

**GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO**  
**SECRETARIA DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO**  
**AGÊNCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA DOS AGRONEGÓCIOS**  
**INSTITUTO DE PESCA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA E PESCA**

**Morfologia e composição química dos otólitos *sagittae* de *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879): elementos para análise de sua estrutura populacional no Atlântico Sudoeste (22°59'S – 28°36'S)**

**Simone Perin**

**Orientador: Prof. Dr. André Martins Vaz-dos-Santos**  
**Co-orientadora: Profa. Dra. Alejandra V. Volpedo**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Aquicultura e Pesca do Instituto de Pesca - APTA – SAA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Aquicultura e Pesca.

**São Paulo**  
**Setembro – 2014**

**GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO**  
**SECRETARIA DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO**  
**AGÊNCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA DOS AGRONEGÓCIOS**  
**INSTITUTO DE PESCA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA E PESCA**

**Morfologia e composição química dos otólitos *sagittae* de *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879): elementos para análise de sua estrutura populacional no Atlântico Sudoeste (22°59'S – 28°36'S)**

**Simone Perin**

**Orientador: Prof. Dr. André Martins Vaz-dos-Santos**  
**Co-orientadora: Profa. Dra. Alejandra V. Volpedo**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Aquicultura e Pesca do Instituto de Pesca - APTA – SAA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Aquicultura e Pesca.

**São Paulo**  
**Setembro – 2014**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Elaborada pelo Núcleo de Informação e Documentação. Instituto de Pesca, São Paulo

P445m

Perin, Simone

Morfologia e composição química dos otólitos *sagittae* de *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879) : elementos para análise de sua estrutura populacional no Atlântico Sudoeste (22°59'S - 28°36'S) / Simone Perin – São Paulo, 2014.

xii, 64f. ; il. ; gráf. ; tab.

Dissertação (mestrado) apresentada ao Programa de Pós-graduação em Aquicultura e Pesca do Instituto de Pesca – APTA - Secretaria de Agricultura e Abastecimento.

Orientador: André Martins Vaz-dos-Santos

1. Sardinha verdadeira. 2. Índices de forma. 3. ICP-OES. 4. Bacia do Sudeste do Brasil I. Vaz-dos-Santos, André Martins. II. Título.

CDD 639.3

Permitida a cópia parcial, desde que citada a fonte – O autor

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO  
SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO  
AGÊNCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA DOS AGRONEGÓCIOS  
**INSTITUTO DE PESCA**  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA E PESCA

MORFOLOGIA E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS OTÓLITOS  
SAGITTAE DE SARDINELLA BRASILIENSIS (STEINDACHNER,  
1879): ELEMENTOS PARA ANÁLISE DE SUA ESTRUTURA  
POPULACIONAL NO ATLÂNTICO SUDOESTE (22°59'S – 28°36'S)

SIMONE PERIN

Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção  
do título de MESTRE EM AQUICULTURA E PESCA, Área de  
Concentração em Pesca, pela Comissão Examinadora:

APROVADA EM 22/08/2014 POR:



**Prof. Dr. André Martins Vaz-dos-Santos**  
Orientador e Presidente da Comissão Examinadora



**Prof. Dr. Cristiano de Queiroz Albuquerque**



**Prof. Dr. Antônio Olinto Ávila-da-Silva**

## ***Agradecimentos***

Agradeço primeiramente a Deus pela oportunidade de colocar pessoas boas em meu caminho e por sempre me ajudar a ter fé e esperança que tudo daria certo.

Agradeço imensamente meus pais: Célia e Nelson por sempre me apoiarem, e acreditar que este meu sonho de ser mestre era, sim, possível. Um agradecimento especial ao meu parceiro/namorado Bruno, que sempre me ajudou nos momentos difíceis e nos momentos de alegria.

Ao meu orientador e co-orientadora que sempre me ajudaram e puxaram a orelha na hora que precisava, obrigada por depositarem a confiança de vocês em mim.

As minhas amigas: Clarissa, Melissa, Adrielen, Beatriz, Tatiane e Munique por me apoiar e incentivar.

Aos amigos do mestrado do Instituto de Pesca, por momentos de descontração e ajuda durante as disciplinas, muito obrigada!

Ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação do Instituto de Pesca, pelo ensinamentos e dedicação a nós alunos, obrigada!

Agradeço a CAPES pela bolsa de mestrado durante os dois anos do curso. Especialmente ao Projeto CAPES CAFD 043/2013, que possibilitou a missão de estudo em Buenos Aires, na pessoa do Prof. Dr. Henry Louis Spach.

Aos professores membros da banca de qualificação e defesa pela paciência e ensinamentos e valiosas contribuições, muito obrigada!

Agradeço a Universidade São Judas Tadeu (São Paulo, Brasil), ao Laboratório de Esclerocronologia da Universidade Federal do Paraná (Palotina, Brasil) e ao Centro de Estudos Transdisciplinares da Água da Universidad de Buenos Aires (Buenos Aires, Argentina) pela infraestrutura para a realização prática do mestrado.

Enfim agradeço a todos aqueles que sempre me ajudaram (direta ou indiretamente) para que este sonho se tornasse realidade, muito obrigada mesmo pelo apoio!

Muito obrigada por tudo!

Ps. Se esqueci de alguém peço desculpas.

## Sumário

Índices de Figuras .....	viii
Índices de Tabelas .....	x
Resumo .....	xi
Abstract .....	xii
<b>Introdução Geral .....</b>	<b>01</b>
A pesca e a sardinha-verdadeira, <i>Sardinella brasiliensis</i> .....	01
Aspectos biológicos de <i>Sardinella brasiliensis</i> .....	03
Uso de otólito para compreensão da estrutura populacional de peixes ...	05
Questão de trabalho .....	06
Caracterização ambiental da bacia do Sudeste do Brasil .....	07
<b>Objetivo .....</b>	<b>09</b>
Objetivos específicos .....	09
<b>Estrutura do texto .....</b>	<b>09</b>
<b>Referências bibliográficas .....</b>	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO 1 – Variação geográfica de <i>Sardinella brasiliensis</i></b> <b>(Steindachner, 1879) com base em otólitos de jovens do</b> <b>ano.....</b>	<b>16</b>
<b>Resumo .....</b>	<b>18</b>
<b>1.1 Introdução .....</b>	<b>19</b>
<b>1.2 Material e Métodos .....</b>	<b>21</b>
1.2.1 Obtenção de amostras .....	21
1.2.2 Morfologia e morfometria dos otólitos.....	22
1.2.3 Análise microquímica dos otólitos .....	24
<b>1.3 Resultados .....</b>	<b>26</b>
1.3.1 Caracterização da subamostra.....	26
1.3.2 Morfologia e morfometria dos otólitos.....	27
1.3.3 Análise microquímica dos otólitos .....	31
<b>1.4 Discussão .....</b>	<b>33</b>
<b>1.5 Referências bibliográficas .....</b>	<b>37</b>

<b>CAPÍTULO 2 – Otólitos como ferramenta para estudo da estrutura populacional de <i>Sardinella brasiliensis</i> (Steindachner, 1879) no Atlântico Sudoeste.....</b>	<b>42</b>
<b>Resumo .....</b>	<b>43</b>
<b>2.1 Introdução .....</b>	<b>44</b>
<b>2.2 Material e Métodos .....</b>	<b>47</b>
2.2.1 Obtenção de amostras .....	47
2.2.2 Morfologia e morfometria dos otólitos.....	49
2.2.3 Análise microquímica dos otólitos .....	49
<b>2.3 Resultados .....</b>	<b>51</b>
2.3.1 Caracterização da subamostra.....	51
2.3.2 Morfologia e morfometria dos otólitos.....	51
2.3.3 Análise microquímica dos otólitos .....	55
<b>2.4 Discussão .....</b>	<b>57</b>
<b>2.5 Referências bibliográficas .....</b>	<b>60</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>64</b>

## Índices de Figuras

### *Introdução geral*

**Figura 1.** Produção mundial da pesca marinha ao longo do período de 2000 a 2011 ..... 01

**Figura 2.** Descargas da pesca marinha extrativa do Brasil ao longo do período de 2000 a 2011..... 02

**Figura 3.** A sardinha-verdadeira, *Sardinella brasiliensis*. (Fonte: Alfredo Carvalho Filho <http://www.fishbase.org/>) ..... 03

**Figura 4.** Bacia do Sudeste do Brasil com as áreas adotadas no presente estudo com base em características ambientais (detalhes no texto). ..... 08

### *Capítulo 1*

**Figura 1.1.** Mapa mostrando os locais de pesca com captura de jovens do ano (Ct < 100 mm) de *Sardinella brasiliensis* nos cruzeiros de pesca exploratória do Programa ECOSAR na bacia do Sudeste do Brasil (2008 – quadrados pretos; 2010 – losangos vermelhos) ..... 21

**Figura 1.2.** *Sardinella brasiliensis*: foto do otólito *sagittae* direito indicando as medidas obtidas de comprimento do otólito (Co mm), altura do otólito (Ao mm) comprimento do sulco acústico (Csa mm) e altura do sulco acústico (Asa mm)..... 23

**Figura 1.3.** *Sardinella brasiliensis*: distribuições de frequência de jovens do ano por classes de comprimento total (Ct mm) para cada época e área nas coletas da bacia do Sudeste do Brasil entre 2008 e 2010..... 27

**Figura 1.4.** *Sardinella brasiliensis*: média e intervalo de confiança (95%) dos índices de forma em função das classes de comprimento total de jovens do ano nas coletas da bacia do Sudeste do Brasil entre 2008 e 2010. .... 29

**Figura 1.5.** *Sardinella brasiliensis*: eixos de ordenação da análise de componentes principais entre os valores dos índices de forma de otólitos de jovens do ano. (a) componentes 1 e 2 (43% e 28 % de explicação) e (b) componentes 2 e 3 (28% e 12% de explicação) (Círculos: 2008; Quadrados: 2010; Área 1: preto, Área 2: cinza; Área 3: vermelho). ..... 30

**Figura 1.6.** *Sardinella brasiliensis*: variação dos índices de forma para os três morfotipos de otólitos de jovens do ano detectados através da ACP e MANOVA ..... 30

**Figura 1.7.** *Sardinella brasiliensis*: (a) variação das concentrações individuais dos elementos químicos nos otólitos de jovens do ano. (b) variação das razões dos elementos químicos nos otólitos de jovens do ano ..... 32

**Figura 1.8.** *Sardinella brasiliensis*: gráfico de caixa da variação das razões dos elementos químicos nos otólitos de jovens do ano nas coletas da bacia do Sudeste do Brasil (caixa = 1°, 2° e 3° quartis; barras verticais = limites definidos por quartil  $\square$  1,5(Q3-Q1),  $\blacklozenge$  = média aritmética; \* = outliers) ..... 32

## Capítulo 2

**Figura 2.1.** Mapa mostrando os locais de pesca com captura de adultos de *Sardinella brasiliensis* nos cruzeiros de pesca exploratória do Programa ECOSAR na bacia do Sudeste do Brasil (2008 – quadrados pretos; 2009 – triângulos pretos; 2010 – losangos vermelhos) ..... 48

**Figura 2.2.** *Sardinella brasiliensis*: distribuição de frequência de indivíduos por classe de comprimento total (Ct) nas capturas do Programa ECOSAR entre 2008 e 2010 na bacia do Sudeste do Brasil ..... 48

**Figura 2.3.** *Sardinella brasiliensis*: distribuições de frequência de indivíduos por classes de comprimento total (Ct mm) para cada época e área ..... 51.

**Figura 2.4.** *Sardinella brasiliensis*: média e intervalo de confiança (95%) dos índices de forma em função das classes de comprimento total de adultos nas coletas da bacia do Sudeste do Brasil entre 2008 e 2010. .... 53

**Figura 2.5.** *Sardinella brasiliensis*: eixos de ordenação da análise de componentes principais entre os valores dos índices de forma de otólitos de adultos. Componentes 1 e 2 com 39% e 16 % de explicação (Círculos: 2008; Xis: 2009, Quadrados: 2010; Área 1: preto, Área 2: cinza). .... 54

**Figura 2.6.** *Sardinella brasiliensis*: (a) variação das concentrações individuais dos elementos químicos nos otólitos de adultos. (b) variação das razões dos elementos químicos nos otólitos de adultos..... 55

**Figura 2.7.** *Sardinella brasiliensis*: gráfico de caixa da variação das razões dos elementos químicos nos otólitos de adultos nas coletas da bacia do Sudeste do Brasil entre 2008 e 2010 (caixa = 1°, 2° e 3° quartis; barras verticais = limites definidos por quartil  $\square$  1,5(Q3-Q1),  $\blacklozenge$  = média aritmética; \* = outliers) ..... 56

## Índice de Tabelas

### **Introdução geral**

<b>Tabela 1.</b> Principais espécies de peixes marinhos capturadas entre os anos de 2007 a 2010, costa do Brasil .....	02
--	----

### **Capítulo 1**

<b>Tabela 1.1.</b> Fórmula dos índices de forma aplicados nas medidas dos otólitos de <i>Sardinella brasiliensis</i> (todas as variáveis de tamanho estão em mm, exceto as medidas de área que estão em mm <sup>2</sup> ) .....	23
---	----

<b>Tabela 1.2.</b> Condições de operação do equipamento Perkin Elmer® Optima 2000 DV. ....	25
--	----

<b>Tabela 1.3.</b> <i>Sardinella brasiliensis</i> : variação das medidas dos otólitos <i>sagittae</i> de jovens do ano (n = 92) nas coletas da bacia do Sudeste do Brasil entre 2008 e 2010 .....	28
---	----

<b>Tabela 1.4.</b> <i>Sardinella brasiliensis</i> : valores de probabilidade <i>p</i> das comparações duas a duas entre os escores das três componentes principais obtidas a partir dos índices de forma .....	31
--	----

### **Capítulo 2**

<b>Tabela 2.1.</b> <i>Sardinella brasiliensis</i> : variação das medidas dos otólitos <i>sagittae</i> de jovens do ano (n = 348) .....	52
--	----

<b>Tabela 2.2.</b> <i>Sardinella brasiliensis</i> : modelos potenciais ajustados entre o comprimento total (Ct, mm) e o comprimento (Co, mm) e a altura (Ao, mm) dos otólitos de adultos (n = 348) ( $r^2$ = coeficiente de determinação) .....	55
---	----

## Resumo

A sardinha-verdadeira, *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879) (Clupeiformes: Clupeidae) é uma espécie pelágica de pequeno porte endêmica da bacia do Sudeste do Brasil (22°59'S – 28°36'S). É um dos mais importantes recursos pesqueiros da área, onde é alvo das frotas de cerco (traineiras) que atuam na região, sendo por isto bem estudada quanto aos seus aspectos biológicos. Destes estudos, é possível verificar que a sardinha-verdadeira não apresenta homogeneidade em sua área de distribuição: (i) os peixes mais velhos e maiores se concentram mais ao norte, na costa dos estados de São Paulo e Rio de Janeiro; (ii) existem aos menos dois morfotipos de otólitos; (iii) existem áreas diferentes de desova. Estes fatores, aliados às intensas flutuações de biomassa e volumes desembarcados, levaram a questão de trabalho: a morfometria e a microquímica dos otólitos reflete variações geográficas? Para tal, otólitos de exemplares de jovens do ano e de adultos de *S. brasiliensis* foram analisados através de nove índices de forma (morfologia e morfometria) e através de sua constituição microquímica (razões entre estrôncio, cálcio e bário) (ICP-OES). Foram utilizados otólitos de peixes coletados durante o “Prospecção e avaliação de biomassa do estoque de sardinha, na costa sudeste, por métodos hidroacústicos” (ECOSAR) em 2008, 2009 e 2010, entre setembro e março. Para análise, a bacia do Sudeste do Brasil foi dividida em três áreas, de acordo com suas características ambientais. Os resultados da morfometria foram mais robustos que os da análise microquímica. Houve forte variação geográfica entre os jovens do ano, com diferenciação entre os peixes das regiões de Cabo Frio, plataforma continental ao largo de São Paulo e Cabo de Santa Marte Grande. Para os adultos, a variabilidade indicou que os jovens ao crescer se reúnem em um grupo único. Considera-se fundamental que a variação geográfica detectada em jovens do ano seja levada em conta na gestão de *S. brasiliensis*, sendo verificada a contribuição de cada grupo para o estoque adulto.

**Palavras-chave:** sardinha-verdadeira; índices de forma; ICP-OES; bacia do Sudeste do Brasil.

## **Abstract**

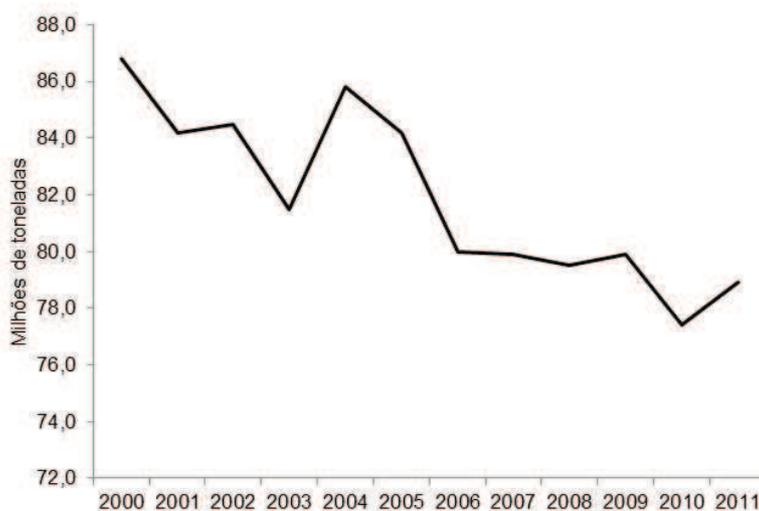
The Brazilian sardine, *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879) (Clupeiformes: Clupeidae) is a small pelagic species endemic of Southeastern Brazilian Bight (22 ° 59'S - 28 ° 36'S). It is one of the most important fish stocks in the area, target by purse seines of the region. Because of that, it is well studied. *S. brasiliensis* population is heterogeneous in the area: (i) the older and larger fish are concentrated further north on the São Paulo and Rio de Janeiro coasts; (ii) there are at least two morphotypes of otoliths; (iii) spawning areas differ. These factors, coupled with the intense fluctuations on biomass and landings allowed us to ask if otolith morphometry and microchemistry reflects geographic variations. Young of the year and adults otoliths of *S. brasiliensis* were analyzed with nine shape indices (morphology and morphometry) and microchemistry (strontium, calcium and barium ratios) (ICP-OES). Otolith samples were obtained in the context of ECOSAR Program during 2008, 2009 and 2010, between September and March. The area of Southeastern Brazilian Bight was divided into three areas according to their environmental characteristics for analysis. Morphometric results were more robust than those of microchemistry. There was a strong geographic variation among the young of the year, with differentiation among fishes of Cabo Frio, continental shelf off Sao Paulo and Cape of Santa Marta Grande. The variability of adults indicated that only one group. The management of *S. brasiliensis* stock should be take our results into consideration, verifying the contribution of each group of the youngs of the year to the adult stock.

**Key-words:** Brazilian sardine; shape indices; ICP-OES; Southeastern Brazilian Bight.

## INTRODUÇÃO GERAL

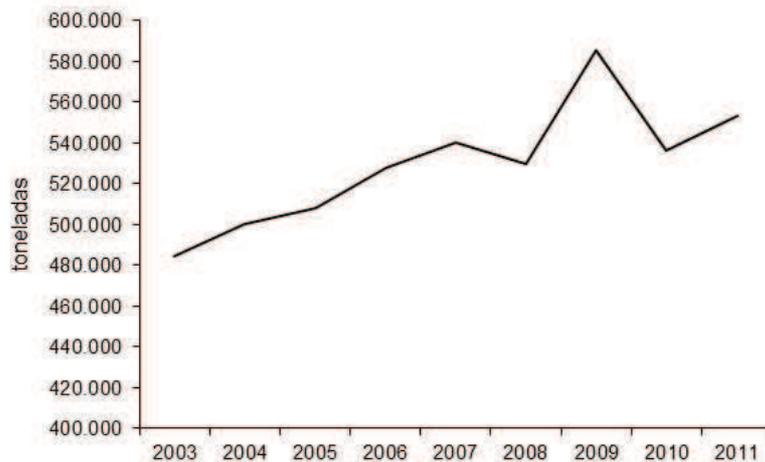
### A pesca e a sardinha-verdadeira, *Sardinella brasiliensis*

A pesca industrial apresentou grande desenvolvimento após a Segunda Guerra Mundial (DIAS-NETO, 2010; FAO, 2012). O total da produção de pescado mundial na década de 1950 foi de 246 milhões de toneladas e, após três décadas, aumentou consideravelmente, passando para um total de 602 milhões de toneladas na década de 1980. Mais recentemente, nos anos 2000, houve grandes oscilações no volume de pescado desembarcado da pesca marinha, com tendência de redução (Figura 1). Estas flutuações ocorreram devido ao declínio da maioria dos estoques (mais de 77%), em sobreexploração ou esgotados, ou devido à própria estrutura da população (cf. FAO, 2002, 2004, 2006, 2008, 2012).



**Figura 1.** Produção mundial da pesca marinha ao longo do período de 2000 a 2011.

No Brasil, a pesca extrativa marinha apresentou também apresentou oscilações em períodos recentes, mas com tendência de aumento no volume de pescado desembarcado (Figura 2) (IBAMA, 2006, 2007; MPA 2009, 2010, 2011). As regiões Sudeste e Sul juntas apresentaram a maior descarga de pescado, com 286 e 488 mil toneladas, respectivamente, entre 2008 e 2010 (MPA, 2009, 2010).



**Figura 2.** Descargas da pesca marinha extrativa do Brasil ao longo do período de 2000 a 2011.

A sardinha-verdadeira, *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879) (Figura 3) pertence à ordem Clupeiformes (Família Clupeidae), um grupo de peixes pelágicos de pequeno porte, que habita águas costeiras, baías e estuários (FIGUEIREDO e MENEZES, 1978; MUNROE e NIZINSKI, 2002). A importância dos clupeídeos como recursos pesqueiros não se restringe ao Brasil: metade do que é capturado na pesca mundial provém de 60 espécies de clupeídeos, entre elas *Sardina pilchardus* em Portugal (SILVA, 2011), *Clupea harengus* em toda a Europa (BURKE *et al.*, 2008), *Sardinops sagax caerulea* no Japão (CASTILLO-YANEZ *et al.*, 2005), *Sardinella longiceps* e *S. fimbriata* na Indonésia (PET *et al.*, 1997) e *S. albella* na Tailândia (PRINTRAKOON e PURIVIROJKUL, 2011), entre outras. Por áreas ricas em nutrientes no pelagial, tendem a ser abundantes e facilmente capturáveis (WHITEHEAD, 1985; MUNROE e NIZINSKI, 2002).

