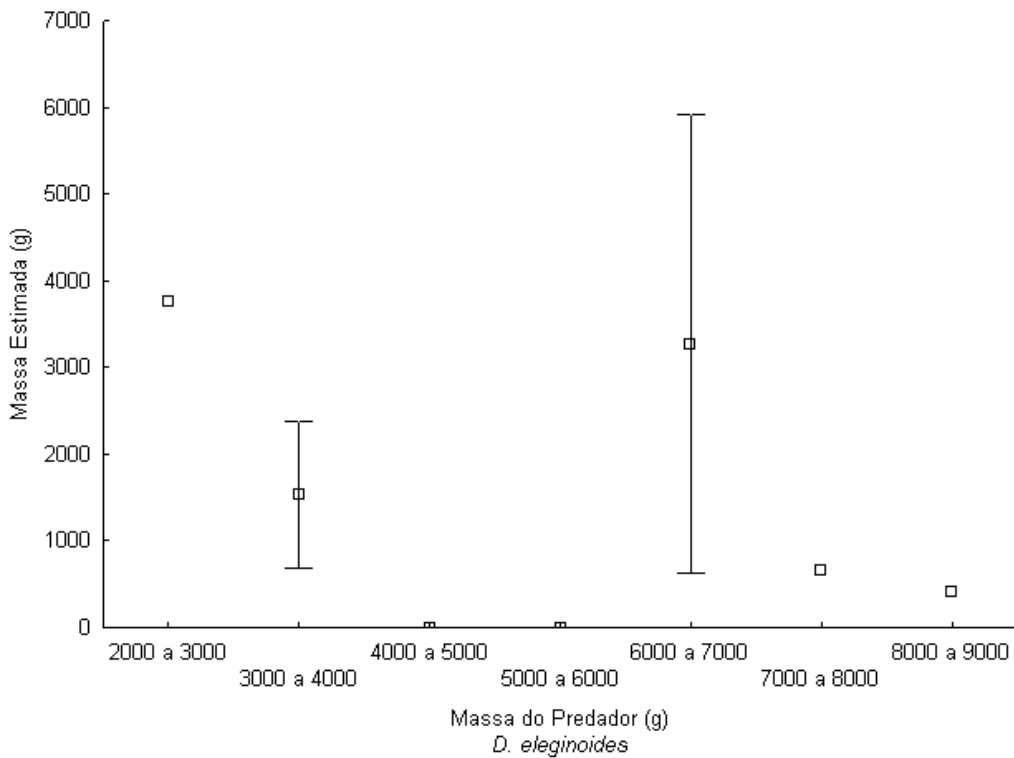
### 3.4 Relação presa/predador

#### 3.4.1 Tamanhos

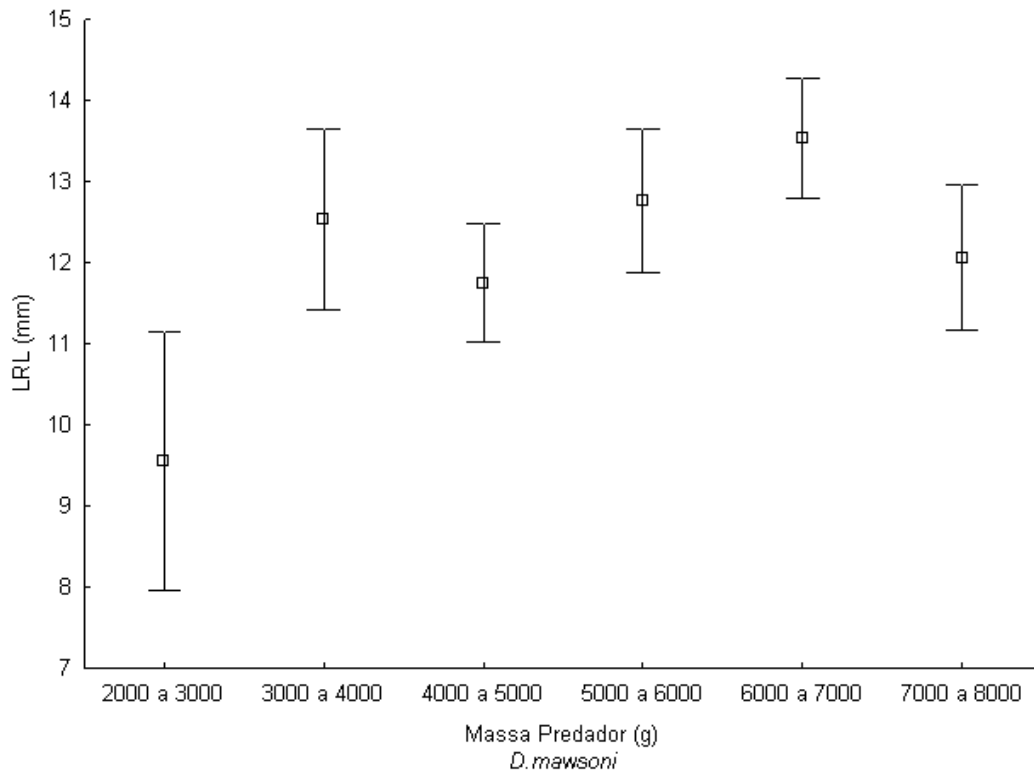
A massa estimada dos cefalópodes não diferiu significativamente entre as classes de massa de *D. mawsoni* que continham cefalópodes no estômago (ANOVA,  $F_{5, 175} = 0,99$ ;  $p = 0,41$ ) (Figura. 3.3). Apesar de nos *D. eleginoides* não terem sido encontrados bicos de cefalópode em estômagos de indivíduos entre as 4000 e as 6000g, não foram encontradas diferenças significativas na massa estimada dos cefalópodes entre as classes de massa do predador (ANOVA,  $F_{6,5} = 0,14$ ;  $p = 0,98$ ) (Figura. 3.4). O mesmo se verifica para o tamanho dos bicos dos cefalópodes entre as classes de massa dos *D. mawsoni* e de *D. eleginoides* onde as diferenças voltam a não ser significativas (ANOVA:  $F_{5, 175} = 1,2$ ;  $p = 0,31$  e  $F_{6,5} = 1,56$ ;  $p = 0,32$ ; Figuras. 3.5 e 3.6).



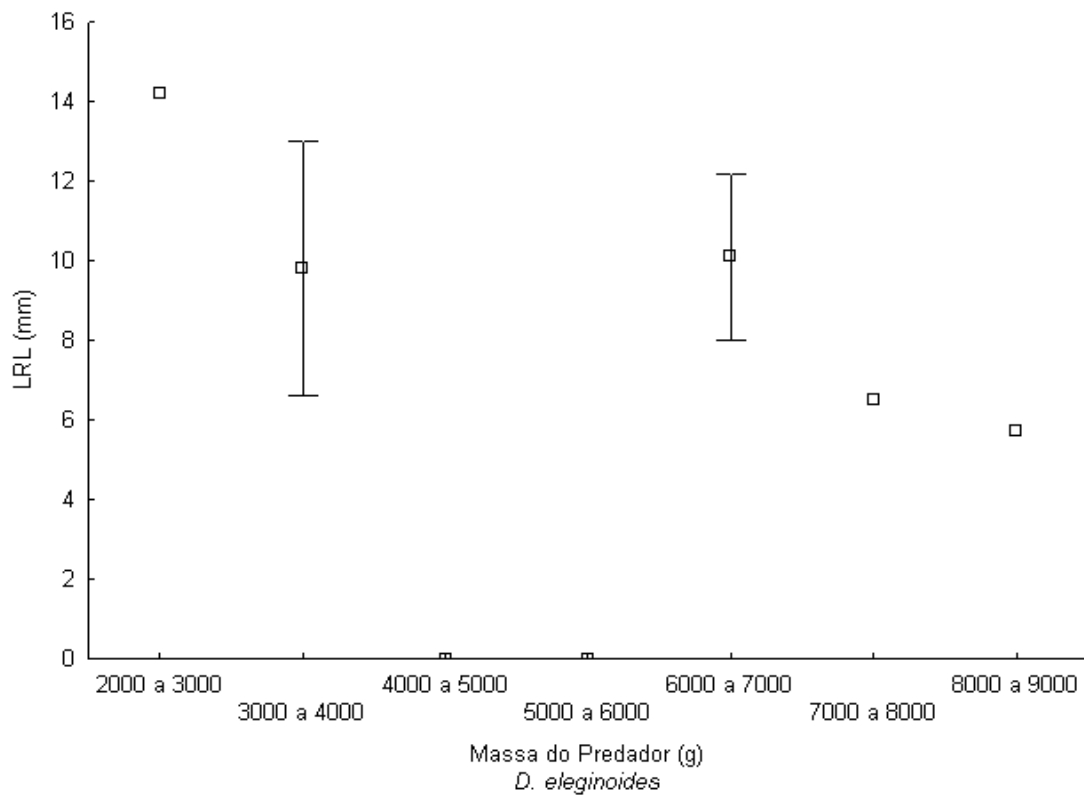
**Figura 3.3** – Distribuição da massa estimada dos cefalópodes em relação a classes de massa de *Dissostichus mawsoni* ( Média ± Erro Padrão).



**Figura 3.4** – Distribuição da massa estimada dos cefalópodes em relação a classes de massa de *Dissostichus eleginoides* ( Média ± Erro Padrão).



**Figura 3.5** – Distribuição do comprimento rostral inferior (LRL) bicos de cefalópodes em relação a classes de massa de *Dissostichus mawsoni* (Média ± Erro Padrão).



**Figura 3.6** – Distribuição do comprimento rostral inferior (LRL) bicos de cefalópodes em relação a classes de massa de *Dissostichus eleginoides* (Média ± Erro Padrão).

