Marinella Coutinho Jacinto Pucci

Interações tróficas dos peixes e lulas da Baía do Araçá, município de São Sebastião (São Paulo, Brasil): uma abordagem pelo uso de isótopos estáveis

Tese apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências, Programa de Oceanografia, área de Oceanografia Biológica

Orientadora: Profa. Dra. Lucy Satiko Hashimoto Soares

Co-orientadora: Profa. Dra. Thais Navajas Corbisier

São Paulo

2016

Universidade de São Paulo
Instituto Oceanográfico

Versão Corrigida

Interações tróficas dos peixes e lulas da Baía do Araçá, município de São Sebastião
(São Paulo, Brasil): uma abordagem pelo uso de isótopos estáveis

Marinella Coutinho Jacinto Pucci

Tese apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, como
parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências, Programa de
Oceanografia, área de Oceanografia Biológica

Julgada em __/__/__

_____ Prof(a). Dr(a).	_____ Conceito
_____ Prof(a). Dr(a).	_____ Conceito
_____ Prof(a). Dr(a).	_____ Conceito
_____ Prof(a). Dr(a).	_____ Conceito
_____ Prof(a). Dr(a).	_____ Conceito

Sumário

1. Introdução	1
1.1. Considerações Teóricas	6
2. Objetivos	13
3. Área de Estudo	15
4. Material e Métodos	18
4.1. Coletas de Amostra	18
4.1.1. Coleta de tecidos para a análise de isótopos estáveis	18
4.2. Análise de Isótopos Estáveis	21
4.3. Preparação dos Dados	22
4.3.1. Aplicação de equação de correção para lipídeos nas amostras de peixes e lulas	22
4.3.2. Agrupamento dos organismos	23
4.4. Análise de Dados	24
4.4.1. Fatores de Enriquecimento Trófico (Δ_{TEFs})	24
4.4.2. $\delta^{13}C$ (‰) e $\delta^{15}N$ (‰) de peixes e lulas: variabilidade temporal	25
4.4.3. Estimativa da Posição Trófica (PT) das espécies de peixes e lulas	25
4.4.4. Análise detalhada das espécies de peixes representativas do sistema	27
4.4.5. Vias tróficas dos peixes e lulas da Baía do Araçá	29
5. Resultados	30
5.1. $\delta^{13}C$ (‰) e $\delta^{15}N$ (‰) de peixes e lulas: variabilidade interespecífica e temporal	30
5.1.1. Variabilidade Interespecífica	30
5.1.2. Variabilidade Temporal	30
5.2. Estimativa da Posição Trófica (PT) das espécies de peixes e lulas	32
5.3. Análise detalhada das espécies de peixes representativas do sistema	32
5.3.1. <i>Diapterus rhombeus</i>	32
5.3.2. <i>Diplectrum radiale</i>	33
5.3.3. <i>Etropus crossotus</i>	34
5.3.4. <i>Haemulopsis corvinaeformis</i>	35
5.3.5. <i>Prionotus punctatus</i>	36
5.3.6. <i>Mugil curema</i>	36
5.3.7. <i>Anchoa tricolor</i> , <i>Harengula clupei</i> e <i>Sardinella brasiliensis</i>	37
5.4. Vias tróficas dos peixes e lulas da Baía do Araçá	38
6. Discussão	41

6.1. Valores de $\delta^{13}\text{C}_{\text{cor}}$ (‰) e $\delta^{15}\text{N}$ (‰) dos peixes e lulas e variabilidade temporal	41
6.2. Composição da dieta e variação de $\delta^{13}\text{C}_{\text{cor}}$ (‰) e $\delta^{15}\text{N}$ (‰) com o tamanho dos peixes	45
6.3. Posições tróficas e vias tróficas das espécies de peixes e lulas	53
7. Considerações Finais e Conclusões	60
8. Referências Bibliográficas	63
Tabelas	74
Figuras	90
Anexos	132
Apêndices	

Resumo

As interações tróficas de 31 espécies de peixes e 2 de lulas da Baía do Araçá, São Sebastião (SP), foram investigadas por meio dos isótopos estáveis de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$). Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ das espécies variaram entre $-17,2\text{‰}$ e $-12,1\text{‰}$, e os de $\delta^{15}\text{N}$, entre $10,0\text{‰}$ e $14,5\text{‰}$. Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ dos produtores e consumidores permitiram indicar que as espécies analisadas participam das teias tróficas, pelágica e bentônica, e têm como base da cadeia alimentar o fitoplâncton, os microfitobentos e a matéria orgânica dos sedimentos. Maiores valores de $\delta^{13}\text{C}$ nos peixes e lulas foram registrados no verão, associados a valores mais altos na base. As posições tróficas das espécies variaram entre 3,18 e 4,72, indicando que atuam como consumidores secundários e terciários. A composição da dieta dos peixes, avaliada pelo modelo de mistura isotópica, apontou elevada contribuição de presas como Polychaeta, Tanaidacea e Ophiuroidea, grupos com alta abundância na Baía do Araçá e no Canal de São Sebastião. A ingestão de presas disponíveis no interior da baía e no canal evidenciou a importância desses peixes e lulas como carreadores de nutrientes, realizando tanto acoplamento pelágico-bentônico, como entre as regiões sublitoral e entremarés da Baía do Araçá.

Teia trófica, Isótopos estáveis de C e N, Peixes e lulas, Modelo de mistura isotópica SIAR, Ecossistema subtropical, Atlântico Sudoeste.

Abstract

The trophic interactions of 31 fish species and 2 squid species of the Araçá Bay, São Sebastião (São Paulo, Brazil), were investigated through carbon ($\delta^{13}\text{C}$) and nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) stable isotopes. The $\delta^{13}\text{C}$ of the species ranged from -17.2‰ to -12.1‰ , and the $\delta^{15}\text{N}$, from 10.0‰ to 14.5‰ . The $\delta^{13}\text{C}$ data of the producers and consumers indicated that the species analysed are part of the pelagic and benthic trophic webs, and have phytoplankton, microphytobenthos and organic matter from the sediment as the base of the food web. Higher values of $\delta^{13}\text{C}$ were registered in the summer, linked to the higher values at the base. The trophic positions of the species varied between 3.18 e 4.72, an indication that they act as secondary and tertiary-quaternary consumers. The diet composition of fish, evaluated through the isotope mixing model, showed high contribution of prey, such as Polychaeta, Tanaidacea and Ophiuroidea, groups highly abundant in the Bay and the adjacent São Sebastião Channel. The intake of available prey in the intertidal region and in the Channel revealed the importance of the fish and squid as nutrient pathway links, coupling the pelagic-benthic systems and the sublittoral and intertidal regions of the Araçá Bay.

Food web, C and N stable isotopes, Fish and squid, SIAR isotope mixing model, Subtropical ecosystem, Southwest Atlantic

Índice de Tabelas

Tabela 1: Hábitos alimentares e grupos tróficos das espécies de peixes e lulas estudadas na Baía do Araçá.....75

Tabela 2 (Parte A – Verão e Inverno): Amplitude do comprimento total (mm), médias e desvio padrão do comprimento total (mm), da razão C:N, de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) das espécies de peixes, por época de coleta.....78

Tabela 2 (Parte B - Total): Amplitude do comprimento total (mm), médias e desvio padrão do comprimento total (mm), da razão C:N, de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) das espécies de peixes, para a amostra total.....80

Tabela 3 (Parte A – Verão e Inverno): Amplitude de comprimento do manto (mm), médias e desvio padrão do comprimento do manto (mm), da razão C:N, de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) das espécies de lulas, por época de coleta.....82

Tabela 3 (Parte B - Total): Amplitude de comprimento do manto (mm), médias e desvio padrão do comprimento do manto (mm), da razão C:N, de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) das espécies de lulas, para a amostra total.....83

Tabela 4: Resultados dos testes de Mann-Whitney para a análise temporal dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e $\delta^{15}\text{N}$ (‰) apresentados pelas espécies de peixes e lulas (n = número de amostras, NA = teste não aplicado, NS = não significativo, * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$).....84

Tabela 5: Posição trófica média (PT) e desvio padrão para a amostra total das espécies de peixes e lulas estudadas.....86

Tabela 6: Moda (%) das contribuições (dentro do intervalo de 95% de credibilidade) fornecidas pelo modelo de mistura isotópica SIAR para os grupos de presas que compõem a dieta das espécies de peixes. Em negrito, estão indicados os 3 primeiros grupos de presas em relação aos valores de moda (com exceção de *Diapterus rhombeus*: 4 grupos). MUCU= *Mugil curema*, DIRH= *Diapterus rhombeus*, ETCR= *Etropus crossotus*, POCO= *Haemulopsis corvinaeformis*, PRPU= *Prionotus punctatus*, DIRA= *Diplectrum radiale*.....88

Tabela 7: Grupos de produtores que compõem as bases das vias tróficas dos grupos tróficos de peixes, das espécies de peixes analisadas em detalhe, e das lulas na Baía do Araçá. Em cinza escuro, grupos com contribuições mais expressivas; em listrado, grupos com menores contribuições. Herb.= peixes herbívoros, Onív.= peixes onívoros, Carn-B= peixes bentófagos, Carn-PB= peixes bentófagos/piscívoros, MUCU= *Mugil curema*, ANTR= *Anchoa tricolor*, HACL= *Harengula clupeiola*, SABR= *Sardinella brasiliensis*, DIRH= *Diapterus rhombeus*, ETCR= *Etropus crossotus*, POCO= *Haemulopsis corvinaeformis*, PRPU= *Prionotus punctatus*, DIRA= *Diplectrum radiale*.....89

Índice de Figuras

Figura 1: Mapas com a localização da Baía do Araçá, no município de São Sebastião (estado de São Paulo) e da Baía do Araçá em detalhe (abaixo). SSP: Porto de São Sebastião, SSC: Canal de São Sebastião.....91

Figura 2: Médias e amplitude de valores de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) para a amostra total das espécies de peixes analisadas. $\text{d}13\text{Ccor} = \delta^{13}\text{C}$ (‰). ALVU= *Albula vulpes*, ANTR= *Anchoa tricolor*, ATBR= *Atherinella brasiliensis*, CALA= *Caranx latus*, CEPA= *Centropomus parallelus*, CEUN= *Centropomus undecimalis*, CHST= *Chaetodon striatus*, CTGR= *Ctenosciaena gracilicirrhus*, CYJA= *Cynoscion jamaicensis*, DIRA= *Diplectrum radiale*, DIRH= *Diapterus rhombeus*, EPMA= *Epinephelus marginatus*, ETCR= *Etropus crossotus*, GYOC= *Gymnothorax ocellatus*, POCO= *Haemulopsis corvinaeformis*, HACL= *Harengula clupeola*, HEBR= *Hemirhamphus brasiliensis*, HYUN= *Hyporhamphus unifasciatus*, KYSE= *Kyphosus sectatrix*, LUAN= *Lutjanus analis*, LUSY= *Lutjanus synagris*, MIFU= *Micropogonias furnieri*, MUCU= *Mugil curema*, NYUS= *Nicholsina usta usta*, OLSAU= *Oligoplites saurus*, POVI= *Polydactilus virginicus*, PRPU= *Prionotus punctatus*, SABR= *Sardinella brasiliensis*, SYTE= *Symphurus, tessellatus*, TRLE= *Trichiurus lepturus*, UMCO= *Umbrina coroides*.....92

Figura 3: Médias e amplitude de valores de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) para a amostra total das espécies de peixes analisadas. $\text{d}15\text{N} = \delta^{15}\text{N}$ (‰). ALVU= *Albula vulpes*, ANTR= *Anchoa tricolor*, ATBR= *Atherinella brasiliensis*, CALA= *Caranx latus*, CEPA= *Centropomus parallelus*, CEUN= *Centropomus undecimalis*, CHST= *Chaetodon striatus*, CTGR= *Ctenosciaena gracilicirrhus*, CYJA= *Cynoscion jamaicensis*, DIRA= *Diplectrum radiale*, DIRH= *Diapterus rhombeus*, EPMA= *Epinephelus marginatus*, ETCR= *Etropus crossotus*, GYOC= *Gymnothorax ocellatus*, POCO= *Haemulopsis corvinaeformis*, HACL= *Harengula clupeola*, HEBR= *Hemirhamphus brasiliensis*, HYUN= *Hyporhamphus unifasciatus*, KYSE= *Kyphosus sectatrix*, LUAN= *Lutjanus analis*, LUSY= *Lutjanus synagris*, MIFU= *Micropogonias furnieri*, MUCU= *Mugil curema*, NYUS= *Nicholsina usta usta*, OLSAU= *Oligoplites saurus*, POVI= *Polydactilus virginicus*, PRPU= *Prionotus punctatus*, SABR= *Sardinella brasiliensis*, SYTE= *Symphurus, tessellatus*, TRLE= *Trichiurus lepturus*, UMCO= *Umbrina coroides*.....93

Figura 4: Médias e amplitude de valores de a) $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e b) $\delta^{15}\text{N}$ (‰) para a amostra total das espécies de lulas analisadas. $\text{d}13\text{Ccor} = \delta^{13}\text{C}$ (‰), $\text{d}15\text{N} = \delta^{15}\text{N}$ (‰). DOSA= *Doryteuthis sanpaulensis*, LOBR= *Lolliguncula brevis*.....94

Figura 5: Médias e amplitude de valores de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) para as amostras das espécies de peixes analisadas no a) verão e no b) inverno. $\text{d}13\text{Ccor} = \delta^{13}\text{C}$ (‰). ALVU= *Albula vulpes*, ANTR= *Anchoa tricolor*, ATBR= *Atherinella brasiliensis*, CALA= *Caranx latus*, CEPA= *Centropomus parallelus*, CEUN= *Centropomus undecimalis*, CHST= *Chaetodon striatus*, CTGR= *Ctenosciaena gracilicirrhus*, CYJA= *Cynoscion jamaicensis*, DIRA= *Diplectrum radiale*, DIRH= *Diapterus rhombeus*, EPMA= *Epinephelus marginatus*, ETCR= *Etropus crossotus*, GYOC= *Gymnothorax ocellatus*, POCO= *Haemulopsis corvinaeformis*, HACL= *Harengula clupeola*, HEBR= *Hemirhamphus brasiliensis*, HYUN= *Hyporhamphus unifasciatus*, KYSE= *Kyphosus sectatrix*, LUAN= *Lutjanus analis*, LUSY= *Lutjanus synagris*, MIFU= *Micropogonias furnieri*, MUCU= *Mugil curema*, NYUS= *Nicholsina usta usta*, OLSAU= *Oligoplites saurus*, POVI= *Polydactilus virginicus*, PRPU= *Prionotus punctatus*, SABR= *Sardinella brasiliensis*, SYTE= *Symphurus, tessellatus*, TRLE= *Trichiurus lepturus*, UMCO= *Umbrina coroides*.....95

Figura 6: Médias e amplitude de valores de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) para as amostras das espécies de peixes analisadas no a) verão e no b) inverno. $\text{d}15\text{N} = \delta^{15}\text{N}$ (‰). ALVU= *Albula vulpes*, ANTR= *Anchoa tricolor*, ATBR= *Atherinella brasiliensis*, CALA= *Caranx latus*, CEPA= *Centropomus parallelus*, CEUN= *Centropomus undecimalis*, CHST= *Chaetodon striatus*, CTGR= *Ctenosciaena gracilicirrhus*, CYJA= *Cynoscion jamaicensis*, DIRA= *Diplectrum radiale*, DIRH= *Diapterus rhombeus*, EPMA= *Epinephelus marginatus*, ETCR= *Etropus crossotus*, GYOC= *Gymnothorax ocellatus*, POCO= *Haemulopsis corvinaeformis*, HACL= *Harengula clupeola*, HEBR= *Hemirhamphus brasiliensis*, HYUN= *Hyporhamphus unifasciatus*, KYSE= *Kyphosus sectatrix*, LUAN= *Lutjanus analis*, LUSY= *Lutjanus synagris*, MIFU= *Micropogonias furnieri*, MUCU= *Mugil curema*, NYUS= *Nicholsina usta usta*, OLSAU= *Oligoplites saurus*, POVI= *Polydactilus*

virginicus, PRPU= *Prionotus punctatus*, SABR= *Sardinella brasiliensis*, SYTE= *Symphurus tessellatus*, TRLE= *Trichiurus lepturus*, UMCO= *Umbrina coroides*.....96

Figura 7: Escala com a posição trófica (PT) média da amostra total das espécies de peixes e lulas. Em verde: peixes herbívoros, em azul: peixes onívoros; em laranja: peixes bentófagos, em cinza: peixes piscívoros/bentófagos, em preto: lulas. ALVU= *Albula vulpes*, ANTR= *Anchoa tricolor*, ATBR= *Atherinella brasiliensis*, CALA= *Caranx latus*, CEPA= *Centropomus parallelus*, CEUN= *Centropomus undecimalis*, CHST= *Chaetodon striatus*, CTGR= *Ctenosciaena gracilicirrhus*, CYJA= *Cynoscion jamaicensis*, DIRA= *Diplectrum radiale*, DIRH= *Diapterus rhombeus*, EPMA= *Epinephelus marginatus*, ETCR= *Etropus crossotus*, GYOC= *Gymnothorax ocellatus*, POCO= *Haemulopsis corvinaeformis*, HACL= *Harengula clupeiola*, HEBR= *Hemirhamphus brasiliensis*, HYUN= *Hyporhamphus unifasciatus*, KYSE= *Kyphosus sectatrix*, LUAN= *Lutjanus analis*, LUSY= *Lutjanus synagris*, MIFU= *Micropogonias furnieri*, MUCU= *Mugil curema*, NYUS= *Nicholsina usta*, OLSAU= *Oligoplites saurus*, POVI= *Polydactylus virginicus*, PRPU= *Prionotus punctatus*, SABR= *Sardinella brasiliensis*, SYTE= *Symphurus tessellatus*, TRLE= *Trichiurus lepturus*, UMCO= *Umbrina coroides*, DOSA= *Doryteuthis sanpaulensis*, LOBR= *Lolliguncula brevis*.....97

Figura 8: Escala com a posição trófica (PT) média e desvio padrão dos grupos alimentares das espécies de peixes e lulas. Carn – B= peixes carnívoros bentófagos, Carn – PB= peixes carnívoros bentófagos/piscívoros (espécies que compõem cada grupo: consultar Tabela 1).....98

Figura 9: Espécies de peixes selecionadas para a aplicação do modelo de mistura isotópica SIAR.....99

Figura 10: Polígonos de mistura simplificados com os valores de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) das espécies de peixes e de seus grupos de presas, selecionados para a aplicação do modelo de mistura isotópica: a) *Diapterus rhombeus* (DIRH) b) *Diplectrum radiale* (DIRA), c) *Etropus crossotus* (ETCR), d) *Haemulopsis corvinaeformis* (POCO), e) *Prionotus punctatus* (PRPU), f) *Mugil curema* (MUCU). BIV= Bivalvia, BRA= Brachyura, CAM= Camarões, CEP= Cephalopoda, GA= Gammaridea, GAS= Gastropoda, MAC= Macroalgas, MFB= Microfitobentos, OPH= Ophiuroidea, POL= Polychaeta, TA= Tanaidacea, TC4= Planta Terrestre C4, TEL= Teleostei, TUR= Turf. d13C= $\delta^{13}\text{C}$ (‰), d15N= $\delta^{15}\text{N}$ (‰).....100

Figura 11: Valores de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) dos exemplares de *Diapterus rhombeus* (data), e valores de média e desvio padrão de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e $\delta^{15}\text{N}$ (‰) dos grupos de presas considerados para a aplicação no modelo de mistura SIAR. TA= Tanaidacea, GA= Gammaridea, POL= Polychaeta, CAM= Camarões, BRA= Brachyura, OPH= Ophiuroidea. d13Ccor= $\delta^{13}\text{C}$ (‰), d15N= $\delta^{15}\text{N}$ (‰).....101

Figura 12: Distribuição das proporções de densidade dos grupos de presas considerados na dieta de *Diapterus rhombeus*. TA= Tanaidacea, GA= Gammaridea, POL= Polychaeta, CAM= Camarões, BRA= Brachyura, OPH= Ophiuroidea.....102

Figura 13: Proporções de contribuição, destacando o intervalo de 95% de credibilidade (em cinza escuro), dos grupos de presas considerados na dieta de *Diapterus rhombeus*. TA= Tanaidacea, GA= Gammaridea, POL= Polychaeta, CAM= Camarões, BRA= Brachyura, OPH= Ophiuroidea.....102

Figura 14: a) Variação isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e b) dispersão dos valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) de *Diapterus rhombeus* em função do tamanho, para a amostra total da espécie (n= 34). R^2 = coeficiente de determinação.....103

Figura 15: Valores de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) dos exemplares de *Diplectrum radiale* (data), e valores de média e desvio padrão de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e $\delta^{15}\text{N}$ (‰) dos grupos de presas considerados para a aplicação no modelo de mistura SIAR. POL= Polychaeta, TEL= Teleostei, CAM= Camarões, BRA= Brachyura, OPH= Ophiuroidea, GA= Gammaridea. d13Ccor= $\delta^{13}\text{C}$ (‰), d15N= $\delta^{15}\text{N}$104

Figura 16: Distribuição das proporções de densidade dos grupos de presas considerados na dieta de *Diplectrum radiale*. POL= Polychaeta, TEL= Teleostei, CAM= Camarões, BRA= Brachyura, OPH= Ophiuroidea, GA= Gammaridea.....105

Figura 17: Proporções de contribuição, destacando o intervalo de 95% de credibilidade (em cinza escuro), dos grupos de presas considerados na dieta de *Diplectrum radiale*. POL= Polychaeta, TEL= Teleostei, CAM= Camarões, BRA= Brachyura, OPH= Ophiuroidea, GA= Gammaridea.....105

Figura 18: a) Dispersão dos valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e b) variação isotópica de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) de *Diplectrum radiale* em função do tamanho, para a amostra total da espécie (n= 32). R^2 = coeficiente de determinação.....106

Figura 19: Valores de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) dos exemplares de *Etropus crossotus* (data), e valores de média e desvio padrão de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e $\delta^{15}\text{N}$ (‰) dos grupos de presas considerados para a aplicação no modelo de mistura SIAR. TA= Tanaidacea, GA= Gammaridea, POL= Polychaeta, CAM= Camarões, BRA= Brachyura, OPH= Ophiuroidea. d13Ccor= $\delta^{13}\text{C}$ (‰), d15N= $\delta^{15}\text{N}$ (‰).....107

Figura 20: Distribuição das proporções de densidade dos grupos de presas considerados na dieta de *Etropus crossotus*. TA= Tanaidacea, GA= Gammaridea, POL= Polychaeta, CAM= Camarões, BRA= Brachyura, OPH= Ophiuroidea.....108

Figura 21: Proporções de contribuição, destacando o intervalo de 95% de credibilidade (em cinza escuro), dos grupos de presas considerados na dieta de *Etropus crossotus*. TA= Tanaidacea, GA= Gammaridea, POL= Polychaeta, CAM= Camarões, BRA= Brachyura, OPH= Ophiuroidea.108

Figura 22: a) Variação isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e b) dispersão dos valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) de *Etropus crossotus* em função do tamanho, para a amostra total da espécie (n= 32). R^2 = coeficiente de determinação.....109

Figura 23: Valores de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) dos exemplares de *Haemulopsis corvinaeformis* (data), e valores de média e desvio padrão de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e $\delta^{15}\text{N}$ (‰) dos grupos de presas considerados para a aplicação no modelo de mistura SIAR. TA= Tanaidacea, GA= Gammaridea, POL= Polychaeta, CAM= Camarões, BRA= Brachyura, TEL= Teleostei, OPH= Ophiuroidea. d13Ccor= $\delta^{13}\text{C}$ (‰), d15N= $\delta^{15}\text{N}$ (‰).....110

Figura 24: Distribuição das proporções de densidade dos grupos de presas considerados na dieta de *Haemulopsis corvinaeformis*. TA= Tanaidacea, GA= Gammaridea, POL= Polychaeta, CAM= Camarões, BRA= Brachyura, TEL= Teleostei, OPH= Ophiuroidea.111

Figura 25: Proporções de contribuição, destacando o intervalo de 95% de credibilidade (em cinza escuro), dos grupos de presas considerados na dieta de *Haemulopsis corvinaeformis*. TA= Tanaidacea, GA= Gammaridea, POL= Polychaeta, CAM= Camarões, BRA= Brachyura, TEL= Teleostei, OPH= Ophiuroidea.....111

Figura 26: a) Variação isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e b) variação isotópica de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) de *Haemulopsis corvinaeformis* em função do tamanho, para a amostra total da espécie (n= 37). R^2 = coeficiente de determinação.....112

Figura 27: Valores de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) dos exemplares de *Prionotus punctatus* (data), e valores de média e desvio padrão de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e $\delta^{15}\text{N}$ (‰) dos grupos de presas considerados para a aplicação no modelo de mistura SIAR. TA= Tanaidacea, GA= Gammaridea, POL= Polychaeta, CAM= Camarões, BRA= Brachyura, TEL= Teleostei, CEP= Cephalopoda. d13Ccor= $\delta^{13}\text{C}$ (‰), d15N= $\delta^{15}\text{N}$ (‰).....113

Figura 28: Distribuição das proporções de densidade dos grupos de presas considerados na dieta de *Prionotus punctatus*. TA= Tanaidacea, GA= Gammaridea, POL= Polychaeta, CAM= Camarões, BRA= Brachyura, TEL= Teleostei, CEP= Cephalopoda.114

Figura 29: Proporções de contribuição, destacando o intervalo de 95% de credibilidade (em cinza escuro), dos grupos de presas considerados na dieta de *Prionotus punctatus*. TA= Tanaidacea, GA= Gammaridea, POL= Polychaeta, CAM= Camarões, BRA= Brachyura, TEL= Teleostei, CEP= Cephalopoda.....114

Figura 30: a) Dispersão dos valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e b) dispersão dos valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) de *Prionotus punctatus* em função do tamanho, para a amostra total da espécie (n= 29). R^2 = coeficiente de determinação.....115

Figura 31: Valores de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) dos exemplares de *Mugil curema* (data), e valores de média e desvio padrão de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e $\delta^{15}\text{N}$ (‰) dos grupos de presas considerados para a aplicação no modelo de mistura SIAR. MFB= Microfitobentos, TA= Tanaidacea, BIV= Bivalvia, GAS= Gastropoda, TUR= Turf, MAC= Macroalgas, TC4= Planta Terrestre C4. $d_{13}\text{C}_{\text{cor}}$ = $\delta^{13}\text{C}$ (‰), $d_{15}\text{N}$ = $\delta^{15}\text{N}$ (‰).....116

Figura 32: Distribuição das proporções de densidade dos grupos de presas considerados na dieta de *Mugil curema*. MFB= Microfitobentos, TA= Tanaidacea, BIV= Bivalvia, GAS= Gastropoda, TUR= Turf, MAC= Macroalgas, TC4= Planta Terrestre C4.....117

Figura 33: Proporções de contribuição, destacando o intervalo de 95% de credibilidade (em cinza escuro), dos grupos de presas considerados na dieta de *Mugil curema*. MFB= Microfitobentos, TA= Tanaidacea, BIV= Bivalvia, GAS= Gastropoda, TUR= Turf, MAC= Macroalgas, TC4= Planta Terrestre C4.....117

Figura 34: a) Variação isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e b) dispersão dos valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) de *Mugil curema* em função do tamanho, para os indivíduos de 40 mm a 150 mm de comprimento (n= 26). R^2 = coeficiente de determinação.....118

Figura 35: a) Dispersão dos valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e b) dispersão dos valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) de *Mugil curema* em função do tamanho, para os indivíduos de 240 mm a 450 mm de comprimento (n = 18).....119

Figura 36: Polígonos de mistura simplificados com os valores de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) das espécies de peixes e de seus grupos de presas, selecionados para a aplicação do modelo de mistura isotópica: a) *Anchoa tricolor* (ANTR), b) *Harengula clupeola* (HACL), c) *Sardinella brasiliensis* (SABR). MPS= Matéria Particulada em Suspensão, MFB= Microfitobentos, ZOO= Zooplâncton. Zoo- >1= Zooplâncton >1mm, Zoo- 650-1= Zooplâncton 650µm - 1mm, Zoo- 300-650= Zooplâncton 300µm - 650µm, Zoo- <300= Zooplâncton <300µm, MFB-SUB= Microfitobentos-Sublitoral, MFB-EM= Microfitobentos-Entremarés, MPS 1= Material Particulado Suspenso-Continental, MPS 2= Material Particulado Suspenso-Entremarés, MPS 3= Material Particulado Suspenso-Sublitoral, MPS 4= Material Particulado Suspenso-Saída Emissário...120

Figura 37: a) Dispersão dos valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e b) dispersão dos valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) de *Anchoa tricolor* em função do tamanho, para a amostra total da espécie (n= 20). R^2 = coeficiente de determinação.....121

Figura 38: a) Dispersão dos valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e b) dispersão dos valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) de *Harengula clupeola* em função do tamanho, para a amostra total da espécie (n= 20). R^2 = coeficiente de determinação.....122

Figura 39: a) Variação isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e b) dispersão dos valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) de *Sardinella brasiliensis* em função do tamanho, para a amostra total da espécie (n= 42). R^2 = coeficiente de determinação.....123

Figura 40: Valores médios de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) dos grupos tróficos das espécies de peixes e das lulas analisadas, e dos demais componentes da teia trófica. Em verde: grupos de produtores/base, em azul: grupos de invertebrados/consumidores. P. Herbívoros= peixes herbívoros, P. Bentófagos= peixes bentófagos, P. Bent/Pisc.= peixes bentófagos/piscívoros, P. Onívoros= peixes onívoros, MUCU= *Mugil curema*, TC3= Planta Terrestre-C3, TC4= Gramínea

Terrestre-C4, SGR= Seagrass-C4, MAN= Manguezal, MAN-AV= Manguezal-alga verde, BOS= Bostrychietum, TUR= Turf, MAC= Macroalgas, MFB= Microfitobentos, SED= Sedimentos, MPS= Material Particulado Suspenso, ZOO= Zooplâncton, CN= Cnidaria Anthozoa, BIV= Bivalvia, GAS= Gastropoda, POL= Polychaeta, BRA= Decapoda (Brachyura), CAM= Decapoda (Camarões), TA= Tanaidacea, GA= Gammaridea, OPH= Ophiuroidea.....124

Figura 41: Valores individuais e média de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) de *Diapterus rhombeus* (DIRH), e valores médios de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) dos demais componentes da teia trófica da espécie. Em verde: grupos de produtores/base, demais cores: grupos de invertebrados considerados como presas de *D. rhombeus* na aplicação do modelo SIAR. TC3= Planta Terrestre-C3, TC4= Gramínea Terrestre-C4, SGR= Seagrass-C4, MAN-AS= Manguezal-*Avicennia shaweriana*, MAN-LR= Manguezal-*Laguncularia racemosa*, MAN-RM= Manguezal-*Rhizophora mangle*, MAN-AV= Manguezal-alga verde, BOS= Bostrychietum, TUR= Turf, MAC-VER= Macroalgas-alga verde, MAC-VEM= Macroalgas-alga vermelha, MFB-SUB= Microfitobentos-Sublitoral, MFB-EM= Microfitobentos-Entremarés, SED-SUB= Sedimentos-Sublitoral, SED-EM= Sedimentos-Entremarés, MPS 1= Material Particulado Suspenso-Continental, MPS 2= Material Particulado Suspenso-Entremarés, MPS 3= Material Particulado Suspenso-Sublitoral, MPS 4= Material Particulado Suspenso-Saída Emissário, PC= Polychaeta Carnívoro, PS= Polychaeta Suspensívoro, PD= Polychaeta Depositívoro, OPH= Ophiuroidea, TA= Tanaidacea, GA= Gammaridea, DC= Decapoda Caridea, DP= Decapoda Penaeidae, DS= Decapoda Sicyoniidae, DBU= Decapoda Brachyura-UCA, DBT= Decapoda Brachyura Todos.....125

Figura 42: Valores individuais e média de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) de *Diploletrum radiale* (DIRA), e valores médios de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) dos demais componentes da teia trófica. Em verde: grupos de produtores/base, demais cores: grupos de invertebrados considerados como presas de *D. radiale* na aplicação do modelo SIAR. TC3= Planta Terrestre-C3, TC4= Gramínea Terrestre-C4, SGR= Seagrass-C4, MAN-AS= Manguezal-*Avicennia shaweriana*, MAN-LR= Manguezal-*Laguncularia racemosa*, MAN-RM= Manguezal-*Rhizophora mangle*, MAN-AV= Manguezal-alga verde, BOS= Bostrychietum, TUR= Turf, MAC-VER= Macroalgas-alga verde, MAC-VEM= Macroalgas-alga vermelha, MFB-SUB= Microfitobentos-Sublitoral, MFB-EM= Microfitobentos-Entremarés, SED-SUB= Sedimentos-Sublitoral, SED-EM= Sedimentos-Entremarés, MPS 1= Material Particulado Suspenso-Continental, MPS 2= Material Particulado Suspenso-Entremarés, MPS 3= Material Particulado Suspenso-Sublitoral, MPS 4= Material Particulado Suspenso-Saída Emissário, PC= Polychaeta Carnívoro, PS= Polychaeta Suspensívoro, PD= Polychaeta Depositívoro, OPH= Ophiuroidea, GA= Gammaridea, DC= Decapoda Caridea, DP= Decapoda Penaeidae, DS= Decapoda Sicyoniidae, DBU= Decapoda Brachyura-UCA, DBT= Decapoda Brachyura Todos, TEL= Teleostei.....126

Figura 43: Valores individuais e média de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) de *Etropus crossotus* (ETCR), e valores médios de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) dos demais componentes da teia trófica. Em verde: grupos de produtores/base, demais cores: grupos de invertebrados considerados como presas de *E. crossotus* na aplicação do modelo SIAR. TC3= Planta Terrestre-C3, TC4= Gramínea Terrestre-C4, SGR= Seagrass-C4, MAN-AS= Manguezal-*Avicennia shaweriana*, MAN-LR= Manguezal-*Laguncularia racemosa*, MAN-RM= Manguezal-*Rhizophora mangle*, MAN-AV= Manguezal-alga verde, BOS= Bostrychietum, TUR= Turf, MAC-VER= Macroalgas-alga verde, MAC-VEM= Macroalgas-alga vermelha, MFB-SUB= Microfitobentos-Sublitoral, MFB-EM= Microfitobentos-Entremarés, SED-SUB= Sedimentos-Sublitoral, SED-EM= Sedimentos-Entremarés, MPS 1= Material Particulado Suspenso-Continental, MPS 2= Material Particulado Suspenso-Entremarés, MPS 3= Material Particulado Suspenso-Sublitoral, MPS 4= Material Particulado Suspenso-Saída Emissário, PC= Polychaeta Carnívoro, PS= Polychaeta Suspensívoro, PD= Polychaeta Depositívoro, OPH= Ophiuroidea, TA= Tanaidacea, GA= Gammaridea, DC= Decapoda Caridea, DP= Decapoda Penaeidae, DS= Decapoda Sicyoniidae, DBU= Decapoda Brachyura-UCA, DBT= Decapoda Brachyura Todos.....127

Figura 44: Valores individuais e média de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) de *Haemulopsis corvinaeformis* (POCO), e valores médios de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) dos demais componentes da teia trófica. Em verde: grupos de produtores/base, demais cores: grupos de invertebrados considerados como presas de *H. corvinaeformis* na aplicação do modelo SIAR. TC3= Planta Terrestre-C3, TC4= Gramínea Terrestre-C4, SGR= Seagrass-C4, MAN-AS= Manguezal-

Avicennia shaweriana, MAN-LR= Manguezal-*Laguncularia racemosa*, MAN-RM= Manguezal-*Rhizophora mangle*, MAN-AV= Manguezal-alga verde, BOS= Bostrychietum, TUR= Turf, MAC-VER= Macroalgas-alga verde, MAC-VEM= Macroalgas-alga vermelha, MFB-SUB= Microfitobentos-Sublitoral, MFB-EM= Microfitobentos-Entremarés, SED-SUB= Sedimentos-Sublitoral, SED-EM= Sedimentos-Entremarés, MPS 1= Material Particulado Suspenso-Continental, MPS 2= Material Particulado Suspenso-Entremarés, MPS 3= Material Particulado Suspenso-Sublitoral, MPS 4= Material Particulado Suspenso-Saída Emissário, PC= Polychaeta Carnívoro, PS= Polychaeta Suspensívoro, PD= Polychaeta Depositívoro, OPH= Ophiuroidea, TA= Tanaidacea, GA= Gammaridea, DC= Decapoda Caridea, DP= Decapoda Penaeidae, DS= Decapoda Sicyoniidae, DBU= Decapoda Brachyura-UCA, DBT= Decapoda Brachyura Todos, TEL= Teleostei.....128

Figura 45: Valores individuais e média de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) de *Prionotus punctatus* (PRPU), e valores médios de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) dos demais componentes da teia trófica. Em verde: grupos de produtores/base, demais cores: grupos de invertebrados considerados como presas de *P. punctatus* na aplicação do modelo SIAR. TC3= Planta Terrestre-C3, TC4= Gramínea Terrestre-C4, SGR= Seagrass-C4, MAN-AS= Manguezal-*Avicennia shaweriana*, MAN-LR= Manguezal-*Laguncularia racemosa*, MAN-RM= Manguezal-*Rhizophora mangle*, MAN-AV= Manguezal-alga verde, BOS= Bostrychietum, TUR= Turf, MAC-VER= Macroalgas-alga verde, MAC-VEM= Macroalgas-alga vermelha, MFB-SUB= Microfitobentos-Sublitoral, MFB-EM= Microfitobentos-Entremarés, SED-SUB= Sedimentos-Sublitoral, SED-EM= Sedimentos-Entremarés, MPS 1= Material Particulado Suspenso-Continental, MPS 2= Material Particulado Suspenso-Entremarés, MPS 3= Material Particulado Suspenso-Sublitoral, MPS 4= Material Particulado Suspenso-Saída Emissário, PC= Polychaeta Carnívoro, PS= Polychaeta Suspensívoro, PD= Polychaeta Depositívoro, TA= Tanaidacea, GA= Gammaridea, DC= Decapoda Caridea, DP= Decapoda Penaeidae, DS= Decapoda Sicyoniidae, DBU= Decapoda Brachyura-UCA, DBT= Decapoda Brachyura Todos, TEL= Teleostei, CEP= Cephalopoda....129

Figura 46: Valores individuais e média de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) de *Mugil curema* (MUCU), e valores médios de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) dos demais componentes da teia trófica. Em verde/aberto: grupos de produtores/base, em verde/preenchido e demais cores: grupos de produtores/base e invertebrados considerados como presas de *M. curema* na aplicação do modelo SIAR. TC3= Planta Terrestre-C3, TC4= Gramínea Terrestre-C4, SGR= Seagrass-C4, MAN-AS= Manguezal-*Avicennia shaweriana*, MAN-LR= Manguezal-*Laguncularia racemosa*, MAN-RM= Manguezal-*Rhizophora mangle*, MAN-AV= Manguezal-alga verde, BOS= Bostrychietum, TUR= Turf, MAC-VER= Macroalgas-alga verde, MAC-VEM= Macroalgas-alga vermelha, MFB-SUB= Microfitobentos-Sublitoral, MFB-EM= Microfitobentos-Entremarés, SED-SUB= Sedimentos-Sublitoral, SED-EM= Sedimentos-Entremarés, MPS 1= Material Particulado Suspenso-Continental, MPS 2= Material Particulado Suspenso-Entremarés, MPS 3= Material Particulado Suspenso-Sublitoral, MPS 4= Material Particulado Suspenso-Saída Emissário, TA= Tanaidacea, MBD= Bivalvia Depositívoro, MBS= Bivalvia Suspensívoro, MGH= Gastropoda Herbívoro, MGC= Gastropoda Carnívoro.....130

Figura 47: Valores médios de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) de *Anchoa tricolor* (ANTR), *Harengula clepeola* (HACL) e *Sardinella brasiliensis* (SABR), e de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) dos demais componentes da teia trófica. Em verde/aberto: grupos de produtores/base, em verde/preenchido e demais cores: grupos de produtores/base e invertebrados considerados como presas de *A. tricolor*, *H. clupeola* e *S. brasiliensis*. TC3= Planta Terrestre-C3, TC4= Gramínea Terrestre-C4, SGR= Seagrass-C4, MAN-AS= Manguezal-*Avicennia shaweriana*, MAN-LR= Manguezal-*Laguncularia racemosa*, MAN-RM= Manguezal-*Rhizophora mangle*, MAN-AV= Manguezal-alga verde, BOS= Bostrychietum, TUR= Turf, MAC-VER= Macroalgas-alga verde, MAC-VEM= Macroalgas-alga vermelha, MFB-SUB= Microfitobentos-Sublitoral, MFB-EM= Microfitobentos-Entremarés, SED-SUB= Sedimentos-Sublitoral, SED-EM= Sedimentos-Entremarés, MPS 1= Material Particulado Suspenso-Continental, MPS 2= Material Particulado Suspenso-Entremarés, MPS 3= Material Particulado Suspenso-Sublitoral, MPS 4= Material Particulado Suspenso-Saída Emissário, Zoo- >1= Zooplâncton >1mm, Zoo- 650-1= Zooplâncton 650µm - 1mm, Zoo- 300-650= Zooplâncton 300µm - 650µm, Zoo- <300= Zooplâncton <300µm.....131

Lista de Anexos

Anexo 1: Intervalos de variação do $\delta^{13}\text{C}$ (‰) para os principais produtores primários de ambientes aquáticos marinhos.