No Brasil, *S. brasiliensis* é encontrada ao longo da plataforma continental (até 80 m) desde o Rio de Janeiro (Cabo de São Tomé – 22°59’S) até Santa Catarina (Cabo de Santa Marta Grande – 28°36’S). É uma espécie endêmica desta área, definida como bacia do Sudeste do Brasil, sendo geograficamente isolada de outras populações do mesmo gênero encontradas no oceano Atlântico (FIGUEIREDO e MENEZES, 1978; MENEZES *et al.*, 2003; FIGUEIREDO *et al.*, 2010).



**Figura 3.** A sardinha-verdadeira, *Sardinella brasiliensis*. (Fonte: Alfredo Carvalho Filho <http://www.fishbase.org/>)

É o principal recurso pesqueiro do Brasil e os primeiros registros oficiais de captura datam de 1944 (DPA, 1945), sendo que sua produção anual registrou um máximo em 1973, com 223 mil toneladas. Nos anos 1980 a produção declinou, ficando em 32 mil toneladas (GIGLIOTTI *et al.*, 2007). CERGOLE *et al.* (2002) informam que com a melhora no recrutamento entre 1991 e 1994, a taxa de produção de sardinha-verdadeira aumentou para 84 mil toneladas. Após este ciclo, a produção desembarcada declinou novamente, ficando em 17 mil toneladas em 2000, correspondendo ao menor desembarque registrado desde 1964 (VALENTINI e PEZZUTTO, 2006). Em 2007 a produção de sardinha aumentou novamente, ficando em 55 mil toneladas e em 2010 foi de 50 mil toneladas, evidenciando as flutuações (PAIVA e MOTTA, 2000; IBAMA, 2004; GEP, 2012; Instituto de Pesca, 2012).

Estas flutuações na captura da sardinha-verdadeira refletem a disponibilidade do recurso ao longo da bacia do Sudeste do Brasil, diretamente influenciada por fatores ambientais relacionados à produção biológica pelagial (SUNYÉ e SERVAIN, 1998; PINAYA, 2008; SOARES *et al.*, 2011) e à atividade pesqueira (SACCARDO e ROSSI-WONGTSCHOWSKI, 1991; CERGOLE e DIAS NETO, 2011).

### **Aspectos biológicos de *Sardinella brasiliensis***

Os primeiros estudos com a sardinha-verdadeira datam de 1950, sobre sua biologia reprodutiva na costa Sudeste do Brasil (BESNARD, 1950). Depois, sucederam estudos sobre estratégia amostral em desembarques (RICHARDSON e SADOWSKY, 1960) e os primeiros relacionados à história de vida, incluindo a distribuição e abundância de ovos, desenvolvimento larval,

desova e sua relação com as correntes de superfície (MATSUURA, 1971, 1975a, 1975b, 1975c, 1977).

Na década de 1980 foi feita a análise da estrutura dos cardumes (ROSSI-WONGTSCHOWSKI, 1977), morfologia e morfometria dos otólitos para identificação de estoques (ROSSI-WONGTSCHOWSKI *et al.*, 1982; BRAGA, 1987), análise da biomassa e recrutamento (MATSUURA, 1986), idade e crescimento (VAZZOLER *et al.*, 1987; SACCARDO *et al.*, 1988) e aspectos da biologia da desova (ISAAC-NAHUM *et al.*, 1988).

Dos anos 1990 até a presente data, variados aspectos da biologia de *S. brasiliensis* foram analisados, entre eles os de reprodução, crescimento, mortalidade, alimentação e estrutura de população (MATSUURA *et al.*, 1992; CERGOLE e VALENTINI, 1994; MATSUURA, 1998; KURTZ e MATSUURA, 2001; CERGOLE *et al.*, 2002; ROSSI-WONGTSCHOWSKI *et al.*, 2003; ROSSI-WONGTSCHOWSKI *et al.*, 2008; MORAES *et al.*, 2011). Estimativas de produção foram realizadas para avaliar a biomassa disponível e os efeitos da pesca (ROSSI-WONGTSCHOWSKI *et al.*, 1996; PAIVA e MOTTA, 1999; OCCHIALINI e SCHWINGEL, 2003).

Destes estudos, verifica-se que a sardinha-verdadeira tende a ser uma espécie r-estrategista, com estrutura em tamanhos diferente ao longo de sua área de distribuição: os peixes com menores comprimentos (jovens) são frequentemente encontrados em regiões estuarino-lagunares (baía de Guanabara, RJ; baía de Paranaguá, PR) e em áreas mais ao Sul, na costa de Santa Catarina e, os peixes maiores (adultos) ocupam as regiões de plataforma continental e áreas ao longo da costa de São Paulo e Rio de Janeiro.

As taxas de crescimento de fêmeas e os machos com idades de 0 e 1 ano são praticamente as mesmas, porém quando se inicia a maturação, durante o segundo ano de vida, as fêmeas tendem a crescer mais que os machos, cerca de 1 cm (SACCARDO e ROSSI-WONGTSCHOWSKI, 1991).

Quanto à reprodução, sua desova é parcelada e acontece entre a primavera e o verão (outubro a março), quando a concentração de nutrientes é maior e quando a temperatura das águas superficiais atingem 24°C. A primeira maturação ocorre entre 150-170 mm e todos os indivíduos estão maduros entre 210-220 mm (SACCARDO e ROSSI-WONGTSCHOWSKI, 1991; CASTELLO, 2007). Apresenta alta fecundidade, em média são produzidos de 30.000 a

40.000 ovos (ISAAC-NAHUM *et al.*, 1983). Existem duas áreas principais de desova, uma entre as latitudes 23° e 25°S (Rio de Janeiro à Paraná), na primavera e verão e outra entre 26° e 28°S na primavera (Santa Catarina) (SACCARDO e ROSSI-WONGTSCHOWSKI, 1991).

Estas características mostram que a estrutura de *S. brasiliensis* em sua área de distribuição é variável (diferenças em tamanhos, em taxas de crescimento, na morfologia dos otólitos e na desova), apesar de ser uma população única, de acordo com estudos de biologia molecular (VAZZOLER e NGAN, 1976; CERGOLE e DIAS NETO, 2011). Estas diferenças podem ser temporais e estar relacionadas com os diferentes picos de desova (MATSUURA, 1998; CASTELLO, 2007). Entretanto, como estes elementos interferem na estrutura da população de sardinha-verdadeira e seu efeito na distribuição dos cardumes, com peixes mais jovens e menores distribuídos mais ao sul e mais velhos e maiores mais ao norte, constituem ainda questões que merecem investigação.

### **Uso de otólitos para compreensão da estrutura populacional de peixes**

Os otólitos dos teleósteos são complexos policristalinos compostos principalmente de carbonato de cálcio precipitado em forma de aragonita e pequenas quantidades de outros minerais, imersos dentro de uma matriz orgânica. Ficam posicionados no labirinto membranoso que faz parte do aparelho vestibular dos peixes ósseos, sendo responsáveis pela audição, orientação e percepção de movimentos (CARLSTRÖM, 1963; GAULDIE, 1993; CAMPANA, 1999; VANDERKOOY, 2009). A concreção de cálcio é um processo extracelular que é regulado hormonalmente e influenciado por variações de temperatura (MORALES-NIN *et al.*, 1998).

Os peixes possuem três pares de otólitos, *sagittae*, *lapillus* e *asteriscus*, que refletem sua história de vida por estarem presentes desde o desenvolvimento inicial do organismo e não se alterarem depois de formados. Têm sido utilizados para a investigação de variados aspectos da biologia dos peixes (CAMPANA, 1999; 2005a; TRAN BA HUY e TOUPET, 2001). GREEN *et al.* (2009) colocam que, para a gestão pesqueira, é importante acompanhar o desenvolvimento do peixe, usando estruturas que refletem sua história de vida,

como os otólitos. Esta importância do estudo dos otólitos foi destacada por CAMPANA (2005b), que fez um levantamento com base em 862 estudos com uso de otólitos e constatou que 40% desses trabalhos utilizavam o otólito para estudos de dinâmica de populações.

O estudo da morfologia de otólitos permite identificar espécies e filogenias, relacionar formas a aspectos ecológicos, verificar variações geográficas, identificar presas em conteúdos estomacais, entre outros (VOLPEDO e ECHEVERRÍA, 2003). Em peixes adultos, estas estruturas possuem uma morfologia específica para cada espécie (HECHT, 1987; VOLPEDO e ECHEVERRÍA, 1997, 2000, 2001; TOMBARI *et al.*, 2000; TUSET *et al.*, 2008), tornando-se úteis na investigação de variações intra-populacionais.

A composição dos elementos químicos dos otólitos também é conservativa, não sendo reabsorvido durante o desenvolvimento ontogenético (CASSELMAN, 1990; TUSET *et al.*, 2008). Entretanto, pode variar dependendo do ambiente, formando marcadores naturais devido a duas propriedades: o material depositado (matéria orgânica e cálcio) não é reabsorvido e, a captação de elementos traço (com regulação fisiológica) reflete o ambiente físico-químico. Variações ambientais ficam gravadas nos otólitos através da concentrações de determinados elementos, que podem ser utilizados para discriminar grupos de peixes da mesma espécie. Além disso, as características químicas dos otólitos podem refletir mudanças sofridas pelo indivíduo durante seu ciclo de vida, desde sua fase larval até a fase adulta (CASSELMAN, 1990; RADTKE e SHAFER, 1992; CAMPANA e THORROLD, 2001; WELLS *et al.* 2003; CAMPANA, 2005a; DUFOUR *et al.* 2005; WHITLEDGE *et al.* 2006; TUSET *et al.*, 2008; THORROLD e SWEARER, 2009).

### **Questão de trabalho**

Em função dos padrões biológicos diferenciados de *Sardinella brasiliensis* na bacia do Sudeste do Brasil, no presente estudo verificar-se-á se a morfologia e constituição química dos otólitos variam em função de fases ontogenéticas e área de ocorrência.

## Caracterização ambiental da bacia do Sudeste do Brasil

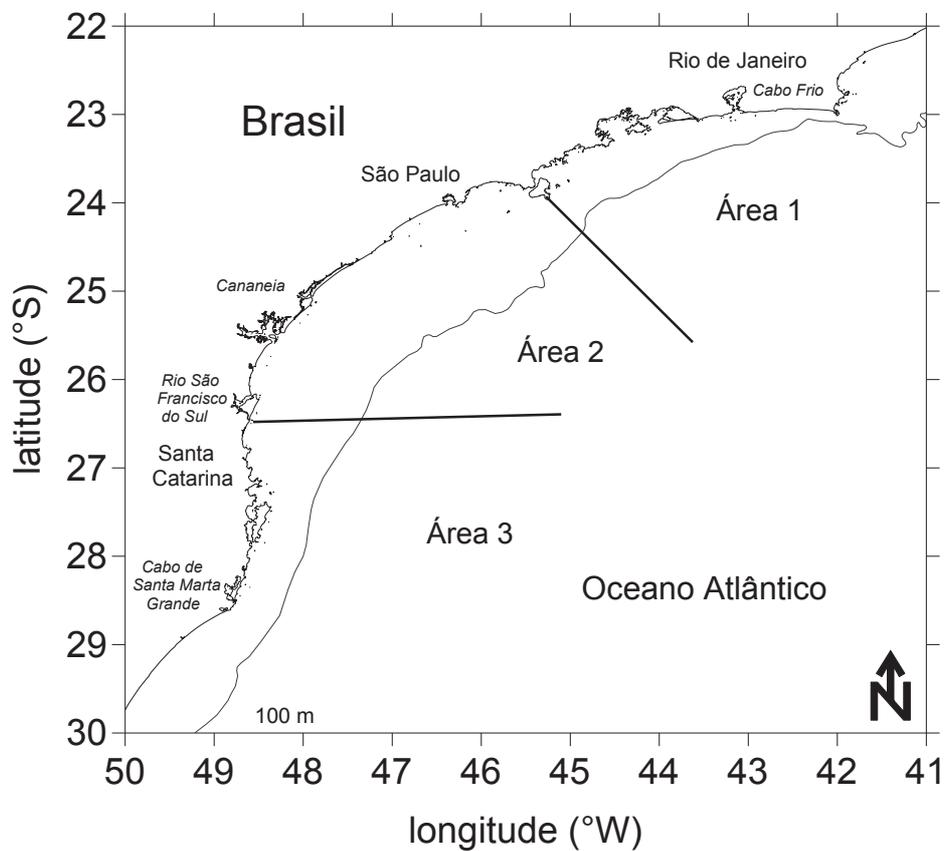
A bacia do Sudeste do Brasil (BSB) é formada pela Plataforma Continental Sudeste, localizada entre o cabo Frio (RJ) e o cabo de Santa Marta Grand (RJ), apresentando uma complexa estrutura oceanográfica (MIRANDA, 1982; MMA, 2006). Na BSB ocorrem águas com baixa salinidade, provenientes de águas costeiras e de massas d'água da região, a Água Costeira (AC), a Água Tropical (AT) e a Água Central do Atlântico Sul (ACAS) (SILVEIRA *et al.*, 2000; CASTELÃO e BARTH, 2006; MMA, 2006). A AC apresenta salinidade inferior a 34, com temperatura variável; a AT apresenta temperatura e salinidade superiores a 20°C e 36,4 S e, a ACAS, valores inferiores a estes últimos (CASTRO *et al.*, 2006).

Dois áreas de ressurgência se destacam, a de cabo Frio e a do cabo de Santa Marta Grande, que suspendem águas frias do fundo, ricas em nutrientes, proporcionando melhores condições tróficas (CASTELÃO e BARTH, 2006). Este fenômeno não é constante, sendo mais intenso e frequente na primavera e no verão (outubro-março) (SILVEIRA *et al.*, 2000). Há ainda outra importante área de ressurgência subsuperficial sobre a plataforma continental, entre 24° e 25°S (BRAGA e NIENCHESKI, 2006). Descargas de água doce são importantes junto ao Sistema Estuarino Lagunar de Cananeia e o Complexo Estuarino de Paranaguá (~25°30'S) e junto ao rio São Francisco do Sul (~26°14'S).

Estas características, aliadas à largura da plataforma continental, permitiram dividir a bacia do Sudeste do Brasil em três áreas: a costa do Rio de Janeiro e litoral norte do Estado de São Paulo (entre 22°59'S e 24°S, Área 1), a costa do estado de São Paulo e Paraná (entre 24°S e 26°30'S, Área 2) e a costa de Santa Catarina (entre 26°30'S e 28°36'S, Área 3) (Figura 4).

Quando das coletas realizadas através do “Programa de prospecção e avaliação de biomassa do estoque de sardinha, na costa sudeste, por métodos hidroacústicos” (ECOSAR, 2008-2010), foram obtidos dados de salinidade e temperatura da água de superfície, permitindo caracterizar a estrutura oceanográfica da área nas épocas de coleta: nos três períodos analisados houve presença, em geral, da ACAS na área, apesar da influência de costeiras e continentais em menores profundidades. Temperaturas mais frias (< 18°C)

foram constantes na região de Cabo Frio e salinidades mais baixas (< 33 S) junto a Cananeia e ao rio São Francisco do Sul (~26°14'S), com uma tendência de maiores valores em direção ao norte (>35,5 S) (FURG, 2009; 2010).



**Figura 4.** Bacia do Sudeste do Brasil com as áreas adotadas no presente estudo com base em características ambientais (detalhes no texto).

## OBJETIVO

O presente estudo tem como objetivo verificar se os otólitos *sagittae* apresentam características que reflitam a estrutura populacional diferenciada de *S. brasiliensis* na bacia do Sudeste do Brasil.

### Objetivos específicos

Na perspectiva de variações ontogenéticas e espaciais de *S. brasiliensis*, constam como objetivos específicos deste estudo:

- Caracterizar a morfometria, quantificando-a através de índices de forma dos otólitos *sagittae* de *Sardinella brasiliensis*;
- Determinar a composição microquímica dos otólitos da sardinha-verdadeira;
- Relacionar as características do otólito (morfológicas, morfométricas e composição microquímica) com as áreas de ocorrência da espécie.

### Estrutura do texto

O presente texto está estruturado em dois capítulos, artigos a serem submetidos em revistas da área com alta qualificação:

“Variação geográfica de *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879) com base em otólitos de jovens do ano”;

“Otólitos como ferramenta para estudo da estrutura populacional de *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879) no Atlântico Sudoeste”.

## Referências bibliográficas

- BESNARD, W. 1950 Nota preliminar sobre uma particularidade da biologia de *Sardinella aurita* Cuv. & Val., da costa brasileira. *Boletim do Instituto Paulista de Oceanografia*, 1(1): 69-79.
- BRAGA, E.S.; NIENCHESKI, L.F.H. 2006. Composição das massas de água e seus potenciais produtivos na área entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). In: Rossi-Wongtschowski, C. L. D. B. & Madureira, L. S. P. (ed.). O ambiente oceanográfico da Plataforma Continental e do Talude na Região Sudeste-Sul do Brasil. São Paulo, Edusp. p. 161-218.
- BRAGA, F.M.S. 1987 Estudo da diversidade de *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879), na área entre Macaé (22°23'S) e Ilha de Santa Catarina (27°35'S). 1. Crescimento de dimensões corporais. *Revista Brasileira de Zoologia*, 4(3): 235-250.
- BURKE, N.; BROPHY, D.; KING, P.A. 2008 Shape analysis of otolith annuli in Atlantic herring (*Clupea harengus*); a new method for tracking fish populations. *Fisheries Research*, 91: 133-143.
- CAMPANA, S.E. 1999 Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications. *Marine Ecology Progress Series*, 188: 263-297.
- CAMPANA, S.E. 2005a Otolith elemental composition as a natural marker of fish stocks. In: CADRIN, S.X.; FRIEDLAND, K.D.; WALDMAN, J.R. *Stock Identification Methods*. New York: Academic Press. p. 227-245.
- CAMPANA, S.E. 2005b Otolith science entering the 21<sup>st</sup> century. *Marine and Freshwater Research*, 56: 485-495.
- CAMPANA, S.E. e THORROLD, S.R. 2001 Otoliths, increments and elements: keys to a comprehensive understanding of fish populations?. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 58: 30-38.
- CARLSTRÖM, D. 1963 A crystallographic study of vertebrate otoliths. *Biological Bulletin*, 125(3): 441-463.
- CASSELMAN, J.M. 1990 Growth and relative size of calcified structures of fish. *Transactions of the American Fisheries Society*, 119: 673-688.
- CASTELÃO, R.M.; BARTH, J.A. 2006 Upwelling around Cabo Frio, Brazil: the importance of wind stress curl. *Geophysical Research Letters*, 33: 01-04.
- CASTELLO, J.P. 2007 Síntese sobre a sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*). In: Haimovici, M. *A prospecção pesqueira e abundância de estoques marinhos no Brasil nas décadas de 1960 a 1990: Levantamento de dados e avaliação crítica*. Brasília: MMA/SMCQ. p.225-231.
- CASTILLO-YÁÑES, F. J.; PACHECO-AGUILAR, R.; GARCÍA-CARREÑO, F. L.; NAVARRETE-DEL TORO, M. L. A. 2005 Isolation and characterization of trypsin from pyloric caeca of Monterey sardine *Sardinops sagax caerulea*. *Comparative Biochemistry and Physiology*, Part B 140: 91 – 98.
- CASTRO, B.M.; LORENZETTI, J.A.; SILVEIRA, I.C.A. ; MIRANDA, L.B. 2006. Estrutura termohalina e circulação na região entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). In: Rossi-Wongtschowski, C. L. D. B. & Madureira, L. S. P. (ed.). O ambiente oceanográfico da Plataforma Continental e do Talude na Região Sudeste-Sul do Brasil. São Paulo, Edusp. p. 11-120.
- CERGOLE, M.C. e DIAS NETO, J. 2011 *Plano de gestão para o uso sustentável de sardinha-verdadeira, Sardinella brasiliensis, no Brasil*. Brasília: MMA/IBAMA. 180p.

- CERGOLE, M.C. e VALENTINI, H. 1994 Growth and mortality estimates of *Sardinella brasiliensis* in the southeastern Brazilian bight. *Bolm. Inst. Oceanogr.*, 42(1/2): 113-127.
- CERGOLE, M.C.; SARCCARDO, S.A.; ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C.L.D.B. 2002 Fluctuations in the spawning stock biomass and recruitment of the brasilian sardine (*Sardinella brasiliensis*) 1977-1997. *Revista Bras. Oceanography*, 50: 13-26.
- DIAS-NETO, J. 2010 *Gestão do uso dos recursos pesqueiros marinhos no Brasil*. Brasília: IBAMA. 242p.
- DPA. Departamento da Produção Animal. 1945. Anuário da pesca marítima no Estado de São Paulo. São Paulo. 122p.
- DUFOUR, E.; PATTERSON, W.P.; HÖÖK, T.O.; RUTHERFORD, E.S. 2005 Early life history of Lake Michigan alewives (*Alosa pseudoharengus*) inferred from intra-otolith stable isotope ratios. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 62: 2362-2370.
- FAO. Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. 2002 *El estado mundial de la pesca y la acuicultura*. Roma: Departamento de la Pesca FAO. 150p.
- FAO. Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. 2004 *El estado mundial de la pesca y la acuicultura*. Roma: Departamento de la Pesca FAO. 168p.
- FAO. Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. 2006 *El estado mundial de la pesca y la acuicultura*. Roma: Departamento de la Pesca y Acuicultura FAO. 176p.
- FAO. Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. 2008 *El estado mundial de la pesca y la acuicultura*. Roma: Departamento de la Pesca y Acuicultura FAO. 196p.
- FAO. Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. 2012 *El estado mundial de la pesca y la acuicultura*. Roma: Departamento de la Pesca y Acuicultura FAO. 231p.
- FIGUEIREDO J.L.; SALLES, A.C.R.; RABELO, L.B. 2010 *Sardinella brasiliensis* Steindachner, 1879) (Teleostei: Clupeidae), nome válido aplicado a sardinha-verdadeira no Sudeste do Brasil. *Papéis avulsos de Zoologia*, 50(18): 281-283.
- FIGUEIREDO, J.L. e MENEZES, N.A., 1978 *Manual de Peixes Marinhos do Sudeste do Brasil. V. II: Teleostei (1)*. Museu de Zoologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 113p.
- FURG. 2009 Mapeamento e estimativa de biomassa na área de ocorrência da sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*) através de metodologia hidroacústica (Cruzeiro ECOSAR VI). Relatório de trabalho referente ao contrato CEP SUL N° 02/2009 (CEPSUL/Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade) e a Universidade Federal do Rio Grande (FURG). 30p.
- FURG. 2010 Mapeamento e estimativa de biomassa na área de ocorrência da sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*) através de metodologia hidroacústica (Cruzeiro ECOSAR VII). Relatório de trabalho referente ao contrato CEP SUL N° 02/2009 (CEPSUL/Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade) e a Universidade Federal do Rio Grande (FURG). 32p.