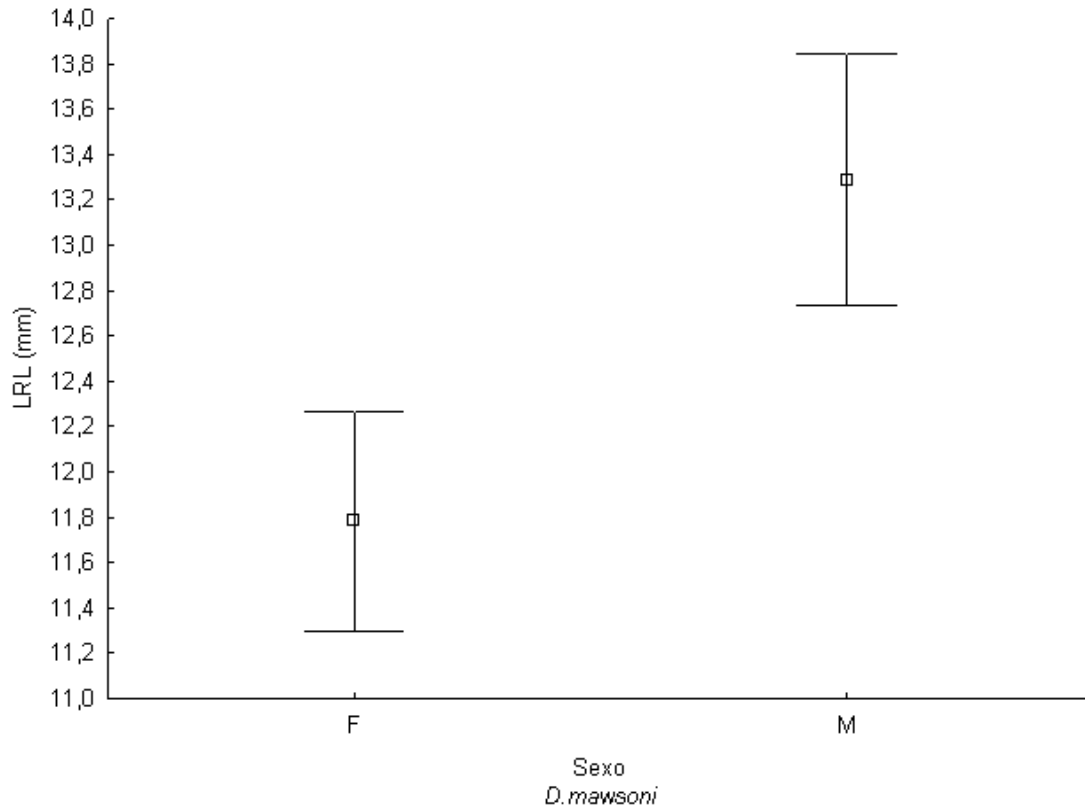
### 3.4.2 Sexos

Não existe uma diferença estatisticamente significativa entre o tamanho dos bicos e o sexo dos *D. mawsoni* (Mann–Whitney,  $U= 3395$ ;  $p = 0,22$ ), no entanto através da análise gráfica transmite-nos a ideia que os machos se alimentam de indivíduos com bicos maiores (Figura 3.7). O ponto anterior é comprovado com a relação entre o sexo de *D. mawsoni* e o Comprimento Estimado do Manto dos cefalópodes capturados, onde voltam a não existir diferenças estatísticas (Mann–Whitney,  $U= 3404$ ;  $p = 0,23$ ), mas o gráfico sugere que os machos se alimentam de indivíduos com maior comprimento (Figura 3.8).

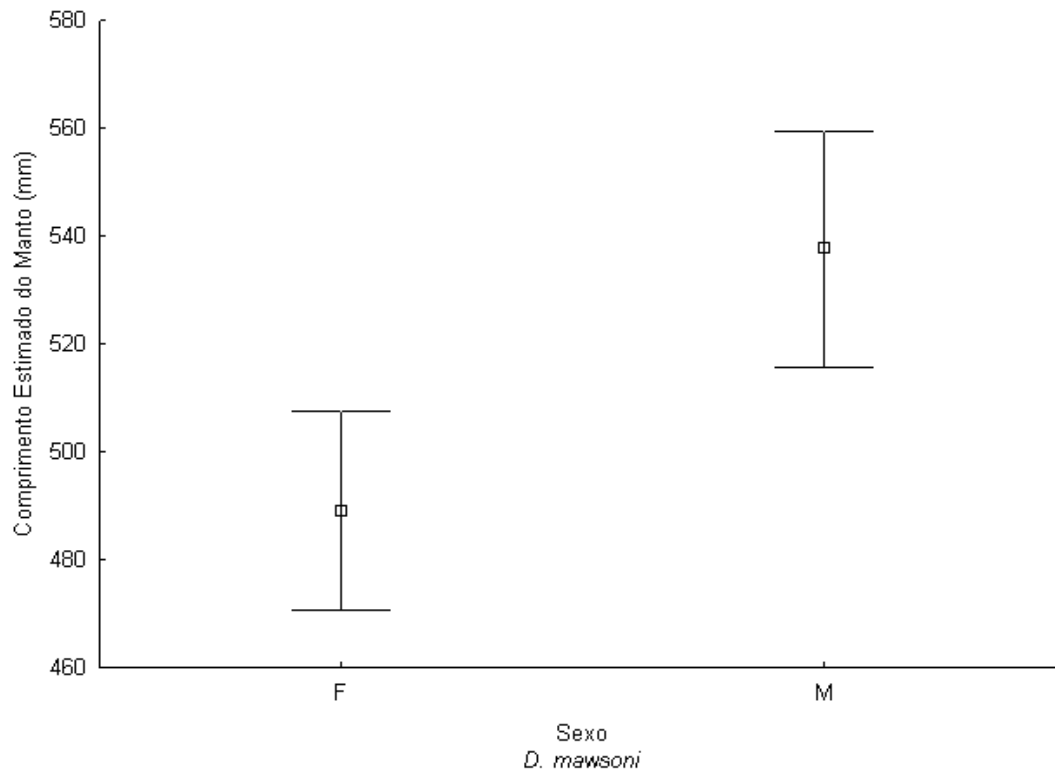
Comparando o tamanho dos bicos dos cefalópodes encontrados nos estômagos de *D. eleginoides* com o seu sexo, verificamos que novamente que não existem diferenças estatísticas (Mann–Whitney,  $U= 8$ ;  $p = 1$ ), e ao contrário dos *D. mawsoni* não existem diferenças notórias na análise gráfica (Figura 3.9). O mesmo se verifica quando procedemos a comparação entre o comprimento estimado do manto e o sexo do predador (Mann–Whitney,  $U= 7$ ;  $p = 0,89$ )(Figura 3.10)

Para verificar se existiam diferenças nas espécies predadas entre os sexos de *D. mawsoni* (Figura 3.11) foi realizado chi quadrado ( $\chi^2$ ). No entanto devido ao baixo número da maioria das espécies de cefalópodes, apenas foi possível realizar este teste para as 2 espécies da família Onychoteuthidae. Existe uma maior presença desta família nos peixes do sexo feminino (Machos=64; Fêmeas=101;  $\chi^2= 5,9$ ;  $gl = 1$ ;  $p\text{-value} = 0,01$ ), contudo essa diferença apenas se verifica nas *M. Knipovitchi* (Machos= 12; Fêmeas= 36;  $\chi^2= 12$ ;  $gl = 1$ ;  $p\text{-value} < 0,01$ ), nas *K. longimana* não existem diferenças significativas ( $M= 52$ ;  $F= 65$ ;  $\chi^2= 1,44$ ,  $df = 1$ ,  $p\text{-value} = 0,22$ ). Para a distribuição das

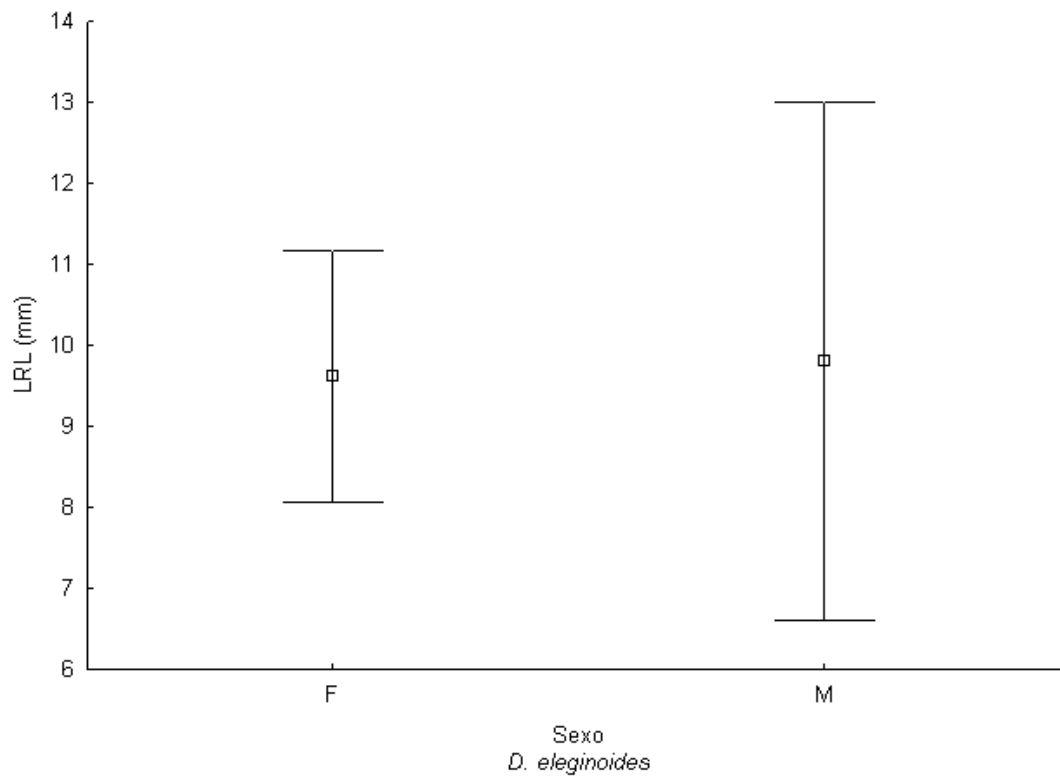
espécies de cefalópodes pelo sexo de *D. eleginoides* não foi realizado o teste  $\chi^2$  devido ao baixo número de indivíduos (Figura 3.12).