Lista de Apêndices

Apêndice 1: Espécies/grupos de invertebrados e número de amostras que compõem cada grupo trófico, para a amostra total e por época de coleta.

Apêndice 2: Médias e desvio padrão de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) das espécies/grupos de invertebrados, para a amostra total e por época de coleta.

Apêndice 3: Espécies/grupos de produtores e número de amostras que compõem cada grupo, para a amostra total e por época de coleta.

Apêndice 4: Médias e desvio padrão de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) das espécies/grupos de produtores, para a amostra total e por época de coleta.

Apêndice 5: Médias e desvio padrão de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) para a amostra total das espécies/grupos de produtores, invertebrados e peixes reunidos em grupos taxonômicos superiores.

Apêndice 6: Referências bibliográficas utilizadas para compor os grupos tróficos de invertebrados e peixes no presente estudo.

1. Introdução

Teias tróficas são modelos do fluxo de nutrientes, matéria e energia nos ecossistemas, baseados nas dietas de seus organismos, sendo sua construção uma ferramenta importante para a compreensão das relações alimentares nesses ecossistemas (Polunin & Pinnegar, 2002) e na elucidação dos mecanismos temporais e espaciais que governam a dinâmica do ecossistema como um todo (Belgrano, 2005).

Nas teias tróficas marinhas, os organismos nectônicos exercem um papel fundamental. Entre muitas outras funções, por serem nadadores ativos, os organismos nectônicos (peixes e lulas) conectam diferentes ecossistemas ou compartimentos em um ecossistema. Nos sistemas de plataforma, muitas espécies de peixes são responsáveis pelo acoplamento dos sistemas pelágico e bentônico, participando do processo de transferência de energia e matéria que ocorre entre os dois compartimentos (Longhurst & Pauly, 2007; Soares *et al.*, 2008; Helfman *et al.*, 2009).

Particularmente, os peixes possuem adaptações morfológicas e funcionais que os permite utilizar uma ampla variedade de recursos alimentares e atuar como consumidores de diferentes níveis tróficos nas teias alimentares marinhas (Soares *et al.*, 2008). Como predadores, influenciam e regulam a abundância, a biomassa e a diversidade das espécies presentes nos níveis tróficos inferiores, exercendo o controle “top-down” e atuando como componentes importantes nas cascatas tróficas marinhas (Helfman *et al.*, 2009).

Atualmente, frente ao agravamento das pressões ambientais a que estão sujeitos comunidades e ecossistemas, é cada vez mais evidente a importância de uma abordagem holística nos estudos de teias tróficas, considerando o maior número de espécies possível e a complexa rede de interações entre elas, para o conhecimento aprofundado das propriedades estruturais desses sistemas (Bascompte, 2009; Stouffer *et al.*, 2012).

Informações sobre as relações alimentares dos organismos podem ser obtidas por meio de observações diretas em campo ou laboratório, de análise

de conteúdos estomacais ou de isótopos estáveis, entre outras técnicas (Michener & Schell, 1994; Polunin & Pinnegar, 2002).

A utilização de isótopos estáveis como ferramenta em estudos ecológicos foi amplamente difundida nos últimos anos, por ser uma técnica que fornece medidas químicas (valores isotópicos) e pode ser utilizada para traçar padrões e mecanismos tanto em nível de organismos como ecossistemas (Michener & Lajtha, 2007). Nos estudos de teias tróficas, permite a identificação da origem e fluxo da matéria orgânica, assim como da posição trófica dos organismos, em ecossistemas terrestres e aquáticos (e.g. Jennings *et al.*, 1997; Sherwood & Rose, 2005; Yokoyama *et al.*, 2005; Muzuka & Shunula, 2006; Hadwen & Arthington, 2007; Buchheister & Latour, 2010; Layman *et al.*, 2012, entre outros). Variações temporais e/ou sazonais nas teias tróficas de diferentes ecossistemas também podem ser detectadas com base nos valores de isótopos estáveis de suas espécies (e.g. Faye *et al.*, 2011; Chouvelon *et al.*, 2012; Soares *et al.*, 2014).

A análise de conteúdos estomacais permite a identificação das presas em nível taxonômico específico, mas fornece apenas um registro dos hábitos e da alimentação local e recente do organismo. Por sua vez, os isótopos estáveis têm como vantagem expressar a nutrição de um organismo tanto em curto, como em médio e longo prazo, pois a composição isotópica dos tecidos é resultado da contribuição dos diferentes componentes da dieta e do processo de assimilação da matéria orgânica ao longo da cadeia alimentar (Peterson & Fry, 1987; Valiela, 1995; Fanelli & Cartes, 2010). Nesse caso, a técnica se torna particularmente útil na medida em que permite a visão espaço-temporal integrada das relações tróficas entre os organismos, possibilitando o desenvolvimento do modelo da estrutura trófica em um sistema (Layman *et al.*, 2012).

Os valores dos isótopos estáveis de carbono e nitrogênio podem revelar a dieta assimilada e sugerir fontes alimentares específicas utilizadas por um consumidor. Para “converter” os valores isotópicos observados nos tecidos de um indivíduo em informações sobre a composição da sua dieta, são utilizados modelos de mistura isotópica. Em linhas gerais, esses modelos são programas que calculam as contribuições relativas das presas (fontes) na dieta

de um organismo (consumidor), a partir dos valores das razões isotópicas de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e de nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) (Layman *et al.*, 2012; Phillips *et al.*, 2014).

Os modelos de mistura isotópica podem ser lineares, como o IsoSource (Phillips & Gregg, 2003), ou baseados em estatística Bayesiana como o MixSir (Moore & Semmens, 2008; Ward *et al.*, 2010), o SIAR – Stable Isotope Analysis in R (Parnell *et al.*, 2010) e, mais recentemente, o MixSIAR (Semmens *et al.*, 2013). A principal diferença entre as duas abordagens se deve ao fato de que os modelos de inferência Bayesiana incorporam fatores de incerteza e variabilidade aos seus parâmetros de entrada (como as múltiplas fontes alimentares, a concentração elemental dos isótopos estáveis, a variação no enriquecimento trófico, etc.), ou seja, consideram a variabilidade observada em sistemas naturais (Parnell *et al.*, 2010; Layman *et al.*, 2012; Phillips *et al.*, 2014).

O SIAR (Stable Isotopes Analysis in R) (Parnell *et al.*, 2010) é um modelo de mistura isotópica que permite avaliar a contribuição de presas em potencial na dieta de espécies de peixes. Baseado em estatística Bayesiana, o modelo considera inúmeros fatores de incertezas para estimar a contribuição de diferentes fontes (itens alimentares) em uma mistura (consumidor), e assim inferir sua dieta assimilada com maior precisão. Tais fatores de incertezas estão associados à existência de múltiplas fontes alimentares, às variações nos valores isotópicos de carbono e nitrogênio (que podem variar entre os diferentes tecidos de um organismo, entre os indivíduos de uma mesma população ou local e sazonalmente), e ao enriquecimento ao longo da cadeia alimentar (que também pode apresentar variabilidade entre os diferentes consumidores). Além disso, permite a incorporação de informações prévias existentes, possibilitando uma representação mais realista da variabilidade das variáveis consideradas (Parnell *et al.*, 2010; Phillips *et al.*, 2014).

No entanto, embora os modelos de mistura Bayesianos se mostrem ferramentas úteis por agregar fatores de variabilidade e inferir a dieta de um consumidor, poucos trabalhos foram desenvolvidos para peixes em ecossistemas marinhos. Costalago *et al.* (2012) registraram variações sazonais e ontogenéticas na alimentação de espécies de peixes pelágicos no noroeste

do Mar Mediterrâneo com a aplicação do modelo SIAR. Recentemente, com o mesmo modelo, Selleslagh *et al.* (2015) avaliaram os hábitos alimentares e a conectividade de peixes de interesse comercial no estuário de Gironde, na França; D'Ambra *et al.* (2015) analisaram a importância de águas vivas na dieta dos peixes na costa leste dos Estados Unidos; e Bergamino & Richoux (2015) detectaram variações temporais e espaciais na estrutura trófica dos peixes em um estuário na África do Sul.

No Brasil, a análise de isótopos estáveis tem sido empregada em estudos ecológicos, mas sua utilização nos estudos de espécies e comunidades de ecossistemas marinhos está ainda em fase de consolidação. Foram desenvolvidos trabalhos na plataforma continental de Ubatuba (SP) (Matsuura & Wada, 1994; Soares *et al.*, 2002; Corbisier, 2006; Corbisier *et al.*, 2006) e de Cabo Frio (RJ) (Corbisier, 2006; Corbisier *et al.*, 2014; Soares *et al.*, 2014); nas baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande (RJ) (Bisi *et al.*, 2012); nos sistemas estuarianos de Itamaracá (PE) (Schwamborn *et al.*, 2002), Cananéia (SP) (Nagata *et al.*, 2015) e Mamanguape (PB) (Claudino *et al.*, 2015); no ecossistema de manguezal na Baía de Sepetiba (RJ) (Lacerda *et al.*, 1986); e em sistemas de lagoas costeiras (Aguiaro, 1999; Garcia *et al.*, 2007; Ricevuto *et al.*, 2013). Em estudos de alimentação, foram utilizados por Lacerda *et al.* (1991) para o caranguejo de mangue *Aratus pisoni*, por Mantelatto *et al.* (2002) para o siri *Callinectes ornatus*, por Muto & Soares (2011) para a merluza *Merluccius hubbsi*, por Conдини *et al.* (2015) para a garoupa *Epinephelus marginatus*.

Entre os estudos desenvolvidos no Brasil, o modelo de mistura isotópica SIAR foi aplicado por Claudino *et al.* (2013), para detectar variações temporais e espaciais nas teias tróficas da Lagoa dos Patos (RS), e Oliveira *et al.* (2014), para avaliar a importância de juvenis de *Mugil liza* no transporte de nutrientes entre os sistemas marinhos e de água doce durante o período de migração reprodutiva da espécie, no sul do Brasil.

No Canal e plataforma continental ao largo de São Sebastião (estado de São Paulo), diagramas com as principais vias alimentares para os peixes foram elaborados por Soares *et al.* (2008) com base na análise de conteúdos

estomacais. Especificamente, na Baía do Araçá, localizada na porção central do Canal de São Sebastião, as dietas das principais espécies de peixes foram descritas por Arantes (2014) e Lima (2015), também com base na análise de conteúdos estomacais. No entanto, não há ainda registros de estudos que utilizem a análise de isótopos estáveis e um modelo de mistura isotópica para detectar a dieta e a teia trófica que envolve os peixes e as lulas nesse sistema.

O presente estudo está inserido no Projeto Temático Biota/Fapesp “Araçá Biodiversidade e Funcionamento de um Ecossistema Costeiro Subtropical: Subsídios Para Gestão Integrada” (FAPESP/2011/50317-5), que tem como objetivos, entre outros, investigar o funcionamento sistêmico de um ecossistema costeiro subtropical, considerando os processos físicos, biológicos e sociais que ali ocorrem; analisar a importância socioeconômica da região; e elaborar propostas para integrar um Plano Local de Desenvolvimento Sustentável para a Baía do Araçá (Amaral *et al.*, 2015a).

Quanto à dinâmica trófica, o projeto temático propõe identificar os principais elos entre as teias alimentares e a origem e o fluxo da matéria orgânica no sistema, considerando a integração do sublitoral à região entremarés, através das fontes primárias de carbono. A observação de tal acoplamento entre os diferentes sistemas demonstra a relevância da compreensão integrada do funcionamento de um ecossistema para a aplicação de um manejo satisfatório e, por fim, para a sustentabilidade da região. Os resultados obtidos no presente estudo irão, em última instância, contribuir para a consecução dos objetivos propostos pelo projeto temático.

1.1. Considerações Teóricas

As análises de isótopos estáveis são medidas químicas que possibilitam uma visão detalhada da ciclagem dos elementos químicos e das conexões ecológicas em todos os sistemas de interesse da Ecologia (Fry, 2006).

Por definição, isótopos são átomos de um mesmo elemento químico, com o mesmo número de prótons e elétrons, mas diferentes números de nêutrons, o que resulta em diferentes números de massa (A) e torna um átomo mais leve ou mais pesado do que outro. Os isótopos estáveis são aqueles energeticamente estáveis, que não alteram a sua massa ao longo de sua existência (Sulzman, 2007).

Os diferentes isótopos de um elemento possuem as mesmas propriedades químicas básicas (Jardine *et al.*, 2003). Mas, a adição de um ou mais nêutrons ao núcleo estabelece diferenças, mesmo que pequenas, entre os isótopos de um elemento (Fry, 2006).

Devido a essas diferenças sutis, uma das necessidades fundamentais nos estudos de isótopos estáveis é conhecer a dinâmica dos isótopos nos organismos dos consumidores, uma vez que os valores observados estão sujeitos às variações provenientes dos processos de assimilação, fracionamento e incorporação dos isótopos nos tecidos (Suring & Wing, 2005; Martinez del Rio *et al.*, 2009).

O fracionamento isotópico pode ser definido como a variação na proporção entre os isótopos estáveis em um determinado composto ao passar por um processo físico-químico. Diversas reações químicas alteram as taxas de isótopos leves e pesados em compostos, levando a uma separação isotópica parcial ou fracionamento (Peterson & Fry, 1987).

Durante as reações químicas, os isótopos de um mesmo elemento não apresentam comportamentos iguais. Em reações irreversíveis de síntese e quebra de compostos, pode ser verificada a ação do efeito cinético, ou seja, o isótopo mais leve tende a reagir mais rapidamente (Fry, 2006), e se acumular no produto da reação (Peterson & Fry, 1987; Sulzman, 2007). Em reações de troca e equilíbrio, há o efeito termodinâmico: o isótopo mais pesado tende a se concentrar junto às moléculas que oferecem as ligações químicas mais fortes

e, portanto, a distribuição desses isótopos difere entre substâncias químicas (reagentes x produtos) ou fases (vapor x líquido) (Fry, 2006; Sulzman, 2007).

A incorporação dos isótopos varia de acordo com a espécie, o tamanho e a taxa de crescimento, e entre os tecidos de um mesmo organismo devido, principalmente, à variação bioquímica em sua composição (Tieszen *et al.*, 1983; Suring & Wing, 2005; Martinez del Rio *et al.*, 2009). Outro fator a ser considerado é a taxa de incorporação (*turnover rate*) dos isótopos: o conhecimento da velocidade com que esses são incorporados nos tecidos permite estimar o tempo em que os recursos alimentares foram consumidos (Tieszen *et al.*, 1983).

Os principais isótopos utilizados em estudos de teias tróficas são os de carbono (^{13}C) e nitrogênio (^{15}N) (Peterson & Fry, 1987). Tradicionalmente utilizados acoplados, os valores dos isótopos desses elementos fornecem informações das fontes de matéria orgânica e das relações tróficas de uma espécie no ecossistema (Peterson & Fry, 1987).

A composição isotópica de um composto (representada pela letra “delta” δ ou por d) é determinada em relação a um padrão internacional, e expressa em partes por mil (‰): $\delta x (\text{‰}) = [(R_{\text{amostra}}/R_{\text{padrão}}) - 1] \times 10^3$, sendo x= isótopo estável (^{13}C , ^{15}N) e R= razão entre o isótopo mais pesado e o mais leve ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$; $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) (Peterson & Fry, 1987). Os valores de δ obtidos são medidas da quantidade do isótopo mais pesado em uma amostra. Um aumento nesse valor indica uma maior quantidade do isótopo mais pesado. Já a diminuição, denota o decréscimo da quantidade desse isótopo (Peterson & Fry, 1987; Fry, 2006).

Em linhas gerais, a composição isotópica de um consumidor é resultado de sua dieta (Fry, 1988), e a análise dos isótopos em seus tecidos e nos de seus recursos alimentares permite a estimativa da contribuição relativa dos recursos assimilados pelo consumidor em um período de tempo (Minagawa & Wada, 1984; Peterson & Fry, 1987). Diversas reações bioquímicas de processos biológicos como digestão, assimilação e excreção, estão envolvidas no fracionamento das razões $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ e $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ (Peterson & Fry, 1987; Fry, 1988); e como resultado, o consumidor apresenta enriquecimento das formas mais pesadas dos isótopos (^{13}C e ^{15}N) nos seus tecidos (Sholto-Douglas *et al.*, 1991). O valor de $\delta^{15}\text{N}$ nos tecidos dos

consumidores pode ser aumentado entre 1,3‰ a 5,3‰, o que possibilita estimar a posição trófica isotópica dos consumidores (DeNiro & Epstein, 1981; Minagawa & Wada, 1984; Peterson & Fry, 1987; Vander Zander & Rasmussen, 2001; Post, 2002; McCutchan *et al.*, 2003). Por outro lado, os tecidos animais apresentam pequeno enriquecimento em ^{13}C , sendo o maior fracionamento observado na base da teia trófica (produtores), o que permite que o $\delta^{13}\text{C}$ seja um indicador das fontes primárias de matéria no sistema (Pinnegar & Polunin, 1999).

A) Os Isótopos de Carbono

De maneira geral, o ciclo global do carbono envolve trocas de CO_2 entre os seres vivos, a atmosfera, o sistema terrestre e a superfície dos oceanos. A entrada do carbono nas teias alimentares ocorre através da fotossíntese; seu retorno à atmosfera e aos sistemas terrestres e aquáticos envolve os processos de respiração e decomposição da matéria orgânica, além da queima de combustíveis fósseis (Peterson & Fry, 1987).

A fotossíntese é o processo de maior importância na assimilação e incorporação dos isótopos de carbono nas teias alimentares. Isso ocorre devido ao maior fracionamento dos isótopos durante a fotossíntese, resultado das diferentes vias fotossintéticas apresentadas pelas plantas (C3 e C4) (O'Leary, 1981; Fry, 2006).

A maior parte das plantas apresenta mecanismo C3 (ciclo de Calvin), enquanto apenas as gramíneas e parte das bromélias apresentam o mecanismo C4 (ciclo de Hatch-Slack). A principal diferença entre os dois tipos de metabolismo está no fato de que, nas plantas C3, a ação da enzima rubisco leva à formação de uma molécula com 3 carbonos (3PGA – ácido 3 fosfoglicérico) durante o processo de carboxilação, na fase escura da fotossíntese. Já nas plantas C4, é formada inicialmente uma molécula com 4 carbonos durante essa mesma fase, pela ação da enzima PEP-carboxilase. Posteriormente, essa molécula é descarboxilada em 3PGA (O'Leary, 1981).

Tanto as plantas C3 como as C4 contêm menos ^{13}C do que o CO_2 atmosférico ($\delta^{13}\text{C} = -8\text{‰}$ a -7‰). Esse empobrecimento é causado pelos processos enzimáticos e físicos que discriminam o ^{13}C em favor do ^{12}C durante

a fotossíntese. De maneira geral, as plantas C3 apresentam valores de $\delta^{13}\text{C}$ em torno de -28‰ , e as plantas C4, em torno de -13‰ (Peterson & Fry, 1987).

Nos oceanos, as trocas de dióxido de carbono (CO_2) entre a atmosfera e a superfície da água envolvem o fracionamento entre o CO_2 atmosférico ($\delta^{13}\text{C} = -8\text{‰}$ a -7‰) e o CO_2 total (principalmente bicarbonato) na superfície ($\delta^{13}\text{C} = 1\text{‰}$). Na água, a utilização de carbono para a formação de carbonatos envolve um pequeno fracionamento isotópico (Peterson & Fry, 1987).

Em ecossistemas marinhos, o processo metabólico que mais afeta os valores de $\delta^{13}\text{C}$ é a fixação autotrófica do carbono inorgânico dissolvido (CID) na água do mar. A disponibilidade de bicarbonato permite que ocorra discriminação de ^{13}C , resultando em um grande fracionamento no processo de fixação de carbono e valores em torno de -24‰ a -19‰ para o fitoplâncton (Peterson & Fry, 1987). Com exceção de algumas espécies, a maior parte das microalgas que compõe o fitoplâncton apresenta mecanismo C3 (Peterson & Fry, 1987; Goericke *et al.*, 1994), e tanto a matéria orgânica particulada como a dissolvida nos oceanos reflete, predominantemente, uma origem planctônica (Peterson & Fry, 1987).

Sintetizando, o maior fracionamento entre os produtores primários e os diferentes processos fotossintéticos geram diferentes valores de $\delta^{13}\text{C}$, que são considerados como indicadores dos produtores presentes na base de uma teia alimentar (Fry & Sherr, 1984) (Anexo 1).

Nos animais, o valor de $\delta^{13}\text{C}$ expressa a integração de sua dieta, tendo sido registrado um enriquecimento em ^{13}C entre o animal e seu recurso alimentar de, aproximadamente, 0‰ a $1,8\text{‰}$ (e.g. DeNiro & Epstein, 1978; Rau *et al.*, 1983; Peterson & Fry, 1987; Vander Zander & Rasmussen, 2001; Post, 2002; McCutchan *et al.*, 2003), embora não exista um modelo que preveja com precisão essa taxa (Michener & Kaufman, 2007). Os processos que contribuem para o enriquecimento são a perda preferencial de $^{12}\text{CO}_2$ durante a respiração, assimilação preferencial de ^{13}C durante a digestão e o fracionamento metabólico durante a síntese de diferentes tecidos (DeNiro & Epstein, 1978; Fry *et al.*, 1984). Os processos fisiológicos de respiração e excreção liberam $^{12}\text{CO}_2$ mais rapidamente que o $^{13}\text{CO}_2$, deixando nos tecidos dos organismos uma razão de ^{13}C maior do que o do seu recurso alimentar. Portanto, o tecido de um

organismo é mais enriquecido em ^{13}C do que o de seu recurso (Peterson & Fry, 1987; Vander Zanden *et al.*, 1999).

B) Os Isótopos de Nitrogênio

O nitrogênio é um elemento limitante nos processos biológicos, pois é o componente principal na formação de aminoácidos, proteínas e outros compostos orgânicos. As formas inorgânicas mais importantes do nitrogênio são: N_2 (gás nitrogênio), NO_3^- (nitrato), NO_2^- (nitrito), NH_3 (amônia) e NH_4^+ (íon amônio) (Martinelli *et al.*, 2009).

A atmosfera do planeta Terra é composta por 78% de gás nitrogênio (N_2) e é a fonte inicial de N para os ecossistemas. No entanto, grande parte dos organismos não consegue utilizá-lo diretamente. O N_2 atmosférico é fixado apenas por algumas cianobactérias e leguminosas em simbiose com bactérias fixadoras de N_2 . As principais formas utilizadas pelos autótrofos são o NH_4^+ e o NO_3^- . Os animais ingerem aminoácidos através de suas dietas (Fry, 2006; Montoya, 2007).

De maneira geral, o ciclo global do nitrogênio é regido pelos processos: de fixação do N_2 atmosférico e síntese de NH_3 ou NH_4^+ ; assimilação da NH_3 ou NH_4^+ pelos organismos; nitrificação (oxidação do NH_3 ou NH_4^+ em $\text{NO}_2^-/\text{NO}_3^-$); amonificação (redução de compostos orgânicos em NH_3 ou NH_4^+); e denitrificação (redução do nitrato a N_2) (Fry, 2006; Martinelli *et al.*, 2009).

O nitrogênio atmosférico apresenta $\delta^{15}\text{N}$ ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) de 0‰, enquanto que, para o nitrogênio dissolvido em água do mar, os valores de $\delta^{15}\text{N}$ variam entre 0‰ e 1‰. O nitrato no mar apresenta valores entre 3‰ e 8‰, e a amônia, em média, 2,9‰ (Conway *et al.*, 1994; Fry, 2006).

O processo de fixação do N_2 atmosférico pelas bactérias fixadoras nas raízes das leguminosas e pelas cianobactérias apresenta pequeno fracionamento. O valor de $\delta^{15}\text{N}$ das plantas leguminosas é de, aproximadamente, 1‰ (variando entre -2‰ e +2‰); das não leguminosas, de 3‰ (-8‰ a +3‰). Em ecossistemas marinhos, as cianobactérias apresentam valores médios em torno de -1‰ e +7‰ (Fry, 2006).

Uma vez que os compostos nitrogenados são limitantes nos processos biológicos, o fracionamento isotópico do nitrogênio é geralmente pequeno.

Fracionamentos expressivos ocorrem em algumas situações específicas como a perda de ^{14}N durante a decomposição do N particulado, o que resulta em enriquecimento em ^{15}N e aumento do $\delta^{15}\text{N}$ em 5‰ a 10‰ com a profundidade nos solos e oceanos; ou nos processos de nitrificação e denitrificação nos ecossistemas marinhos (10‰ a 40‰). Ainda, de acordo com a disponibilidade de nitrato, a assimilação pelo fitoplâncton ocorre sob um maior ou menor fracionamento (4‰ a 8‰) (Fry, 2006).

Nos oceanos, os processos que regem a entrada e saída do nitrogênio desempenham um importante papel na abundância do ^{15}N . Na superfície dos oceanos, as principais vias de entrada de nitrogênio são a fixação do N_2 atmosférico pelas cianobactérias e o aporte de nitrato proveniente de águas mais profundas. Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ nos organismos fixadores de N_2 são baixos (devido ao pequeno fracionamento) (Michener & Schell, 1994; Montoya *et al.*, 2002). Em regiões costeiras, as fontes terrestres são importantes: a matéria orgânica de origem terrestre é, geralmente, empobrecida em ^{15}N , enquanto o nitrogênio inorgânico dissolvido (proveniente de esgotos domésticos) é enriquecido (Montoya, 2007).

Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ do fitoplâncton marinho variam entre 3‰ e 12‰ e são afetados pela concentração de nitrato (Owens, 1987; Michener & Schell, 1994). Quando a disponibilidade de NO_3^- na superfície é maior do que a demanda, o fitoplâncton utiliza, preferencialmente, o ^{14}N , e apresenta menores valores de $\delta^{15}\text{N}$. Em ocasiões em que a demanda é maior do que a disponibilidade de nitrato, o fitoplâncton utiliza o ^{15}N , tornando-se mais enriquecido (Wu *et al.*, 1997).

Essa tomada diferencial de isótopos pelo fitoplâncton é refletida também nos valores de $\delta^{15}\text{N}$ da matéria orgânica dos sedimentos, que apresenta enriquecimento em áreas com baixa disponibilidade de nitrato na superfície, devido ao afundamento de matéria orgânica particulada mais enriquecida (Montoya, 2007).

Cabe ressaltar que muitos processos biofísicos estão associados à circulação dos isótopos de nitrogênio na biosfera e, mais especificamente, nos oceanos. De acordo com Montoya (2007), o ciclo do nitrogênio é muito dinâmico e complexo, o que dificulta sua compreensão. Todas as diferentes fontes de nitrogênio podem provocar alterações nos valores de $\delta^{15}\text{N}$ nos

ecossistemas marinhos. Além das variações impostas pelas composições isotópicas das diferentes fontes, os processos biológicos influenciam a circulação do N nesses ecossistemas e podem levar a diferenças importantes nos valores de $\delta^{15}\text{N}$ em diferentes reservas biológicas de N.

Como regra geral, a razão isotópica do nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) é também uma expressão da dieta dos organismos, sendo utilizada, principalmente, para a identificação da posição dos animais na teia trófica. Entre os consumidores, o enriquecimento em ^{15}N do animal em relação ao seu alimento se deve à excreção preferencial, através da urina, de ^{14}N -uréia e ^{14}N -amônia (^{14}N - NH_3) sobre ^{15}N -uréia e ^{15}N -amônia (^{15}N - NH_3). Esse processo é responsável pelo aumento em 1,3‰ a 5,3‰ do $\delta^{15}\text{N}$ nos níveis tróficos sucessivamente mais altos (e.g. DeNiro & Epstein, 1981; Minagawa & Wada, 1984; Peterson & Fry, 1987; Vander Zander & Rasmussen, 2001; Post, 2002; McCutchan *et al.*, 2003; Montoya, 2007).

2. Objetivos

O presente estudo teve como perspectiva investigar as interações tróficas de organismos nectônicos (peixes e lulas) da Baía do Araçá, em São Sebastião (SP). Essas espécies, sujeitas à dinâmica das marés, ocupam a região do sublitoral no Canal de São Sebastião durante as marés baixas e a região entremarés durante as cheias. As presas potenciais, os produtores e os consumidores pelágicos e bentônicos da área, foram considerados no desenvolvimento desse trabalho, possibilitando descrever o acoplamento entre as regiões sublitoral e entremarés da área de estudo.

Os seguintes objetivos foram formulados para a realização dessa investigação:

- Descrever as variações interespecíficas e temporais (verão e inverno) nos valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ dos organismos.
- Estimar a posição trófica isotópica das espécies, por meio dos valores de $\delta^{15}\text{N}$.
- Descrever a composição da dieta assimilada de espécies representativas de peixes, em importância econômica e/ou abundância na área de estudo, pela aplicação de um modelo de mistura isotópica.
- Identificar as vias de fluxo de matéria das espécies por meio dos valores de $\delta^{13}\text{C}$.

O trabalho foi desenvolvido considerando as seguintes hipóteses: a) existe variação temporal nos valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ dos peixes e das lulas associada às mudanças nas razões isotópicas da base da teia trófica. Por sua vez, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ da base estão associados às condições oceanográficas locais no verão e no inverno, e se propagam ao longo da cadeia alimentar até os níveis tróficos superiores; b) as contribuições das presas nas dietas assimiladas pelas espécies de peixes são semelhantes àquelas obtidas pelas análises de conteúdos estomacais; c) as vias tróficas dos peixes e das lulas têm como base o fitoplâncton marinho, e participação de

produtores bentônicos, como observado anteriormente para outros sistemas costeiros e baías.

3. Área de Estudo

A área de estudo, conhecida como Baía do Araçá, está localizada no município de São Sebastião, São Paulo. É uma planície de maré, confinada e de grande complexidade, situada na parte central do Canal de São Sebastião, local onde este sofre um estreitamento e atinge 2 km de largura. Ao norte, estão localizados o Porto de São Sebastião e o Terminal Aquaviário da Petrobrás (antigo Terminal Petrolífero Almirante Barroso – Tebar), e ao sul, a Ponta do Araçá (Amaral *et al.*, 2010; Amaral *et al.*, 2015a) (Figura 1).

A Baía do Araçá é relativamente pequena (750 m de comprimento x 750 m de largura) e engloba 4 praias – Deodato, Pernambuco, Germano e Topo, 2 ilhas – Pernambuco e Pedroso, 6 núcleos de bosques de manguezal, costões rochosos e uma planície de fundo mole, que fica inteiramente exposta em períodos de maré baixa de sizígia. Ao Norte da baía, deságua o córrego Mãe Isabel (Amaral *et al.*, 2010; Dottori *et al.*, 2015) (Figura 1).

Os núcleos de manguezais ali encontrados são uns dos poucos remanescentes desse tipo de sistema no litoral de São Sebastião (Amaral *et al.*, 2010; Amaral *et al.*, 2015a; Schaeffer-Novelli *et al.*, 2015). Devido à proximidade da Serra do Mar, que limita a extensão das planícies costeiras, o litoral norte do Estado de São Paulo apresenta poucas áreas de manguezais (3,4 km²), apenas 1% no município de São Sebastião, e restritas ao interior de baías (Lamparelli *et al.*, 1998).

Embora esteja localizado dentro da “Área de Proteção Ambiental Marinha do Litoral Norte do Estado de São Paulo” e da “Área de Proteção Ambiental Municipal dos Alcatrazes”, o sistema vem sofrendo modificações em suas características nas últimas décadas. Tais mudanças são decorrentes de diferentes perturbações de origem antrópica, como ocupação desordenada e irregular, despejo de efluentes domésticos através de um emissário submarino e do Córrego Mãe Isabel, além da sua proximidade do Porto de São Sebastião e do Terminal Aquaviário da Petrobrás, com constantes vazamentos de óleo, entre outros (Bícego *et al.*, 2008; Amaral *et al.*, 2010; Amaral *et al.*, 2015a; Turra *et al.*, 2015).

O Porto de São Sebastião tem provocado alterações na linha de costa e na batimetria da Baía do Araçá desde a sua instalação, em 1936. Entre 1940

e 1980, as obras de instalação, aterro e ampliação provocaram modificações na feição geomorfológica do Araçá. Como consequência, a circulação e a batimetria da área também foram alteradas, contribuindo para o seu assoreamento. Atualmente, a baía é rasa (com profundidades de até 8 m) e grandes áreas ficam expostas durante as marés baixas (Carrió *et al.*, 2015; Siegle *et al.*, 2015; Turra *et al.*, 2015). As praias apresentam fisionomia de declive suave, com largura da zona entremarés entre 50 m e 300 m. Devido à sua configuração, a hidrodinâmica local é dominada pelas marés e por ondas de baixa amplitude (Amaral *et al.*, 2010).

As águas do Canal de São Sebastião são uma mistura das massas de água presentes na plataforma continental que envolve o local: a Água Costeira (AC) ($T > 24^{\circ}\text{C}$, $S < 34,5$), a Água Tropical (AT) ($T > 20^{\circ}\text{C}$, $S > 36,4$) e a Água Central do Atlântico Sul (ACAS) ($T < 20^{\circ}\text{C}$, $S < 36,4$). No entanto, o canal é preenchido principalmente pela AC, com salinidade mais baixa; e, eventualmente, frente a fortes eventos de intrusão, pela ACAS durante a primavera e o verão (Castro *et al.*, 2008; Dottori *et al.*, 2015; Siegle *et al.*, 2015).

As trocas de água entre o canal e o interior da Baía do Araçá são decorrentes das correntes geradas pelas marés. Por sua vez, as propriedades hidrográficas e as massas de água que ocupam a entrada e, conseqüentemente, o interior da baía, podem variar de acordo com o regime de ventos (Dottori *et al.*, 2015; Siegle *et al.*, 2015). Entre agosto e outubro/2013, Dottori *et al.* (2015) verificaram a presença da AC, mais quente e menos salina, na entrada da Baía do Araçá. No entanto, entre outubro/2013 e fevereiro/2014, uma maior frequência e intensidade de ventos favoráveis propiciaram a intrusão da ACAS ao longo do canal e sua presença foi detectada na entrada da Baía do Araçá. A chegada da ACAS teve como resultado o aporte de águas mais frias na baía.

Especificamente, durante os períodos de coletas do presente estudo, foi verificada diferença significativa na salinidade e na temperatura da água entre o verão e o inverno, ambas maiores no verão (Arantes, 2014). As médias registradas para as duas variáveis foram, respectivamente, de $34,1 \pm 0,79$ e $27,7 \pm 0,71^{\circ}\text{C}$ no verão, e $33,1 \pm 0,35$ e $22,2 \pm 0,96^{\circ}\text{C}$ no inverno.

Quanto à composição granulométrica, os sedimentos no Araçá são compostos, de maneira geral, por areias finas (na porção interna da baía) e muito finas (na porção externa da baía), enquanto há predomínio de silte no Canal de São Sebastião. A dinâmica sedimentar local está relacionada à hidrodinâmica da baía (Carrió *et al.*, 2015).