- GAULDIE, R. W. 1993 Polymorphic crystalline structure of fish otoliths. *Journal of morphology*, 218: 1-28.
- GEP. *Grupos de Estudos Pesqueiros. Estatística Pesqueira – Consultas On-Line*. Santa Catarina, Universidade Vale do Itajaí. Disponível em: <[http://siaiacad04.univali.br/?page=estatistica\\_consulta\\_apresentacao](http://siaiacad04.univali.br/?page=estatistica_consulta_apresentacao)> Acesso em: 20 ago. 2012.
- GIGLIOTTI, E.S.; SATO, O.T.; PAES, E.T. 2007 Correlação entre as variáveis oceanográficas medidas por satélite e a produção pesqueira de *Sardinella janeiro* na costa sudeste-sul do Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Florianópolis, 21-26/abr./2007. *Anais XIII*, Florianópolis: INPE. p.3365-3372.
- GREEN, B.S.; MAPSTONE, B.D.; CARLOS, G.; BEGG, G.A. 2009 Introduction to otoliths and fisheries in the tropics. In: GREEN, B.S.; MAPSTONE, B.D.; CARLOS, G.; BEGG, G.A. *Tropical fish otoliths: Information for assessment, management and ecology*. New York: Springer. p. 1-19.
- HECHT, T. 1987. A guide to the otoliths of Southern Ocean fishes, South African. *Journal of Antarctic Research*. 17(1): 2-86.
- IBAMA Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. 2004 *Relatório de reunião sobre a pesca de sardinha-verdadeira nas regiões Sudeste e Sul*. Itajaí: Centro de Pesquisa e Gestão de Recursos Pesqueiros do litoral Sudeste e Sul – CEPSUL. 34p.
- IBAMA, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. 2006 *Estatística da Pesca*. Brasília: Centro Especializado de Gestão de Recursos Pesqueiros do IBAMA. 174p.
- IBAMA, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. 2007 *Estatística da Pesca*. Brasília: Centro Especializado de Gestão de Recursos Pesqueiros do IBAMA. 151p.
- INSTITUTO DE PESCA DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Estatística Pesqueira – Consultas On-Line*. São Paulo. Disponível em: <http://www.pesca.sp.gov.br/estatistica/index.php?secao=1&mun=0&escolha=0&esp=149&apa=0&tipo=1&anopesq=2010#resultados> Acesso em: 20 ago. 2012.
- ISAAC-NAHUM, V.J.; CARDOSO, R.D.; SERVO, G.; ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C.L.D.B. 1988 Aspects of the spawning biology of the Brazilian sardine, *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879), (Clupeidae). *J. Fish Biol.*, 32: 383-396.
- ISAAC-NAHUM, V.J.; VAZZOLER, A.E.A.M.; ZANETTI-PRADO, E.M. 1983 Estudos sobre a estrutura, ciclo de vida e comportamento de *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879), na área entre 22°S e 28°S, Brasil. 3. Morfologia e histologia de ovários e escala de maturidade. *Boletim do Instituto Oceanográfico*, 32(1):1-16.
- KURTZ, F.W.; MATSUURA, Y. 2001 Food and feeding ecology of Brazilian sardine (*Sardinella brasiliensis*) larvae from the southeastern Brazilian Bight. *Rev. Bras. Oceanogr.*, 49(1/2): 61-74.
- MATSUURA, Y. 1971 A study of the life history of Brazilian sardine, *Sardinella aurita*. I. Distribution and abundance of sardine eggs in the region of the Ilha Grande, Rio de Janeiro. *Bolm. Inst. Oceanogr.*, 20: 33-60.
- MATSUURA, Y. 1975a A study of the life history of Brazilian sardine, *Sardinella brasiliensis*. II. Spawning in 1970 and 1971. *Bolm. Inst. Oceanogr.*, 24: 01-16.

- MATSUURA, Y. 1975b A study of the life history of Brazilian sardine, *Sardinella brasiliensis*. III. Development of sardine larvae. *Bolm. Inst. Oceanogr.*, 24: 17-29.
- MATSUURA, Y. 1975c A study of surface in the spawning of Brazilian sardine. *Bolm. Inst. Oceanogr.*, 24: 31-44.
- MATSUURA, Y. 1977 O ciclo de vida da sardinha-verdadeira: introdução a oceanografia pesqueira. *Publicação especial do Inst. Oceanográfico*, 4: 1-146.
- MATSUURA, Y. 1986 Estimativa de taxa de exploração, recrutamento e biomassa do estoque da sardinha-verdadeira, *Sardinella brasiliensis*, na região sudeste do Brasil. *Ciência e Cultura*, 38(5): 892-904.
- MATSUURA, Y. 1998 Brazilian sardine (*Sardinella brasiliensis*) spawning in the southeast Brazilian bight over the period 1976-1993. *Rev. Bras. Oceanogr.*, 46(1): 33-43.
- MATSUURA, Y.; SPACH, H.L.; KATSURAGAWA, M. 1992 Comparison of spawning patterns of the Brazilian sardine (*Sardinella brasiliensis*) and anchoita (*Engraulis anchoita*) in Ubatuba region, southern Brazil during 1985 through 1988. *Bolm. Inst. Oceanogr.*, 40(1/2): 101-115.
- MENEZES, N.A.; BUCKUP, P.A.; FIGUEIREDO, J.L.; MOURA, R.L. 2003 *Catálogo das espécies de peixes marinhos do Brasil*. Universidade de São Paulo, São Paulo.
- MIRANDA, L.B. 1982 Análise de massas de água da plataforma continental e da região oceânica adjacente: Cabo de São Tomé (RJ) a Ilha de São Sebastião (SP). São Paulo. 194p (Dissertação de Mestrado). Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo.
- MMA 2006 Programa REVIZEE: Avaliação do potencial sustentável de recursos vivos na Zona Econômica Exclusiva. Relatório Executivo. Brasília. 303p.
- MORAES, L.E.S.; GIGLIOTTI, E.S.; GHERARDI, D.F.M.; PAES, E.T.; KATSURAGAWA, M. 2011 A desova da sardinha verdadeira (*Sardinella brasiliensis*) na Plataforma Continental Sudeste Brasileira: escalas espaciais de ocorrência e relações com a variabilidade oceânica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Curitiba, 30-05/mai./2011. *Anais XV*, Curitiba: INPE. p.7137-7144.
- MORALES-NIN, B.; TORRES, G.J.; LOMBARTE, A.; RECASENS, L. 1998 Otolith growth and age estimation in the European hake. *Journal of Fish Biology*, 53: 1155-1168.
- MPA, Ministério da Pesca e Aquicultura do Brasil. 2009. *Boletim Estatístico da Pesca e Aquicultura*. Brasília: MPA. 101p.
- MPA, Ministério da Pesca e Aquicultura do Brasil. 2010. *Boletim Estatístico da Pesca e Aquicultura*. Brasília: MPA. 129p.
- MPA, Ministério da Pesca e Aquicultura do Brasil. 2011. *Boletim Estatístico da Pesca e Aquicultura*. Brasília: MPA. 60p.
- MUNROE, T.A. e NIZINSKI, M. S. 2002 Clupeidae in: K.E. Carpenter (Ed.) The Living Marine Resources of the Western Central Atlantic. Volume 2: Bony fishes Part 1 (Acipenseridae to Grammitidae), Sea Turtles and Marine Mammals. *FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes and American Society of Ichthyologists and Herpetologists Special Publication* 5: 804-820.

- OCCHIALINI, D.S. e SCHWINGEL, P.R. 2003 Composição e variação espaço-temporal da captura da frota de traineiras entre 1997-1999 no Porto de Itajaí, SC. *Notas Técnicas FACIMAR*, 7: 11-22.
- PAIVA, M.P. e MOTTA, P.C.S. 1999 Capturas da sardinha-verdadeira, *Sardinella brasiliensis* (Steindachner) (Osteichthyes: Clupeidae) e da fauna acompanhante, no estado do Rio de Janeiro (Brasil). *Arq. Ciên. Mar*, 32: 85-88.
- PAIVA, M.P. e MOTTA, P.C.S. 2000 Cardumes da sardinha-verdadeira, *Sardinella brasiliensis* (Steindachner), em águas costeiras do estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 17(2): 339-346.
- PET, J.S.; VAN DENSEN, W.L.T.; MACHIELS, M.A.M.; SUKKEKEL, M.; SETYOHADI, D.; TUMULJADI, A. 1997 Length-based analysis of population dynamics and stock identification in the sardine fisheries around East Java, Indonesia. *Fisheries research*, 31(1): 107-120.
- PINAYA, W. H. D. 2008 Variabilidade climática marinha na plataforma sudeste brasileira e sua relação com a pesca da sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*). Pontal do Paraná. 209p. (Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná Centro de Estudos do Mar).
- PRINTRAKOON, C. e PURIVIROJKUL, W. 2011 Prevalence of *Nerocila depressa* (Isopoda, Cymothoidae) on *Sardinella albella* from a Thai estuary. *Journal of Sea Research*, 65(2): 322-326.
- RADTKE, R.L. e SHAFER, D.J. 1992 Environmental sensitivity of fish otolith microchemistry. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.*, 43: 935-951.
- RICHARDSON, I.D. e SADOWSKY, V. 1960 Note on the sampling of sardine (*Sardinella allecia*) at Cananéia, state of São Paulo, Brazil. *Bol. Inst. Oceanogr.*, 11(1): 87-97.
- ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C.L.D.B. 1977 Estudo das variações da relação peso total/comprimento total em função do ciclo reprodutivo de comportamento, de *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879) da costa do Brasil entre 23°S e 28°S. *Bolm. Inst. Ocanogr.*, 26:131-180.
- ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C.L.D.B.; CLEMMESSEN, C.; UEBERSCHÄR, B.; DIAS, J.D. 2003 Larval condition and growth of *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879): preliminary results from laboratory studies. *Scientia Marina*, 67(1): 13-23.
- ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C.L.D.B.; SACCARDO, S.A.; CERGOLE, M.C. 1996 Are fluctuations in Brazilian sardine catches related to global-scale climate changes?. *Anais da Academia de Ciências*, 68(1): 239-250.
- ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C.L.D.B.; VAZ-DOS-SANTOS, A.M.; ALVES-DOS-SANTOS, D. 2008 *Caracterização dos cardumes e aspectos biológicos da sardinha-verdadeira, Sardinella brasiliensis (Steindachner, 1879) (Teleostei: Clupeiformes) capturada em cruzeiro de pesca exploratória na região Sudeste-Sul do Brasil (23°S-29°S), verão de 2008*. Relatório de pesquisa. 15p.
- ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C.L.D.B.; VAZZOLER, A.E.A.M.; BRAGA, F.M.S. 1982 Estudos sobre a estrutura, ciclo de vida e comportamento de *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879), na área entre 22°S e 28°S, Brasil: Morfologia dos otólitos. *Boletim do Instituto Oceanográfico*, 2(31): 57-76.

- SACCARDO, S.A. e ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C.L.D.B. 1991 Biologia e avaliação do estoque da sardinha *Sardinella brasiliensis*: uma compilação. *Atlântica*, 13(1): 29-43.
- SACCARDO, S.A.; ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C.L.D.B.; CERGOLE, M.C.; BITTENCOURT, M.M. 1988 Age and growth of the southeastern brazilian sardine, *Sardinella brasiliensis*, 1981-1983. *Bolm. Inst. Oceanogr.*, 36(1/2): 17-35.
- SILVA, A.V.A.D. 2011 Crescimento diário de juvenis de sardinha, *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792): relação com actividade reprodutiva e condições ambientais.
- SILVEIRA, I.C.A.; SCHMIDT, A.C.K.; CAMPOS, E.J.D.; GODOI, S. S.; IKEDA, I. 2000 Corrente do Brasil ao largo da costa leste brasileira. *Brazilian Journal of Oceanography*, 48: 171-183.
- SOARES, H.C.; PEZZI, L.P.; GHERARD, D.F.M.; PAES, E.T. 2011. Oceanic and atmospheric patterns during spawning periods prior to extreme catches of the Brazilian sardine (*Sardinella brasiliensis*) in the southwest Atlantic. *Scientia Marina*, 75(4): 665-677.
- SUNYÉ, P.S. e SERVAIN, J. 1998. Effects of seasonal variations in meteorology and oceanography on the Brazilian sardine fishery. *Fisheries Oceanography* 7(2): 89-100.
- THORROLD, S.R. e SWEARER, S.E. 2009 Tropical fish otoliths: Information for assessment, management and ecology. In: GREEN, B.S.; MAPSTONE, B.D.; CARLOS, G.; BEGG, G.A. *Otolith chemistry*. New York: Springer. p.249-295.
- TOMBARI A.; VOLPEDO, A.V.; ECHEVERRÍA, D.D. 2000 Patrones morfológicos en la sagitta de peces (Atherinidae: Odontesthes) de Argentina. *THALASSAS*, 16:11-19.
- TRAN BA HUY, P. e TOUPET, M. 2001 *Otolith function and disorders*. Paris: Karger. 139p.
- TUSET, V.M.; LOMBARTE, A.; ASSIS, C.A. 2008 Otolith atlas for the western Mediterranean, north and central eastern Atlantic. *Scientia Marina*, SI(72): 7-198.
- VALENTINI, H. e PEZZUTTO, P.R. 2006 *Análise das principais pescarias comerciais da Região Sudeste-Sul do Brasil com base na Produção Controlada do período 1986-2004*. São Paulo: Instituto Oceanográfico - USP/Série Documentos REVIZEE. 56p.
- VANDERKOOY, S. 2009 *A practical handbook for determining the ages of Gulf of Mexico fishes*. 2ª ed. Gulf States: Ocean Springs. 157p.
- VAZZOLER, A.E.A.M.; ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C.L.D.B.; BRAGA, F.M.S. 1987 Estudos sobre a estrutura, ciclo de vida e comportamento de *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879) na área entre 22°S e 28°S, Brasil. 4. Crescimento: Aspectos quantitativos. *Bolm. Inst. Oceanogr.*, 35(1): 53-63.
- VAZZOLER, A.E.M. e NGAN, P.V. 1976 Electrophoretic patterns of eye-lens proteins of *Sardinella brasiliensis*(Steindachner, 1879) of Brazilian coast. *Revue des Travaux de l'Institut des Pêches Maritimes*, 40(3-4):781-786.
- VOLPEDO A.V. e ECHEVERRÍA, D.D. 2000 *Catálogo y claves de otolitos para la identificación de peces del mar argentino*. Buenos Aires: Dunken. 88p.

- VOLPEDO, A.V. e ECHEVERRÍA, D.D. 2001 Morfología y morfometría de las *sagittae* de Sciaenidos marinos del Norte de Perú. *Bol. Soc. Biol. Concepción*, 72: 147-154.
- VOLPEDO, A.V. e ECHEVERRÍA, D.D. 2003 Ecomorphological patterns of the sagitta in fish on the continental shelf off Argentine. *Fisheries Research*, 60: 551-560.
- VOLPEDO, A.V. e ECHEVERRÍA, D.D. 1997 Morfología de las *sagittae* de lenguados del mar Argentino (Bothidae, Paralichthyidae y Achiropsettidae). *Thalassas*, 13:113-126.
- WELLS, B.K.; RIEMAN, B.E.; CLAYTON, J.L.; HORAN, D.L.; JONES, C.M. 2003 Relationships between water, otolith, and scale chemistries of westslope cutthroat trout from the Coeur d'Alene River, Idaho: The potential application of hard-part chemistry to describe movements in freshwater. *Transactions of the American Fisheries Society*, 132: 409-424.
- WHITEHAED, P.J.P. 1985 *Clupeoid fishes of the world*. Rome: FAO, 302p.
- WHITLEDGE, G.W.; JOHNSON, B.M.; MARTINEZ, P.J. 2006 Stable hydrogen isotopic composition of fishes reflects that of their environment. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 63: 1746-1751.

**CAPÍTULO 1**  
**VARIAÇÃO GEOGRÁFICA DE *Sardinella brasiliensis* (STEINDACHNER, 1879) COM BASE EM OTÓLITOS DE JOVENS DO ANO**

## **CAPÍTULO 1 – Variação geográfica de *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879) com base em otólitos de jovens do ano**

### **RESUMO**

A sardinha-verdadeira, *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879) (Clupeiformes: Clupeidae) é uma espécie pelágica de pequeno porte endêmica da bacia do Sudeste do Brasil (22°59'S – 28°36'S), onde é um importante recurso pesqueiro. Apresenta variação em diversos padrões biológicos e intensas flutuações populacionais. Para compreensão desta variabilidade na perspectiva espaço-temporal, otólitos foram utilizados para a morfometria e a microquímica. Otólitos de exemplares de jovens do ano coletados em 2008, 2009 e 2010, entre setembro e março, foram analisados através de nove índices de forma (morfologia e morfometria) e através de sua constituição microquímica (razões entre estrôncio, cálcio e bário) (ICP-OES). Os resultados da morfometria indicaram forte variação geográfica entre os jovens do ano, com diferenciação entre os peixes das regiões de Cabo Frio, plataforma continental ao largo de São Paulo e Cabo de Santa Marta Grande. Considera-se fundamental que a variação geográfica detectada em jovens do ano seja levada em conta na gestão de *S. brasiliensis*, sendo verificada a contribuição de cada grupo para o estoque adulto.

**PALAVRAS-CHAVES:** *sagittae*, morfometria, microquímica, bacia do Sudeste do Brasil.

## 1.1 INTRODUÇÃO

A sardinha-verdadeira, *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879) (Clupeiformes: Clupeidae) ocorre do Rio de Janeiro (Cabo de São Tomé – 21°59'S) até Santa Catarina (Cabo de Santa Marta Grande – 28°36'S), desde zonas costeiras até 100 m de profundidade (VALENTINI e CARDOSO, 1991). É uma espécie pelágica endêmica da bacia do Sudeste do Brasil e geograficamente isolada de outras populações do mesmo gênero encontradas no Atlântico (FIGUEIREDO e MENEZES, 1978; CERGOLE e DIAS NETO, 2011). Apresenta pequeno porte, ciclo de vida curto (idade máxima 3,8 anos) e altas taxas de crescimento ( $K = 0,59 \text{ ano}^{-1}$ ) e mortalidade ( $M = 0,96$ ) (CASTELLO *et al.*, 1991; DALLAGNOLO *et al.*, 2002; CASTELLO, 2007). É um dos mais importantes recursos pesqueiros do Brasil (MPA, 2011), com um histórico de grandes oscilações no volume desembarcado (VALENTINI E PEZZUTTO, 2006).

Em termos de estrutura populacional, a sardinha-verdadeira é um grupo único segundo estudos de biologia molecular (CERGOLE E DIAS NETO, 2011). Entretanto, sua estrutura em tamanhos não é homogênea, com peixes em menores tamanhos distribuídos ao largo de Santa Catarina e, os maiores, em São Paulo e Rio de Janeiro (ROSSI-WONGTSCHOWSKI *et al.*, 1991). Existem épocas e locais de desova distintos: na área entre 22°S e 24°30'S, entre 24°30'S a 28°S e um terceiro entre 25°S e 26°S (SACCARDO E ROSSI-WONGTSCHOWSKI, 1991; MATSUURA, 1998; CASTELLO 2007). A intensidade da desova e sua extensão nestas áreas varia anualmente, decorrência de condições oceanográficas (GIGLIOTTI *et al.*, 2007). Existem diversos padrões morfológicos dos otólitos (ROSSI-WONGTSCHOWSKI *et al.*, 1982), que também são eficientes descritores de variações estacionais no crescimento (PERIN e VAZ-DOS-SANTOS, 2014).

O uso diferencial, pela sardinha-verdadeira, de sua área de distribuição constitui ainda tema de interesse para compreensão de seu ciclo de vida e efeitos da pesca sobre sua população. Particularmente, os jovens do ano (peixes decorrentes da última desova e que ainda completarão um ano de idade) são mais suscetíveis às condições de seu meio (GOZLAN *et al.*, 1999;

LAPPALAINEN e URHO, 2006), representando sua área de origem (LORENZO *et al.*, 2011), sendo bons indicadores de variações geográficas.

Mundialmente os otólitos têm múltiplas aplicações em estudos do ciclo de vida e estrutura das populações de peixes (CAMPANA, 2005). Na fase larval possuem forma arredondada e, a medida que o peixe cresce, os otólitos vão adquirindo sua forma específica (GAULDIE, 1988; CURIN-OSORIO *et al.*, 2012). Ao se desenvolver, há aumento diferencial de suas dimensões, dando suporte a estudos de morfometria, relacionada ao tamanho do peixe e medidas dos otólitos (GREEN *et al.*, 2009).

Recentemente, a morfometria geométrica tem-se consolidado como uma ferramenta acurada aplicada a estudos com otólitos (TORRES *et al.*, 2000; STRANSKY 2005; DUARTE-NETO *et al.*, 2008, GARCÍA-RODRÍGUES *et al.*, 2011, LEGUÁ *et al.*, 2013). A morfometria geométrica permite explorar várias dimensões do desenvolvimento dos otólitos, fornecendo elementos que permitem melhor detalhar variações na forma ao longo do desenvolvimento. O uso de índices de forma é uma das maneiras de quantificar as mudanças morfométricas geométricas (TUSET *et al.*, 2003; 2008), constituindo uma poderosa ferramenta para analisar variações em padrões populacionais e no ciclo de vida de peixes.