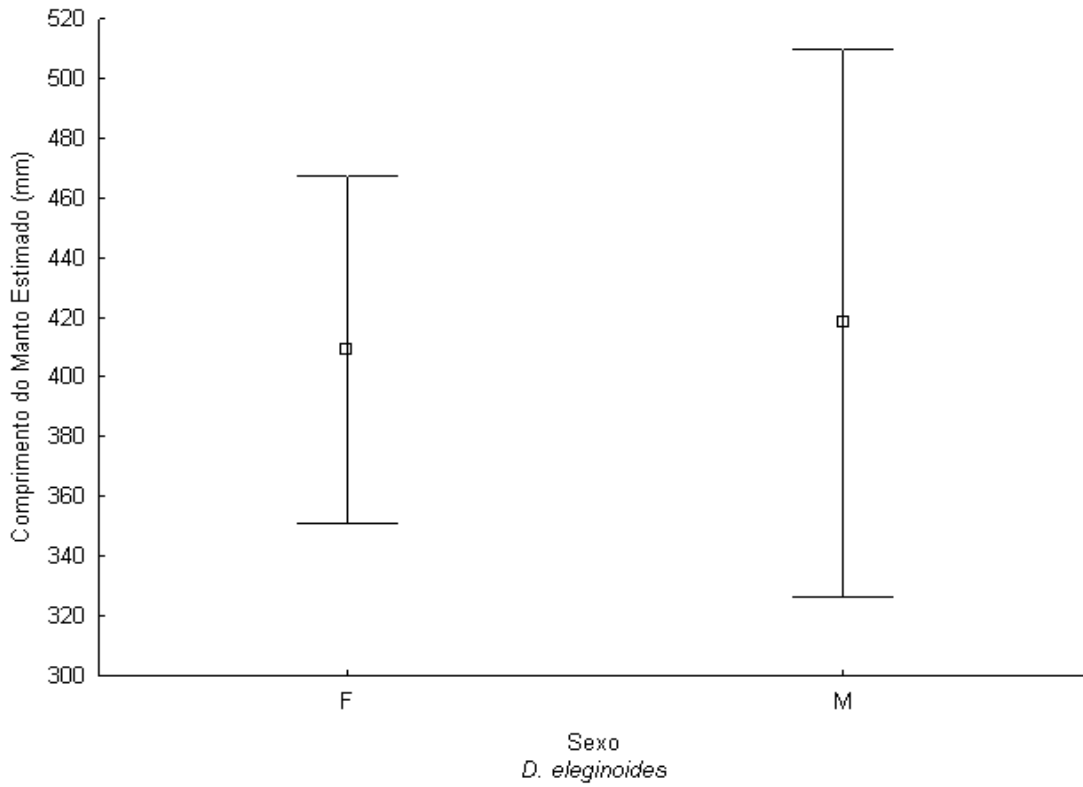
**Figura 3.7** – Comprimento rostral inferior (LRL) dos bicos dos cefalópodes nos dois sexos dos *Dissostichus mawsoni* (Média; Média  $\pm$  Erro Padrão).



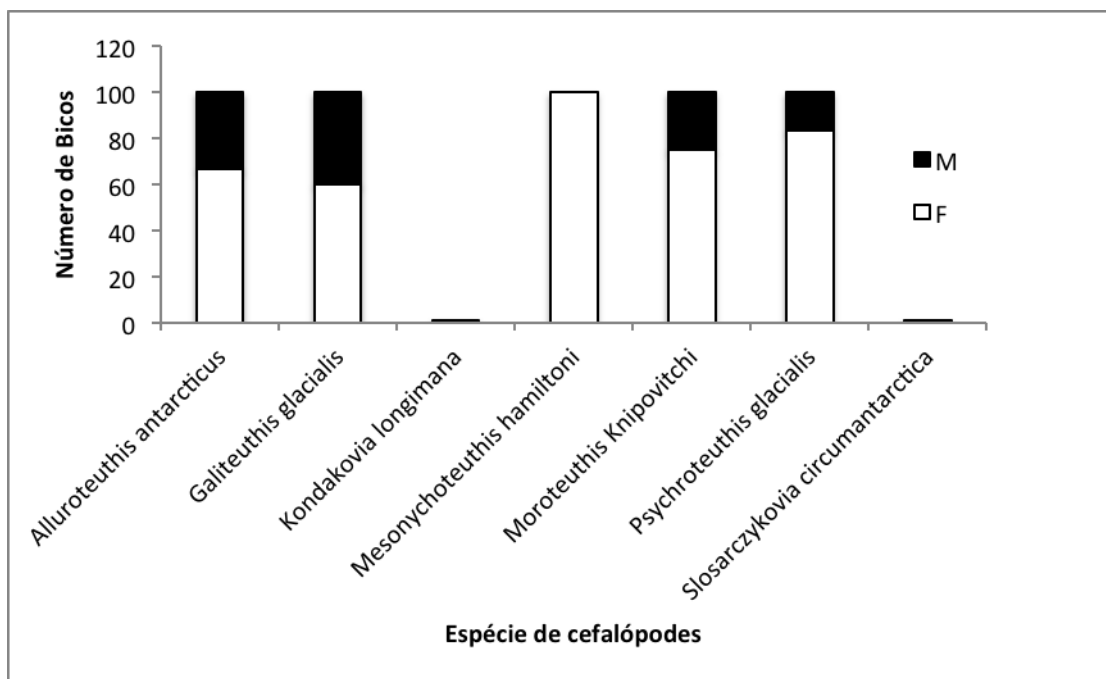
**Figura 3.8** – Comprimento estimado do manto dos cefalópodes nos dois sexos dos *Dissostichus mawsoni* (Média ± Erro Padrão).



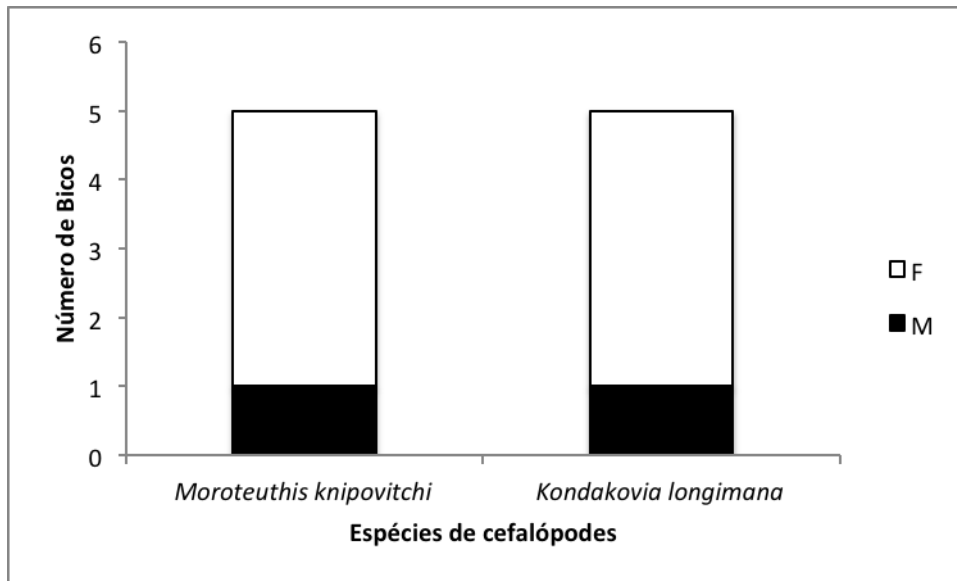
**Figura 3.9** – Comprimento Rostal Inferior dos bicos dos cefalópodes nos dois sexos dos *Dissostichus eleginoides* ( Média ± Erro Padrão).



**Figura 3.10** – Comprimento estimado do manto dos cefalópodes nos dois sexos dos *Dissostichus mawsoni* ( Média ± Erro Padrão).



**Figura 3.11** – Distribuição das espécies de cefalópodes pelos 2 sexos de *Dissostichus mawsoni*.



**Figura 3.12** – Distribuição das espécies de cefalópodes pelos 2 sexos de *Dissosthicus eginoides*.

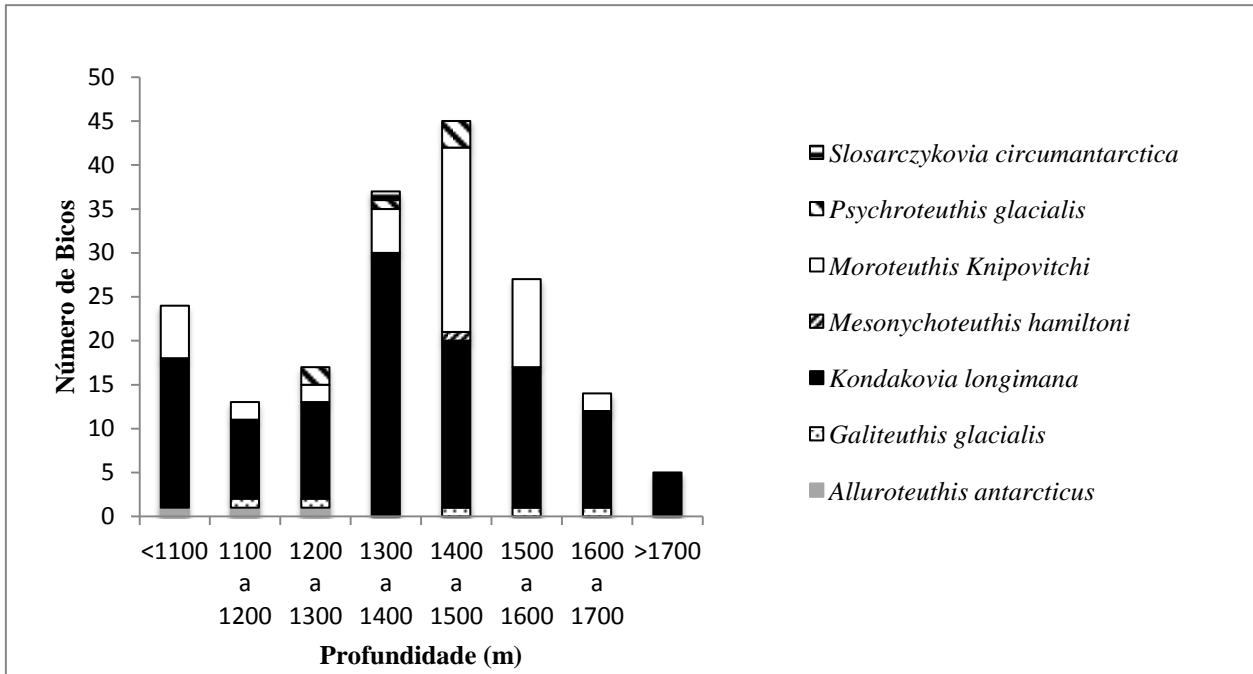
### 3.5 Distribuição vertical

Foram encontrados bicos de cefalópodes em todas as gamas de profundidades em que os *D. mawsoni* foram capturados (desde o 700 m aos 1800). O maior número de bicos foi encontrado entre os 1300 e os 1600 metros (60% do número total de bicos de inferiores encontrados na dieta de *D. mawsoni*), esta região foi também a zona com maior diversidade a par com a banda dos 1200 a 1300 m (com 5 espécies) (Figura 3.13). Nos *D. eginoides* apenas foram encontrados bicos de cefalópodes nos estômagos de indivíduos capturados entre os 1100 metros e os 1500 metros de profundidade. Sendo que maior número de bicos foi encontrado na gama dos 1400 a 1500 metros (50% do número total de bicos de inferiores encontrados na dieta de *D. eginoides*) (Figura 3.14).