Em relação às características bióticas, a Baía do Araçá se destaca pela sua elevada diversidade de habitats e riqueza de espécies. Entre os anos de 2012 e 2015, foi identificado um total de 1364 espécies na região, incluindo 56 novas espécies e 16 ameaçadas de extinção (Amaral *et al.*, 2015a). Para as comunidades de invertebrados bentônicos, foram registradas 150 espécies na zona entremarés de fundo inconsolidado, cerca de 300 espécies nos costões rochosos e 300, na região sublitoral (Amaral *et al.*, 2015b). Entre os peixes, Rossi-Wongtschowski *et al.* (2015a) registraram 5 espécies de elasmobrânquios e 117 de teleósteos, com elevado número de exemplares juvenis que utilizam a área para alimentação e crescimento. Entre essas espécies, 14 foram registradas pela primeira vez na região de São Sebastião (Rossi-Wongtschowski *et al.*, 2015b). Foram também observadas as presenças de tartarugas marinhas e golfinhos, além de 80 espécies de aves (Rossi-Wongtschowski *et al.*, 2015a).

Um ponto relevante é que muitas espécies de peixes e invertebrados registradas na Baía do Araçá são exploradas e comercializadas ou utilizadas para consumo próprio pela população local. Moluscos como o berbigão (*Anomalocardia brasiliiana*), crustáceos como o camarão sete-barbas (*Xiphopenaeus kroyeri*), peixes como a sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*), a corvina (*Micropogonias furnieri*), o robalo (*Centropomus* sp.), a tainha (*Mugil liza*), entre muitos outros pescados, são procurados por pescadores artesanais (Amaral *et al.*, 2010; Ávila-da-Silva *et al.*, 2014; Ávila-da-Silva *et al.*, 2015).

4. Material e Métodos

4.1. Coletas de Amostras

A coleta das amostras de organismos do presente estudo foi realizada durante o ano de 2013 e de forma integrada com os outros grupos do Projeto temático Biota-Araçá. Durante o verão, foram realizadas coletas nos períodos de 21 a 22 de janeiro, 18 de fevereiro a 01 de março e 11 a 22 de março. As amostras de inverno foram coletadas nos períodos de 09 a 15 de junho, 22 a 28 de junho e 08 a 20 de julho.

Dados de temperatura, salinidade e oxigênio dissolvido da água foram obtidos através do lançamento de CTD (conductivity, temperature and depth), e as amostras de sedimento foram obtidas com pegador de fundo do tipo van Veen.

4.1.1. Coleta de tecidos para a análise de isótopos estáveis

Os procedimentos básicos de coleta foram os mesmos em todas as campanhas. Foram coletadas, pelo menos, 3 réplicas de cada grupo de produtores e consumidores. Após serem processadas em laboratório, as amostras foram acondicionadas em papel alumínio e/ou sacos e potes plásticos, etiquetadas e congeladas.

A) Organismos nectônicos e demais consumidores

A coleta de organismos nectônicos - peixes e lulas – e da megafauna bentônica foi feita com diferentes petrechos de pesca (rede de emalhe, rede de arrasto de fundo, tarrafa, picaré, linha, tapagem, covo, rede de abalo e cerco de roda).

Em laboratório, os organismos foram identificados, pesados (g) e medidos (comprimento total em mm). Após a biometria, amostras individuais de tecido muscular foram retiradas e congeladas para a análise dos isótopos estáveis. No caso dos peixes, foram excisadas amostras de tecido muscular branco da parte dorsal do tronco, atrás da nadadeira peitoral, já que o tecido é

considerado menos variável em relação aos valores de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e $\delta^{15}\text{N}$ (‰) do que outros tecidos (Pinnegar & Polunin, 1999; Yokoyama *et al.*, 2005).

O zooplâncton foi coletado em arrastos com uso de rede de fechamento, com malha de 100 μm , ao longo da boca da Baía do Araçá, em transectos de profundidades entre 2-4 m e 8-10 m. Os organismos foram mantidos vivos em água do mar, por cerca de 2 horas. Em laboratório, foram filtrados, separados em 4 frações de tamanho: < 300 μm , entre 300 μm e 650 μm , entre 650 μm e 1mm e > 1 mm e congelados diretamente em cadinhos.

Os invertebrados da macrofauna das praias, manguezais e costões rochosos foram coletados manualmente, por busca ativa, na zona entremarés ou no sedimento peneirado em malha de 1,0 mm e 500 μm . Na região do Canal de São Sebastião, a amostragem foi realizada a bordo do barco R/B Velliger II, com auxílio de draga e pegador van Veen. Também nesse caso, o sedimento foi peneirado em malha de 1,0 mm e 500 μm .

Em laboratório, os invertebrados bentônicos pequenos foram mantidos vivos em aquários com água do mar filtrada e aeração, por períodos entre 3 e 24 horas, para a limpeza dos tratos digestórios, pois foram processados inteiros (Abrantes & Sheaves, 2009). Após esse período, os indivíduos foram contados, pesados (g) e congelados. No caso de organismos pequenos, foram obtidas amostras compostas por mais de um indivíduo para obter massa suficiente para a análise isotópica.

Os moluscos gastrópodes e bivalves tiveram suas conchas retiradas e as amostras de tecido coletadas dos pés e dos músculos adutores, respectivamente, e congeladas. Dos camarões, amostras de músculo branco foram retiradas do abdômen, e dos siris e caranguejos, dos apêndices torácicos (Abrantes & Sheaves, 2009). Das lulas, foram obtidas amostras do tecido muscular do manto.

B) Produtores

Para a análise da base da teia alimentar, foram amostradas espécies de organismos produtores e de matéria orgânica.

Nos núcleos dos manguezais, foram coletadas manualmente folhas verdes e marcescentes do mangue-preto (*Avicennia schaueriana*), do mangue-

vermelho (*Rhizophora mangle*) e do mangue-branco (*Laguncularia racemosa*), e propágulos dos dois últimos. Foram também obtidas amostras de Bostrychietum (complexo de algas e pequenos consumidores associados). No sistema continental adjacente à Baía do Araçá, foram coletadas folhas de gramíneas e chapéu-de-sol (*Terminalia catappa*). Entre as macrófitas aquáticas, foram coletadas amostras de *Halodule emarginata*; e entre as macroalgas, *Ulva* sp., entre outras. No Laboratório do Centro de Biologia Marinha da Universidade de São Paulo (CEBIMar/USP), essas amostras foram lavadas com água destilada, secas em papel filtro e congeladas para análise posterior.

Para obtenção da matéria particulada em suspensão (MPS), foram coletadas amostras de água, obtidas em galões (na região entremarés) e garrafa van Dorn (na região sublitoral). As amostras foram pré-filtradas em rede de malha de 125 µm para a retirada do zooplâncton e de detritos grandes, filtradas, a vácuo, em filtros de fibra de vidro GF/F (poro nominal 0,7 µm), previamente queimados em mufla, e congelados após a filtração.

Para coletar as amostras do microfitobentos, foi raspada a camada superior do sedimento da praia e da amostra do pegador van Veen obtida na região sublitoral. Em laboratório, as amostras foram mantidas por 12 horas, em recipientes cobertos com rede de malha de 63 µm. Após o período de migração vertical, as redes foram lavadas com água destilada e o microfitobentos ali isolados retirados, secos em estufa por 24 horas, a 60°C, e armazenados em tubos de microcentrífuga (Abrantes & Sheaves, 2009).

Para a análise da matéria orgânica do sedimento, amostras de sedimentos foram coletadas manualmente nas praias e com pegador van Veen na região sublitoral, e congeladas.

Posteriormente, no laboratório do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IOUSP), as amostras congeladas foram secas em estufa a 60°C, por 24 horas, e o material resultante pulverizado em partículas finas e armazenado em tubos de microcentrífuga devidamente etiquetados, de acordo com a metodologia proposta por Monteiro *et al.* (1991), Sholto-Douglas *et al.* (1991), Hobson *et al.* (1995).

Para a retirada do carbono de origem inorgânica, que poderia alterar os resultados finais (Harris *et al.*, 2001), as amostras que possuíam carbono inorgânico em sua composição - sedimentos, microfitobentos, ofiuróides e os exemplares com carapaças de carbonato de cálcio (cujas conchas não puderam ser retiradas devido ao tamanho reduzido) - foram tratadas com ácido clorídrico 1N, de acordo com a metodologia proposta por diversos autores (e.g. Ingram, 1971; Rau *et al.*, 1983; Sholto-Douglas *et al.*, 1991; Yokoyama *et al.*, 2005). É importante salientar que, nesse caso, cada amostra foi subdividida em duas: uma a ser utilizada para a análise de nitrogênio e a outra, acidificada, para a análise de carbono, pois o processo de acidificação pode alterar os valores do $\delta^{15}\text{N}$ (‰) das amostras (Jacob *et al.*, 2005).

Após o término dessas etapas, as amostras foram pesadas e embaladas em cápsulas de estanho para serem enviadas para a análise dos isótopos estáveis no laboratório especializado Stable Isotopes Facility UC Davis – University of California.

Foram pesadas, cerca de, 1,5 mg das amostras de organismos animais, 4,0 mg de plantas, 60,0 mg de sedimentos, 50,0 mg de MPS (filtradas em filtros GFF) e 10,0 mg de microfitobentos. A quantidade de material seguiu as especificações do laboratório (stableisotopefacility.ucdavis.edu). As amostras pesadas foram armazenadas em caixas com células individuais identificadas e mantidas em dessecador com sílica.

Cabe ressaltar que, para evitar contaminação, a coleta e a manipulação de amostras para a análise de isótopos estáveis foram realizadas com luvas (sem talco), e todo o material utilizado (material cirúrgico, cadinhos e pistilos) foi lavado com detergente neutro, água destilada e esterilizado em estufa ou Bico de Bunsen.

4.2. Análise de Isótopos Estáveis

A análise de isótopos estáveis foi realizada em espectrômetro de massa de fluxo contínuo (PDZ Europa Hydra 20/20) pelo laboratório “Stable Isotope Facility” da Universidade da Califórnia, Davis (CA), USA.

A composição isotópica de cada amostra (δ) foi calculada em relação a um padrão internacional, e expressa em partes por mil (‰), de acordo com Peterson & Fry (1987):

$$\delta^{13}\text{C} \text{ ou } \delta^{15}\text{N} (\text{‰}) = [(R_{\text{amostra}}/R_{\text{padrão}}) - 1] \times 10^3, \text{ sendo:}$$

$\delta^{13}\text{C}$ ou $\delta^{15}\text{N}$ = composição isotópica em ^{13}C ou ^{15}N

R = razão entre o isótopo mais pesado e o mais leve ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$; $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$).

Os padrões internacionais vigentes utilizados como referência para determinar os valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ foram o “Vienna PDB (VPDB)” para o carbono e o nitrogênio atmosférico (ar) para o nitrogênio.

4.3. Preparação dos Dados

4.3.1. Aplicação de equação de correção para lipídeos nas amostras de peixes e lulas

A quantidade de lipídeos nos tecidos utilizados para a análise de isótopos estáveis pode alterar os valores de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) de uma determinada amostra (Tieszen *et al.*, 1983). De maneira geral, tecidos com altos teores de lipídeos (como fígado e músculo) são mais empobrecidos em ^{13}C do que aqueles com baixas quantidades (como cérebro) (Pinnegar & Polunin, 1999), resultado da discriminação do ^{13}C durante a síntese de lipídeos (DeNiro & Epstein, 1977).

No presente estudo, os lipídeos das amostras de músculos de peixes e lulas não foram extraídos antes da análise de isótopos estáveis. No entanto, com o objetivo de diminuir discrepâncias nos dados, foi calculada a razão C:N para as amostras e, posteriormente, aplicada a equação de correção aritmética proposta por Kiljunen *et al.* (2006).

É possível inferir a quantidade de lipídeos em um tecido a partir da razão C:N. Quanto maior o valor da razão ($\text{C:N} > 3,0$), menor o valor de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e, portanto, mais empobrecida em ^{13}C é a amostra. Quando a razão é baixa ($\text{C:N} < 3,0$), o valor de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) é maior e indica um enriquecimento da amostra (McConnaughey & McRoy, 1979; Rau *et al.*, 1992).

O modelo de Kiljunen *et al.* (2006) é dividido em duas equações: a primeira para o cálculo da quantidade de lipídeos na amostra, e a segunda, para o cálculo do $\delta^{13}\text{C}$ corrigido:

$$L = 93/[1 + (0,246 \text{ C/N} - 0,775)^{-1}]$$

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{cor}} = \delta^{13}\text{C} + D [0,048 + 3,90/(1+287/L)], \text{ em que:}$$

$\delta^{13}\text{C}_{\text{cor}}$ = valor corrigido da composição isotópica.

$D = 7,018 \pm 0,263$ (valor da diferença isotópica entre proteína e lipídeo)

Em todas as análises subsequentes, foram adotados os valores corrigidos de $\delta^{13}\text{C}$ para as amostras de peixes e lulas.

4.3.2. Agrupamento dos organismos

Com o objetivo de analisar a teia trófica que envolve as espécies de peixes e lulas e avaliar a composição da dieta dos peixes da Baía do Araçá, os organismos (consumidores e presas) foram agrupados de duas maneiras.

Em um primeiro momento, para permitir a análise detalhada da teia alimentar, os organismos foram agrupados em grupos tróficos.

Com base na literatura disponível sobre hábitos alimentares, as espécies de peixes e lulas estudadas foram classificadas em grupos tróficos (Tabela 1). O mesmo procedimento foi realizado para as espécies e/ou grupos de invertebrados considerados como presas (Apêndice 1).

Para os invertebrados, foram analisadas 341 amostras, classificadas em 19 grupos tróficos. No verão, os organismos foram agrupados em 17 grupos tróficos ($n = 144$); no inverno, em 19 grupos ($n = 197$). Os dados de média e desvio padrão dos valores dos isótopos estáveis de cada grupo são apresentados no Apêndice 2. As espécies de invertebrados que compõem cada grupo trófico e seus respectivos números de amostras estão no Apêndice 1.

Com os mesmos objetivos, foi também realizada uma divisão dos organismos produtores em 19 grupos, de acordo com o sistema e/ou região de origem do material na Baía do Araçá. As espécies e/ou grupos considerados para compor os grupos e o número de amostras estão especificados no Apêndice 3. Foram analisadas 189 amostras de isótopos de carbono (95

amostras para o verão e 94, para o inverno) e 182 de isótopos de nitrogênio (93 para o verão e 89 para o inverno) de organismos produtores. Dados de média e desvio padrão dos valores de isótopos estáveis para cada grupo estão apresentados no Apêndice 4 (Soares *et al.*, em preparação).

Em um segundo momento, os organismos foram também agrupados em grupos taxonômicos superiores para avaliar a sua contribuição como presas em potencial na dieta dos peixes através da aplicação do modelo de mistura isotópica (SIAR - Stable Isotope Analysis in R). Nesse caso, os grupos de presas foram utilizados como dados de entrada para o modelo de mistura. Dados de médias e desvio padrão dos valores de isótopos estáveis das amostras totais de cada grupo estão apresentados no Apêndice 5.

4.4. Análise de Dados

4.4.1. Fatores de Enriquecimento Trófico (Δ_{TEFs})

Um dos pontos cruciais da aplicação dos isótopos estáveis em estudos de teias tróficas é a seleção dos fatores de enriquecimento trófico (TEF= *Trophic Enrichment Factor*) adequados para serem aplicados às análises dos dados de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$. A má estimativa nos valores de aumento do $\delta^{13}\text{C}$ e do $\delta^{15}\text{N}$ entre as presas e o consumidor ao longo da cadeia alimentar pode diminuir a robustez das análises, acarretando em resultados pouco claros e na má interpretação da organização trófica de um ecossistema (McCutchan *et al.*, 2003).

No presente estudo, os fatores de enriquecimento trófico (Δ_{TEFs}) de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ utilizados para o cálculo das posições tróficas das espécies e para a aplicação do modelo de mistura isotópica foram as médias estimadas por McCutchan *et al.* (2003) para amostras de músculo: $+1,3 \pm 0,30\text{‰}$ para o $\delta^{13}\text{C}$ e $+2,9 \pm 0,32\text{‰}$ para o $\delta^{15}\text{N}$. Cabe ressaltar que esses são valores de média e erro padrão; para o modelo de mistura isotópica, foram utilizados os valores do desvio padrão, calculados a partir do erro padrão e do número de indivíduos das amostras ($dp\ \delta^{13}\text{C} = 1,27\text{‰}$, $dp\ \delta^{15}\text{N} = 1,24\text{‰}$).

Para peixes e lulas, os valores de Δ_{TEFs} médios usualmente aplicados nas análises são: cerca de +0,5‰ (entre 0‰ e +1‰) para o $\delta^{13}C$, e de +3,4‰ (entre +3‰ e +5‰) para o $\delta^{15}N$ (e.g. Rau *et al.*, 1983; Minagawa & Wada, 1984; Vander Zander & Rasmussen, 2001; Post, 2002). No entanto, justifica-se a escolha dos valores empregados neste trabalho, mediante as considerações apresentadas por diversos autores (Davenport & Bax, 2002; Vanderklift & Ponsard, 2003; McCutchan *et al.*, 2003; Caut *et al.*, 2009) e a melhor adequação dos Δ_{TEFs} aos consumidores em questão.

4.4.2. $\delta^{13}C$ (‰) e $\delta^{15}N$ (‰) de peixes e lulas: variabilidade temporal

Para verificar a existência de diferença temporal nos valores de $\delta^{13}C$ (‰) e $\delta^{15}N$ (‰) apresentados pelas espécies no verão e no inverno, foi aplicado teste não paramétrico de Mann-Whitney, com nível de significância $\alpha=5\%$. Em um primeiro momento, foram aplicados testes para averiguar a normalidade dos dados (teste de Shapiro-Wilk, nível de significância $\alpha=5\%$) e a homogeneidade das variâncias (teste de Levene, nível de significância $\alpha=5\%$). No entanto, como alguns conjuntos de dados não atenderam às premissas necessárias para a aplicação de um teste paramétrico, foi aplicado o teste não paramétrico (Zar, 1996).

Para essas análises, não foram consideradas as espécies com baixo número amostral ($n \leq 3$) em uma ou ambas as épocas do ano. Assim, o teste de Mann-Whitney não foi aplicado para 5 espécies de peixes (*Centropomus parallelus*, *Lutjanus analis*, *Micropogonias furnieri*, *Polydactylus virginicus* e *Trichiurus lepturus*) e uma espécie de lula (*Lolliguncula brevis*), embora tenham sido coletadas no verão e no inverno.

4.4.3. Estimativa da Posição Trófica (PT) das espécies de peixes e lulas

As posições tróficas (PT) das espécies de peixes e lulas foram calculadas de acordo com Vander Zanden & Rasmussen (2001):

$$PT = [(\delta^{15}N \text{ espécie} - \delta^{15}N \text{ bivalve}) / \Delta_{TEF}] + 2,5 \text{ em que:}$$

Δ_{TEF} = fator de enriquecimento médio entre um nível trófico e outro;
2,5 representa a posição trófica média do consumidor primário utilizado.

Uma das maiores dificuldades metodológicas da análise de isótopos estáveis em estudos de teias alimentares é selecionar um organismo para servir de base (*baseline*) para a estimativa da posição trófica (Post *et al.*, 2000).

De maneira geral, consumidores primários têm sido utilizados para estimativas da posição trófica das espécies. Vander Zanden & Rasmussen (2001) propuseram a substituição do valor isotópico do produtor primário pelos bivalves, já que esses animais processam uma grande quantidade de material em curto espaço de tempo e apresentam uma longevidade maior que a do fitoplâncton, que apresenta um ciclo de vida muito mais curto em relação ao dos consumidores maiores. Além disso, amostras puras de fitoplâncton são de difícil obtenção.

Cabe destacar que, por serem suspensívoros e/ou depositívoros, os bivalves tendem a expressar os valores isotópicos assimilados a partir dos organismos que compõem a base da teia alimentar do ecossistema marinho estudado (Post, 2002). De acordo com Jennings *et al.* (2002), os bivalves suspensívoros se alimentam de uma mistura de fitoplâncton, zooplâncton e detritos e, portanto, ocupam posição trófica média igual a 2,5.

No presente estudo, foi utilizada a média geral de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) de *Anomalocardia brasiliensis* e *Corbula* sp., 2 espécies de bivalves suspensívoras e abundantes na área de estudo. Os dados das espécies foram reunidos no grupo denominado “Bivalves Suspensívoros” (Apêndices 1 e 2).

Os valores médios de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) do grupo “Bivalves Suspensívoros” foram de $7,9 \pm 0,28\text{‰}$ e $8,2 \pm 0,45\text{‰}$ nos períodos de verão e inverno, respectivamente. Como as premissas de normalidade dos dados (teste de Shapiro-Wilk, nível de significância $\alpha = 5\%$) e homogeneidade das variâncias (teste de Levene, nível de significância $\alpha = 5\%$) não foram atendidas, foi aplicado teste não paramétrico de Mann-Whitney (nível de significância $\alpha = 5\%$) para verificar uma possível diferença entre as amostras de verão e inverno. Não houve diferença significativa para os valores de $\delta^{15}\text{N}$ ($U = 220$, $p = 0,06$) entre as duas épocas do ano e, assim, a média geral de $\delta^{15}\text{N}$ ($8,1 \pm 0,40\text{‰}$) foi utilizada para o cálculo da PT das espécies de peixes e lulas.

A posição trófica foi obtida para cada indivíduo e, posteriormente, foi calculada a média e desvio padrão para a amostra total de cada espécie de peixes e lulas.

O fator de enriquecimento trófico (Δ_{TEF}) de $\delta^{15}N$ utilizado foi a média de $+2,9 \pm 0,32\text{‰}$ (média $\pm$ EP), proposta por McCutchan *et al.* (2003).

4.4.4. Análise detalhada das espécies de peixes representativas do sistema

A) Composição da dieta – Modelo de Mistura Isotópica (SIAR)

Para avaliar a contribuição de potenciais presas na dieta das espécies de peixes, foi aplicado o modelo de mistura isotópica SIAR (Stable Isotopes Analysis in R), proposto por Parnell *et al.* (2010) e implementado como um pacote do software de uso livre R.

Para a aplicação do modelo de mistura, foram selecionadas 9 espécies, de acordo com a sua importância econômica e/ou abundância na área de estudo, e o número total de exemplares da amostra ($n \geq 20$). Foram analisadas 5 espécies bentófagas e bentófagas/piscívoras (*Diapterus rhombeus*, *Diplectrum radiale*, *Etropus crossotus*, *Haemulopsis corvinaeformis* e *Prionotus punctatus*), uma espécie onívora/detrítivora (*Mugil curema*) e 3 espécies onívoras/planctófagas (*Anchoa tricolor*, *Harengula clupei* e *Sardinella brasiliensis*).

Como dados de entrada para o modelo de mistura, foram utilizados: 1) os valores de $\delta^{13}C$ (‰) e de $\delta^{15}N$ (‰) dos indivíduos da espécie de peixe analisada (consumidor); 2) a média e desvio padrão dos valores de $\delta^{13}C$ (‰) e de $\delta^{15}N$ (‰) de cada grupo de presas (fontes); 3) a média e desvio padrão da concentração elemental (%) de carbono e nitrogênio de cada grupo de presas; 4) os valores médios dos fatores de enriquecimento trófico (Δ_{TEFs}) para o nitrogênio e o carbono propostos por McCutchan *et al.* (2003): $+2,9 \pm 1,24\text{‰}$ e $+1,3 \pm 1,27\text{‰}$ (nesse caso, foram utilizados os valores de média e desvio padrão).

Os grupos de potenciais presas (Apêndice 5), utilizados como dados de entrada, foram definidos de acordo com as informações dos hábitos alimentares/grupos tróficos das espécies de peixes, em conjunto com os dados da análise de conteúdos estomacais dessas espécies na Baía do Araçá (Arantes, 2014; Lima, 2015), no Canal de São Sebastião (Soares *et al.*, 2008) e na literatura disponível.

A escolha dos grupos de presas a serem incluídos no modelo de mistura é de grande relevância. Se, por um lado, a ausência de fontes na análise pode gerar resultados pouco robustos, por outro, a precisão dos modelos de mistura tende a diminuir com o aumento do número de presas. Assim, o número de fontes deve ser de, no máximo, 6 a 7 grupos e, ao mesmo tempo, considerar todas as potenciais presas na análise. Uma maneira de diminuir o número de fontes utilizadas é agrupá-las de acordo com critérios bem definidos (Phillips *et al.*, 2014).

Com base em simulações feitas através do método de Monte Carlo via Cadeias de Markov (MCMC - Markov Chain Monte Carlo), o SIAR ajusta o modelo Bayesiano aos dados e fornece como resultados, distribuições posteriores de probabilidades de densidade e intervalos de credibilidade (50%, 75% e 95%) que correspondem aos intervalos de contribuição dos grupos de presas. É também fornecida uma medida de tendência central: a moda (Parnell *et al.*, 2010). No presente estudo, para a análise dos resultados, foram considerados o intervalo de 95% de credibilidade e a moda.

É também importante salientar que uma premissa necessária para a aplicação do modelo de mistura isotópica é que os dados de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) do consumidor e das fontes em potencial sejam previamente plotados em um gráfico de dispersão. O resultado desejável é um polígono em que os grupos de presas ocupem os vértices, demonstrando que o consumidor (posicionado no interior do polígono) é uma “mistura” daquelas potenciais presas. Caso isso não ocorra, o modelo de mistura não pode ser aplicado, pois os valores isotópicos observados para os consumidores em questão não seriam resultados da combinação das fontes selecionadas (Phillips *et al.*, 2014). Assim, no presente estudo, antes da aplicação do modelo de mistura

isotópica, foram traçados os polígonos para todas as espécies de peixes selecionadas.

B) Variação de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e $\delta^{15}\text{N}$ (‰) com o tamanho dos peixes

Com o intuito de verificar variações nos valores de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) com o tamanho dos peixes, os dados individuais foram plotados, e realizadas análises de regressão de Pearson com nível de significância de $\alpha=5\%$, para a amostra total de cada espécie (Zar, 1996).

4.4.5. Vias tróficas dos peixes e lulas da Baía do Araçá

Para analisar as vias de fluxo de matéria que envolvem as espécies de peixes e lulas da Baía do Araçá, foram elaborados diagramas de dispersão contendo os valores médios, e desvio padrão, de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) para a amostra total das espécies por grupo trófico, os valores médios de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) dos grupos de invertebrados (presas) e produtores do sistema.

Para uma análise detalhada, foram também elaborados diagramas com os valores individuais de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) das espécies de peixes e os valores médios de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) dos grupos de presas selecionados para a aplicação do modelo de mistura.

5. Resultados

5.1. $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e $\delta^{15}\text{N}$ (‰) de peixes e lulas: variabilidade interespecífica e temporal

5.1.1. Variabilidade Interespecífica

Para a análise de isótopos estáveis, foi considerado um total de 461 amostras pertencentes a 31 espécies de peixes, e 16 amostras de 2 espécies de lulas.

Nas Tabelas 2 e 3 são apresentados os valores de média e desvio padrão de $\delta^{13}\text{C}$, antes e após a correção para lipídeos ($\delta^{13}\text{C}$), de $\delta^{15}\text{N}$, da razão C:N e de comprimento total (mm) de cada espécie, para a amostra total e por época de coleta.

Entre as espécies de peixes, a amplitude geral de valores de $\delta^{13}\text{C}$ variou entre $-17,8\text{‰}$ (*Sardinella brasiliensis*) e $-10,1\text{‰}$ (*Mugil curema*); e a de $\delta^{15}\text{N}$, variou entre $8,1\text{‰}$ (*Atherinella brasiliensis*) e $15,1\text{‰}$ (*Epinephelus marginatus*) (Figuras 2 e 3). As médias de $\delta^{13}\text{C}$ variaram de $-17,2 \pm 0,23\text{‰}$ (*Hyporhamphus unifasciatus*) a $-12,1 \pm 1,20\text{‰}$ (*M. curema*), enquanto as de $\delta^{15}\text{N}$ variaram entre $10,0 \pm 0,65\text{‰}$ (*M. curema*) e $14,5 \pm 0,50\text{‰}$ (*Epinephelus marginatus*) (Tabela 2, Figuras 2 e 3).

Para as amostras de lulas, a amplitude geral de valores observada para $\delta^{13}\text{C}$ variou entre $-16,8\text{‰}$ (*Doryteuthis sanpaulensis*) e $-14,8\text{‰}$ (*Lolliguncula brevis*). Para $\delta^{15}\text{N}$, os valores mínimo e máximo foram apresentados por *L. brevis*: $13,3\text{‰}$ e $14,7\text{‰}$. As médias totais de $\delta^{13}\text{C}$ foram de $-16,6 \pm 0,23\text{‰}$ para *D. sanpaulensis* e de $-16,0 \pm 0,51\text{‰}$ para *L. brevis*; para o $\delta^{15}\text{N}$, as médias foram de $13,9 \pm 0,21\text{‰}$ e $14,2 \pm 0,52$ para as 2 espécies, respectivamente (Tabela 3, Figuras 4a e 4b).

5.1.2. Variabilidade Temporal

Do total de 31 espécies de peixes, 21 (190 exemplares) foram coletadas durante o verão, e 27 durante o inverno (271 exemplares). Quatro espécies foram obtidas apenas no verão (*Albula vulpes*, *Caranx latus*,

Epinephelus marginatus e *Hemirhamphus brasiliensis*) e 10, apenas no inverno (*Centropomus undecimalis*, *Chaetodon striatus*, *Ctenosciaena gracilicirrhus*, *Harengula clupeiola*, *Hyporhamphus unifasciatus*, *Kyphosus sectatrix*, *Nicholsina usta usta*, *Oligoplites saurus*, *Symphurus tessellatus*, *Umbrina coroides*). As demais, 17 espécies, foram coletadas nas duas épocas (Tabela 2).

A amplitude de valores e as médias de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) de cada espécie de peixe no verão e no inverno estão representadas nas figuras 5 e 6.

Sardinella brasiliensis apresentou os menores valores médios de $\delta^{13}\text{C}$ ($-16,8 \pm 0,36\text{‰}$ no verão e $-17,2 \pm 0,19\text{‰}$ no inverno), e *Mugil curema*, os maiores ($-11,7 \pm 0,85\text{‰}$ no verão e $-12,6 \pm 1,38\text{‰}$ no inverno). No inverno, *Hyporhamphus unifasciatus* teve média semelhante à de *S. brasiliensis* ($-17,2 \pm 0,23\text{‰}$).

As menores médias de $\delta^{15}\text{N}$ foram as de *Mugil curema* ($9,9 \pm 0,79\text{‰}$ no verão e $10,2 \pm 0,42\text{‰}$ no inverno) e *Nicholsina usta usta* ($10,2 \pm 0,19\text{‰}$ no inverno). Os maiores valores foram os de *Epinephelus marginatus* ($14,5 \pm 0,50\text{‰}$) no verão e *Polydactylus virginicus* ($14,6\text{‰}$) no inverno.

Quanto às lulas, apenas *Lolliguncula brevis*, foi coletada no verão (2 exemplares) e no inverno (9 exemplares). *Doryteuthis sanpaulensis* foi amostrada apenas no inverno (5 exemplares) (Tabela 3). Nessa época, os valores médios de $\delta^{13}\text{C}$ foram de $-16,2 \pm 0,24\text{‰}$ para *L. brevis* e $-16,6 \pm 0,23\text{‰}$ para *D. sanpaulensis*. Para $\delta^{15}\text{N}$, as espécies apresentaram valores médios entre $13,9 \pm 0,21\text{‰}$ (*D. sanpaulensis*) e $14,4 \pm 0,33\text{‰}$ (*L. brevis*).

De maneira geral, as espécies de peixes apresentaram médias maiores de $\delta^{13}\text{C}$ no verão ($-16,8\text{‰}$ a $-11,7\text{‰}$) do que no inverno ($-17,2\text{‰}$ a $-12,6\text{‰}$). Essa diferença foi menos expressiva para $\delta^{15}\text{N}$: verão ($9,9\text{‰}$ a $14,5\text{‰}$) e inverno ($10,2\text{‰}$ a $14,6\text{‰}$), embora apenas 2 espécies (*Atherinella brasiliensis* e *Lutjanus analis*) tenham apresentado menores valores de $\delta^{15}\text{N}$ no inverno. Tal tendência foi também verificada para a espécie de lula *Lolliguncula brevis*, embora o número de amostras no verão tenha sido baixo.

Entre os peixes coletados nas duas épocas, foi verificada diferença estatística significativa entre os valores de $\delta^{13}\text{C}$, maiores no verão do que no inverno, para 6 espécies: *Diplectrum radiale*, *Gymnothorax ocellatus*, *Lutjanus*

synagris, *Mugil curema*, *Haemulopsis corvinaeformis* e *Sardinella brasiliensis* (Tabela 4).

Sardinella brasiliensis e *Haemulopsis corvinaeformis* também apresentaram diferença temporal significativa nos valores de $\delta^{15}\text{N}$. Em outras 4 espécies, nas quais não foi constatada diferença nos valores de $\delta^{13}\text{C}$, houve diferença temporal nos valores de $\delta^{15}\text{N}$: *Anchoa tricolor*, *Cynoscion jamaicensis*, *Diapterus rhombeus* e *Prionotus punctatus*. Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ de todas essas espécies foram maiores no inverno (Tabela 4).

5.2. Estimativa da Posição Trófica (PT) das espécies de peixes e lulas

Para a amostra total dos peixes, os valores da posição trófica (PT) média das espécies variaram entre $3,18 \pm 0,22$ para *Mugil curema* e $4,72 \pm 0,17$ para *Epinephelus marginatus*. Treze espécies apresentaram PT entre 3 - 4; e 18 espécies, entre 4 - 5. (Tabela 5, Figura 7).

As 2 espécies de lulas também apresentaram PT entre 4 - 5: *Lolliguncula brevis* - valor médio de $4,61 \pm 0,18$, e *Doryteuthis sanpaulensis*, de $4,50 \pm 0,07$ (Tabela 5, Figura 7).

Quando analisados em termos de grupos de hábitos alimentares, os peixes herbívoros, onívoros, carnívoros bentófagos e carnívoros piscívoros/bentófagos apresentaram posições tróficas médias de, respectivamente: $3,30 \pm 0,21$, $3,70 \pm 0,48$, $3,89 \pm 0,33$, $4,19 \pm 0,34$. As lulas apresentaram PT média de $4,57 \pm 0,17$ (Figura 8).

5.3. Análise detalhada das espécies de peixes representativas do sistema

5.3.1. *Diapterus rhombeus* (Família Gerreidae)

A) Composição da Dieta Assimilada

Para *Diapterus rhombeus*, o modelo de mistura isotópica SIAR foi aplicado à amostra de 34 exemplares. Com base nos dados prévios de

alimentação da espécie, e após a elaboração do polígono de mistura, os grupos de presas utilizados como entrada para o modelo foram Tanaidacea, Gammaridea, Polychaeta, Camarões, Brachyura e Ophiuroidea (Figuras 9, 10a e 11).

Cinco grupos apresentaram contribuições semelhantes na dieta da espécie: Polychaeta (de 13,0% a 26,0%, moda= 21,5%), Ophiuroidea (de 17,0% a 27,0%, moda= 20,7%), Camarões (de 14,0% a 26,0%, moda= 20,4%), Brachyura (de 14,0% a 24,0%, moda= 20,8%) e Gammaridea (de 10,0% a 23,0%, moda= 17,7%) (Tabela 6). A menor contribuição foi dada por Tanaidacea (de 1,7% a 7,7%, moda= 5,0%). A distribuição de probabilidades e os intervalos de credibilidade (com ênfase em 95% de credibilidade) de cada grupo de presas estão nas Figuras 12 e 13.

B) Variação de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ com o tamanho dos peixes

Em relação à variação de $\delta^{13}\text{C}$ com o tamanho dos exemplares de *Diapterus rhombeus*, houve diminuição dos valores isotópicos com o aumento do comprimento dos peixes. Foi observada uma correlação linear negativa, com um coeficiente de correlação de Pearson (r) de $-0,695$ ($p= 5,054 \times 10^{-6}$) (Figura 14a). Não foi observada variação de $\delta^{15}\text{N}$ com o tamanho dos peixes. A análise de regressão apresentou baixa correlação ($r= -0,115$; $p= 0,516$) (Figura 14b).

5.3.2. *Diplectrum radiale* (Família Serranidae)

A) Composição da Dieta Assimilada

Para a amostra total de *Diplectrum radiale* ($n= 32$), as fontes selecionadas para entrada para o modelo de mistura foram: Polychaeta, Camarões, Brachyura, Ophiuroidea, Gammaridea e Teleostei (Figuras 9, 10b e 15).

A contribuição mais expressiva para a dieta da espécie foi dada por Ophiuroidea (de 59,0% a 69,0%, moda= 63,7%), seguida pelas contribuições

de Polychaeta (de 11,0% a 23,0%, moda= 19,0%) e Gammaridea (de 4,9% a 14,0%, moda= 9,5%). Os grupos Camarões (de 0,2% a 3,9%, moda= 1,1%), Brachyura (de 0,2% a 2,4%, moda= 0,8%) e Teleostei (de 0,1% a 1,3%, moda= 0,7%) foram menos expressivos (Tabela 6, Figuras 16 e 17).

B) Variação de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ com o tamanho dos peixes

Não foi observada variação de $\delta^{13}\text{C}$ com o tamanho dos exemplares de *Diplectrum radiale*. A análise de regressão apresentou uma correlação baixa para a amostra total ($r = -0,237$; $p = 0,190$) (Figura 18a). No entanto, houve um aumento de $\delta^{15}\text{N}$ com o tamanho dos indivíduos. Foi verificada uma correlação linear positiva ($r = 0,821$; $p = 8,449 \times 10^{-9}$) (Figura 18b).

5.3.3. *Etropus crossotus* (Família Paralichthyidae)

A) Composição da Dieta Assimilada

Para *Etropus crossotus* ($n = 33$), as fontes selecionadas para a aplicação do SIAR foram Tanaidacea, Gammaridea, Polychaeta, Camarões, Brachyura e Ophiuroidea (Figuras 9, 10c e 19).