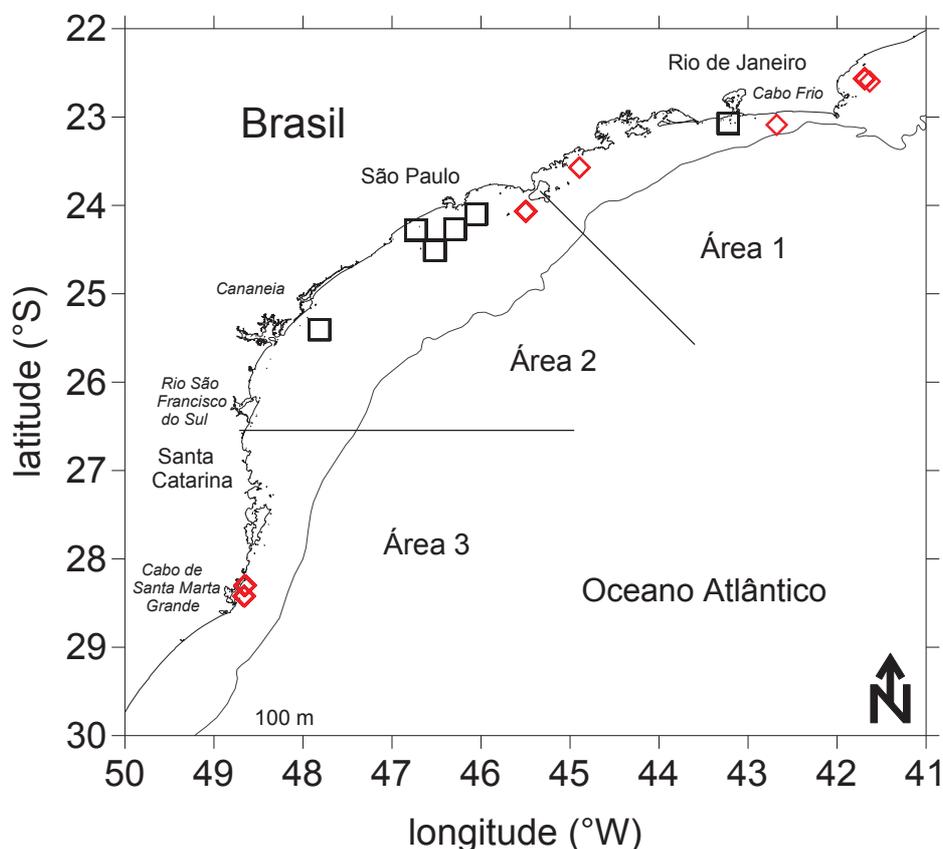
A análise microquímica dos otólitos é outra ferramenta utilizada para discriminar variações geográficas em peixes marinhos, através das relações entre estrôncio, cálcio e bário (KRAUS e SECOR, 2004; STRANSKY *et al.*, 2005; CHITTARO *et al.*, 2006; SWAN *et al.*, 2006; WALTHER e THORROLD, 2006; ELSDON *et al.*, 2008; NIKLITSCHKEK *et al.*, 2010). Estas relações (Sr:Ca e Ba:Ca) são aplicadas tanto em peixes diádromos como em peixes oceanódromos (PONTUAL E GEFFEN, 2002).

Considerando o exposto, o presente estudo objetivou analisar variações geográficas na distribuição de *S. brasiliensis* com base nas características morfométricas e microquímicas dos otólitos *sagittae* de jovens do ano.

## 1.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 1.2.1 Obtenção de amostras

Os exemplares de *Sardinella brasiliensis* foram obtidos em coletas do programa “Prospecção e avaliação de biomassa do estoque de sardinha, na costa sudeste, por métodos hidroacústicos” (ECOSAR) realizadas com o Navio Oceanográfico *Atlântico Sul*, da Universidade Federal do Rio Grande (FURG), em novembro de 2008 (ECOSAR V) e em março de 2010 (ECOSAR VII) na baía do Sudeste do Brasil (Figura 1.1).



**Figura 1.1.** Mapa mostrando os locais de pesca com captura de jovens do ano ( $Ct < 100$  mm) de *Sardinella brasiliensis* nos cruzeiros de pesca exploratória do Programa ECOSAR na baía do Sudeste do Brasil (2008 – quadrados pretos; 2010 – losangos vermelhos).

Foram feitas varreduras hidroacústicas ao longo dos perfis perpendiculares oblíquos à costa e, quando ocorria detecção dos cardumes através da ecossonda, realizava-se uma amostragem biológica com rede de

arrasto de meia água, específica para pequenos pelágicos, em profundidades que variaram entre 11 a 130 m (CERGOLE e DIAS NETO, 2011). A caracterização das redes foi transcrita de FURG (2010): “A rede de arrasto de meia água possui asas quadrado de malha de 400 mm entre nós opostos, diminuindo gradativamente para 50 mm no túnel e 20 mm no saco. Para a abertura da rede utilizaram-se portas do tipo Süberkrüb com 4 m<sup>2</sup> de superfície e peso de 380 kg cada. A circunferência da boca é de 268 m<sup>2</sup> e para o monitoramento das operações de pesca foi utilizada uma sonda de rede SAMYUNG ENC, modelo SYN - 200 CR, acoplada a um monitor colorido”.

Os exemplares de *S. brasiliensis* foram congelados a bordo e, em laboratório, foram registrados os dados de comprimento total (da ponta do focinho até o termino da nadadeira caudal, Ct mm) e foram retirados os dois otólitos *sagitta*. Os otólitos foram lavados em álcool 70%, secados e guardados em microtubos plásticos (ependorfs) para análises posteriores.

Com os exemplares de *S. brasiliensis* amostrados nos dois cruzeiros do Programa ECOSAR foi composta uma subamostra para o presente estudo apenas com os jovens do ano. Para tal foram selecionados indivíduos menores que 100 mm Ct. Para garantir representatividade ontogenética e espaço-temporal, os otólitos foram selecionados por área (Figura 1.1), época e classes de comprimento total (intervalo de 10 mm). Procurou-se contemplar 8 otólitos por classes de comprimento total seguindo os critérios estabelecidos e mantendo a proporção relativa da quantidade de indivíduos com otólitos disponíveis. A definição de jovens do ano se baseou na estrutura etária obtida com os parâmetros de crescimento ( $C = 271$  mm,  $K = 0,3789$  ano<sup>-1</sup>) e na primeira maturação, entre 150-170 mm Ct (CERGOLE *et al.*, 2005).

### 1.2.2 Morfologia e morfometria dos otólitos

As *sagittae* direitas inteiras de *S. brasiliensis* foram fotografadas em estereomicroscópio com o programa Image Pro-Plus®, sendo obtidas as seguintes medidas (Figura 1.2): comprimento do otólito (Co, mm), altura do otólito (Ao, mm), perímetro do contorno do otólito (Peo, mm), área do contorno do otólito (Aro, mm<sup>2</sup>), comprimento do sulco acústico (Csa, mm), altura do sulco acústico (Asa, mm), perímetro do contorno do sulco acústico (Pesa) e área do

contorno do sulco acústico (Arsa) (TUSET *et al.*, 2008). A definição do sulco acústico foi feita com base em LEMOS *et al.* (1995).



**Figura 1.2.** *Sardinella brasiliensis*: foto do otólito *sagittae* direito indicando as medidas obtidas de comprimento do otólito (Co mm), altura do otólito (Ao mm) comprimento do sulco acústico (Csa mm) e altura do sulco acústico (Asa mm).

A partir das medidas acima, nove índices de forma (Tabela 1.1) (TUSET *et al.*, 2003; TUSET *et al.*, 2008; VOLPEDO *et al.*, 2008) foram empregados para avaliar variações na forma dos otólitos de *S. brasiliensis* de acordo com as épocas e áreas. Os valores médios destes índices foram analisados em função da classe de comprimento total. Posteriormente seus valores padronizados foram submetidos à uma análise de componentes principais (ACP), para redução do número de variáveis. Com as componentes principais que, somadas, apresentaram poder de explicação superior a 80%, foram testadas diferenças entre épocas e áreas combinadas através de uma MANOVA (HAIR *et al.*, 2009; BORCARD *et al.*, 2011). Anos e áreas que não diferiram entre si foram agrupados, levando em conta o conhecimento biológico da espécie. Para analisar a forma dos otólitos nestes grupos, as médias dos índices de forma importantes (detectados na ACP) foram calculadas.

**Tabela 1.1.** Fórmula dos índices de forma aplicados nas medidas dos otólitos de *Sardinella brasiliensis* (todas as variáveis de tamanho estão em mm, exceto as medidas de área que estão em mm<sup>2</sup>).

Índice de forma	Fórmula
Razão de aspecto	$Co/Ct; Co/Ao; Csa/Asa$
Fator de forma	$(4\pi Aro)/Peo^2$
Circularidade	$(Peo^2)/Aro$
Retangularidade	$Aro/(Ao \times Co)$
Elipticidade	$(Co-Ao)/(Co+Ao)$
Rotundidade	$(4Aro)/(\pi Co^2)$
Superfície relativa do sulco	$Arsa/Aro$

### 1.2.3 Análise microquímica dos otólitos

A análise da microquímica dos otólitos de *S. brasiliensis* foi realizada na Universidade de Buenos Aires, no Centro de Estudos Transdisciplinares da Água. Os otólitos foram lavados em água destilada e água de Milli-Q (Millipore, São Paulo, Brasil) duas vezes em cada, depois secados, pesados em balança analítica (Po, com precisão de 0,0001g) e guardados em tubos Falcons de 10ml. Posteriormente foram adicionados 10 ml de ácido nítrico à 10% nos tubos Falcons contendo os otólitos para sua dissolução, seguindo a metodologia proposta por AVIGLIANO e VOLPEDO (2013).

As concentrações de Sr (407,771 nm), Ba (233,527 nm) e Ca (317,933 nm) foram determinadas por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES) utilizando o equipamento Perkin Elmer® Optima 2000 DV (Überlingen, Germany) equipado com nebulizador cross-flow e tocha de quartzo ICP (método EPA 2007; EPA 1994). Um amostrador automático Perkin-Elmer AS-90 Plus foi utilizado para a manipulação das amostras. O equipamento foi limpo a intervalos regulares com água de MiliQ (Millipore, São Paulo, Brasil) e ácido nítrico a 10%, para evitar o efeito de memória. Os limites de detecção de Sr, Ba e Ca na ICP-OES foi de 8, 10 e 10 µg/L, respectivamente. Calibração externa foi realizada utilizando o padrão de espectroscopia atômica QCS 21 (*Quality Control Standard*, Perkin Elmer® Pure, USA). As condições de operação do equipamento ICP-OES estão descritos na Tabela 1.2. Todas as medições foram realizadas em triplicatas (RSD < 4%). A dissolução e os procedimentos analíticos foram verificados por meio da análise de *Otolith Certified Reference Material for trace elements* (FEBS-1, *National Research Council*, Canadá). A análise de replicação dos materiais de referência apresentou boa precisão, com as seguintes taxas de recuperação de metal: 98% para o Sr; 94% para Ba; 100% para Ca.

**Tabela 1.2.** Condições de operação do equipamento Perkin Elmer® Optima 2000 DV.

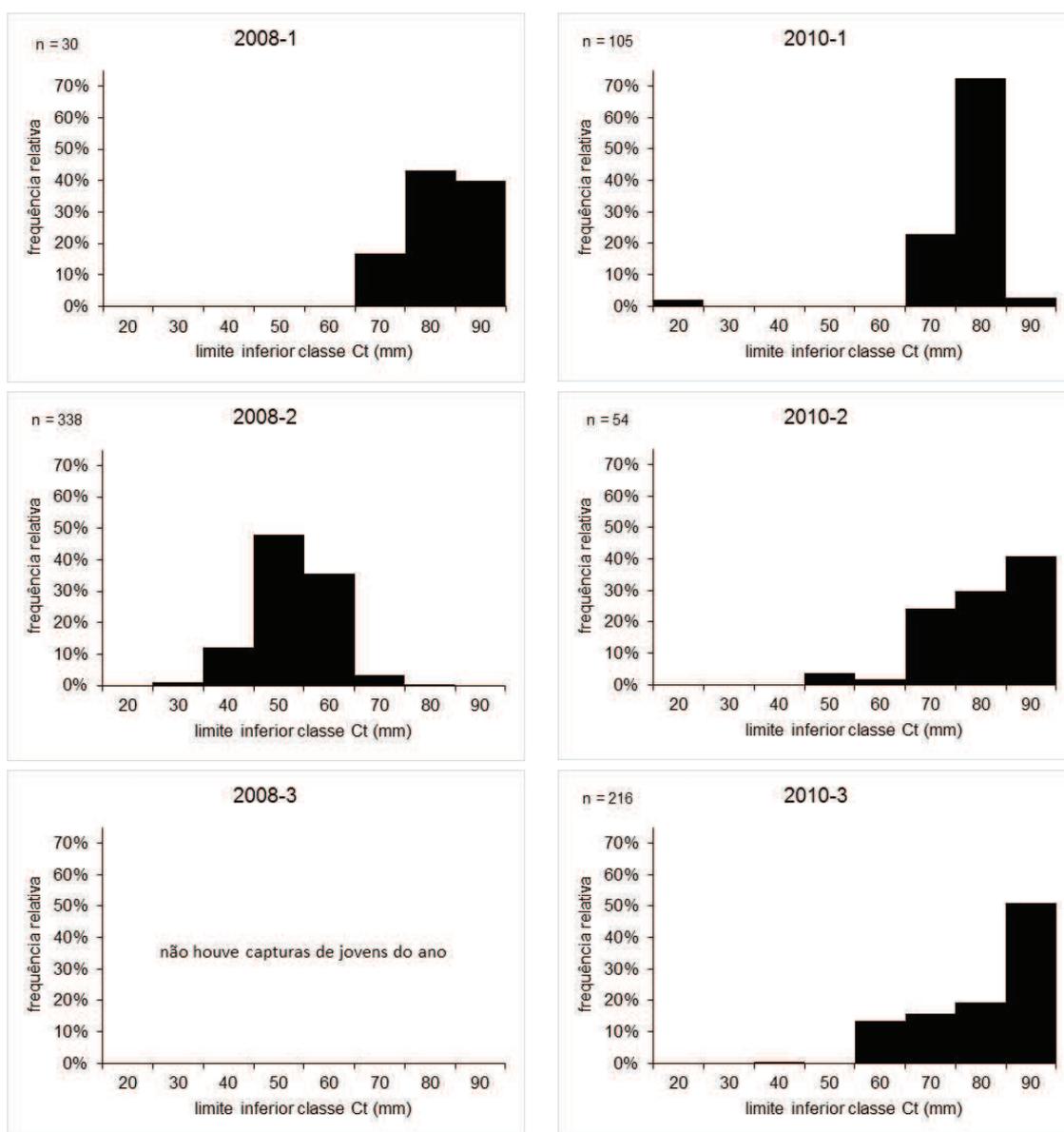
RF Power	1,3 kW
Vazão do gás de plasma	15,0 L/min
Vzão do gás nebulizador	0,80 L/min
Vazão do gás auxiliar	0,20 L/min
Vazão da bomba	1,2 ml/min
Tempo de atraso	20 seg
Tempo de limpeza	20 seg
Número de replicatas	3

Com os valores das concentrações foram calculadas as razões Sr:Ca e Ba:Ca, corrigidas em função do peso do otólito e comprimento total do indivíduo de acordo com CAMPANA *et al.* (2000). Os valores padronizados destas razões foram testados em função das variáveis época e área combinadas através de um teste de Kruskal Wallis seguido do teste de Mann Whitney (ZAR, 2010). Dados de salinidade em cada época e área foram obtidos dos relatórios de cruzeiro do programa ECOSAR (FURG, 2009, 2010), para comparações (*cf.* Caracterização ambiental da bacia do Sudeste do Brasil, na Introdução Geral).

## 1.3. RESULTADOS

### 1.3.1 Caracterização da subamostra

Um total de 743 exemplares de jovens do ano de *S. brasiliensis* foi analisado, com comprimento total entre 20 e 99 mm e média e desvio padrão em  $71,71 \pm 15,92$  mm. Em 2008 foram capturados indivíduos apenas nas áreas 1 (Rio de Janeiro) e 2 (São Paulo), enquanto que em 2010 jovens do ano de sardinha-verdadeira ocorreram nas três áreas (Figura 1.3). Em 2008 os exemplares de sardinha-verdadeira estiveram mais concentrados ao longo da plataforma continental do estado de São Paulo (Área 2), enquanto em 2010 os grupos foram mais numerosos na costa do Rio de Janeiro (área 1) e próximo ao Cabo de Santa Marte Grande (área 3).



**Figura 1.3.** *Sardinella brasiliensis*: distribuições de frequência de jovens do ano por classes de comprimento total (Ct mm) para cada época e área nas coletas da bacia do Sudeste do Brasil entre 2008 e 2010.

### 1.3.2 Morfologia e morfometria dos otólitos

Com base nos critérios de seleção, 92 otólitos *sagittae* foram utilizados nas análises de morfometria e microquímica, cuja variação de medidas consta da Tabela 1.3. A partir destes valores, foram calculados os índices cuja variação por classes de comprimento total (Figura 1.4) indicou que, ao longo da ontogenia, há um padrão morfológico em peixes com 50-60 mm de Ct e outro a partir de 70 mm, devido ao desenvolvimento do rostro (o otólito deixa de ser

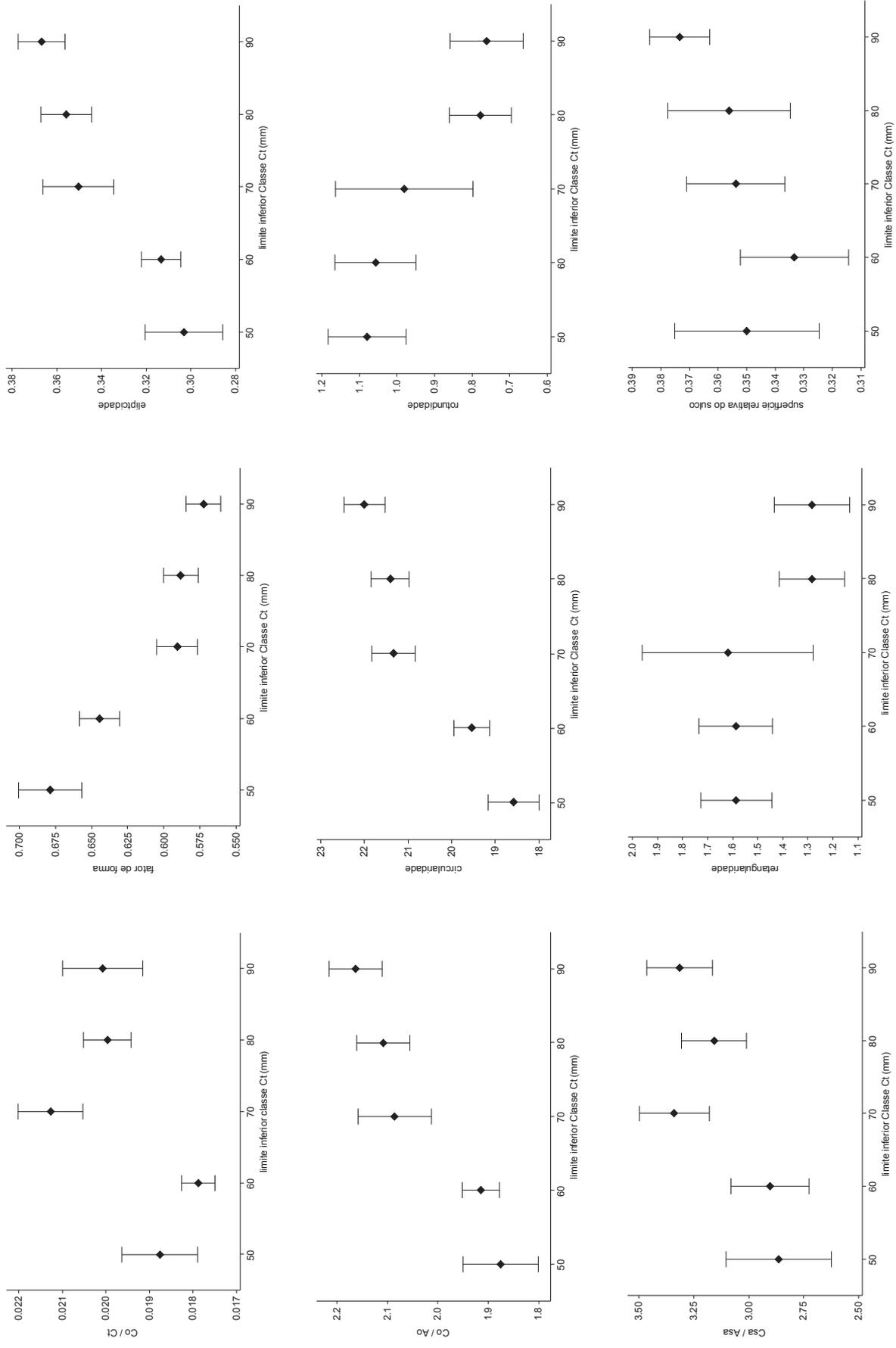
arredondado e se torna mais comprido). Apenas a retangularidade e a rotundidade apresentaram um descréscimo paultino e, a superfície relativa do sulco não apresentou um padrão claro, apesar de evidenciar crescimento da área do otólito proporcionalmente maior que o da área do sulco acústico. Em geral, os índices apenas confirmam o que é notório: o crescimento ao longo do eixo do comprimento, tornando o otólito cada vez mais retangular/ovalado e menos redondo.

A análise de componentes principais (ACP, Figura 1.5) revelou que os índices de forma mais importantes foram: no primeiro eixo de ordenação (43%) a razão de aspecto Co/Ao (0,43), a elipticidade (0,42) e a circularidade (-0,43); no segundo eixo (28%) a rotundidade (0,61) e a retangularidade (0,59) e, no terceiro eixo (12%), a superfície do sulco acústico (0,85). Pelo diagrama da ACP, nota-se clara distinção entre as formas dos otólitos dos jovens do ano de *S. brasiliensis* da área 2 em 2008 e da área 3 em 2010.

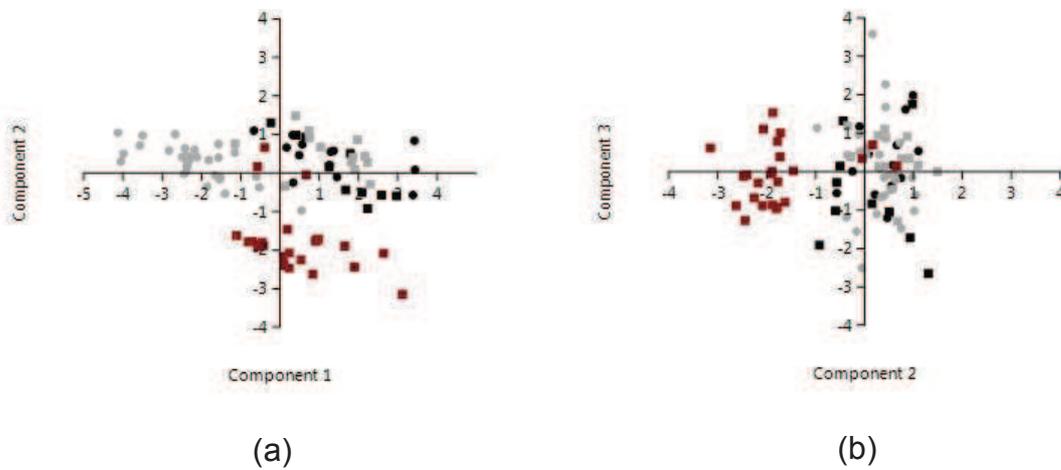
Houve variação significativa entre épocas e áreas (traço de Pillai = 0,9943; F = 11,03; P < 0,001) e, a comparação entre as diferentes áreas e épocas, resultou na identificação de três morfotipos de otólitos diferentes (Tabela 1.4): um da área 1 em 2008 que repetiu-se nas áreas 1 e 2 em 2010, com otólitos compridos e retangulares; um segundo na área 2 em 2008, com otólitos mais largos (ovalados), e; um terceiro na área 3, em 2010, otólitos em que há um grande crescimento em comprimento, sendo muito compridos.