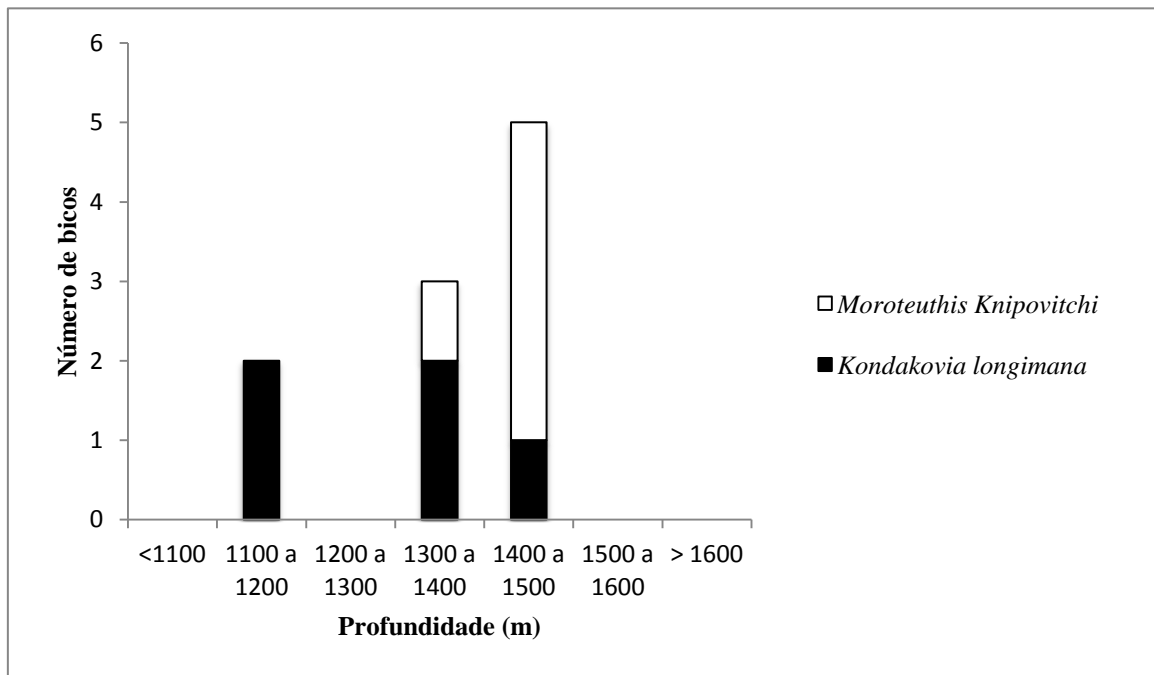
Para verificar se existia um padrão de distribuição de espécies pelas profundidades de captura dos *D. mawsoni* foi realizado um  $\chi^2$ , no entanto devido ao baixo número da maioria das espécies de lulas encontradas, apenas foi possível realizar o teste para as 2 espécies da família Onychoteuthidae. Para *K. longimana* existem



claras diferenças ( $\chi^2 = 28,1$ ,  $df = 7$ ,  $p\text{-value} < 0,01$ ) que foram encontradas em maior número nas profundidades intermédias. No caso das *M. knipovitchi* também existem diferenças significativas, preferindo também estas zonas intermédias (Figura 3.13).

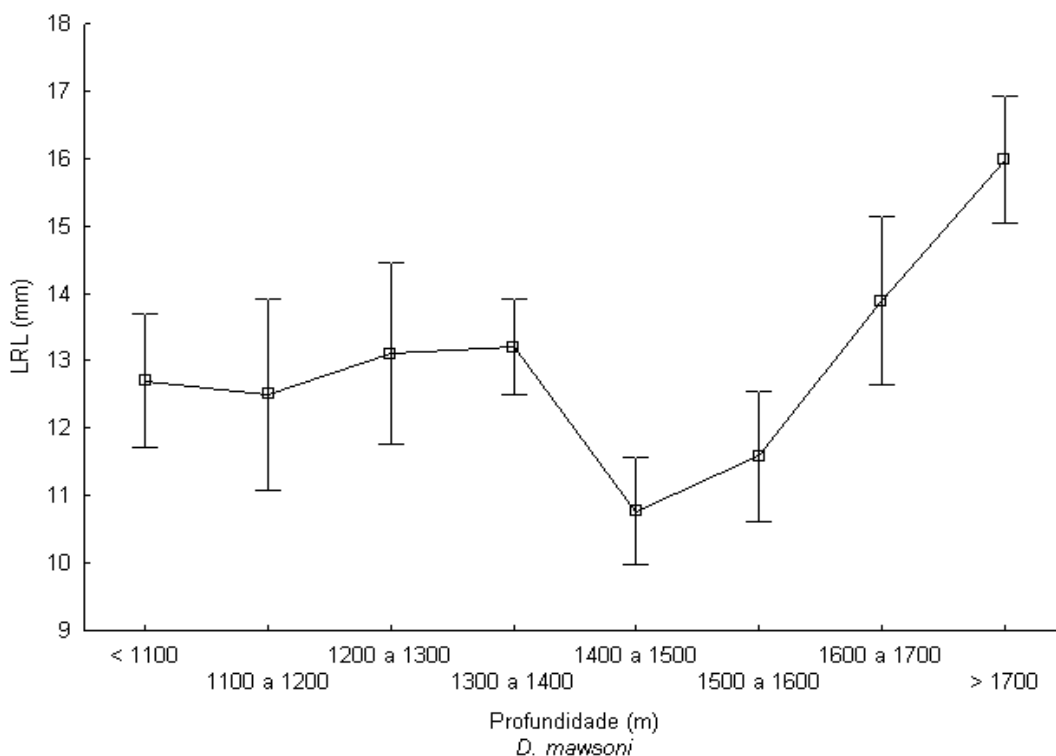


**Figura 3.13** – Distribuição das espécies de cefalópodes pelas diferentes gamas de profundidades, encontradas na dieta de *D. mawsoni*.

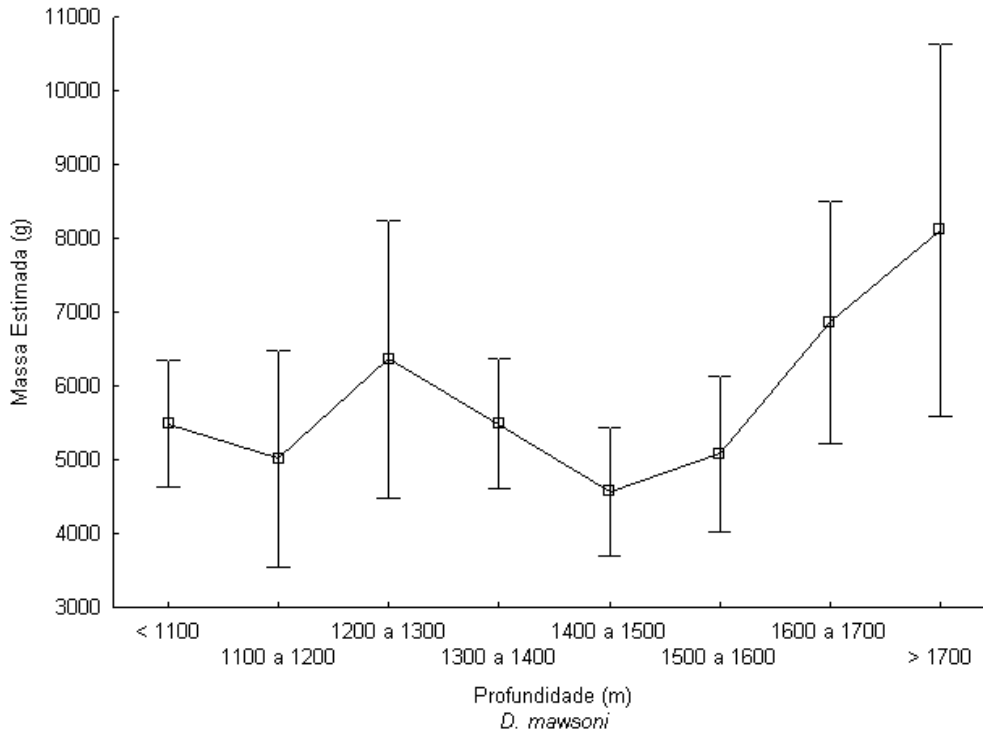


**Figura 3.14** – Distribuição das espécies de cefalópodes pelos 2 sexos de *Dissosthicus eleginoides*.

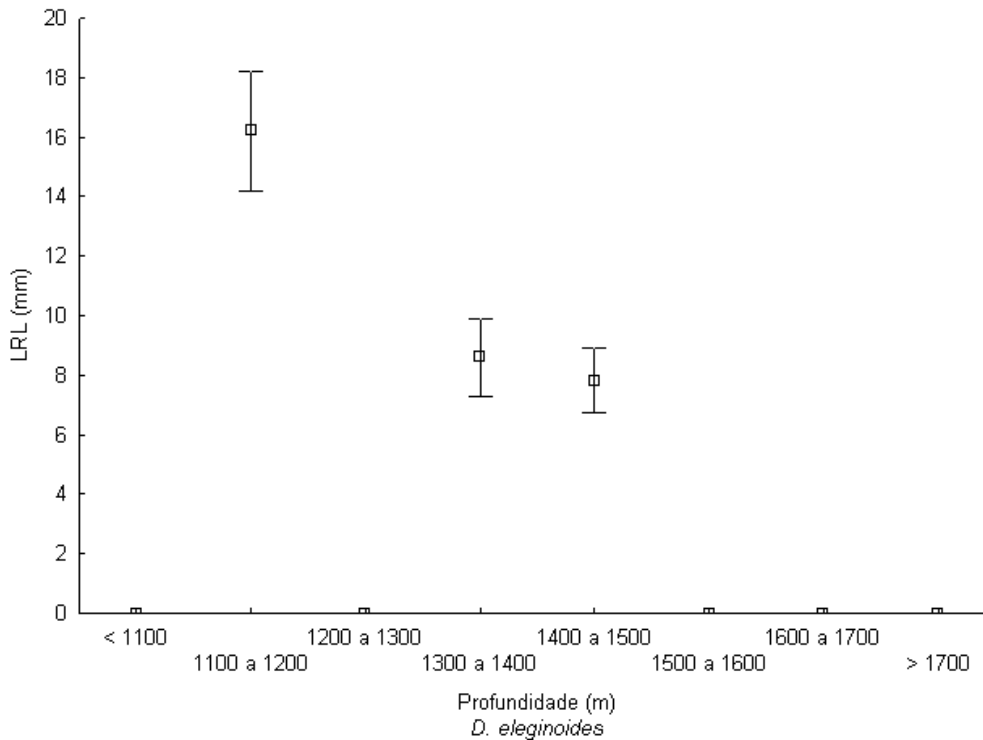
Existe uma ligeira tendência para o aumento do comprimento rostral inferior (LRL) com o aumento da profundidade, excepto entre os 14000 e 1600 metros onde o tamanho do LRL decresce (Figura 3.15), no então este efeito da profundidade não é estatisticamente significativo (ANOVA,  $F_{7;173} = 1,55$ ;  $p = 0,15$ ). Ao avaliar a relação entre a massa estimada e a profundidade de captura também não se encontram diferenças estatisticamente significativas (ANOVA,  $F=0,53$ ;  $df=7$ ;  $p = 0,81$ ) (Figura 3.16). Nos *D. eleginoides* existem diferenças significativas (ANOVA,  $F_{7, 7}=8,8$ ;  $p < 0,05$ ) na relação entre a profundidade e o comprimento rostral inferior dos bicos dos cefalópodes encontrados na dieta de *D. eleginoides* (Figura 3.17) e o mesmo se verifica na relação entre a massa estimada e a profundidade de captura do predador (ANOVA,  $F_{7, 7}=6,8$ ;  $p < 0,05$ ) (Figura 3.18).