A maior contribuição para a dieta dessa espécie foi dada por Tanaidacea (de 43,0% a 51,0%, moda= 45,9%), seguida por Ophiuroidea (de 13,0% a 23,0%, moda= 17,2%) e Gammaridea (de 8,2% a 21,0%, moda= 13,8%). Os demais grupos foram menos expressivos: Polychaeta (de 0,8% a 8,8%, moda= 2,1%), Camarões (de 0,4% a 5,7%, moda= 1,5%) e Brachyura (de 0,4% a 4,7%, moda= 1,1%) (Tabela 6, Figuras 20 e 21).

B) Variação de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ com o tamanho dos peixes

Houve aumento de $\delta^{13}\text{C}$ com o tamanho dos exemplares de *Etropus crossotus*. Foi verificada uma correlação linear positiva ($r = 0,630$; $p = 0,000$) (Figura 22a). No entanto, não foi observada variação de $\delta^{15}\text{N}$ com o

comprimento do peixe. A análise de regressão apresentou uma correlação muito baixa ($r= 0,344$; $p= 0,053$) (Figura 22b).

5.3.4. *Haemulopsis corvinaeformis* (Família Haemulidae)

A) Composição da Dieta Assimilada

Na aplicação do modelo de mistura à amostra total de *Haemulopsis corvinaeformis* ($n= 37$), foram selecionados como grupos de presas em potencial: Tanaidacea, Gammaridea, Polychaeta, Camarões, Brachyura, Teleostei e Ophiuroidea (Figuras 9, 10d e 23).

A maior contribuição à dieta da espécie foi dada pelo grupo Ophiuroidea (de 22,0% a 35,0%, moda= 26,9%), seguida por Polychaeta (de 7,6% a 24,0%, moda= 17,9%), Teleostei (de 5,7% a 15,0%, moda= 9,9%) e Tanaidacea (de 2,9% a 15,0%, moda= 5,3%). Os outros 3 grupos mostraram contribuições menores: Camarões (de 0,4% a 9,7%, moda= 2,1%), Gammaridea (de 0,4% a 7,6%, moda= 1,7%) e Brachyura (de 0,3% a 6,0%, moda= 1,4%) (Tabela 6, Figuras 24 e 25).

B) Variação de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ com o tamanho dos peixes

Em relação à variação de $\delta^{13}\text{C}$, houve aumento dos valores isotópicos com o tamanho dos indivíduos de *Haemulopsis corvinaeformis*. Foi observada uma correlação linear positiva ($r= 0,719$; $p= 5,086 \times 10^{-7}$) (Figura 26a). Também houve variação de $\delta^{15}\text{N}$ com o tamanho dos peixes. Foi verificada uma diminuição dos valores isotópicos nos exemplares de maior tamanho ($r= -0,700$; $p= 1,385 \times 10^{-6}$) (Figura 26b).

5.3.5. *Prionotus punctatus* (Família Triglidae)

A) Composição da Dieta Assimilada

Para *Prionotus punctatus* (n= 29), as fontes selecionadas como entrada para a aplicação do SIAR foram Tanaidacea, Gammaridea, Polychaeta, Camarões, Brachyura, Teleostei e Cephalopoda (Figuras 9, 10e e 27)

A maior contribuição para a dieta da espécie foi dada por Tanaidacea (de 40,0% a 53,0%, moda= 46,8%), seguida por Polychaeta (de 4,9% a 21,0%, moda= 12,4%) e Cephalopoda (de 6,8% a 13,0%, moda= 9,2%). Os demais grupos foram menos expressivos: Gammaridea (de 0,5% a 8,8%, moda= 1,9%), Camarões (de 0,4% a 6,8%, moda= 1,6%), Brachyura (de 0,2% a 3,9%, moda= 1,0%) e Teleostei (de 0,1% a 4,0%, moda= 1,0%) (Tabela 6, Figuras 28 e 29).

B) Variação de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ com o tamanho dos peixes

As análises de regressão apresentaram baixa correlação e não houve variação nos valores de $\delta^{13}\text{C}$ ($r = -0,109$; $p = 0,570$) e de $\delta^{15}\text{N}$ ($r = 0,033$; $p = 0,863$) com o tamanho dos exemplares da espécie (Figuras 30a e 30b).

5.3.6. *Mugil curema* (Família Mugilidae)

A) Composição da Dieta Assimilada

Para *Mugil curema* (n= 44), o modelo de mistura isotópica SIAR foi aplicado com base nos seguintes grupos de presas: Microfitobentos, Turf, Macroalgas, Gramíneas Terrestres C4, Tanaidacea, Bivalvia e Gastropoda (Figuras 9, 10f e 31).

A maior contribuição foi dada pelo grupo das Gramíneas Terrestres C4 (de 37,0% a 46,0%, moda= 41,8%). Cinco grupos de fontes apresentaram menores contribuições para a dieta: Tanaidacea (de 5,8% a 13,0%, moda= 9,2%), Turf (de 1,3% a 16,0%, moda= 3,5%), Bivalvia (de 2,1% a 9,1%, moda=

6,1%), Gastropoda (de 4,1% a 7,7%, moda= 5,6%) e Macroalgas (de 0,6% a 9,6%, moda= 2,8%). A contribuição menos expressiva foi observada para Microfitobentos (de 0,3% a 5,6%, moda= 1,4%) (Tabela 6, Figuras 32 e 33).

B) Variação de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ com o tamanho dos peixes

A amostra total (n= 44) de *Mugil curema* foi dividida em duas e as análises de regressão foram aplicadas para indivíduos com comprimentos entre 40 mm e 150 mm (n= 26) e 240 mm e 450 mm (n= 18).

Houve aumento de $\delta^{13}\text{C}$ com o tamanho dos exemplares menores (40 mm a 150 mm). Foi verificada uma correlação linear positiva ($r= 0,466$; $p= 0,016$). Entre os indivíduos de 240 mm a 450 mm, não houve variação de $\delta^{13}\text{C}$ com o tamanho do peixe ($r= -0,387$; $p= 0,111$) (Figuras 34a e 35a).

Quanto aos valores de $\delta^{15}\text{N}$, não foi verificada variação com o comprimento dos peixes. A análise de regressão apresentou baixa correlação para os indivíduos de 40 mm a 150 mm ($r= 0,252$; $p= 0,212$) e também para os exemplares de maior tamanho ($r= 0,413$; $p= 0,087$) (Figuras 34b e 35b).

5.3.7. *Anchoa tricolor* (Família Engraulidae), *Harengula clupeola* (Família Clupeidae) e *Sardinella brasiliensis* (Família Clupeidae)

A) Composição da Dieta Assimilada

Com base nos dados prévios de alimentação das espécies planctófagas, *Anchoa tricolor*, *Harengula clupeola* e *Sardinella brasiliensis*, foram selecionados grupos de presas e elaborados os polígonos antes da aplicação do modelo de mistura isotópica. No entanto, devido aos resultados obtidos, o modelo SIAR não pode ser aplicado: tanto nos polígonos traçados com os grupos superiores como naqueles com os grupos detalhados (elaborados como confirmação para os resultados obtidos com os primeiros polígonos), as espécies de peixes analisadas não foram incluídas dentro dos polígonos, indicando que não há solução possível e que seus valores

isotópicos não seria resultado de uma combinação dessas presas (Figuras 9 e 36a a 36f).

B) Variação de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ com o tamanho dos peixes

Anchoa tricolor

As análises de regressão para a amostra total de *Anchoa tricolor* (n= 20) apresentaram correlação baixa e não foi verificada variação nos valores de $\delta^{13}\text{C}$ (r= 0,198; p= 0,400) e de $\delta^{15}\text{N}$ (r= 0,010; p= 0,966) com o tamanho dos exemplares (Figuras 37a e 37b)

Harengula clupeola

Para *Harengula clupeola* (n= 20), as análises de regressão também apresentaram baixa correlação entre os valores de $\delta^{13}\text{C}$ (r= 0,119; p= 0,615) e de $\delta^{15}\text{N}$ (r= 0,287; p= 0,218) e o tamanho dos indivíduos da espécie (Figuras 38a e 38b).

Sardinella brasiliensis

Houve diminuição de $\delta^{13}\text{C}$ com o tamanho dos exemplares. Foi verificada uma correlação linear negativa (r= -0,336; p= 0,029) para a amostra total de *Sardinella brasiliensis* (n= 42) (Figura 39a). No entanto, não foi observada variação de $\delta^{15}\text{N}$ com o tamanho dos indivíduos. A análise de regressão apresentou uma correlação baixa para a amostra total (r= 0,100; p= 0,528) (Figura 39b).

5.4. Vias tróficas dos peixes e lulas da Baía do Araçá

As vias tróficas das quais participam as lulas e os grupos de peixes herbívoros, onívoros, bentófagos e bentófagos/piscívoros considerados no presente estudo estão esquematizadas na Figura 40. Para uma observação

mais detalhada, são apresentadas as vias específicas dos peixes bentófagos e bentófagos/piscívoros (*Diapterus rhombeus*, *Diplectrum radiale*, *Etropus crossotus*, *Haemulopsis corvinaeformis* e *Prionotus punctatus*) (Figuras 41 a 45), da espécie onívora/detritívora *Mugil curema* (Figura 46), e das espécies onívoras/planctófagas *Anchoa tricolor*, *Harengula clupeola* e *Sardinella brasiliensis*. (Figura 47).

Os grupos de produtores que compõem a base das vias tróficas de cada grupo de peixes, das espécies analisadas em detalhe e das lulas são apresentados na Tabela 7.

De maneira geral, a base das vias tróficas das espécies de peixes onívoras ($\delta^{13}\text{C} = -16,6\text{‰}$, $\delta^{15}\text{N} = 12,1\text{‰}$), bentófagas ($\delta^{13}\text{C} = -14,9\text{‰}$, $\delta^{15}\text{N} = 12,5\text{‰}$), bentófagas/piscívoras ($\delta^{13}\text{C} = -15,4\text{‰}$, $\delta^{15}\text{N} = 13,2\text{‰}$) e das lulas ($\delta^{13}\text{C} = -16,1\text{‰}$, $\delta^{15}\text{N} = 14,0\text{‰}$), é composta, principalmente, por uma combinação de matéria particulada em suspensão (MPS), matéria orgânica dos sedimentos e microfitobentos (Figura 40, Tabela 7, Apêndice 5).

Quando analisados de forma detalhada, os grupos de microfitobentos e da matéria orgânica dos sedimentos, ambos da região entremarés, e a MPS proveniente da região próxima à saída do emissário (MPS 4) contribuem de forma mais expressiva para as vias tróficas de *Diapterus rhombeus*, *Diplectrum radiale*, *Etropus crossotus*, *Haemulopsis corvinaeformis* e *Prionotus punctatus*. A diferença entre os valores médios de $\delta^{13}\text{C}$ dos peixes e lulas, e da base é de, aproximadamente, 5,5‰, o que implicaria em 3 a 4 etapas de transferências ao longo da cadeia alimentar (considerando o Δ_{TEF} de $\delta^{13}\text{C}$ de +1,3‰). Em relação aos valores de $\delta^{15}\text{N}$, um padrão semelhante foi observado: a diferença entre os valores médios dos peixes e lulas, e da base é de, aproximadamente, 9‰, indicando cerca de 3 etapas de transferências (considerando o Δ_{TEF} de $\delta^{15}\text{N}$ de +2,9‰) e coincidindo com as posições tróficas estimadas para as espécies no presente estudo.

Especificamente, para a espécie onívora/detritívora *Mugil curema*, os componentes da base da via trófica são os grupos de microfitobentos da região entremarés, turf, algas verdes do manguezal e gramíneas terrestres C4 (Figura 46, Tabela 7, Apêndice 4). As vias alimentares das espécies onívoras/planctófagas *Anchoa tricolor*, *Harengula clupeola* e *Sardinella*

brasiliensis têm, como base, produtores provenientes da região sublitoral: MPS (MPS 3), microfitobentos e matéria orgânica dos sedimentos (Figura 47, Tabela 7, Apêndice 4).

Para as lulas e todos os grupos tróficos de peixes, as plantas de manguezal e as plantas terrestres C3, não fazem parte da base das vias tróficas. Os valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ desses grupos são muito empobrecidos em ^{13}C em relação aos valores dos peixes e das lulas (cerca de 10‰ a 15‰ de diferença), implicando que muitas transferências deveriam ocorrer ao longo da cadeia alimentar até que os valores médios dos consumidores fossem atingidos (já que o aumento do $\delta^{13}\text{C}$ é, aproximadamente, +1,3‰). Na extremidade contrária, as gramíneas marinhas - seagrass e as gramíneas terrestres (com exceção da via trófica de *Mugil curema*) também não contribuem, pois apresentam valores mais enriquecidos em ^{13}C do que os peixes e lulas em questão (Figura 40, Tabela 7, Apêndice 5).

Entre os invertebrados, grupos como Polychaeta Depositívoro, Decapoda Caridea e Ophiuroidea participam como componentes importantes nas vias tróficas das espécies de peixes bentófagas e bentófagas/piscívoras (Figuras 41 a 45), enquanto Bivalvia - Depositívoro e Suspensívoro - e Tanaidacea podem integrar a via trófica de *Mugil curema*. Os grupos de diferentes tamanhos de zooplâncton fazem parte das vias das espécies planctófagas (Figuras 46 e 47, Apêndice 4).

Para a interpretação das vias tróficas, foram utilizados Δ_{TEFs} de $+2,9 \pm 1,24\text{‰}$ para o nitrogênio e de $+1,3 \pm 1,27\text{‰}$ para o carbono (nesse caso, foram considerados os valores de média e desvio padrão).

6. Discussão

A composição isotópica de um consumidor expressa a sua dieta, e as razões isotópicas de carbono e nitrogênio nos seus tecidos e nos de suas presas permitem estimar a contribuição relativa dos recursos assimilados pelo consumidor em um determinado período de tempo (Minagawa & Wada, 1984; Peterson & Fry, 1987; Fry, 1988).

No entanto, os resultados das análises devem ser considerados de forma criteriosa, pois a dinâmica dos isótopos estáveis nos organismos dos consumidores é de grande complexidade, e os valores isotópicos observados estão sujeitos às variações provenientes dos processos de assimilação, de fracionamento e incorporação dos isótopos nos tecidos (Suring & Wing, 2005; Martinez del Rio *et al.*, 2009).

No presente estudo, foram analisadas amostras de músculo branco das espécies de peixes e lulas. Na interpretação dos resultados, os conhecimentos sobre a dinâmica metabólica dos isótopos estáveis de carbono e nitrogênio foram considerados, tendo sido utilizado um tempo de incorporação dos isótopos aos músculos de 1 a 3 meses (Sakano *et al.*, 2005; Guelinckx *et al.*, 2007; Fanelli & Cartes, 2010).

6.1. Valores de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e $\delta^{15}\text{N}$ (‰) dos peixes e lulas e variabilidade temporal

De modo geral, os intervalos das médias de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ dos peixes ($\delta^{13}\text{C} = -17,2\text{‰}$ a $-12,1\text{‰}$, $\delta^{15}\text{N} = 10,0\text{‰}$ a $14,5\text{‰}$) e das lulas ($\delta^{13}\text{C} = -16,6\text{‰}$ a $-16,0\text{‰}$, $\delta^{15}\text{N} = 13,9\text{‰}$ a $14,2\text{‰}$) da Baía do Araçá estão em concordância com os resultados observados para as espécies em outros sistemas costeiros e baías, como mostrado nos quadros a seguir:

Sistema	$\delta^{13}\text{C}$	Referências
Peixes		
Enseada do Flamengo, região costeira de Ubatuba (SP)	-17,2‰ a -12,8‰	Corbisier <i>et al.</i> (2006)
Plataforma continental ao largo de Cabo Frio (RJ) (em ausência de ressurgência costeira)	-17,9‰ a -15,0‰	Soares <i>et al.</i> (2014)
Baía de Banyuls-sur-Mer, Mar Mediterrâneo	-19,8‰ a -14,6‰	Carlier <i>et al.</i> (2007)
Estuário Gironde, França	-22,0‰ a -16,0‰	Pasquaud <i>et al.</i> (2008)
Baía de Biscay, nordeste do oceano Atlântico	-19,5‰ a -15,7‰	Chouvelon <i>et al.</i> (2012)
Lulas		
Família Lolignidae - Enseada do Flamengo, região costeira de Ubatuba (SP)	-16,4‰	Corbisier <i>et al.</i> (2006)
Baía de Biscay, nordeste do oceano Atlântico	-17,8‰ a -16,6‰	Chouvelon <i>et al.</i> (2012)

Sistema	$\delta^{15}\text{N}$	Referências
Peixes		
Enseada do Flamengo, região costeira de Ubatuba (SP)	9,4‰ a 13,3‰	Corbisier <i>et al.</i> (2006)
Plataforma continental ao largo de Cabo Frio (RJ) (em período de ressurgência costeira)	10,3‰ a 15,5‰	Soares <i>et al.</i> (2014)
Estuário Gironde, França	9,1‰ a 13,6‰	Pasquaud <i>et al.</i> (2008)
Baía de Biscay, nordeste do oceano Atlântico	9,2‰ a 15,3‰	Chouvelon <i>et al.</i> (2012)
Lulas		
Família Lolignidae - Baía de Biscay, nordeste do oceano Atlântico	12,2‰ a 13,9‰	Chouvelon <i>et al.</i> (2012)

De maneira geral, maiores valores de $\delta^{13}\text{C}$ dos peixes e lulas foram registrados no verão, e maiores valores de $\delta^{15}\text{N}$, no inverno. Variações temporais e/ou sazonais dos isótopos estáveis nas teias tróficas de diferentes ecossistemas foram registradas por outros autores como Faye *et al.* (2011), Chouvelon *et al.* (2012) e Soares *et al.* (2014).

Essa variabilidade pode ter sido decorrente da propagação do valor da razão isotópica da matéria orgânica da base da teia alimentar nos níveis tróficos superiores. Para os peixes e lulas do sistema em estudo, verificou-se que a base é composta, predominantemente, por matéria particulada em suspensão (MPS), matéria orgânica dos sedimentos e microfitobentos.

Em relação ao carbono, Soares *et al.* (em preparação) detectaram que os valores de $\delta^{13}\text{C}$ da MPS e do microfitobentos na Baía do Araçá, amostrados nas mesmas épocas deste estudo, foram maiores para ambos no verão. Não foi verificada diferença temporal significativa nos valores isotópicos dos sedimentos.

O maior enriquecimento de carbono observado nos peixes e lulas durante o verão é, provavelmente, resultado dos processos biológicos em conjunto com os processos físicos sazonais da área de estudo. No caso da MPS, supõe-se que a variabilidade relatada por Soares *et al.* (em preparação) tenha ocorrido, também, durante o período de incorporação dos nutrientes nesses consumidores (1 a 3 meses anteriores). Essa ressalva se faz necessária, considerando que o tempo de incorporação dos isótopos estáveis no plâncton é da ordem de dias (1 a 2 dias) (Montoya *et al.*, 1991).

Outro fator de variabilidade é o valor de $\delta^{13}\text{C}$ do carbono inorgânico dissolvido (CID), que pode variar com a temperatura e o local. A grande disponibilidade de bicarbonato, que aumenta com a diminuição da temperatura, permite que ocorra ampla discriminação do ^{13}C na fixação autotrófica e, conseqüentemente, uma diminuição nos valores de $\delta^{13}\text{C}$ do fitoplâncton (Peterson & Fry, 1987; Michener & Kaufman, 2007).

Considerando esse conhecimento, conjectura-se que os maiores valores de $\delta^{13}\text{C}$ da MPS no verão, que foram propagados aos peixes e lulas, estão associados às maiores temperaturas da água da Baía do Araçá, nessa época (Arantes, 2014). No entanto, essa suposição merece uma discussão sobre a hidrodinâmica da área de estudo, que é um sistema complexo, regido por ondas de marés e pelo regime dos ventos (Dottori *et al.*, 2015; Siegle *et al.*, 2015). Durante a primavera e o verão, eventos de intrusão da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) no Canal de São Sebastião e na entrada da Baía do Araçá, devido à mudança no regime de ventos, não são raros. Entre

outubro/2013 e fevereiro /2014, a presença da ACAS foi detectada na entrada da Baía do Araçá por Dottori *et al.* (2015). Com a entrada de águas mais frias trazidas pela ACAS, há estratificação da coluna de água, e um gradiente de temperatura pode ocorrer devido ao aquecimento das águas superficiais. Assim, os maiores valores de $\delta^{13}\text{C}$ aqui registrados podem estar relacionados à maior temperatura das águas superficiais dos locais de coletas de água, e não refletir a condição das águas mais frias do fundo da coluna.

Os maiores valores de $\delta^{13}\text{C}$ dos peixes e lulas no verão que têm como base o microfitobentos, devem estar relacionados, provavelmente, aos processos de afundamento e ressuspensão da matéria orgânica do fundo para a coluna de água. Esses processos podem ser facilitados pela pequena profundidade da Baía do Araçá (cerca de 2 m na entrada da baía, durante a maré cheia) em conjunto com as ondas de maré diárias. Um indício desse fato é a ocorrência expressiva de diatomáceas penadas da família Rhaphoneidaceae no microfitoplâncton. Essas diatomáceas são típicas de águas costeiras rasas e associadas ao fundo, e sofreriam ressuspensão pelos movimentos das marés e por processos turbulentos (Ciotti *et al.*, 2015). De maneira geral, as diatomáceas apresentam valores mais altos de $\delta^{13}\text{C}$ e podem ser uma fonte enriquecida em ^{13}C nas teias tróficas marinhas (Fry & Wainwright, 1991; Wu *et al.*, 1999).

Os maiores valores de $\delta^{15}\text{N}$ apresentados pelos peixes e lulas na Baía do Araçá no inverno, podem estar relacionados tanto à base da cadeia alimentar (Montoya, 2007) quanto a variações na composição da dieta (DeNiro & Epstein, 1981; Davenport & Bax, 2002). Por sua vez, essa variabilidade na dieta estaria relacionada com a disponibilidade dos alimentos, afetada pelas variações ambientais na área de estudo, cuja discussão consta do próximo item.

Com relação aos valores da base da teia trófica, não houve associação evidente com os valores dos consumidores em estudo. Soares *et al.* (em preparação) não detectaram diferença temporal nos valores de $\delta^{15}\text{N}$ das amostras de MPS, microfitobentos e matéria orgânica dos sedimentos, obtidas em épocas concomitantes com as dos peixes e lulas. No entanto, uma variação remota (em um período anterior e não contemplado pelas coletas) nos valores

de $\delta^{15}\text{N}$ desses grupos de base pode ter ocorrido no período de incorporação do nitrogênio (1 a 3 meses anteriores) nos músculos dos peixes e lulas, e ter se propagado ao longo da cadeia alimentar.

Uma explicação para possíveis variações pretéritas nas razões isotópicas de nitrogênio dos grupos de base seria a ocorrência de eventos imprevisíveis e de duração variável. Chuvas e tempestades, por exemplo, são difíceis de serem previstas e podem causar modificações na composição da comunidade de fitoplâncton, uma vez que alteram o aporte de compostos nitrogenados ao sistema. Ciotti *et al.* (2015) registraram um aumento no número de cianobactérias diazotróficas após eventos de chuvas monitorados entre setembro/2013 e agosto/2014 na Baía do Araçá. O aumento da abundância de cianobactérias fixadoras de nitrogênio tende a diminuir os valores de $\delta^{15}\text{N}$, já que a fixação do N_2 atmosférico envolve um pequeno fracionamento (Montoya, 2007). Valores mais baixos de $\delta^{15}\text{N}$ em cianobactérias do que em outras espécies de fitoplâncton foram detectados por Gu & Alexander (1993), Rolff (2000), entre outros autores.

6.2. Composição da dieta e variação de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e $\delta^{15}\text{N}$ (‰) com o tamanho dos peixes

De maneira geral, os resultados sobre a composição da dieta gerados pelo modelo de mistura isotópica, para as 6 espécies aqui analisadas, se apresentaram consistentes. No entanto, houve diferença entre as contribuições das presas apontadas pelo modelo de mistura SIAR e os dados de importância e ocorrência desses grupos nos estudos de conteúdos estomacais. As presas principais na dieta das espécies de peixes indicadas pelo SIAR e pelas análises de conteúdos estomacais são mostradas no quadro comparativo abaixo:

Espécies	Isótopos Estáveis - SIAR	Conteúdos Estomacais
MUCU	Gramínea Terrestre C4	Detritos, Microfitobentos (diatomáceas bentônicas) (1)
	Tanaidacea	
	Bivalvia	
DIRH	Polychaeta	Polychaeta, Amphipoda, Tanaidacea (2)
	Brachyura	
	Ophiuroidea	
	Camarões	
ETCR	Tanaidacea	Camarões, Brachyura, Polychaeta (3)
	Ophiuroidea	
	Gammaridea	
POCO	Ophiuroidea	Camarões, Amphipoda, Tanaidacea (2)
	Polychaeta	
	Teleostei	
PRPU	Tanaidacea	Brachyura (Portunidae), Camarões, Teleostei (2)
	Polychaeta	
	Cephalopoda	
DIRA	Ophiuroidea	Teleostei, Camarões, Brachyura (2)
	Polychaeta	
	Gammaridea	

1. Oliveira & Soares (1996)

2: Soares *et al.* (2008); Arantes (2014)

3. Soares *et al.* (2008); Lima (2015)

Entre os resultados apontados pelo SIAR, Polychaeta, Ophiuroidea e Tanaidacea estão entre as fontes que contribuíram de forma expressiva para a dieta dos peixes. Os 2 primeiros grupos estiveram entre as principais presas nas dietas de 4 das 5 espécies bentófagas e bentófagas/piscívoras analisadas. Já o grupo Tanaidacea foi importante na dieta de *Mugil curema* e outras 2 espécies.

Um ponto a ser destacado é a ocorrência e elevada contribuição dos ofiuroides, grupo que não foi identificado nos conteúdos estomacais das espécies na Baía do Araçá (Arantes, 2014; Lima, 2015), apenas no Canal de Sebastião (Soares *et al.*, 2008). Cabe ressaltar que a ingestão de Ophiuroidea, assim como de outros grupos de presas como Gammaridea ou camarões Caridea, indicam que os peixes na Baía do Araçá se alimentam tanto no

entremarés como no sublitoral, promovendo o acoplamento entre as regiões. O papel dos peixes como acopladores nesses sistemas será discutido no próximo item.

Também devem ser destacados dois aspectos em relação à dieta de *Mugil curema*: a alta contribuição de Gramíneas Terrestres C4, provavelmente compondo o detrito em fase parcial de decomposição, e a baixa contribuição de Microfitobentos, grupo considerado como uma importante fonte de alimento para as espécies de mugilídeos, na literatura (Oliveira & Soares, 1996). A contribuição moderada de invertebrados como Tanaidacea e Bivalvia para essa espécie não deve ser incomum, pois, embora, ela se alimente, predominantemente, de detritos e diatomáceas bentônicas, pode ingerir organismos bentônicos de pequenos tamanhos durante a sucção de sedimentos ou raspagem de rochas (Oliveira & Soares, 1996).

As diferenças entre os resultados obtidos pelos 2 métodos de estudo confirmam a importância da análise de isótopos estáveis no conhecimento da dieta assimilada pelos consumidores.

A análise de conteúdos estomacais fornece um registro pontual dos tipos e das quantidades de alimento consumidos por um organismo, e permite a identificação das presas em nível taxonômico específico (Amezcuca *et al.*, 2015). No entanto, o método produz um registro pontual da alimentação, e pode não representar a dieta assimilada pelos tecidos do organismo em um período de tempo anterior às coletas (Valiela, 1995; Vander Zanden *et al.*, 1997). Outra desvantagem se refere à precisão na identificação e quantificação dos itens alimentares, considerando as diferentes taxas de digestibilidade das presas (Polunin & Pinnegar, 2002; Pasquaud *et al.*, 2007; D'Ambra *et al.*, 2015).

Por sua vez, os valores dos isótopos estáveis expressam a dieta de um consumidor em médio e longo prazo, pois a composição isotópica de seus tecidos é resultado da contribuição dos diferentes componentes alimentares e do processo de assimilação da matéria orgânica no organismo (Peterson & Fry, 1987; Valiela, 1995). Enfatizando, assim como registrado anteriormente, os isótopos estáveis apresentam uma dinâmica complexa e os valores das razões isotópicas dos tecidos de um consumidor são resultados dos processos de

assimilação, fracionamento e incorporação dos isótopos nos tecidos (Suring & Wing; Martinez del Rio *et al.*, 2009).

Diante do exposto acima, é importante considerar a existência de uma defasagem temporal entre os resultados das análises de conteúdos estomacais e de isótopos estáveis dos peixes na Baía do Araçá. Enquanto os dados das análises estomacais evidenciaram a alimentação das espécies no mesmo período em que as coletas de amostras foram realizadas, os valores de isótopos estáveis expressaram a dieta assimilada pelos indivíduos em um intervalo de 1 a 3 meses antes das coletas, como esquematizado abaixo:

As diferentes contribuições dos grupos de presas apontadas pelos 2 métodos de estudo estão, possivelmente, associadas à disponibilidade do alimento nos intervalos de tempo considerados por cada um deles. Especificamente, as amostras de peixes e lulas foram coletadas em março/2013 (verão) e julho/2013 (inverno); considerando o tempo de incorporação dos isótopos, os valores isotópicos registrados no verão expressam a dieta assimilada entre o final da primavera e meados do verão (entre novembro/2012 e fevereiro/2013), enquanto que as amostras de inverno refletem a dieta assimilada, predominantemente, nos meses de outono (entre final de março/2013 e junho/2013).

A composição da dieta das espécies de peixes está associada a inúmeros fatores como a disponibilidade temporal das presas, o tamanho dos peixes, entre outros. A disponibilidade das presas, por sua vez, está relacionada à distribuição dos organismos, de acordo com as condições físicas do sistema (Longhurst & Pauly, 2007). Fatores como a temperatura e a salinidade da água do mar, a profundidade, a oxigenação e os sistemas de correntes influenciam a distribuição dos organismos marinhos (Wootton, 1995; Lowe-McConnell, 1999), como registrado por Pires-Vanin *et al.* (2008) no Canal de São Sebastião.

Na Baía do Araçá, Amaral *et al.* (2015c) verificaram um padrão sazonal da macrofauna na região entremarés, com maior riqueza de espécies e abundância de indivíduos nos meses de setembro/outubro, entre 2011 e 2013. No entanto, os autores destacaram que essa sazonalidade não é previsível, e a variabilidade observada pode estar associada a eventos climatológicos.

Entre os grupos de presas que contribuíram de forma expressiva para a dieta das espécies avaliadas pelo modelo SIAR, todos estiveram entre os de maior abundância na Baía do Araçá. Na região entremarés, os poliquetas (com destaque para as famílias Capitellidae, Orbiniidae e Nereididae) e os tanaidáceos (*Monokalliapseudes schubarti*) apresentaram elevado número de indivíduos entre setembro/2011 e setembro/2013 (Checon, 2013; Amaral *et al.*, 2015c). Os poliquetas foram ainda o grupo mais abundante da macrofauna no sublitoral da Baía do Araçá. Nessa região, os anfípodes *Ampelisca* sp. e os

camarões, entre os crustáceos, e diferentes espécies da classe Ophiuroidea se destacaram também pelo elevado número de indivíduos (Amaral *et al.*, 2015c).

Com relação à dificuldade de obtenção da composição da dieta das espécies de peixes planctófagas por meio das análises de isótopos, uma possível explicação seria a de que são os jovens das 3 espécies que utilizam a Baía do Araçá. A abundância de indivíduos pequenos de *Harengula clupeola*, *Sardinella brasiliensis* e de outros clupeiformes na área é decorrente da entrada de jovens provenientes da desova que ocorre na plataforma continental adjacente durante o ano. A desova de *H. clupeola* ocorre nos primeiros meses do ano e a de *S. brasiliensis*, entre novembro e março (Rossi-Wongtschowski *et al.*, 2015b). Sendo assim, é possível que os valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ dessas espécies expressem uma dieta mais enriquecida dos indivíduos ainda na plataforma continental. Valores maiores de $\delta^{13}\text{C}$ para a MPS do que os observados na Baía do Araçá ($-23,0 \pm 1,23\text{‰}$) foram registrados na Enseada do Flamengo, em Ubatuba ($-18,6 \pm 0,5\text{‰}$) (Corbisier *et al.*, 2006), e na região mais rasa da plataforma continental ao largo de Ubatuba (de $-21,7\text{‰}$ a $-20,5\text{‰}$) (Matsuura & Wada, 1994), demonstrando que os exemplares aqui analisados podem ter se alimentado previamente de presas mais enriquecidas em ^{13}C .

A utilização do modelo de mistura isotópica SIAR ofereceu resultados consistentes para as 6 espécies de peixes aqui analisadas, e mostrou-se uma ferramenta robusta como apontado por Parnell *et al.* (2010) e registrado por autores como Oliveira *et al.* (2014), Bergamino & Richoux (2015), entre outros. Em ecossistemas complexos e que sofrem constantes alterações, como é o caso da Baía do Araçá, a aplicação de um modelo de mistura isotópica é relevante, devido à dificuldade em se detectar fontes de matéria orgânica na base e ao longo das vias alimentares dos peixes (Pasquaud *et al.*, 2008; Selleslagh *et al.* 2015).

No entanto, a confiabilidade e precisão dos resultados do SIAR estão condicionadas a 4 aspectos: a utilização de Δ_{TEFs} de $\delta^{13}\text{C}$ e de $\delta^{15}\text{N}$ adequados aos tecidos e espécies em estudo; ao conhecimento das fontes (dados prévios de alimentação) utilizadas como entrada para o modelo; ao agrupamento das fontes, que deve ser direcionado para organizar todas as potenciais presas de

uma espécie em, no máximo, 6 ou 7 grupos; e ao número de amostras ($N \geq 20$) (Syvaranta *et al.*, 2013; Phillips *et al.*, 2014).

Variações nas composições isotópicas com o tamanho dos peixes podem decorrer de mudanças fisiológicas como a alocação diferencial dos nutrientes e a taxa de incorporação dos isótopos nos tecidos (Tieszen *et al.*, 1983; Gannes *et al.*, 1997). Essa variabilidade pode também estar associada à mudanças nas dietas das espécies quanto ao tipo, quantidade e tamanho das presas ingeridas, acompanhadas por modificações morfológicas e nas estratégias de forrageio e exploração do habitat (Gerking, 1994; Wootton, 1995). Além disso, a disponibilidade local dos alimentos pode implicar em razões isotópicas distintas nos peixes de diferentes comprimentos.

Variações de $\delta^{13}\text{C}$ e de $\delta^{15}\text{N}$ em peixes com o tamanho foram registradas em diferentes espécies. Na plataforma continental ao largo de Ubatuba e de Cabo Frio, Muto (2004) detectou um aumento nos valores de $\delta^{15}\text{N}$ associado à maior ingestão de pequenos crustáceos por peixes menores e de peixes teleósteos pelos maiores de diferentes espécies. Nos mesmos sistemas, houve um aumento nos valores de $\delta^{13}\text{C}$ e de $\delta^{15}\text{N}$ com o tamanho em indivíduos de *Merluccius hubbsi* (Muto & Soares, 2011), enquanto Costalago *et al.* (2012) registraram variações nos valores de $\delta^{13}\text{C}$ e de $\delta^{15}\text{N}$ com o comprimento e diferentes fases do ciclo de vida de duas espécies de clupeiformes, no noroeste do Mar Mediterrâneo.

No presente estudo, o fato de 4 espécies (*Diapterus rhombeus*, *Etropus crossotus*, *Mugil curema* e *Sardinella brasiliensis*) terem apresentado variações nos valores de $\delta^{13}\text{C}$ e não nos de $\delta^{15}\text{N}$ com o comprimento dos exemplares indica que, embora tenham ingerido presas diferentes, essas pertenceriam a um mesmo nível trófico, como sugerido por Davenport & Bax (2002).

É importante ressaltar que grande parte dos exemplares analisados na Baía do Araçá era de peixes pequenos, geralmente, jovens (Ross-Wongtshowski *et al.*, 2015b). Arantes (2014) não observou uma tendência clara de variação das presas encontradas nos conteúdos estomacais com o tamanho dos exemplares de *Diapterus rhombeus*; apenas maior importância de

pequenos crustáceos nos menores indivíduos. Ainda na Baía do Araçá, os menores exemplares de *Etropus crossotus* apresentaram dieta composta, principalmente, por camarões, enquanto os maiores ingeriram poliquetas e gamarídeos (Lima, 2015). No caso do *Mugil curema*, Oliveira & Soares (1996) verificaram em outro mugilídeo (*Mugil platanus*) que os itens principais na dieta de jovens e adultos foram semelhantes (diatomáceas bentônicas e detritos), mas com maior importância de pequenos invertebrados na dieta dos maiores exemplares, no estuário de Cananéia.

Diplectrum radiale não apresentou variação de $\delta^{13}\text{C}$ com o tamanho dos peixes, mas houve aumento de $\delta^{15}\text{N}$. Arantes (2014) não detectou uma tendência de variação clara da dieta com o tamanho dos exemplares na Baía do Araçá. No entanto, o autor verificou que teleósteos foram itens importantes nos conteúdos estomacais das maiores classes de tamanho, explicando os maiores valores de acordo com Davenport & Bax (2002).

Em relação à *Haemulopsis corvinaeformis*, houve aumento de $\delta^{13}\text{C}$ e diminuição de $\delta^{15}\text{N}$ com o tamanho dos exemplares. Embora tenha apresentado uma leve tendência em consumir pequenos crustáceos nas menores classes de comprimento, a espécie possui um largo espectro alimentar e um padrão claro de alimentação não foi observado por Arantes (2014) com base nos conteúdos estomacais da espécie.

As variações nos valores de $\delta^{13}\text{C}$ e de $\delta^{15}\text{N}$ com o tamanho dos peixes das espécies analisadas no presente estudo permitem inferir sobre a ocorrência de mudanças na alimentação desses peixes com o crescimento. No entanto, o conhecimento aprofundado das presas ingeridas, e suas respectivas contribuições nas dietas dos indivíduos de diferentes tamanhos, seria relevante. Quando possível, deve ser realizado um delineamento amostral que contemple um número de amostras suficiente para permitir comparações.