**Tabela 1.3.** *Sardinella brasiliensis*: variação das medidas dos otólitos *sagittae* de jovens do ano (n = 92) nas coletas da bacia do Sudeste do Brasil entre 2008 e 2010.

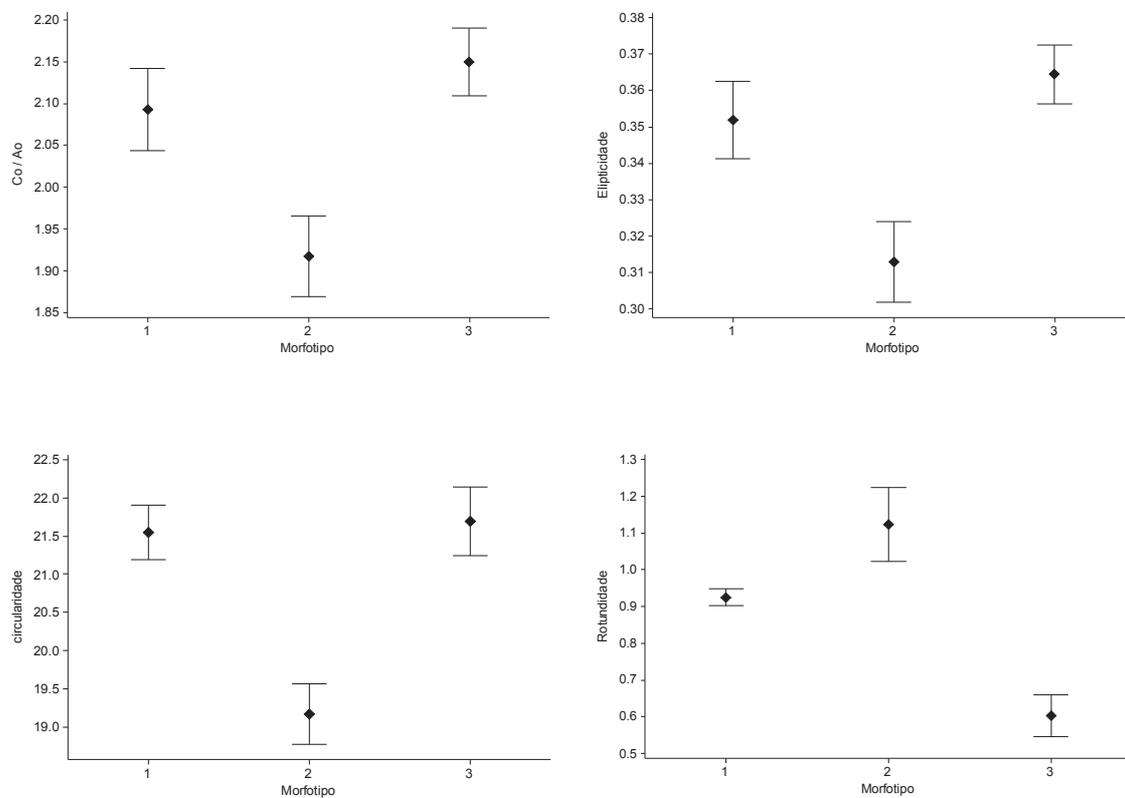
Medida	Mínimo	Média	Desvio padrão	Máximo
Co (mm)	0,867	1,500	0,344	2,200
Ao (mm)	0,500	0,728	0,134	1,000
Po (g)	0,001	0,002	0,001	0,004
Aro (mm <sup>2</sup> )	0,690	1,599	0,726	4,890
Peo (mm)	3,410	5,651	1,336	10,000
Aas (mm <sup>2</sup> )	0,210	0,574	0,284	1,680
Csa (mm)	0,900	1,575	0,410	2,760
Asa (mm)	0,340	0,501	0,109	0,870
Pesa (mm)	2,190	3,852	0,993	6,620
Arsa Ar (mm <sup>2</sup> )	0,660	1,165	0,310	2,150



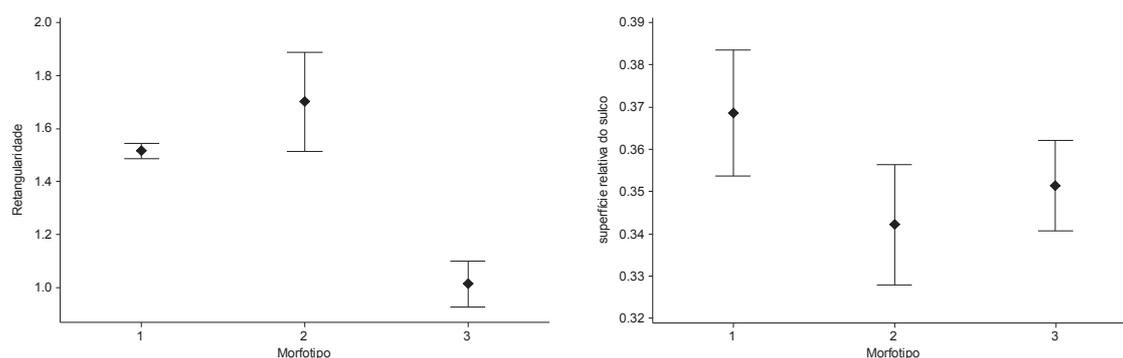
**Figura 1.4.** *Sardinella brasiliensis*: média e intervalo de confiança (95%) dos índices de forma em função das classes de comprimento total de jovens do ano nas coletas da baía do Sudeste do Brasil entre 2008 e 2010.



**Figura 1.5.** *Sardinella brasiliensis*: eixos de ordenação da análise de componentes principais entre os valores dos índices de forma de otólitos de jovens do ano. (a) componentes 1 e 2 (43% e 28 % de explicação) e (b) componentes 2 e 3 (28% e 12% de explicação) (Círculos: 2008; Quadrados: 2010; Área 1: preto, Área 2: cinza; Área 3: vermelho).



**Figura 1.6.** *Sardinella brasiliensis*: variação dos índices de forma para os três morfotipos de otólitos de jovens do ano detectados através da ACP e MANOVA (segue na folha seguinte).



**Figura 1.6 (continuação).** *Sardinella brasiliensis*: variação dos índices de forma de otólitos de jovens do ano para os três morfotipos detectados através da ACP e MANOVA.

**Tabela 1.4.** *Sardinella brasiliensis*: valores de probabilidade  $p$  das comparações duas a duas entre os escores das três componentes principais obtidas a partir dos índices de forma.

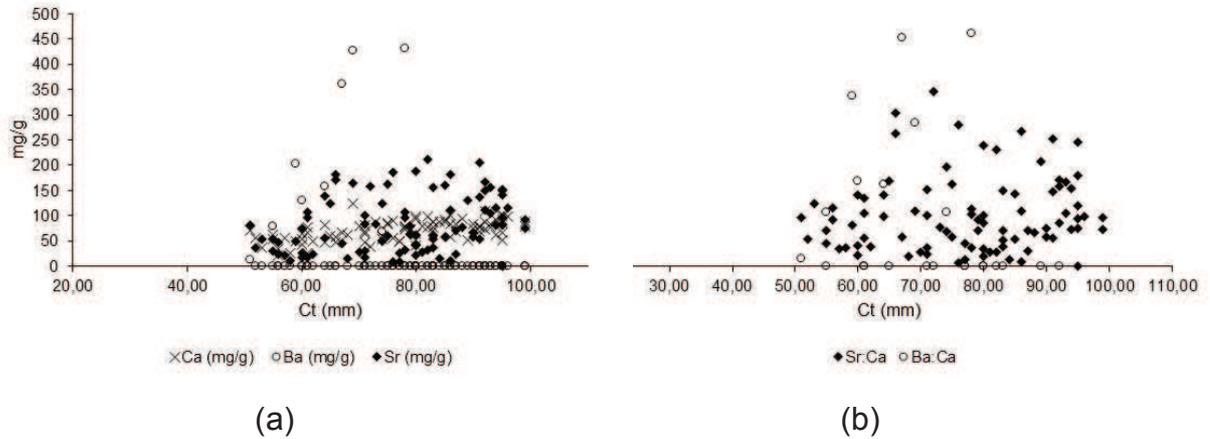
Ano	Área	2008			2010		
		1	2	3	1	2	3
2008	1	---	diferente	---	igual	igual	diferente
	2	$2,75 \cdot 10^{-7}$	---	---	diferente	diferente	diferente
	3	---	---	---	---	---	---
2010	1	0,21285	$1,80 \cdot 10^{-7}$	---	---	igual	diferente
	2	0,97619	$4,33 \cdot 10^{-7}$	---	0,10952	---	diferente
	3	$1,61 \cdot 10^{-5}$	$1,48 \cdot 10^{-14}$	---	$2,76 \cdot 10^{-3}$	$6,11 \cdot 10^{-5}$	---

### 1.3.3 Análise microquímica dos otólitos

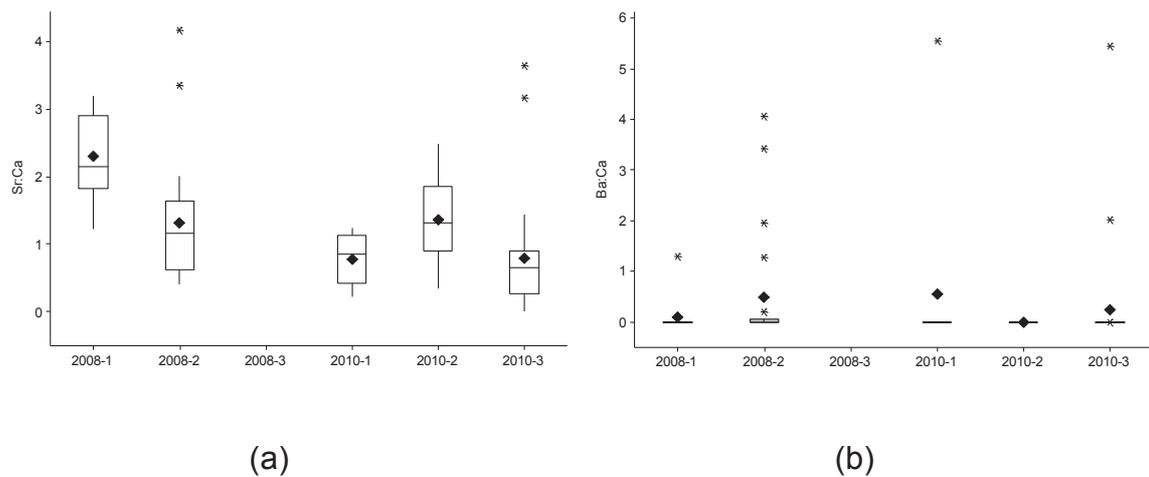
A variação das concentrações de cálcio (Ca), bário (Ba) e estrôncio (Sr) nos otólitos, em função do comprimento total, pode ser visualizada na Figura 1.7. Não houve tendência de variação das concentrações em função do comprimento total (mesmo assim os dados foram ponderados). A maioria das concentrações de bário foram inferiores ao limite de detecção do equipamento. Por outro lado, as variações de cálcio e estrôncio apresentaram uma magnitude de valores que permitiu analisá-las.

Quando da análise das razões (Fig. 1.8), verifica-se que a relação Sr:Ca foi a que apresentou maior variação entre épocas e áreas, sendo então utilizada para analisar as variações espaço temporais da sardinha-verdadeira. Quando testadas, épocas e áreas diferiram significativamente ( $H = 34,42$ ;  $P <$

0,001), sendo possível verificar que, quimicamente, os otólitos tenderam a apresentar diferenças entre todos os grupos analisados ( $P < 0,05$ ), exceto os peixes da área 2 entre si, em ambos os anos.



**Figura 1.7.** *Sardinella brasiliensis*: (a) variação das concentrações individuais dos elementos químicos nos otólitos de jovens do ano. (b) variação das razões dos elementos químicos nos otólitos de jovens do ano.



**Figura 1.8.** *Sardinella brasiliensis*: gráfico de caixa da variação das razões dos elementos químicos nos otólitos de jovens do ano nas coletas da bacia do Sudeste do Brasil (caixa = 1°, 2° e 3° quartis; barras verticais = limites definidos por quartil  $\square 1,5(Q3-Q1)$ ,  $\blacklozenge$  = média aritmética; \* = outliers).

## 1.4 DISCUSSÃO

As amostras de jovens do ano de *S. brasiliensis* foram coletadas durante o período de desova (opção amostral do Programa ECOSAR, CERGOLE e DIAS NETO, 2011), sendo constituídas por indivíduos decorrentes do período de desova anterior. Estas amostras apresentam fidelidade dos indivíduos ao local onde nasceram e as análises com os otólitos aqui conduzidas trazem novas informações para compreensão da biologia da sardinha-verdadeira: existe uma forte diferenciação geográfica nos jovens do ano. Este dado deve ser considerado em avaliações sobre a contribuição do recrutamento anual ao estoque adulto, mostrando que, ao menos nesta fase de vida, é mais adequado considerar os grupos de sardinha-verdadeira em separado.

Historicamente, ROSSI-WONGTSCHOWSKI *et al.* (1982) já haviam detectado variações morfológicas nos otólitos de sardinha-verdadeira, encontrando otólitos predominantemente largos na nossa área 2, a costa do estado de São Paulo e Paraná. Entretanto, os otólitos compridos descritos por aqueles autores foram minoria, o que não foi o caso do presente estudo. Este fato pode decorrer do intervalo de comprimentos diferente, pois ROSSI-WONGTSCHOWSKI *et al.* (1982) estudaram adultos.

Como interpretar as variações nos índices de forma refletem a heterogeneidade de *S. brasiliensis* na bacia do Sudeste do Brasil? O padrão morfológico geral dos otólitos *sagittae* é elíptico (ovalado), com margem ventral e dorsal denteada e sulco acústico heterosulcóide (LEMOS *et al.*, 1995; TUSET *et al.*, 2008). O uso de índices de forma minimiza o efeito do tamanho e, desta maneira, realça a mudança morfológica *per se*, tendo sido bons descritores das variações na forma do otólito da sardinha-verdadeira.

PERIN e VAZ-DOS-SANTOS (2014) detectaram que as medidas de comprimento e altura do otólito apresentavam a maior contribuição no crescimento dos otólitos. Nos indivíduos jovens do ano, a retangularidade descreveu as variações geográficas, revelando as proporções diferenciais entre área, comprimento e a altura (ARELLANO *et al.*, 1995; TOMBARI *et al.*, 2011), evidenciando os otólitos compridos da região do Cabo de Santa Marta Grande (área 3).

As razões de aspecto permitem identificar quais proporções melhor explicam a forma do otólito e do sulco acústico (TUSET *et al.*, 2003; 2008; VOLPEDO *et al.*, 2008). Nos jovens do ano, a relação Co/Ao se destacou devido ao intenso crescimento inicial, típico de peixes jovens (VAZZOLER *et al.*, 1982). Mais do que isso, revelou como o otólito cresce mais nos peixes das áreas de ressurgência (1 e 3).

A circularidade e a rotundidade informam sobre a proximidade morfológica de uma figura ao círculo perfeito (TUSET *et al.*, 2003). Entretanto, apresentam diferentes propriedades que tornam o uso de ambos interessantes, pois a rotundidade permite diferenciar um maior grau de deformações (p.ex., em um quadrado seu valor aumenta, em um retângulo diminui). Da mesma forma, a elipticidade alta revela otólitos muito ovalados, consequência de uma alta retangularidade, típica da área 3. Por outro lado, valores baixos são comuns em otólitos largos (morfotipo 2). Nos jovens do ano de sardinha-verdadeira estes dois índices variaram de forma conspícua nas áreas de ressurgência.

Sumarizando as informações discutidas acima, é possível verificar:

O morfotipo 1 (2008, área 1 e 2010, áreas 1 e 2) correspondeu a peixes cujos otólitos cresceram muito em comprimento, evidenciando maior crescimento das sardinhas-verdadeiras nestas áreas. Esta afirmação é correta pois foram utilizados exemplares na mesma faixa de comprimento total. Isto confirma que as águas frias e produtivas (ressurgência de Cabo Frio e de plataforma, na costa do estado de São Paulo) (FURG, 2009; 2010) favorecem o crescimento inicial de jovens do ano. O morfotipo 3 (2010, área 3) se diferenciou do morfotipo 1 apenas por ser mais comprido, revelando um crescimento maior ainda! Da mesma maneira, são peixes crescendo durante o primeiro ano de vida em uma área de intensa produtividade (BRAGA e NIENCHESKI, 2006). O morfotipo 2 (2008, área 2) corresponde aos otólitos proporcionalmente mais largos, de peixes que crescem em um área relativamente menos produtiva.

Diferentes padrões morfológicos de otólitos resultantes de crescimento diferencial decorrente de fatores ambientais são explicadas pelo metabolismo: se há maior quantidade de nutrientes ingerida, há maior absorção de proteína nos otólitos (AGUIRRE e LOMBARTE, 1999). Estas respostas dos otólitos a

mudanças ambientais já foi comprovada em outros estudos (GAULDIE, 1993; AVIGLIANO *et al.*, 2011), asseverando a eficiência desta análise também para *S. brasiliensis*.

Se a morfologia/morfometria responderam de forma eficiente na comprovação de variação geográfica em jovens do ano de *S. brasiliensis*, como a análise microquímica reforça este diagnóstico?

As relações Sr:Ca e Ba:Ca em peixes que habitam amplas área de distribuição com características ambientais diferentes e variáveis (salinidade, composição química, temperatura), como a sardinha-verdadeira, permitem determinar onde eles nasceram (AVIGLIANO *et al.*, 2014; 2015). Esta relações são influenciadas por fatores ambientais e fisiológicos. Geralmente a concentração de estrôncio nos otólitos em peixes marinhos geralmente é maior que em peixes de água doce, que tem concentrações maiores de bário (KRAUS e SECOR, 2004; ELSDON *et al.*, 2008). No presente estudo, os resultados comprovam que *S. brasiliensis* tem seu desenvolvimento inicial em águas marinhas, diferentemente de outros clupeiformes, que entram em áreas costeiras com salinidade variável (MAI *et al.*, 2014).

Os resultados da análise microquímica dos otólitos no presente estudo indicaram similaridade entre os jovens do ano de *S. brasiliensis* nas costas dos estados de São Paulo e Paraná (área 2), sugerindo condições ambientais parecidas entre 2008 e 2010. Por outro lado, os peixes que estiveram associados as área de ressurgência (1 e 3), apresentaram um padrão variado, decorrência da plasticidade do fenômeno oceanográfico (CASTRO *et al.*, 2006). Especialmente a concentração de Sr:Ca mostra que os jovens do ano de fato nasceram em áreas diferentes, relacionadas à desova de *S. brasiliensis*, entre Rio de Janeiro e São Paulo e, em Santa Catarina (MATSUURA, 1998).

Além dos fatores ambientais, a variação dos elementos químicos nos indivíduos jovens pode estar relacionada a taxa de crescimento (WALTHER *et al.*, 2010): se a taxa for alta, há um aumento da produção de proteínas, alterando a concentração relativa de íons na precipitação e diminuindo as taxas dos elementos químicos dos otólitos. Esta pode ser uma explicação para os baixos valores de estrôncio, principalmente em 2010 nas áreas de ressurgência (1 e 3) e para a presença de bário em alguns indivíduos jovens.

No presente estudo comprovou-se que os otólitos de jovens do ano de *S. brasiliensis*, através de suas características morfométricas e microquímicas, são eficientes descritores das variações geográficas da espécie, relacionados a ocupação das áreas de ressurgência (Cabo Frio e Cabo de Santa Marta Grande) e à plataforma continental ao longo das costas dos estados de São Paulo e Paraná. Considera-se fundamental que avaliações de estoque e estimativas de biomassa futuras usem esta informação, verificando a contribuição relativa que cada grupo tem para o estoque adulto.

## 1.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIRRE, H.; LOMBARTE, A. 1999. Ecomorphologic comparisons of sagittae in *Mullus barbatus* and *M. surmuletus*. *Journal of Fish Biology*, 55: 105–114.
- ARELLANO, R.V.; HAMERLYNCK, O.; VINEX, M.; MEES, J.; HOSTENS, K.; GIJSELINCK, W. 1995 Changes in the ratio of the sulcus acusticus area to the sagitta area of *Pomatoschistus minutus* and *P. lozanoi* (Pisces, Gobiidae). *Marine Biology*, 122: 355-360.
- AVIGLIANO, E.; TOMBARI, A.; VOLPEDO, A.V. 2011 El otolito de pejerrey (*Odontesthes bonariensis*), refleja es estrés ambiental. *Biologica Acuatica*, 27: 9-14.
- AVIGLIANO, E.F.; MARTINEZ RIAÑOS, VOLPEDO, A.V. 2014. Combined use of otolith microchemistry and morphometry as indicators of the habitat of the silverside (*Odontesthes bonariensis*) in a freshwater-estuarine environment. *Fisheries Research* 149: 55-60
- AVIGLIANO, E.F.; SAEZ, M.B.; RICO, R.; VOLPEDO, A.V. 2015. Use of otolith strontium:calcium and zinc:calcium ratio as indicator of habitat of *Percophis brasiliensis* in the Southwestern Atlantic Ocean. *Neotropical Ichthyology* 76 (2) (in press)
- AVIGLIANO, E.F.; VOLPEDO, A.V. 2013. Use of otolith strontium:calcium ratio as indicator of seasonal displacements of the silverside (*Odontesthes bonariensis*) in a freshwater-marine environment. *Marine and Freshwater Research* 64(8): 746-751
- BOCARD, D.; GILLET, F.; LEGENDRE, P. 2011 Numerical ecology with R. New York: Springer. 306p.
- BRAGA, E.S.; NIENCHESKI, L.F.H. 2006. Composição das massas de água e seus potenciais produtivos na área entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). In: Rossi-Wongtschowski, C. L. D. B. & Madureira, L. S. P. (ed.). O ambiente oceanográfico da Plataforma Continental e do Talude na Região Sudeste-Sul do Brasil. São Paulo, Edusp. p. 161-218.
- CAMPANA, S.E. 2005. Otolith science entering the 21st century. *Marine and Freshwater Research*, 56(5), 485. doi:10.1071/MF04147
- CAMPANA, S.E.; CHOUINARD, G.A.; HANSON, J.M.; FRÉCHET, A.; BRATTEY, J. 2000. Otolith elemental fingerprints as biological tracers of fish stocks. *Fisheries Research* 46: 343-357.
- CASTELLO, J.P. 2007 Síntese sobre a sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*). In: Haimovici, M. A prospecção pesqueira e abundância de estoques marinhos no Brasil nas décadas de 1960 a 1990: Levantamento de dados e avaliação crítica. Brasília: MMA/SMCQ. p.225-231.
- CASTELLO, J.P.; HABIAGA, R.P.; AMARAL, J.C.; LIMA JR; I.D.A. 1991 Prospecção hidroacústica e avaliação da biomassa de sardinha e anchoita, na região sudeste do Brasil (outubro/novembro de 1988). *Publicação Especial do Instituto Oceanográfico*, 8: 15-29.
- CASTRO, B.M.; LORENZETTI, J.A.; SILVEIRA, I.C.A. ; MIRANDA, L.B. 2006. Estrutura termohalina e circulação na região entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). In: Rossi-Wongtschowski, C. L. D. B. & Madureira, L. S. P. (ed.). O ambiente oceanográfico da Plataforma Continental e do Talude na Região Sudeste-Sul do Brasil. São Paulo, Edusp. p. 11-120.