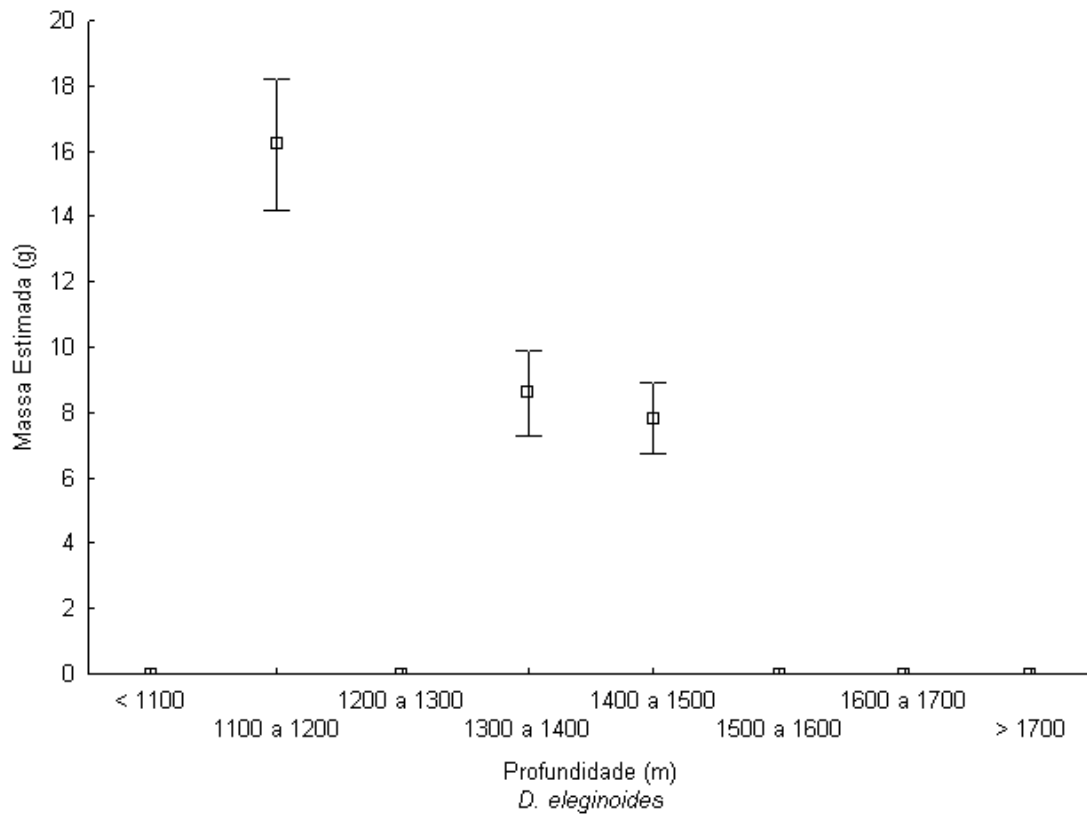
**Figura 3.15** – Distribuição dos valores do comprimento rostral inferior (LRL) dos de cefalópodes pelas diferentes gamas de profundidades a que foram capturados os *D. mawsoni* que continham cefalópodes nos estômagos ( Média ± Erro Padrão).



**Figura 3.16** – Distribuição dos valores da massa estimada dos cefalópodes pelas diferentes gamas de profundidades a que foram capturados os *D. mawsoni* que continham cefalópodes nos estômagos ( Média ± Erro Padrão).



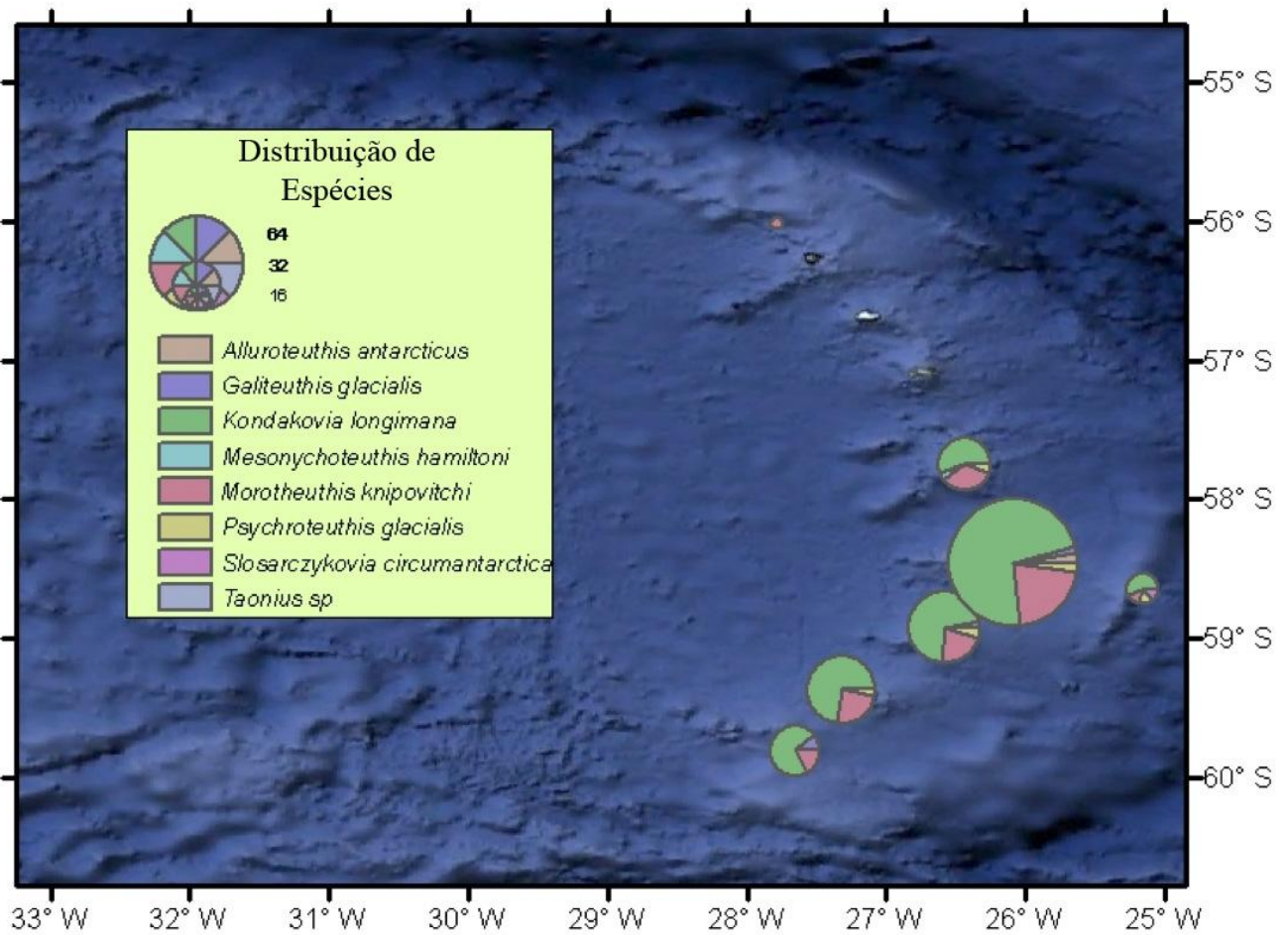
**Figura 3.17** – Distribuição dos valores do comprimento rostral inferior (LRL) dos de cefalópodes pelas diferentes gamas de profundidades a que foram capturados os *D. mawsoni* que continham cefalópodes nos estômagos ( Média ± Erro Padrão).



**Figura 3.18** – Distribuição dos valores da massa estimada dos cefalópodes pelas diferentes gamas de profundidades a que foram capturados os *D. eleginoides* que continham cefalópodes nos estômagos ( Média  $\pm$  Erro Padrão).

### 3.6 Distribuição Horizontal

Foram encontrados bicos de cefalópodes nas dietas dos *Dissostichus* ao redor de todas as ilhas do arquipélago, maioritariamente nas zonas mais a sudeste (Figura 3.19)