Cabe aqui uma última consideração: embora existam diferenças entre os resultados das análises de conteúdos estomacais e de isótopos estáveis, diferentes métodos de estudo são complementares. No caso específico do SIAR, é necessário o conhecimento prévio da alimentação e de quais grupos de presas deverão ser selecionados como entrada para o modelo; informações essas que podem ser fornecidas pela análise de conteúdos estomacais.

Apenas com base nesses conhecimentos pretéritos sobre a alimentação de uma espécie, é possível conhecer a dieta assimilada nos tecidos do consumidor através da aplicação de um modelo de mistura isotópica.

6.3. Posições tróficas e vias tróficas das espécies de peixes e lulas

Os peixes atuam como consumidores de diferentes níveis tróficos em um ecossistema, ocupando posições desde consumidores primários até consumidores de topo. No entanto, podem ser considerados onívoros tróficos, pois raramente atuam como consumidores em uma única etapa do processo de transferência de energia nas teias tróficas; de fato, comumente essas espécies utilizam uma ampla variedade de itens e exercem a função de consumidores em diferentes níveis tróficos (Longhurst & Pauly, 2007; Soares *et al.*, 2008). Embora seja complexo, é importante estimar as posições tróficas das espécies de peixes, uma vez que esse conhecimento permite compreender a estrutura trófica do ecossistema, fornecendo informações para modelos de manejo de pesca e gerenciamento (Pasquaud *et al.*, 2010; Amezcua *et al.*, 2015).

Na Baía do Araçá, os peixes e as lulas apresentaram posições tróficas entre 3,18 e 4,72, indicando que essas espécies atuam, predominantemente, como consumidores secundários e terciários-quaternários na teia alimentar. Embora tenham utilizado o Δ_{TEF} de $\delta^{15}N$ de +3,4‰, um resultado similar foi registrado por Carlier *et al.* (2007) para os peixes na Baía de Banyuls-sur-Mer, no Mar Mediterrâneo.

Ainda em concordância com as observações de Carlier *et al.* (2007), apenas o grupo dos peixes bentófagos/piscívoros e das lulas considerados no presente estudo apresentaram posições tróficas médias pertencentes ao 4º nível trófico; fato que, segundo esses autores, estaria de acordo com a posição de consumidores terciários ocupada pelos 2 grupos.

É importante ressaltar que a posição trófica média dos peixes herbívoros aqui analisados indicaria que essas espécies não atuam apenas como consumidoras primárias, e devem provavelmente ingerir pequenos invertebrados que se encontram associados às algas.

As estimativas obtidas neste estudo corroboram os resultados da teia trófica do Canal de Sebastião, construída a partir da análise de conteúdos estomacais, na qual a maioria das espécies se localizou no terceiro e no quarto níveis tróficos (Soares *et al.*, 2008). Elas também se alinham com os resultados de um modelo de interações tróficas do Canal de São Sebastião (Rocha *et al.*, 2008), no qual o grupo dos peixes bentófagos apresentou nível próximo a 3,5, enquanto as lulas e os peixes piscívoros apresentaram níveis próximos ou superiores a 4,0.

Como já foi discutido no item 6.1, a análise da tendência de propagação dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ permitiu detectar que as espécies de peixes e lulas analisadas na Baía do Araçá são componentes tanto da teia trófica pelágica (matéria particulada suspensa) como da bentônica (matéria orgânica do sedimento e microfitobentos).

Para os peixes bentófagos, bentófagos/piscívoros, onívoros (com exceção de *Mugil curema*) e as lulas, a base da teia trófica é composta, principalmente, por matéria particulada em suspensão (MPS), matéria orgânica dos sedimentos e microfitobentos. A diferença entre os valores médios de $\delta^{15}\text{N}$ desse grupos tróficos de peixes e das lulas (12,1‰ e 14,0‰) em relação à base da teia (5,1‰ e 6,0‰) foi de, aproximadamente, 9‰ e 3 níveis de transferências ao longo da cadeia alimentar (considerando o Δ_{TEF} de $\delta^{15}\text{N}$ de +2,9‰), o que coincidiria com as posições tróficas estimadas para essas espécies no presente estudo.

A base da teia trófica dos peixes herbívoros ($\delta^{13}\text{C} = -15,0\text{‰}$, $\delta^{15}\text{N} = 10,4\text{‰}$) é formada por algas verdes provenientes do sistema manguezal ($\delta^{13}\text{C} = -16,6\text{‰}$, $\delta^{15}\text{N} = 7,5\text{‰}$) e por turf ($\delta^{13}\text{C} = -15,8\text{‰}$, $\delta^{15}\text{N} = 7,5\text{‰}$). Diferenças em torno de 2‰ entre as razões isotópicas de carbono dos produtores e dos peixes, e de 2,9‰ nos valores de $\delta^{15}\text{N}$, indicam uma etapa de transferência na cadeia alimentar e coincidem com os hábitos alimentares dessas espécies. Cabe aqui a observação de que, como discutido anteriormente, a posição trófica estimada para os peixes herbívoros foi de 3,30, sugerindo que, provavelmente, esses peixes ingerem também pequenos invertebrados que se encontram associados às algas verdes e ao turf (Miller *et al.*, 2009; Martins *et*

al., 2016). No entanto, é necessário considerar que apenas duas espécies e um baixo número de amostras compuseram o grupo dos herbívoros.

Ainda através da distribuição dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ dos produtores e consumidores, foi possível notar que as plantas terrestres C3 e as espécies de manguezal não compõem a base das teias alimentares das espécies de peixes e lulas na Baía do Araçá, considerando o Δ_{TEF} de $\delta^{13}\text{C}$ adotado. Esses grupos apresentaram valores muito empobrecidos em ^{13}C ($-29,3\text{‰}$ e $-28,5\text{‰}$, respectivamente) em relação aos peixes e lulas. Os valores mais negativos de $\delta^{13}\text{C}$ desses produtores ($-29,4\text{‰}$ e $-28,5\text{‰}$), e a pequena contribuição para as teias tróficas locais, foram registrados anteriormente na Enseada do Flamengo e na plataforma continental ao largo de Ubatuba por Matsuura & Wada (1994) e Corbisier *et al.* (2006).

Gramíneas terrestres e aquáticas (seagrass) se apresentaram mais enriquecidas em ^{13}C do que todos os peixes e lulas estudados, e não se apresentam como base das vias tróficas das espécies (com exceção de *Mugil curema*), apesar de Matsuura & Wada (1994) terem sugerido que a monocotiledônea *Halodule* sp. seria uma importante fonte de matéria orgânica na área costeira de Ubatuba.

Em síntese, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ apresentados pelos peixes e lulas na Baía do Araçá são característicos de teias tróficas baseadas no fitoplâncton marinho, com a contribuição de produtores bentônicos, que, nesse sistema, são o microfitobentos e a matéria orgânica dos sedimentos. Na Enseada do Flamengo, em Ubatuba, Corbisier *et al.* (2006) detectaram que a teia trófica do sistema era baseada no fitoplâncton marinho, com a participação de macroalgas ou microalgas bentônicas. Na parte mais rasa da plataforma continental de Ubatuba, a principal fonte de carbono para o sistema bentônico foi o fitoplâncton, com indícios de contribuição de material terrígeno para os sedimentos (Corbisier, 2006). Selleslagh *et al.* (2015) registraram a importância do fitoplâncton marinho, com influência da matéria orgânica dos sedimentos, na base das teias alimentares dos peixes no estuário de Gironde, na França.

No caso da Baía do Araçá, essa afirmação pode ser reforçada pelo modelo trófico quantitativo desenvolvido para o sistema de plataforma de São Sebastião, no qual as principais fontes de matéria orgânica no sistema são o

fitoplâncton e os detritos. No Canal de São Sebastião, os fluxos provenientes dos detritos apresentaram grande importância, com destaque para a contribuição de organismos detritívoros, principalmente, Polychaeta (Rocha *et al.*, 2008).

Considerando em detalhe as vias tróficas das espécies bentófagas e bentófagas/piscívoras (*Diapterus rhombeus*, *Diplectrum radiale*, *Etropus crossotus*, *Haemulopsis corvinaeformis* e *Prionotus punctatus*), os valores de $\delta^{13}\text{C}$ são compatíveis com a via do microfitobentos e matéria orgânica dos sedimentos, da região entremarés, e da MPS da saída do emissário, que apresentaram maiores valores de $\delta^{13}\text{C}$ do que os da região sublitoral. A diferença entre os valores de $\delta^{13}\text{C}$ desses peixes e produtores é de, aproximadamente, 5,5‰, o que indicaria 3 a 4 etapas de transferências ao longo da cadeia alimentar; enquanto a diferença de $\delta^{15}\text{N}$ seria de, aproximadamente, 9‰, implicando em cerca de 3 etapas de transferências, e coincidindo com as posições tróficas das espécies.

Em uma posição intermediária aos valores de $\delta^{13}\text{C}$ desses produtores e os de $\delta^{13}\text{C}$ dos peixes, estão os grupos de invertebrados como Polychaeta Depositívoro (PD), Decapoda Caridea (DC), Decapoda Sicyoniidae (DS) e Ophiuroidea (OPH). Por sua vez, os valores observados de $\delta^{15}\text{N}$ reforçam o quadro de que esses invertebrados, com médias que variaram entre 9,0‰ e 10,8‰, seriam um elo intermediário entre a base das vias tróficas e os peixes (considerando o Δ_{TEF} de $\delta^{15}\text{N}$ de +2,9‰ aqui utilizado).

A análise conjunta da distribuição dos dados de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ e das composições das dietas dos peixes permite indicar que alguns grupos tróficos de presas foram mais expressivos nas vias alimentares das espécies analisadas. Dentro do grupo Polychaeta, apontado pelo SIAR como um dos principais itens, se destacaram os depositívoros (PD) nas vias tróficas dos peixes bentófagos e bentófagos/piscívoros. Esse resultado pode ser reforçado pelas informações sobre a disponibilidade local das presas, como o fato dos poliquetas depositívoros serem abundantes na Baía do Araçá (Checon, 2013). O mesmo pode ser observado para Camarões: de maneira geral, Decapoda Caridea e Decapoda Sicyoniidae participaram das vias das espécies de peixes bentófagos e bentófagos/piscívoros de forma mais expressiva do que

Decapoda Penaeidae. Amaral *et al.* (2015c) registraram a abundância de *Alpheus floridanus* e *Sicyonia* sp. nas estações mais profundas da região sublitoral da Baía do Araçá, entre setembro/2011 e setembro/2013.

Em relação às espécies planctófagas, a base das vias alimentares de *Anchoa tricolor*, *Harengula clupeola* e *Sardinella brasiliensis* na Baía do Araçá é, provavelmente, composta por MPS, microfitobentos e sedimentos, do sublitoral. Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ desses produtores (de $-23,8\text{‰}$ a $-23,0\text{‰}$) indicaram o fluxo para o zooplâncton de diferentes frações (de $-21,4\text{‰}$ a $-20,2\text{‰}$). Considerando também os valores de $\delta^{15}\text{N}$ dos produtores (de $5,0\text{‰}$ a $6,5\text{‰}$) e dos diferentes tamanhos do zooplâncton (de $7,4\text{‰}$ a $8,2\text{‰}$), é possível inferir que o zooplâncton se alimentaria do fitoplâncton e constituiria um elo intermediário nas vias tróficas dos peixes. Porém, uma ressalva deve ser feita nesse caso: a diferença entre as composições isotópicas do zooplâncton e os valores de $\delta^{13}\text{C}$ (de $-17,1\text{‰}$ a $-16,8\text{‰}$) e de $\delta^{15}\text{N}$ ($11,6\text{‰}$ a $12,9\text{‰}$) dos peixes parece indicar a ausência de um elo nas teias alimentares das espécies planctófagas na Baía do Araçá. Essa informação estaria de acordo com os resultados dos polígonos elaborados antes da aplicação do modelo de mistura e que indicaram a ausência de uma fonte que pudesse explicar as composições isotópicas dos peixes em estudo. No esquema com a distribuição dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ e de $\delta^{15}\text{N}$ elaborado para as espécies, é nítida a falta de um nível de transferência entre o zooplâncton e os peixes planctófagos.

A via alimentar da espécie onívora/detritívora *Mugil curema* tem como bases o microfitobentos da região entremarés, o turf, as algas verdes do manguezal e as gramíneas terrestres C4 na Baía do Araçá. Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ e de $\delta^{15}\text{N}$ do turf ($-15,8\text{‰}$ e $7,5\text{‰}$) e das algas verdes do manguezal ($-16,6\text{‰}$ e $7,5\text{‰}$) permitem inferir que esses produtores poderiam ser consumidos diretamente por *M. curema*, pois a diferença entre os valores de $\delta^{15}\text{N}$ envolve apenas uma etapa de transferência ao longo da cadeia alimentar. Já o valor de $\delta^{15}\text{N}$ do microfitobentos do entremarés ($5,3\text{‰}$) sugere um elo intermediário entre esse grupo e os peixes, possivelmente pequenos invertebrados. Mais complexa é a participação do grupo das gramíneas terrestres C4 (em forma de detritos em fase inicial de decomposição), cujo valor de $\delta^{15}\text{N}$ ($4,9\text{‰}$) também sugere a existência de um elo intermediário, mas que foi apontado como o de

maior contribuição para a dieta de *M. curema* pelo SIAR. Uma possível explicação é que apenas uma parte dos indivíduos analisados tenha ingerido diretamente esses detritos. No entanto, é importante salientar que informações prévias de alimentação de *M. curema* específicas para a Baía do Araçá não foram obtidas, tendo sido utilizados dados de outros sistemas, disponíveis na literatura. Sendo assim, os resultados do presente estudo devem ser vistos com cautela e necessitam de aprofundamento, considerando as dificuldades inerentes aos estudos de alimentação de peixes detritívoros.

Resultados consistentes sobre a participação das espécies de peixes e lulas na teia trófica pelágica e bentônica da Baía do Araçá foram gerados neste trabalho. Para as espécies bentófagas, bentófagas/piscívoras e lulas, a MPS na saída do emissário submarino (via pelágica) e o microfitobentos e a matéria orgânica dos sedimentos, da região entremarés (via bentônica), foram mais expressivas. Para as espécies planctófagas, a matéria orgânica basal do sublitoral se mostrou a via mais expressiva, enquanto a via de *Mugil curema* esteve associada ao sistema bentônico.

A participação dos consumidores em ambas as vias tróficas, funcionando como acopladores verticais, evidenciam as características da Baía do Araçá. Trata-se de um sistema peculiar, onde ocorre a interação entre o fundo e a superfície da coluna de água, proporcionada pela pequena profundidade e pelos processos dinâmicos de afundamento e ressuspensão da matéria orgânica e dos nutrientes, havendo uma mistura dos elementos pelágicos e bentônicos.

Como consequência do hábito nectônico, os peixes e lulas se deslocam da região sublitoral à região entremarés e vice-versa, acompanhando o movimento das marés na Baía do Araçá, promovendo o acoplamento horizontal. Existe, nesse caso, uma conectividade natural entre os 2 sistemas, quando o peixe se alimenta no Canal de Sebastião ou no interior da Baía do Araçá e transporta matéria e nutrientes entre eles. Com base em isótopos estáveis, Selleslagh *et al.* (2015) analisaram a alimentação de espécies de peixes em diferentes locais dentro do estuário de Gironde, na França, e verificaram que os peixes não se alimentaram exclusivamente nos locais onde

foram coletados, apresentando alta mobilidade e alto índice de interação com os componentes do sistema.

Os peixes planctófagos juvenis também promovem um acoplamento horizontal entre a Baía do Araçá e as áreas vizinhas, pois chegam à baía após terem se alimentado na plataforma continental adjacente, carreando nutrientes provenientes desse sistema.

A dinâmica e o funcionamento de diferentes ecossistemas são influenciados diretamente pelo fluxo de matéria e nutrientes provenientes de outras áreas. Animais que se deslocam entre regiões adjacentes ou entre ecossistemas mais distantes desempenham um papel fundamental no transporte desses nutrientes (Vanni, 2002; Oliveira *et al.*, 2014). Nesse contexto, é clara a importância dos peixes e lulas na Baía do Araçá, que atuam como acopladores e carreadores de nutrientes entre a baía e o Canal de São Sebastião, e contribuem, em última instância, para o funcionamento desses sistemas.

7. Conclusões e Considerações Finais

O presente trabalho pode ser considerado um estudo pioneiro, na medida em que foi desenvolvido em uma planície de maré de alta complexidade como parte de um projeto integrado, tendo disponíveis dados da variedade dos produtores do sistema.

Os resultados aqui apresentados evidenciam a importância dos peixes e das lulas na Baía do Araçá como carreadores de nutrientes e acopladores. Ao se alimentarem e se deslocarem, acompanhando os movimentos das marés, do interior da baía ao Canal de São Sebastião e vice versa, promovem tanto acoplamento pelágico-bentônico, como entre as regiões sublitoral e entremarés do sistema. Considera-se que os objetivos propostos neste trabalho foram cumpridos e as interações tróficas dos peixes e das lulas na Baía do Araçá foram investigadas. Entre as hipóteses de trabalho formuladas, duas foram aceitas e uma, refutada.

- As composições isotópicas de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) das 31 espécies de peixes e 2 de lulas estudadas variaram de $-17,2\text{‰}$ a $-12,1\text{‰}$ e de $-16,6\text{‰}$ a $-16,0\text{‰}$, respectivamente. As razões isotópicas de nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) dessas espécies variaram de $10,0\text{‰}$ a $14,5\text{‰}$ e de $12,2\text{‰}$ a $13,9\text{‰}$, respectivamente.

- Supõe-se que a variabilidade temporal nos valores de $\delta^{13}\text{C}$ nos peixes e lulas, maiores no verão, estão associados aos maiores valores das composições isotópicas na base que se propagaram na teia alimentar. Já os maiores valores de $\delta^{15}\text{N}$ nesses consumidores no inverno estão, possivelmente, relacionados a mudanças na dieta ou a variações remotas nas razões isotópicas da base que se propagaram na cadeia alimentar.

- As posições tróficas dos peixes e lulas variaram entre 3,18 e 4,72, indicando que essas espécies atuam como consumidores secundários e terciários-quaternários no sistema.

- As dietas assimiladas de *Diapterus rhombeus*, *Diplectrum radiale*, *Etropus crossotus*, *Haemulopsis corvinaeformis* e *Prionotus punctatus* foram analisadas através de aplicação do modelo de mistura isotópica SIAR.

Polychaeta, Ophiuroidea e Tanaidacea foram as fontes com maiores contribuições para essas espécies bentófagas e bentófagas/piscívoras. A predação desses grupos de presas está associada à sua disponibilidade na área, considerando-se que esses invertebrados apresentaram elevada abundância nas regiões entremarés e sublitoral da baía.

- A dieta de *Mugil curema*, também avaliada pela aplicação do modelo SIAR, teve contribuições expressivas das gramíneas terrestres C4, provavelmente ingeridas como detritos em fase inicial de decomposição, de Tanaidacea e de Bivalvia. No entanto, esses resultados devem ser vistos com cautela, uma vez que dados prévios de alimentação de *Mugil curema* específicos para a Baía do Araçá não foram obtidos, tendo sido utilizadas informações disponíveis na literatura para outros sistemas.

- O modelo de mistura isotópica SIAR se mostrou robusto e apresentou resultados consistentes. No entanto, as contribuições das fontes apontadas pelo SIAR diferem das análises de conteúdos estomacais, já que existe uma defasagem temporal entre as informações provenientes dos 2 métodos de estudos, considerando o intervalo de incorporação dos isótopos estáveis aos tecidos dos organismos.

- Houve variabilidade nos valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ com o tamanho dos indivíduos analisados de *Diapterus rhombeus*, *Diplectrum radiale*, *Etropus crossotus*, *Haemulopsis corvinaeformis*, *Mugil curema* e *Sardinella brasiliensis*. No entanto, para que essa variação pudesse ser entendida, seria importante o conhecimento da contribuição das presas por tamanho dos peixes. As análises através do modelo de mistura isotópica não foram aplicadas devido ao baixo número de amostras por classes de tamanho. Recomenda-se que, em estudos futuros, um número de amostras seja coletado para cumprir as premissas do modelo de mistura, permitindo interpretação plausível dos resultados.

- Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ dos produtores, dos peixes (com exceção de *Mugil curema*) e das lulas permitiram indicar que a base da teia trófica é composta por fitoplâncton, microfitobentos e matéria orgânica dos sedimentos.

- Para *Mugil curema*, a base é composta por gramíneas terrestres (detritos), turf, algas verdes do sistema manguezal e microfitobentos da região entremarés. Considerando-se a importância econômica de *M. curema*, há necessidade de um estudo aprofundado e específico para essa espécie.

Informações da dieta assimilada pelos indivíduos com base nos isótopos estáveis são de grande interesse, já que informações provenientes das análises de conteúdos estomacais são de difícil obtenção em espécies onívoras/detrítivas. Os resultados fornecidos no presente estudo são um registro inicial, mas necessitam de um aprofundamento.

Em relação às técnicas aplicadas no presente trabalho, ficou evidente a importância e utilidade dos isótopos estáveis nos estudos de teias tróficas marinhas, bem como a aplicação de um modelo de mistura isotópica. No entanto, existiram algumas dificuldades como o baixo número de amostras e a defasagem temporal no desenvolvimento deste estudo.

Alguns aspectos no desenvolvimento de um trabalho com o uso dessas técnicas devem ser considerados:

a) há necessidade de um delineamento amostral que contemple um número suficiente de amostras e que permita comparações consistentes (temporais, sazonais, locais, por tamanho, etc.). Sugere-se, nesse processo, também considerar o tempo de incorporação dos isótopos estáveis aos tecidos das espécies em estudo e realizar amostragens nos tempos condizentes a cada grupo;

b) a seleção correta dos fatores de enriquecimento tróficos a serem utilizados é primordial. Embora seja um processo complexo, sugere-se considerar a espécie, o tecido analisado e outras características específicas, caso não seja possível estimar os valores em laboratório;

c) os resultados gerados pelo modelo de mistura isotópica devem ser analisados também com base nas informações prévias das espécies. É necessário lembrar que o modelo sempre gerará um resultado. A robustez desses resultados depende dos dados utilizados como entrada para o modelo.

8. Referências Bibliográficas

- ABRANTES, K. & SHEAVES, M. (2009). Food web structure in a near-pristine mangrove área of the australian wet tropics. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **82(4)**: 597-607.
- AGUIARO, T. (1999). Espectro alimentar, dieta preferencial e interações tróficas de espécies de peixes em lagoas costeiras do litoral norte do estado do Rio de Janeiro, Brasil. Tese de Doutorado. São Carlos, Brasil: Universidade Federal de São Carlos.
- AMARAL, A.C.Z.; MIGOTTO, A.E.; TURRA, A. & SCHAEFFER-NOVELLI, Y. (2010). Araçá: biodiversidade, impactos e ameaças. *Biota Neotropica* **10(1)**: 220-265.
- AMARAL, A.C.Z.; TURRA, A.; CIOTTI, A.M.; ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C.L.D.B. & SCHAEFFER-NOVELLI, Y. (2015a). Vida na Baía do Araçá: Diversidade e Importância. São Paulo (SP): Lume. 98p.
- AMARAL, A.C.Z.; CORTE, G.N.; CHECON, H.H.; DIAS, G.M.; CHRISTOFOLETTI, R.; FONSECA, G. & DOMENICO, M. (2015b). A vida no fundo do mar. In: *Vida na Baía do Araçá: Diversidade e Importância*. (Amaral, A.C.Z.; Turra, A.; Ciotti, A.M.; Rossi-Wongtschowski, C.L.D.B. & Schaeffer-Novelli, Y., eds.), pp. 46-59. São Paulo (SP): Lume.
- AMARAL, A.C.Z.; TURRA, A.; DENADAI, M.R.; CORTE, G.N.; CHECON, H.H.; SILVA, C.F.; PADOVANNI, N.O.; DAOLIO, R.F.; MURAYAMA, R.K.; FORRONI, T.O.; BUENO, M.L.; GODOY, A.S. & GOMES FILHO, D. (2015c). Módulo 3: Sistema Bentônico. In: *3º. Relatório científico do projeto "Biodiversidade e funcionamento de um ecossistema costeiro subtropical: subsídios para gestão integrada - BIOTA/FAPESP-Araçá"*. (Amaral, A.C.Z., ed.). Submetido à FAPESP.
- AMEZCUA, F.; MURO-TORRES, V. & SOTO-JIMENEZ, M.F. (2015). Stable isotope analysis versus TROPH: a comparison of methods for estimating fish trophic positions in a subtropical estuarine system. *Aquatic Ecology* **49(2)**: 235-250.
- ARANTES, L.P.L. (2014). Relações alimentares de peixes da Enseada do Araçá (SP), Sudeste do Brasil. Dissertação de Mestrado. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. 106p.
- ÁVILA-DA-SILVA, A.O.; CARNEIRO, M.H. & MIRANDA, L.V. (2014). Módulo 8: Diagnóstico Pesqueiro. In: *2º. Relatório científico do projeto "Biodiversidade e funcionamento de um ecossistema costeiro subtropical: subsídios para gestão integrada - BIOTA/FAPESP-Araçá"*. (Amaral, A.C.Z., ed.). Submetido à FAPESP.
- ÁVILA-DA-SILVA, A.O.; CARNEIRO, M.H. & SAKAMOTO, M.S. (2015). Atividade pesqueira: suporte à vida no mar e ao pescador. In: *Vida na Baía do Araçá: Diversidade e Importância*. (Amaral, A.C.Z.; Turra, A.; Ciotti, A.M.; Rossi-Wongtschowski, C.L.D.B. & Schaeffer-Novelli, Y., eds.), pp. 78-87. São Paulo (SP): Lume.
- BASCOMPTE, J. (2009). Disentangling the web of life. *Science* **325**: 416:419.
- BELGRANO, A. (2005) Aquatic food webs ecology: old and new challenges. In: *Aquatic food webs: an ecosystem approach* (Belgrano, A.; Scharler, U.M.; Dunne, J. & Ulanowicz, R.E., eds), pp 1-4. New York: Oxford University Press.

- BERGAMINO, L. & RICHOUX, N.B. (2015). Spatial and temporal changes in estuarine food web structure: differential contributions of marsh grass detritus. *Estuaries and Coasts* **38**: 367-382.
- BÍCEGO, M.C.; ZANARDI-LAMARDO, E. & WEBER, R.R. (2008). Distribuição de hidrocarbonetos. In *Oceanografia de um Ecossistema Subtropical: Plataforma Interna de São Sebastião, SP*. São Paulo (Pires-Vanin, A.M.S., ed), pp. 123-139. São Paulo, Brazil: EDUSP.
- BISI, T.L.; LEPOINT, G.; AZEVEDO, A.D.; DORNELES, P.R.; FLACHE, L.; DAS, K.; MALM, O. & LAILSON-BRITO, J. (2012). Trophic relationships and Mercury biomagnification in Brazilian tropical coastal food webs. *Ecological Indicators* **18**:291-302.
- BUCHHEISTER, A. & LATOUR, R.J. (2010). Turnover and fractionation of carbon and nitrogen stable isotopes in tissues of a migratory coastal predator, summer flounder (*Paralichthys dantatus*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **67**: 445-461.
- CARLIER, A.; RIERA, P.; AMOUROUX, J.M.; BODIOU, J.Y. & GRÉMARE, A. (2007). Benthic trophic network in the Bay of Banyuls-sur-Mer (northwest Mediterranean France): na assessment based on stable carbon and nitrogen isotopes analysis. *Estuarine Coastal and Shelf Science* **72**: 1-15.
- CARRIÓ, J.A.; MAHIQUES, M.M.; JOVANE, L.; LOPES, R.C.F.; BÍCEGO, M.C. & SASAKI, D.K. (2015). Módulo 6: Dinâmica Sedimentar. In: *3º. Relatório científico do projeto "Biodiversidade e funcionamento de um ecossistema costeiro subtropical: subsídios para gestão integrada - BIOTA/FAPESP-Araçá"*. (Amaral, A.C.Z., ed.). Submetido à FAPESP
- CASTRO, B.M.; MIRANDA, L.B.; SILVA, L.S.; FONTES, R.F.C.; PEREIRA, A.F. & COELHO, L.C. (2008). Processos Físicos: Hidrografia, Circulação e Transporte. In: *Oceanografia de um Ecossistema Subtropical: Plataforma Interna de São Sebastião, SP* (Pires-Vanin, A.M.S., ed), pp. 59-121. São Paulo, Brazil: EDUSP.
- CAUT, S., ÂNGULO, E. & COURCHAMP, F. (2009). Variation in discrimination factors ($\Delta^{15}\text{N}$ and $\Delta^{13}\text{C}$): the effect of diet isotopic values and applications for diet reconstruction. *Journal of Applied Ecology* **46**: 443-453.
- CHECON, H.H. (2013). Associações de Polychaeta na Baía do Araçá, São Sebastião, litoral norte do estado de São Paulo. Dissertação de mestrado. Campinas, Brasil: Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Biologia. 101p.
- CHOUVELON, T., SPITZ, J., CAURANT, F., MÉNDEZ-FERNANDEZ, P., CHAPPUIS, A., LAUGIER, F., LE GOFF, E. & BUSTAMANTE, P. (2012). Revisiting the use of $\delta^{15}\text{N}$ in meso-scale studies of marine food webs by considering spatio-temporal variations in stable isotopic signatures – The case of an open ecosystem: The Bay of Biscay (North-East Atlantic). *Progress in Oceanography* **101**: 92-105.
- CIOTTI, A.M.; POLLERY, R.; KIEGER, R.; FERREIRA, A.; GIANNINI, M.F.C.; TOCCI, B. & BOVO, C.V. (2015). Módulo 1: Sistema Planctônico. In: *3º. Relatório científico do projeto "Biodiversidade e funcionamento de um ecossistema costeiro subtropical: subsídios para gestão integrada - BIOTA/FAPESP-Araçá"*. (Amaral, A.C.Z., ed.). Submetido à FAPESP.
- CLAUDINO, M.C., ABREU, P.C. & GARCIA, A.M. (2013). Stable isotopes reveal temporal and between-habitat changes in trophic pathways in a southwestern Atlantic estuary. *Marine Ecology Progress Series* **489**: 29-42.

- CLAUDINO, M.C.; PESSANHA A.L.M.; ARAUJO, F.G. & GARCIA, A.M. (2015). Trophic connectivity and basal food sources sustaining tropical aquatic consumers along a mangrove to ocean gradient. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **167**: 45-55.
- CONDINI, M.V.; HOEINGHAUS, D.J. & GARCIA, A.M. (2015). Trophic ecology of dusky grouper *Epinephelus marginatus* (Actinopterygii, Epinephelidae) in littoral and neritic habitats of southern Brazil as elucidated by stomach contents and stable isotope analyses. *Hydrobiologia* **743**: 109-125.
- CONWAY, N.M.; KENNICUTT, M.C. & VAN DOVER, C.L. (1994). Stable isotopes in study of marine chemosynthetic-based ecosystem. In: *Stable isotopes in ecology and environmental science* (Lajtha, K. & Michener, R., eds), pp.158-168. Oxford: Blackwell Publishing.
- CORBISIER, T.N. (2006). Trofodinâmica do ecossistema bentônico de plataforma continental da costa sudeste do Brasil: uso de isótopos estáveis de carbono e nitrogênio. Tese de Livre-Docência. São Paulo, Brasil: Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico. 116p.
- CORBISIER, T.N.; SOARES, L.S.H.; PETTI, M.A.V.; SILVA, M.H.C.; MUTO, E.Y.; MCCLELLAND, J. & VALIELA, I. (2006). Use of isotopic signatures to understand sources of nitrogen and structure of food webs in shallow coastal waters of southeastern Brazil. *Aquatic Ecology* **40**: 381-390.
- CORBISIER, T.N.; PETTI, M.A.V.; SOARES, L.S.H.; MUTO, E.Y.; BROMBERG, S. & VALIELA, I. (2014). Trophic structure of benthic communities in the Cabo Frio upwelling system (southeastern Brazilian shelf): a temporal study using stable isotope analysis. *Marine Ecology Progress Series* **512**: 23-38.
- COSTALAGO, D., NAVARRO, J., ÁLVAREZ-CALLEJA, I. & PALOMERA, I. (2012). Ontogenetic and seasonal changes in the feeding habits and trophic levels of two small pelagic fish species. *Marine Ecology Progress Series* **460**: 169-181.
- D'AMBRA, I., GRAHAM, W.M., CARMICHAEL, R.H. & HERNANDEZ JUNIOR, F.J. (2015). Fish rely on scyphozoan hosts as a primary food source: evidence from stable isotope analysis. *Marine Biology* **162**: 247-252.
- DAVENPORT, S.R. & BAX, N.J. (2002). A trophic study of a marine ecosystem off southeastern Australia using stable isotopes of carbon and nitrogen. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **59**: 514-530.
- DENIRO, M.J. & EPSTEIN, S. (1977). Mechanism of carbon isotope fractionation associated with lipid synthesis. *Science* **197**: 261-263.
- DENIRO, M.J. & EPSTEIN, S. (1978). Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **42**: 495-506.
- DENIRO, M.J. & EPSTEIN, S. (1981). Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **45**: 341-351.
- DOTTORI, M.; SIEGLE, E. & CASTRO, B.M. (2015). Hydrodynamics and water properties at the entrance of Araçá Bay, Brazil. *Ocean Dynamics* **65**: 1731-1741.
- FANELLI, E. & CARTES, J.E. (2010). Temporal variations in the feeding habits and trophic levels of three deep-sea demersal fishes from the western Mediterranean Sea, based on stomach contents and stable isotope analyses. *Marine Ecology Progress Series* **402**: 213-232.

- FAYE, D., MORAIS, L.T.DE, RAFFRAY, J., SADIO, O., THIAW, O.T. & LE LOC'H, F. (2011). Structure and seasonal variability of fish food webs in an estuarine tropical marine protected area (Senegal): evidence from stable isotope analysis. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **92**: 607-617.
- FRY, B. (1988). Food web structure on Georges Bank from stable C, N, and S isotopic compositions. *Limnology and Oceanography* **33**: 1182-1190.
- FRY, B. (2006). Stable isotope ecology. 3rd ed. New York: Springer. 308p.
- FRY, B. & SHERR, E.B. (1984). $\delta^{13}\text{C}$ measurements as indicators of carbon flow in marine and freshwater ecosystems. *Contributions in Marine Science* **27**: 13-47.
- FRY, B. & WAINRIGHT, S.C. (1991). Diatom sources of ^{13}C -rich carbon in marine food webs. *Marine Ecology Progress Series* **76**: 149-157.
- FRY, B.; ANDERSON, R.K.; ENTZEROTH, L.; BIRD, J.L. & PARK, P.L. (1984). ^{13}C enrichment and oceanic food web structure in the northeastern Gulf of Mexico. *Contributions in Marine Science* **27**: 49-63.
- GANNES, L.Z.; O'BRIAN, D.M. & MARTINEZ DEL RIO, C. (1997). Stable isotopes in animal ecology: assumptions, caveats, and a call for more experiments. *Ecology* **78**: 1271-1276.
- GARCIA, A.M.; HOEINGHAUS, D.J.; VIEIRA, J.P. & WINEMILLER, K.O. (2007). Isotopic variation of fishes in freshwater and estuarine zones of a large subtropical coastal lagoon. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. **73**(3-4): 399-408.
- GERKING, S.D. (1994). Feeding ecology of fish. San Diego: Academic Press. 416p.
- GOERICHKE, R.; MONTOYA, J.P. & FRY, B. (1994). Physiology of isotopic fractionation in algae and cyanobacteria. In: *Stable isotopes in ecology and environmental science* (Lajtha, K. & Michener, R., eds), pp. 187-221. Oxford: Blackwell Publishing.
- GU, B. & ALEXANDER, V. (2003). Estimation of N_2 fixation based on differences in the natural abundance of ^{15}N among fresh-water N_2 -fixing and non- N_2 -fixing algae. *Oecologia* **96**: 43-48.
- GUELINCKX, J.; MÃES, J.; VAN DEN DRIESSE, P.; GEYSEN, B.; DEHAIRS, F. & OLLEVIER, F. (2007). Changes in $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ in different tissues of juvenile sand goby *Pomatoschistus minutus*: a laboratory diet switch experiment. *Marine Ecology Progress Series* **341**: 205-215.
- HADWEN, W.L. & ARTHINGTON, A.H. (2007). Food webs of two intermittently open estuaries receiving ^{15}N -enriched sewage effluent. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **71**: 347-358.
- HARRIS, D.; HORWÁTH, W.R. & KESSEL, C.V. (2001). Acid fumigation of soils to remove carbonates prior to total organic carbon or carbon-13 isotopic analysis. *Soil Science Society of America Journal* **65**: 1853-1856.
- HELFMAN, G.S.; COLLETE, B.B.; FACEY, D.E. & BOWEN, B.W. (2009). The diversity of fishes: biology, evolution, and ecology. 2nd ed. Oxford: Wiley-Blackwell. 737p.
- HOBSON, K.A.; AMBROSE JR, W.G. & RENAUD, P.E. (1995). Sources of primary production, benthic-pelagic coupling, and trophic relationships within the Northeast Water Polynya: insights from $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ analysis. *Marine Ecology Progress Series* **128**: 1-10.