- CERGOLE, M.C. e DIAS NETO, J. 2011 Plano de gestão para o uso sustentável de sardinha-verdadeira, *Sardinella brasiliensis*, no Brasil. Brasília: MMA/IBAMA. 180p.
- CERGOLE, M.C.; ÁVILA-da-SILVA, A.O.; ROSSI-WONGTCHOWSKI, C.L.D.B. 2005 Análise das principais pescarias comerciais da região Sudeste-Sul do Brasil: dinâmica populacional das espécies em exploração. São Paulo: Instituto Oceanográfico USP. 176p.
- CHITTARO, P.M.; USSEGLIO, P.; FRYER, B.J.; SALE, P.F. 2006 Spatial variation in otolith chemistry of *Lutjanus apodus* at Turneffe Atoll, Belize. *Estuarine, Coastal and Shelf Sci*, 67: 673-680.
- CURIN-OSORIO, S.; CUBILLOS, L.A.; CHONG, J. 2012 On the intraspecific variation in morphometry and shape of the sagittal otoliths of the common sardine, *Stragomera bentincki*, off Central-Southern Chile. *Scientia Marina*, 76(4): 659-666.
- DALLAGNOLO, R.; SCHWINGEL, P.R.; PEREZ, J.A.A. 2002 Estimativas de produção anual de sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*) em Santa Catarina: Um modelo de projeção de capturas a partir dos padrões mensais de desembarque no Estado. *Braz. J. Aquat. Sci. Technol*, 2(14): 95-104.
- DUARTE-NETO P.; LESSA, R.; STOSIC, B.; MORIZE, E. 2008 The use of sagittal otoliths in discriminating stocks of common dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) off northeastern Brazil using multishape descriptors. *J. Mar. Sci.*, 65(7): 1144-1152.
- ELSDON, T. S., WELLS, B. K., CAMPANA, S. E., GILLANDERS, B. M., JONES, C. M.; LIMBURG, K. E. 2008 Otolith chemistry to describe movements and life-history parameters of fishes: hypotheses, assumptions, limitations and inferences. *Oceanography and Marine Biology*, 46: 297-330.
- FIGUEIREDO, J.L.; MENEZES, N.A., 1978 Manual de Peixes Marinhos do Sudeste do Brasil. V. II: Teleostei (1). Museu de Zoologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 113p.
- FURG. 2009 Mapeamento e estimativa de biomassa na área de ocorrência da sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*) através de metodologia hidroacústica (Cruzeiro ECOSAR VI). Relatório de trabalho referente ao contrato CEP SUL N° 02/2009 (CEP SUL/Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade) e a Universidade Federal do Rio Grande (FURG). 30p.
- FURG. 2010 Mapeamento e estimativa de biomassa na área de ocorrência da sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*) através de metodologia hidroacústica (Cruzeiro ECOSAR VII). Relatório de trabalho referente ao contrato CEP SUL N° 02/2009 (CEP SUL/Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade) e a Universidade Federal do Rio Grande (FURG). 32p.
- GARCÍA-RODRÍGUES, F.J. ; GARCÍA-GASCA, S.A. ; CRUZ-AGÜERO, J.L. ; COTA-GÓMEZ, V.M. 2011 A study of the population structure of the Pacific sardine, *Sardinops sagax* (Jenyns, 1842) in Mexico based on morphometric and genetic analysis. *Fisheries Research*, 107: 169-176.
- GAULDIE, R.W. 1988 Function, form and time-keeping properties of fish otoliths. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 91: 395-402.

- GAULDIE, R.W. 1993 Polymorphic crystalline structure of fish otoliths. *Journal of morphology*, 218: 1-28.
- GIGLIOTTI, E.S.; SATO, O.T.; PAES, E.T. 2007 Correlação entre variáveis oceanográficas medidas por satélite e a produção pesqueira de *Sardinella janeiro* na costa sudeste-sul do Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Florianópolis, 21-26/abr./2007. Anais XIII, p.3365-3372.
- GOZLAN, R. E.; MASTRORILLO, S.; LEK, S. 1999. Predicting the structure and diversity of young-of-the- year fish assemblages in large rivers. *Freshwater Biology*. 41: 809-820
- GREEN, B.S.; MAPSTONE, B.D.; CARLOS, G.; BEGG, G.A. 2009 Introduction to otoliths and fisheries in the tropics. In: GREEN, B.S.; MAPSTONE, B.D.; CARLOS, G.; BEGG, G.A. *Tropical fish otoliths: Information for assessment, management and ecology*. New York: Springer. p. 1-19.
- HAIR, J.F.; BLACK, W.C.; BABIN, B.J.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L. 2009 Análise multivariada de dados. Porto Alegre: Bookman. 688p.
- KRAUS, R.T.; SECOR, D.H. 2004 Incorporation of strontium into otoliths of an estuarine fish. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 302: 85-106.
- LAPPALAINEN, A.; URHO, L. 2006. Young-of-the-year fish species composition in small coastal bays in the northern Baltic Sea, surveyed with beach seine and small underwater detonations. *Boreal Environment Research*, 11(November), 431–440.
- LEGUÁ, J.; PLAZA, G.; PÉREZ, D.; ARKHIPKIN, A. 2013 Otolith shape analysis as a tool for stock identification of the southern blue whiting, *Micromesistius australis*. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 41(3): 479-489.
- LEMOIS, P.H.B.; CORRÊA, M.F.M; PINHEIRO, P.C. 1995 Catálogo de otólitos de Clupeidae (Clupeiformes – Osteichthyes) do litoral do Estado do Paraná, Brasil. *Arq. Biol. Tecnol.*, 38(3): 747-759.
- LORENZO, M. I.; VAZ-DOS-SANTOS, A. M.; ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C. L. D. B. 2011. Growth pattern of the young of the year Argentine hake *Merluccius hubbsi* Marini, 1933 (Gadiformes Merluccidae) along the Brazilian and Uruguayan coasts. *Environmental Biology of Fishes*, 91(2), 155–164. doi:10.1007/s10641-011-9768-4
- MAI, A. C. G.; CONDINI, M. V., ALBUQUERQUE, C. Q., LOEBMANN, D., SAINT'PIERRE, T. D., MIEKELEY, N.; VIEIRA, J. P. 2014. High plasticity in habitat use of *Lycengraulis grossidens* (Clupeiformes, Engraulididae). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 141(February), 17–25. doi:10.1016/j.ecss.2014.01.014
- MATSUURA, Y. 1998 Brazilian sardine (*Sardinella brasiliensis*) spawning in the southeast Brazilian bight over the period 1976-1993. *Rev. Bras. Oceanogr.*, 46(1): 33-43.
- MPA, Ministério da Pesca e Aquicultura do Brasil. 2011. Boletim Estatístico da Pesca e Aquicultura. Brasília: MPA. 60p.
- NIKLITSCHKE, E.J.; SECOR, D.H.; TOLEDO, P.; LAFON, A.; GEORGE-NASCIMENTO, M. 2010 Segregation of SE Pacific and SW Atlantic southern blue whiting stocks: integrating evidence from complementary otolith microchemistry and parasite assemblage approaches. *Environmental Biology Fish*, 89: 399-413.

- PERIN, S.; VAZ-dos-SANTOS, A.M. 2014. Morphometry and relative growth of the Brazilian Sardine, *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879) in the Southeastern Brazilian Bight. *Arquivos de Zoologia*, v.45.
- PONTUAL, H.; GEFFEN, A.J. 2002 Otolith microchemistry. In: PANFILI, J.; PONTUAL, H.; TROADEC, H. e WRIGHT, P.J. *Manual of fish sclerochronology*. France: Ifremer-IRD coedition. p. 245-282.
- ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C. L. D. B.; SACCARDO, S. A.; VAZZOLER, A. E. A. M. 1991. Características biológicas dos cardumes de sardinha e relação com as condições oceanográficas da região Sudeste do Brasil (outubro/novembro de 1988). *Publicação especial do Instituto Oceanográfico*, 8: 31-39.
- ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C.L.D.B.; VAZZOLER, A.E.A.M.; BRAGA, F.M.S. 1982 Estudos sobre a estrutura, ciclo de vida e comportamento de *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879), na área entre 22°S e 28°S, Brasil: Morfologia dos otólitos. *Boletim do Instituto Oceanográfico*, 2(31): 57-76.
- SACCARDO, S.A.; ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C.L.D.B. 1991 Biologia e avaliação do estoque da sardinha *Sardinella brasiliensis*: uma compilação. *Atlântica*, 13(1): 29-43.
- STRANSKY, C. 2005 Geographic variation of golden redfish (*Sebastes marinus*) and deep-sea redfish (*S. mentella*) in the North Atlantic based on otolith shape analysis. *ICES Journal of Marine Science*, 62: 1691-1698.
- STRANSKY, C., GARBE-SCHONBERG, C. D., E GÜNTHER, D. 2005 Geographic variation and juvenile migration in Atlantic redfish inferred from otolith microchemistry. *Marine and Freshwater Research*, 56(5), 677–691.
- SWAN, S.C.; GEFFEN, A.J.; MORALES-NIN, B.; GORDON, J.D.M.; SHIMMIELD, T.; SAWYER, T.; MASSUTÍ, E. 2006 Otolith chemistry: an aid to stock separation of *Helicolenus dactylopterus* (bluemouth) and *Merluccius merluccius* (European hake) in the Northeast Atlantic and Mediterranean. *ICES Journal of Marine Science*, 63: 504-513.
- TOMBARI, A.D.; VÉLIZ, D.; VOLPEDO, A.V. 2011 Spatio-temporal and intraspecific variations on the morphology and morphometry of otoliths on *Odontesthes bonariensis* (Atheriniformes, Atherinopsidae). *Natura Neotropicalis*: 42(1-2): 45-64.
- TORRES, G.J.; LOMBARTE, A.; MORALES-NIN, B. 2000 Sagittal otolith size and shape variability to identify geographical intraspecific differences in three species of the genus *Merluccius*. *J. Mar. Biol. Ass.*, 80: 333-342.
- TUSET, V.M.; LOMBARTE, A.; ASSIS, C.A. 2008 Otolith atlas for the western Mediterranean, north and central eastern Atlantic. *Scientia Marina*, SI(72): 7-198.
- TUSET, V.M.; LOZANO, I.J.; GONZÁLEZ, J.A.; PERTUSA, J.F.; GARCÍA-DÍAZ, M.M. 2003 Shape indices to identify regional differences in otolith morphology of comber, *Serranus cabrilla* (L., 1758). *J. Appl. Ichthyol.*, 19: 88-93.
- VALENTINI, H.; PEZZUTTO, P.R. 2006 Análise das principais pescarias comerciais da Região Sudeste-Sul do Brasil com base na Produção Controlada do período 1986-2004. São Paulo: Instituto Oceanográfico - USP/Série Documentos REVIZEE. 56p.

- VALENTINI, H.; CARDOSO, R.D. 1991 Análise da pesca da sardinha-verdadeira, *Sardinella brasiliensis*, na costa Sudeste-Sul do Brasil. *Atlântica Rio Grande*, 13(1): 45-54.
- VAZZOLER, A.E.A.M.; ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C.L.D.B.; BRAGA, F.M.S. 1982 Estudos sobre a estrutura, ciclo de vida e comportamento de *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879) na área entre 22°S e 28°S, Brasil. 2. Determinação da idade individual e crescimento dos otólitos. *Bolm. Inst. Oceanogr.*, 31(2): 77-84.
- VOLPEDO, A.V.; TOMBARI, A.D.; ECHEVERRÍA, D.D. 2008 Eco-morphological patterns of the sagitta of Antarctic fish. *Polar Biol.*, 31(5): 635-640.
- WALTHER, B. D.; KINGSFORD, M. J.; O'CALLAGHAN, M. D.; MCCULLOCH, M. T. 2010 Interactive effects of ontogeny, food ration and temperature on elemental incorporation in otoliths of a coral reef fish. *Environmental Biology of Fishes*, 89(3-4), 441–451.
- WALTHER, B.; THORROLD, S. 2006 Water, not food, contributes the majority of strontium and barium deposited in the otoliths of a marine fish. *Marine Ecology Progress Series*, 311, 125–130.
- ZAR, J.H. 2010 *Biostatistical analysis*. 5<sup>a</sup> ed. New Jersey: Prentice Hall. 947p.

**CAPÍTULO 2**  
**OTÓLITOS COMO FERRAMENTA PARA ESTUDO DA ESTRUTURA**  
**POPULACIONAL DE *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879) NO**  
**ATLÂNTICO SUDOESTE**

## **CAPÍTULO 2 – OTÓLITOS COMO FERRAMENTA PARA ESTUDO DA ESTRUTURA POPULACIONAL DE *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879) NO ATLÂNTICO SUDOESTE**

### **RESUMO**

Distribuída na bacia do Sudeste do Brasil, a sardinha-verdadeira, *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879) (Clupeiformes: Clupeidae) é uma espécie pelágica alvo das frotas de cerco (traineiras) que atuam na região, sendo por isto bem estudada quanto aos seus aspectos biológicos. Não apresenta homogeneidade em sua área de distribuição quanto a estrutura em tamanho e idade, morfologia de otólitos e áreas de desova, aliada a intensas flutuações populacionais. O objetivo deste estudo foi analisar os otólitos de adultos para compreensão do seu ciclo de vida e variações geográficas. Os exemplares foram coletados durante o Programa ECOSAR em 2008, 2009 e 2010, entre setembro e março. Os otólitos de exemplares adultos de *S. brasiliensis* foram analisados através de nove índices de forma (morfologia e morfometria) e quanto à sua constituição microquímica (razões entre estrôncio, cálcio e bário) (ICP-OES) em relação a duas áreas da bacia do Sudeste. Houve grande variabilidade nos padrões morfométricos e microquímicos dos otólitos, indicando que os adultos são um grupo único resultado da união de jovens que nasceram em diferentes áreas. Estas informações devem subsidiar a gestão de *S. brasiliensis* na área.

**PALAVRAS-CHAVES:** morfometria, microquímica, adultos, ICP-OES.

## 2.1 INTRODUÇÃO

Os otólitos dos peixes têm sido utilizados para identificação de espécies, em estudos de taxonomia e arqueologia, para estabelecer filogenias, para caracterizar populações, estudar a idade e o crescimento, entre outras aplicações (CAMPANA, 2004; ANNABI *et al.*, 2013).

Descrições dos aspectos morfológicos de otólitos enquanto descritores de espécies estão amplamente documentadas (ASSIS, 2000; VOLPEDO e ECHEVERRÍA, 2000; FURLANI *et al.*, 2007; TUSET *et al.*, 2008; ROSSI-WONGTSCHOWSKI *et al.*, 2014). Entretanto, para quantificar variações na forma e analisar a estrutura populacional, sejam variações ontogenéticas ou geográficas, o uso da morfometria aplicada a otólitos se impõem (CAMPANA e CASSELMAN, 1993; BEGG e BROWN, 2000; STRANSKY, 2005; DUARTE-NETO *et al.*, 2008; GARCÍA-RODRÍGUES *et al.*, 2011; LEGUÁ *et al.*, 2013).

Em 1930, Huxley (HUXLEY, 1993) estabeleceu um marco teórico para a análise da forma e do crescimento relativo, através da equação alométrica ( $y=ax^b$ ), na qual se quantifica o aumento de uma dimensão em relação a outra, medido por uma constante, o coeficiente alométrico ( $b$ ). Aplicada a otólitos, este modelo serve para caracterizações, distinção de espécies e detecção de padrões de crescimento (FRANCIS *et al.*, 2005; VAZ-DOS-SANTOS *et al.*, 2007; STEWARD *et al.*, 2009; TORROGLOSA *et al.*, 2012).

A quantificação das mudanças na forma dos otólitos também pode ser mensurada através de índices quantitativos que ponderam a contribuição do aumento nas diferentes dimensões de um otólito (comprimento, altura, área, perímetro) (TUSET *et al.*, 2003a). Estes índices de forma podem revelar diferenças entre espécies (BANI *et al.*, 2013), caracterizar ontogenia (RONDON *et al.*, 2014), analisar variações geográficas (TUSET *et al.*, 2003b; MEGALOFANOU, 2006; DUARTE-NETO *et al.*, 2008) e estabelecer relações ecológicas (VOLPEDO e ECHEVERRÍA, 2002; FARRÉ *et al.*, 2013).

A análise da constituição microquímica dos otólitos também tem melhorado substancialmente a compreensão dos padrões populacionais de peixes (BROWN e SEVERIN, 2009). Desde a contribuição de DEGENS *et al.* (1969), que analisaram a composição dos otólitos de 25 espécies de peixes marinhos e de água doce para compreender o processo de mineralização, esta

área do conhecimento tem apresentado grandes avanços. Sua aplicação a diferentes aspectos do ciclo de vida dos peixes é notável, entre eles descrição da ontogenia (WALTHER *et al.*, 2010), deslocamentos de indivíduos entre diferentes ambientes aquáticos (GILLANDERS, 2005; ALBUQUERQUE *et al.*, 2010; STURROCK *et al.*, 2012; AVIGLIANO e VOLPEDO, 2013), estrutura de estoque (JONSDOTTIR *et al.*, 2006; SCHUCHERT *et al.*, 2010), variações geográficas (STRANSKY *et al.*, 2005) e idade e crescimento (ALDANONDO *et al.*, 2010).

Estas aplicações se devem à estrutura acelular dos otólitos e de sua inércia metabólica, fazendo com que qualquer elemento ou composto seja acrescido a sua estrutura e não seja reabsorvido ao longo de seu crescimento (CARLSTRÖM, 1963; GAULDIE, 1993; CAMPANA, 1999; CAMPANA, 2004; VANDERKOOY, 2009). Desta forma, os otólitos fornecem um registro das características cronológicas da história de vida do peixe e de seu ambiente (CAMPANA e NEILSON, 1985; STEVENSON e CAMPANA, 1992; CAMPANA, 1999).

A sardinha-verdadeira, *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879) (Teleostei: Clupeidae) é um pequeno pelágico de plataforma endêmico da bacia do Sudeste do Brasil (22°59'S – 28°36'S) (FIGUEIREDO e MENEZES, 1978; CERGOLE e DIAS NETO, 2011). É um dos mais importantes recursos pesqueiros da área (MPA, 2011), que apresenta variações cíclicas em sua abundância (CERGOLE, 2002). Nos anos 1970 foi registrado o recorde de produção de 223 mil toneladas, contra média de 95 mil toneladas (PAIVA e MOTTA, 2000; IBAMA, 2009), estas oscilação nas capturas se devem a fatores ambientais, biológicos e a pesca (SUNYÉ e SERVAIN, 1998; PINAYA, 2008; SOARES *et al.*, 2011).

Apesar de constituir uma população única, há desovas em diferentes locais ao longo da área (MATSUURA, 1998). A estrutura em tamanho e idade é diferenciada, mostrando heterogeneidade no uso do espaço (CASTELLO, 2007). Especialmente os jovens do ano apresentam grandes variações na estrutura dos otólitos (morfometria e microquímica), com os peixes do Cabo de Santa Marta Grande sendo bem diferentes dos que ocorrem ao longo da plataforma em São Paulo e Rio de Janeiro (Capítulo 1, neste volume).

Estas diferenças, especialmente as detectadas nos jovens do ano, levam a questão de como estas características se refletem na estrutura dos adultos. Desta forma, o presente estudo tem como objetivo analisar os aspectos morfométricos e a constituição microquímica dos otólitos *sagittae* de *S. brasiliensis*, verificando variações geográficas nos adultos.