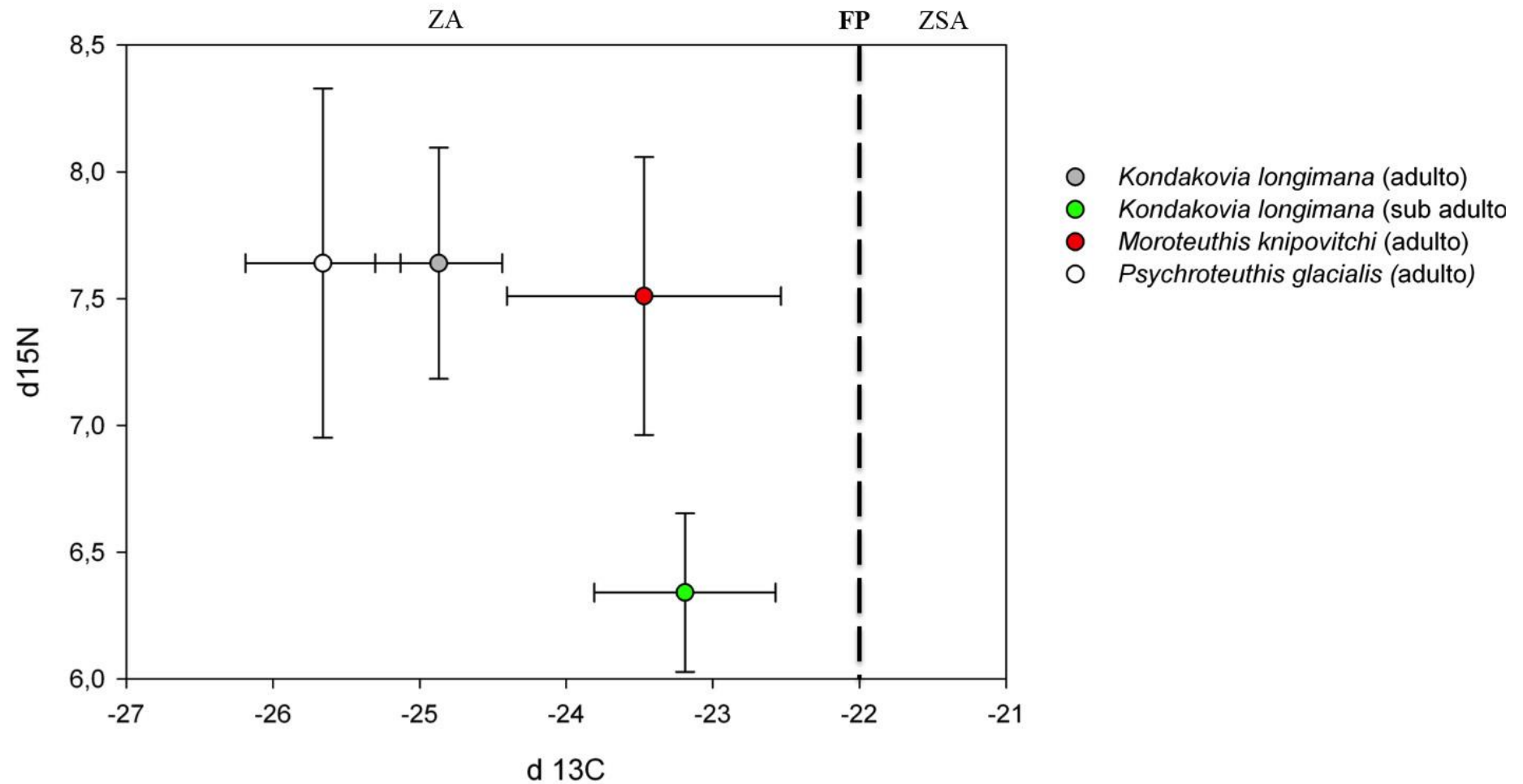


**Figura 3.19** – Mapa da Distribuição das espécies de cefalópodes encontradas nas dietas de *Dissostichus* ao redor das Ilhas Sandwich do Sul.

### 3.4 Isótopos Estáveis

Da amostra total de bicos recolhidos das dietas de *Dissostichus mawsoni*, 32 foram escolhidos para análises de isótopos estáveis. Apenas foram seleccionados bicos provenientes de três espécies (*K. longimana*, *P. glacialis* e *M. knipovitchi*) pois as restantes não tinham número suficiente para se proceder à análise. As espécies seleccionadas correspondem a um total 94.1% do total de bicos encontrados na dieta de *D. mawsoni* (99.66% da massa).

O valor do  $\delta^{15}\text{N}$  varia entre 5.88 ‰ (*Kondakovia longimana*) e 8.33‰ (*Moroteuthis knipovitchi*) e o valor do  $\delta^{13}\text{C}$  foi de -26.42 (*Psycroteuthis glacialis*) a -21.99‰ (*Moroteuthis knipovitchi*) (Fig. 3.20). Há uma clara segregação em de 2 grupos no  $\delta^{15}\text{N}$  (ANOVA;  $F_{3,28} = 8,55$ ;  $p < 0,01$ ) onde os valores *K. longimanda* (adulto), *M. knipovitchi* e *P. glacialis* se encontram próximos e as lulas subadultas de *K. longimana* estão relativamente distantes de todas as outras. Como se pode verificar estatisticamente, onde apenas se verificaram diferenças estatisticamente significativas entre as médias dos  $\delta^{15}\text{N}$  de *K. logimana* (sub-adulto) e todas as outras ( $p < 0,01$  em todos os casos). Quanto aos valores do  $\delta^{13}\text{C}$ , há diferenças significativas (ANOVA;  $F_{3,28} = 20,22$ ;  $p < 0,01$ ), com excepção entre as *K. longimana* (adulto) e *M. knipovitchi* ( $p = 0,32$ ).



**Figura 3.20** – Assinaturas dos isótopos estáveis de Carbono e Azoto para as principais espécies de cefalópodes encontradas na dieta de *Dissostichus mawsoni* ( Média  $\pm$  Erro Padrão). Abreviaturas: ZA, Zona Antártica; FP, Frente Polar; ZSA, Zona Subantártica. Frentes das assinaturas do isótopo de carbono adaptadas segundo Jaeger *et al.* (2010).

---

## Capítulo 4 - Discussão

---





#### **4.1 - A importância da componente de cefalópodes nas dietas de *D. eleginoides* e de *D. mawsoni***

Os cefalópodes já foram registados variadas vezes tanto na dieta de *D. eleginoides* (Mckenna 1991; Pilling 2001; Cherel et al. 2004; Roberts et al. 2011) como na de *D. mawsoni* (Fenaughty 2003; Stevens 2004; J. Roberts et al. 2011; Stevens 2012). Já foram realizados estudos que se focaram especificamente nos cefalópodes predados por *D. eleginoides* (Xavier et al. 2002; Cherel et al. 2004). No entanto este é o primeiro estudo detalhado dos cefalópodes presentes na dieta de *D. mawsoni*, e é também a primeira vez que um estudo se dedica à análise da distribuição de cefalópodes, através da dieta de um predador, em redor das Ilhas Sandwich do Sul. Realizámos este trabalho pois é de extrema importância perceber a dispersão e a ecologia dos cefalópodes no oceano Antártico, visto estes serem um dos principais grupos base da cadeia trófica Antártica (Collins & Rodhouse 2006). As espécies de *Dissostichus* são um objecto de estudo muito eficiente pois, além de terem um alimentação muito diversificada (Pilling et al. 2001; Roberst et al. 2011; Stevens et al 2012) , são maioritariamente residentes (Williams et al. 2002) indicando assim que, tanto o alimento fresco ou aquele que já tenha sido ingerido há algum tempo, provem da área de captura do peixe.

#### **4.2 - Comparação com outros estudos de *D. eleginoides* e *D. mawsoni***

A dieta de cefalópodes presente nas duas espécies de *Dissostichus* em redor das Ilhas Sandwich do Sul é bastante similar. No entanto, o mesmo não se verifica noutros locais de estudo. Nos *D. eleginoides* capturados na costa da Argentina, as espécies de

cefalópodes encontradas nas suas dietas foram *Semirossia tenera*, *Illex argentinus*, *Loligo gahi* e *Octopus tehuilchus* (Garcia et al. 1997). Apesar de nenhuma das espécies supracitadas ocorrer no nosso estudo, sabe-se que *I. argentinus* poderá também ocorrer em águas próximas do Oceano Antártico (Xavier et al. 2006). Nas ilhas sub-Antárticas de Kerguelen e Crozet todas as espécies encontradas no presente estudo ocorrem na dieta de *D. eleginoides*, com exceção de *Taonius* sp. (Voss) e *M. hamiltoni* (em Kerguelen) e de *P. glacialis* (em Crozet) (Cherel et al. 2004). As espécies *K. longimana*, *Moroteuthis ingens* e *Gonatus antarcticus* foram as mais relevantes quanto à massa estimada (Cherel et al. 2004), embora as duas últimas espécies não apareçam na dieta dos peixes capturados no presente estudo, possivelmente dado terem uma dispersão mais sub-Antártica (Rodhouse 1989b; Nesis 1999a; Anderson & Rodhouse 2002). Contudo *G. antarcticus* foi reportado na dieta de *D. eleginoides* ao redor da Geórgia do Sul, o que pode indicar que esta espécie no mar de Scotia está confinada unicamente ao grupo Norte de ilhas do Oceano Antártico (Ward et al. 2012). Apesar da separação hidrográfica do mar de Scotia (Ward et al. 2012) a componente de cefalópodes na dieta dos *D. eleginoides* encontrados na Geórgia do Sul é relativamente similar à componente de cefalópodes encontrada no presente estudo, sendo *K. longimana* e *M. knipovitchi* as espécies mais representadas pela massa estimada (76,1% e 10,7% respectivamente) nos dois estudos (Xavier et al. 2002). A grande diferença entre estes estudos reside na diversidade encontrada: na Geórgia do Sul foram recuperados bicos de cefalópodes de 16 espécies diferentes, enquanto que no presente estudo apenas foram encontrados bicos de 7 espécies, sendo que *Slosarczykovia circumantarctica* foi a única espécie de cefalópode encontrado nas Ilhas Sandwich do Sul que não ocorreu na dieta dos *D. eleginoides* capturados na Geórgia do Sul. No

entanto, *S. circumantarctica* é conhecida por ocorrer nessas águas (Xavier & Cherel 2009).

Para os *D. mawsoni*, para além do presente estudo só Stevens (2012) identificou algumas das espécies de cefalópodes encontradas na dieta desta espécie, no Mar de Ross. Apenas 2 famílias das 4 encontradas (Onychoteuthidae, Psychroteuthidae, Octopodidae e Opisthoteuthidae) foram identificadas até à espécie (*K. longimana* e *P. glacialis*, respectivamente), sendo *P. glacialis* o cefalópode mais representado. A maior presença desta espécie poderá dever-se à maior latitude e à maior proximidade do continente e à implícita diminuição da temperatura do oceano. No seu conjunto, os dados obtidos demonstram a plasticidade que as duas espécies de *Dissostichus* têm na busca por alimento.

#### **4.3 - Distribuição vertical e horizontal de cefalópodes com base nas dietas de *D. eleginoides* e *D. mawsoni***

As dificuldades que as redes científicas enfrentam para a captura de cefalópodes leva a uma limitação do conhecimento da sua distribuição horizontal e vertical (Clarke 1977; Rodhouse 1990), principalmente quando nos referimos a indivíduos adultos. Os predadores de topo mostram ser uma solução eficiente, capturando uma maior diversidade e espécimes de maiores dimensões (Rodhouse 1990). Existe um grande potencial no uso das dietas de predadores de topo para perceber a distribuição das populações de lulas que ainda não são exploradas comercialmente (Rodhouse et al. 1996). Assim a tendência natural dos estudos mais recentes foi recorrer às dietas de predadores de cefalópodes, incluindo os *Dissostichus* spp, para se obter informações sobre os cefalópodes (Xavier et al. 2002; Cherel et al. 2004). Este estudo vai completar

e melhorar a compreensão da distribuição de cefalópodes no mar de Scotia, pois traz dados de um novo predador e de uma região ainda muito pouco conhecida. Contudo, todas as espécies encontradas neste estudo já tinham sido anteriormente registadas na dieta de pelo menos um dos *Dissostichus* noutras regiões (Xavier et al 2002; Cherel et al. 2004; Xavier & Cherel 2009; Stevens 2011), ocorrendo em águas tipicamente Antárticas (Xavier et al. 2003), sugerindo assim uma distribuição circumpolar para estas espécies (Xavier et al. 1999).