- INGRAM, R.L. (1971). Sieve analysis. In: *Procedures in sedimentary petrology* (Carver, R.E., ed.), pp 49-67. New York: Wiley and Sons.
- JACOB, U.; MINTENBECK, K.; BREY, T.; KNUST, R. & BEYER, K. (2005). Stable isotope food web studies: a case for standardized sample treatment. *Marine Ecology Progress Series* **287**: 251-253.
- JARDINE, T.D.; MCGEACHY, S.A.; PATON, C.M.; SAVOIE, M. & CUNJAK, R.A. (2003) Stable isotopes in aquatic systems: sample preparation, analysis, and interpretation. *Canadian Manuscript Report of Fisheries and Aquatic Sciences* **2656**: 1-39.
- JENNINGS, S.; RENÖNES, O.; MORALES-NIN, B.; POLUNIN, N.V.C.; MORANTA, J. & COLL, J. (1997). Spatial variation in the ^{15}N and ^{13}C stable isotope composition of plants, invertebrates and fishes of Mediterranean reefs: implications for the study of trophic pathways. *Marine Ecology Progress Series* **146**: 109-116.
- JENNINGS, S.; PINNEGAR, J.K.; POLUNIN, N.V.C. & WARR, K.J. (2002). Linking size-based and trophic analyses of benthic community structure. *Marine Ecology Progress Series* **226**: 77-85.
- KILJUNEN, M.; GREY, J.; SINISALO, T.; HARROD, C.; IMMONEN, H. & JONES, R.I. (2006) A revised model for lipid-normalising $\delta^{13}\text{C}$ values from aquatic organisms, with implications for isotope mixing models. *Journal of Applied Ecology* **43**: 1213-1222.
- LACERDA, L.D.; REZENDE, C.E.; MARTINELLI, L.A.; OVALLE, A.R.C.; NOGUEIRA, F.; VICTORIA, R.L.; ARAGON, G.T.; CUNHA, C.T. & SOUZA, C.A.R. (1986). Composição isotópica de carbono em componentes de um ecossistema de manguezal na Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro. *Ciência e Cultura* **38**(10): 1714-1717.
- LACERDA, L.D.; Silva, C.A.R. & Martinelli; L.A. (1991). Food sources for the mangrove tree crab *Aratus pisonii*: a carbon isotopic study. *Revista Brasileira de Biologia* **51**(3): 685-687.
- LAMAS, R.A.; ROSSI-WONGTSHOWSKI, C.L.D.B. & CONTENTE, R.F.C. Checklist of the fish fauna of the Araçá Bay, São Sebastião Channel, Northern coast of São Paulo, Brazil (no prelo).
- LAMPARELLI, C.C.; MOURA, D.O.; VINCENT, R.C.; RODRIGUES, F.O.; LOPES, C.F. & MILANELLI, J.C.C. (1998). Mapeamento dos ecossistemas costeiros do Estado de São Paulo. Secretaria no Meio Ambiente, CETESB, São Paulo.
- LAYMAN, C.A.; ARAUJO, M.S.; BOUCEK, R.; HAMMERSCHLAG-PEYER, C.M.; HARRISON, E.; ZACHARY, R.J.; MATICH, P.; ROSENBLATT, A.E.; VAUDO, J.J.; YEAGER, L.A.; POST, D.M. & BEARSHOP, S. (2012). Applying stable isotopes to examine food-web structure: an overview of analytical tools. *Biological Reviews* **87**: 545-562.
- LIMA, F.A. (2015). *Etropus crossotus* (Paralichthyidae) da Baía do Araçá, São Sebastião (SP): composição e variabilidade da dieta. Trabalho de Graduação. São Paulo, Brasil: Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico.
- LONGHURST, A.R. & PAULY, D. (2007). Ecologia dos oceanos tropicais. São Paulo: EDUSP. 419p.
- LOWE-MCCONNELL, R.H. (1999). Estudos ecológicos de comunidades de peixes tropicais. São Paulo: EDUSP. 534p.

- MANTELATTO, F.L.; CHRISTOFOLETTI, R.A. & CAMARGO, P.B. (2002). A food source analysis for the swimming crab *Callinectes ornatus* (Portunidae) in Ubatuba Bay (Brazil), using carbon isotopes. *Nauplius* **10(1)**: 61-66.
- MARTINS, G.M.; HIPÓLITO, C.; PARREIRA, F.; PRESTES, A.C.L.; DIONÍSIO, M.A.; AZEVEDO, J.M.N. & NETO, A.I. (2016). Differences in the structure and functioning of two communities: frondose and turf-forming macroalgal dominated habitats. *Marine Environmental Research* **116**: 71-77.
- MARTINELLI, L.A.; OMETTO, J.P.H.B.; FERRAZ, E.S.; VICTORIA, R.L.; CAMARGO, P.B. & MOREIRA, M.Z. (2009). Desvendando questões ambientais com isótopos estáveis. São Paulo: Oficina de Textos. 144p.
- MARTINEZ DEL RIO, C.; WOLF, N.; CARLETON, S.A. & GANNES, L.Z. (2009). Isotopic ecology ten years after a call for more laboratory experiments. *Biological Reviews* **84**: 91-111.
- MATSUURA, Y. & WADA, E. (1994). Carbon and stable isotope ratios in marine organic matters of the coastal ecosystem in Ubatuba, southern Brazil. *Ciência e Cultura* **46(3)**: 141-146.
- MCCONNAUGHEY, T. & MCROY, C.P. (1979). Food-web structure and the fractionation of carbon isotopes in the Bearing Sea. *Marine Biology* **53**: 257-262.
- MCCUTCHAN JR., J.H.; LEWIS JR., W.M.; KENDALL, C. & MCGRATH, C.C. (2003). Variation in trophic shift for stable isotope ratios of carbon, nitrogen, and sulfur. *Oikos* **102**: 378-390.
- MICHENER, R.H. & KAUFMAN, L. (2007). Stable isotopes ratios as tracers in marine food webs: an update. In: *Stable isotopes in ecology and environmental science*. 2nd ed. (Michener, R.H. & Lajtha, K., eds), pp. 238-282. Oxford: Blackwell Publishing.
- MICHENER, R.H. & LAJTHA, K. (2007). Stable isotopes in ecology and environmental science. 2nd ed. Oxford: Blackwell Publishing. 594p.
- MICHENER, R.H. & SCHELL, D.M. (1994). Stable isotope ratios as tracers in marine aquatic food webs. In: *Stable isotopes in ecology and environmental science* (Lajtha, K. & Michener, R., eds), pp.138-157. Oxford: Blackwell Publishing.
- MILLER, R.J.; REED, D.C. & BRZEZINSKI, M.A. (2009). Community structure and productivity of subtidal turf and foliose algal assemblages. *Marine Ecology Progress Series* **388**: 1-11.
- MINAGAWA, M. & WADA, E. (1984). Stepwise enrichment of ¹⁵N along food chains: Further evidence and the relationship between δ¹⁵N and animal age. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **48**: 1135-1140.
- MONTEIRO, P.M.S.; JAMES, A.G.; SHOLTO-DOUGLAS, A.D. & FIELD, J.G. (1991). The δ¹³C trophic position isotope spectrum as a tool to define and quantify carbon pathways in marine food webs. *Marine Ecology Progress Series* **78**: 33-40.
- MONTOYA, J.P. (2007). Natural abundance of ¹⁵N in marine planktonic ecosystems. In: *Stable isotopes in ecology and environmental science*. 2nd ed. (Michener, R.H. & Lajtha, K., eds), pp. 176-200. Oxford: Blackwell Publishing.
- MONTOYA, J.P.; HERRIGAN, S.G. & MCCARTHY, J.J. (1991). Rapid, storm-induced changes in the natural abundance of ¹⁵N in a planktonic system. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **55**: 1617-1628.

- MONTOYA, J.P.; CARPENTER, E.J. & CAPONE, D.G. (2002). Nitrogen fixation and nitrogen isotope abundances in zooplankton of the oligotrophic North Atlantic. *Limnology and Oceanography* **47**(6): 1617-1628.
- MOORE, J.W. & SEMMENS, B.X. (2008). Incorporating uncertainty and prior information into stable isotope mixing models. *Ecology Letters* **11**: 470-480.
- MUTO, E.Y. (2004). Variações isotópicas de ^{13}C e ^{15}N de peixes demerso-pelágicos do ecossistema de plataforma ao largo de Cabo Frio (RJ) e Ubatuba (SP). Tese de Doutorado. São Paulo, Brasil: Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico. 142p.
- MUTO, E.Y. & SOARES, L.S.H. (2011). Spatio-temporal variations in the diet and stable isotope composition of the Argentine hake *Merluccius hubbsi* Marine, 1933 of the continental shelf of Southeastern Brazil. *Marine Biology* **158**(7): 1619-1630.
- MUZUKA, A.N.N. & SHUNULA, J.P. (2006). Stable isotope compositions of organic carbon and nitrogen of two mangrove stands along the Tanzanian coastal zone. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **66**: 447-458.
- NAGATA, R.M.; MOREIRA, M.Z.; PIMENTEL, C.R. & MORANDINI, A.C. (2015). Food web characterization based on delta N-15 and delta C-13 reveals isotopic niche partitioning between fish and jellyfish in a relatively pristine ecosystem. *Marine Ecology Progress Series* **519**: 13-27.
- O'LEARY, M.H. (1981). Carbon isotopes in photosynthesis. *BioScience* **38**: 328-336.
- OLIVEIRA, I.R. & SOARES, L.S.H. (1996). Alimentação da tainha *Mugil platanus* Gunther, 1880 (Pisces: Mugilidae) da região estuarino-lagunar de Cananéia, São Paulo, Brasil. *Boletim do Instituto de Pesca* **23**: 95-104.
- OLIVEIRA, M.C.L.M., BASTOS, R.F., CLAUDINO, M.C., ASSUMPÇÃO, C.M. & GARCIA, A.M. (2014). Transport of marine-derived nutrients to subtropical freshwater food webs by juvenile mullets: a case study in southern Brasil. *Aquatic Biology* **20**: 91-100.
- OWENS, N.J.P. (1987). Natural variations in ^{15}N in the marine environment. *Advances in Marine Biology* **24**: 389-451.
- PARNELL, A.C.; INGER, R., BEARHOP, S. & JACKSON, A.L. (2010). Source partitioning using stable isotopes: coping with too much variation. *PLoS ONE* **5**(3): 1-5.
- PASQUAUD, S.; LOBRY, J. & ELIE, J. (2007). Facing the necessity of describing estuarine ecosystems: a review of food web ecology study techniques. *Hydrobiologia* **588**: 159-172.
- PASQUAUD, S.; ELIE, P.; JEANSET, C.; BILLY, I.; MARTINEZ, P. & GIRADIN, M. (2008). A preliminary investigation of the fish food web in the Gironde estuary, France, using dietary and stable isotope analyses. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **78**: 267-279.
- PASQUAUD, S.; PILLET, M.; DAVID, V. SAUTOUR, B. & ELLIE, P. (2010). Determination of fish trophic levels in an estuarine system. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **86**: 237-246.
- PETERSON, B.J. & FRY, B. (1987). Stable isotopes in ecosystem studies. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* **18**: 293-320.

- PHILLIPS, D.L. & GREGG, J.G. (2003). Source partitioning using stable isotopes: coping with too many sources. *Oecologia* **136**: 261-269.
- PHILLIPS, D.L.; INGER, R.; BEARHOP, S.; JACKSON, A.L.; MOORE, J.W.; PARNELL, A.C.; SEMMENS, B.X. & WARD, E.J. (2014). Best practices for use of stable isotope mixing models in food-web studies. *Canadian Journal of Zoology* **92**: 823-835.
- PINNEGAR, J.K. & POLUNIN, N.V.C. (1999). Differential fractionation of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ among fish tissues: implications for the study of trophic interactions. *Functional Ecology* **13**: 225-231.
- PIRES-VANIN, A.M.S. (2008). Megafauna e macrofauna. In *Oceanografia de um Ecossistema Subtropical: Plataforma Interna de São Sebastião, SP* (Pires-Vanin, A.M.S., ed), pp. 311-349. São Paulo, Brazil: EDUSP.
- POLUNIN, N.V.C. & PINNEGAR, J.K. (2002). Trophic ecology and the structure of marine food webs. In *Handbook of fish biology and fisheries* (Hart, P. J. B. & Reynolds, J. D., eds), pp. 301-316. Oxford: Blackwell Publishing.
- POST, D.M. (2002). Using stable isotopes to estimate trophic position: Models, methods and assumptions. *Ecology* **83**: 703-718.
- POST, D.M.; PACE, M.L. & HAIRSTON, N.G. (2000). Ecosystem size determines food-chain length in lakes. *Nature* **405**: 1047-1049.
- RAU, G.H.; MEARNES, A.J.; YOUNG, D.R.; OLSON, R.J.; SCHAFER, H.A. & KAPLAN, I.R. (1983). Animal $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ correlates with trophic level in pelagic food webs. *Ecology* **64**: 1314-1318.
- RAU, G.H.; AINLEY, D.G.; BENGSTON, J.L.; TORRES, J.J. & HOPKINS, T.L. (1992). $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ and $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ in Weddell Sea birds, seals, and fish: implications for diet and trophic structure. *Marine Ecology Progress Series* **84**: 1-8.
- RICEVUTO, E.; VIZZINI, S.; LARDICCI, C. & GOMES, A.S. (2013). Spatial variability of macrozoobenthic community and trophic structure of a sublittoral lagoon on southeastern Brazil's Atlantic coast. *Brazilian Journal of Oceanography* **61**: 113-128.
- ROCHA, G.R.A.; ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C.L.D.B.; PIRES-VANIN, A.M. & SOARES, L.S.H. (2008). Abordagem ecossistêmica e modelos ecológicos. In *Oceanografia de um Ecossistema Subtropical: Plataforma Interna de São Sebastião, SP* (Pires-Vanin, A.M.S., ed), pp. 429-448. São Paulo, Brazil: EDUSP.
- ROLFF, C. (2000). Seasonal variation in $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ of size fractionated plankton at a coastal station in the northern Baltic proper. *Marine Ecology Progress Series* **203**: 47-65.
- ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C.L.D.B.; CONTENTE, R.F.; SOARES, L.S.H.; MANCINI, P.L.; VAZ-DOS-SANTOS, A.M. & SANTOS, M.C.O. (2015a). A vida na coluna d'água. In: *Vida na Baía do Araçá: Diversidade e Importância*. (Amaral, A.C.Z.; Turra, A.; Ciotti, A.M.; Rossi-Wongtschowski, C.L.D.B. & Schaeffer-Novelli, Y., eds.), pp. 38-45. São Paulo (SP): Lume.
- ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C.L.D.B.; CONTENTE, R.F.; SILIPRANDI, C.; BRENHA, M.R.; LAMAS, R.A. & CONVERSANI, V. (2015b). Módulo 2: Sistema Nectônico. In: *3º Relatório científico do projeto "Biodiversidade e funcionamento de um ecossistema costeiro subtropical: subsídios para gestão integrada - BIOTA/FAPESP-Araçá"*. (Amaral, A.C.Z., ed.). Submetido à FAPESP.

- SAKANO, H.; FUJIWARA, E.; NOHARA, S. & UEDA, H. (2005). Estimation of nitrogen stable isotope turnover rate of *Oncorhynchus nerka*. *Environmental Biology of Fishes* **72**: 13-18.
- SCHWAMBORN, R.; EKAU, W.; VOSS, M. & SAINT-PAUL, U. (2002). How important are mangroves as a carbon source for decapod crustacean larvae in a tropical estuary? *Marine Ecology Progress Series* **229**: 195-205.
- SELLESLAGH, J.; BLANCHET, H.; BACHELET, G. & LOBRY, J. (2015). Feeding habits, connectivity and origin of organic matter supporting fish populations in an estuary with a reduced intertidal area assessed by stable isotope analysis. *Estuaries and Coasts* **38**: 1431-1447.
- SEMMENS, B.; STOCK, B.; WARD, E.; MOORE, J.; PARNELL, A.; JACKSON, A.; PHILLIPS, D.; BEARHOP, S. & INGER, S. (2013). MixSIAR: A Bayesian stable isotope mixing model for characterizing intrapopulation niche variation. Presented at Ecological Society of America, Minneapolis, MN, August 04 - 09, 2013.
- SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; MEDEIROS, C.F.L.; REIS NETO, A.S.; ABUCHALHA, G.M.O.; GRASSO, M. & CINTRON, G. (2015). Módulo 4: Sistema Manguezal. In: 3º. Relatório científico do projeto "Biodiversidade e funcionamento de um ecossistema costeiro subtropical: subsídios para gestão integrada - BIOTA/FAPESP-Araçá". (Amaral, A.C.Z., ed.). Submetido à FAPESP.
- SHERWOOD, G.D. & ROSE, G.A. (2005). Stable isotope analysis of some representative fish and invertebrates of the Newfoundland and Labrador continental shelf food web. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **63**: 537-549.
- SHOLTO-DOUGLAS, A.D.; FIELD, J.G.; JAMES, A.G. & VAN DER MERWE, N.J. (1991). $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ and $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ isotope ratios in the Southern Benguela Ecosystem: indicators of food web relationships among different size-classes of plankton and pelagic fish; differences between fish muscle and bone collagen tissues. *Marine Ecology Progress Series* **78**: 23-31.
- SIEGLE, E.; DOTTORI, M. & VILAMARIN, B. (2015). Módulo 5: Hidrodinâmica. In: 3º. Relatório científico do projeto "Biodiversidade e funcionamento de um ecossistema costeiro subtropical: subsídios para gestão integrada - BIOTA/FAPESP-Araçá". (Amaral, A.C.Z., ed.). Submetido à FAPESP.
- SOARES, L.S.H.; CORBISIER, T.N.; PETTI, M.A.V.; SILVA, M.H. DA; MUTO, E.Y.; MCCLELLAND, J. & VALIELA, I. (2002). Use of isotopic signatures to understand sources of nitrogen and structure of food webs in shallow coastal waters of Southern Brazil. In *I Simpósio Brasileiro de Oceanografia, resumo, cd 1*. São Paulo, Brazil: Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico.
- SOARES L.S.H., MUTO, E.Y.; GASPARRO, M.R.; ROSSI-WONGSTCHOWSKI, C.L.D.B. (2008). Organização trófica dos peixes. In *Oceanografia de um Ecossistema Subtropical: Plataforma Interna de São Sebastião, SP* (Pires-Vanin, A.M.S., ed), pp. 405-425. São Paulo, Brazil: EDUSP.
- SOARES, L.S.H.; MUTO, E.Y.; LOPEZ, J.P.; CLAUZET, G.R.V. & VALIELA, I. (2014). Seasonal variability of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ of fish and squid in the Cabo Frio upwelling system of the southwestern Atlantic. *Marine Ecology Progress Series* **512**: 9-21.
- SOARES L.S.H., ARANTES, L.P.L. & PUCCI, M.C.J. Food web baseline of Araçá Bay – Atlantic southwestern: spatio-temporal changes of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values. Em preparação.

- STOUFFER, D.B.; SALES-PARDO, M.; IRMAK SIRER, M. & BASCOMPTE, J. (2012). Evolutionary conservation of species roles in food webs. *Science* **335**: 1489-1492.
- SULZMAN, E.W. (2007). Stable isotope chemistry and measurement: a primer. In: *Stable isotopes in ecology and environmental science*. 2nd ed. (Michener, R.H. & Lajtha, K., eds), pp. 1-21. Oxford: Blackwell Publishing.
- SURING, E. & WING, S.R. (2005). Isotopic turnover rate and fractionation in multiple tissues of red rock lobster (*Jasus edwardsii*) and blue cod (*Parapercis colias*): consequences for ecological studies. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **370**: 56–63.
- SYVARANTA, J.; LENSU, A.; MARJOMAKI, T.J.; OKSANEN, S. & JONES, R.I. (2013). An empirical evaluation of the utility of convex hull and standard ellipse areas for assessing population niche widths from stable isotope data. *Plos One* **8(2)**: 1-8.
- TIESZEN, L.L.; BOUTTON, T.W.; TESDAHL, K.G. & SLADE, N.A. (1983). Fractionation and turnover of stable carbon isotopes in animal tissues: implications for $\delta^{13}\text{C}$ analyses of diet. *Oecologia* **57**: 32-37.
- TURRA, A.; PERES, C. M. & SANTOS, R.S. (2015). Histórico da Baía do Araçá. In: *Vida na Baía do Araçá: Diversidade e Importância*. (Amaral, A.C.Z.; Turra, A.; Ciotti, A.M.; Rossi-Wongtschowski, C.L.D.B. & Schaeffer-Novelli, Y., eds.), pp. 18-27. São Paulo (SP): Lume.
- VALIELA, I. (1995). Marine ecological processes. 2nd ed. New York: Springer. 686p.
- VANDER ZANDEN, M.J. & RASMUSSEN, J.B. (2001). Variation in $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ trophic fractionation: implications for aquatic food web studies. *Limnology and Oceanography* **46**: 2061-2066.
- VANDER ZANDEN, M.J. CABANA, G. & RASMUNSEN, J.B. (1997). Comparing trophic position of freshwater fish calculated using stable nitrogen isotope ratios ($\delta^{15}\text{N}$) and literature dietary data. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **54**: 1142-1158.
- VANDER ZANDEN, M.J., LESTER, N.P.; SHUTER, B.J. & RASMUSSEN, J.B. (1999). Patterns of food chain length in lakes: a stable isotope study. *American Naturalist* **154**: 406-416.
- VANDERKLIFT, M.A. & PONSARD, S. (2003). Sources of variation in consumer-diet $\delta^{15}\text{N}$ enrichment: a meta-analysis. *Oecologia* **136**: 169-182.
- VANNI, M.J. (2002). Nutrient cycling by animals in freshwater ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* **22**: 341-370.
- WARD, E.J., SEMMENS, B. & SCHINDLER, D. (2010). Including source uncertainty and prior information in the analysis of stable isotope mixing models. *Environmental Science and Technology* **44**: 4645–4650.
- WOOTTON, R.J. (1995). Ecology of teleost fishes. 2nd ed. London: Chapman and Hall. 404p.
- WU, J.P.; CALVERT, S.E. & WONG, C.S. (1997). Nitrogen isotope variations in the subarctic northeast Pacific: relationships to nitrate utilization and trophic structure. *Deep-sea Research* **44**: 287-314.

- WU, J.P.; CALVERT, S.E. & WONG, C.S. (1999). Carbon and nitrogen isotope ratios in sedimenting particulate organic matter at an upwelling site off Vancouver Island. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **48**: 193-203.
- YOKOYAMA, H.; TAMAKI, A.; HARADA, K.; SHIMODA, K.; KOYAMA, K. & ISHIHI, Y. (2005). Variability of diet-tissue isotopic fractionation in estuarine macrobenthos. *Marine Ecology Progress Series* **296**: 115-128.
- ZAR, J.H. (1996). Biostatistical analysis. 3rd ed. New Jersey, Prentice Hall. 662p.

TABELAS

Tabela 1: Hábitos alimentares e grupos tróficos das espécies de peixes e lulas estudadas na Baía do Araçá.

Espécies	Hábito Alimentar	Itens Alimentares	Referências Bibliográficas
PEIXES			
Herbívoros			
<i>Kyphosus sectatrix</i>	herbívoros	plantas e macroalgas	Froese & Pauly, 2014
<i>Nicholsina usta usta</i>	herbívoros	plantas e macroalgas	Allen <i>et al.</i> , 2006; Froese & Pauly, 2014
Onívoros			
<i>Mugil curema</i>	detritívoro	detritos e diatomáceas bentônicas	Deus <i>et al.</i> , 2007; Froese & Pauly, 2014
<i>Harengula clupeola</i>	planctófago	zooplâncton e fitoplâncton	Hofling <i>et al.</i> , 2000; Chaves & Vendel, 2008
<i>Sardinella brasiliensis</i>	planctófago	zooplâncton e fitoplâncton	Goiten, 1983; Hofling <i>et al.</i> , 2000
<i>Atherinella brasiliensis</i>	planctófago/detritívoro	zooplâncton, fitoplâncton e detritos	Chaves & Vendel, 2008; Contente <i>et al.</i> , 2011
<i>Hyporhamphus unifasciatus</i>	planctófago/herbívoros	plantas e macroalgas, zooplâncton	Figueiredo & Menezes, 1978; Froese & Pauly, 2014
<i>Hemirhamphus brasiliensis</i>	herbívoros/planctófago/piscívoro/bentófago	plantas e macroalgas, zooplâncton, peixes, moluscos	Figueiredo & Menezes, 1978; Froese & Pauly, 2014
<i>Anchoa tricolor</i>	planctófago	zooplâncton: larvas de crustáceos e moluscos	Figueiredo & Menezes, 1978
Carnívoros			
<i>Trichiurus lepturus</i>	piscívoro	peixes	Pucci, 2004; Soares <i>et al.</i> , 2008; Arantes, 2014
<i>Albula vulpes</i>	piscívoro/bentófago	peixes e invertebrados bentônicos	Weinberger & Posada, 2005; Arantes, 2014

Tabela 1 (continuação): Hábitos alimentares e grupos tróficos das espécies de peixes e lulas estudadas na Baía do Araçá.

Espécies	Hábito Alimentar	Itens Alimentares	Referências Bibliográficas
PEIXES			
Carnívoros			
<i>Caranx latus</i>	piscívoro/bentófago	peixes, invertebrados bentônicos	Silvano, 2001; Arantes, 2014; Froese & Pauly, 2014
<i>Centropomus parallelus</i>	piscívoro/bentófago	peixes e invertebrados bentônicos (crustáceos)	Vasconcelos-Filho <i>et al.</i> , 2003; Arantes, 2014
<i>Centropomus undecimalis</i>	piscívoro/bentófago	peixes e invertebrados bentônicos (crustáceos)	Vasconcelos-Filho <i>et al.</i> , 2003; Arantes, 2014
<i>Ctenosciaena gracilicirrhus</i>	piscívoro/bentófago	peixes e invertebrados bentônicos	Soares <i>et al.</i> , 2008
<i>Cynoscion jamaicensis</i>	piscívoro/bentófago	peixes e invertebrados bentônicos	Rossi-Wongtschowski <i>et al.</i> , 1997; Soares <i>et al.</i> , 2008; Arantes, 2014
<i>Diplectrum radiale</i>	piscívoro/bentófago	peixes e invertebrados bentônicos (camarões)	Rossi-Wongtschowski <i>et al.</i> , 1997; Soares <i>et al.</i> , 2008; Arantes, 2014
<i>Epinephelus marginatus</i>	piscívoro/bentófago	peixes e invertebrados bentônicos	Gibran, 2007, Froese & Pauly, 2014; Arantes, 2014
<i>Gymnothorax ocellatus</i>	piscívoro/bentófago	peixes e invertebrados bentônicos (camarões)	Rossi-Wongtschowski <i>et al.</i> , 1997; Pucci, 2004; Soares <i>et al.</i> , 2008, Arantes, 2014
<i>Lutjanus analis</i>	piscívoro/bentófago	peixes e invertebrados bentônicos (crustáceos)	Rossi-Wongtschowski <i>et al.</i> , 1997, Arantes, 2014
<i>Lutjanus synagris</i>	piscívoro/bentófago	peixes e invertebrados bentônicos (crustáceos)	Rossi-Wongtschowski <i>et al.</i> , 1997, Arantes, 2014
<i>Micropogonias furnieri</i>	piscívoro/bentófago	peixes e invertebrados bentônicos (poliquetas e invertebrados da infauna)	Rossi-Wongtschowski <i>et al.</i> , 1997, Soares & Vazzoler, 2001; Soares <i>et al.</i> , 2008; Arantes, 2014
<i>Oligoplites saurus</i>	piscívoro/bentófago	peixes e invertebrados bentônicos (crustáceos)	Froese & Pauly, 2014
<i>Polydactylus virginicus</i>	piscívoro/bentófago	peixes e invertebrados bentônicos	Arantes, 2014; Froese & Pauly, 2014

Tabela 1 (continuação): Hábitos alimentares e grupos tróficos das espécies de peixes e lulas estudadas na Baía do Araçá.

Espécies	Hábito Alimentar	Itens Alimentares	Referências Bibliográficas
PEIXES			
Carnívoros			
<i>Chaetodon striatus</i>	bentófago	invertebrados bentônicos	Froese & Pauly, 2014
<i>Diapterus rhombeus</i>	bentófago	invertebrados bentônicos (poliquetas e invertebrados da infauna)	Rossi-Wongtschowski <i>et al.</i> , 1997; Soares <i>et al.</i> , 2008, Arantes, 2014
<i>Etropus crossotus</i>	bentófago	invertebrados bentônicos (poliquetas e invertebrados da infauna)	Rossi-Wongtschowski <i>et al.</i> , 1997; Soares <i>et al.</i> , 2008
<i>Haemulopsis corvinaeformis</i>	bentófago	invertebrados bentônicos (poliquetas e invertebrados da infauna)	Rossi-Wongtschowski <i>et al.</i> , 1997; Soares <i>et al.</i> , 2008; Arantes, 2014
<i>Prionotus punctatus</i>	bentófago	invertebrados bentônicos (braquiúros, camarões e gamarídeos)	Rossi-Wongtschowski <i>et al.</i> , 1997; Soares <i>et al.</i> , 2008, Arantes, 2014
<i>Symphurus tessellatus</i>	bentófago	invertebrados bentônicos (poliquetas e invertebrados da infauna)	Rossi-Wongtschowski <i>et al.</i> , 1997; Soares <i>et al.</i> , 2008
<i>Umbrina coroides</i>	bentófago	invertebrados bentônicos (poliquetas, ofiuróides e crustáceos)	Rossi-Wongtschowski <i>et al.</i> , 1997; Zahorcsak <i>et al.</i> , 2000
LULAS			
Carnívoros			
<i>Doryteuthis sanpaulensis</i>	piscívoro/bentófago	peixes e invertebrados bentônicos	Rodrigues, 2007; Gasalla <i>et al.</i> , 2010
<i>Lolliguncula brevis</i>	piscívoro/carcinófago	peixes e invertebrados (crustáceos)	Coelho <i>et al.</i> , 2010

Tabela 2 (Parte A – Verão e Inverno): Amplitude do comprimento total (mm), médias e desvio padrão do comprimento total (mm), da razão C:N, de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) das espécies de peixes, por época de coleta.

Espécies	Código	Verão									Inverno								
		Comprimento (mm)			C:N	$\delta^{13}\text{C}$		$\delta^{15}\text{N}$		Nº de amostras	Comprimento (mm)			C:N	$\delta^{13}\text{C}$		$\delta^{15}\text{N}$		Nº de amostras
		Amplitude	Média	dp		Média	dp	Média	dp		Amplitude	Média	dp		Média	dp	Média	dp	
Peixes																			
<i>Albula vulpes</i>	ALVU	102-193	133,5	41,41	3,17	-13,2	0,10	13,1	0,23	4									
<i>Anchoa tricolor</i>	ANTR	58-97	77,3	14,76	3,23	-16,8	0,27	12,2	0,28	9	60-98	76,2	11,65	3,32	-16,9	0,37	13,5	0,22	11
<i>Atherinella brasiliensis</i>	ATBR	89-125	107,0	13,98	3,20	-14,9	0,50	12,9	0,47	5	78-132	103,5	18,26	3,34	-15,7	1,02	11,2	1,92	11
<i>Caranx latus</i>	CALA	143-196	171,1	20,68	3,21	-15,1	0,66	12,7	0,51	7									
<i>Centropomus parallelus</i>	CEPA	260-360	294,7	56,62	3,19	-15,3	1,44	13,6	1,11	3	214-405	288,3	102,30	3,21	-14,8	0,39	14,2	0,26	3
<i>Centropomus undecimalis</i>	CEUN										146-250	190,1	35,52	3,20	-13,9	0,44	13,6	0,75	9
<i>Chaetodon striatus</i>	CHST										130-140	136,3	5,51	3,40	-15,7	0,17	13,6	0,32	3
<i>Ctenosciaena gracilicirrhus</i>	CTGR										88-145	110,3	18,83	3,21	-17,0	0,19	13,3	0,34	10
<i>Cynoscion jamaicensis</i>	CYJA	190-223	203,9	10,03	3,57	-16,3	0,25	13,3	0,20	10	200-224	216,8	9,88	3,44	-16,2	0,15	14,3	0,24	5
<i>Diplectrum radiale</i>	DIRA	58-235	153,0	56,05	3,25	-15,0	0,27	12,0	0,71	10	20-215	146,3	44,30	3,13	-15,5	0,80	12,1	0,59	22
<i>Diapterus rhombeus</i>	DIRH	108-240	156,7	41,00	3,22	-13,7	0,81	12,2	0,44	13	86-234	156,1	53,73	3,22	-14,4	1,32	12,7	0,63	21
<i>Epinephelus marginatus</i>	EPMA	213-326	290,3	32,45	3,21	-16,0	0,75	14,5	0,50	10									
<i>Etropus crossotus</i>	ETCR	50-127	91,0	28,41	3,24	-14,2	0,78	10,8	0,53	14	56-127	103,8	18,05	3,19	-14,5	0,78	11,0	0,66	19
<i>Gymnothorax ocellatus</i>	GYOC	341-443	412,4	33,32	3,58	-14,7	0,42	11,9	0,46	8	339-522	413,8	66,11	3,53	-15,5	1,00	12,2	0,61	10
<i>Haemulopsis corvinaeformis</i>	POCO	151-170	159,0	7,85	3,25	-13,6	0,47	11,8	0,67	10	81-147	110,2	26,58	3,24	-15,1	1,03	12,9	0,57	27
<i>Harengula clupeiola</i>	HACL										65-91	75,7	8,63	3,28	-17,1	0,20	12,6	0,40	20
<i>Hemirhamphus brasiliensis</i>	HEBR	116-124	120,3	4,04	3,22	-16,0	0,27	11,6	0,32	3									
<i>Hyporhamphus unifasciatus</i>	HYUN										141-165	152,0	12,30	3,21	-17,2	0,23	12,3	0,59	4
<i>Kyphosus sectatrix</i>	KYSE										340-454	384,3	61,08	3,21	-14,8	0,18	10,5	0,99	3
<i>Lutjanus analis</i>	LUAN	363-410	386,5	33,23	3,36	-14,8	0,97	13,8	0,69	2	109-184	145,5	25,97	3,19	-14,7	0,36	12,2	0,37	6

Espécies	Código	Verão									Inverno										
		Comprimento (mm)			C:N	$\delta^{13}\text{C}$		$\delta^{15}\text{N}$		N° de amostras	Comprimento (mm)			C:N	$\delta^{13}\text{C}$		$\delta^{15}\text{N}$		N° de amostras		
		Amplitude	Média	dp		Média	dp	Média	dp		Amplitude	Média	dp		Média	dp	Média	dp			
Peixes																					
<i>Lutjanus synagris</i>	LUSY	80-316	130,1	83,77	3,24	-14,0	0,92	12,1	0,72	12	145-175	163,8	13,15	3,17	-15,2	0,71	12,5	0,50	4		
<i>Micropogonias furnieri</i>	MIFU	168	168,0		3,25	-14,3	**	12,9	0,00	1	165-341	253,0		3,22	-15,5	1,42	13,3	1,22	2		
<i>Mugil curema</i>	MUCU	44-450	200,0	119,19	3,36	-11,7	0,85	9,9	0,79	23	57-406	164,3	103,68	3,22	-12,6	1,38	10,2	0,42	21		
<i>Nicholsina usta usta</i>	NIUS										148-175	160,7	13,58	3,21	-15,2	0,86	10,2	0,19	3		
<i>Oligoplites saurus</i>	OLSAU										115-150	135,7	18,34	3,25	-17,0	0,19	14,0	0,19	3		
<i>Polydactilus virginicus</i>	POVI	267-366	312,1	34,24	3,15	-15,5	0,60	13,8	0,30	7	328	328,0		3,19	-15,1	**	14,6	0,00	1		
<i>Prionotus punctatus</i>	PRPU	55-220	134,6	47,17	3,22	-14,7	0,97	11,6	0,31	15	61-205	125,7	42,76	3,26	-15,0	1,37	12,6	0,28	14		
<i>Sardinella brasiliensis</i>	SABR	61-116	83,4	17,74	3,32	-16,8	0,36	10,5	0,55	17	50-109	83,9	17,71	3,26	-17,2	0,19	12,3	0,25	25		
<i>Symphurus tessellatus</i>	SYTE										103-218	155,0	36,73	3,18	-16,6	0,20	11,8	0,52	9		
<i>Trichiurus lepturus</i>	TRLE	295-940	664,4	195,18	3,23	-16,5	0,33	13,6	0,33	7	770-841	805,5		3,25	-16,3	0,04	14,3	0,16	2		
<i>Umbrina coroides</i>	UMCO										130-150	141,7	10,41	3,14	-14,0	1,32	13,7	0,36	3		
Total										190											271

Tabela 2 (Parte B - Total): Amplitude do comprimento total (mm), médias e desvio padrão do comprimento total (mm), da razão C:N, de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) das espécies de peixes, para a amostra total.

Espécies	Código	Comprimento (mm)			Total		$\delta^{13}\text{C}$		$\delta^{15}\text{N}$		N° de amostras
		Amplitude	Média	dp	C:N		Média	dp	Média	dp	
PEIXES											
<i>Albula vulpes</i>	ALVU	102-193	133,5	41,41	3,17	-13,2	0,10	13,1	0,23	4	
<i>Anchoa tricolor</i>	ANTR	58-98	76,7	12,79	3,28	-16,8	0,33	12,9	0,71	20	
<i>Atherinella brasiliensis</i>	ATBR	78-132	104,6	16,64	3,29	-15,4	0,95	11,7	1,80	16	
<i>Caranx latus</i>	CALA	143-196	171,1	20,68	3,21	-15,1	0,66	12,7	0,51	7	
<i>Centropomus parallelus</i>	CEPA	214-405	291,5	74,03	3,20	-15,1	0,99	13,9	0,78	6	
<i>Centropomus undecimalis</i>	CEUN	146-250	190,1	35,52	3,20	-14,5	1,02	13,6	0,75	9	
<i>Chaetodon striatus</i>	CHST	130-140	136,3	5,51	3,40	-15,7	0,17	13,6	0,32	3	
<i>Ctenosciaena gracilicirrhus</i>	CTGR	88-145	110,3	18,83	3,21	-17,0	0,19	13,3	0,34	10	
<i>Cynoscion jamaicensis</i>	CYJA	190-224	208,2	11,50	3,52	-16,2	0,22	13,6	0,52	15	
<i>Diplectrum radiale</i>	DIRA	20-235	148,4	47,45	3,17	-15,3	0,72	12,1	0,62	32	
<i>Diapterus rhombeus</i>	DIRH	86-240	156,4	48,59	3,22	-14,1	1,18	12,5	0,60	34	
<i>Epinephelus marginatus</i>	EPMA	213-326	290,3	32,45	3,21	-16,0	0,75	14,5	0,50	10	
<i>Etropus crossotus</i>	ETCR	50-127	98,4	23,51	3,21	-14,4	0,78	10,9	0,61	33	
<i>Gymnothorax ocellatus</i>	GYOC	339-522	413,2	52,64	3,55	-15,2	0,86	12,1	0,56	18	
<i>Haemulopsis corvinaeformis</i>	POCO	81-170	123,4	31,75	3,24	-14,7	1,12	12,6	0,78	37	
<i>Harengula clupeola</i>	HACL	65-91	75,7	8,63	3,28	-17,1	0,20	12,6	0,40	20	
<i>Hemirhamphus brasiliensis</i>	HEBR	116-124	120,3	4,04	3,22	-16,0	0,27	11,6	0,32	3	
<i>Hyporhamphus unifasciatus</i>	HYUN	141-165	152,0	12,30	3,21	-17,2	0,23	12,3	0,59	4	
<i>Kyphosus sectatrix</i>	KYSE	340-454	384,3	61,08	3,21	-14,8	0,18	10,5	0,99	3	
<i>Lutjanus analis</i>	LUAN	109-410	205,8	114,39	3,23	-14,7	0,48	12,6	0,85	8	

Tabela 2 (Parte B – Total; continuação): Amplitude do comprimento total (mm), médias e desvio padrão do comprimento total (mm), da razão C:N, de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) das espécies de peixes, para a amostra total.