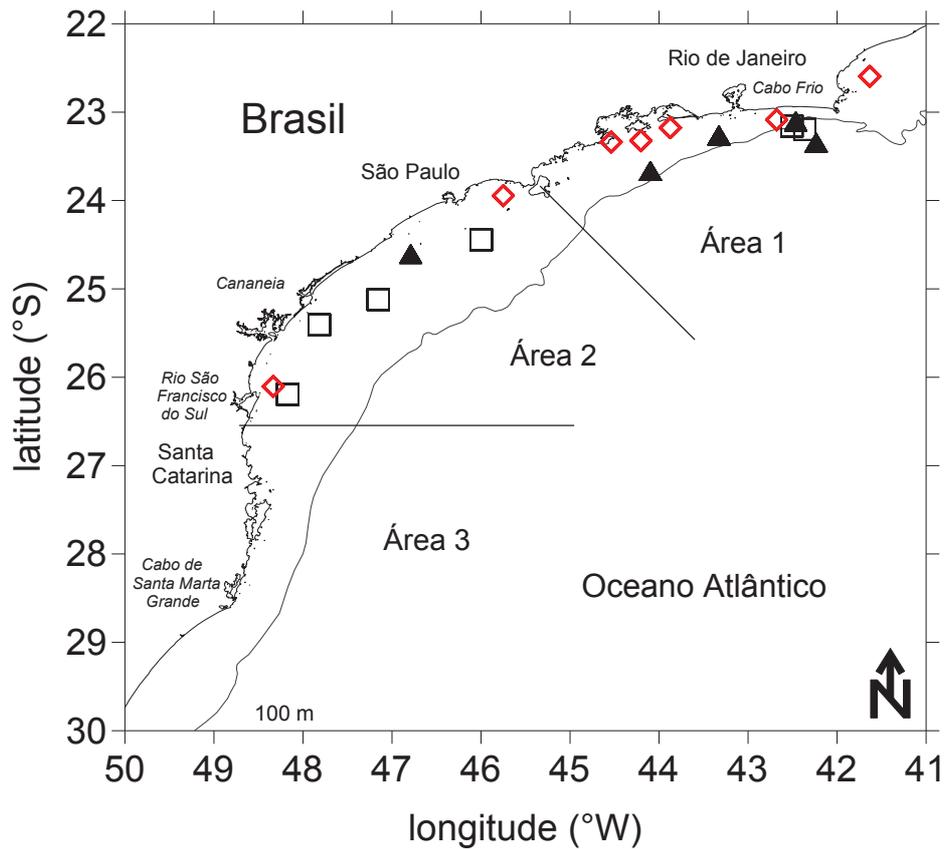
## 2.2 MATERIAS E MÉTODOS

### 2.2.1 Obtenção de amostras

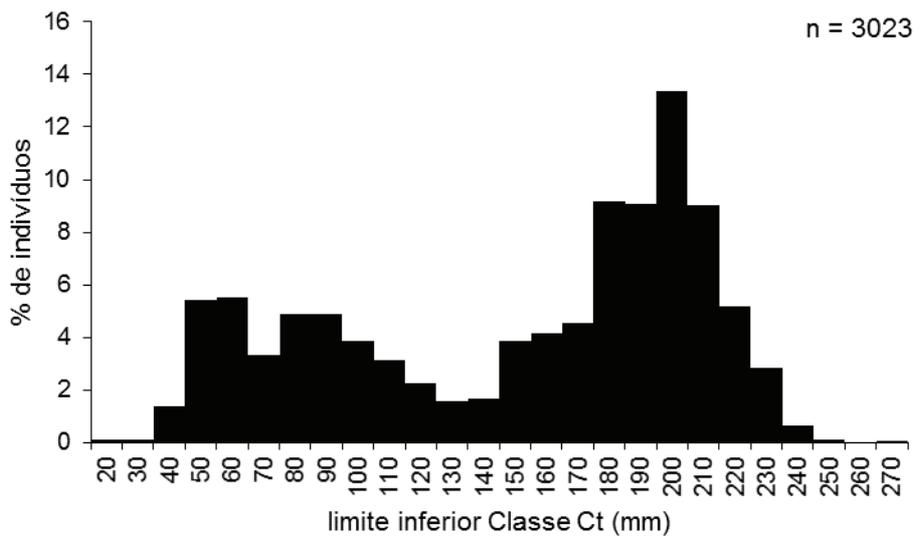
Os exemplares de *Sardinella brasiliensis* foram obtidos em coletas realizadas no contexto do programa “Prospecção e avaliação de biomassa do estoque de sardinha, na costa sudeste, por métodos hidroacústicos” (ECOSAR). Foram realizados cruzeiros de pesca exploratória com o Navio Oceanográfico *Atlântico Sul*, da Universidade Federal do Rio Grande (FURG), em novembro de 2008 (ECOSAR V), em setembro-outubro de 2009 (ECOSAR VI) e em março de 2010 (ECOSAR VII) na bacia do Sudeste do Brasil (Figura 2.1). Uma traineira da frota pesqueira também atuou, pescando com rede de cerco em 2009 e 2010 (FURG, 2010). Detalhes das operações de pesca e das redes utilizadas podem ser verificados no Capítulo 1, deste volume.

A bordo, os exemplares de *S. brasiliensis* foram identificados e congelados, sendo levados para laboratório, onde foram medidos quanto ao comprimento total (da ponta do focinho até o termino da nadadeira caudal, Ct mm) e foram retirados os otólitos *sagittae*. Os otólitos foram lavados em álcool 70%, secados e guardados em microtubos plásticos (eppendorfs) para análises posteriores.

Um total de 3023 exemplares de sardinha-verdadeira foi amostrado. A estrutura em tamanho das capturas (Figura 2.2) refletiu a seletividade das artes de pesca, pois captura de jovens (Ct < 150 mm) ocorreu principalmente com as redes de arrasto de meia água e a de adultos com rede de cerco. Considerando que o objetivo era analisar comparativamente adultos nas três épocas (2008, 2009 e 2010) e nas áreas (1 e 2, pois não houve adultos na área 3), foi composta uma subamostra restrita ao intervalo comum de comprimentos (150 < Ct < 229 mm). Sempre que possível, um total de 8 otólitos foram selecionados por área, época e classes de comprimento total.



**Figura 2.1.** Mapa mostrando os locais de pesca com captura de adultos de *Sardinella brasiliensis* nos cruzeiros de pesca exploratória do Programa ECOSAR na bacia do Sudeste do Brasil (2008 – quadrados pretos; 2009 – triângulos pretos; 2010 – losangos vermelhos).



**Figura 2.2.** *Sardinella brasiliensis*: distribuição de frequência de indivíduos por classe de comprimento total (Ct) nas capturas do Programa ECOSAR entre 2008 e 2010 na bacia do Sudeste do Brasil.

### 2.2.2 Morfologia e morfometria dos otólitos

A metodologia de análise dos otólitos de *S. brasiliensis* seguiu em linhas gerais a mesma do Capítulo 1, sendo:

- medição dos otólitos, obtendo-se oito variáveis. Além disso, foi obtido o peso do otólito ( $P_o$ , g) em balança analítica de precisão;
- cálculo dos índices de forma (TUSET *et al.*, 2003a; 2008; VOLPEDO *et al.*, 2008), cujos valores médios foram analisados em função da classe de comprimento total;

Em seguida, duas metodologias foram empregadas:

- análise de componentes principais (ACP) dos valores padronizados dos índices, identificando as componentes principais que somaram mais de 80% de explicação para testar diferenças (MANOVA) entre épocas e áreas combinadas (HAIR *et al.*, 2009) (a semelhança do Capítulo 1);
- PERMANOVA usando a distância de Gower com os valores padronizados dos índices por épocas e áreas combinadas (ANDERSON, 2001).

Com o objetivo de verificar variações estacionais no padrão de crescimento relativo, foi ajustado o modelo potencial de HUXLEY (1993) aos dados de comprimento total e comprimento, altura e peso dos otólitos (PERIN e VAZ-DOS-SANTOS, 2014). Utilizou o método linear dos mínimos quadrados com dados logaritmizados. Os modelos foram verificados através de seus resíduos e comparados entre épocas através de ANCOVA (SOKAL e ROHLF, 1995). Os coeficientes  $b$  foram testados (teste  $t$ ) com o valor referencial de isometria ( $\beta = 1$ ).

### 2.2.3 Análise microquímica dos otólitos

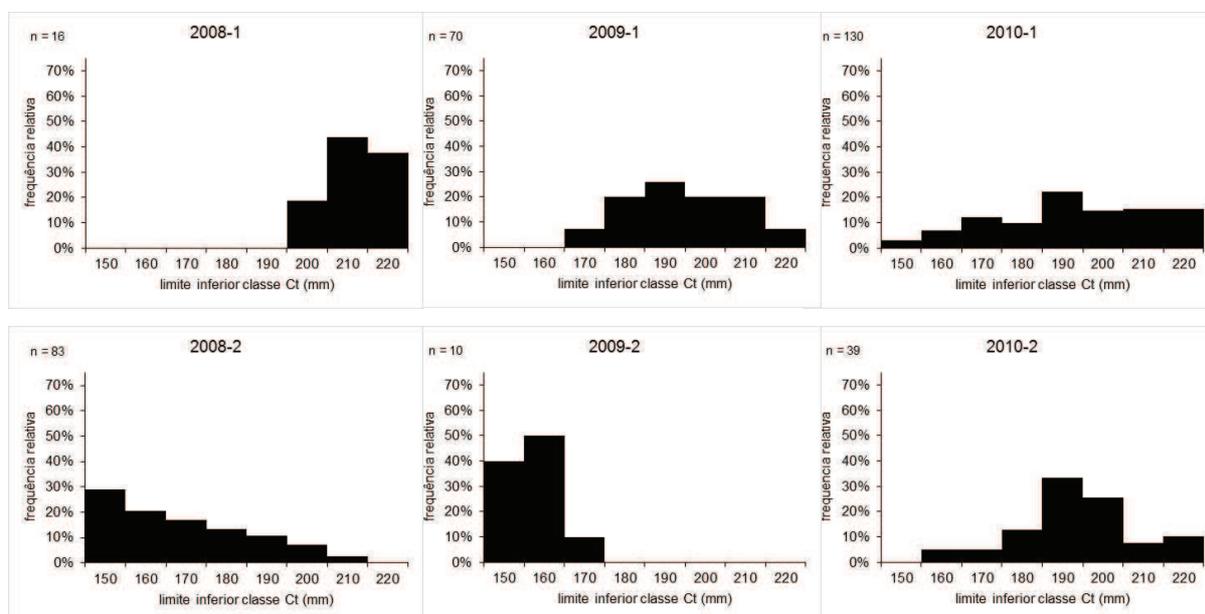
A análise microquímica seguiu a mesma metodologia aplicada no Capítulo 1, com:

- preparação e estimação das concentrações de bário, cálcio e estrôncio (AVIGLIANO e VOLPEDO, 2013);
- cálculo das razões Sr:Ca e Ba:Ca corrigidos (CAMPANA *et al.*, 2000);
- teste de Kruskal Wallis destes valores em relação à épocas e áreas combinadas.

## 2.3 RESULTADOS

### 2.3.1 Caracterização da subamostra

A subamostra de adultos selecionada compreendeu 348 exemplares de *S. brasiliensis* com comprimento total entre 150 e 229 mm (média em 191,32 mm e desvio padrão de 21,09 mm). A composição por época e período foi proporcional às capturas, resultando nas distribuições de frequência apresentadas na Figura 2.3. Em 2008 as capturas foram prejudicadas pelo não uso da rede de cerco, o que fez com que em 2009 e 2010 a maioria dos indivíduos ocorresse na área 1, com uma estrutura em tamanhos semelhante.



**Figura 2.3.** *Sardinella brasiliensis*: distribuições de frequência de indivíduos por classes de comprimento total (Ct mm) para cada época e área.

### 2.2.2 Morfologia e morfometria dos otólitos

A descrição da variação dos valores das medidas dos otólitos dos 348 otólitos de sardinha-verdadeira consta da Tabela 2.1. A análise gráfica dos índices de forma (Figura 2.4) evidenciou a presença de um padrão morfométrico único das *sagittae* entre 150 e 190 mm Ct, após o qual, a partir de 200 mm Ct, ocorre outro. Todos os nove índices, em diferentes graus,

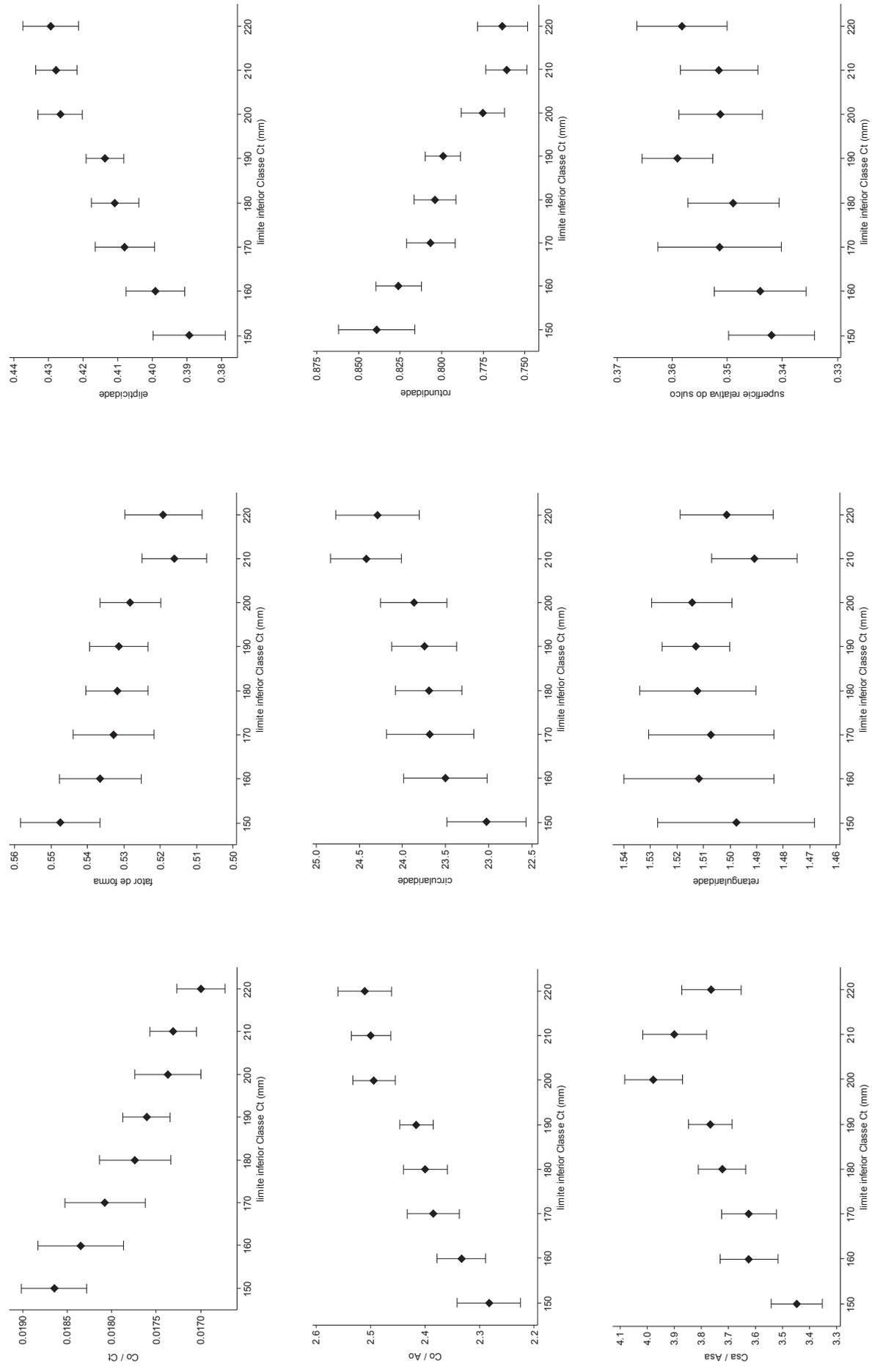
evidenciaram esta mudança, relacionada ao aumento da curvatura rostral que ocorre nos peixes maiores.

A análise conjunta dos índices de forma não revelou padrões claros relacionados a diferentes morfotipos de otólitos de adultos, tanto pelo diagrama de ordenação, com total sobreposição dos pontos das diferentes áreas e épocas (Figura 2.5), como pelo poder de explicação da análise: 81% de explicação corresponde a soma dos quatro primeiros eixos (39% + 16% + 14% + 12%), mostrando que a técnica não detectou diferenças conspícuas entre os dados. Logo, estes resultados não permitiram discernir diferenças entre os otólitos.

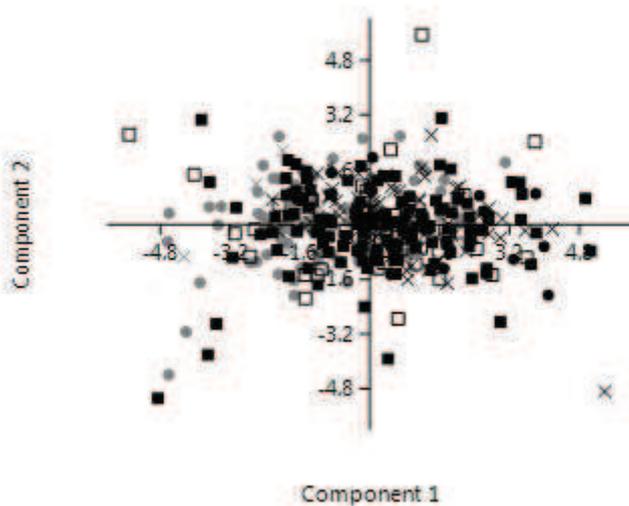
Também não houve diferenciação entre os conjuntos de medidas por épocas e áreas ( $F = -48,13$ ;  $P = 0,9263$ ), indicando semelhança morfométrica entre os otólitos.

**Tabela 2.1.** *Sardinella brasiliensis*: variação das medidas dos otólitos *sagittae* de jovens do ano ( $n = 348$ ).

Medida	Mínimo	Média	Desvio padrão	Máximo
Co (mm)	2,050	3,377	0,360	4,300
Ao (mm)	0,950	1,394	0,121	1,700
Po (g)	0,002	0,003	0,001	0,006
Aro (mm <sup>2</sup> )	3,050	7,132	1,239	9,960
Peo (mm)	8,160	12,978	1,281	16,220
Aas (mm <sup>2</sup> )	0,970	2,512	0,493	4,120
Csa (mm)	5,300	8,700	1,052	11,310
Asa (mm)	1,650	2,650	0,299	3,560
Pesa (mm)	2,150	3,591	0,428	4,790
Arsa Ar (mm <sup>2</sup> )	0,620	0,960	0,105	1,360



**Figura 2.4.** *Sardinella brasileinsis*: média e intervalo de confiança (95%) dos índices de forma em função de comprimento total de adultos nas coletas da baía do Sudeste do Brasil entre 2008 e 2010.



**Figura 2.5.** *Sardinella brasiliensis*: eixos de ordenação da análise de componentes principais entre os valores dos índices de forma de otólitos de adultos. Componentes 1 e 2 com 39% e 16 % de explicação (Círculos: 2008; Xis: 2009, Quadrados: 2010; Área 1: preto, Área 2: cinza).

O ajuste de regressões para caracterizar o crescimento relativo foi adequado para as relações Ct x Co e Co x Ao para os três anos analisados (Tabela 2.2). Os modelos Co x Po não foram significativos, não sendo seus resultados apresentados. A análise de resíduos e os valores dos coeficientes de determinação indicaram que os ajustes foram bons; a variabilidade encontrada deveu-se a pequena amplitude de dados analisada. Em todos os modelos os coeficientes  $b$  foram alométricos negativos ( $P < 0,05$ ).

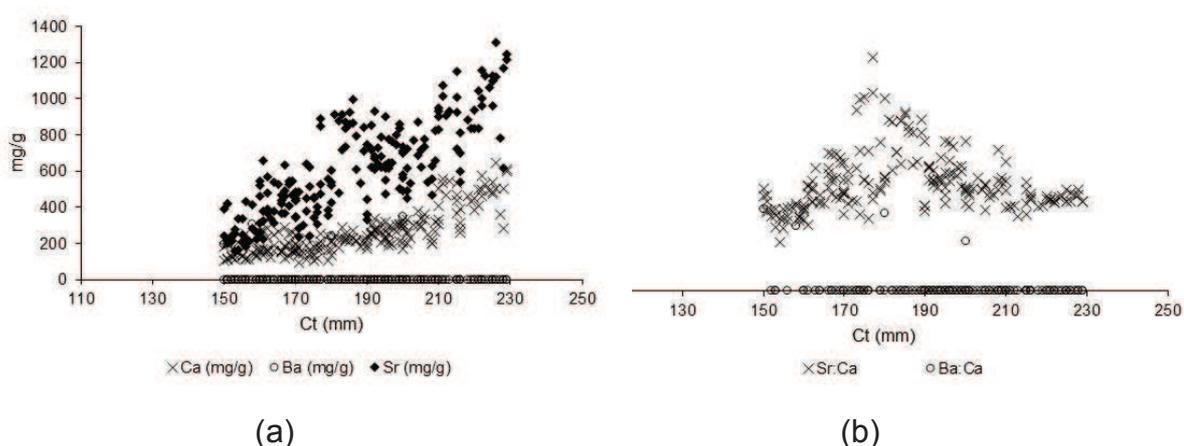
Nas comparações entre as três épocas, apesar de não terem sido detectadas diferenças significativas ( $F = 0,743$ ;  $P = 0,474$  para Ct x Co e  $F = 1,169$ ;  $P = 0,312$  para Co x Ao), é notável que em 2010 as taxas de crescimento relativo foram maiores, o que tende a gerar otólitos proporcionalmente menores.

**Tabela 2.2.** *Sardinella brasiliensis*: modelos potenciais ajustados entre o comprimento total (Ct, mm) e o comprimento (Co, mm) e a altura (Ao, mm) dos otólitos de adultos (n = 348) ( $r^2$  = coeficiente de determinação).

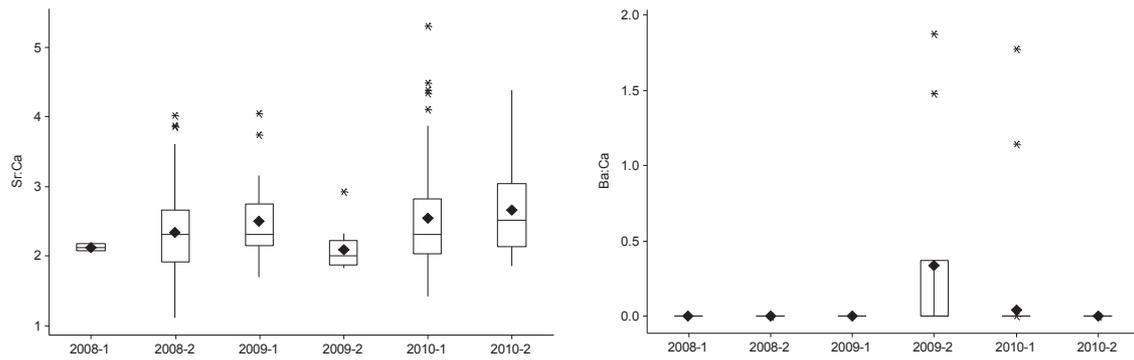
Modelo	Ano	a	b	$r^2$
Ct x Co	2008	0,072	0,731	0,794
	2009	0,072	0,733	0,682
	2010	0,035	0,869	0,632
Co x Ao	2008	0,748	0,509	0,562
	2009	0,596	0,691	0,711
	2010	0,572	0,732	0,680

### 2.2.3 Análise microquímica dos otólitos

As concentrações dos elementos químicos analisados (Ca, Ba e Sr) nos otólitos de sardinha-verdadeira variaram significativamente em relação ao comprimento total (Figura 2.6a). Para quase todos os otólitos a concentração de bário foi zero. A análise das razões Sr:Ca e Ba:Ca com valores corrigidos apresentou independência do comprimento total e do peso do otólito (Figura 2.6b). Entretanto, somente a razão Sr:Ca serviu à comparação entre épocas e áreas, teste no qual não foram encontradas diferenças significativas ( $H = 10,90$ ;  $P = 0,053$ ), indício que a constituição química dos otólitos, apesar da variabilidade, não diferiu.



**Figura 2.6.** *Sardinella brasiliensis*: (a) variação das concentrações individuais dos elementos químicos nos otólitos de adultos. (b) variação das razões dos elementos químicos nos otólitos de adultos.



(a)

(b)

**Figura 2.7.** *Sardinella brasiliensis*: gráfico de caixa da variação das razões dos elementos químicos nos otólitos de adultos nas coletas da bacia do Sudeste do Brasil entre 2008 e 2010 (caixa = 1°, 2° e 3° quartis; barras verticais = limites definidos por quartil  $\square$   $1,5(Q3-Q1)$ ,  $\blacklozenge$  = média aritmética; \* = outliers).