Foram encontrados cefalópodes em todas as profundidades de captura dos peixes (900 m a 1800 m). A maioria dos bicos de cefalópodes proveio dos peixes capturados entre os 1300 e 1600 metros. Esta distribuição encontra-se de acordo com a suposição de que a maioria dos cefalópodes Antárticos estão confinados ao talude continental, à zona mesopelágica e à zona batipelágica (Kock 1987; Croxall & Prince 1994). Das espécies mais importantes, *K. longimana* apresenta uma grande gama de dispersão, aparecendo tanto na zona epipelágica, mesopelágica ou batipelágica (Nesis 1987). Neste estudo foram capturadas a todas as profundidades, aparecendo maioritariamente dos 1300 aos 1600m (55% do número de bicos encontrados), contrariamente a um estudo anterior efectuado no mar de Scotia onde só foram encontradas entre as profundidades de 300 a 900 m (Xavier et al. 2002). Com *M. knipovitchi* sucedeu o mesmo, sendo a grande maioria encontradas na zona batipelágica enquanto que anteriormente a sua maior frequência tinha sido na região mesopelágica (Xavier et al 2002). Podemos assim dizer que as distribuições verticais de *K. longimana* e *M. knipovitchi* variam entre zonas batipelágicas e mesopelágicas dependendo do regime oceanográfico (Ward et al. 2012). Os juvenis de *G. glacialis* ocorreram entre os 200 e 400m de profundidade, potencialmente evitando assim a predação por parte dos *Dissostichus* spp.. Os indivíduos adultos desta espécie habitam usualmente

profundidades entre os 600 e os 1000 m (Collins et al. 2010) no entanto neste estudo foram encontrados bicos de *G. glacialis* desde os 1100 até aos 1700 m. O mesmo se verifica em *P. glacialis*, que foi encontrada a profundidades superiores às anteriormente registadas (Xavier et al. 2002). No geral estes resultados indicam que em redor das Ilhas Sandwichs do Sul as populações de cefalópodes ocupam um nicho de águas mais profundas do que as populações da Geórgia do Sul. As diferenças hidrográficas registadas recentemente, que dividem o mar de Scotia em 2 grupos (Norte e Sul), onde a estrutura da cadeia alimentar difere (Ward et al. 2012), podem justificar esta desigualdade na distribuição vertical da comunidade de cefalópodes.

Um dos nossos principais resultados é a clara segregação espacial apresentada por *D. mawsoni* e *D. eleginoides* (Roberts et al. 2011), habitando zonas oceânicas com características relativamente diferentes, no entanto isso não se aplica às as populações de cefalópodes. Ao contrario do que acontece com os *Dissostichus* spp., as frentes oceânicas não aparentam restringir a dispersão dos cefalópodes (Xavier et al. 1999). Esta afirmação é confirmada pelo facto da componentes de cefalópodes das dietas de ambas as espécies estudadas serem similares, quando estas se encontram segregadas devido a uma frente oceânica. A componente de cefalópodes na dieta é dominada tanto em número como em massa estimadas por *K. longimana* e *M. knipovitchi* nas duas espécies de *Dissostichus*.

Apesar de as diferenças entre o tamanho do predador e o tamanho da presa não serem estatisticamente significativas, é graficamente (Figura 3.3 e Figura 3.4) notório que com o aumento do tamanho do predador aumenta o tamanho do cefalópode predado. Este padrão, de predadores maiores se alimentarem de presas maiores, tem sido registado em variadas espécies (Carbone et al. 1999; Xavier et al. 2002; Xavier et al. 2007). Poder-se-ia assumir que esta relação estaria associada ao aumento de tamanho

de cefalópodes com a profundidade, no entanto a distribuição de tamanhos de *Dissostichus* ao longo da coluna de água é heterogênea. Sendo assim a única explicação possível que os indivíduos maiores aparentam alimentar-se de cefalópodes maiores devido a possuírem uma boca maior e assim serem capazes de ingerir indivíduos maiores, como acontece nos Albatrozes Viageiros (Xavier et al. 2007).

A análise do gráfico distribuição dos bicos de cefalópodes pelos 2 sexos de *D. mawsoni* mostra-nos que há uma ligeira tendência para indivíduos do sexo masculino se alimentam de presas maiores (Figura 3.7 e 3.8). Os peixes do sexo masculino são ligeiramente maiores que os do sexo feminino concordado assim com a anterior suposição de que indivíduos maiores se alimentam de presas maiores, sugerindo assim uma selecção das presas por parte das espécies predatórias.

#### **4.4 - Avaliação do habitat e nível trófico de cefalópodes das Ilhas Sandwich, usando *D. eleginoides* e *D. mawsoni* como amostradores**

Com base no rácio das assinaturas isotópicas de  $^{13}\text{C}$  dos bicos de cefalópodes capturados nos estômagos de *D. mawsoni*, podemos dizer que as três espécies analisadas (*K. longima*, *M. knipovitchi* e *P. glacialis*) são provenientes de águas Antárticas (Jaeger & Lecomte 2010). No entanto, devido às diferenças entre as espécies, podemos dizer que estas se alimentam em diferentes zonas do oceano. Em estudos anteriores os valores dos  $\delta^{13}\text{C}$  de *K. longimana* e de *M. knipovitchi* foram relativamente menores ( Anderson et al. 2009 & Alvito, Xavier e Seco (dados por publicar)), havendo mesmo valores dos rácios que remetem as assinaturas destas duas espécies para águas Sub-Antárticas ( Cherel et al. 2004; Cherel et al. 2011). Os estudos anteriormente referidos foram realizados na Geórgia do Sul (Anderson et al. 2009 e Alvito, Xavier e

Seco (dados por publicar))e em Kerguelen( Cherel et al. 2004 e Cherel et al. 2011) comprovando assim a relação de que com o aumento da latitude há um diminuição do valor do  $\delta^{13}\text{C}$  (Jaeger et al. 2010) . Esta diferença entre os estudos realizados na Geórgia do Sul e o presente estudo demonstram, uma vez mais, que apesar dos dois arquipélagos se situarem no mesmo mar, que possuem fauna e flora relativamente distintas. Quanto ao  $\delta^{13}\text{C}$  de *P. glacialis*, em estudos anteriores esta espécie mostrou que provem de águas tipicamente Antárticas (Cherel et al. 2004; Anderson et al. 2009 e Alvito, Xavier e Seco (dados por publicar)). Esta diferença entre as duas espécies da família Onychoteuthidae (*K. longima* e *M. knipovitchi*) e a *P. glacialis* sugere fortemente que as populações de *P. glacialis* sejam migratórias, ou seja, começam a sua vida em águas Antárticas e mais tarde deslocam-se ligeiramente para norte até águas Sub-Antarcticas, como a *S. circumantarctica* em Cherel *et al* (2011). Ao invés as populações das Onychoteuthidae são mais localizadas, tendo origem em diferentes locais do oceano e permanecem próximas desses locais quando adultas. Há um clara segregação entre os indivíduos adultos e sub-adultos de *K. Longimana*, sugerindo que, na população de cefalópodes das Ilhas Sandwich do Sul, os indivíduos mais jovens desta espécies habitam locais mais a norte e com o aumentar de tamanho estes deslocam-se ligeiramente para águas mais a sul.

Através da análise dos rácios das assinaturas do isótopo de  $^{15}\text{N}$  dos bicos de cefalópodes capturados nos estômagos de *D. mawsoni*, podemos verificar que existe um segregação trófica entre os espécimes adultos e sub-adultos. Sugere-nos isto que os sub-adultos de *K. longimana* se alimentam de pequenos crustáceos mas quando passam a adultos mudam a sua dieta para peixe mesopelágicos (Cherel et al. 2004; Phillips et al. 2003). Os valores do  $\delta^{13}\text{C}$  entre os sub adultos de *K. longimana* e os adultos de *M. knipovitchi* são bastante próximos, indicando que possuem o mesmo habitat, no entanto

os valores do  $\delta^{15}\text{N}$  são distintos, ou seja, possuem o mesmo habitat, mas tem uma alimentação diferente. Por outro lado, todos os adultos (*K. longimana*, *M. knipovitchi* e *P. Glacialis*) tem valores significativamente diferentes no  $\delta^{13}\text{C}$  e apresentam valores próximos no  $\delta^{15}\text{N}$ , sugerindo-nos que possuem habitats diferentes, mas que têm hábitos alimentares semelhantes. Comparativamente a outros estudos realizados no mar de Scotia, os valores do  $\delta^{15}\text{N}$  encontrados neste estudo foram inferiores (Anderson et al 2009 e Alvito, Xavier e Seco (dados por publicar)). Principalmente quando comparados com o estudo de Anderson et al 2009 ( $\delta^{15}\text{N}$  de *K.longimana* = 7,5; *M. knipovitchi* = 10,8; *P. glacialis* = 10,5) realizado na época de 2001/2002, a diferença entre os estudos pode indicar a existência de uma alternativa alimentar para os cefalópodes na cadeia trófica. Devido à possível carência de krill no ano de 2009 (época do presente estudo), a cadeia alimentar que tinha por base o fitoplâncton, depois o krill e cefalópodes pode ter mudado para uma cadeia onde a base continua o fitoplâncton no entanto aparecem os copépodes em vez do krill, e os cefalópodes ao se alimentarem dos copépodes em vez do krill irão apresentar um  $\delta^{15}\text{N}$  mais baixo, pois estão a consumir uma presa de nível trófico mais baixo que o normal. O estudo realizado com os cefalópodes presentes nas dietas de albatrozes em 2009 em redor da Geórgia do Sul confirma esta ilação (Alvito, Xavier e Seco (dados por publicar)), no entanto os valores do  $\delta^{15}\text{N}$  do presente estudo são menores, indicando uma vez mais que existem diferenças entre as duas zonas distintas do mar de Scotia (Ward et al 2012).

Contudo, as diferentes populações de cefalópodes do mar de Scotia mostraram um  $\delta^{15}\text{N}$  que as populações de Kerguelen (Cherel et al. 2004 e Cherel et al. 2011), transmitindo a ideia de que os cefalópodes no mar de Scotia se estão a alimentar de um nível trófico superior do que os de Kerguelen. Esta diferença pode dever-se à grande produtividade registada no mar de Scotia (Atkinson et al. 2001) ou às populações de



cefalópodes procurarem uma dieta diferente devido a diferentes pressões competitivas por alimento.

#### **4.5 - Considerações Finais**

Este estudo vem mostrar novamente a importância que os cefalópodes têm na cadeia trófica Antártica, e que o facto de ainda sabermos muito pouco sobre a sua ecologia e dispersão os torna vulneráveis. Devido à grande plasticidade alimentar demonstrada e às grandes gamas de dispersão, *D. eleginoides* e *D. mawsoni* são duas espécies que revelam um enorme potencial para amostrar cefalópodes ao longo de todo o oceano do Sul. Pela análise da dieta das duas espécies supra citadas ficamos a perceber que as lulas da família Onychoteuthidae são predominantes em redor das Ilhas Sandwich do Sul. Dentro do mar de Scotia as populações de cefalópodes variam principalmente ao nível da diversidade, devido às condições hidrográficas. Os dados das assinaturas dos isótopos estáveis mostram-nos que os cefalópodes capturados em redor das Ilhas Sandwich do Sul provem estritamente de águas Antárticas. Revelam também que os cefalópodes apresentam alguma flexibilidade em relação às presas de que se alimentam, mudando conforme o que está disponível no oceano nessa época.