[illegible]

Tabela 3 (Parte A – Verão e Inverno): Amplitude de comprimento do manto (mm), médias e desvio padrão do comprimento do manto (mm), da razão C:N, de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) das espécies de lulas, por época de coleta.

Espécies	Código	Verão									Inverno									
		Comprimento (mm)			C:N	$\delta^{13}\text{C}$		$\delta^{15}\text{N}$	Nº de amostras	Comprimento (mm)			C:N	$\delta^{13}\text{C}$		$\delta^{15}\text{N}$	Nº de amostras			
		Amplitude	Média	dp		Média	dp			Média	dp	Média		dp						
LULAS																				
<i>Doryteuthis sanpaulensis</i>	DOSA										105-163	134,8	27,09	3,44	-16,6	0,23	13,9	0,21	5	
<i>Lolliguncula brevis</i>	LOBR	38-42	40,0	2,83	3,53	-15,1	0,48	13,3	0,05	2	55-100	68,2	14,00	3,67	-16,2	0,24	14,4	0,33	9	
Total										2										9

Tabela 3 (Parte B - Total): Amplitude de comprimento do manto (mm), médias e desvio padrão do comprimento do manto (mm), da razão C:N, de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) das espécies de lulas, para a amostra total.

Espécies	Código	Comprimento (mm)			C:N	Total		Total		Nº de amostras
		Amplitude	Média	dp		$\delta^{13}\text{C}$		$\delta^{15}\text{N}$		
						Média	dp	Média	dp	
LULAS										
<i>Doryteuthis sanpaulensis</i>	DOSA	105-163	134,8	27,09	3,44	-16,6	0,23	13,9	0,21	5
<i>Lolliguncula brevis</i>	LOBR	38-100	63,1	16,97	3,64	-16,0	0,51	14,2	0,52	11
Total										11

Tabela 4: Resultados dos testes de Mann-Whitney para a análise temporal dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e $\delta^{15}\text{N}$ (‰) apresentados pelas espécies de peixes e lulas (n = número de amostras, NA = teste não aplicado, NS = não significante, * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$).

Espécies	Verão		Inverno		Mann-Whitney
	Média	dp	Média	dp	
PEIXES					
Anchoa tricolor	n = 9		n = 11		
δ ¹³ C	-16,8	0,27	-16,9	0,37	NS
δ ¹⁵ N	12,2	0,28	13,5	0,22	U= 0***
Atherinella brasiliensis	n = 5		n = 11		
δ ¹³ C	-14,9	0,50	-15,7	1,02	NS
δ ¹⁵ N	12,9	0,47	11,2	1,92	NS
Centropomus parallelus	n = 3		n = 3		
δ ¹³ C	-15,3	1,44	-14,8	0,39	NA
δ ¹⁵ N	13,6	1,11	14,2	0,26	NA
Cynoscion jamaicensis	n = 10		n = 5		
δ ¹³ C	-16,3	0,25	-16,2	0,15	NS
δ ¹⁵ N	13,3	0,20	14,3	0,24	U= 0**
Diplectrum radiale	n = 10		n = 22		
δ ¹³ C	-15,0	0,27	-15,5	0,80	U= 59,5*
δ ¹⁵ N	12,0	0,71	12,1	0,59	NS
Diapterus rhombeus	n = 13		n = 21		
δ ¹³ C	-13,7	0,81	-14,4	1,32	NS
δ ¹⁵ N	12,2	0,44	12,7	0,63	U= 70,0*
Etropus crossotus	n = 14		n = 19		
δ ¹³ C	-14,2	0,78	-14,5	0,78	NS
δ ¹⁵ N	10,8	0,53	11,0	0,66	NS
Gymnothorax ocellatus	n = 8		n = 10		
δ ¹³ C	-14,7	0,42	-15,5	1,00	U= 16,0*
δ ¹⁵ N	11,9	0,46	12,2	0,61	NS
Haemulopsis corvinaeformis	n = 10		n = 27		
δ ¹³ C	-13,6	0,47	-15,1	1,03	U= 32,0***
δ ¹⁵ N	11,8	0,67	12,9	0,57	U= 16,0***

Tabela 4 (continuação): Resultados dos testes de Mann-Whitney para a análise temporal dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e $\delta^{15}\text{N}$ (‰) apresentados pelas espécies de peixes e lulas (n = número de amostras, NA = teste não aplicado, NS = não significativo, * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$).

Espécies	Verão		Inverno		Mann-Whitney
	Média	dp	Média	dp	
PEIXES					
<i>Lutjanus analis</i>	n = 2		n = 6		
δ ¹³ C	-14,8	0,97	-14,7	0,36	NA
δ ¹⁵ N	13,8	0,69	12,2	0,37	NA
<i>Lutjanus synagris</i>	n = 12		n = 4		
δ ¹³ C	-14,0	0,92	-15,2	0,71	U= 16,0*
δ ¹⁵ N	12,1	0,72	12,5	0,50	NS
<i>Micropogonias furnieri</i>	n = 1		n = 2		
δ ¹³ C	-14,3	**	-15,5	1,42	NA
δ ¹⁵ N	12,9		13,3	1,22	NA
<i>Mugil curema</i>	n = 23		n = 21		
δ ¹³ C	-11,7	0,85	-12,6	1,38	U= 135,5*
δ ¹⁵ N	9,9	0,79	10,2	0,42	NS
<i>Polydactylus virginicus</i>	n = 7		n = 1		
δ ¹³ C	-15,5	0,60	-15,1	**	NA
δ ¹⁵ N	13,8	0,30	14,6	0,00	NA
<i>Prionotus punctatus</i>	n = 15		n = 14		
δ ¹³ C	-14,7	0,97	-15,0	1,37	NS
δ ¹⁵ N	11,6	0,31	12,6	0,28	U= 70,0*
<i>Sardinella brasiliensis</i>	n = 17		n = 25		
δ ¹³ C	-16,8	0,36	-17,2	0,19	U= 44,0***
δ ¹⁵ N	10,5	0,55	12,3	0,25	U= 0***
<i>Trichiurus lepturus</i>	n = 7		n = 2		
δ ¹³ C	-16,5	0,33	-16,3	0,04	NA
δ ¹⁵ N	13,6	0,33	14,3	0,16	NA
LULAS					
<i>Lolliguncula brevis</i>	n = 2		n = 9		
δ ¹³ C	-15,1	0,48	-16,2	0,24	NA
δ ¹⁵ N	13,3	0,05	14,4	0,33	NA

Tabela 5: Posição trófica média (PT) e desvio padrão para a amostra total das espécies de peixes e lulas estudadas.

Espécies	Código	Hábito Alimentar	PT Média	dp
PEIXES				
Herbívoros				
<i>Kyphosus sectatrix</i>	KYSE	herbívoros	3,35	0,34
<i>Nicholsina usta usta</i>	NIUS	herbívoros	3,24	0,07
Onívoros				
<i>Mugil curema</i>	MUCU	detritívoro	3,18	0,22
<i>Harengula clupeola</i>	HACL	planctófago	4,07	0,14
<i>Sardinella brasiliensis</i>	SABR	planctófago	3,71	0,33
<i>Atherinella brasiliensis</i>	ATBR	planctófago/detritívoro	3,76	0,62
<i>Hyporhamphus unifasciatus</i>	HYUN	planctófago/herbívoros	3,97	0,20
<i>Hemirhamphus brasiliensis</i>	HEBR	herbívoros/planctófago/piscívoro/bentófago	3,71	0,11
<i>Anchoa tricolor</i>	ANTR	planctófago	4,16	0,24
Carnívoros				
<i>Trichiurus lepturus</i>	TRLE	piscívoro	4,47	0,15
<i>Albula vulpes</i>	ALVU	piscívoro/bentófago	4,23	0,08
<i>Caranx latus</i>	CALA	piscívoro/bentófago	4,11	0,18
<i>Centropomus parallelus</i>	CEPA	piscívoro/bentófago	4,52	0,27
<i>Centropomus undecimalis</i>	CEUN	piscívoro/bentófago	4,42	0,26
<i>Ctenosciaena gracilicirrus</i>	CTGR	piscívoro/bentófago	4,29	0,12
<i>Cynoscion jamaicensis</i>	CYJA	piscívoro/bentófago	4,41	0,18
<i>Diplectrum radiale</i>	DIRA	piscívoro/bentófago	3,89	0,22
<i>Epinephelus marginatus</i>	EPMA	piscívoro/bentófago	4,72	0,17
<i>Gymnothorax ocellatus</i>	GYOC	piscívoro/bentófago	3,89	0,19
<i>Lutjanus analis</i>	LUAN	piscívoro/bentófago	4,05	0,29
<i>Lutjanus synagris</i>	LUSY	piscívoro/bentófago	3,93	0,23
<i>Micropogonias furnieri</i>	MIFU	piscívoro/bentófago	4,27	0,31
<i>Oligoplites saurus</i>	OLSAU	piscívoro/bentófago	4,54	0,07
<i>Polydactylus virginicus</i>	POVI	piscívoro/bentófago	4,51	0,13
<i>Chaetodon striatus</i>	CHST	bentófago	4,41	0,11
<i>Diapterus rhombeus</i>	DIRH	bentófago	4,02	0,21
<i>Etropus crossotus</i>	ETCR	bentófago	3,48	0,21
<i>Haemulopsis corvinaeformis</i>	POCO	bentófago	4,07	0,27
<i>Prionotus punctatus</i>	PRPU	bentófago	3,89	0,20
<i>Symphurus tessellatus</i>	SYTE	bentófago	3,79	0,18
<i>Umbrina coroides</i>	UMCO	bentófago	4,45	0,12

Tabela 5 (continuação): Posição trófica média (PT) e desvio padrão para a amostra total das espécies de peixes e lulas estudadas.

Espécies	Código	Hábito Alimentar	PT Média	dp
LULAS - Carnívoros				
<i>Doryteuthis sanpaulensis</i>	DOSA	piscívoro/bentófago	4,50	0,07
<i>Lolliguncula brevis</i>	LOBR	piscívoro/carcinófago	4,61	0,18

Tabela 6: Moda (%) das contribuições (dentro do intervalo de 95% de credibilidade) fornecidas pelo modelo de mistura isotópica SIAR para os grupos de presas que compõem a dieta das espécies de peixes. Em negrito, estão indicados os 3 primeiros grupos de presas em relação aos valores de moda (com exceção de *Diapterus rhombeus*: 4 grupos). MUCU= *Mugil curema*, DIRH= *Diapterus rhombeus*, ETCR= *Etropus crossotus*, POCO= *Haemulopsis corvinaeformis*, PRPU= *Prionotus punctatus*, DIRA= *Diplectrum radiale*.

Grupos de Presas	Código	Moda (%) - Contribuição dos Grupos de Presas					
		MUCU	DIRH	ETCR	POCO	PRPU	DIRA
Produtores							
Gramínea Terrestre - C4	TC4	41,8					
Turf	TUR	3,5					
Macroalgas	MAC	2,8					
Microfitobentos	MFB	1,4					
Consumidores							
Bivalvia	BIV	6,1					
Gastropoda	GAS	5,6					
Cephalopoda						9,2	
Polychaeta	POL		21,5	2,1	17,9	12,4	19,0
Brachyura	BRA		20,8	1,1	1,4	1,0	0,8
Camarões	CAM		20,4	1,5	2,1	1,6	1,1
Tanaidacea	TA	9,2	5,0	45,9	5,3	46,8	
Gammaridea	GA		17,7	13,8	1,7	1,9	9,5
Ophiuroidea	OPH		20,7	17,2	26,9		63,7
Teleostei	TEL				9,9	1,0	0,7

Tabela 7: Grupos de produtores que compõem as bases das vias tróficas dos grupos tróficos de peixes, das espécies de peixes analisadas em detalhe, e das lulas na Baía do Araçá. Em cinza escuro, grupos com contribuições mais expressivas; em listrado, grupos com menores contribuições. Herb.= peixes herbívoros, Onív.= peixes onívoros, Carn-B= peixes bentófagos, Carn-PB= peixes bentófagos/piscívoros, MUCU= *Mugil curema*, ANTR= *Anchoa tricolor*, HACL= *Harengula clupei*, SABR= *Sardinella brasiliensis*, DIRH= *Diapterus rhombeus*, ETCR= *Etropus crossotus*, POCO= *Haemulopsis corvinaeformis*, PRPU= *Prionotus punctatus*, DIRA= *Diplectrum radiale*.

[illegible]

FIGURAS

Figura 1: Mapas com a localização da Baía do Araçá, no município de São Sebastião (estado de São Paulo) e da Baía do Araçá em detalhe (abaixo). SSP= Porto de São Sebastião, SSC= Canal de São Sebastião (Lamas *et al.*, no prelo).

Figura 2: Médias e amplitude de valores de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) para a amostra total das espécies de peixes analisadas. d13Ccor = $\delta^{13}\text{C}$ (‰). ALVU= *Albula vulpes*, ANTR= *Anchoa tricolor*, ATBR= *Atherinella brasiliensis*, CALA= *Caranx latus*, CEPA= *Centropomus parallelus*, CEUN= *Centropomus undecimalis*, CHST= *Chaetodon striatus*, CTGR= *Ctenosciaena gracilicirrus*, CYJA= *Cynoscion jamaicensis*, DIRA= *Diplectrum radiale*, DIRH= *Diapterus rhombeus*, EPMA= *Epinephelus marginatus*, ETCR= *Etropus crossotus*, GYOC= *Gymnothorax ocellatus*, POCO= *Haemulopsis corvinaeformis*, HACL= *Harengula clupeola*, HEBR= *Hemirhamphus brasiliensis*, HYUN= *Hyporhamphus unifasciatus*, KYSE= *Kyphosus sectatrix*, LUAN= *Lutjanus analis*, LUSY= *Lutjanus synagris*, MIFU= *Micropogonias furnieri*, MUCU= *Mugil curema*, NYUS= *Nicholsina usta usta*, OLSAU= *Oligoplites saurus*, POVI= *Polydactilus virginicus*, PRPU= *Prionotus punctatus*, SABR= *Sardinella brasiliensis*, SYTE= *Symphurus, tessellatus*, TRLE= *Trichiurus lepturus*, UMCO= *Umbrina coroides*.

Figura 3: Médias e amplitude de valores de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) para a amostra total das espécies de peixes analisadas. $\delta^{15}\text{N}$ = $\delta^{15}\text{N}$ (‰). ALVU= *Albula vulpes*, ANTR= *Anchoa tricolor*, ATBR= *Atherinella brasiliensis*, CALA= *Caranx latus*, CEPA= *Centropomus parallelus*, CEUN= *Centropomus undecimalis*, CHST= *Chaetodon striatus*, CTGR= *Ctenosciaena gracilicirrus*, CYJA= *Cynoscion jamaicensis*, DIRA= *Diplectrum radiale*, DIRH= *Diapterus rhombeus*, EPMA= *Epinephelus marginatus*, ETCR= *Etropus crossotus*, GYOC= *Gymnothorax ocellatus*, POCO= *Haemulopsis corvinaeformis*, HACL= *Harengula clupeola*, HEBR= *Hemirhamphus brasiliensis*, HYUN= *Hyporhamphus unifasciatus*, KYSE= *Kyphosus sectatrix*, LUAN= *Lutjanus analis*, LUSY= *Lutjanus synagris*, MIFU= *Micropogonias furnieri*, MUCU= *Mugil curema*, NYUS= *Nicholsina usta usta*, OLSAU= *Oligoplites saurus*, POVI= *Polydactilus virginicus*, PRPU= *Prionotus punctatus*, SABR= *Sardinella brasiliensis*, SYTE= *Symphurus, tessellatus*, TRLE= *Trichiurus lepturus*, UMCO= *Umbrina coroides*.

Figura 4: Médias e amplitude de valores de a) $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e b) $\delta^{15}\text{N}$ (‰) para a amostra total das espécies de lulas analisadas. $\text{d13Ccor} = \delta^{13}\text{C}$ (‰), $\text{d15N} = \delta^{15}\text{N}$ (‰). DOSA = *Doryteuthis sanpaulensis*, LOBR = *Lolliguncula brevis*.

Figura 5: Médias e amplitude de valores de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) para as amostras das espécies de peixes analisadas no a) verão e no b) inverno. $d13\text{Ccor} = \delta^{13}\text{C}$ (‰). ALVU= *Albula vulpes*, ANTR= *Anchoa tricolor*, ATBR= *Atherinella brasiliensis*, CALA= *Caranx latus*, CEPA= *Centropomus parallelus*, CEUN= *Centropomus undecimalis*, CHST= *Chaetodon striatus*, CTGR= *Ctenosciaena gracilicirrhus*, CYJA= *Cynoscion jamaicensis*, DIRA= *Diplectrum radiale*, DIRH= *Diapterus rhombeus*, EPMA= *Epinephelus marginatus*, ETCR= *Etropus crossotus*, GYOC= *Gymnothorax ocellatus*, POCO= *Haemulopsis corvinaeformis*, HACL= *Harengula clupeola*, HEBR= *Hemirhamphus brasiliensis*, HYUN= *Hyporhamphus unifasciatus*, KYSE= *Kyphosus sectatrix*, LUAN= *Lutjanus analis*, LUSY= *Lutjanus synagris*, MIFU= *Micropogonias furnieri*, MUCU= *Mugil curema*, NYUS= *Nicholsina usta usta*, OLSAU= *Oligoplites saurus*, POVI= *Polydactylus virginicus*, PRPU= *Prionotus punctatus*, SABR= *Sardinella brasiliensis*, SYTE= *Symphurus tessellatus*, TRLE= *Trichiurus lepturus*, UMCO= *Umbrina coroides*.

Figura 6: Médias e amplitude de valores de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) para as amostras das espécies de peixes analisadas no a) verão e no b) inverno. $d15\text{N} = \delta^{15}\text{N}$ (‰). ALVU= *Albula vulpes*, ANTR= *Anchoa tricolor*, ATBR= *Atherinella brasiliensis*, CALA= *Caranx latus*, CEPA= *Centropomus parallelus*, CEUN= *Centropomus undecimalis*, CHST= *Chaetodon striatus*, CTGR= *Ctenosciaena gracilicirrhus*, CYJA= *Cynoscion jamaicensis*, DIRA= *Diplectrum radiale*, DIRH= *Diapterus rhombeus*, EPMA= *Epinephelus marginatus*, ETCR= *Etropus crossotus*, GYOC= *Gymnothorax ocellatus*, POCO= *Haemulopsis corvinaeformis*, HACL= *Harengula clupeola*, HEBR= *Hemirhamphus brasiliensis*, HYUN= *Hyporhamphus unifasciatus*, KYSE= *Kyphosus sectatrix*, LUAN= *Lutjanus analis*, LUSY= *Lutjanus synagris*, MIFU= *Micropogonias furnieri*, MUCU= *Mugil curema*, NYUS= *Nicholsina usta*, OLSAU= *Oligoplites saurus*, POVI= *Polydactylus virginicus*, PRPU= *Prionotus punctatus*, SABR= *Sardinella brasiliensis*, SYTE= *Symphurus tesselatus*, TRLE= *Trichiurus lepturus*, UMCO= *Umbrina coroides*.

Figura 7: Escala com a posição trófica (PT) média da amostra total das espécies de peixes e lulas. Em verde: peixes herbívoros, em azul: peixes onívoros; em laranja: peixes bentófagos, em cinza: peixes piscívoros/bentófagos, em preto: lulas. ALVU= *Albula vulpes*, ANTR= *Anchoa tricolor*, ATBR= *Atherinella brasiliensis*, CALA= *Caranx latus*, CEPA= *Centropomus parallelus*, CEUN= *Centropomus undecimalis*, CHST= *Chaetodon striatus*, CTGR= *Ctenosciaena gracilicirrus*, CYJA= *Cynoscion jamaicensis*, DIRA= *Diplectrum radiale*, DIRH= *Diapterus rhombeus*, EPMA= *Epinephelus marginatus*, ETCR= *Etropus crossotus*, GYOC= *Gymnothorax ocellatus*, POCO= *Haemulopsis corvinaeformis*, HACL= *Harengula clupeiola*, HEBR= *Hemirhamphus brasiliensis*, HYUN= *Hyporhamphus unifasciatus*, KYSE= *Kyphosus sectatrix*, LUAN= *Lutjanus analis*, LUSY= *Lutjanus synagris*, MIFU= *Micropogonias furnieri*, MUCU= *Mugil curema*, NYUS= *Nicholsina usta usta*, OLSAU= *Oligoplites saurus*, POVI= *Polydactylus virginicus*, PRPU= *Prionotus punctatus*, SABR= *Sardinella brasiliensis*, SYTE= *Symphurus tessellatus*, TRLE= *Trichiurus lepturus*, UMCO= *Umbrina coroides*, DOSA= *Doryteuthis sanpaulensis*, LOBR= *Lolliguncula brevis*.

Figura 8: Escala com a posição trófica (PT) média e desvio padrão dos grupos alimentares das espécies de peixes e lulas. Carn – B= peixes carnívoros bentófagos, Carn – PB= peixes carnívoros bentófagos/piscívoros (espécies que compõem cada grupo: consultar Tabela 1).

Diapterus rhombeus
Carapeba

Diplectrum radiale
Michole

Etropus crossotus
Linguado

Haemulopsis corvinaeformis
Corcoroca

Prionotus punctatus
Cabrinha

Mugil curema
Parati

Anchoa tricolor
Manjuba

Harengula clupeola
Sardinha-cascuda

Sardinella brasiliensis
Sardinha-verdadeira

Figura 9: Espécies de peixes selecionadas para a aplicação do modelo de mistura isotópica SIAR (Fotos: Carolina Silliprandi – Instituto Oceanográfico/IOUSP).

Figura 10: Polígonos de mistura simplificados com os valores de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) das espécies de peixes e de seus grupos de presas, selecionados para a aplicação do modelo de mistura isotópica: a) *Diapterus rhombeus* (DIRH) b) *Diplectrum radiale* (DIRA), c) *Etropus crossotus* (ETCR), d) *Haemulopsis corvinaeformis* (POCO), e) *Prionotus punctatus* (PRPU), f) *Mugil curema* (MUCU). BIV= Bivalvia, BRA= Brachyura, CAM= Camarões, CEP= Cephalopoda, GA= Gammaridea, GAS= Gastropoda, MAC= Macroalgas, MFB= Microfitobentos, OPH= Ophiuroidea, POL= Polychaeta, TA= Tanaidacea, TC4= Planta Terrestre C4, TEL= Teleostei, TUR= Turf. $\delta^{13}\text{C}$ = $\delta^{13}\text{C}$ (‰), $\delta^{15}\text{N}$ = $\delta^{15}\text{N}$ (‰).

Figura 11: Valores de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) dos exemplares de *Diapterus rhombeus* (data), e valores de média e desvio padrão de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e $\delta^{15}\text{N}$ (‰) dos grupos de presas considerados para a aplicação no modelo de mistura SIAR. TA= Tanaidacea, GA= Gammaridea, POL= Polychaeta, CAM= Camarões, BRA= Brachyura, OPH= Ophiuroidea. d13Ccor= $\delta^{13}\text{C}$ (‰), d15N= $\delta^{15}\text{N}$ (‰).

Figura 12: Distribuição das proporções de densidade dos grupos de presas considerados na dieta de *Diapterus rhombeus*. TA= Tanaidacea, GA= Gammaridea, POL= Polychaeta, CAM= Camarões, BRA= Brachyura, OPH= Ophiuroidea.

Figura 13: Proporções de contribuição, destacando o intervalo de 95% de credibilidade (em cinza escuro), dos grupos de presas considerados na dieta de *Diapterus rhombeus*. TA= Tanaidacea, GA= Gammaridea, POL= Polychaeta, CAM= Camarões, BRA= Brachyura, OPH= Ophiuroidea.

Figura 14: a) Variação isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e b) dispersão dos valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) de *Diapterus rhombeus* em função do tamanho, para a amostra total da espécie (n= 34). R^2 = coeficiente de determinação.

Figura 15: Valores de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) dos exemplares de *Diplectrum radiale* (data), e valores de média e desvio padrão de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e $\delta^{15}\text{N}$ (‰) dos grupos de presas considerados para a aplicação no modelo de mistura SIAR. POL= Polychaeta, TEL= Teleostei, CAM= Camarões, BRA= Brachyura, OPH= Ophiuroidea, GA= Gammaridea. d13Ccor= $\delta^{13}\text{C}$ (‰), d15N= $\delta^{15}\text{N}$ (‰).

Figura 16: Distribuição das proporções de densidade dos grupos de presas considerados na dieta de *Diplectrum radiale*. POL= Polychaeta, TEL= Teleostei, CAM= Camarões, BRA= Brachyura, OPH= Ophiuroidea, GA= Gammaridea.

Figura 17: Proporções de contribuição, destacando o intervalo de 95% de credibilidade (em cinza escuro), dos grupos de presas considerados na dieta de *Diplectrum radiale*. POL= Polychaeta, TEL= Teleostei, CAM= Camarões, BRA= Brachyura, OPH= Ophiuroidea, GA= Gammaridea.

Figura 18: a) Dispersão dos valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e b) variação isotópica de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) de *Diplectrum radiale* em função do tamanho, para a amostra total da espécie (n= 32). R^2 = coeficiente de determinação.

Figura 19: Valores de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) dos exemplares de *Etropus crossotus* (data), e valores de média e desvio padrão de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e $\delta^{15}\text{N}$ (‰) dos grupos de presas considerados para a aplicação no modelo de mistura SIAR. TA= Tanaidacea, GA= Gammaridea, POL= Polychaeta, CAM= Camarões, BRA= Brachyura, OPH= Ophiuroidea. d13Ccor= $\delta^{13}\text{C}$ (‰), d15N= $\delta^{15}\text{N}$ (‰).

Figura 20: Distribuição das proporções de densidade dos grupos de presas considerados na dieta de *Etropus crossotus*. TA= Tanaidacea, GA= Gammaridea, POL= Polychaeta, CAM= Camarões, BRA= Brachyura, OPH= Ophiuroidea.

Figura 21: Proporções de contribuição, destacando o intervalo de 95% de credibilidade (em cinza escuro), dos grupos de presas considerados na dieta de *Etropus crossotus*. TA= Tanaidacea, GA= Gammaridea, POL= Polychaeta, CAM= Camarões, BRA= Brachyura, OPH= Ophiuroidea.

Figura 22: a) Variação isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e b) dispersão dos valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) de *Etropus crossotus* em função do tamanho, para a amostra total da espécie (n= 32). R^2 = coeficiente de determinação.

Figura 23: Valores de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) dos exemplares de *Haemulopsis corvinaeformis* (data), e valores de média e desvio padrão de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e $\delta^{15}\text{N}$ (‰) dos grupos de presas considerados para a aplicação no modelo de mistura SIAR. TA= Tanaidacea, GA= Gammaridea, POL= Polychaeta, CAM= Camarões, BRA= Brachyura, TEL= Teleostei, OPH= Ophiuroidea. d13Ccor= $\delta^{13}\text{C}$ (‰), d15N= $\delta^{15}\text{N}$ (‰).

Figura 24: Distribuição das proporções de densidade dos grupos de presas considerados na dieta de *Haemulopsis corvinaeformis*. TA= Tanaidacea, GA= Gammaridea, POL= Polychaeta, CAM= Camarões, BRA= Brachyura, TEL= Teleostei, OPH= Ophiuroidea.

Figura 25: Proporções de contribuição, destacando o intervalo de 95% de credibilidade (em cinza escuro), dos grupos de presas considerados na dieta de *Haemulopsis corvinaeformis*. TA= Tanaidacea, GA= Gammaridea, POL= Polychaeta, CAM= Camarões, BRA= Brachyura, TEL= Teleostei, OPH= Ophiuroidea.

Figura 26: a) Variação isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e b) variação isotópica de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) de *Haemulopsis corvinaeformis* em função do tamanho, para a amostra total da espécie (n= 37). R^2 = coeficiente de determinação.

Figura 27: Valores de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) dos exemplares de *Prionotus punctatus* (data), e valores de média e desvio padrão de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e $\delta^{15}\text{N}$ (‰) dos grupos de presas considerados para a aplicação no modelo de mistura SIAR. TA= Tanaidacea, GA= Gammaridea, POL= Polychaeta, CAM= Camarões, BRA= Brachyura, TEL= Teleostei, CEP= Cephalopoda. d13Ccor= $\delta^{13}\text{C}$ (‰), d15N= $\delta^{15}\text{N}$ (‰).

Figura 28: Distribuição das proporções de densidade dos grupos de presas considerados na dieta de *Prionotus punctatus*. TA= Tanaidacea, GA= Gammaridea, POL= Polychaeta, CAM= Camarões, BRA= Brachyura, TEL= Teleostei, CEP= Cephalopoda.

Figura 29: Proporções de contribuição, destacando o intervalo de 95% de credibilidade (em cinza escuro), dos grupos de presas considerados na dieta de *Prionotus punctatus*. TA= Tanaidacea, GA= Gammaridea, POL= Polychaeta, CAM= Camarões, BRA= Brachyura, TEL= Teleostei, CEP= Cephalopoda.

Figura 30: a) Dispersão dos valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e b) dispersão dos valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) de *Prionotus punctatus* em função do tamanho, para a amostra total da espécie (n= 29). R^2 = coeficiente de determinação.

Figura 31: Valores de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) dos exemplares de *Mugil curema* (data), e valores de média e desvio padrão de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e $\delta^{15}\text{N}$ (‰) dos grupos de presas considerados para a aplicação no modelo de mistura SIAR. MFB= Microfitobentos, TA= Tanaidacea, BIV= Bivalvia, GAS= Gastropoda, TUR= Turf, MAC= Macroalgas, TC4= Planta Terrestre C4. d13Ccor= $\delta^{13}\text{C}$ (‰), d15N= $\delta^{15}\text{N}$ (‰).

Figura 32: Distribuição das proporções de densidade dos grupos de presas considerados na dieta de *Mugil curema*. MFB= Microfitobentos, TA= Tanaidacea, BIV= Bivalvia, GAS= Gastropoda, TUR= Turf, MAC= Macroalgas, TC4= Planta Terrestre C4.

Figura 33: Proporções de contribuição, destacando o intervalo de 95% de credibilidade (em cinza escuro), dos grupos de presas considerados na dieta de *Mugil curema*. MFB= Microfitobentos, TA= Tanaidacea, BIV= Bivalvia, GAS= Gastropoda, TUR= Turf, MAC= Macroalgas, TC4= Planta Terrestre C4.

Figura 34: a) Variação isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e b) dispersão dos valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) de *Mugil curema* em função do tamanho, para os indivíduos de 40 mm a 150 mm de comprimento (n= 26). R^2 = coeficiente de determinação.

Figura 35: a) Dispersão dos valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e b) dispersão dos valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) de *Mugil curema* em função do tamanho, para os indivíduos de 240 mm a 450 mm de comprimento (n = 18).

Figura 36: Polígonos de mistura simplificados com os valores de $\delta^{13}C$ (‰) e de $\delta^{15}N$ (‰) das espécies de peixes e de seus grupos de presas, selecionados para a aplicação do modelo de mistura isotópica: a) *Anchoa tricolor* (ANTR), b) *Harengula clupei* (HACL), c) *Sardinella brasiliensis* (SABR). MPS= Matéria Particulada em Suspensão, MFB= Microfitobentos, ZOO= Zooplâncton. Zoo- >1= Zooplâncton >1mm, Zoo- 650-1= Zooplâncton 650µm - 1mm, Zoo- 300-650= Zooplâncton 300µm - 650µm, Zoo- <300= Zooplâncton <300µm, MFB-SUB= Microfitobentos-Sublitoral, MFB-EM= Microfitobentos-Entremarés, MPS 1= Material Particulado Suspenso-Continental, MPS 2= Material Particulado Suspenso-Entremarés, MPS 3= Material Particulado Suspenso-Sublitoral, MPS 4= Material Particulado Suspenso-Saída Emissário.

Figura 37: a) Dispersão dos valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e b) dispersão dos valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) de *Anchoa tricolor* em função do tamanho, para a amostra total da espécie (n= 20). R^2 = coeficiente de determinação.

Figura 38: a) Dispersão dos valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e b) dispersão dos valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) de *Harengula clupeola* em função do tamanho, para a amostra total da espécie (n= 20). R^2 = coeficiente de determinação.

Figura 39: a) Variação isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e b) dispersão dos valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) de *Sardinella brasiliensis* em função do tamanho, para a amostra total da espécie (n= 42). R^2 = coeficiente de determinação.

Figura 40: Valores médios de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) dos grupos tróficos das espécies de peixes e das lulas analisadas, e dos demais componentes da teia trófica. Em verde: grupos de produtores/base, em azul: grupos de invertebrados/consumidores. P. Herbívoros= peixes herbívoros, P. Bentófagos= peixes bentófagos, P. Bent./Pisc.= peixes bentófagos/piscívoros, P. Onívoros= peixes onívoros, MUCU= *Mugil curema*, TC3= Planta Terrestre-C3, TC4= Gramínea Terrestre-C4, SGR= Seagrass-C4, MAN= Manguezal, MAN-AV= Manguezal-alga verde, BOS= Bostrychietum, TUR= Turf, MAC= Macroalgas, MFB= Microfitobentos, SED= Sedimentos, MPS= Material Particulado Suspenso, ZOO= Zooplâncton, CN= Cnidaria Anthozoa, BIV= Bivalvia, GAS= Gastropoda, POL= Polychaeta, BRA= Decapoda (Brachyura), CAM= Decapoda (Camarões), TA= Tanaidacea, GA= Gammaridea, OPH= Ophiuroidea.

Figura 41: Valores individuais e média de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) de *Diapterus rhombeus* (DIRH), e valores médios de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) dos demais componentes da teia trófica da espécie. Em verde: grupos de produtores/base, demais cores: grupos de invertebrados considerados como presas de *D. rhombeus* na aplicação do modelo SIAR. TC3= Planta Terrestre-C3, TC4= Gramínea Terrestre-C4, SGR= Seagrass-C4, MAN-AS= Manguezal-*Avicennia shaweriana*, MAN-LR= Manguezal-*Laguncularia racemosa*, MAN-RM= Manguezal-*Rhizophora mangle*, MAN-AV= Manguezal-alga verde, BOS= Bostrychietum, TUR= Turf, MAC-VER= Macroalgas-alga verde, MAC-VEM= Macroalgas-alga vermelha, MFB-SUB= Microfitobentos–Sublitoral, MFB-EM= Microfitobentos-Entremarés, SED-SUB= Sedimentos-Sublitoral, SED-EM= Sedimentos-Entremarés, MPS 1= Material Particulado Suspenso-Continental, MPS 2= Material Particulado Suspenso-Entremarés, MPS 3= Material Particulado Suspenso-Sublitoral, MPS 4= Material Particulado Suspenso-Saída Emissário, PC= Polychaeta Carnívoro, PS= Polychaeta Suspensívoro, PD= Polychaeta Depositívoro, OPH= Ophiuroidea, TA= Tanaidacea, GA= Gammaridea, DC= Decapoda Caridea, DP= Decapoda Penaeidae, DS= Decapoda Sicyoniidae, DBU= Decapoda Brachyura-UCA, DBT= Decapoda Brachyura Todos.

Figura 42: Valores individuais e média de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) de *Diplotrium radiale* (DIRA), e valores médios de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) dos demais componentes da teia trófica. Em verde: grupos de produtores/base, demais cores: grupos de invertebrados considerados como presas de *D. radiale* na aplicação do modelo SIAR. TC3= Planta Terrestre-C3, TC4= Gramínea Terrestre-C4, SGR= Seagrass-C4, MAN-AS= Manguezal-*Avicennia shaweriana*, MAN-LR= Manguezal-*Laguncularia racemosa*, MAN-RM= Manguezal-*Rhizophora mangle*, MAN-AV= Manguezal-alga verde, BOS= Bostrychietum, TUR= Turf, MAC-VER= Macroalgas-alga verde, MAC-VEM= Macroalgas-alga vermelha, MFB-SUB= Microfitobentos-Sublitoral, MFB-EM= Microfitobentos-Entremarés, SED-SUB= Sedimentos-Sublitoral, SED-EM= Sedimentos-Entremarés, MPS 1= Material Particulado Suspenso-Continental, MPS 2= Material Particulado Suspenso-Entremarés, MPS 3= Material Particulado Suspenso-Sublitoral, MPS 4= Material Particulado Suspenso-Saída Emissário, PC= Polychaeta Carnívoro, PS= Polychaeta Suspensívoro, PD= Polychaeta Depositívoro, OPH= Ophiuroidea, GA= Gammaridea, DC= Decapoda Caridea, DP= Decapoda Penaeidae, DS= Decapoda Sicyoniidae, DBU= Decapoda Brachyura-UCA, DBT= Decapoda Brachyura Todos, TEL= Teleostei.