## 2.4 DISCUSSÃO

A análise morfológica/morfométrica dos otólitos *sagittae* de *S. brasiliensis* com índices de forma se mostrou útil para descrever mudanças ontogenéticas e detectar variações geográficas em jovens do ano (Capítulo 1, neste volume). No caso dos adultos, aqui analisados, obviamente que a descrição ontogenética também se aplica: os otólitos se tornam, com o crescimento, cada vez mais retangulares e ovalados, sendo menos redondos e com irregularidades nas bordas dorsal e ventral. Este padrão é observado em vários clupeídeos, como *Sardina pilchardus*, *Sardinella aurita* e *Sardinella maderensis* (TUSET *et al.*, 2008), *Sardinops sagax* (FELIX-URAGA *et al.*, 2005) e *Spratelloides robustus*, *Sprattus novaehollandiae* (FURLANI *et al.*, 2007).

Entretanto, variações geográficas não foram detectadas, tampouco os dois morfotipos de otólitos de adultos (compridos e largos) registrados por ROSSI-WONGTSCHOWSKI *et al.* (1982). O fato das análises aqui executadas não revelarem estes dois padrões não implica que os mesmos não existam na população, mesmo porquê foram identificados nos jovens do ano (Capítulo 1). Esta não detecção provavelmente está relacionada à mistura de peixes que nasceram em diferentes áreas no estoque adulto.

Por outro lado, otólitos de sardinha-verdadeira são eficazes para avaliar variações temporais no padrão de crescimento (PERIN e VAZ-DOS-SANTOS, 2014). Os valores do coeficiente *b* representam a taxa de crescimento relativo e, o coeficiente *a* expressa a constante de proporcionalidade entre as medidas analisadas (LE CREN, 1951).

O padrão de alometria reflete os ganhos proporcionais nas diferentes medidas analisadas. Comparando com estes autores, os resultados aqui encontrados correspondem aos padrões de outono (2008 e 2009) e de verão (2010), quando há maior taxa de crescimento com menor ganho proporcional em tamanho do otólito, devido ao direcionamento da energia para a reprodução. Quando o indivíduo atinge a maturidade gonadal, a taxa de crescimento somático diminui, pois a energia é periodicamente investida na reprodução. Desta forma, a deposição de cálcio e matéria orgânica no otólito é

menor em adultos do que em jovens (LOMBARTE E LEONART, 1993; CAMPANA, 2001).

Índices de forma e regressões caracterizaram o crescimento do otólito de *S. brasiliensis* na fase adulta analisada, mas não serviram para indicar variações geográficas ou possíveis deslocamentos de uma área para outra, sendo a ontogenia o fator das mudanças observadas (VIGNON, 2012).

A análise da constituição química dos otólitos também indicou mistura de peixes no estoque adulto, embora o uso de uma técnica *bulk*, ou seja, com a dissolução do otólito inteiro, limite diagnósticos relacionados a diferentes fases de vida (PONTUAL e GEFFEN, 2002). No presente estudo, a relação Sr:Ca foi a mais adequada para caracterizar *S. brasiliensis*.

A sardinha-verdadeira habita uma área com muitas oscilações de temperatura, salinidade e alimento, fatores que podem influenciar a absorção do estrôncio no otólito (KALISH, 1991; WALTHER e THORROLD, 2006; BROWN e SEVERIN, 2009). Outro fator que pode interferir na relação de Sr:Ca é o estresse, que altera a proporção relativa das proteínas e do carbonato de cálcio durante a formação do otólito (WALTHER *et al.*, 2010).

Alguns autores (KALISH, 1991; CAMPANA, 1999; SECOR e ROOKER, 2000) argumentam que a fisiologia é um fator com muita influência da química dos otólitos, propondo que a concentração de proteínas dissolvidas no sangue afeta a disponibilidade de cátions dissolvidos de estrôncio e cálcio. Uma maior concentração de proteínas no sangue resulta em menor quantidade de cátions dissolvidos. KALISH (1991) ainda expõe que a relação de proteína dissolvidas no sangue está relacionada a fatores fisiológicos, tais como períodos de alimentação e desenvolvimento gonadal, hipótese que pode ser considerada para os adultos de sardinha-verdadeira, nos quais não foi possível identificar padrões de variação na relação Sr:Ca.

WALTHER e THORROLD (2006) conduziram um experimento para verificar qual fator influenciava a relação de Sr:Ca no otólito, se a alimentação ou a água. Contrapondo o que KALISH (1991) e outros autores encontraram, estes autores verificaram que a relação Sr:Ca da água interfere na do otólito, Entretanto, ponderam que os fatores que influenciam as relações de Sr:Ca (salinidade, temperatura e alimentação) podem variar de uma espécie para outra e também de um ambiente para outro (WALTHER e THORROLD, 2006).

Em nosso estudo, a ausência de dados sobre a relação Sr:Ca da água não permite esclarecer esta outra hipótese.

Pelo exposto verifica-se que apesar de existir variações espaço temporais nas concentrações de Sr:Ca no estoque adulto de *S. brasiliensis*, elas não foram robustas suficientes para indicar variações geográficas.

Do conjunto de resultados aqui apresentados é possível concluir que existe variação na morfometria e na constituição química dos otólitos de *S. brasiliensis* na bacia do Sudeste do Brasil. Entretanto, estas diferenças não explicam variações geográficas, mas refletem a reunião dos jovens que nasceram e cresceram sob diferentes condições formando um grupo único quando adultos.

## 2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, C.Q.; MIEKELEY, N.; MUELBERT, J.H. 2010 Whitemouth croaker, *Micropogonias furnieri*, trapped in a freshwater coastal lagoon: a natural comparison of freshwater and marine influences on otolith chemistry. *Neotropical Ichthyology*, 8(2): 311-320.
- ALDANONDO, N.; COTANO, U.; TIEPOLO, M.; BOYRA, G.; IRIGOIEN, X. 2010 Growth and movement patterns of early juvenile European anchovy (*Engraulis encrasicolus* L.) in the Bay of Biscay based on otolith microstructure and chemistry. *Fish. Oceanogr.*, 19(3): 196-208.
- ANDERSON, M.J. 2001. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology* 26: 32-46.
- ANNABI, A.; SAID, K.; REICHENBACHER, B. 2013 Inter-population differences in otolith morphology are genetically encoded in the killifish *Aphanius fasciatus* (Cyprinodontiformes). *Scientia Marina*, 77(2): 269-279.
- ASSIS, C.A. 2000 Estudo morfológico dos otólitos sagitta, asteriscus e lapillus de Teleósteos (Actinopterygii, Teleostei) de Portugal continental. Sua aplicação em estudos de filogenia, sistemática e ecologia. Lisboa. 1005p. (Tese de Doutorado. Universidade de Lisboa).
- AVIGLIANO, E.F.; VOLPEDO, A.V. 2013. Use of otolith strontium:calcium ratio as indicator of seasonal displacements of the silverside (*Odontesthes bonariensis*) in a freshwater-marine environment. *Marine and Freshwater Research* 64(8): 746-751
- BEGG, G.A.; BROWN, R.W. 2000 Stock identification of haddock *Melanogrammus aeglefinus* on Georges Bank on otolith shape analysis. *Transactions of the American Fisheries Society*, 129: 935-945.
- BROWN, R.J.; SEVERIN, K. P. 2009 Otolith chemistry analyses indicate that water Sr:Ca is the primary factor influencing otolith Sr:Ca for freshwater and diadromous fish but not for marine fish. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 66(10), 1790–1808.
- CAMPANA, S.E. 2001 Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. *J. Fish Biol*, 59: 197-242.
- CAMPANA, S.E. 1999 Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications. *Marine Ecology Progress Series*, 188: 263-297.
- CAMPANA, S.E. 2004 Photographic atlas of fish otoliths of the Northwest Atlantic Ocean. Ottawa: NRC Research Press. 294p.
- CAMPANA, S.E.; CASSELMAN, J.M. 1993 Stock discrimination using otolith shape analysis. *Canadian Journal Aquatic Science*, 50: 1062-1083.
- CAMPANA, S.E.; NEILSON, J.D. 1985 Microstructure of fish's otoliths. *Can J. Fish. Aquat. Sci.*, 42: 1014-1032.
- CAMPANA, S.E.; CHOUINARD, G.A.; HANSON, J.M.; FRÉCHET, A.; BRATTEY, J. 2000. Otolith elemental fingerprints as biological tracers of fish stocks. *Fisheries Research* 46: 343-357.
- CARLSTRÖM, D. 1963 A crystallographic study of vertebrate otoliths. *Biological Bulletin*, 125(3): 441-463.
- CASTELLO, J.P. 2007 Síntese sobre a sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*). In: Haimovici, M. A prospecção pesqueira e abundância de estoques marinhos no Brasil nas décadas de 1960 a 1990: Levantamento de dados e avaliação crítica. Brasília: MMA/SMCQ. p.225-231.
- CERGOLE, M.C.; DIAS NETO, J. 2011 Plano de gestão para o uso sustentável de sardinha-verdadeira, *Sardinella brasiliensis*, no Brasil. Brasília: MMA/IBAMA. 180p.

- CERGOLE, M.C.; SARCCARDO, S.A.; ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C.L.D.B. 2002 Fluctuations in the spawning stock biomass and recruitment of the Brazilian sardine (*Sardinella brasiliensis*) 1977-1997. *Revista Bras. Oceanography*, 50: 13-26.
- DEGENS, E.T.; DEUSER, W.G.; HAEDRICH, R.L. 1969 Molecular structure and composition of fish otoliths. *Marine Biol.*, 2: 105-113.
- DUARTE-NETO P.; LESSA, R.; STOSIC, B.; MORIZE, E. 2008 The use of sagittal otoliths in discriminating stocks of common dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) off northeastern Brazil using multishape descriptors. *J. Mar. Sci.*, 65(7): 1144-1152.
- FARRÉ, M.; TUSET, V. M., MAYNOU, F., RECASENS, L., LOMBARTE, A. 2013. Geometric morphology as an alternative for measuring the diversity of fish assemblages. *Ecological Indicators*, 29, 159–166.
- FÉLIX-URAGA, R.; QUIÑONEZ-VELÁZQUEZ, C.; HILL, K.T.; GÓMEZ-MUÑOZ, V.M.; MELO-BARRERA, F.N.; GARCÍA-FRANCO, W. Pacific sardine (*Sardinops sagax*) stock discrimination off the west of Baja California and southern California using otolith morphometry. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigation Reports*, 46: 113-121.
- FIGUEIREDO, J.L.; MENEZES, N.A., 1978 Manual de Peixes Marinhos do Sudeste do Brasil. V. II: Teleostei (1). Museu de Zoologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 113p.
- FRANCIS, R.I.C.; HARLEY, S.J.; CAMPANA, S.E.; DOERING-ARJES, P. 2005 Use of otolith weight in length – mediated estimation of proportions at age. *Marine and Freshwater Research*, 56: 735-743.
- FURG. 2010 Mapeamento e estimativa de biomassa na área de ocorrência da sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*) através de metodologia hidroacústica (Cruzeiro ECOSAR VII). Relatório de trabalho referente ao contrato CEPSUL N° 02/2009 (CEPSUL/Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade) e a Universidade Federal do Rio Grande (FURG). 32p.
- FURLANI, D. ; GALES, R.; PEMBERTON, D. 2007 Otoliths of common Australian temperate fish: a photographic guide. Collingwood: CSIRO Publishing. 216p.
- GARCÍA-RODRÍGUES, F.J. ; GARCÍA-GASCA, S.A. ; CRUZ-AGÜERO, J.L. ; COTA-GÓMEZ, V.M. 2011 A study of the population structure of the Pacific sardine, *Sardinops sagax* (Jenyns, 1842) in Mexico based on morphometric and genetic analysis. *Fisheries Research*, 107: 169-176.
- GAULDIE, R.W. 1993 Polymorphic crystalline structure of fish otoliths. *Journal of morphology*, 218: 1-28.
- GILLANDERS, B.M. 2005 Using elemental chemistry of fish otoliths to determine connectivity between estuarine and coastal habitats. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 64: 47-57.
- HUXLEY, J.S. 1993 Problems of relative growth; with a new introduction by Frederick B. Churchill and an essay by Richard E. Strauss. Baltimore: The John Hopkins University Press. 276p.
- IBAMA Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. 2009 Relatório de reunião sobre a pesca de sardinha-verdadeira nas regiões Sudeste e Sul. Itajaí: Centro de Pesquisa e Gestão de Recursos Pesqueiros do litoral Sudeste e Sul – CEPSUL. 58p.
- JONSDOTTIR, I.G.; CAMPANA, S.E.; MARTEINSDOTTIR, G. 2006 Stock structure of Icelandic cod *Gadus morhua* L. based on otolith chemistry. *Journal of Fish Biology*, 69: 136-150.
- KALISH, J.M. 1991 Determinants of otolith chemistry: seasonal variation in the composition of blood plasma, endolymph and otoliths of bearded rock cod *Pseudophycis barbatus*. *Marine Ecology Progress Series*, 74: 137-159.
- LE CREN, E.D. 1951 The length-weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch (*Perca fluviatilis*). *Journal of Animal Ecology*, 20(2): 201-219.

- LEGUÁ, J.; PLAZA, G.; PÉREZ, D.; ARKHIPKIN, A. 2013 Otolith shape analysis as a tool for stock identification of the southern blue whiting, *Micromesistius australis*. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 41(3): 479-489.
- LOMBARTE, A. e LLEONART, J. 1993 Otolith size changes related with body growth, habitat depth and temperature. *Environmental Biology of Fishes*, 37: 297-306.
- MATSUURA, Y. 1998 Brazilian sardine (*Sardinella brasiliensis*) spawning in the southeast Brazilian bight over the period 1976-1993. *Rev. Bras. Oceanogr.*, 46(1): 33-43.
- MEGALOFONOU, P. 2006. Comparison of otolith growth and morphology with somatic growth and age in young-of-the-year bluefin tuna. *Journal of Fish Biology*, 68(6), 1867–1878. doi:10.1111/j.1095-8649.2006.01078.x
- MPA, Ministério da Pesca e Aquicultura do Brasil. 2011. Boletim Estatístico da Pesca e Aquicultura. Brasília: MPA. 60p.
- PAIVA, M.P.; MOTTA, P.C.S. 2000 Cardumes da sardinha-verdadeira, *Sardinella brasiliensis* (Steindachner), em águas costeiras do estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 17(2): 339-346.
- PERIN, S. e VAZ-dos-SANTOS, A.M. 2014. Morphometry and relative growth of the Brazilian Sardine, *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879) in the Southeastern Brazilian Bight. *Arquivos de Zoologia*, v.45.
- PINAYA, W. H. D. 2008 Variabilidade climática marinha na plataforma sudeste brasileira e sua relação com a pesca da sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*). Pontal do Paraná. 209p. (Dissertação de Mestrado. Universidade Federa do Paraná Centro de Estudos do Mar).
- PONTUAL, H. e GEFFEN, A.J. 2002 Otolith microchemistry. In: PANFILI, J.; PONTUAL, H.; TROADEC, H. e WRIGHT, P.J. *Manual of fish sclerochronology*. France: Ifremer-IRD coedition. p. 245-282.
- ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C.L.D.B.; SILIPRANDI, C.C.; BRENHA, M.R.; GONSALES, S.A.; SANTIFICETUR, C.; VAZ-dos-SANTOS, A.M. 2014 Atlas of marine bony fish otoliths (sagittae) of Southeastern-Southern Brazil. Part I: Gadiformes (Macrouridae, Moridae, Bregmacerotidae, Phycidae and Merlucciidae); Part II: Perciformes (Carangidae, Sciaenidae, Scombridae and Serranidae). *Brazilian Journal of Oceanography*, 62: 1-103.
- ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C.L.D.B.; VAZZOLER, A.E.A.M.; BRAGA, F.M.S. 1982 Estudos sobre a estrutura, ciclo de vida e comportamento de *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879), na área entre 22°S e 28°S, Brasil: Morfologia dos otólitos. *Boletim do Instituto Oceanográfico*, 2(31): 57-76.
- SADIGHZADEH, Z., OTERO-FERRER, J. L., LOMBARTE, A., FATEMI, M. R., ; TUSET, V. M. 2014. An approach to unraveling the coexistence of snappers (Lutjanidae) using otolith morphology. *Scientia Marina*, 78(September).
- SCHUCHERT, P.C.; ARKHIPKIN, A.I.; KOENIG, A.E. 2010 Traveling around Cape Horn: Otolith chemistry reveals a mixed stock of Patagonian hoki with separate Atlantic and Pacific spawning grounds. *Fisheries Research*, 102: 80-86.
- SECOR, D.H. e ROOKER, J.R. 2000 Is otolith strontium a useful scalar of life cycles in estuarine fishes? *Fisheries Research*, 46: 359-371.
- SOARES, H.C.; PEZZI, L.P.; GHERARD, D.F.M.; PAES, E.T. 2011. Oceanic and atmospheric patterns during spawning periods prior to extreme catches of the Brazilian sardine (*Sardinella brasiliensis*) in the southwest Atlantic. *Scientia Marina*, 75(4): 665-677.
- SOKAL, R.R.; ROHLF, F.J. 2009 *Introduction to biostatistics*. New York: Dover Publications. 374p.
- STEVENSON, D.K. e CAMPANA, S.E. 1992 Otolith microstructure examination and analysis. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.*, 117: 1-126.
- STEWART, C.A.; DeMARIA, K.D.; SHENKER, J.M. 2009 Using otolith morphometrics to quickly and inexpensively predict age the gray angelfish (*Pomacanthus arcuatus*). *Fisheries Research*, 99: 123-129.

- STRANSKY, C. 2005 Geographic variation of golden redbfish (*Sebastes marinus*) and deep-sea redbfish (*S. mentella*) in the North Atlantic based on otolith shape analysis. *ICES Journal of Marine Science*, 62: 1691-1698.
- STRANSKY, C., GARBE-SCHONBERG, C. D., E GÜNTHER, D. 2005 Geographic variation and juvenile migration in Atlantic redbfish inferred from otolith microchemistry. *Marine and Freshwater Research*, 56(5), 677–691.
- STURROCK, A.M.; TRUEMAN, C.N.; DARNAUDE, A.M.; HUNTER, E. 2012 Can otolith elemental chemistry retrospectively track migrations in fully marine fishes? *Journal of Fish Biology.*, 81: 766-795.
- SUNYÉ, P.S.; SERVAIN, J. 1998. Effects of seasonal variations in meteorology and oceanography on the Brazilian sardine fishery. *Fisheries Oceanography* 7(2): 89-100.
- TORROGLOSA, M.E.; QUIROGA, M.V.; CASSIA, M.C. 2012 Morphometric analysis of sagitta otolith of *Salilota australis* (Günther, 1878) (Pisces: Moridae) of the Southern Patagonian Shelf, Argentina. *Rev. Invest. Desarr. Pesq.*, 21: 81-86.
- TUSET, V.M.; LOMBARTE, A.; ASSIS, C.A. 2008 Otolith atlas for the western Mediterranean, north and central eastern Atlantic. *Scientia Marina*, SI(72): 7-198.
- TUSET, V.M.; LOZANO, I.J.; GONZÁLEZ, J.A.; PERTUSA, J.F.; GARCÍA-DÍAZ, M.M. 2003. Shape indices to identify regional differences in otolith morphology of comber, *Serranus cabrilla* (L., 1758). *J. Appl. Ichthyol.*, 19: 88-93.
- VANDERKOOY, S. 2009 A practical handbook for determining the ages of Gulf of Mexico fishes. 2<sup>a</sup> ed. Gulf States: Ocean Springs. 157p.
- VAZ-DOS-SANTOS, A. M., SANTOS-CRUZ, N. N., ; ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C. L. D. B. 2007. Caracterização dos otólitos sagitta do peixe-lagarto *Bembrops heterurus* Miranda-Ribeiro , 1903 ( Teleostei : Percophidae ) da região Sudeste-Sul do Brasil. *Bioikos*, 21(1), 69–78.
- VIGNON, M. 2012 Ontogenetic trajectories of otolith shape during shift in habitat use: Interaction between otolith growth and environment. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 420-421: 26-32.
- VOLPEDO A.V.; ECHEVERRÍA, D.D. 2000 Catálogo y claves de otolitos para la identificación de peces del mar argentino. Buenos Aires: Dunken. 88p.
- VOLPEDO, A.V. e ECHEVERRÍA, D.D. 2002 Ecomorphological patterns of the sagitta in fish on the continental shelf off Argentine. *Fisheries Research*, 60: 551-560.
- VOLPEDO, A.V.; TOMBARI, A.D.; ECHEVERRÍA, D.D. 2008 Eco-morphological patterns of the sagitta of Antarctic fish. *Polar Biol.*, 31(5): 635-640.
- WALTHER, B. D.; KINGSFORD, M. J.; O'CALLAGHAN, M. D.; MCCULLOCH, M. T. 2010 Interactive effects of ontogeny, food ration and temperature on elemental incorporation in otoliths of a coral reef fish. *Environmental Biology of Fishes*, 89(3-4), 441–451.
- WALTHER, B. e THORROLD, S. 2006 Water, not food, contributes the majority of strontium and barium deposited in the otoliths of a marine fish. *Marine Ecology Progress Series*, 311, 125–130.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente estudo foram aplicadas, pela primeira vez, técnicas de morfometria geométrica (através de índices de forma) e análises microquímicas dos otólitos de *Sardinella brasiliensis* para investigar variações geográficas. Estas técnicas permitiram averiguar os objetivos e testar as hipóteses propostas.

Os resultados obtidos indicaram variação geográfica entre os jovens do ano de sardinha-verdadeira, com um padrão diferencial entre os peixes que nascem e crescem associados às áreas das ressurgências de Cabo Frio e do Cabo de Santa Marta Grande e aqueles que nascem e crescem na plataforma continental ao longo da costa dos estados de São Paulo e Paraná. Entretanto, em adultos, não foram encontrados padrões claros nos otólitos, indicando mistura de peixes que nasceram em diferentes áreas.

As diferenças encontradas nos jovens de *S. brasiliensis* indicam que esta variação geográfica deve ser levada em conta na gestão do uso da sardinha-verdadeira, para ponderar a contribuição relativa que os grupos de jovens tem para a biomassa do estoque adulto.

Como próximos passos e sem invalidar os resultados e conclusões aqui apresentados, análises de morfometria geométrica através de marcos anatômicos e contornos e análises microquímicas de superfície dos otólitos, já em execução, possivelmente permitirão refinar a compreensão do ciclo de vida de *S. brasiliensis* na bacia do Sudeste do Brasil.