---

## Referências

---



- Agnew, D. J., (2004). Fishing South: History and Management of South Georgia Fisheries. *Government of South Georgia and the South Sandwich Islands*.
- Anderson, C.I.H. & Rodhouse, P. G. (2002). Distribution of juvenile squid in the Scotia Sea in relation to regional oceanography. *Bulletin of marine science* 71:97-108
- Anderson, O., Phillips, R., McDonald, R. Shore, R., McGill, R., Bearhop, S. (2009). Influence of trophic position and foraging range on mercury levels within a seabird community. *Marine Ecology Progress Series* 375:277–288.
- Atkinson, A., Whitehouse, M. J., Priddle, J., Cripps, G. C., Ward, P., Brandon M. A. (2001). South Georgia, Antarctica: a productive, cold water, pelagic ecosystem. *Marine Ecology Progress Series* 216:279–308.
- Carbone, C., Mace, G. M., Roberts, S. C., Macdonald, D. W. (1999). Energetic constraints on the diet of terrestrial carnivores. *Nature* 402:1997–2000.
- Carmack, E. (1990). Large scale physical oceanography of polar oceans. *Polar Oceanography, Part A: Physical Science* :171-222.
- Cherel, Y, Duhamel, G. & Gasco, N. (2004). Cephalopod fauna of subantarctic islands: new information from predators. *Marine Ecology Progress Series* 266:143–156.
- Cherel, Yves & Hobson, K. A. (2005). Stable isotopes, beaks and predators: a new tool to study the trophic ecology of cephalopods, including giant and colossal squids. *Proceedings of the Royal Society of London B* 272:1601–1607
- Cherel, Yves, Gasco, N. & Duhamel, G. (2011). Top predators and stable isotopes document the cephalopod fauna and its trophic relationships in Kerguelen waters. *The Kerguelen Plateau: marine ecosystem and fisheries* :99–108.

- Chown, S. L., Huiskesb, H. L., Gremmenb, N. J. M., Lee, J. E., Teraudsa, A., Crosbied, K., Frenote, Y., Hughesf, K. A., Imurag, S., Kieferc, K., Lebouvierh, M., Raymondc, B., Tsujimotoi, M., Ware, C., Vijverk, B., Bergstromc D. M. (2012). Continent wide risk assessment for the establishment of nonindigenous species in Antarctica. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109:158–159.
- Clarke, M. (1977). Beaks, nets and numbers. *Symposia, Zoological Society of London* 38: 89–126
- Clarke, M. (1983). Cephalopod biomass-estimation from predation. *Memoirs of the National Museum Victoria* 44:95-107
- Collins, M. A. & Rodhouse, P. G. (2006). Southern ocean cephalopods. Em: Southward, A.J., Young, C.M., Fuiman, L.A. (Ed.). *Advances in Marine Biology* 50.
- Collins, M. A., Brickle, P., Brown, J., Belchier, M. (2010). The patagonian toothfish: biology, ecology and fishery. Em: Lesser, M. (Ed.). *Advances in Marine Biology* 58
- Croxall, J. & Prince, P.A. (1994). Dead or alive: night or day. How do albatrosses catch squid? *Antarctic Science* 6:155–162.
- Eastman, J. T. (1990). The biology and physiological ecology of notothenioid fishes. Em: Gon, O. & Heemstra, P. C. (Ed.). *Fishes of the Southern Ocean* :34–51.
- Fenaughty, J. M., Stevens, D. W., Hanchet, S. M. (2003). Diet of the Antarctic toothfish (*Dissostichus mawsoni*) from the Ross Sea, Antarctica (subarea 88.1). *CCAMLR Science* 10:113–123.

- Gon, O. & Heemstra, P. (1990). *Fishes of the Southern Ocean*. Grahamstown: GBL Smith Institute.
- Hobson, K. A., Piatt, J. F., Pitocchelli, J. (1994). Using stable isotopes to determine seabird trophic relationships. *Journal of animal ecology* 63:786-798.
- Horn, P.L. (2002). Age and growth of Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) and Antarctic toothfish (*D. mawsoni*) in waters from the New Zealand subantarctic to the Ross Sea, Antarctica. *Fisheries Research* 56:275–287.
- Jaeger, A. & Lecomte, V. J., Weimerskirch, H., Richard, P., Cherel, Y. (2010). Seabird satellite tracking validates the use of latitudinal isoscapes to depict predators' foraging areas in the Southern Ocean. *Rapid Commun. Mass Spectrom* 24:3456-3460.
- Kock, K. H. (1987). Marine consumer: fish and squid. *Environment international* 13:37-45.
- McKenna, J.E., (1991). Trophic Relationships within the Antarctic Demersal Fish Community of South Georgia Island. *Fishery Bulletin* 89:643–654.
- Mulvaney, R. Abram N.J., Hindmarsh R.C., Arrowsmith C., Fleet L., Triest J., Sime L.C., Alemany O., Foord S. (2012). Recent Antarctic Peninsula warming relative to Holocene climate and ice-shelf history. *Nature* 489:141–144.
- Nesis, K.N. (1987). *Cephalopods of the World*, Nova York: T.N.P
- Nesis, K.N. (1999a). Horizontal and vertical distribution and some features of biology of the gonatid squid *Gonatus antarcticus* Lonnberg 1898 (Cephalopoda). *Ruthenica* 9:129-139

- Orsi, A., Nowlin, W., Whitworth, T. (1993). On the circulation and stratification of the Weddell Gyre. *Deep-Sea Research I* 40:169–203.
- Orsi, A., Whitworth, T., Nowlin, W. (1995). On the meridional extent and fronts of the Antarctic circumpolar current. *Deep Sea Research I* 42:641-673
- Phillips, K. L., Nichols, P. D., Jackson, G. D. (2003). Size related dietary changes observed in the squid *Moroteuthis ingens* at the Falkland Islands: stomach contents and fatty acid analyses. *Polar Biology* 26:474-485
- Pilling, G. M., Purves, M. G., Daw, T. M., Agnew, D. A., Xavier, J. C. (2001). The stomach contents of Patagonian toothfish around South Georgia (South Atlantic). *Journal of Fish Biology* 59:1370–1384.
- Roberts, J., Xavier, J. C., Agnew, D. J. (2011). The diet of toothfish species *Dissostichus eleginoides* and *Dissostichus mawsoni* with overlapping distributions. *Journal of fish biology* 79:138–154.
- Rodhouse, P.G. (1990). Cephalopod fauna of the Scotia Sea at South Georgia: potential for commercial exploitation and possible consequences. Em: Kerry, K. R., Hempel, G. (Ed.) *Antarctic Ecosystems: Ecological Change and Conservation* :289-298.
- Rodhouse, P. G., White, M. G. (1995). Cephalopods Occupy the Ecological Niche of Epipelagic Fish in the Antarctic Polar Frontal Zone. *Biological Bulletin* 189:77-80
- Rodhouse P. G., Prince P. A., Trathan P. N., Hatfield E. M. C., Watkins J. L., Bone D. G., Murphy E. J., White M. G. (1996). Cephalopods and mesoscale oceanography

- at the Antarctic Polar Front:satellite tracked predators locate pelagic trophic interactions. *Marine Ecology Progress Series* 136:37–50.
- Rodhouse, P.G. (1989). Pelagic cephalopods caught by nets during the Antarctic research cruises of the Polarstern and Walther Herwig. *Archiv Fischereiwissenschaft* 39:111-121.
- Rosa, S. B. G., Sanchez, F., Figueroa, D. (1997). Comparative feeding ecology of Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) in the Southwestern Atlantic. *CCAMLR Science* 4:105-124.
- Scientific Committee on Antarctic Research (2011). *Antarctic Science and Policy Advice a Changing World: Strategic Plan 2011-2016*. Reino Unido: Scott Polar Research Institute.
- Stevens, D.W. (2004). Stomach contents of the Antarctic Toothfish (*Dissostichus mawsoni*) from the western ross sea. *Unpublished report*.
- Stevens, D.W. (2012). Diet of Antarctic toothfish (*Dissostichus mawsoni*) from the Ross Sea region, Antarctica. *Unpublished report*.
- Ward, P., Atkinson, A., Venables, H. J., Tarling, G. A., Whitehouse, M. G., Fielding, S., Collins M. A., Korb, R., Black, A., Stowasser, G., Schmidt, K., Thorpe, S. E., Enderlein, P. (2012). Food web structure and bioregions in the Scotia Sea: A seasonal synthesis. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 59-60:253–266.

- Whitworth, T., Nowlin, W., Orsi, A., Locarnini, R., Smith, S. (1994). Weddell Sea shelf water in the Bransfield Strait and Weddell-Scotia Confluence. *Deep-Sea Research I* 41:629-641.
- Williams, R. Tuck, G. N., Constable, A. J., Lamb, T. (2002). Movement, growth and available abundance to the fishery of *Dissostichus eleginoides* Smitt, 1898 at Heard Island, derived from tagging experiments. *CCAMLR science* 9:33-48.
- Xavier, J. C., Rodhouse P. G., Trathan P. N., Wood A. G. (1999). A Geographical Information System ( GIS ) Atlas of cephalopod distribution in the Southern Ocean. *Antarctic Science* 11:61–62.
- Xavier, J., 2002. Predator-prey interactions between albatrosses and cephalopods at South Georgia. Ph. D. Thesis, Department of Zoology, University of Cambridge, England.
- Xavier, J. C., Rodhouse, P. G., Purves, M. G., Daw, T. M., Arata, J., Pilling, G. M. (2002). Distribution of cephalopods recorded in the diet of the Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) around South Georgia. *Polar Biology* 25:323–330.
- Xavier, J. C., Croxall, J. P., Trathan, P. N., Rodhouse, P. G. (2003). Interannual variation in the diets of two albatross species breeding at South Georgia: implications for breeding performance. *Marine Biology* 142:611-622
- Xavier, J. C., Tarling, G. A., Croxall, J. P. (2006). Determining prey distribution patterns from stomach-contents of satellite-tracked high-predators of the Southern Ocean. *Ecography* 29:260-272.



- Xavier, J. C., Wood, A. G., Rodhouse, P. G., Croxall, J. P. (2007). Interannual variations in cephalopod consumption by albatrosses at South Georgia: implications for future commercial exploitation of cephalopods. 3 *Marine and Freshwater Research* 58:116.
- Xavier, J. C., Cherel, Y. (2009). *Cephalopod beak guide for the Southern Ocean*, Reino Unido: British Antarctic Survey.