Figura 43: Valores individuais e média de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) de *Etropus crossotus* (ETCR), e valores médios de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) dos demais componentes da teia trófica. Em verde: grupos de produtores/base, demais cores: grupos de invertebrados considerados como presas de *E. crossotus* na aplicação do modelo SIAR. TC3= Planta Terrestre-C3, TC4= Gramínea Terrestre-C4, SGR= Seagrass-C4, MAN-AS= Manguezal-*Avicennia shaweriana*, MAN-LR= Manguezal-*Laguncularia racemosa*, MAN-RM= Manguezal-*Rhizophora mangle*, MAN-AV= Manguezal-alga verde, BOS= *Bostrychietum*, TUR= Turf, MAC-VER= Macroalgas-alga verde, MAC-VEM= Macroalgas-alga vermelha, MFB-SUB= Microfitobentos–Sublitoral, MFB-EM= Microfitobentos-Entremarés, SED-SUB= Sedimentos-Sublitoral, SED-EM= Sedimentos-Entremarés, MPS 1= Material Particulado Suspenso-Continental, MPS 2= Material Particulado Suspenso-Entremarés, MPS 3= Material Particulado Suspenso-Sublitoral, MPS 4= Material Particulado Suspenso-Saída Emissário, PC= Polychaeta Carnívoro, PS= Polychaeta Suspensívoro, PD= Polychaeta Depositívoro, OPH= Ophiuroidea, TA= Tanaidacea, GA= Gammaridea, DC= Decapoda Caridea, DP= Decapoda Penaeidae, DS= Decapoda Sicyoniidae, DBU= Decapoda Brachyura-UCA, DBT= Decapoda Brachyura Todos.

Figura 44: Valores individuais e média de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) de *Haemulopsis corvinaeformis* (POCO), e valores médios de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) dos demais componentes da teia trófica. Em verde: grupos de produtores/base, demais cores: grupos de invertebrados considerados como presas de *H. corvinaeformis* na aplicação do modelo SIAR. TC3= Planta Terrestre-C3, TC4= Gramínea Terrestre-C4, SGR= Seagrass-C4, MAN-AS= Manguezal-*Avicennia shaweriana*, MAN-LR= Manguezal-*Laguncularia racemosa*, MAN-RM= Manguezal-*Rhizophora mangle*, MAN-AV= Manguezal-alga verde, BOS= *Bostrychietum*, TUR= Turf, MAC-VER= Macroalgas-alga verde, MAC-VEM= Macroalgas-alga vermelha, MFB-SUB= Microfitobentos–Sublitoral, MFB-EM= Microfitobentos-Entremarés, SED-SUB= Sedimentos-Sublitoral, SED-EM= Sedimentos-Entremarés, MPS 1= Material Particulado Suspenso-Continental, MPS 2= Material Particulado Suspenso-Entremarés, MPS 3= Material Particulado Suspenso-Sublitoral, MPS 4= Material Particulado Suspenso-Saída Emissário, PC= Polychaeta Carnívoro, PS= Polychaeta Suspensívoro, PD= Polychaeta Depositívoro, OPH= Ophiuroidea, TA= Tanaidacea, GA= Gammaridea, DC= Decapoda Caridea, DP= Decapoda Penaeidae, DS= Decapoda Sicyoniidae, DBU= Decapoda Brachyura-UCA, DBT= Decapoda Brachyura Todos, TEL= Teleostei.

Figura 45: Valores individuais e média de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) de *Prionotus punctatus* (PRPU), e valores médios de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) dos demais componentes da teia trófica. Em verde: grupos de produtores/base, demais cores: grupos de invertebrados considerados como presas de *P. punctatus* na aplicação do modelo SIAR. TC3= Planta Terrestre-C3, TC4= Gramínea Terrestre-C4, SGR= Seagrass-C4, MAN-AS= Manguezal-*Avicennia shaweriana*, MAN-LR= Manguezal-*Laguncularia racemosa*, MAN-RM= Manguezal-*Rhizophora mangle*, MAN-AV= Manguezal-alga verde, BOS= *Bostrychietum*, TUR= Turf, MAC-VER= Macroalgas-alga verde, MAC-VEM= Macroalgas-alga vermelha, MFB-SUB= Microfitobentos–Sublitoral, MFB-EM= Microfitobentos-Entremarés, SED-SUB= Sedimentos-Sublitoral, SED-EM= Sedimentos-Entremarés, MPS 1= Material Particulado Suspenso-Continental, MPS 2= Material Particulado Suspenso-Entremarés, MPS 3= Material Particulado Suspenso-Sublitoral, MPS 4= Material Particulado Suspenso-Saída Emissário, PC= Polychaeta Carnívoro, PS= Polychaeta Suspensívoro, PD= Polychaeta Depositívoro, TA= Tanaidacea, GA= Gammaridea, DC= Decapoda Caridea, DP= Decapoda Penaeidae, DS= Decapoda Sicyoniidae, DBU= Decapoda Brachyura-UCA, DBT= Decapoda Brachyura Todos, TEL= Teleostei, CEP= Cephalopoda.

Figura 46: Valores individuais e média de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) de *Mugil curema* (MUCU), e valores médios de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) dos demais componentes da teia trófica. Em verde/aberto: grupos de produtores/base, em verde/preenchido e demais cores: grupos de produtores/base e invertebrados considerados como presas de *M. curema* na aplicação do modelo SIAR. TC3= Planta Terrestre-C3, TC4= Gramínea Terrestre-C4, SGR= Seagrass-C4, MAN-AS= Manguezal-*Avicennia shaweriana*, MAN-LR= Manguezal-*Laguncularia racemosa*, MAN-RM= Manguezal-*Rhizophora mangle*, MAN-AV= Manguezal-alga verde, BOS= *Bostrychietum*, TUR= Turf, MAC-VER= Macroalgas-alga verde, MAC-VEM= Macroalgas-alga vermelha, MFB-SUB= Microfitobentos-Sublitoral, MFB-EM= Microfitobentos-Entremarés, SED-SUB= Sedimentos-Sublitoral, SED-EM= Sedimentos-Entremarés, MPS 1= Material Particulado Suspenso-Continental, MPS 2= Material Particulado Suspenso-Entremarés, MPS 3= Material Particulado Suspenso-Sublitoral, MPS 4= Material Particulado Suspenso-Saída Emissário, TA= Tanaidacea, MBD= Bivalvia Depositívoro, MBS= Bivalvia Suspensívoro, MGH= Gastropoda Herbívoro, MGC= Gastropoda Carnívoro.

Figura 47: Valores médios de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) de *Anchoa tricolor* (ANTR), *Harengula clepeola* (HACL) e *Sardinella brasiliensis* (SABR), e de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) dos demais componentes da teia trófica. Em verde/aberto: grupos de produtores/base, em verde/preenchido e demais cores: grupos de produtores/base e invertebrados considerados como presas de *A. tricolor*, *H. clupeola* e *S. brasiliensis*. TC3= Planta Terrestre-C3, TC4= Gramínea Terrestre-C4, SGR= Seagrass-C4, MAN-AS= Manguezal-*Avicennia shaweriana*, MAN-LR= Manguezal-*Laguncularia racemosa*, MAN-RM= Manguezal-*Rhizophora mangle*, MAN-AV= Manguezal-alga verde, BOS= Bostrychietum, TUR= Turf, MAC-VER= Macroalgas-alga verde, MAC-VEM= Macroalgas-alga vermelha, MFB-SUB= Microfitobentos-Sublitoral, MFB-EM= Microfitobentos-Entremarés, SED-SUB= Sedimentos-Sublitoral, SED-EM= Sedimentos-Entremarés, MPS 1= Material Particulado Suspenso-Continental, MPS 2= Material Particulado Suspenso-Entremarés, MPS 3= Material Particulado Suspenso-Sublitoral, MPS 4= Material Particulado Suspenso-Saída Emissário, Zoo- >1= Zooplâncton >1mm, Zoo- 650-1= Zooplâncton 650µm - 1mm, Zoo- 300-650= Zooplâncton 300µm - 650µm, Zoo- <300= Zooplâncton <300µm.

ANEXOS

Anexo 1: Intervalos de variação do $\delta^{13}\text{C}$ (‰) para os principais produtores primários de ambientes aquáticos marinhos (Fry & Sherr, 1984).

Produtores	$\delta^{13}\text{C}$
Gramíneas	-15‰ a -3‰
Macroalgas	-27‰ a -8‰
Fitoplâncton	-24‰ a -18‰
Algas Bentônicas Unicelulares	-20‰ a -10‰
Matéria orgânica de origem terrestre	-30‰ a -10‰

APÊNDICES

Apêndice 1: Espécies/grupos de invertebrados e número de amostras que compõem cada grupo trófico, para a amostra total e por época de coleta.

Grupos	Código	Verão N° de amostras	Inverno N° de amostras	Total N° de amostras	Grupo Trófico/Hábito Alimentar Referências Bibliográficas
Invertebrados					
Zooplâncton	ZOO	8	22	30	Herbívoro/Carnívoro/Onívoro/Detritívoro/Depositívoro
Zooplâncton n.i.		8	22		Véga-Perez, 1993; Brusca & Brusca, 2007
Cnidaria Anthozoa	CN	4	3	7	Carnívoro
<i>Anemonia sargassensis</i>		4	3		Ruppert & Barnes, 1996
Mollusca					
Bivalvia Depositívoro	MBD	3	2	5	Depositívoro
<i>Tellina</i> sp.		3	2		Arruda <i>et al.</i> , 2003
Bivalvia Suspensívoro	MBS	23	28	51	Suspensívoro
<i>Anomalocardia brasiliana</i>		20	24		Arruda <i>et al.</i> , 2003
<i>Corbula caribaea</i>		3			Arruda <i>et al.</i> , 2003
<i>Corbula cymella</i>			2		Arruda <i>et al.</i> , 2003
<i>Corbula</i> sp.			2		Arruda <i>et al.</i> , 2003
Gastropoda Herbívoro	MGH	14	13	27	Herbívoro
<i>Cerithium atratum</i>		4	3		Arruda <i>et al.</i> , 2003
<i>Colisella</i> sp.		3	3		Arruda <i>et al.</i> , 2003
<i>Littorina</i> sp.		4	3		Arruda <i>et al.</i> , 2003
<i>Neritina virginea</i>		3	4		Arruda <i>et al.</i> , 2003
Gastropoda Carnívoro	MGC	6	9	15	Carnívoro
<i>Olivella minuta</i>		4	3		Arruda <i>et al.</i> , 2003
<i>Stramonita haemastoma</i>		2	6		Watanabe & Young, 2006

Apêndice 1 (continuação): Espécies/grupos de invertebrados e número de amostras que compõem cada grupo trófico, para a amostra total e por época de coleta.

Grupos	Código	Verão N° de amostras	Inverno N° de amostras	Total N° de amostras	Grupo Trófico/Hábito Alimentar Referências Bibliográficas
Invertebrados					
Cephalopoda	CEP	2	14	16	Carnívoro
<i>Doryteuthis sanpaulensis</i>			5		Rodrigues, 2007; Gasalla <i>et al.</i> , 2010
<i>Lolliguncula brevis</i>		2	9		Coelho <i>et al.</i> , 2010
Anellida					
Polychaeta Carnívoro	PC	10	10	20	Carnívoro
Amphinomidae n.i.		6	3		Fauchald & Jumars, 1979; Amaral <i>et al.</i> , 1994
<i>Diopatra</i> sp.		4	3		Fauchald & Jumars, 1979; Muniz & Pires, 1999; Santos & Pires-Vanin, 2004; Brusca & Brusca, 2007
<i>Eunice</i> sp.			2		Fauchald & Jumars, 1979; Muniz & Pires, 1999; Santos & Pires-Vanin, 2004; Brusca & Brusca, 2007
Euniciidae n.i.			2		Brusca & Brusca, 2007
Polychaeta Suspensívoro	PS	4	4	8	Suspensívoro
<i>Branchyomma luctuosum</i>		4	4		Fauchald & Jumars, 1979; Brusca & Brusca, 2007
Polychaeta Depositívoro	PD	6	18	24	Depositívoro
Capitellidae n.i.		1	3		Fauchald & Jumars, 1979; Brusca & Brusca, 2007
<i>Laeonereis culveri</i>		4	3		Fauchald & Jumars, 1979
Orbiniidae n.i.			4		Fauchald & Jumars, 1979
Poecilochaetidae n.i.			6		Fauchald & Jumars, 1979; Brusca & Brusca, 2007
Spionidae n.i.		1	2		Fauchald & Jumars, 1979; Muniz & Pires, 1999; Brusca & Brusca, 2007

Apêndice 1 (continuação): Espécies/grupos de invertebrados e número de amostras que compõem cada grupo trófico, para a amostra total e por época de coleta.

Grupos	Código	Verão	Inverno	Total	Grupo Trófico/Hábito Alimentar Referências Bibliográficas
		Nº de amostras	Nº de amostras	Nº de amostras	
Invertebrados					
Crustacea					
Decapoda Brachyura - UCA	DBU	4	3	7	Carnívoro/Detrítivoro
<i>Uca</i> sp.		4	3		Amaral <i>et al.</i> , 2010
Decapoda Brachyura Todos	DBT	28	27	55	Depositívoro/Detrítivoro
<i>Callinectes danae</i>		12	10		Petti <i>et al.</i> , 1996
<i>Charybdis helleri</i>		1	5		Ruppert & Barnes, 1996; Sant'anna <i>et al.</i> , 2015
<i>Hepatus</i> sp.		7	1		Petti <i>et al.</i> , 1996
<i>Pachygrapsus transversus</i>		3	5		Ruppert & Barnes, 1996; Christofolletti <i>et al.</i> , 2010
Portunidae n.i.		2	1		Ruppert & Barnes, 1996
Xanthidae n.i.		3	5		Ruppert & Barnes, 1996
Decapoda Caridea	DC	4	5	9	Detrítivoro
Alpheidae n.i.		4	5		Ruppert & Barnes, 1996
Decapoda Penaeidae	DP	19	21	40	Detrítivoro
<i>Penaeus brasiliensis</i>		19			Ruppert & Barnes, 1996; Tararan <i>et al.</i> , 1993
<i>Penaeus schmitti</i>			1		Ruppert & Barnes, 1996; Tararan <i>et al.</i> , 1993
<i>Penaeus paulensis</i>			16		Ruppert & Barnes, 1996; Tararan <i>et al.</i> , 1993
<i>Rimapenaeus constrictus</i>			4		Ruppert & Barnes, 1996; Tararan <i>et al.</i> , 1993
Decapoda Sicyoniidae	DS	4	1	5	Detrítivoro
Sicyoniidae n.i.		4	1		Ruppert & Barnes, 1996; Tararan <i>et al.</i> , 1993

Apêndice 1 (continuação): Espécies/grupos de invertebrados e número de amostras que compõem cada grupo trófico, para a amostra total e por época de coleta.

Grupos	Código	Verão	Inverno	Total	Grupo Trófico/Hábito Alimentar Referências Bibliográficas
		N° de amostras	N° de amostras	N° de amostras	
Invertebrados					
Crustacea					
Tanaidacea	TA	3	4	7	Depositívoro
Monokalliapseudes schubarti		3	4		Amaral et al., 2010
Gammaridea	GA		5	5	Detritívoro/Saprófago
Gammaridea n.i.			5		Ruppert & Barnes, 1996
Isopoda	IS		2	2	Herbívoro/Onívoro/Detritívoro/Depositívoro
Isopoda n.i.			2		Ruppert & Barnes, 1996; Brusca & Brusca, 2007
Echinodermata					
Ophiuroidea	OPH	2	6	8	Carnívoro/Suspensívoro/Detritívoro/Depositívoro
Ophiuroidea n.i.		2	6		Ruppert & Barnes, 1996; Yokoyama & Amaral, 2008
Total		144	197	341	

Apêndice 2: Médias e desvio padrão de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) das espécies/grupos de invertebrados, para a amostra total e por época de coleta.

Grupos	Código	Verão					Inverno					Total					Nº de amostras
		$\delta^{13}\text{C}$		$\delta^{15}\text{N}$		Nº de amostras	$\delta^{13}\text{C}$		$\delta^{15}\text{N}$		Nº de amostras	$\delta^{13}\text{C}$		$\delta^{15}\text{N}$			
		Média	dp	Média	dp		Média	dp	Média	dp		Média	dp	Média	dp		
Invertebrados																	
Zooplâncton																	
Zooplâncton >1mm	Zoo - >1	-20,8	1,41	7,5	0,14	2	-21,6	1,2	8,25	0,5	6	-21,38	1,21	8,1	0,49	8	
Zooplâncton 650µm - 1mm	Zoo - 650 - 1	-20,4	0,30	7,6	0,23	2	-21,8	0,9	7,38	0,4	6	-21,31	0,98	7,4	0,33	8	
Zooplâncton 300µm - 650µm	Zoo - 300 - 650	-19,1	0,63	8,0	0,09	2	-20,6	0,1	8,21	0,1	4	-20,18	0,74	8,2	0,15	6	
Zooplâncton <300µm	Zoo - <300	-20,2	0,44	7,6	0,05	2	-20,4	0,2	7,89	0,2	6	-20,37	0,26	7,8	0,20	8	
Cnidaria Anthozoa	CN	-15,2	0,11	11,7	0,18	4	-16,4	0,21	10,7	0,13	3	-15,8	0,65	11,3	0,54	7	
Mollusca																	
Bivalvia Depositívoro	MBD	-16,4	0,29	7,3	0,85	3	-16,8	0,46	7,4	0,57	2	-16,6	0,44	7,3	0,72	5	
Bivalvia Suspensívoro	MBS	-15,5	0,95	7,9	0,28	23	-16,2	1,31	8,2	0,45	28	-15,9	1,20	8,1	0,40	51	
Gastropoda Herbívoro	MGH	-11,1	2,15	9,5	2,22	14	-12,6	3,50	9,5	1,93	13	-11,8	2,92	9,5	2,04	27	
Gastropoda Carnívoro	MGC	-12,5	1,46	11,2	0,67	6	-13,1	0,55	11,6	0,54	9	-13,1	0,51	11,4	0,63	15	
Cephalopoda	CEP	-16,2	0,59	13,3	0,05	2	-17,5	0,25	14,2	0,37	14	-17,4	0,53	14,1	0,46	16	
Anellida																	
Polychaeta Carnívoro	PC	-15,0	2,00	9,7	0,65	10	-15,1	2,28	10,4	1,48	10	-15,1	2,09	10,1	1,16	20	
Polychaeta Suspensívoro	PS	-14,6	0,26	8,4	0,16	4	-16,0	0,08	7,1	0,11	4	-15,3	0,75	7,8	0,73	8	
Polychaeta Depositívoro	PD	-14,4	1,80	10,1	0,56	6	-17,0	1,77	9,4	0,95	18	-16,4	2,07	9,6	1,80	24	

Apêndice 2 (continuação): Médias e desvio padrão de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) das espécies/grupos de invertebrados, para a amostra total e por época de coleta.

Grupos	Código	Verão					Inverno					Total							
		$\delta^{13}\text{C}$		$\delta^{15}\text{N}$		Nº de amostras	$\delta^{13}\text{C}$		$\delta^{15}\text{N}$		Nº de amostras	$\delta^{13}\text{C}$		$\delta^{15}\text{N}$		Nº de amostras			
		Média	dp	Média	dp		Média	dp	Média	dp		Média	dp						
Invertebrados																			
Crustacea																			
Decapoda Brachyura - UCA	DBU	-15,7	0,64	7,0	0,51	4	-16,0	0,26	7,1	0,40	3	-15,8	0,50	7,1	0,43	7			
Decapoda Brachyura Todos	DBT	-13,7	1,46	10,9	0,90	28	-13,9	1,26	10,9	0,97	27	-13,8	1,36	10,9	0,93	55			
Decapoda Caridea	DC	-14,5	2,50	10,8	0,57	4	-18,0	0,23	9,5	0,23	5	-16,4	2,39	10,1	0,76	9			
Decapoda Penaeidae	DP	-13,4	0,85	10,1	1,48	19	-14,9	0,99	9,5	0,90	21	-14,2	1,18	9,8	1,22	40			
Decapoda Sicyoniidae	DS	-17,1	0,48	11,2	1,15	4	-17,1		9,0		1	-17,1	0,41	10,8	1,41	5			
Tanaidacea	TA	-14,4	0,09	7,7	0,48	3	-16,8	0,12	5,8	0,34	4	-15,8	1,26	6,6	1,09	7			
Gammaridea	GA						-14,5	0,57	8,9	0,53	5	-14,5	0,57	8,9	0,53	5			
Isopoda	IS						-10,2	0,01	7,8	0,03	2	-10,2	0,01	7,8	0,03	2			
Echinodermata																			
Ophiuroidea	OPH	-18,0	0,84	8,2	0,30	2	-16,9	1,27	9,3	0,92	6	-17,2	1,24	9,0	0,94	8			
Total					144					197					341				

Apêndice 3: Espécies/grupos de produtores e número de amostras que compõem cada grupo, para a amostra total e por época de coleta.

Grupos	Código	Verão N° de amostras	Inverno N° de amostras	Total N° total de amostras
Produtores				
Planta Terrestre - C3	TC3	6	7	13
<i>Terminalia catappa</i>		6	7	
Gramínea Terrestre - C4	TC4	3	3	6
Gramínea n.i.		3	3	
Seagrass - C4	SGR		3	3
<i>Halodule emarginata</i>			3	
Manguezal - <i>Avicennia shaweriana</i>	MAN-AS	9	6	15
Manguezal - <i>Laguncularia racemosa</i>	MAN-LR	6	6	12
Manguezal - <i>Rhizophora mangle</i>	MAN-RM	11	6	17
Manguezal - alga verde	MAN-AV	6	6	12
Chlorophyta n.i.		6	6	
Bostrychietum	BOS	3	3	6
Bostrychietum		3	3	
Turf	TUR	3	3	6
Turf n.i.		3	3	
Macroalgas - alga verde - <i>Ulva lactuca</i>	MAC-VER	3	3	6
	MAC-VEM	3	3	6
Macroalgas - alga vermelha		3	3	
Rhodophyta n.i.		3	3	
Microfitobentos - Sublitoral	MFB-SUB	7(C)/5(N)	7(C)/3(N)	14(C)/8(N)
Microfitobentos - Entremarés	MFB-EM	4(C)/4(N)	4(C)/3(N)	8(C)/7(N)
Sedimentos - Sublitoral	SED-SUB	7	6	13
Sedimentos - Entremarés	SED-EM	3	3	6
Material Particulado Suspenso 1	MPS 1	2	4	6
Material Particulado Suspenso - Continental				
Material Particulado Suspenso 2	MPS 2		4	4
Material Particulado Suspenso - Entremarés				
Material Particulado Suspenso 3	MPS 3	16	17	33
Material Particulado Suspenso - Sublitoral				
Material Particulado Suspenso 4	MPS 4	3		3
Material Particulado Suspenso - Saída Emissário				
Total Amostras Carbono		95	94	189
Total Amostras Nitrogênio		93	89	182

Apêndice 4: Médias e desvio padrão de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) das espécies/grupos de produtores, para a amostra total e por época de coleta.

Grupos	Código	Verão					Inverno					Total						
		$\delta^{13}\text{C}$		$\delta^{15}\text{N}$		N° de amostras	$\delta^{13}\text{C}$		$\delta^{15}\text{N}$		N° de amostras	$\delta^{13}\text{C}$		$\delta^{15}\text{N}$		N° de amostras		
		Média	dp	Média	dp		Média	dp	Média	dp		Média	dp	Média	dp			
Produtores																		
Planta Terrestre - C3	TC3	-28,8	1,87	4,5	1,26	6	-29,7	1,38	2,3	2,33	7	-29,3	1,62	3,3	2,17	13		
Gramínea Terrestre - C4	TC4	-12,8	0,61	5,4	2,36	3	-13,6	0,24	4,4	2,71	3	-13,2	0,58	4,9	2,35	6		
Seagrass - C4	SGR						-11,4	0,14	5,5	0,08	3	-11,4	0,14	5,5	0,08	3		
Manguezal - <i>Avicennia shaweriana</i>	MAN-AS	-27,3	1,93	7,7	0,75	9	-28,1	1,57	8,2	0,67	6	-27,6	1,78	7,9	0,75	15		
Manguezal - <i>Laguncularia racemosa</i>	MAN-LR	-29,8	1,12	6,5	0,92	6	-28,1	0,86	5,6	0,64	6	-28,9	1,32	6,0	0,88	12		
Manguezal - <i>Rhizophora mangle</i>	MAN-RM	-28,6	1,42	7,1	0,89	11	-29,4	0,78	6,7	0,68	6	-28,9	1,26	7,0	0,82	17		
Manguezal - alga verde	MAN-AV	-17,2	1,21	8,2	0,88	6	-16,0	0,27	6,8	0,68	6	-16,6	1,03	7,5	1,06	12		
Bostrychietum	BOS	-23,5	2,13	8,0	0,32	3	-20,0	0,26	8,6	0,13	3	-21,8	2,36	8,3	0,41	6		
Turf	TUR	-14,6	0,4	7,3	0,2	3	-17,1	0,5	7,8	0,3	3	-15,8	1,41	7,5	0,34	6		
Macroalgas - alga verde - <i>Ulva</i> sp.	MAC-VER	-14,7	0,02	9,0	0,06	3	-14,5	0,04	8,7	0,12	3	-14,6	0,14	8,8	0,19	6		
Macroalgas - alga vermelha	MAC-VEM	-15,0	0,07	9,8	0,07	3	-15,4	0,23	9,1	0,09	3	-15,2	0,25	9,5	0,37	6		
Microfitobentos - Sublitoral	MFB-SUB	-24,4	0,73	4,7	1,17	7(C)/5(N)	-23,2	0,23	5,5	0,83	7(C)/3(N)	-23,8	0,80	5,0	1,07	14(C)/8(N)		
Microfitobentos - Entremarés	MFB-EM	-16,2	2,52	5,3	5,23	4(C)/4(N)	-21,3	1,39	5,3	1,20	4(C)/3(N)	-18,7	3,32	5,3	3,77	8(C)/7(N)		
Sedimentos - Sublitoral	SED-SUB	-22,8	0,47	5,6	0,61	7	-23,1	0,49	6,0	0,18	6	-23,0	0,50	5,8	0,49	13		
Sedimentos - Entremarés	SED-EM	-19,9	0,20	6,6	1,10	3	-20,1	0,74	6,2	1,30	3	-20,0	0,51	6,4	1,10	6		
Material Particulado Suspenso - Continental	MPS 1	-22,4	0,62	0,2	0,29	2	-23,8	0,28	0,6	0,39	4	-23,3	0,77	0,5	0,41	6		
Material Particulado Suspenso - Entremarés	MPS 2						-22,9	0,53	1,7	1,63	4	-22,9	0,53	1,7	1,63	4		
Material Particulado Suspenso - Sublitoral	MPS 3	-23,1	0,66	6,3	1,07	16	-23,4	0,63	6,6	0,95	17	-23,3	0,65	6,5	1,01	33		
Material Particulado Suspenso - Saída Emissário	MPS 4	-19,0	0,54	6,3	1,75	3						-19,0	0,54	6,3	1,75	3		
Total Amostras Carbono						95						94						189
Total Amostras Nitrogênio						93						89						182

Apêndice 5: Médias e desvio padrão de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) para a amostra total das espécies/grupos de produtores, invertebrados e peixes reunidos em grupos taxonômicos superiores.

Grupos	Código	$\delta^{13}\text{C}$		$\delta^{15}\text{N}$	
		Média	dp	Média	dp
Produtores					
Planta Terrestre - C3	TC3	-29,3	1,62	3,3	2,17
Gramínea Terrestre - C4	TC4	-13,2	0,58	4,9	2,35
Seagrass - C4	SGR	-11,4	0,14	5,5	0,08
Manguezal	MAN	-28,5	1,57	7,0	1,09
Manguezal - alga verde	MAN-AV	-16,6	1,03	7,5	1,06
Bostrychietum	BOS	-21,8	2,36	8,3	0,41
Turf	TUR	-15,8	1,41	7,5	0,34
Macroalgas	MAC	-14,9	0,38	9,2	0,43
Microfitobentos	MFB	-22,0	3,22	5,1	2,58
Sedimentos	SED	-22,0	1,49	6,0	0,76
Material Particulado Suspenso (MPS)	MPS	-23,0	1,23	5,3	2,54
Invertebrados					
Zooplâncton	ZOO	-20,8	0,99	7,9	0,42
Cnidaria Anthozoa	CN	-15,8	0,65	11,3	0,54
Mollusca					
Bivalvia	BIV	-16,0	1,17	8,0	0,48
Gastropoda	GAS	-12,2	2,45	10,2	1,90
Cephalopoda	CEP	-17,4	0,53	14,1	0,46
Anellida					
Polychaeta	POL	-15,7	2,00	9,5	1,24
Crustacea					
Decapoda (Brachyura)	BRA	-14,0	1,45	10,5	1,51
Decapoda (Camarões)	CAM	-14,8	1,76	9,9	1,19
Tanaidacea	TA	-15,8	1,26	6,6	1,09
Gammaridea	GA	-14,5	0,57	8,9	0,53
Isopoda	IS	-10,2	0,01	7,8	0,03
Echinodermata					
Ophiuroidea	OPH	-17,2	1,24	9,0	0,94
Vertebrados					
Teleostei	TEL	-15,1	1,63	12,2	1,29

Apêndice 6: Referências bibliográficas utilizadas para compor os grupos tróficos de invertebrados e peixes no presente estudo.

- ALLEN, T.; JIMENEZ, M. & VILLAFRANCA, S. (2006). Estructura y categorías tróficas de peces asociados a praderas de *Thalassia testudinum* (Hydrocharitales, Hydrocharitaceae) en el golfo de Cariaco, Estado de Sucre, Venezuela. *Investigaciones Marinas* **34(2)**: 125-136.
- AMARAL, A.C.Z.; MORGADO, E.H. & STEINER, T.M. (1994). Alguns aspectos da zonação da macrofauna de poliquetos em praias arenosas. In: IX Mini-Simpósio de Biologia Marinha, São Sebastião, 9:2.
- ARANTES, L.P.L. (2014). Relações alimentares de peixes da Enseada do Araçá (SP), Sudeste do Brasil. Dissertação de Mestrado. São Paulo, Brasil: Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico. 106p.
- ARRUDA, E.P.; DOMANESCHI, O. & AMARAL, A.C.Z. (2003). Mollusc feeding guilds on sandy beaches in São Paulo State, Brazil. *Marine Biology* **143**: 691-701.
- BRUSCA, R. C. & BRUSCA, G.J. (2007). Invertebrados. 2nd ed. Rio de Janeiro: Guanabara:Koogan. 968p.
- CHAVES, P.T. & VENDEL, A.L. (2008). Análise comparativa da alimentação de peixes (Teleostei) entre ambientes de marisma e de manguezal num estuário do sul do Brasil (Baía de Guaratuba, Paraná). *Revista Brasileira de Zoologia* **25(1)**:10-15.
- CHRISTOFOLETTI, R.A.; MURAKAMI, V.A.; OLIVEIRA, D.N.; BARRETO, R.E.; FLORES, A.A.V. (2010). Foraging by the omnivorous crab *Pachygrapsus transversus* affects the structure of assemblages on sub-tropical rocky shores. *Marine Ecological Progress Series* **420**: 125-134.
- COELHO, L.I.; MUTO, E.Y.; MARIAN, J.A.R. & SOARES, L.S.H. (2010). Contribuição ao conhecimento da dieta, atividade alimentar e reprodução de *Lolliguncula brevis* (Blainville, 1823) na região costeira de Santos (estado de São Paulo). *Boletim do Instituto de Pesca* **36**: 225-236.
- CONTENTE, R.F.; STEFANONI, M.F. & SPACH, H.L. (2011). Feeding ecology of the Brazilian silverside *Atherinella brasiliensis* (Atherinopsidae) in a sub-tropical estuarine ecosystem. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* **91(6)**: 1197-1205.
- DEUS, A.A.L.; ROCHA, D.F.; RIBAS, D.T. & NOVELLI, R. (2007). Estudo do conteúdo estomacal da tainha *Mugil curema* Valenciennes, 1836 (Pisces, Mugilidae) na Lagoa do Açu, norte do estado do Rio de Janeiro. In: Anais. VII Congresso de Ecologia do Brasil. Caxambu, pp. 1-2.
- FAUCHALD, K & JUMARS, P.A. (1979). The diet of worms: a study of polychaete feeding guilds. *Oceanography and Marine Biology Annual Review* **17**: 193-284.
- FROESE, R. & PAULY, D. (2013). FishBase. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org, version 12/2013.<http://www.fishbase.org>.
- FIGUEIREDO, J.L. & MENEZES, N.A. (1978). Manual dos peixes do Sudeste do Brasil. II. Teleostei (1). São Paulo: Universidade de São Paulo, Museu de Zoologia.
- GASALLA, M.A.; RODRIGUES, A.R & POSTUMA, F.A. (2010). The trophic role of the squid *Loligo plei* as a keystone species in the South Brazil Bight ecosystem. *ICES Journal of Marine Science* **67**: 1413–1424.
- GIBRAN, F.Z. (2007). Activity, habitat use, feeding behavior, and diet of four sympatric species of Serranidae (Actinopterygii: Perciformes) in southeastern Brazil. *Neotropical Ichthyology* **5(3)**: 387-398.

- GOITEN, R. (1983). *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879): estudos sobre alimentação nas regiões de Ubatuba (23°26'S), Santos (24°02'S) e Cananéia (25°01'S, Brasil. *Naturalia* **8**: 197-209.
- HOFLING, J.C.; FERREIRA, L.I.; RIBEIRO-NETO, F.B.; OLIVEIRA, M.P.; PAIVA-FILHO, A.M. & PRADO, A. (2000). Alimentação de peixes da família Clupeidae no complexo estuarino lagunar de Cananéia, São Paulo, Brasil. *Bioikos* **14(2)**: 12-20.
- MUNIZ, P. & PIRES, A.M.S. (1999). Trophic relationships of polychaetes in the São Sebastião Channel (southeastern Brazil). *Marine Biology* **134**: 517-528.
- PETTI, M.A.V.; NONATO, E.F. & PAIVA, P.C. (1996). Trophic relationships between polychaetes and brachyuran crabs on the southeastern Brazilian coast. *Revista Brasileira de Oceanografia* **44(1)**: 61-67.
- PUCCI, M.C.J. 2004. *Dieta e partilha alimentar de seis espécies de peixes piscívoros da plataforma continental sudeste do Brasil*. São Paulo, Brasil: Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico. 137p.
- RODRIGUES, A.R. (2007). Caracterização da estrutura populacional e alimentação das lulas *Loligo plei* (Blainville, 1823) e *Loligo sanpaulensis* (Brackoniech, 1984) (Cephalopoda: Loliginidae) capturada pela pesca industrial do Estado de São Paulo. Dissertação de Mestrado. São Paulo, Brasil: Instituto de Pesca - APTA - SAA. 87p.
- ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C.L.D.B., SOARES, L.S.H. & MUTO, E.Y. (1997). A ictiofauna demersal do Canal e da Plataforma Interna de São Sebastião. *Relatório Técnico Instituto Oceanográfico* **41**: 47-64.
- RUPPERT, E.E.; BARNES R.D. (1996). Zoologia dos Invertebrados. 6ª ed. São Paulo: Roca Editora. 1029p.
- SANT'ANNA, B.S.; BRANCO, J.O.; OLIVEIRA, M.M.; BOOS, H. & TURRA, A. (2015). Diet and population biology of the invasive crab *Charybdis hellerii* in southwestern Atlantic waters. *Marine Biology Research* **11**: 814-823.
- SANTOS, M.F.L. & PIRES-VANIN, A.M.S. (2004). Structure and dynamics of the macrobenthic communities of Ubatuba Bay, southeastern Brazilian coast. *Brazilian Journal of Oceanography* **52(1)**: 59-73.
- SILVANO, R.A.M. (2001). Feeding habits and interspecific feeding associations of *Caranx latus* (Carangidae) in a subtropical reef. *Environmental Biology of Fishes* **60**: 465-470.
- SOARES L.S.H.; MUTO, E.Y.; GASPARRO, M.R. & ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C.L.D.B. (2008). Organização trófica dos peixes. In: *Oceanografia de um ecossistema subtropical: Plataforma interna de São Sebastião, SP*. (Pires-Vanin, A.M.S., ed.). pp. 405-425. São Paulo, Brasil: EDUSP.
- SOARES, L. S. H. & VAZZOLER, A. E. A. DE M. (2001). Diel changes in food and feeding activity of sciaenid fishes from the South-Western Atlantic, Brazil. *Revista Brasileira de Biologia* **61(2)**: 197-216.
- TARARAN, A.S.; WAKABARA, Y. & EQUI, M.B. (1993). Hábitos alimentares de onze espécies da megafauna benthica da plataforma continental de Ubatuba. *Publicação Especial do Instituto Oceanográfico, São Paulo* **10**: 159-167.
- VASCONCELOS FILHO, L.; NEUMANN-LEITÃO, S.; ESKINAZI-LEÇA, E.; SCHWANBORN, R.; OLIVEIRA, A.M.E. & PARANAGUÁ, M.N. (2003). trophic interactions between fish and other compartment communities in a tropical estuary in Brazil as indicator of environmental quality. *Transactions on Ecology and the Environment* **63**.
- VÉGA-PEREZ, L.A. (1993). Estudo do zooplâncton da região de Ubatuba, Estados de São Paulo. *Publicação Especial do Instituto Oceanográfico, São Paulo* **10**: 65-84.

- WATANABE, J.T. & YOUNG, C.M. (2006). Feeding habits and phenotypic changes in proboscis length in the southern oyster drill, *Stramonita haemastoma* (Gastropoda: Muricidae), on Florida sabellariid worm reefs. *Marine Biology* **148**: 1021-1029.
- WEINBERGER, C.S. & POSADA, J.M. (2005). Analysis on the diet of bonefish, *Albula vulpes*, in Los Roques Archipelago National Park, Venezuela. *Contributions in Marine Science* **37**: 30-45.
- YOKOYAMA, L.Q. & AMARAL, A.C.Z. (2008). The diet of *Ophionereis reticulata* (Echinodermata: Ophiuroidea) in southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Zoologia* **25(3)**: 576-578.
- ZAHORCSAK, P.; SILVANO, R.A.M. & SAZIMA, I. (2000). Feeding biology of a guild of benthivorous fishes in a sandy shore on South-Eastern Brazilian Coast. *Revista Brasileira de Biologia* **60(3)**: 511-518.